



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII – ARARUNA  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUANA DE SOUZA MENDES**

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DA  
COMBINAÇÃO ENTRE TELHADOS COM VEGETAÇÃO E SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS**

**ARARUNA – PB**

**2022**

**LUANA DE SOUZA MENDES**

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DA  
COMBINAÇÃO ENTRE TELHADOS COM VEGETAÇÃO E SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Me. Igor Souza Ogata.

**ARARUNA – PB**

**2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M538s Mendes, Luana de Souza.

Sustentabilidade na construção civil [manuscrito] : um estudo da combinação entre telhados com vegetação e sistemas fotovoltaicos / Luana de Souza Mendes. - 2022.

73 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.

"Orientação : Prof. Me. Igor Souza Ogata , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Meio ambiental. 2. Telhado verde. 3. Energia solar. 4. Problemas ambientais. I. Título

21. ed. CDD 333.7

LUANA DE SOUZA MENDES

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DA COMBINAÇÃO  
ENTRE TELHADOS COM VEGETAÇÃO E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Meio Ambiente.

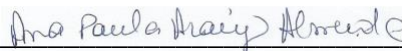
Aprovado em: 01/04/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Me. Igor Souza Ogata (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Profa. Dra. Ana Paula Araújo Almeida  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Profa. Dra. Yáscara Maia Araújo de Brito  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## RESUMO

Dentre os diversos problemas ambientais que afetam os centros urbanos, pode-se verificar o aumento das temperaturas e a redução da umidade relativa do ar nas cidades. A formação das ilhas de calor e o desconforto térmico são alterações observadas no campo térmico urbano do sistema climático das cidades com graves problemas para a população em geral. A implementação de vegetação nos telhados é um dos mais recentes campos das pesquisas ambientais que buscam soluções ecológicas e sustentáveis a fim de melhorar a qualidade de vida rural e urbana. Neste sentido, este trabalho apresenta um estudo bibliográfico sobre o uso de telhados verdes integrados a sistemas fotovoltaicos, conceituando a técnica do telhado verde, apontando os principais tipos e sua aplicação no aproveitamento de energia solar, com o objetivo trazer a reflexão sobre alternativas capazes de diminuir os danos causados pela ação humana sobre o meio ambiente. Quanto ao aspecto metodológico, este trabalho é de caráter exploratório, explicativo e modo qualitativo, sendo composto por uma análise bibliográfica, baseando-se em publicações de materiais elaborados, constituído principalmente de artigos, livros e sites. Compreende-se a importância por meio do estudo sobre a eficácia em construir habitações sustentáveis com a escolha de materiais alternativos mais conscientes prezando o cuidado pelo meio ambiente e sobrevivência no futuro, dessa forma, faz-se necessário estimular o uso dessa tecnologia, para que a mesma se torne usual. Concluiu-se que a energia solar e o telhado verde são moderadamente viáveis para utilização na construção sustentável, como por exemplo, observa-se que o telhado verde contribui com a amenização microclimática interna e externa do ambiente e consequentemente com a eficiência do painel.

**Palavras-Chave:** Problemas ambientais. Energia solar. Telhado verde. Meio ambiente.

## ABSTRACT

Among the various environmental problems that affect urban centers, one can verify the increase in temperatures and the reduction of relative humidity in cities. The formation of heat islands and thermal discomfort are changes observed in the urban thermal field of the climate system of cities with serious problems for the population in general. The implementation of vegetation on roofs is one of the most recent fields of environmental research that seeks ecological and sustainable solutions in order to improve the quality of rural and urban life. In this sense, this work presents a bibliographic study on the use of green roofs integrated with photovoltaic systems, conceptualizing the green roof technique, pointing out the main types and their application in the use of solar energy, with the objective of bringing reflection on alternatives capable of reduce the damage caused by human action on the environment. Regarding the methodological aspect, this work is exploratory, explanatory and qualitative, being composed of a bibliographic analysis, based on publications of elaborated materials, consisting mainly of articles, books and websites. The importance is understood through the study on the effectiveness of building sustainable housing with the choice of more conscious alternative materials, valuing care for the environment and survival in the future, in this way, it is necessary to stimulate the use of this technology, so that it becomes usual. It was concluded that solar energy and the green roof are moderately viable for use in sustainable construction, for example, it is observed that the green roof contributes to the internal and external microclimatic alleviation of the environment and consequently to the efficiency of the panel.

**Keywords:** Environmental problems. Solar energy. Green roof. Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável segundo a ONU .....	14
Figura 2 - Certificados da GBC Brasil .....	21
Figura 3 - Hiperadobe em construção.....	26
Figura 4 - Detalhe da parede de taipa de mão .....	27
Figura 5 - Diagrama dos diferentes grupos de sistemas construtivos antigos e modernos que utilizam a terra como matéria-prima .....	27
Figura 6 - Edificação construída usando impressão 3D .....	30
Figura 7 - Habitação construída através da Bioconstrução .....	30
Figura 8 - Funcionamento da Energia Solar .....	36
Figura 9 - Esquematização energia solar fotovoltaica.....	36
Figura 10 - Telhado verde plano.....	38
Figura 11 - Telhado verde inclinado.....	38
Figura 12 - Casas tradicionais cobertas com grama .....	39
Figura 13 - Exemplo de telhado verde de uso Intensivo .....	40
Figura 14 - Exemplo de cobertura de uso Extensivo .....	40
Figura 15 - Sistemas de telhado verde.....	41
Figura 16 - Sistema modular transportável.....	41
Figura 17 - Camadas do telhado verde .....	51
Figura 18 - Telhados verdes com energia solar .....	53
Figura 19 - Planejamento para telhados verdes integrados a sistemas fotovoltaicos .....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais conceitos do Triple BottomLine.....	24
Quadro 2 - Classificação das fontes de energia.....	34
Quadro 3 - Características dos Telhados Verdes.....	50
Quadro 4 - Vantagens e Desvantagens do Telhado verde.....	57



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3BL	Triple Bottom Line
ABRELP	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAM	Metabolismo Ácido das Crassuláceas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CIB	Conselho Internacional da Construção
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CPDS	Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável
EF	Ecological Footprint
EUROSTAT	European Statistical Office
EVA	Etileno Vinil Acetato
GBC	Green Building Council
GEO	Global Environment Outlook
GW	Gigawatts
IDHEA	Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LID	Low Impact Development
MMA	Ministério do Meio Ambiente Brasileiro
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PEIR	Pressão-Estado-Impacto-Resposta
PER	Pressão-Estado-Resposta
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PVF	Fluoreto de Polivinila
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
UNSTAT	United Nations Statistics Division
UV	Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Indicadores de sustentabilidade .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Sustentabilidade na construção .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Certificações ambientais.....</i>	<i>19</i>
<b>2.4</b>	<b>Construção sustentável.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Técnicas milenares e modernas.....</i>	<i>26</i>
<b>2.4.2</b>	<i>Características de uma construção sustentável .....</i>	<i>31</i>
<b>2.5</b>	<b>Energias renováveis .....</b>	<b>33</b>
<b>2.6</b>	<b>Energia solar .....</b>	<b>35</b>
<b>2.7</b>	<b>Telhados verdes.....</b>	<b>37</b>
<b>2.8</b>	<b>Sistemas e implicações da coleta de águas pluviais.....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Técnica de aplicação do telhado verde.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Etapas de execução.....</i>	<i>49</i>
<b>4.1.2</b>	<i>Energia solar fotovoltaica e telhado verde.....</i>	<i>52</i>
<b>4.1.3</b>	<i>Viabilidade do telhado verde.....</i>	<i>57</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é um tema em destaque na atualidade e foco de vários estudos. O grande paradigma é conseguir o equilíbrio entre economia, sociedade e ambiente, visto que todas as ações humanas proporcionam, em maior ou menor grau, algum impacto sobre o meio ambiente. Dessa forma, a preservação ambiental possui uma finalidade precípua: a sobrevivência da espécie humana (ROVEDA et al., 2010; FREITAS, SIQUEIRA FILHO, 2018).

A indústria da construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas por outro lado, comporta-se ainda como grande geradora de impactos ambientais. Essa indústria é considerada um dos principais agentes agressores da natureza, direta e indiretamente, como no próprio canteiro de obras em sua execução, à captação dos seus insumos que devastam florestas, poluem mares, rios e solos, para alimentar essa grande indústria (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Repensar a maneira de construir é, portanto, uma oportunidade de trazer à tona os problemas do setor para buscar solucioná-los. A sustentabilidade é um conceito que, aplicado à construção civil, visa a minimização dos problemas causados pelos métodos arcaicos que ainda imperam no setor. Tendo em vista isto, alguns setores da sociedade têm se disposto a buscar métodos e tecnologias que possibilitem a construção sustentável, tornando-a ecologicamente correta, socialmente justa e economicamente viável (CALVI, 2018).

A relação homem-natureza deve ocorrer de modo a integrar a vida em sociedade ao ecossistema local. Considera-se que todos os ecossistemas, terrestres e aquáticos, sofram interferência do processo de urbanização. Logo, é de grande importância que técnicas de desenvolvimento de baixo impacto, também chamadas de *Low Impact Development* (LID) sejam aplicadas, visando à minimização dos danos causados pela urbanização. Uma dessas alternativas é o telhado verde ou cobertura verde, o qual tem se apresentado como uma opção viável nas grandes cidades, com o objetivo de proteger as edificações contra a radiação ultravioleta e ainda gerar energia (CANABRAVA NETO et al., 2021).

Como apontam Moromizato et al. (2016), o telhado verde é um método que pode ser instalado tanto em casas como em grandes empresas e indústrias, contanto que haja cuidados referentes à impermeabilização e drenagem. Ele é construído através da aplicação de uma camada vegetal sobre uma camada impermeável, podendo ser um telhado convencional ou até mesmo uma laje impermeabilizada. Sua principal finalidade é a de conforto térmico, além de ser uma alternativa sustentável para a solução das ilhas de calor em ambientes urbanos. Tal

solução melhora a qualidade de vida nos centros urbanos, pois é capaz de reduzir ruídos externos e diminuir a temperatura do ambiente, funcionando como um isolamento acústico e térmico. Também auxilia na redução da poluição, além de aumentar a vegetação nos ambientes urbanos. Esses benefícios, além de manterem o local mais agradável, ainda economizam energia, pois diminuem o uso de climatizadores e ar condicionado.

São diversas as tecnologias desenvolvidas com foco no desenvolvimento sustentável, com o intuito de associar o crescimento social/econômico com a conservação ambiental. Dessa forma, integrar a geração de energia solar fotovoltaica em telhados com cobertura vegetal é uma tecnologia que têm relação direta com o desenvolvimento sustentável das cidades (SANTOS; FERREIRA, 2019).

Acerca dessas temáticas, este trabalho visa explorar o assunto de produção de energia solar por meio de telhados verdes, a fim de fortalecer a literatura sobre o assunto, ao mesmo tempo que traz a reflexão sobre alternativas capazes de diminuir os danos causados pela ação humana sobre o meio ambiente.

### **1.1 Objetivo geral**

Realizar um estudo bibliográfico sobre o uso de telhados verdes integrados a sistemas fotovoltaicos.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Apresentar os conceitos sobre sustentabilidade e desenvolvimentos sustentáveis;
- Destacar a importância das energias renováveis, sobretudo a energia solar;
- Conceituar a técnica do telhado verde, apontando os principais tipos e sua aplicação no aproveitamento de energia solar.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

Embora sustentabilidade e desenvolvimento sustentável sejam conceitos igualmente empregados, existem diferenças relevantes que se relacionam com a compreensão do significado, da evolução e da seleção de indicadores de sustentabilidade que serão designados.

Ressalta-se:

As abordagens dependem do campo de aplicação em que cada ciência tende a ver apenas um lado da equação, no entanto, eles são comuns. Não é por acaso que os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ainda são pouco compreendidos e em muitos casos são tratados como sinônimos. Entretanto, nem sempre há esse consenso (DOVERS; HANDMER, 1992, p. 1).

Desta forma, sustentabilidade pode ser entendida como um termo amplamente utilizado que se relaciona ao equilíbrio entre o que se extrai em termos de recursos naturais, o que se descarta, e o balanço da diversidade biológica (ROBERT et al., 1997). Até o início da década de 70 essa palavra não era muito empregada e se relacionava principalmente com a área de recursos florestais (LEAL FILHO, 2000). Já Hueting e Rejinders (2004) relacionaram o termo à disponibilidade de funções vitais do ambiente natural. De toda forma, percebe-se que o conceito de sustentabilidade se relaciona originalmente com abordagens de conservação de recursos florestais e de pesca a longo prazo, tendo sua gênese associada as funções vitais dos fatores bióticos e abióticos que compõe o meio ambiente.

De acordo com Ayres (2008), a sustentabilidade é um conceito normativo sobre como os seres humanos devem agir em relação à natureza e como eles são responsáveis uns pelos outros e por futuras gerações. Neste contexto, observa-se que a sustentabilidade é favorável ao crescimento econômico, baseado na justiça social e no uso eficiente dos recursos naturais (LOZANO, 2012).

Assim, a sustentabilidade pode ser classificada como fraca ou forte. Uma sustentabilidade fraca pode ser interpretada como a extensão do bem-estar econômico (NEUMAYER, 2003), portanto, o capital econômico produzido pelas gerações atuais pode compensar a perda de capital natural para as gerações futuras (FIORINO, 2011). Dessa forma, em uma sustentabilidade fraca é necessário que o valor do capital natural seja preservado, como é o caso dos recursos não renováveis e a extração destes, deve ser compensada pela

substituição de recursos renováveis de igual valor (por exemplo, parques eólicos para substituir os combustíveis fósseis na geração de eletricidade).

Já uma sustentabilidade forte, está relacionada à economia ecológica, no qual o nível do capital natural deve ser mantido estável. Uma observação básica deste enfoque é que a atividade econômica inevitavelmente gera consequências negativas sobre a natureza, especificamente sobre a disponibilidade energética (TAYRA, 2006). A economia ecológica:

Considera o meio ambiente como uma restrição absoluta ao crescimento econômico, sendo necessário que se respeite a capacidade de carga do planeta como um limite ao seu crescimento. Dessa forma entende-se que capital natural e capital produzido são essencialmente complementares, mas não perfeitamente substituíveis, sendo essa noção de sustentabilidade conhecida como sustentabilidade forte (AMARAL, 2010, p. 8).

Com a compreensão das diferenças entre os dois termos de sustentabilidade forte fraca, há o entendimento sobre o direcionamento de sustentabilidade hoje conhecido. Os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável foram disseminadas na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento, a Rio 92, que resultou na Agenda 21, definindo propostas de ações regionais voltadas ao desenvolvimento sustentável, mais precisamente em seu capítulo 40 (CAMPOS; MELO, 2008).

Por sua vez, o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável promoveu a orientação dos esforços para encontrar caminhos para sociedades sustentáveis (SALAS-ZAPATA et al., 2011) e teve origem na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Humano em 1972 (PHILIPPI JUNIOR, 2005). De maneira geral, a noção de desenvolvimento sustentável faz referência a algo que atende as necessidades das gerações presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras, conforme preconizado no Relatório Brundtland (1990), é um conceito socialmente construído, negociado e politicamente disseminado.

O desenvolvimento sustentável é um caminho trilhado diariamente, que possui respeito mútuo e consciência de que todas as empresas, comunidades, pessoas e demais seres são partes integrantes de um único ecossistema. Assim, para que haja equilíbrio, é necessário que cada parte leve em consideração o todo, entendendo que é só uma pequena parte de um universo infinitamente maior, mas que pode ser afetado por suas ações (COLOMBO, 2014).

Empresas e governos com atitudes sustentáveis geram mais economias financeiras a médios e longos prazos, que por muitas vezes dificultam a viabilização de ideias e projetos sustentáveis numa escala maior, devido à cultura do imediatismo e retorno financeiro urgente, com certeza um dos inimigos do desenvolvimento sustentável, se não for o maior.

A ONU estabeleceu 17 metas para o desenvolvimento sustentável, assinadas por vários países, incluindo o Brasil, para garantir mais igualdade social, preservação da natureza, economia justa etc. Os objetivos são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz, bem-estar, saúde, e prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas lutam a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil com essas metas alcançadas (ONU, 2016). Na Figura 1 são verificados quais são os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU.

**Figura 1 - Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável segundo a ONU**



Fonte: ONU, 2016.

Segundo a revista ComCiência (2019), a Agenda 2030 para o ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) corresponde a um conjunto de programas, ações e diretrizes que orientam os trabalhos das Nações Unidas e de seus países membros rumo ao desenvolvimento sustentável. Concluídas em agosto de 2015, as negociações da Agenda 2030 resultam em 17 objetivos e 169 metas correspondentes, fruto do consenso obtido pelos delegados dos Estados Membros da ONU. Os ODS são o cerne da Agenda 2030 e sua implementação é no período dos anos de 2016 a 2030.

