PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Programa de Graduação em Engenharia Civil - Instituto Politécnico

Eloah Maria de Sousa

Isabella Izaias de Almeida

Larissa Reis Rabelo Costa

Paulo Henrique Silva Philomeno

Sarah Larissa Brandão Carneiro

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:

Projetos Sustentáveis e Bioengenharia; Materiais Naturais e Sustentáveis; e Alternativas para o Abastecimento de Água e para o Esgotamento Sanitário.

Belo Horizonte

2024

Eloah Maria de Sousa
Isabella Izaias de Almeida
Larissa Reis Rabelo Costa
Paulo Henrique Silva Philomeno
Sarah Larissa Brandão Carneiro

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Projetos Sustentáveis e Bioengenharia; Materiais Naturais e Sustentáveis; e Alternativas para o Abastecimento de Água e para o Esgotamento Sanitário.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil

Área de concentração: Construções Sustentáveis

Prof. Dr. Geraldo Tadeu Rezende Silveira - PUC Minas (Orientador)

Prof. Ricardo Silva Resende - PUC Minas (Banca Examinadora)

Prof. Rui Gabriel Modesto de Souza - PUC Minas (Banca Examinadora)

Belo Horizonte
2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, que nos proporcionou a força e a sabedoria para alcançarmos nossos objetivos ao longo destes anos de estudo.

Expressamos nossa profunda gratidão aos nossos familiares e amigos pelo apoio incondicional e pela assistência essencial durante toda a jornada.

Somos imensamente gratos ao professor Geraldo Tadeu por sua orientação exemplar e dedicação incansável, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradecemos, ainda, à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais por fornecer um ambiente acadêmico estimulante e aos professores, profissionais, colegas e funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para o nosso crescimento acadêmico e profissional.

A todos os colegas de sala e amigos do curso, agradecemos pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento e pelo incentivo mútuo. Esta conquista é, também, resultado do apoio e da colaboração de cada um de vocês.

RESUMO

A evidência de quesitos de insustentabilidade na construção civil é notória, perceptível até mesmo para observadores leigos no assunto, sendo um problema que salta aos olhos de todos que circulam pelas ruas. Ao direcionarmos nossa atenção para os tempos atuais e realizarmos uma simples observação dos edifícios em qualquer cidade brasileira, torna-se evidente que, embora essas estruturas tenham atendido plenamente aos propósitos para os quais foram concebidas em sua época, as obras ecologicamente corretas são atualmente relegadas a um plano secundário. Este estudo concentra-se na promoção da sustentabilidade em construções civis, destacando iniciativas como o uso de materiais naturais e sustentáveis, práticas de bioengenharia e soluções pouco exploradas para o abastecimento de água e o tratamento de esgoto. A pesquisa visa identificar soluções que impulsionam a sustentabilidade nesse setor. Para tanto, foram conduzidas visitas técnicas, entrevistas com especialistas e análise de estudo de caso. Os resultados revelam uma ampla gama de opções viáveis, incluindo a implementação de telhados verdes em edifícios, sistemas de tratamento e reutilização de água, e alternativas para o saneamento básico. Esses achados evidenciam uma crescente demanda por práticas sustentáveis e, do ponto de vista econômico, muitas soluções já são acessíveis. Conclui-se, portanto, que houve avanços significativos tanto em termos técnicos quanto econômicos no contexto da construção sustentável. No entanto, há ainda um vasto potencial a ser explorado, indicando a necessidade contínua de inovação e adoção de práticas mais sustentáveis na indústria da construção.

Palavras-chave: projetos sustentáveis; construções sustentáveis; materiais naturais e sustentáveis; soluções no abastecimento de água e esgoto.

ABSTRACT

The evidence of sustainability issues in the construction industry is notable, apparent even to lay observers on the subject, posing a problem that catches the eye of everyone who travels through the streets. As we turn our attention to the present times and make a simple observation of buildings in any Brazilian city, it becomes clear that, although these structures fully served the purposes for which they were conceived in their time, environmentally friendly works are currently relegated to a secondary level. This study focuses on promoting sustainability in civil constructions, highlighting initiatives such as the use of natural and sustainable materials, bioengineering practices, and underexplored solutions for water supply and sewage treatment. The research aims to identify solutions that drive sustainability in this sector. To this end, technical visits, interviews with experts, and case study analysis were conducted. The results reveal a wide range of viable options, including the implementation of green roofs on buildings, water treatment and reuse systems, and alternatives for basic sanitation. These findings demonstrate a growing demand for sustainable practices, and from an economic standpoint, many solutions are already accessible. It is therefore concluded that there have been significant advances both in technical and economic terms in the context of sustainable construction. However, there is still vast potential to be explored, indicating the ongoing need for innovation and the adoption of more sustainable practices in the construction industry.