Os vínculos e a natureza integrada dos ODS são de importância crucial para assegurar que o propósito da nova Agenda seja realizado. Se forem realizadas as ambições em toda a

extensão da Agenda, a vida da sociedade será impactada positivamente e o mundo será transformado em um lugar em que as pessoas possam desfrutar da justiça social, da equidade, da saúde coletiva, do bem estar ambiental, e da prosperidade.

Segundo Ekinset al. (2003), os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são de natureza conceitual, muito usados, mas pouco explicados, daí a importância de ferramentas como a Educação Ambiental a nível de conhecimento e informação, pois existe interpretação e aplicação inconsistentes, alto grau de ambiguidade dos conceitos, incluído uma compreensão incompleta dos problemas de degradação ambiental, pobreza e o papel do crescimento econômico (MORI; CHRISTODOULOU, 2012; SLIMANE, 2012).

É importante considerar sobre esse aspecto, o estudo sobre esse conceito, o conhecimento mais aprofundado da sustentabilidade, nesse ponto é de suma importância a Educação Ambiental para melhor análise dos conceitos, de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental, esse estudo permite:

Art. 3º A Educação Ambiental visa à construção de conhecimentos, ao desenvolvimento de habilidades, atitudes e valores sociais, ao cuidado com a comunidade de vida, a justiça e a equidade socioambiental, e a proteção do meio ambiente natural e construído (RESOLUÇÃO CNE/CP nº 2, 2012, p. 2).

Ainda coloca que: “Art. 5º A Educação Ambiental não é atividade neutra, pois envolvem valores, interesses, visões de mundo e desse modo devem assumir na prática educativa, de forma articulada e interdependente, as suas dimensões política e pedagógica” (RESOLUÇÃO CNE/CP nº 2, 2012).

Nesse contexto, outra ferramenta que auxilia no entendimento desses conceitos são os indicadores que podem avaliar a eficiência dos recursos produtivos sob o contexto da sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômica (PHILIPPI JUNIOR, 2005). A utilização desses indicadores tem sido cada vez mais frequente em empresas de setores específicos como o setor elétrico no Brasil para que possam auxiliar na mensuração ou na gestão da sustentabilidade e levam em consideração a exploração de recursos naturais e dos impactos de suas operações no ambiente e na sociedade, avaliando assim, a sua eficiência (GAVIÃO et al., 2017).



## 2.2 Indicadores de sustentabilidade

Em meados da década de 80, com o lançamento do conceito de desenvolvimento sustentável e sua popularização, um dos principais desafios passou a ser a escolha de instrumentos para sua mensuração, que passariam a subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável (PORTAL AMBIENTE LEGAL, 2016).

Uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por Rees (1992) com o desenvolvimento de um índice denominado Pegada Ecológica ou EF (do inglês *Ecological Footprint*). A metodologia original consistiu em construir uma matriz de consumo/uso de terra, considerando cinco categorias principais do consumo (alimento, moradia, transporte, bens de consumo e serviços) e seis categorias principais do uso da terra (energia da terra, ambiente (degradado) construído, jardins, terra fértil, pasto e floresta sob controle). O objetivo deste índice é calcular a área de terra necessária para a produção e a manutenção de bens e serviços consumidos por uma determinada comunidade (WACKERNAGEL; REES, 1996, SICHE et al., 2007).

Em uma análise superficial, índice e indicador possuem o mesmo significado. Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para Mueller et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado. Para Shields et al. (2002), um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. Prabhu et al. (1996) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos.

No Brasil, a construção de indicadores de sustentabilidade foi inspirada no movimento internacional, liderada pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS) das Nações Unidas, ao longo da década de 1990. A partir de então teve início um programa de trabalho composto por diversos estudos e intercâmbios de informação, para concretizar as disposições dos capítulos 8 e 40 da Agenda 21, que tratam da relação entre meio ambiente, desenvolvimento sustentável e informações para a tomada de decisões (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

Os indicadores de sustentabilidade surgiram a partir de um trabalho conjunto de especialistas de diversas disciplinas, políticos, cientistas e a sociedade organizada em geral.

Um aspecto importante da dinâmica de uso desses indicadores é abranger duas vertentes. Por um lado, apresentam uma forte componente científica, interligada com a tradição das ciências naturais e exatas, que buscam a observação, análise, mensuração e prognóstico de problemas inerentes ao comportamento dos sistemas naturais sob a pressão humana. Por outro lado, há também um grande direcionamento político-administrativo que busca orientar a composição e o uso dos indicadores para os aspectos socioeconômicos, com foco nas necessidades humanas, valendo-se do estabelecimento de regras e padrões (RAMETSTEINER et al., 2009).

Algumas caracterizações dos indicadores de sustentabilidade foram traçadas por diferentes autores e basicamente se resumem em duas vertentes que se complementam: a da norma e a da ciência. Para Rametsteiner et al. (2009), os aspectos científicos dizem respeito à necessidade de precisão, acurácia e de prevenção de tendências dos indicadores. Já as normas, segundo Teodoro (2021), referem-se à capacidade de rápida compreensão, clareza e aceitação de medidas que se propõem a fazer para monitorar e controlar o ambiente no que diz respeito às pressões e respostas que, respectivamente, sofre e oferece na interação com humanos.

Segundo Sato (2003), uma condição chave para fazer e medir o progresso quanto a sustentabilidade é que as pessoas que tomam as decisões tenham melhor acesso a dados relevantes. Para isso que se têm os indicadores: instrumentos para simplificar, quantificar e analisar informações técnicas e para comunicá-las para os vários grupos de usuários.

Um bom indicador alerta sobre um problema antes que ele se torne muito grave e indica o que precisa ser feito para resolver tal problema. Em comunidades em crises (sejam sociais, econômicos ou ambientais), os indicadores ajudam a apontar um caminho para a solução dessas crises, e assim para um futuro melhor. Para a tomada de decisões políticas, normalmente são adotados indicadores sociais e econômicos. Porém, para monitorar e avaliar as mudanças e seus impactos no ambiente são necessários indicadores comparativos. Um indicador econômico não leva em conta efeitos sociais ou ambientais, assim como indicadores ambientais não refletem impactos sociais ou econômicos ou os indicadores sociais não consideram efeitos ambientais ou econômicos (SATO, 2003, p. 1).

Indicadores de sustentabilidade não são indicadores tradicionais de sucesso econômico e qualidade ambiental. Como a sustentabilidade requer uma visão de mundo mais integrada, os indicadores devem relacionar a economia, o meio ambiente e a sociedade de uma comunidade (SATO, 2003).

Valores de indicadores de sustentabilidade são calculados de variáveis de transporte e de uso de terra. Esses valores são postos em uma escala que varia de 0 a 1, sendo 1 o valor atribuído quando se alcança a meta determinada por um indicador. Os indicadores de sustentabilidade são divididos em componentes sociais, econômicas e ambientais, e para cada

componente são dadas pesos em relação as outras, através da comparação da importância de alcançar as metas de cada indicador. Usando esses "pesos", os indicadores são agregados e se tornam índices de sustentabilidade para alcançar essas metas (SATO, 2003).

Os indicadores de sustentabilidade são divididos em quatro aspectos: qualidade ambiental, pressão humana, atividades humanas e impactos prejudiciais. O primeiro desses é inerente a questões científicas (componentes de ecossistemas, meios físico e biótico não humano) e os demais são questões normativas (efeitos da ação humana em suas dimensões sociais, econômicas, comportamentais) (RAGAS et al., 1995). Deponi (2001) definem como atributos dos indicadores de sustentabilidade: objetividade, significância, rastreabilidade/validade de constructos, capacidade de contribuição para a participação de comunidades locais em sua elaboração, capacidade de agregação e síntese de diversas informações sobre o estado de um sistema ecológico, social e econômico.

Com base nesses princípios, os indicadores de sustentabilidade evoluíram em três gerações. Uma primeira denominada geração clássica, mostra dados sobre a condição ou estado do ambiente (emissões de dióxido de carbono, pH da água, etc.). Uma segunda referente aos compostos que atingem mais de uma dimensão de atividades humanas e aspectos ambientais sem relacionar as duas (percentual de população que dispõe de rede de esgoto, disponibilidade de água potável, etc.). Por fim, uma terceira que diz respeito aos indicadores integradores ou transversais, que consideram relações entre dimensões econômica, ecológica e social (correlação entre qualidade do ar e doenças respiratórias em uma população).

O mais popular dos sistemas de indicadores ambientais é o Pressão-Estado-Resposta (PER). O modelo foi desenvolvido e recomendado originalmente pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1993 e vem sendo utilizado, por outras agências internacionais como a Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (UNSTAT) e a Divisão de Estatísticas da Comunidade Européia (EUROSTAT). De maneira geral, o modelo busca descrever a dinâmica de um problema ambiental, avaliando a pressão ambiental decorrente de uma ação humana. Tais pressões alteram o estado original do sistema ambiental, causando danos na fauna e na flora. Alterações desse tipo podem levar, em alguns casos, a respostas por parte dos órgãos governamentais e alguns argumentos têm sido apresentados para a necessidade de maior valorização dos indicadores de pressão, já que eles permitem um alerta, gerando definição de políticas (AZAR et al., 1996).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) vem utilizando uma versão ampliada do modelo PER na elaboração da série *Global Environment Outlook* (GEO),

chamado de Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR). Numa tentativa de maior sistematização, nos modelos PER e PEIR, foram introduzidas algumas modificações teóricas para sua aplicação em problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável. Nesta aproximação, são identificadas cadeias isoladas de causa e efeito de um problema ambiental específico e os indicadores correspondentes são monitorados.

O que mais se opõe a essa aproximação é que ela não leva em consideração a natureza dinâmica e sistêmica dos processos nos quais se encontra, onde as interações não apresentam uma causalidade tão direta e exclusiva. Segundo Bossel (1999), a obtenção de representação de cadeias de impacto através de PEIR é complexa e frequentemente não se constitui em uma aproximação adequada.

Em todo o mundo, há um claro processo de desenvolvimento conceitual, metodológico e instrumental. As experiências compreendem tentativas que usam escalas diversas (nacional, estadual, municipal) e metodologias diferentes entre si (QUIROGA-MARTINEZ, 2003). Alguns países buscam indicadores de sustentabilidade, por outro lado, outros procuram criar indicadores, que englobem as dimensões econômica, social, ambiental e institucional.

## **2.3 Sustentabilidade na construção**

### ***2.3.1 Certificações ambientais***

Na contramão de todo problema relacionado ao meio ambiente causado pela construção civil, existem tentativas de reverter essa situação de maneira consciente, e interdisciplinar. Uma delas são os incentivos que certificações ambientais trazem como proposta para disseminar a cultura da sustentabilidade, desde a produção de insumos, obra e uso da edificação. Como uma forma de atestar e legitimar o emprego dessas soluções e tecnologias na construção civil.

Como aponta Grunberg, Medeiros e Tavares (2014), existem quatro principais certificações usadas no Brasil para edificações residenciais: a Leed, Aqua, Procel e Casa Azul. A sustentabilidade é um tema constantemente em alta no mercado da construção civil, sendo preocupação entre as construtoras e incorporadoras que estão se dedicando a desenvolver empreendimentos cada vez mais econômicos e sustentáveis para atender a essa demanda crescente pelos selos e certificações que fornecem credibilidade, e atestam a qualidade para os empreendimentos. De acordo com a coordenadora técnica do Comitê de

Meio Ambiente do Sinduscon em São Paulo, Lilian Sarrouf, para um empreendimento ser considerado sustentável, ele precisa seguir vários requisitos, como:

Tem que ter um olhar para alguns quesitos e pensar em vários aspectos, por exemplo, a escolha dos materiais, a escolha dos sistemas construtivos e, por fim, como será definido o próprio empreendimento (...). Para um edifício ser considerado sustentável, o ideal é que ele tenha requisitos que o cliente (usuário final) demanda – e ele quer o uso inteligente da água, ele quer eficiência energética e outros critérios que garantem a certificação de bem-estar, que é pensar em ambientes que preenchem vários requisitos a fim de gerar conforto e bem-estar para os consumidores no ambiente em que ele vive (SARROUF, 2019, p. 1).

De acordo com Sarrouf (2019), um edifício pode ser sustentável e não necessariamente ser certificado, devido à importância ser a disseminação e o incentivo para que se adotem práticas de sustentabilidade. Segundo Barcelos (2019), em obra a sustentabilidade é uma tendência crescente de mercado e seus resultados reverberam em todas as etapas de vida útil de uma edificação bem como no próprio meio ambiente.

A crescente demanda por edifícios verdes, ou construções sustentáveis, determina que o setor se adapte as normas e padrões de desempenho cada vez mais exigentes e neste contexto uma certificação é fundamental, principalmente no que diz respeito à materialização de todos os conceitos e técnicas, nesse cenário, é onde entra e cabe conceituar e apontar um dos mais conhecidos sistema de certificação, e de maior potencial de crescimento: LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design* ou Liderança em Energia e Design Ambiental), que foi concebido pelo USGBC (*United States Green Building Council*), em 1998 (GRUNBERG; MEDEIROS; TAVARES, 2014). De acordo com Barcelos (2019) apud Instituto de Engenharia (2014), sem a sua contribuição é impossível atingir os níveis de desempenho exigidos nesse contexto e serve como referência e instrumento de pesquisa.

A LEED é um método de classificação baseado na harmonização, neste contexto que a certificação cabe como um “atestado de qualidade ambiental”, que atestam boas práticas de uma empresa em atendimento a uma série de exigências da sociedade em relação à responsabilidade quanto aos padrões de produção (SEBRAE, 2015). Segundo Barcelos (2019), em função do impacto ambiental, da saúde humana e da regionalização trata-se da principal plataforma utilizada para o GBC (*Green Building Council* Brasil ou edifícios verdes).

A redução da emissão de CO<sub>2</sub> e a eficiência energética são itens considerados de maior importância neste sistema de avaliação cuja certificação funciona para todos os edifícios e pode ser aplicado a qualquer momento no empreendimento. O selo certifica, em específico, edifícios a partir de uma lista de pré-requisitos e de maneira geral, a certificação

LEED é um símbolo mundialmente reconhecido de sustentabilidade. Esse documento avalia o desempenho ambiental das construções por meio de pontuação atribuída pelo preenchimento dos requisitos de cada critério adotado na construção através de quatro níveis: Certificado, Prata, Ouro e Platina, ilustrada na Figura 2 (STEFANUTO; HENKES, 2013).

**Figura 2 - Certificados da GBC Brasil**



Fonte: GBC, 2020.

Como explica o GBC (2020), o LEED funciona como um sistema de pontuação, onde é necessário definir a tipologia de acordo com as características do empreendimento. Depois são analisadas as estratégias sustentáveis adotadas dentro das categorias de cada tipologia. Cada um conta com pré-requisitos (ações obrigatórias) e créditos (que somam pontos); Conforme o número de pontos alcançados (mínimo 40 – máximo 110 pontos), o projeto pode ganhar um dos quatro níveis de classificação LEED: Certificado (*Certified*), Prata (*Silver*), Ouro (*Gold*) ou Platina (*Platinum*).

São estas e outras soluções e exigências ambientais com a saúde global que têm, portanto, motivado um número crescente de projetistas, construtores e usuários para buscar estratégias ambientalmente mais sustentáveis de projeto e construção com a certificação LEED dentre as vantagens são:

- a) Econômicas: vão desde a diminuição dos custos operacionais, até a valorização do imóvel para revenda ou aluguel, o aumento na velocidade de ocupação e retenção, bem como a modernização e menor obsolescência da edificação;
- b) Sociais: são os menos comentados, porém não são os menos importantes. A certificação leva em conta a saúde dos trabalhadores e ocupantes, a inclusão social e o senso de comunidade, assim como a capacitação profissional e a conscientização de trabalhadores e usuários;

- c) Ambientais: não só a redução da extração dos recursos naturais, do consumo de água e energia, da emissão de CO<sub>2</sub> e dos resíduos gerados, como também a mitigação dos efeitos das mudanças climática.

Tocante a posição da certificação LEED no Brasil, colhe-se segundo os dados do mês de abril de 2018, que o Brasil ocupa a lista de top 5 e possui 966 empreendimentos registrados, sendo 235 já certificados. São mais de 23,4 milhões de m<sup>2</sup> registrados, sendo 4,5 milhões de m<sup>2</sup> já certificados. No mundo, ainda segundo os dados recentes, existem 96.295 empreendimentos registrados, sendo 43.370 já certificados (BARCELOS, 2019).

Um dos desafios segundo a plataforma da agenda 2030, é trazer soluções ao conjunto de ações e diretrizes que guiarão os trabalhos das Nações Unidas e de seus países membros rumo ao desenvolvimento sustentável e construir cidades cada vez mais sustentáveis e ambientalmente eficientes.

O ciclo de vida da construção civil é bastante prolongado (30 a 50 anos), o que torna as análises dos impactos positivos e negativos bastantes complexos, dificultando a opção do mais adequado método a fim de conceituação, materiais, tecnologias e projetos que precisam estar existentes nos espaços construídos. A estratégia precisa objetivar a melhor qualidade do local em correlação aos desejos dos usuários, bem como reparar questões como eficiência, flexibilidade e durabilidade de usos ou adaptações as ações futuras e bastante fundamentais, no consumo de recursos naturais (AGOPYAN et al., 2011).

De acordo com Rovers (2001), a construção civil impacta o meio ambiente através da ação humana, especialmente nas fases de construção, operação, manutenção e demolição das edificações. Em relação a isso, há um gradativo interesse em reduzir os impactos ambientais e estabelecer técnicas a fim de mitigação do consumo dos recursos não renováveis, economia de energia.

Qualquer construção similarmente sustentável está de modo direto ligado à sua estabilidade e à sua capacidade de sobreviver adequadamente no decorrer do tempo, respondendo as condições de poluição da atmosfera, do solo e da água e aos impactos ao meio ambiente (BLUMESCHEIN, 2009).

Chaves (2014) e Silva et al. (2017), destacam a política dos 5 R's para uma construção sustentável:

- Reduzir: diminuir ao máximo o consumo de qualquer coisa que seja principalmente na diminuição da criação de lixo;
- Reutilizar ou Reaproveitar: utilizar novamente, mesmo que para outro fim;

- Reciclar: transformar algo usado em algo totalmente novo, com a mesma característica do velho ou mesmo sendo feito outro produto, sendo assim usado apenas o material para confeccionar o produto reciclado. A reciclagem envolve a transformação física, química ou biológica do material e o seu retorno ao ciclo de uso;
- Repensar: refletir sobre os processos socioambientais de produção, desde a matéria-prima, passando pelas condições de trabalho, distribuição, até o descarte. Repensar a real necessidade de consumo aos nossos hábitos;
- Recusar: Recusar produtos que causem danos ao meio ambiente e/ou para nossa saúde.

Silva et al. (2017) pontuam que, a política dos 5R's, objetiva levar os cidadãos a repensar seus valores e práticas, reduzindo o consumo exagerado e o desperdício. Trata-se, portanto de uma alternativa que faz com que o indivíduo repense seus hábitos em prol de um objetivo comum: preservar o meio ambiente.

Segundo Organização das Nações Unidas (ONU) 2020:

Chegamos a um ponto na História em que devemos moldar nossas ações em todo o mundo, com maior atenção para as consequências ambientais. Defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações se tornou uma meta fundamental para a humanidade (ONU, 2020, p. 1).

De acordo com o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA) de 1999, o método construtivo que visa garantir qualidade de vida as gerações atuais e futuras é a construção sustentável, onde promove modificações no entorno de modo a reparar necessidades da construção e utilização do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais. Os aspectos econômicos, sociais e ambientais precisam ser contemplados em qualquer projeto da construção.

A base de desenvolvimento sustentável na construção civil é apoiada no *Triple Bottom Line* “3BL”, termo criado por John Elkington, que introduziu novos princípios ambientais na década de 1960 e trouxe uma importante constatação: caso os empresários e governantes não cuidassem do enfoque ambiental, as empresas ficariam carentes de matéria prima e talvez sem consumidores, além da contribuição para a devastação do planeta.

Na atualidade, considera-se que qualquer construção é sustentável no momento que ela engloba estes três aspectos. No Quadro 2 é observado de maneira resumida as ênfases do *Triple BottomLine*.



**Quadro 1 - Principais conceitos do Triple BottomLine**

Conceitos	Descrição
Economicamente viável	Reduzir custos de operação; Elevar o valor do ativo imobiliário e os lucros; Aumentar a produtividade e a satisfação dos empregados; Otimizar o desempenho econômico no ciclo de vida.
Socialmente desejável	Melhorar as condições do ar, térmicas e acústicas dos ambientes; Elevar os níveis de salubridade e conforto para os ocupantes; Contribuir com a saúde, vitalidade e estética para a comunidade local.
Ecologicamente sustentável	Desenvolver e proteger habitats naturais; Melhorar a qualidade do ar e água; Reduzir a produção de resíduos sólidos; Preservar recursos naturais; Diminuir a emissão de gases poluentes.

Fonte: Adaptado da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (2015).

## 2.4 Construção sustentável

Figuerola (2017) traz o que diz Valério Gomes Neto, conselheiro do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) acerca do que é uma edificação sustentável. Para ele, uma edificação sustentável é aquela que quantifica os impactos que causa ao meio ambiente e à saúde humana, empregando todas as tecnologias disponíveis para mitigá-los. Também:

É um edifício que consome menos energia, água e outros recursos naturais, considera o ciclo de vida dos materiais utilizados e o da edificação desde o seu projeto, passando pela construção, operação e manutenção, até o esgotamento da sua destinação original (GOMES NETO, 2008, p. 1).

De acordo com Oliveira (2016), construção sustentável é um termo utilizado para designar obras que visam causar o mínimo dano possível ao meio ambiente, através de técnicas e materiais para que a obra se integre a natureza, e não tomando parte dela. Hoje em dia está cada vez mais nítido o quanto o meio ambiente precisa ser respeitado devido aos grandes prejuízos que vem sendo causas de tantas perdas ambientais, portanto, a força da circunstância exige-se um olhar mais cauteloso no projeto e na obra para que as soluções adotadas tragam uma boa conexão, integralizando o uso consciente de recursos finito, como a água e energia elétrica, solo e ar.

É importante ressaltar que não existe material de construção totalmente sustentável para qualquer uso, pois a sua sustentabilidade está diretamente relacionada à situação em que se insere, ou seja: função que deve cumprir (revestimento, vedação, estrutura, etc.), local que será aplicado (piso, parede, teto, cobertura, etc.), uso que será dado a esse material (comercial, residencial, industrial, etc.), modo de produção (artesanal, industrial), região em que se localiza a obra, zona bioclimática, hábitos e costumes do usuário, etc. (FLORES, 2011, p. 13-14).

Com novas tecnologias e intervenções criadas para a melhora e sendo melhoradas a cada dia, é possível alcançar o sucesso de uma obra em sua integração com o meio ambiente. Como exemplo com o uso de materiais ecológicos ou reaproveitados, como por exemplo, blocos e tijolos fabricados com sobras da própria obra, adoção de sistemas de aquecimento solar de água e tratamento de águas com sistemas de filtros de drenagem a fim de melhorar o consumo (ANTUNES, 2009).

A ideia de construção verde é uma tendência de mercado que a cada dia toma mais espaço e propriedade. Obter o sucesso em uma obra, deixando-a sustentável é de fundamental importância para o indivíduo e o planeta. Aumentou-se a preocupação das empresas em construir se adaptando e aceitando essa nova tendência global de forma mais ecológica e sustentável. E com a maior pressão vinda do mercado para que o setor da construção invista em tecnologias sustentáveis e entregue obras que causem menos prejuízos ao meio. Principalmente porque segundo John, Oliveira e Lima (2007), o setor de construção civil chega a consumir até 75% dos recursos extraídos da natureza, e ainda com o agravante de a maior parte não ser renovável. A produção, o transporte e o uso de materiais contribuem para a poluição global, bem como as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes do ambiente externo de edificações. A CBIC (2020) destaca a importância da Construção Civil no processo de recuperação e consolidação da economia e por esse grande motor que liga essa economia de enxerga cada dia mais a necessidade de tornar os processos, aprimorar as técnicas e buscar por materiais que busquem degradar o mínimo do meio ambiente, que o conceito de construção sustentável surgiu denominado também de construção verde.

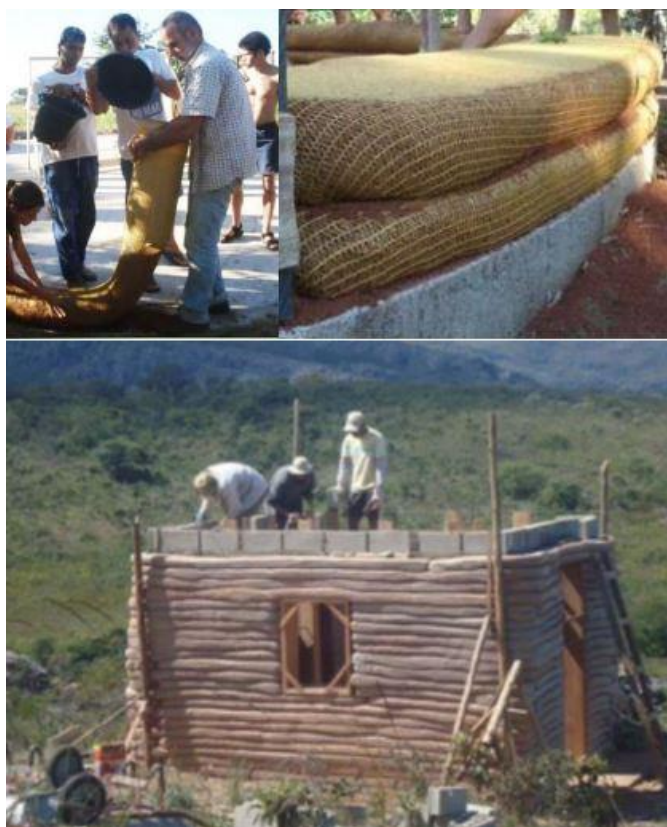
Cantarino (2006) aborda que, a construção sustentável é uma modalidade de arquitetura e construção que agrega tecnologias milenares com as mais modernas, não apenas dos sistemas de construção, mas de todas as fases, principalmente da pós ocupação das moradias. Sendo assim, na seção 2.4.1 são apresentadas as técnicas milenares e modernas que podem contribuir com a sustentabilidade das construções.

### 2.4.1 Técnicas milenares e modernas

As técnicas milenares são sistemas utilizados para aproveitar materiais ecológicos encontrados no próprio lugar da obra com o intuito de obter algo viável economicamente e ambientalmente. Estas técnicas combinam a utilização de várias matérias-primas naturais como a construção de alicerces e paredes a partir de pedras, madeira reciclada, bambu, terra e argila.

No Brasil, a utilização da terra para edificar ocorreu após a chegada dos portugueses, que foram os responsáveis pela introdução dessa técnica no Brasil, pois segundo Milanez (1958), os índios desconheciam tal atividade. Ao contrário destes últimos, os negros, trazidos como escravos, já conheciam esse modelo construtivo, caracterizados pelo formato Hiperadobe e Taipa de Mão, ilustrados nas Figuras 3 e 4 respectivamente (CARVALHO, 2012).

**Figura 3 - Hiperadobe em construção**



Fonte: Santos (2015).

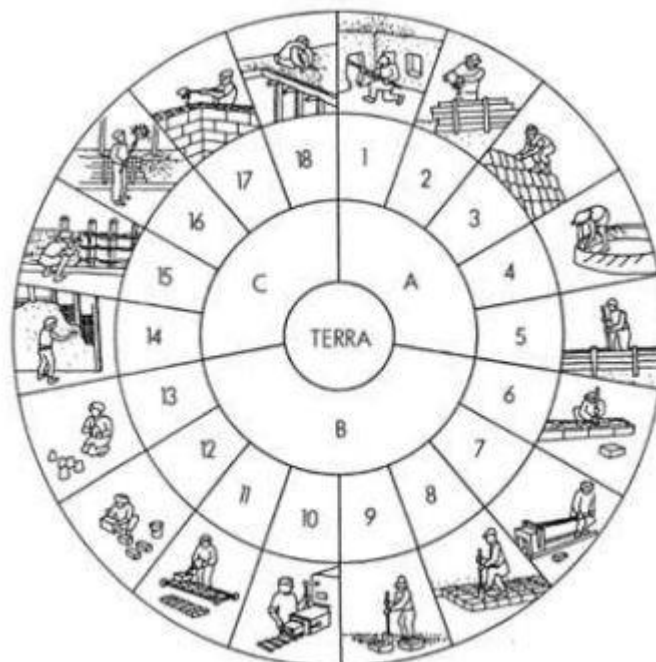
**Figura 4 - Detalhe da parede de taipa de mão**



Fonte: Olender (2006).

Na Figura 5 é apresentado o resumo em diagrama da evolução das diferentes técnicas milenares e modernas dos sistemas construtivos.

**Figura 5 - Diagrama dos diferentes grupos de sistemas construtivos antigos e modernos que utilizam a terra como matéria-prima**



Fonte: Guillard e Houben (1989).

De acordo com a Figura 5, Cordeiro et al. (2018) explica a subdivisão dos diferentes grupos de sistemas construtivos antigos e modernos, onde no subgrupo A congrega os sistemas monolíticos (*in situ*) compreendem alternativas em que não existe separação entre

material e componente construtivo – a transformação do solo e a edificação são constituídas num mesmo processo, podendo ser executadas de várias técnicas:

- (1) terra escavada, utilizada desde a pré-história, consiste em escavar o solo em zonas em que este apresente boas características mecânicas, na horizontal ou na vertical, formando grutas;
- (2) terra plástica, a terra moldada para construir blocos, que permite uma maior facilidade de moldagem e desmoldagem;
- (3) terra empilhada ou cob, que consiste em sobrepor por fiadas, montículos de terra misturada com palha. No fim, a estrutura é regularizada, aparando o material por corte vertical;
- (4) terra modelada, que se baseia em moldar barro à mão, construindo em altura por faixas; e,
- (5) terra compactada, onde o material é compactado entre fôrmas que se chamam taipais. A compactação pode ser feita manualmente, com um pilão de madeira ou, mais recentemente, com equipamentos pneumáticos (CORDEIRO et al., 2018).

O subgrupo B (Figura 5) é relativo aos sistemas em alvenaria tratam de vedações em terra, portantes ou não, utilizando blocos. Esses sistemas podem constituir diversas formas como arcos, cúpulas e abóbodas permitindo, assim, a flexibilidade de seus modos de construção. Na sua execução são utilizados diferentes tipos de unidades pré-fabricadas, que após a secagem, integram a construção (CORDEIRO et al., 2018). São exemplos:

- (6), (7), (8) e (9) blocos apilados, prensados, cortados e em torrões, respectivamente, que podem ser simplesmente apilados à mão, usando formas de madeira e um pilão ou recortados diretamente na terra. Modernamente, estes blocos são fabricados com o auxílio de máquinas e constitui os chamados BTC (blocos de terra comprimida), outra das técnicas com grande significado na nova construção de terra;
- (10) terra extrudada, que deriva do modo de produção dos tijolos cerâmicos. Consiste num método de fabricação por extrusão que permite obter não só blocos para alvenaria, mas também placas pré-fabricadas que podem ser aplicadas como revestimento de paredes;

- (11), (12) e (13) adobes mecânico, manual e moldados, respectivamente, que são blocos de terra bastante argilosa e areia, moldados sem compactação e secos ao sol, normalmente no próprio local da construção (CORDEIRO et al., 2018).

O subgrupo C (Figura 5) é representado pelos sistemas mistos, que consistem na associação de uma estrutura suporte no qual a utilização da terra é um elemento secundário, para encher ou revestir outras estruturas, que podem ser de madeira ou de outros materiais de origem vegetal, como cana e bambu (CORDEIRO et al., 2018). Fazem parte desse sistema:

- (14) a terra de recobrimento, utilizada para revestimento sobre estruturas de terra de vários dos tipos, como taipa e adobe;
- (15) a terra sobre engradado ou terra de guarnição, em que se inclui a taipa de mão e que consiste na aplicação de terra sobre uma estrutura de madeira ou bambu (CORDEIRO et al., 2018).

Na construção civil, o surgimento de tecnologias fez com que muitos dos meios de produção artesanais presentes até então, fossem, aos poucos, sendo abandonados, substituídos por materiais e procedimentos que viriam a se universalizar. Entretanto, conforme afirmam Azevedo et al. (2015), no século XX, essa situação se modificou. Azevedo et al. (2015) e Galdino (2010) relacionam à luz da engenharia moderna, as construções contemporâneas com terra ao conceito da bioarquitetura, na qual o movimento moderno despertou em profissionais da área construtiva, possibilidades técnicas do uso desse material.

No contexto ambiental, Santos (2015) discorre sobre a utilização de terra como alternativa sustentável por apresentar materiais recicláveis e de baixa energia incorporada, contraposto aos materiais altamente industrializados como cimento, aço e blocos cerâmicos. Desta forma, no Brasil e no mundo, têm-se desenvolvido novos estudos e normas acerca de possibilidades construtivas na atualidade.

As técnicas modernas enquadram-se no uso das tecnologias empregadas nas construções civis para melhorias de tempo e custo. Exemplos de técnicas modernas são a utilização de impressão 3D, sensores vestíveis, concreto que brilha no escuro, entre outras que não estão relacionadas com a construção sustentável (LIMA, 2018).

Um exemplo da utilização e aplicação da impressão 3D na construção civil ocorreu com a empresa WinSunda China, que construiu um prédio de cinco andares inteiramente com

o uso de impressora 3D. O equipamento foi responsável pela confecção dos contornos do edifício e de peças para a sua montagem (Figura 6) (LIMA, 2018).