Keywords: sustainable projects; sustainable constructions; natural and sustainable materials; water supply and sewage solutions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fachada do Edifício IDEA Bagé 14
Figura 3 - Fachada e janelas do edifício IDEA Bage 15
Figura 5 - Tijolos Adobe utilizados para construção 18
Figura 6 - Terra crua utilizada para confecção de blocos 18
Figura 7 - Telhados verdes utilizados em residências 19
Figura 8 - Bambu utilizado na estrutura de uma construção 20
Figura 9 - Símbolo da organização Forest Stewardship Council (FSC) 21
Figura 10 - Sistema de caixas para tratamento de água pluvial com bambu. 23
Figura 11 - Pedaços de bambu servem para conter organismos poluentes 24
Figura 12 - Modelo de Funcionamento Sistema SODIS 25
Figura 13 - Esquema do Sistema Círculo de Bananeira 27
Figura 14 - Esquema de fossa verde 28
Figura 15 - Esquema de tanque séptico 29
Figura 16 - Esquema de biodigestor 30
Figura 17 – Reservatórios 36
Figura 18 – Boia automática de nível interativo 36
Figura 19 – Ladrão Pluvial 37
Figura 20 – Válvula de Escape 37
Figura 21 – Bomba 38
Figuras 22 e 23 – Calhas 39
Figura 24 – Sistema de decantação 40
Figura 25 – Cálculo feito pelo engenheiro para estimar a economia de água 41
Figura 26 – Paineis Solares 42
Figura 27 - Piso Laminado 43
Figuras 28 e 29 - Reaproveitamento do Piso Laminado no painel da parede 43
Figura 30 - Estrutura de um telhado verde 45
Figura 31 - Casa com Teto Vivo - Projeto e execução Biohabitate 46
Figura 32 - Produção de adobes em fôrma de madeira e metal. Obra Casa Confins - Biohabitate 47
Figura 33 - Corte esquemático do TEVAP 48
Figura 34 - Câmara anaeróbia dos dois TEVAPs feita de tijolo cerâmico furado - Obra Biohabitate 48
Figura 35 - Detalhe do Biodigestor 51
Figura 36 - Reservatório de Água - Mineirão 52
Figura 37 – Paineis Solares - Mineirão 53

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AAP	Aproveitamento de água pluvial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida Modular
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
REATOR UASB	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SODIS	Desinfecção solar da água
TEVAP	Tanque de Evapotranspiração
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **9**
1.1 Objetivos 10
1.1.1 Objetivo Geral 10
1.1.2 Objetivos Específicos 10
1.1.3 Justificativa 10
2 REFERENCIAL TEÓRICO **11**
2.1 Projetos Sustentáveis 11
2.1.1 Sustentabilidade 11
2.1.2 Biofilia 13
2.1.3 Projeto Sustentável 14
2.2 Materiais e técnicas sustentáveis 16
2.2.1 Terra Crua 17
2.2.2 Telhados Verdes 19
2.2.3 Bambu 20
2.2.4 Madeiras de florestas plantadas certificadas 20
2.3 Água 21
2.3.1 Coleta de água de chuva 22
2.3.2 Técnica da utilização de bambu 22
2.3.3 Desinfecção com UV do sol 24
2.4 Esgoto 25
2.4.1 Círculo de Bananeiras 26
2.4.2 Fossa Verde 27
2.4.3 Tanque Séptico 28
2.4.4 Biodigestor 29
3 METODOLOGIA **31**
3.1 Roteiro de pesquisa para visita à casa ecológica no bairro Filadélfia, Betim 31
3.2 Roteiro entrevista com o Arquiteto e bioconstrutor - Bruno Azevedo 32
3.3 Roteiro de entrevista com o Engenheiro Civil e Sanitário - Ricardo de Andrade 33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **35**
4.1 Visita técnica à casa ecológica no bairro Filadélfia, Betim 35
4.2 Entrevista com o Arquiteto e bioconstrutor - Bruno Azevedo 44
4.3 Entrevista com o Engenheiro Civil e Sanitário - Ricardo de Andrade 49
4.4 Visita técnica ao Mineirão 51
5 CONCLUSÃO **54**
6 REFERÊNCIAS **55**