**Figura 6 - Edificação construída usando impressão 3D**



Fonte: Lima (2018).

Como aponta Silva e Pereira (2019), a modalidade de bioconstrução é um dos recursos de sustentabilidade que cada vez mais orientam a construção civil, dá ênfase no uso de recursos naturais locais, com a aceitação de recursos eventualmente industrializados em contextos como o de reuso ou reciclagem, e a associação à ideia de construção feita com materiais de baixo impacto ou de impacto positivo (materiais locais e materiais naturais). A Figura 7 mostra um exemplo de habitação construída através da bioconstrução.

**Figura 7 - Habitação construída através da Bioconstrução**



Fonte: Silva e Pereira (2019).



De acordo com a Figura 7, verifica-se que os materiais usados nesta construção são em sua maioria de origem natural, os produtos industrializados são integrados na construção de forma consciente, somente ao necessário. A origem dos materiais usados é obtida quase em sua totalidade em áreas muito próximas a construção, até mesmo a fabricação dos tijolos de adobe, material principal da obra (SILVA; PEREIRA, 2019).

Sendo assim, a construção sustentável coaduna essas duas tecnologias. Sua aplicação depende, principalmente, da avaliação do local da obra para a escolha da técnica a ser implantada. Em construções civis, o teste para bioconstruções não se trata apenas de materiais ecológicos que não agridem o ambiente, mas também o pós-ocupação, que determina a maneira de como será habitável e qual fonte de energia será utilizado na construção.

#### ***2.4.2 Características de uma construção sustentável***

A caracterização de construção sustentável reúne diversos tipos de procedimentos e técnicas destinadas à redução, até mesmo a execução dos impactos das construções em relação ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos. Uma de suas notáveis preocupações é o aproveitamento dos recursos renováveis, tendo como exemplo, a utilização de luz solar, a aplicação de telhados verdes e grandes jardins para absorção da água de chuva no solo (CHAVES, 2014).

Segundo IDHEA (1999), as principais características de uma construção sustentável são:

- A gestão sustentável da execução da obra;
- A utilização mínima de energia e água na implantação da obra e ao longo de sua vida útil;
- O uso de matérias-primas ecoeficientes;
- A geração de menor quantidade de resíduos e contaminação ao longo da sua vida útil;
- Utilização mínima de terreno e integração ao ambiente natural;
- A não provocação ou redução dos impactos nos entorno-paisagem, temperaturas e concentração de calor e sensação de bem estar;
- O estabelecimento de um ambiente interior saudável;
- O estabelecimento de saúde e bem estar aos que habitam.



De acordo com IDHEA (1999), o setor que mais consome matéria-prima e recursos naturais no mundo, é a construção civil, sendo também grande causador dos gases que provocam o efeito estufa, identificando toda cadeia que une fabricantes de materiais e usuários finais como construtoras e empreiteiras.

Em detrimento dessa atividade um subproduto é gerado: resíduos, de diversas naturezas. É também responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não-renováveis. Sendo um dos maiores vetores responsáveis pelos impactos ambientais no planeta, seja direta ou indiretamente (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) são gerados 122.262 toneladas de resíduos por dia, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2014. Um número bastante expressivo que diz muito a respeito do volume que vem sendo construído nas cidades; com a expansão das mesmas, comparado ao avanço econômico e social da sociedade. Melo (2017), relata os principais problemas relacionados aos impactos ambientais da indústria da construção civil, sendo o maior deles a geração de resíduos, ruídos (poluição sonora), desperdício de água e interferência em lençóis freáticos, poluição do ar, água e solo, e aumento do consumo de energia. Consequentemente todos contribuem para o aumento do aquecimento global, que é um dos maiores problemas que enfrentamos nesse século.

Segundo Silva (2014), a geração de resíduos sólidos ainda é um grande desafio de ser gerido no Brasil, pela inexistência de uma legislação que regulamentasse a gestão de resíduos no país. A lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 criou distorções na solução deste problema, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Antes dessa lei os entes federados tinham liberdade para definir suas prioridades, estabelecer restrições às 16 atividades modificadoras e/ou degradadoras do meio ambiente criando assim um desequilíbrio entre os Estados, Municípios e a União, por não haver determinação de ações compartilhadas. Desta forma a PNRS que disciplina a gestão e gerenciamento de resíduos no Brasil é um grande passo para o desenvolvimento sustentável.

Segundo Brasileiro e Matos (2015), o Ministério do Meio Ambiente Brasileiro (MMA) setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção.

De acordo com Souza e Deana (2007, p. 7), a produção, o transporte e o uso de materiais contribuem para a poluição global, bem como as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes do ambiente externo de edificações. A cadeia produtiva da construção é responsável pelo consumo de 14% a 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. No Japão, responde por 50% dos materiais circulantes na economia, e nos EUA, relaciona-se a 75% dos materiais.

Portanto, observa-se que, não se torna possível alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a indústria da construção também se torne sustentável. A construção sustentável deve possuir uma atitude essencial no desenvolvimento e estímulo de toda cadeia produtiva que seja capaz de alterar seus processos a fim de um foco mais “eco”, de modo a reverter o quadro de destruição e contaminação ambiental, estabelecendo a conservação dos recursos naturais para as futuras gerações.

## **2.5 Energias renováveis**

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas (PACHECO, 2006).

As fontes renováveis de energia são repostas imediatamente pela natureza; é o caso dos potenciais hidráulicos (quedas d'água), eólicos (ventos), a energia das marés e das ondas, a radiação solar e o calor do fundo da Terra (geotermal). A biomassa também é uma fonte renovável de energia e engloba diversas subcategorias, desde as mais tradicionais (como a lenha e os resíduos animais e vegetais) até as mais modernas (como o etanol para automóveis, biodiesel, bagaço de cana para co-geração energética e gás de aterros sanitários utilizados para a geração de eletricidade). Estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentada, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; PACHECO, 2006).

Algumas formas de conversão de energias renováveis são, portanto, tradicionais. É o caso do fogão primitivo, movido a lenha catada ou desmatada. Por sua vez, as fontes modernas podem ser subdivididas em “convencionais” e “novas”. As “convencionais” são tecnologias dominadas e comercialmente disseminadas há muitas décadas, como é o caso das usinas hidrelétricas de grande e médio porte. As “novas” são aquelas que começam a competir

comercialmente com as fontes tradicionais, renováveis ou não. É o caso dos painéis solares fotovoltaicos, dos aquecedores solares, das pequenas centrais hidrelétricas (que, apesar de conhecidas, ainda não têm equipamentos a preços amplamente acessíveis), das usinas de geração de eletricidade a partir das ondas e marés, das turbinas eólicas, das usinas geotermiais, da biomassa “moderna” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). O Quadro 2 traz a classificação das fontes de energia.

**Quadro 2 - Classificação das fontes de energia**

Fontes		Energia primária	Energia secundária
Não-renováveis	Fósseis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carvão mineral petróleo e derivados gás natural.</li> </ul>	- Termoeletricidade, calor, combustível para transporte.
	Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiais fósseis.</li> </ul>	- Termoeletricidade, calor.
Renováveis	“Tradicionais”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassa primitiva: lenha de desmatamento.</li> </ul>	- Calor.
	“Convencionais”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenciais hidráulicos de médio e grande porte.</li> </ul>	- Hidreletricidade.
	“Novas”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenciais hidráulicos de pequeno porte;</li> </ul>	- Hidreletricidade.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais).</li> </ul>	- Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor.
	Outros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia solar;</li> <li>• Geotermal;</li> <li>• Eólica;</li> <li>• Maremotriz e das ondas.</li> </ul>	- Calor, eletricidade fotovoltaica; - Calor e eletricidade; - Eletricidade;

Fonte: Adaptado de Goldemberg e Lucon (2007).

É sabido que a forma de energia mais consumida no mundo está relacionada aos combustíveis fósseis, a qual se trata de um recurso esgotável. Os combustíveis fósseis são grandes causadores de problemas climáticos, que colocam em risco a sustentabilidade e o abastecimento a longo prazo do planeta (PASSOS, 2021). As mudanças climáticas e a segurança energética surgiram como as maiores preocupações do presente século. As fontes

de energia renováveis não são contínuas, mas pequenas mudanças em suas prioridades podem fazer uma grande diferença em termos de sustentabilidade (BONDARIK et al., 2018).

O mundo possui vastos potenciais renováveis, muitos dos quais já estão ao alcance da tecnologia atual. É o que acontece com a hidreletricidade, a energia eólica, os potenciais geotermiais e, especialmente no mundo em desenvolvimento, a biomassa moderna (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Uma energia limpa, como a energia solar, é importante para o controle e preservação do meio ambiente. Além de não retirar da natureza recursos essenciais à vida, a saber: a água potável, não emitir gases do efeito estufa, como os combustíveis fósseis, além de não poluir rios e mares com vazamentos como o petróleo (PASSOS, 2021).

Como aponta Melo et al. (2018), deve-se pensar nessas fontes como uma oportunidade estratégica para depender menos do combustível fóssil e das grandes usinas hidrelétricas, descentralizar o setor de energia elétrica, usar o enorme potencial de energia solar, eólica e da biomassa disponível no país e criar uma indústria respeitadora do meio ambiente. Nesse sentido, há uma conexão íntima entre fontes de energia renovável e desenvolvimento sustentável.

## **2.6 Energia solar**

A conversão de energia solar em energia elétrica a partir do princípio do elemento fotovoltaico é uma das formas mais promissoras de energia alternativa, sabe-se que painéis fotovoltaicos podem ser os grandes responsáveis pelo aumento da produção de energia limpa em grandes centros, seja para demandas residenciais ou empresariais, ganhando cada vez mais adeptos (PASSOS, 2021).

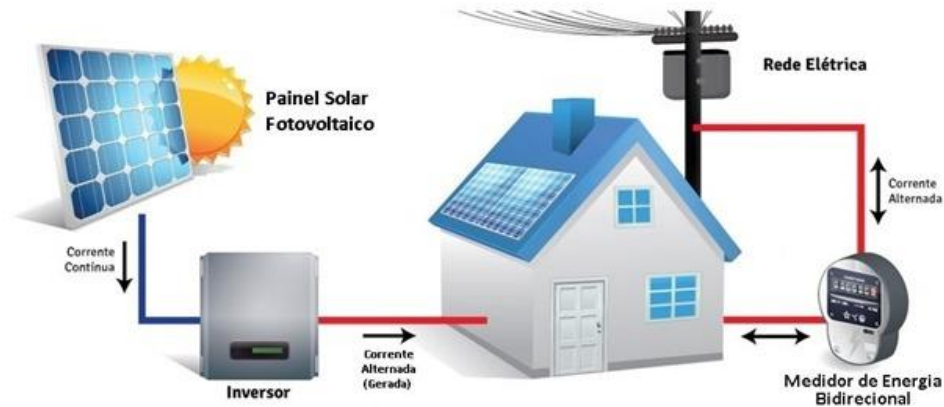
As fontes de energia renováveis que atendem aos requisitos domésticos de energia têm o potencial de fornecer serviços de energia com emissões zero ou quase zero de poluentes do ar e gases de efeito estufa (MAUAD et al., 2017).

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotoelétrico é produzido pela absorção da luz solar, causando diferenças de potencial na estrutura dos materiais semicondutores. Além dessa informação, Nascimento (2014, p. 1) afirma que “uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Ele só mantém uma corrente de elétrons no circuito enquanto a luz brilha sobre ele. Esse fenômeno é conhecido como “efeito fotoelétrico”.

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada a partir da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isso é feito através de um dispositivo chamado

fotocélula que funciona pelo princípio do efeito fotoelétrico (IMTEAZ et al., 2013). A Figura 8 apresenta uma representação típica de como funciona a energia solar.

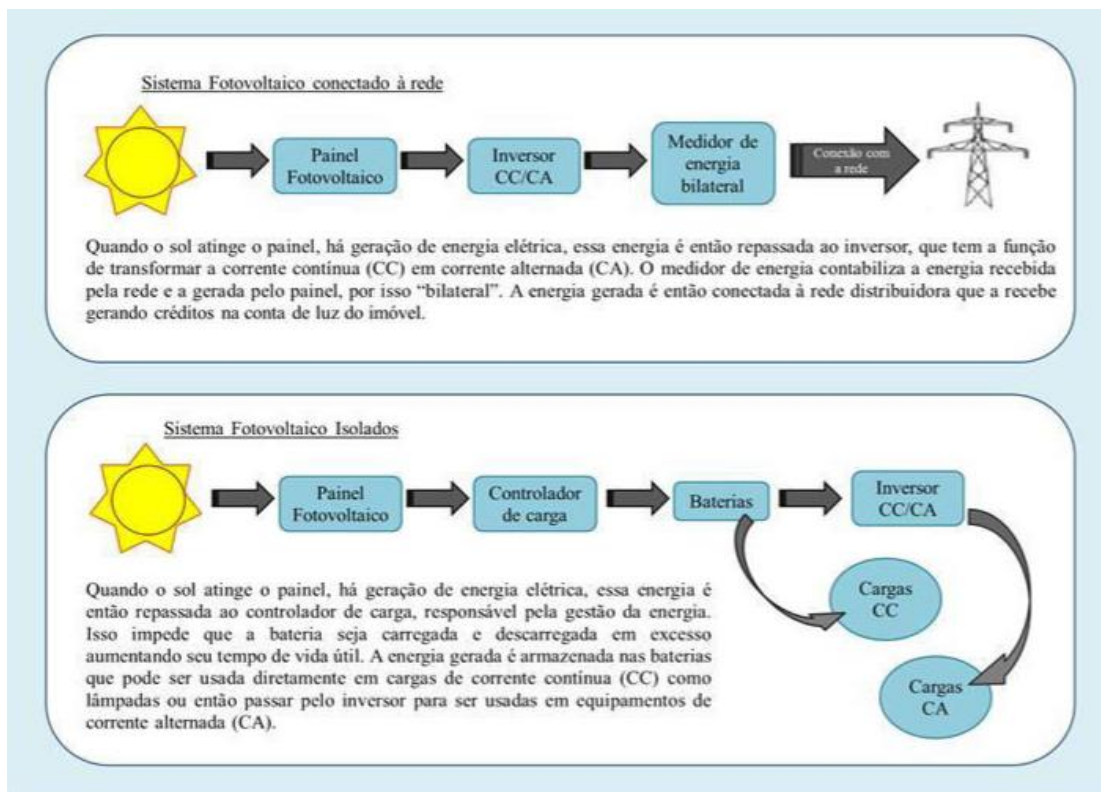
**Figura 8 - Funcionamento da Energia Solar**



Fonte: Mitrtech (2022).

A energia solar fotovoltaica pode existir de duas formas: uma delas é conectada à rede elétrica (Sistema *On Grid*) e a outra de forma isolada com uso de baterias (Sistema *Off Grid*). Na Figura 9 é possível ver as duas formas e como é feita sua esquematização.

**Figura 9 - Esquematização energia solar fotovoltaica**



Fonte: Machado e Miranda (2015).

Os sistemas não conectados à rede são sistemas que não dependem de redes elétricas convencionais para operação e podem ser utilizados em locais onde não há rede elétrica de distribuição. Existem dois tipos independentes: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado para recarregar baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e até mesmo em pequenos dispositivos móveis (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Já o segundo, além de ser frequentemente utilizado no bombeamento de água, é mais econômico, pois não utiliza um dispositivo de armazenamento de energia (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Já, os sistemas isolados, se referem a dispositivos que operam em paralelo com a rede de distribuição de energia. Em poucas palavras, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la em corrente alternada, é alimentada na rede elétrica. Esta conversão é realizada através do uso de um inversor que faz a interface entre o painel de controle e a rede elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Também existem os sistemas híbridos, em que a sua maior vantagem é a fonte de alimentação (armazenada na bateria), na ausência do sol, ou seja, em dias de baixa ou nenhuma geração. No entanto, é considerado um sistema complexo, pois deve integrar diferentes formas de geração de energia, como motores diesel ou a gás, ou turbinas eólicas (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

O Brasil, por sua grande diversidade de recursos e notável extensão territorial, oferece uma série de oportunidades na diversificação de sua matriz energética. Este fato é confirmado pela Resolução Normativa nº 82 de 17 de abril de 2012, que regulamenta a produção de energia por painéis solares fotovoltaicos (ANEEL, 2012). O alto índice de radiação solar em território brasileiro é o motivo pelo qual os avanços e incentivos tecnológicos são cada vez maiores.

Segundo a empresa alemã *German Solar Industry Association* (2015), a perspectiva mundial sobre a produção de energia por meio de módulos solares fotovoltaicos mostra que 100 *gigawatts* (GW) de capacidade instalada podem ser alcançados anualmente, evitando a emissão de 70 milhões de toneladas de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera. Estes demonstram a ordem de grandeza que os projetos solares fotovoltaicos podem alcançar com a tecnologia existente.

## **2.7 Telhados verdes**

O termo "telhados verdes" é frequentemente usados para descreverem telhados cobertos de vegetação. No entanto, o sentido é muito mais amplo, podendo se referir

atelhados com painéis solares, telhados brancos com alta emissividade e refletividade ou mesmo telhados com telhas duráveis. Portanto, para se referir ao telhado com revestimento vivo seria “telhado verde com vegetação” (2030 STUDIO, 2016). Para fins deste estudo, a nomenclatura “telhado verde” será utilizada para se referir aos telhados com revestimento vivo, sejam eles planos (Figura 10) ou inclinados (Figura 11).

**Figura 10 - Telhado verde plano**



Fonte: Savi (2012).

**Figura 11 - Telhado verde inclinado**



Fonte: Savi (2012).



Jobim (2013) define telhado verde como, sistemas construtivos que, de maneira geral, possuem uma manta, substrato e vegetação e são sobrepostos em coberturas planas ou inclinadas de edificações, com o objetivo de trazer benefícios sócio-econômicos e ambientais (isolamento térmico e acústico, biodiversidade, redução do escoamento superficial).

O histórico do uso de telhados verdes remonta há vários séculos, por exemplo, a aplicação dos telhados verdes tinha como função garantir o isolamento térmico das casas no inverno (SAVI, 2012). Pode-se ver um exemplo de residência com telhado verde na Figura 12.

**Figura 12 - Casas tradicionais cobertas com grama**



Fonte: Savi (2012).

Segundo Savi (2012), ao longo da história, diferentes culturas foram redescobrimo os telhados verdes e passaram a utilizar como forma de controle de enchentes e redução da poluição no ar, ao passo que empresas começaram a se especializar em tecnologias para serem empregadas em telhados verdes e as certificações ambientais começam a impulsionar o desenvolvimento desse nicho.

A certificação LEED, por exemplo, destaca o uso de telhados verdes como pontuadores indiretos para obtenção da certificação verde. Através do projeto de captação de águas pluviais, redução de uso de energia para aquecimento e resfriamento, redução das ilhas de calor etc. (SAVI, 2012).

Existem dois tipos de telhados verdes, os intensivos e os extensivos. Os tipos podem ser classificados de acordo com o uso e manutenção que o revestimento exigirá, e o cultivo pode ser intensivos conforme mostra a Figura 13 - eles incluem a seleção praticamente completa de espécies e plantas disponíveis para paisagismo, horticultura e agricultura em



geral, oferecendo combinações ilimitadas de formas, cores e texturas, sendo o porte da vegetação limitada pelas condições estruturais do edifício e necessita de irrigação, manutenção e adubação (MELO FILHO; MATOS, 2018). E extensivos, conforme mostra a Figura 14 - são utilizados apenas para proteger o telhado, utilizando vegetação adaptada à condições de telhado (sol, vento e baixa umidade), geralmente leve e de pequeno porte e com necessidade de manutenção de duas a três vezes no ano” (ZINCO, 2016).

**Figura 13 - Exemplo de telhado verde de uso Intensivo**



Fonte: Savi (2012).

**Figura 14 - Exemplo de cobertura de uso Extensivo**



Fonte: Savi (2012).

Ao dimensionar e instalar um telhado verde é importante proporcionar às plantas um ambiente de crescimento o mais próximo possível do ambiente natural, protegendo a edificação (ZINCO, 2016).

Também se podem classificar os telhados verdes segundo a tecnologia utilizada, podendo ser um sistema monolítico (Figura 15 a) - São sistemas onde a aplicação de

revestimentos e substratos ocorrem diretamente na cobertura sem a utilização de módulos pré-fabricados. A inclinação máxima permitida para esses sistemas é de 8,7% (ZINCO, 2016) - ou um sistema modular plantado *in loco* (Figura 15 b) - São sistemas que utilizam módulos pré-fabricados para formar a base estrutural da cobertura vegetal e irrigar a cobertura com sistema capilar, a inclinação máxima varia consideravelmente dependendo da tecnologia utilizada para evitar o deslizamento da superfície do substrato (MELO FILHO; MATOS, 2018).

**Figura 15 - Sistemas de telhado verde**



Fonte: Melo Filho e Matos (2018).

Outro exemplo de tecnologia do telhado verde são os sistemas modulares transportáveis (Figura 16), que consistem em sistemas que utilizam módulos pré-fabricados e podem proceder ao plantio em local diferente do local onde será aplicado o telhado verde. A inclinação máxima permitida neste sistema é de até 35% (MELO FILHO; MATOS, 2018).

**Figura 16 - Sistema modular transportável**



Fonte: Melo Filho e Matos (2018).

De acordo com Melo Filho e Matos (2018), o custo inicial de implantação de uma cobertura de telhado verde é superior ao de uma cobertura tradicional sem este revestimento, porém, os benefícios são percebidos em termos de manutenção e vida útil da edificação. As vantagens trazidas pela presença de cobertura vegetal estão listadas a seguir:

- Reduzir a carga térmica do edifício, o que contribui para a redução do consumo de energia devido à necessidade de refrigeração ou aquecimento artificial (representando um dos maiores consumidores de energia de um edifício) no terreno abaixo do local coberto por telhados verdes;
- Acumular e reutilizar a água da chuva para irrigar o próprio telhado verde;
- Redução das ilhas de calor urbanas;
- Filtrar os gases poluentes causados pela fotossíntese das plantas;
- Restaurar habitats naturais, contribuir para o resgate da fauna urbana daquele local, aumentar a biodiversidade;
- Reduzir a poluição sonora no andar de baixo;
- Efeitos terapêuticos para o utilizador, através da exposição ao espaço natural;
- Criar novas áreas agrícolas, permitindo hortas urbanas;
- A humidificação do ar, nos meses mais secos, contribui para a melhoria da qualidade do ar (MELO FILHO; MATOS, 2018).

Atualmente, em algumas cidades do país, existem leis que o incentivam, com alguma desoneração fiscal, caso haja telhado verde na edificação. Em alguns casos, os edifícios públicos são obrigados a utilizar este sistema sempre que possível, contribuindo para a difusão deste tipo de tecnologia (MELO FILHO; MATOS, 2018).

## **2.8 Sistemas e implicações da coleta de águas pluviais**

A escassez de água, como resultado da demanda de água superando os recursos hídricos acessíveis, pode ocorrer praticamente em qualquer lugar. A escassez geralmente está associada a climas áridos e áreas com pouca disponibilidade de água. No entanto, também pode ocorrer em áreas com alta precipitação devido à densidade populacional ou a excessivos consumos de água residencial-agrícola-industrial. Isso ressalta a necessidade de acesso contínuo aos recursos hídricos renováveis (IMTEAZ et al., 2013).

Outro fator que agrava o problema vem do sistema ineficiente de transmissão, tratamento e eliminação de água, exigindo grandes quantidades de recursos e energia, resultando em custos adicionais indesejados e degradação ambiental (PARTZSCH, 2009). É evidente que as secas severas observadas, o aumento das demandas de água e os impactos dos escoamentos de águas pluviais destacados atraíram a atenção de acadêmicos e praticantes para aplicar sistemas de coleta de águas pluviais.

Existem alguns benefícios evidentes de sustentabilidade que podem resultar da coleta da água da chuva dos ativos construídos, em vez de ter que gerir e reticular aquela água. Assim, é evidente que existe uma necessidade urgente de implementar estudos observacionais sobre o desempenho de tecnologias alternativas de abastecimento de água alinhadas com os objetivos de sustentabilidade (WARD et al., 2012).

A coleta da água da chuva provou ser benéfica enquanto utilizada em áreas urbanas; no entanto, como existem várias áreas rurais em todo o mundo com acesso não limitado ou limitado a água potável, o papel da aplicação de sistemas de coleta de águas pluviais nestas áreas é igualmente vital para a futura sustentabilidade das populações (SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013). Apesar da existência potencial de obstáculos ao longo do caminho, espera-se que a aplicação de sistemas de coleta de águas pluviais em regiões úmidas e bem desenvolvidas seja efetiva (MEHRABADI et al., 2013).

Enquanto a coleta de água da chuva é considerada como tendo efeitos moderados em áreas urbanas com precipitação média, é comprovadamente ineficiente em áreas com climas áridos (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009).

A coleta de água da chuva consiste em tecnologia para simplesmente coletar e armazenar a água da chuva a partir de telhados, superfícies terrestres ou colinas de pedra. Em sua forma elementar, a coleta de água da chuva utiliza tanques de armazenamento simples e cisternas para conter o escoamento de infraestrutura para uso futuro dentro dessa infraestrutura ou instalações próximas. Há abordagens mais complicadas utilizadas de forma semelhante, incluindo barragens de controle subterrâneo para alcançar resultados semelhantes (SAMPLE; LIU, 2014).

Geralmente, os sistemas de coleta de água da chuva incluem uma superfície de captação impermeável para coletar inicialmente a água da chuva, um sistema de entrega para transferir a água da chuva coletada para os tanques de armazenamento e eventualmente o tanque de armazenamento. Recomenda-se usar equipamentos plásticos ou metálicos dentro dos sistemas com base em sua alta durabilidade (MEHRABADI et al., 2013).



Ferreira e Moruzzi (2007), falam sobre os estudos abordam sobre a conjugação do telhado verde ao sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Para tal, parte do pressuposto que os benefícios decorrentes da adoção de uma prática não devem ser excludentes, ou seja, as inúmeras vantagens decorrentes da adoção do telhado verde devem incorporar os benefícios decorrentes da adoção de práticas de aproveitamento de água de chuva. Todavia, alguns cuidados adicionais devem ser tomados no dimensionamento dos telhados verdes como áreas de captação para sistemas de aproveitamento de água de chuva, tais como: tipo de substrato, vegetação e sistema de coleta de água.

Entretanto, esses mesmos estudos reportam que a passagem da água de chuva pelo telhado verde pode depositar ou lixiviar contaminantes, influenciando diretamente na qualidade da água a ser armazenada. Dadas as características diferenciadas, especialmente àquelas referentes às parcelas escoadas e retidas, o telhado verde tem uma tendência a coletar menores volumes de água de chuva quando comparado a telhados convencionais, principalmente em precipitações ocorridas após longos períodos de estiagem. Assim, a problemática da utilização da água de chuva efluente ao telhado verde envolve dois aspectos importantes: o volume de água aproveitável (quantidade) e a sua qualidade (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

A água da chuva coletada é uma fonte ideal, limpa e renovável de abastecimento de água para consumo durante práticas residenciais e não residenciais (SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013). A coleta de água não é apenas a coleta e a poupança de água como fonte auxiliar para a demanda crescente. Existem outras implicações como parte de uma estratégia de gerenciamento de água mais ampla, incluindo indivíduos racionalizando e gerenciando coleta, armazenamento e consumo de água (SAMPLE; LIU, 2014).

Além de sua funcionalidade básica, a coleta de água da chuva nas áreas urbanas também pode impedir a degradação urbana, devido a inundações, sendo um fator atenuante para o excesso de água em caso de precipitação extrema (SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013).

Como principalmente os edifícios urbanos são cobertos por telhados, o potencial de utilizar áreas urbanas para a coleta de águas pluviais é muito claro. A coleta de águas pluviais dos telhados tem sido amplamente utilizada como um mecanismo facilmente viável para a coleta de águas pluviais, uma vez que seu escoamento é menos poluído que em outras superfícies impermeáveis, como estradas de pista, estacionamentos, etc. Além disso, os telhados urbanos não têm propensão à salinização observada a partir de fontes de água subterrâneas (VIEIRA et al., 2014).

A água coletada de telhados de edifícios pode ser utilizada para fins não potáveis e potáveis. Na realidade, é possível para sistemas de coleta de água da chuva para ajudar a diminuir o consumo total de água potável a partir de recursos centralizados, a tecnologia foi amplamente implementada no projeto de construção (PARTZSCH, 2009).

Embora os telhados metálicos sejam frequentemente recomendados para implementações de sistemas de coleta de água da chuva, a utilização de telhados cerâmicos, de fibrocimento e de concreto também são opções. Normalmente não são sugeridos telhados verdes típicos para sistemas de coleta de água a céu aberto. Isto é devido à existência de concentrações de carbono orgânico dissolvido em escoamentos de águas verdes do telhado (MENDEZ et al., 2011).

As coberturas de águas pluviais, construídas e mantidas de forma apropriada, geralmente resultam na coleta de água menos contaminada e potencialmente potável. Idealmente, esses telhados não requerem mais tratamentos em comparação com os telhados convencionais. No entanto, uma possibilidade elevada de contaminação das bacias de águas pluviais e superficiais destaca-os como normalmente inadequados para fins de consumo humano, a menos que sejam devidamente tratados (STURM et al., 2009).

Pesquisas recentes se concentraram em melhorar o desempenho de sustentabilidade de edifícios verdes. Para fazer avanços significativos nas mudanças climáticas, é necessário melhorar uma série de práticas de sustentabilidade. Além disso, destacam-se o exame e avaliação de tecnologias inovadoras de conservação de água de acordo com as características sociais, ambientais e econômicas (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2013).

A coleta de águas pluviais é um componente essencial para alcançar o futuro desenvolvimento urbano sustentável através da provisão de recursos hídricos suplementares para o crescimento das populações urbanas. Não só a coleta de água da chuva otimiza o consumo e o gerenciamento dos recursos hídricos, como também promove o desenvolvimento sustentável com foco específico no contexto do ambiente construído (GHISI et al., 2009).

Em conjunto com infraestruturas residenciais, edifícios industriais e comerciais também contribuem para a pegada ecológica do ambiente urbano. Portanto, as considerações sustentáveis que se concentram no gerenciamento de recursos hídricos devem ser aplicadas em todas essas infraestruturas. Respectivamente, os edifícios comerciais são aconselhados a aplicar sistemas descentralizados de gerenciamento de abastecimento de água. No entanto, sem estudos de observação adequados para avaliar o desempenho correspondente, a adaptabilidade dos objetivos de sustentabilidade final não é assegurada (COOK et al., 2014). As tecnologias descentralizadas de coleta de água da chuva são consideradas como fontes de

água disponíveis, ecológicas e verdes. Do mesmo modo, o uso de sistemas descentralizados de coleta de água da chuva ajuda diretamente a superar a escassez de água, promovendo reduções de poluição e alcançando sucesso econômico (JAENNICKE, 2008).

Apesar da clara preferência do setor de energia em recursos renováveis sobre as tecnologias fósseis (GHAFARIANHOSEINI et al., 2013), o setor de abastecimento de água parece não ter preferências claras sobre o fornecimento de recursos hídricos sustentáveis sobre as práticas convencionais. Do mesmo modo, apesar da contribuição dos sistemas descentralizados de captação de águas pluviais para a sustentabilidade, a infraestrutura centralizada ainda é amplamente usada em relação às opções descentralizadas (JAENNICKE, 2008).

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho é classificado como uma pesquisa teórica, exploratória e explicativa. Quanto ao procedimento é bibliográfico com abordagem qualitativa.

Quanto a sua natureza, o estudo se enquadra como pesquisa teórica, pois segundo Praça (2015) é “baseada na análise de determinada teoria, utilizando para tal embasamentos, também teóricos e não experimentais”.

O tipo da pesquisa é exploratória, pois, segundo Severino (2007, p. 123) “a pesquisa busca apenas levantar informações sobre determinado objeto, que são os assuntos sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto”; explicativa, pois “explica a razão, o porquê dos fenômenos, uma vez que aprofunda o conhecimento de uma dada realidade” (DUARTE, 2020). Nesse caso, especificamente, a proposição é entender a necessidade da sociedade em discutir sobre fontes alternativas sustentáveis capazes de diminuir os danos causados pela ação humana sobre o meio ambiente.

Já o procedimento para a coleta é bibliográfico porque tem base em materiais já publicados por outros autores para fundamentar sua pesquisa. Desse modo, a pesquisa em questão visa uma profunda investigação teórica sobre o uso de telhados verdes e sua aplicação na geração de energia solar. Gil (2008) explica que, o trabalho científico é realizado a partir de livros, periódicos, artigos de jornais, sítios eletrônicos, entre outras fontes.

Assim, a busca pelo material foi realizada por meio de livros e através do portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), o buscador Google Acadêmico e a *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO). Após a seleção do material, foram feitas várias leituras e fichamentos para obtenção dos conceitos relacionados ao tema. Os dados foram organizados em categorias temáticas, seguida de discussão das ideias apresentadas em cada um dos tópicos.

Por fim, quanto à análise dos dados, o método é qualitativo, pois buscou compreender a importância das energias renováveis, como a energia solar. De acordo com Minayo (2001), o estudo qualitativo tem como objeto de estudo o universo de significados, motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que não podem ser reduzidos a variáveis numéricas.