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Comissão Brundtland (1991, apud CHIPANSKI, 2006), desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras também atenderem às suas próprias necessidades. Em 2006 a Associação Nacional de Engenheiros Profissionais (National Society of Professional Engineers – NSPE) reconheceu formalmente a importância da sustentabilidade ao adicionar uma nova obrigação profissional ao Código de Ética da Sociedade. A nova disposição afirmava: "Os engenheiros são incentivados a aderir aos princípios do desenvolvimento sustentável, a fim de proteger o meio ambiente para as gerações futuras".

Desde 1987, quando a Comissão Mundial sobre o Ambiente e o Desenvolvimento utilizou o termo "sustentabilidade" no seu contexto ambiental agora familiar, os engenheiros profissionais assumiram a liderança no desenvolvimento de soluções sustentáveis. Contribuíram para o desenvolvimento de projetos que abrangem energia solar, energia eólica, conservação de água e reaproveitamento de materiais, entre muitos outros. Mais recentemente, os engenheiros profissionais têm sido confrontados com os desafios extremamente difíceis provocados pelas alterações climáticas. Planejar para o desconhecido não é uma tarefa fácil, mas engenheiros profissionais estão agindo agora para reduzir os riscos e planejar uma recuperação rápida quando ocorrer um desastre (NSPE, 2024).

Neste contexto, surgiram as construções sustentáveis como resultado de uma abordagem mais integrada com o meio ambiente, desde a preparação até o acabamento de um edifício construído. Nessas construções, os impactos ambientais são reduzidos e os recursos naturais são aproveitados com máxima eficiência.

É urgente a identificação das características técnicas essenciais que propiciem a execução de um edifício ecologicamente correto, como o uso de materiais de construção de baixo impacto. Também, uma profunda reflexão das principais causas de um estudo preliminar inadequado ou apressado da fase inicial do projeto, tais como: análise incoerente quanto ao correto uso da edificação e preocupação somente com questões financeiras construtivas sem projeção de custos de manutenção desta edificação (PROFESSORA LUCIANE, 2016).

O presente estudo propõe uma análise abrangente baseada nos princípios da sustentabilidade, visando promover práticas sustentáveis na construção civil. Com foco primordial em materiais naturais e sustentáveis, a pesquisa explora alternativas e técnicas

pouco exploradas para o manejo eficiente dos recursos hídricos, destacando o reuso de água em edifícios e sistemas de captação de água da chuva.

Além disso, o estudo investiga soluções alternativas para a gestão de resíduos, abordando especificamente a problemática dos esgotos no contexto nacional. Reconhece-se que as características de uma construção sustentável exercem uma influência direta na interação entre o ser humano e o meio ambiente, podendo mitigar impactos negativos por meio de um planejamento adequado e consciente.

1.1 Objetivos

Neste trabalho será feito várias pesquisas para examinar a atual integração da sustentabilidade nas construções civis e explorar técnicas que possam ser aplicadas para tornar o setor da construção mais sustentável.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a integração da sustentabilidade em construções civis, e apresentar estratégias e alternativas técnicas pouco exploradas na construção civil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantar os princípios e fundamentos da concepção e elaboração de projetos sustentáveis;
- Identificar alternativas de materiais de construção civil naturais, virgens e sustentáveis;
- Estudar e propor soluções pouco difundidas para o abastecimento de água independentes dos sistemas coletivos convencionais;
- Estudar soluções para o esgotamento sanitário independente dos sistemas coletivos convencionais.

1.1.3 Justificativa

Diante do atual cenário ambiental, marcado pela degradação da natureza, escassez de recursos naturais e expansão da indústria da construção, torna-se imperativo adotar medidas que minimizem os impactos decorrentes da atividade humana. O enfoque na sustentabilidade na construção promove a busca por soluções que sejam tanto ambientalmente conscientes quanto economicamente viáveis. Isso inclui a redução e otimização do uso de materiais, a minimização de resíduos, a incorporação de fontes de energia renovável e a implementação de

uma gestão eficiente da água, destacando a responsabilidade do ser humano na preservação do meio ambiente.