Este trabalho divide-se em 5 capítulos, os quais no primeiro foi desenvolvida a introdução, em seguida é apresentada a fundamentação teórica, na qual descreve a questão da sustentabilidade e do desenvolvimento sustentável, destacando os principais indicadores



utilizados e as possibilidades de construções sustentáveis. Traz também os conceitos sobre as energias renováveis, com enfoque para a energia solar, bem como apresenta o assunto sobre telhado verde, pontuando suas tipologias. No terceiro capítulo é explicada a metodologia utilizada no trabalho para alcançar os objetivos propostos. No quarto capítulo é verificada a análise e discussão dos resultados, no qual enfatiza a possibilidade de obtenção de energia solar a partir de telhados verdes. Por fim, há as considerações finais do estudo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Técnica de aplicação do telhado verde**

Diante do que foi apresentado anteriormente sobre o estudo dos telhados verdes, as principais técnicas para sua aplicação são apresentadas no presente tópico.

Sabe-se que, esta técnica consiste na aplicação de vegetação sobre coberturas, podendo ser aplicada em qualquer tipo de edificação, desde que observadas questões como estrutura da instalação, sistema de drenagem e impermeabilização do local a ser implantado.

Dentro do contexto ambiental, os processos construtivos são analisados a partir das necessidades nas grandes cidades, por exemplo, em que apresentam como problema agravante a ocupação não planejada do solo, decorrente da urbanização acelerada. A crescente implantação de edifícios gera um aumento de serviços de infraestrutura a serem oferecidos, além da elevação do consumo de energia, determinando conseqüentemente um aumento na temperatura da cidade, devido à diminuição de área verde permeável e ao aumento das zonas de ilhas de calor. O intenso uso de veículos também acaba por acarretar que a temperatura do centro das grandes cidades seja mais alta do que nos subúrbios (ALBERTO et al., 2012).

#### ***4.1.1 Etapas de execução***

Não é o formato da cobertura que define o tipo de telhado verde a ser instalado, mas sim a espessura do substrato e o tipo de vegetação. Para serem considerados telhados verdes, duas camadas de elementos são obrigatórias: a mineral ou substrato, composta pelo solo, e a orgânica, constituída pela vegetação. Existem três formas de construir de telhado verde: a intensiva, a extensiva e a semiintensiva. Esta classificação foi definida de acordo com a espessura da camada de substrato, tipos de plantas que será cultivada e a necessidade de manutenção (SCRENSKI, 2015).

A instalação de um determinado tipo de telhado verde dependerá de fatores como: o tipo de vegetação pretendida, localização, capacidade estrutural, inclinação do telhado da edificação, custos, bem como a função desejada (JOBIM, 2013). O Quadro 3 apresenta a diferença dos tipos de telhados verdes em relação às características específicas de cada cobertura.

**Quadro 3 - Características dos Telhados Verdes**

Itens	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-Intensivo	Telhado Verde Intensivo
<b>Manutenção</b>	Baixo	Periodicamente	Alto
<b>Irrigação</b>	Não	Periodicamente	Regularmente
<b>Plantas</b>	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
<b>Altura do sistema</b>	60 - 20 mm	120 – 250 mm	150 – 400 mm
<b>Peso</b>	60 - 150 kg/m <sup>2</sup>	120 – 200 kg/m <sup>2</sup>	180 – 500 kg/m <sup>2</sup>
<b>Custos</b>	Baixo	Médio	Alto
<b>Usos</b>	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um Jardim

Fonte: Adaptado de Igra (2015).

Leves (2020), explica as características dos tipos de telhado verde, conforme apresentado no Quadro 3:

- Extensivo: se baseia em um sistema de tetos finos e leves, possibilitando um meio de plantio medindo entre 6 a 30 cm de profundidade. Esse modelo tem uma espessura máxima de 8 cm, servindo como solução financeira mais viável para quem quer ter um projeto mais sustentável, porém, conta com um orçamento mais apertado. Por ser uma solução mais simples e prática de instalar, ela é ótima para quase qualquer tipo de edificação. O seu peso chega a variar entre 60 a 150 kg/m<sup>2</sup> e, por isso, não demanda uma estrutura mais robusta para suportá-la. Ele é capaz de suportar o plantio de algumas plantas que são tolerantes à seca, com sistemas radiculares mais rasos. Assim, é possível crescer ervas e gramas de baixo crescimento, que são as escolhas mais comuns para esse tipo de telhado verde (LEVES, 2020);
- Intensivo: é uma solução mais intensificada que o modelo anterior, exigindo uma estrutura mais robusta para suportar o seu peso. Ele pode pesar entre 180 a 500 kg/m<sup>2</sup> e, por isso, requer um planejamento prévio para analisar se é possível realizar a sua instalação na edificação. Aqui, os meios de cultivo crescente variam de 20 a 100 cm. Com isso, eles suportam o crescimento de uma variedade mais ampla de plantas, incluindo algumas árvores pequenas e arbustos, por exemplo. Além disso, os tipos de telhado verde intensivo necessitam de cuidados com a sua manutenção. Por isso, para evitar problemas, é essencial que você realize uma irrigação regular na vegetação da sua cobertura e mantê-la encantadora por bastante tempo (LEVES, 2020);
- Semi-intensivos: são um misto entre os dois tipos anteriores. Por isso, eles têm uma média de plantio mais fina que o modelo intensivo, porém, mais espessa que um

extenso. Dessa forma, o sistema pode variar entre 120 a 250 mm, com um peso médio de 120 a 200 Kg / m<sup>2</sup> (LEVES, 2020).

O telhado ainda pode ser estruturado sobre diferentes acabamentos, destaca-se: laje de concreto, tabuado de madeira, chapas de compensado estruturado, placa cimentícia, telha metálica, *Steel Deck* (estrutura metálica em composição com camada de concreto), estrutura de madeira e bambu, estrutura do telhado existente, entre outros materiais que tenham resistência compatível ao sistema do telhado verde saturado (SAVI, 2012).

Alberto et al. (2012) apontam que, a laje deve ser preparada com impermeabilização e sistemas de drenagem para receber o telhado. Em casos de estruturas que já foram executadas sem o planejamento para receber o telhado, deverá ser feito um estudo para analisar a carga que pode ser colocada ou até mesmo fazer um reforço estrutural. O cuidado com o crescimento das raízes também é um fator muito importante, motivo pelo qual um especialista poderá indicar as espécies adequadas a cada situação.

A tecnologia do telhado verde é composta basicamente de sete camadas, são elas: pavimento do telhado, impermeabilização, barreira antiraízes, drenagem, filtro, substrato e vegetação, como se pode ver na Figura 17.



Fonte: Pereira (2014).

Estas camadas juntas proporcionam o desenvolvimento das plantas escolhidas, bem como a manutenção da estrutura da instalação; evita-se, por exemplo, a infiltração de água através do sistema de drenagem e impermeabilização (SANTOS; FERREIRA, 2020).

Baldessar (2012) aponta uma série de benefícios em relação à instalação de telhados verdes, entre eles a retenção de água das chuvas, redução das ilhas de calor urbanas, melhoria da qualidade do ar e os benefícios econômicos, através da redução do consumo de energia

elétrica. Em um estudo feito por Mello et al. (2010), estimou-se uma redução de 48,4% no consumo de energia elétrica, obtida com o resfriamento natural proporcionado por esta tecnologia.

#### ***4.1.2 Energia solar fotovoltaica e telhado verde***

O sistema que combina um telhado verde com a tecnologia de energia solar fotovoltaica colabora para projetos de construções mais sustentáveis, reduzindo a emissão de gases poluentes, de efeito estufa.

De acordo com Neris (2021), o principal obstáculo para a eficiência de painéis solares instalados em telhados ou coberturas é o excesso de calor. Isso porque as temperaturas elevadas do telhado em volta dos módulos aumentam a condutividade do cristal semiconductor. E isso atrapalha a separação de cargas, o que reduz a voltagem das células solares.

As plantas ajudam a manter a cobertura dos edifícios fria e a manejar as águas, ou seja, elas evaporam e deixam o ambiente em torno dos painéis mais frio. Isso permite o melhor funcionamento das placas que captam a energia do sol (BONDE, 2012).

Dessa forma, como explica Bonde (2012), o sistema pode ser instalado nos telhados de forma que a água de chuvas seja canalizada para baixo dos painéis, regando diretamente as plantas. Esse é um ótimo investimento para quem busca preservação do meio ambiente e, diminuir a conta de luz.

A empresa Zinco Brasil (2019) também aponta que, a eficácia dos painéis fotovoltaicos é melhorada com uma cobertura ajardinada, pois a performance dos painéis fotovoltaicos depende da temperatura dos módulos e também da temperatura ambiente onde foram instalados. Logo, o efeito de resfriamento causado por uma cobertura ecológica melhora significativamente a eficácia dos painéis fotovoltaicos.

Uma estratégia que deve ser adotada para os telhados verdes geradores de energia fotovoltaica é utilizar as espécies especificadas como mais adequadas nas áreas próximas aos módulos fotovoltaicos, garantindo assim a eficiência da geração de energia fotovoltaica, como ilustra a Figura 18.

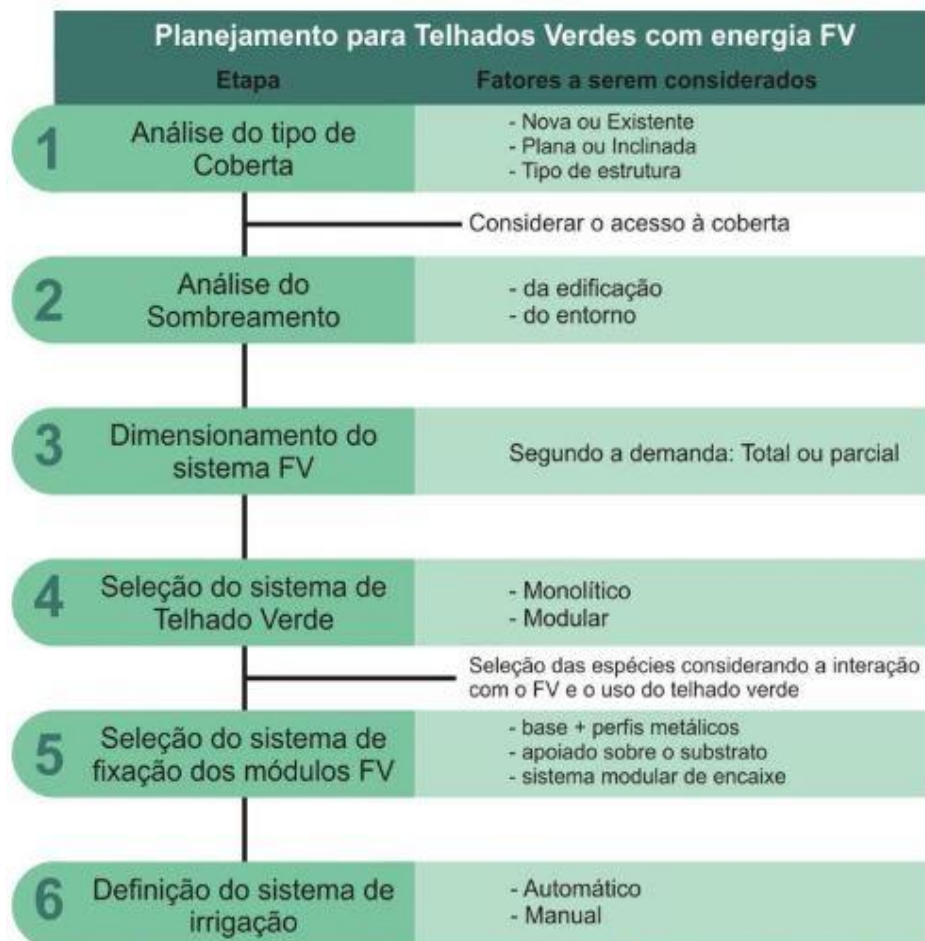
**Figura 18 - Telhados verdes com energia solar**



Fonte: Melo Filho e Matos (2018).

Nas fases de implantação dessas tecnologias de execução, tanto dos sistemas de geração de energia fotovoltaica, (Figura 18), quanto para os telhados verdes, observa-se o fluxograma de planejamento apresentado na Figura 19.

**Figura 19 - Planejamento para telhados verdes integrados a sistemas fotovoltaicos**



Fonte: Melo Filho e Matos (2018).

Como se observa na Figura 19, a primeira etapa orienta para a escolha dos tipos mais eficientes de telhado verde e fixação da geração fotovoltaica a serem aplicados. Na segunda etapa verifica-se o sombreamento na cobertura, podem ser consideradas as sombras geradas tanto pelos elementos presentes na cobertura como caixas d'água, sistemas de exaustão e ventilação, etc., assim como as sombras geradas pelas edificações e vegetações circundantes mais elevadas do que o plano da cobertura em questão. Em terceiro, definidos os espaços compatíveis à aplicação da geração de energia, é calcular o dimensionamento do sistema fotovoltaico, delimitando a área que ele precisará ocupar na cobertura e a formatação do arranjo nas áreas adequadas à implantação. O dimensionamento é calculado de acordo com a demanda energética da edificação (MELO FILHO; MATOS, 2018).

Na quarta etapa deve-se escolher o tipo de tecnologia a ser utilizado na execução do telhado verde, podendo ser usado o sistema modular ou o monolítico. Para o caso da utilização com a geração fotovoltaica, considera-se o uso do plantio extensivo (o plantio intensivo poderá ser utilizado nas áreas afastadas dos módulos fotovoltaicos). A seleção das espécies vegetais que serão utilizadas é a última fase desse tópico e deve se basear, além da eficiência com o sistema fotovoltaico, no tipo de uso que será aplicado ao telhado verde (MELO FILHO; MATOS, 2018).

Na quinta etapa, deve-se eleger o tipo de fixação dos módulos fotovoltaicos e que infraestruturas serão necessárias para tal aplicação. Pode-se eleger entre a execução de uma base em alvenaria ou blocos em concreto para a fixação dos kits metálicos, o sistema que funciona apoiado diretamente sobre o substrato finalizado ou o kit metálico que é encaixado nos módulos do telhado verde. O último passo do planejamento é a definição do tipo de sistema de irrigação, se manual ou automático, e previsão e delimitação das drenagens necessárias (MELO FILHO; MATOS, 2018). Portanto, de acordo com a Figura 19, nota-se que o planejamento do telhado verde com a geração de energia fotovoltaica aborda todos os temas necessários ao bom funcionamento dos sistemas.

Desde o final da década de 1990, há registro de pesquisas e testes realizados na América do Norte, Europa e Ásia, onde foi comparada a instalação de módulos fotovoltaicos em telhados com e sem cobertura vegetal. Os testes baseiam-se no princípio de que os sistemas elétricos perdem desempenho quando expostos a altas temperaturas. No caso de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino, a cada grau Celsius acima de 25°C, a redução média na produção de energia é de 0,45% (HUI; CHAN, 2011).

As coberturas verdes também afetam a melhoria das condições atmosféricas, do ar e da temperatura, otimizando o isolamento, o armazenamento de calor e o isolamento acústico

do edifício. Além disso, eles produzem oxigênio e absorvem dióxido de carbono e partículas nocivas, filtram poeira e sujeira no ar, reduzem as mudanças na umidade do ar, fornecem proteção contra a luz solar intensa, são criadouros de insetos, como borboletas, que promovem a biodiversidade (MINKE, 2004).

No estudo de Hui e Chan (2011), realizado em Hong Kong, módulos fotovoltaicos foram aplicados no telhado da biblioteca da Universidade de Hong Kong e foram criados cenários com painéis planos com e sem módulos fotovoltaicos, painéis planos com revestimentos vegetativos com e sem módulos fotovoltaicos. O aumento na produção de energia dos módulos aplicados em telhados verdes é de 8,3% em comparação com painéis fotovoltaicos em telhados secos.

Os testes que foram realizados por Köhler et al. (2002), em Berlim, apresentaram aumentos na faixa de 1% a 10% quando comparadas às implantações de módulos fotovoltaicos sobre telhados verdes em relação a coberturas sem a presença de vegetação. Ainda no mesmo estudo, concluiu-se que o custo de implantação de um revestimento verde em vez de um sistema de rastreamento para aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico é menor.

Em testes realizados na cidade de Lleida, Espanha, por Chemisana e Lamnatou (2014), foram também considerados dois tipos diferentes de vegetação (*Sedum Clavatum* e *Gazania Rigens*) além da rocha coberta de cascalho em um local influenciado pelo Mar Mediterrâneo com altas temperaturas e altos níveis de sol durante a maior parte do ano. Os resultados mostraram um aumento de 1,29 a 3,3%, dependendo da vegetação utilizada, em comparação com a aplicação dos módulos em lajes sem vegetação.

O aumento da produção de energia devido aos módulos fotovoltaicos resfriados pode reduzir o tempo de retorno financeiro investido tanto no desempenho quanto no valor de instalação de um telhado verde, em vez de um telhado impermeável ou de telha, além de reduzir o consumo de energia de prédios, causado por uma queda de 4% na demanda por ar condicionado. Após as várias reuniões globais que ocorreram nas últimas décadas, a maioria dos países se comprometeu a minimizar seu impacto ambiental. O setor da construção civil, como uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa e resíduos urbanos, desde então criou normas para reduzir o impacto de suas atividades (SUSTENTARQUI, 2014).