Neste sentido, o projeto atual busca explorar a adoção de práticas sustentáveis na indústria da construção, analisando sistemas construtivos que estejam em harmonia com o meio ambiente, com o objetivo de conciliar o atendimento às necessidades humanas com a preservação da natureza. Prevê-se que esta pesquisa contribua de forma significativa para o aprofundamento do conhecimento sobre sustentabilidade e construções sustentáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste segmento, adentra-se no âmbito do referencial teórico que fundamenta a compreensão e a aplicação das construções sustentáveis. Serão exploradas as bases conceituais essenciais que orientam a escolha e o uso de materiais ecológicos, além dos princípios que regem o abastecimento de água e o sistema de esgotamento sanitário em projetos sustentáveis. Ao longo deste capítulo, serão abordados aspectos críticos, desde a seleção de materiais que minimizam o impacto ambiental até a implementação de sistemas de água e esgoto que promovem a eficiência hídrica e a preservação dos recursos naturais.

O intuito é proporcionar um entendimento sólido das teorias e conceitos que embasam a prática da construção sustentável, fornecendo uma base robusta para a aplicação desses princípios ao longo deste estudo. Destaca-se a importância de uma abordagem integral, considerando não apenas os materiais, mas também os sistemas de água e esgoto, para uma construção verdadeiramente sustentável. Este capítulo servirá como alicerce para as análises e propostas apresentadas posteriormente, visando contribuir para a disseminação de práticas construtivas mais alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

2.1 Projetos Sustentáveis

2.1.1 Sustentabilidade

Segundo o relatório Brundtland da Organização das Nações Unidas, definido em 1987, o desenvolvimento sustentável é aquele que "satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.” (ONU, 1987).

> Deve considerar a sustentabilidade ambiental, econômica e sociopolítica. Dentro da questão ambiental, (água, ar, solo, florestas e oceanos), tudo que nos cerca precisa de cuidados especiais para que continue existindo. Portanto, as sustentabilidades econômica e sociopolítica só têm existência se for mantida a sustentabilidade ambiental" (SUSANA, 2010).

É essencial que a preservação ambiental seja uma preocupação compartilhada por todos, com vigilância constante sobre ameaças e a adoção de práticas sustentáveis simples, como o uso responsável da água e a gestão adequada de resíduos. Além disso, é crucial enfrentar o consumismo excessivo e promover mudanças profundas nesse sentido. Este tema não é novo, mas sua aplicabilidade continua relevante, especialmente no contexto da Engenharia Civil, onde novos métodos e técnicas buscam garantir a sustentabilidade dos materiais e processos utilizados. (SUSANA, 2010).

No Relatório World Cities Report 2020, a ONU afirma que cidades bem planejadas, administradas e financiadas podem criar benefícios econômicos, sociais, ambientais e de governança (ONU, 2020). A arquiteta Marta Romero (2013) amplia essa compreensão, destacando que a construção da sustentabilidade nas cidades brasileiras envolve enfrentar desafios como a concentração de renda, desigualdades econômicas e sociais, saneamento ambiental, déficit habitacional, degradação ambiental e problemas de mobilidade e acessibilidade.

> A construção da sustentabilidade nas cidades brasileiras envolve a abordagem de inúmeras questões desafiadoras, tais como a concentração de renda, desigualdades econômicas e sociais significativas, acesso limitado à educação de qualidade, questões relacionadas ao saneamento ambiental, déficit habitacional e situações de risco em assentamentos urbanos de grande porte. Além disso, aborda a degradação dos ambientes construídos e naturais, bem como os acentuados problemas de mobilidade e acessibilidade (ROMERO, 2013).

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) propõem práticas para a sustentabilidade na construção, incluindo o aproveitamento de condições naturais locais, minimização do uso do terreno, análise e integração com o entorno, redução de impactos ambientais, qualidade ambiental interna e externa, gestão sustentável da obra, adaptação às necessidades dos usuários, uso de materiais ecoeficientes, redução do consumo de energia e água, gestão de resíduos sólidos, introdução de inovações tecnológicas e educação ambiental.

Para atingir a plena sustentabilidade na construção civil, é fundamental incorporar a dimensão social, com o objetivo de mitigar a pobreza e promover a equidade social nas áreas urbanas. O conceito de sustentabilidade é dinâmico e não se encaixa em uma definição rígida; um projeto pode adotar medidas para reduzir seu impacto ambiental, mas, sob diferentes perspectivas, pode não ser considerado plenamente sustentável. Muitas vezes, a sustentabilidade é erroneamente vista como inatingível e dispendiosa, mas é importante reconhecer que ela deve ser acessível a todos e trazer benefícios significativos ao meio ambiente, sem ser um privilégio restrito.

2.1.2 Biofilia

A biofilia, inicialmente explicada por Erich Fromm e popularizada por Edward Wilson (1984), refere-se ao amor e vínculo emocional dos humanos com a natureza e outros organismos vivos. Segundo Okamoto (2002), essa conexão com a natureza é um desejo humano resultante da evolução. Heerwagen (2012) destaca que a biofilia representa uma necessidade biológica de conexão com a natureza nos níveis social, mental e físico, fundamentada no fato de que, por mais de 99% da nossa história, evoluímos para nos adaptar às forças naturais, conforme explicado por Kellert e Calabrese (2015).

Como esclarece Heerwagen (2012), no contexto contemporâneo, a biofilia surge como uma abordagem essencial em áreas como arquitetura e design de ambientes. Profissionais dessas áreas reconhecem a necessidade humana de interação com a natureza e buscam incorporar elementos naturais em espaços construídos. A presença de vegetação, luz natural e elementos orgânicos não só melhora a estética, mas também proporciona benefícios significativos para o bem-estar e a saúde mental das pessoas que utilizam esses espaços, promovendo ambientes mais saudáveis, produtivos e inspiradores. (Heerwagen, 2012).

Segundo Kellert e Calabrese (2015), Além de integrar visualmente elementos naturais, o design biofílico cria experiências sensoriais que evocam conexões profundas com o meio ambiente, usando materiais sustentáveis e criando espaços verdes internos com máximo acesso à luz solar. Este conceito também se aplica ao planejamento urbano, onde a inclusão de parques, praças e áreas verdes melhora a qualidade de vida e enfrenta desafios ambientais, contribuindo para cidades mais sustentáveis e resilientes., o desafio do design biofílico é suprir a ausência de natureza nos ambientes modernos, promovendo saúde e bem-estar nas casas, trabalhos e locais de convivência. (Kellert e Calabrese, 2015).

2.1.3 Projeto Sustentável

Projetos sustentáveis são cuidadosamente concebidos e planejados com o propósito de minimizar ao máximo os impactos no meio ambiente, tanto durante a fase de construção, as operações contínuas, como também em possíveis demolições. Com o avanço tecnológico, as alternativas que promovem a eficiência no uso de recursos, como água e energia, têm ganhado uma importância crescente. Muitas dessas soluções são facilmente aplicáveis no cotidiano, como a instalação de paineis solares ou o uso de sistemas de captação de água da chuva em cisternas. A adoção de projetos sustentáveis torna-se crucial, sobretudo quando se considera que um dos setores mais prejudiciais ao meio ambiente é a construção civil. (GBCB, 2023).

De acordo com a CBCS, este setor se destaca como um dos principais causadores de impactos ambientais a nível global, uma vez que consome 75% dos recursos naturais e 20% da água nas áreas urbanas, a construção civil é responsável pela geração de 80 milhões de toneladas de resíduos anualmente. (CBCS, 2023).

O IDEA Bagé, um edifício situado no Bairro Petrópolis, em Porto Alegre, conquistou a certificação Platina do Green Building Council Brasil (GBCB), na categoria Condomínio ®. Este feito torna-se notável por ser o primeiro empreendimento residencial do Brasil a alcançar esse nível de reconhecimento, o mais elevado dentre as categorias. O Edifício voltou-se para a sustentabilidade em todas as etapas, desde o planejamento e construção até o cotidiano dos residentes.

Figura 1 - Fachada do Edifício IDEA Bagé



Fonte: Casacor, 2023.