Os benefícios de produzir edificações certificadas são econômicos, sociais e ambientais e estão descritos a seguir, de acordo com as especificações do *Brazilian Green Building Council* (GBC Brasil):



- Benefícios econômicos: redução de custos operacionais, redução de risco jurídico, valorização de imóveis para revenda ou locação e modernização e redução da obsolescência predial;
- Benefícios sociais: melhorar a segurança e priorizar a saúde dos trabalhadores e ocupantes, inclusão social e aumento do senso de comunidade, capacitação e conscientização profissional de trabalhadores e usuários, estimular políticas públicas de promoção construção sustentável;
- Benefícios ambientais: uso racional e redução da exploração dos recursos naturais, redução do consumo de água e energia, implementação consciente e ordenada, mitigação dos impactos das mudanças climáticas, uso de materiais e tecnologias com baixo impacto ao meio ambiente, reduzir, tratar e reutilizar construção e resíduos operacionais.

O uso de telhados verdes em edificações de grandes cidades reduz o impacto no microclima das edificações, aumentando a umidade relativa do ar e reduzindo a temperatura média. Este tipo de telhado também melhora o isolamento à medida que as camadas vegetativas se adaptam, criando um ambiente interior mais confortável. No entanto, o Ecotelhado pode ser considerado como a próxima geração de telhado verde convencional, pois combina os benefícios de um telhado jardim convencional, além de captação de água da chuva, tratamento de esgoto, captação de energia solar e outros benefícios (VELASQUEZ, 2005).

Os telhados verdes são uma alternativa sustentável as telhas convencionais. Os benefícios de usar um telhado verde são muitos. “Os telhados naturais protegem a impermeabilização das oscilações diárias de temperatura e dos raios ultravioletas do sol, que danificam os sistemas convencionais de cobertura” (CHING, 2010, p. 79). Segundo o mesmo autor, os telhados verdes também oferecem vantagens como à gestão do escoamento e a melhoria da qualidade do ar e da água da área.

Segundo Tomaz (2005, p. 54), os telhados verdes podem ser aplicados em todos os tipos de construção, residenciais, comerciais e industriais. Quanto à aplicabilidade de um telhado verde, idealmente ele deve ser instalado em um telhado ou laje com inclinação de cerca de 5°, esta restrição de projeto permite que a água flua sobre o telhado. Alberto et al. (2012, p. 172) destaca as principais vantagens:

- Agricultura urbana: a produção de alimentos em telhados é tecnicamente e economicamente viável e economizará toneladas de combustível no transporte de alimentos;
- Controle de enchentes: a água da chuva é captada, onde parte é evaporada, reduzindo o escoamento total. Como resultado, menos água atinge o nível do sol.

#### 4.1.3 Viabilidade do telhado verde

Para demonstrar a viabilidade do telhado verde, este tópico levanta informações baseado nos benefícios e desvantagens dessa técnica. O Quadro 4 traz um exemplo.

**Quadro 4 - Vantagens e Desvantagens do Telhado verde**

<p><b>Vantagens</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Agricultura Urbana:</b> produção de certos tipos alimentos sobre telhados, sendo viável economicamente e ajuda em economizar combustível no transporte de alimentos.</li> <li>• <b>Eficiência Energética:</b> telhados verdes reduzem os gastos com energia elétrica, melhorando o conforto térmico e reduzindo os gastos com resfriamento do ambiente (ar-condicionado);</li> <li>• <b>Redução de ilha de calor:</b> telhados verdes atuam na mitigação deste efeito, reduzindo a área de superfícies impermeáveis da cidade que causam grandes elevações na temperatura;</li> <li>• <b>Estética Urbana:</b> a simples visão de uma área verde pode ter benefícios para a saúde humana.</li> <li>• <b>Filtragem de Água:</b> além de atuar como um filtro mecânico de partículas, alguns tipos especiais de substrato utilizados para cultivo de plantas em telhados e coberturas podem funcionar como reguladores de pH e como filtros de íons;</li> <li>• <b>Qualidade do Ar:</b> o ar próximo aos telhados verdes fica mais úmido e frio durante o verão. A cobertura vegetal atrai e absorve grandes volumes de poeira e poluição na superfície das folhas, ajudando a fazer um ar mais limpo e saudável;</li> <li>• <b>Aumento da Área Útil:</b> a área impermeável nas cidades chega a somar 75% de sua área total. Telhados verdes podem adquirir um papel totalmente novo no dia-a-dia das cidades, dando utilidade a espaços tradicionalmente subutilizados;</li> <li>• <b>Valorização de imóveis:</b> jardins são cada vez mais valorizados nas cidades, ajudando a valorizar os imóveis onde estão locados. Telhados verdes já começam a se destacar como um item de diferenciação para venda e locação de imóveis;</li> <li>• <b>Valorização da Marca:</b> conforme cresce a conscientização em torno do tema de mudanças climáticas, cresce também a demanda por produtos e serviços que ajudam a reduzir os danos ao meio ambiente.</li> </ul>
<p><b>Desvantagens</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo inicial;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer mão de obra especializada;</li> <li>• Em caso de aplicação incorreta, pode gerar infiltração de água e umidade no edifício.</li> </ul>
--	--

Fonte: Adaptado de Alberto et al. (2012).

Ferreira e Costa (2010) apontam sobre as desvantagens dos telhados verdes. O que pode ser considerado como tal é a questão do custo de implantação e manutenção do sistema, que é um pouco superior ao de uma cobertura convencional de telhas cerâmicas. Este custo de instalação é de aproximadamente R\$ 150,00 por m<sup>2</sup>, incluindo todos os materiais e serviços necessários. Os custos podem ser relativamente altos, mas esse retorno do investimento vem ao longo do tempo a partir da instalação da estrutura.

Segundo Ferreira e Costa (2010), as desvantagens da instalação de um telhado verde são: o sistema construtivo é mais caro, mas é rapidamente compensado pela economia de energia, os custos de manutenção podem ser maiores dependendo do tipo de telhado verde selecionado para a estrutura do telhado verde, o sistema de drenagem é mais complicado, custa mais caro consertar e alguns tipos de telhados verdes requerem uma estrutura mais forte para suportar o peso adicional da estrutura do telhado verde.

A visão aérea de uma cidade normalmente mostra um mar de asfalto que compõe a complexa grade de ruas e edifícios abaixo. Não só isso é esteticamente desagradável, mas ao longo do dia, o calor do sol é absorvido pelo concreto, que então é irradiado pela noite, criando um efeito de forno em um momento que deveria ser naturalmente fresco. Esse efeito aumenta ao longo do tempo e área de superfície, à medida que a cidade cresce, criando o as ilhas de calor; a principal consequência é o aumento da temperatura média anual. Embora isso possa não parecer uma preocupação importante, pequenas quantidades de ganhos de temperatura aumentam e, como a cidade de Chicago descobriu em meados dos anos 90, pode ser mortal (BERNDTSSON, 2010).

Berndtsson (2010) aborda sobre a cidade de Chicago, conhecida como o "jardim na cidade" porque tem mais de 359 telhados verdes totalizando mais de 5,5 milhões de pés quadrados. O seu estado inicial se remonta a 1995, quando a temperatura do verão subiu drasticamente devido ao efeito *Urban Heat Island*. Isso causou mais de 700 mortes relacionadas ao calor naquele ano, o que estimulou os funcionários a agir. O primeiro telhado verde foi instalado no pré-existente prédio da prefeitura em 2000 para ver o quão eficaz um telhado verde seria na regulação das temperaturas do verão. Quando completado, era um exemplo brilhante para o que um telhado verde poderia fazer, abrindo o caminho para outros

edifícios da cidade seguir o exemplo. Com essa medida, o telhado da prefeitura obteve uma média anual de 7° mais frio do que os telhados não verdes.

O primeiro telhado verde de Portland começou em teoria em 1985, quando Tom Liptan viajou para a França e descobriu um volume antigo de uma editora britânica chamada "*Building Green*". Incluía uma seção sobre telhados verdes com a qual Tom estava fascinado. Em 1996, ele construiu o primeiro telhado verde conhecido de Portland em sua garagem. A estabilidade deste telhado foi um fator enorme na decisão de Mayer Sam Adams de implementar um incentivo de 6 milhões de dólares em toda a cidade para construir telhados verdes. Esse incentivo ajudou a reduzir o custo dos telhados verdes significativamente porque a cidade estava pagando certa parcela da despesa total. Como resultado, o número de telhados verdes em Portland subiu rapidamente para 351, logo atrás de Chicago (DVORAK; VOLDER, 2010).

Quanto mais os espaços verdes são construídos em uma cidade, mais fácil se torna diminuir as consequências do efeito *Urban Heat Island*. A flora não só fornece sombra, mas também cria um efeito natural chamado evapotranspiração, que é o processo onde o ar é arrefecido devido à evaporação da água das folhas da planta. Este condicionamento natural do ar reduz a necessidade de aparelhos de ar condicionado mecânicos, que eles mesmos criam seus próprios efeitos negativos sobre o ambiente circundante (SAILOR, 2008).

Os telhados verdes também são muito bons para a gestão da água em toda a cidade, porque a vida vegetal e o solo atuam como uma esponja que absorve a água da chuva que normalmente correria pelos telhados impermeáveis, pelas calhas, pelas ruas poluídas da cidade e finalmente nos esgotos onde é levado para uma instalação de tratamento a ser limpo e reintroduzido no ciclo da água. Os telhados verdes eliminam a necessidade de sistemas de calhas elaborados e permitem que os sistemas de coleta de água sejam usados para que a água da chuva possa ser armazenada e utilizada no futuro. Muitas vezes, é usado para regar as plantas durante períodos de seca para que a evapotranspiração ainda possa ocorrer (SAILOR, 2008).

Os telhados verdes também são conhecidos por sua capacidade de reduzir os custos de energia porque fornecem um isolamento natural. Mesmo um telhado verde de 6 polegadas de espessura pode reduzir as necessidades energéticas do verão em 75% e quanto mais vegetação for, mais eficientemente o telhado irá isolar o edifício. Le Corbusier, um dos mais famosos arquitetos modernos, acreditava que toda estrutura deveria ter um jardim no telhado para dar a cada pessoa sua própria conexão privada com a natureza (DUNNETT et al., 2008).

Para ter um jardim no topo do telhado, é necessário certo nível de suporte para manter o peso maciço que influencia na edificação. Este tipo de telhado é chamado de telhado intensivo e é o que é referido como um "jardim elevado" porque eles podem conter arbustos, árvores, passarelas, mesas de piquenique e pessoas. O sistema de suporte para este tipo de telhado é composto de múltiplas camadas, cada uma das quais é necessária para sustentar a vida lá. Como se pode imaginar tudo isso se espalha pelo topo do prédio que pesará mais e os esforços no telhado serão maiores (SAILOR, 2008).

Os custos associados aos telhados verdes são muitas vezes o que desencoraja as pessoas de instalar em qualquer estrutura. O telhado verde possui uma variação de preço entre R\$100,00 a 150,00/m<sup>2</sup> dependendo do tipo e região, e é certamente um custo de implantação inicial maior do que telhados convencionais, mas os benefícios de longo prazo superam a despesa inicial porque ajudam a reduzir a necessidade de aquecimento e resfriamento mecânicos. Eles também duram duas vezes tanto quanto os telhados convencionais, porque a vida útil da planta protege a membrana do telhado do clima severo e dos raios ultravioleta (UV) (UGREEN, 2019; SONNE, 2006).

Incentivar a inovação tecnológica por parte das empresas do setor de engenharia civil é um meio para alcançar resultados positivos em termos de sustentabilidade ambiental (STRAPASSON et al., 2010).

Portanto, para alcançarem esses benefícios a favor do meio ambiente e população, os telhados verdes precisam ser amplamente divulgados, aliados a programas de conscientização sobre a utilização do método. O foco deve ser em incentivos atrelados aos benefícios ambientais e sociais em se utilizar telhado verde e, de mitigar o alto custo de implantação do mesmo (PRANT; LINK, 2021).

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento sustentável envolve uma abordagem interdisciplinar, visto que um projeto não pode ser avaliado apenas por uma perspectiva. Nessa perspectiva, a Construção Civil, enquanto importante área do conhecimento e uma das principais representantes da economia brasileira deve possuir sua atenção voltada para a utilização de técnicas que minimizem os impactos ambientais, assim como proporcionem melhor qualidade de vida para a população.

Os telhados verdes apresentados neste estudo reúnem características de construções sustentáveis, pois são capazes de produzir conforto térmico e diminuição dos custos de energia, melhoria da qualidade do ar, reaproveitamento de águas pluviais, redução das ilhas de calor e diversos outros benefícios econômicos e sociais. A incorporação entre telhados verdes e módulos fotovoltaicos, desde que seguidas às especificações, propiciam aumento da produção energética. No entanto, a grande desvantagem dessas alternativas são os custos elevados na implementação quanto na manutenção, mas quando visualizados a médio e longo prazos, representam um ganho econômico elevado. Além disso, as construções devem ser robustas o suficiente para suportar a carga extra.

Desse modo, os projetos envolvendo telhados verdes devem considerar todos os fatores supramencionados, a fim de que seja possível desfrutar dos benefícios oriundos dessa técnica. Portanto, diante do que foi apresentado neste trabalho, acredita-se que os telhados verdes com placas fotovoltaicas é uma associação viável, cujas vantagens ultrapassam os desafios de seu desenvolvimento. Obviamente apenas tais iniciativas não são suficientes para resolver todos os problemas ambientais, mas contribuem parcialmente para reduzir os danos provocados. Ademais, o esforço conjunto para estabelecimento de ideias inovadoras é necessário para caminhar em direção ao desenvolvimento sustentável. Logo, é preciso que essas ações sejam incentivadas pelos governos e sociedade em geral.

Ressalte-se que este trabalho apresentou os principais apontamentos sobre o uso do telhado verde e a energia solar, mas não consegue abranger todos os aspectos e não limita as reflexões sobre o tema. Fica a sugestão para trabalhos futuros realizar estudos que incluam dados financeiros, relações de custos e testes práticos atualizados na literatura que comprovem o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos na aplicação sobre os telhados verdes

## REFERÊNCIAS

- 2030 STUDIO. **Telhado verde: uma opção sustentável?**. 2016. Disponível em: <http://www.studiocidadejardim.com.br/tecnologia-para-telhado-verde>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, Jordan, v. 243, n. 1-3, p. 195-207, 2009.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; GOLDEMBERG, José. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- ALBERTO, E. Z.; RECCHIA, F. M.; PENEDO, S. R. M.; PALETTA, F. C. Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis. **XII Safety**, São Paulo, 2012.
- AMARAL, G. S. G. Indicadores de desenvolvimento sustentável e a “sustentabilidade forte”: uma análise teórica dos indicadores para o planejamento da transição à sustentabilidade. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos, 2010.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório ANEEL: Resolução Normativa nº 82, de 17 de abril de 2012**. 2012.
- ANTUNES, J. **A sustentabilidade na construção civil**. Rio de Janeiro, 2009.
- AYRES, R. U. Sustainability economics: Where do we stand?. **Ecological economics**, Austria, v. 67, n. 2, p. 281-310, 2008.
- AZAR, C.; HOLMBERG, J.; LINDGREN, K. Socio-ecological indicators for sustainability. **Ecological economics**, Göteborg, v. 18, n. 2, p. 89-112, 1996.
- AZEVEDO, J. C.; NITO, M. K. S.; COSTA, M. A. B. C.; SZNELWAR, M. R.; LESSA, J. V. R.; FERREIRA, P. B. S. Sistemas construtivos em terra crua: panorama da América Latina nos últimos 30 anos e suas referências técnicas históricas. 2015. **Revista Cadernos de Pesquisa da Escola da Cidade**. São Paulo, n. 1, 2015.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BARCELOS, K. K. **Estudo comparativo entre certificações ambientais aplicáveis a edifícios residenciais**. 2019. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2019.
- BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological engineering**, Sweden, v. 36, n. 4, p. 351-360, 2010.
- BLUMENSCHNEIN, R. N. Introduzindo sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção. **Revista Mosaico-Revista de História**, Goiás, v. 2, n. 1, p. 17-25, 2009.

BONDARIK, R.; PILATTI, L. A.; HORST, D. J. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Interciência**, Venezuela, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.

BONDE, R. **Ecotelhado: Telhado verde e painel solar, uma combinação possível**. Londrina, 2012.

BOSSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications**. Canada, 1999.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, Piauí, v. 61, p. 178-189, 2015.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1990.

CALVI, L. F. H. **Sustentabilidade na construção civil: estudo de caso em uma organização não governamental**. 2018. 190 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. **Produção**, São Carlos, v. 18, p. 540-555, 2008.

CANABRAVA NETO, E. G.; ALMEIDA, A. K.; LEITE, I. R.; GUARIENTI, J. A. Telhado verde: alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 125-136, 2021.