Conforme descreveu a GBC Brasil, organização que faz parte do movimento global World Green Building Council, presente em diversos países ao redor do mundo. O GBC tem a

missão de fomentar o desenvolvimento da indústria nacional da construção civil, com foco na sustentabilidade

Segundo o GBC BRASIL (2023), o condomínio combina tecnologia avançada, automação e Internet das Coisas (IoT) com características sustentáveis notáveis. Ele utiliza paineis fotovoltaicos para gerar energia suficiente para as áreas comuns e aproximadamente 30% da energia dos apartamentos. A água é aquecida centralmente por energia solar, e a estrutura possui vidros eficientes e uma fachada autolimpante e termicamente eficiente que reduz o calor e bloqueia raios UV. O sistema de internet das coisas integrado, permite monitorar e controlar o consumo de água, energia e gás, promovendo economia. Há sistemas para coleta de água da chuva e de condensação para irrigação, além de infraestrutura para carregar carros elétricos em todas as vagas (GBC BRASIL, 2023).

Figura 2 - Vista superior do edifício – Sistema fotovoltaico



Fontes: GBCB, 2023.

Figura 3 - Fachada e janelas do edifício IDEA Bage



Fonte: GBCB, 2023.

Figura 4 - Fachada e janelas do edifício IDEA Bage



Fonte: GBCB, 2023.

2.2 Materiais e técnicas sustentáveis

A construção civil se encontra em um momento de profunda transformação, impulsionada pela crescente demanda por soluções sustentáveis. As técnicas construtivas tradicionais, com seus métodos e materiais de longa data, estão em constante evolução, buscando atender às demandas da sociedade moderna e minimizar os impactos ambientais (GHAVAMI, 2005).

A escolha dos materiais é um dos aspectos cruciais na construção, norteada por fatores como segurança, durabilidade, resistência e estética. Materiais tradicionais como concreto, aço e madeira, apesar de suas qualidades estruturais, geram impactos ambientais consideráveis, desde a extração até a disposição final. Essa realidade exige uma mudança de paradigma, com a busca por alternativas ecológicas que minimizem esses impactos e contribuam para a construção verde (GHAVAMI, 2005).

Dada a ampla gama de materiais considerados sustentáveis disponíveis no mercado, Loturco (2015) estabelece dez critérios técnicos para a seleção de materiais sustentáveis: consumo de água e recursos energéticos na fabricação, emissão de poluentes durante o processo de fabricação, redução de matérias-primas e utilização de materiais recicláveis, distância entre o local da obra e a fábrica de origem, geração e gestão de resíduos no canteiro de obras, economia de energia ou água no uso operacional, durabilidade e facilidade de manutenção, reciclabilidade do produto e seu destino após o uso, emissões de substâncias prejudiciais à saúde humana, além da legalidade e responsabilidade socioambiental do fabricante.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a escolha de materiais, produtos e componentes baseada em critérios ambientais, sociais e econômicos é essencial para a gestão sustentável na construção civil. O projeto Avaliação de Ciclo de Vida Modular (ACV) envolve a coleta de dados de produção com os fabricantes e sua consolidação em uma plataforma de consulta, permitindo uma comparação fácil e precisa entre produtos e fornecedores. Para esta iniciativa é necessário a análise dos seguintes aspectos:

- Consumo de energia e água;
- Uso de matérias-primas;
- Produção de resíduos;
- Liberação de CO2.

Além desses, podem ser incluídas informações sobre durabilidade, resistência, reflectância, entre outras propriedades, assim como dados sociais sobre formalidade, legalidade e iniciativas socioambientais (CBCS, 2014).

Atualmente, a ampla variedade de materiais sustentáveis disponíveis é um grande progresso na busca por práticas de construção mais ecológicas e responsáveis. No entanto, o uso eficaz desses materiais na construção civil exige uma compreensão detalhada de como, quando e onde empregá-los, para atender às necessidades específicas de cada projeto e garantir que desempenhem suas funções adequadamente.

2.2.1 Terra Crua

A utilização da terra crua na construção civil representa uma abordagem sustentável e eficaz para a edificação de estruturas. Este material versátil encontra aplicação principalmente em regiões de climas secos, onde a abundância da terra local permite sua utilização. Além de sua eficiência, o baixo custo de produção, a disponibilidade de materiais locais e uma baixa pegada de carbono fazem da terra crua uma escolha sustentável. A terra crua pode ser moldada em blocos, formando o tijolo adobe (Figura 5).

Figura 5 - Tijolos Adobe utilizados para construção



Fonte: Lecycpicorelli, 2011.

Adobe é feito de solo arenoargiloso em estado plástico, moldado em formas e desmoldado rapidamente para secar naturalmente, produzindo blocos ou tijolos de alvenaria, segundo a NBR16814 (ABNT, 2020). Esta técnica de construção utiliza tijolos de terra crua moldados e secos ao sol (Figura 6). A terra é misturada com água e pode incluir fibras vegetais ou sintéticas para maior consistência (MOREIRA, 2009).

Figura 6 - Terra crua utilizada para confecção de blocos



Fonte: Ensine faculdade, 2021.

O uso de terra crua na bioalvenaria é uma opção relevante para construções de baixo custo, pois economiza na logística quando a terra adequada está disponível no local, é abundante na região, não requer mão-de-obra especializada, utiliza apenas energia solar na fabricação e oferece ótimo conforto térmico (CORRÊA, et al. 2006).

De acordo com a NBR16814 (ABNT, 2020) as técnicas de construção com terra têm baixo impacto ambiental devido à produção local em pequena escala, reduzido gasto energético no transporte e uso de matéria-prima abundante. Além disso, consomem pouca energia, geram poucos resíduos e têm alto potencial de reciclagem, alinhando-se às premissas do desenvolvimento sustentável e mitigando os impactos ambientais negativos da construção civil.

2.2.2 Telhados Verdes

Os telhados verdes (Figura 7) são uma mudança de paradigma nos projetos, permitindo o uso de materiais locais e proporcionando benefícios térmicos e acústicos, umidificação do ar, redução de altas temperaturas e filtragem de partículas e gases nocivos (KREBS, 2005).

Figura 7 - Telhados verdes utilizados em residências



Fonte: LED Moveis, 2016.

De acordo com Werthmann (2007) os telhados ecológicos que promovem a preservação da natureza demandam mais cuidado e manutenção para manter a vegetação saudável e esteticamente agradável. No entanto, é crucial estar atento ao risco de queimadas durante os períodos de seca, pois podem destruir a vegetação e comprometer a eficácia da estrutura.

É válido ressaltar que há uma adição de carga na estrutura ao implementar uma vegetação em uma cobertura. Segundo Pouey (1998), devem ser consideradas duas cargas: permanentes e acidentais, sendo esta última relacionada ao tipo de atividade realizada na cobertura.

2.2.3 Bambu

Por ser um material renovável que absorve CO2, utiliza energia solar, é facilmente reincorporado à natureza, cresce rapidamente e possui espécies com excelentes propriedades de engenharia, o bambu pode ser considerado um material ideal para o século XXI, especialmente em um contexto de preocupações com a sustentabilidade (GHAVAMI, 2005).

Naturalmente, na Arquitetura e na Engenharia, são selecionadas espécies de bambu adequadas. Para utilizá-lo na construção (Figura 8), os colmos devem passar por várias etapas, incluindo seleção, corte, cura, secagem e tratamento com produtos preservativos (GHAVAMI, 2005).

Embora o bambu tenha pouco valor econômico, social ou cultural em nossa sociedade, em outros países ele é valorizado e amplamente pesquisado por seu potencial em diversas áreas. O bambu é um material não poluente, que requer pouca energia para ser preparado, tem fonte renovável e é de baixo custo (RIPPER, 1994).

Figura 8 - Bambu utilizado na estrutura de uma construção



Fonte: ECO Telhado, 2021.

2.2.4 Madeiras de florestas plantadas certificadas

Fundado em 1993, o *Forest Stewardship Council* (FSC) é uma organização internacional sem fins lucrativos que promove uma gestão das florestas que seja ambientalmente responsável, socialmente justa e economicamente viável (FSC, 2024).

Os padrões florestais sustentáveis do FSC resultam em ações concretas que beneficiam positivamente as florestas globais. Seu sistema de certificação assegura a sustentabilidade dos produtos florestais e serviços ecossistêmicos em todas as etapas da

cadeia de valor, desde a floresta até o consumidor final. O símbolo da certificação é o selo FSC (Figura 9), o mesmo esta presente em milhões de produtos e é reconhecido por 56% dos consumidores mundialmente (FSC, 2024).

A organização defende e apoia o desmatamento zero, proteção de florestas antigas e em risco, remuneração equitativa e condições de trabalho favoráveis, conservação da biodiversidade, respeito aos direitos das comunidades, abrangendo os direitos dos Povos Indígenas (FSC, 2024).

Figura 9 - Símbolo da organização *Forest Stewardship Council* (FSC)



Fonte: *Forest Stewardship Council*, 2024.