CANTARINO, C. Bioconstrução combina técnicas milenares com inovações tecnológicas. **Inovação Uniemp**, Campinas, v. 2, n. 5, p. 46-47, 2006.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Informativo CBIC Economia nacional e Construção Civil Desempenho recente e perspectivas**. Brasília, 2020.

CARVALHO, T. M. P. A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil. *In: VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*. Piauí, 2012.

CHAVES, H. O. **Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida**. Rio de Janeiro, 2014.

CHEMISANA, D.; LAMNATOU, C. Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. **Applied Energy**, Spain, v. 119, p. 246-256, 2014.

CHICHILNISKY, G. Sustainable development: an axiomatic approach. **Social Choice and Welfare**, New York, v. 13, n. 2, p. 219-248, 1996.

CHING, F. D.K. **Técnicas de construção ilustradas**. Porto Alegre: Bookman, 2010.



COOK, S.; SHARMA, A. K.; GURUNG, T. R. Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane. **Resources, Conservation and Recycling**, Austrália, v. 89, p. 86-93, 2014.

COLOMBO, L. A. **Entenda os três pilares da sustentabilidade**. 2014. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/entenda-os-tres-pilares-da-sustentabilidade>. Acesso em: 12 abr. 2021.

COMCIÊNCIA. O que é a agenda 2030 das nações unidas e quais são os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**. 2019. Disponível em: <https://www.comciencia.br/o-que-e-agenda-2030-das-nacoes-unidas-e-quais-sao-os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 02 abr. 2022.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2009.

DEPONTI, C. M. **Indicadores para avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local**. 2001. 165 f. Monografia (Especialização) - Curso de Desenvolvimento Rural e Agroecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DOVERS, S. R.; HANDMER, J. W. Uncertainty, sustainability and change. **Global Environmental Change**, Austrália, v. 2, n. 4, p. 262-276, 1992.

DUARTE, V. M. N. **Pesquisas: exploratória, descritiva e explicativa**. 2020.

DUNNETT, N.; NAGASE, A.; BOOTH, R.; GRIME P. Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. **Urban Ecosystems**, Switzerland AG, v. 11, n. 4, p. 385-398, 2008.

DVORAK, B.; VOLDER, A. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. **Landscape and urban planning**, Texas, v. 96, n. 4, p. 197-213, 2010.

EKINS, P.; SIMON, S.; DEUTSCH, L.; FOLKE, C.; GROOT, R. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. **Ecological economics**, London, v. 44, n. 2-3, p. 165-185, 2003.

FERREIRA, B. Z. M.; COSTA, C. C. **Sustentabilidade nas edificações: telhado verde**. 2010. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Positivo, Curitiba, 2010.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. **Encontro nacional**, Rio Claro, v. 4, p. 1027-1036, 2007.

FIORINO, D. J. Explaining national environmental performance: approaches, evidence, and implications. **Policysciences**, Switzerland AG, v. 44, n. 4, p. 367-389, 2011.

FLORES, C. Z. **Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

FREITAS, Y. R. **Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA**. 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

FREITAS, J. C. C.; SIQUEIRA FILHO, V. Semiárido nordestino: os impactos da extração de petróleo no município de Mossoró (RN). **Revista Direito GV**, Mossoró, v. 14, n. 3, p. 1019-1043, 2018.

GALDINO, C. Casas de mãos e barro: a arquitetura caiçara de São Sebastião. **Revista Cadernos do Ceom**, Chapecó, v. 23, n. 32, p. 77-98, 2010.

GAVIÃO, L. O.; BARRETO, M.; LIMA, G. B. A.; MEZA, L. A.; SOUZA, D. O. G.; VIEIRA, D. G. Avaliação de eficiência a partir de indicadores de sustentabilidade. **Conhecimento & Diversidade**, Niterói, v. 8, n. 16, p. 68-83, 2017.

GAVRONSKI, J. D. **Carvão mineral e as energias renováveis no Brasil**. 2007. 291 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GBC, Brasil (org.). **Leadership in Energy and Environmental Design**. 2020. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

GENGO, R. C.; HENKES, J. A. A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 55-81, 2012.

GERMAN SOLAR INDUSTRY ASSOCIATION. **A energia solar nos países em desenvolvimento e emergentes**. BSW Solar, Germany, 2015.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; DAHLAN, N. D.; BERARDI, U.; HOSEINI, A. G.; MAKAREMI, N.; HOSEINI, M. G. Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Malaysia, v. 25, p. 1-17, 2013.

GHISI, E.; TAVARES, D. F.; ROCHA, V. L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, Florianópolis, v. 54, n. 2, p. 79-85, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista Usp**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007.

GRUNBERG, P. R. M.; MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre Leed for homes, processo Aqua e selo Casa Azul**. 2014.

GUERCIO, M. J. **Variação de impactos ambientais decorrentes da implantação da norma ISO 14001: um estudo multicase em indústrias têxteis de Santa Catarina.** 2006. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HUETING, R.; REIJNDERS, L. Broad sustainability contra sustainability: the proper construction of sustainability indicators. **Ecological economics**, Amsterdam, v. 50, n. 3-4, p. 249-260, 2004.

HUI, S. C. M.; CHAN, S. C. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. **Joint Symposium**, Hong Kong. p. 1-12, 2011.

IDHEA. Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. Construção sustentável. **Nove Passos para a Obra Sustentável – resumo.** 1999. Disponível em: <https://docplayer.com.br/15796135-Nove-passos-para-a-obra-sustentavel-resumo.html>. Acesso em: 18 mar. 2022.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

IMTEAZ, M. A.; AHSAN, A.; SHANABLEH, A.. Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city. **Resources, Conservation and Recycling**, Australia, v. 77, p. 37-43, 2013.

JANICKE, M. Ecological modernisation: new perspectives. **Journal of cleaner production**, Berlin, v. 16, n. 5, p. 557-565, 2008.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial.** 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; LIMA, J. A. R. **Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais.** São Paulo, 2007.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. **Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 01-13, 2000.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M.; WACHSMANN, U.; KRAUTER, S. Photovoltaic panels on greened roofs. **Rio 02 World Climate & Energy Event**, Germany, v. 2, p. 151-158, 2002.

LEAL FILHO, N. **Dinâmica inicial da regeneração natural de florestas exploradas na Amazônia brasileira.** 2000. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEVES, E. C. **Tipos de telhado verde: Guia completo: tudo o que você precisa saber sobre telhado verde.** 2020. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 02 abr. 2022.

LIMA, T. **Impressoras 3D prometem transformar canteiros de obras**. 2018. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/impressoras-3d-na-construcao-civil/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, Leeds UK, v. 25, p. 14-26, 2012.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, T. C. G. Energia renovável no Brasil. **Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**, São Carlos, p. 740-1, 2017.

MEHRABADI, M. H. R.; SAGHAFIAN, B.; FASHI, F. H. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. **Resources, Conservation and Recycling**, Iran, v. 73, p. 86-93, 2013.

MELLO, G. B. P.; COSTA, M. D. P.; ALBERTI, M. S. Estudo da implantação de um telhado verde na Faculdade de Engenharia Mecânica. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 6, n. 2, 2010.

MELO FILHO, J. B.; MATOS, G. L. Telhados verdes integrados à tecnologia fotovoltaica. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. Gramado, 2018.

MELO, S. F. S. **Gestão de impactos ambientais na construção civil: práticas e desafios entre obras de infraestrutura e edificações**. Rio de Janeiro, 2017.

MENDEZ, C. B.; .The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water research**, Austin, v. 45, n. 5, p. 2049-2059, 2011.

MILANEZ, A. **Casa de terra, as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo**. São Paulo: SESP, 1958.

MINAYO, M. C. S. (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes Limitada, 2001.

MINKE, G. **Techos verdes**. Planificación, ejecución, consejosprácticos. Montevideo, Uruguay: Fin de siglo, 2004.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Conselho Nacional de Educação Conselho Pleno. **Resolução nº 2, de 15 de junho de 2012**. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. Brasília, 2012. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002\\_12.pdf](http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf). Acesso em: 18 mar. 2022.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable development**, England, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MITRATECH. **Como funciona Energia Solar Fotovoltaica**. 2022. Disponível em: <https://mitratech.com.br/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MORI, K.; CHRISTODOULOU, A. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). **Environmental impact assessment review**, Japan, v. 32, n. 1, p. 94-106, 2012.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. **Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

MOROMIZATO, F. B.; OLIVEIRA, J. C.; VIEIRA, K. R.; TEODORO, M. V. A.; LIMA, M. B.; SILVA, L. F. G. Telhados verdes para conforto térmico. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, Tocantins, 2016. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/index.php/jice/7jice/paper/viewFile/7557/3594>. Acesso em: 02 abr. 2022.

MOTTA, S. R. F. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 1997.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NERIS, A. **Telhados verdes aumentam desempenho do sistema fotovoltaico em 8%**. Maringá: Aldo Solar, 2021.

NEUMAYER, E. The determinants of aid allocation by regional multilateral development banks and United Nations agencies. **International Studies Quarterly**, London, v. 47, n. 1, p. 101-122, 2003.

OLENDER, M. C. H.L. **A técnica do Pau-a-pique: subsídios para a sua preservação**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

OLIVEIRA, H. **Construção seca: Light Steel Frame**. Minas Gerais, 2016.

ONU, Organização das Nações Unidas (org.). **A ONU e o meio ambiente**. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ONU, Organização das Nações Unidas (org.). **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 02 abr. 2022.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador, v. 149, p. 4-11, 2006.

PARTZSCH, L. Smart regulation for water innovation—the case of decentralized rainwater technology. **Journal of Cleaner Production**, Germany, v. 17, n. 11, p. 985-991, 2009.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PHILIPPI JUNIOR, A. Agenda 21 como Instrumento para Gestão Ambiental. **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, p. 713-735, 2005.

PORTAL AMBIENTE LEGAL. **IBGE divulga Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo, 2016.

PRABHU, R., COLFER, C. J. P., DUDLEY, R. G. Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management. **Toolbox Series**, n. 1. Indonesia: CIFOR, 1999.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da pesquisa científica: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. **Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 1, p. 72-87, 2015.

QUIROGA-MARTINEZ, R. **Los indicadores de desarrollo sostenible: estado del arte**. Curso-Taller Indicadores de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe. 2 v. Santiago: CEPAL, 2003.

RAGAS, A. M. J.; KNAPEN, M. J.; HEUVEL, P. J. M.; EIJKENBOOM, R. G. F. T. M.; BUISE, C. L.; LAAR, B. J. Towards a sustainability indicator for production systems. **Journal of Cleaner Production**, The Netherlands, v. 3, n. 1-2, p. 123-129, 1995.

RAMETSTEINER, E.; PÜLZL, H.; OLSSON J. A.; FREDERIKSEN, P. Sustainability indicator development: Science or political negotiation? **Ecological Indicators**, Áustria, v. 11, n. 1, p. 61-70, 2009.

RAUPP, F.; SELIG, P. M.; VIEGAS, C. V. Entre a ciência e a norma: análise comparativa de grupos de indicadores de sustentabilidade. **Rebrae**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 129-139, 2011.

REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. **Environment and Urbanization**, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.

ROBERT, K. H.; DALY, H.; HAWKEN, P.; HOLMBERG, J. A compass for sustainable development. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, London, v. 4, n. 2, p. 79-92, 1997.

ROCHA JÚNIOR, L. G. **Metodologias para a consideração de incertezas no problema de fluxo de potência de sistemas de transmissão de energia elétrica**. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

RODRIGUES, G. P. **Revisão crítica das regulamentações ambientais à luz das supostas mudanças climáticas globais**. 2012. 318 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ROVEDA, M.; CAMPOS, F. I.; PIETRAFESA, J. P.; PRADO, R. **Reflexão ética sobre a problemática ambiental**. Anapólis, 2010.

ROVERS, R. Sustainable building an international overview of current and future activities. **International Conference on Passive and Low Energy Architecture**. 2001. p. 27-35.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **Energy and buildings**, Portland, v. 40, n. 8, p. 1466-1478, 2008.

SALAS ZAPATA, W. A.; RÍOS OSORIO, L. A.; CASTILLO, J.Á. D. La ciencia emergente de lasustentabilidad: de lapráctica científica haciaaconstitución de una ciencia. **Asociación Interciencia**, España, v. 6, n. 9, 2011.

SAMPLE, D. J.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal of Cleaner Production**, Virginia, v. 75, p. 174-194, 2014.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. 2015. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and recycling**, Portugal, v. 71, p. 1-6, 2013.

SANTOS, F. T.; FERREIRA, R. L.. Tecnologias sustentáveis como solução aos impactos da expansão urbana: Energia Solar e Telhado Verde. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 9, n. 18, 2020.

SARROUF, L. **5 selos de sustentabilidade na construção civil**. Ceará, 2019.

SATO, A. C. K. **Índices de sustentabilidade**. Unicamp: Campinas, 2003. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/anacarla.htm>. Acesso em: 02 abr. 2022.

SCRENSKI, A. J. **Viabilidade do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono**. 2015. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SEABRA, G.; MENDONÇA, I. **Educação ambiental: Responsabilidade para conservação da sociobiodiversidade**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2011.

SEBRAE. **Sustentabilidade econômica**. 2017. Disponível em: [http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/6-Sustentabilidade-Economica\\_MIOLO-final.pdf](http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/6-Sustentabilidade-Economica_MIOLO-final.pdf). Acesso em: 04 abr. 2022.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Diretrizes para construções sustentáveis**. Itu - São Paulo. 2015.

STEFANUTO, Á. P. O.; HENKES, J. A. Critérios para obtenção da certificação Leed: um estudo de caso no supermercado pão de açúcar em Indaiatuba/SP. **Rev. de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 282 - 332, 2013.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico** – 23. ed., São Paulo: Cortez, 2007.

SEVERINO, M. M.; OLIVEIRA, M. A. G. Fontes. Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados**, Palmas, v. 1, p. 265-322, 2010.

SHIELDS, D. J.; ŠOLAR, S. V.; MARTIN, W. E. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, Fort Collins, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, 2002.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & sociedade**, Campinas, v. 10, p. 137-148, 2007.

SILVA, A. C. **Análise da Gestão de resíduos sólidos urbanos em capitais do Nordeste brasileiro: o caso de Aracaju/SE e João Pessoa/PB**. 2014. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SILVA, S.; FERREIRA, E.; ROESLE, C.; BORELLA, D.; GELATTI, E.; BOELTER, F.; MENDES, P. Os 5 R's da sustentabilidade. **Anais do V Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia & Desenvolvimento**, Santa Maria, 2017.

SILVA, G. K. L.; PEREIRA, S. G. **Bioconstrução como alternativa construtiva**. 2019. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2019.

SLIMANE, M. Role and relationship between leadership and sustainable development to release social, human, and cultural dimension. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Algeria, v. 41, p. 92-99, 2012.

SONNE, J. Evaluating green roof energy performance. **Ashrae Journal**, Akron, v. 48, n. 2, p. 59, 2006.

SOUZA, U. E. L.; DEANA, D. F. **Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais**. São Paulo, 2007.

STRAPASSON, D. C.; FREITAS, M. C. D.; SANTOS, A. Estudo Comparativo do Consumo Energético do Telhado Convencional e Verde Leve em uma edificação. **5º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais**, Campos Gerais, 2010.

STURM, M.; ZIMMERMANN, M.; SCHÜTZ, K.; URBAN, W.; HARTUNG, H. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Germany, v. 34, n. 13-16, p. 776-785, 2009.



SUSTENTARQUI. **Saiba quais são os selos para construção sustentável**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/selos-para-contrucao-sustentavel/>. Acesso em: 08 mar. 2022.

TAYRA, F. Capital natural e graus de sustentabilidade: visões de mundo e objetivos conflitantes. **Pensamento & Realidade**, São Paulo, v. 19, 2006.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de indicadores de sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 84-95, 2006.

TOMAZ, P. **“BMP’s Best Management Practices (melhoria da qualidade das águas pluviais)**. São Paulo: Livro Digital, p. 185, 2005.

TEODORO, N. **Indicadores Ambientais: quais são e a importância deles**. Paraná, 2021.

UGREEN. **Telhado Verde: Uma Estratégia Com Vantagens Diversas**. Curitiba, 2009.

VELAZQUEZ, L. S. Organic greenroof architecture: Sustainable design for the new millennium. **Environmental quality management**, v. 14, n. 4, p. 73-85, 2005.

VIEIRA, A. S.; BEAL, C. D. Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Florianópolis, v. 34, p. 225-242, 2014.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; GHISI, E.; STEWART, R. A. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, v. 2, 2012.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Philadelphia, PA: **New Society Publishers**, 1996.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water research**, Exeter, v. 46, n. 16, p. 5127-5134, 2012.

ZINCO. **Green roofs and solar energy**. 2016. Disponível em: <https://zinco-greenroof.com/systems/solar-energy>. Acesso em: 07 mar. 2022.

ZINCO BRASIL. **Telhados verdes com energia solar**. São Paulo, 2019.