2.3 Água

Segundo o relatório da ONU (2021), a água é vital para a vida e os processos produtivos, mas sua distribuição é desigual globalmente, com algumas regiões enfrentando escassez. A sustentabilidade do uso da água e a preservação de sua qualidade para as futuras gerações são prioridades nas discussões ambientais e objetivos de desenvolvimento sustentável (ONU, 2021).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), o desperdício de água nas concessionárias de saneamento no Brasil atinge uma média de 40,3%, chegando a 78,2% no Amapá, o que é alarmante e inaceitável, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (SNIS, 2021; CBIC).

A CBIC (2021) destaca que a gestão hídrica na construção visa reduzir o consumo total de água e minimizar o impacto sobre o ciclo natural do recurso, promovendo a educação e a gestão integrada (CBIC, 2021).

Considerando esse cenário, evidencia-se a importância da adoção de captação de água, tratamento e gestão, como opções:

2.3.1 Coleta de água de chuva

Segundo Lima et al. (2011), a captação de água da chuva é uma estratégia eficiente para adquirir recursos hídricos, utilizando superfícies impermeáveis como telhados e lajes para coletar a água das precipitações. Apesar de sua aplicação ainda não atingir todo seu potencial, metade da população poderia ser abastecida com água da chuva se essa prática fosse adequadamente implementada (Lima et al., 2011).

Lima et al. (2011) explicam que a prática de aproveitamento de água pluvial, envolve a coleta, filtragem e armazenamento da água da chuva, que, embora naturalmente potável, se contamina ao entrar em contato com superfícies de coleta devido a impurezas como solo. Assim, é necessário tratamento adicional. A água coletada de pisos requer um tratamento mais intenso devido à presença de óleos e resíduos animais (Lima et al., 2011).

De acordo com Lima et al. (2011), a água da chuva pode se tornar ácida ao entrar em contato com poluentes atmosféricos, especialmente em áreas industriais. Diversos estudos no Brasil investigam a qualidade das águas pluviais em diferentes regiões. Os sistemas de aproveitamento de água pluvial são classificados pelo tipo de reuso e nível de tratamento: reuso não-potável direto, reuso não-potável tratado e reuso potável (Lima et al., 2011).

Lima et al. (2011) destaca que o reuso não-potável direto, onde recipientes armazenam água não tratada para irrigação e lavagem, devido ao risco de contaminação. O reuso não-potável tratado é usado para atividades como lavagem de roupas e limpeza, sendo uma solução eficiente para reduzir o consumo de água potável. Sistemas para reuso potável exigem tratamento avançado e monitoramento constante, apesar do alto custo inicial, proporcionando economia a longo prazo (Lima et al., 2011).

O sistema de captação de água da chuva é composto por vários elementos, conforme Lima et al. (2011): uma superfície de captação (telhado), calhas e condutores para direcionar a água, filtros para remover detritos, um reservatório de armazenamento feito de materiais como polietileno ou concreto, um sistema de filtragem adicional (opcional) para usos específicos, e uma bomba para aplicações que requerem pressão, como irrigação (Lima et al., 2011).

2.3.2 Técnica da utilização de bambu

Segundo Hilman Allem, (2017), o bambu é uma planta típica da região de clima tropical e possui potencial agrícola, por crescer rápido e em quantidade. Possui propriedades capazes de purificar o ar e remover gases tóxicos. O sistema que compõe o bambu é formado por: rizomas, colmos, galhos e folhas, podendo apresentar flores e frutos (Figura 10).

De acordo com Hilman Allem, (2017), O tratamento da água com bambu é feito devido à filtragem que ocorre no contato da água residual com os poros das paredes internas dos tocos de bambu., tais paredes, possuem bactérias pseudomonas, que se desenvolvem com os contaminantes presentes no líquido, gerando a limpeza (Figura 11). Isso ocorre pelo fato de o bambu ser hospedeiro da bactéria Pseudomonas, às quais aderem às paredes internas do colmo (caule do bambu) por causa da presença do parênquima. (Hilman Allem, 2017).

A responsável pelo armazenamento de substâncias fabricadas pela célula, como o óleo e o amido, é a parênquima e essas substâncias é que garantem a existência das bactérias responsáveis pela limpeza da água residual. Ademais, o colmo é formado entre nós e nós, dos quais são constituídos por fibras e vasos condutores de seiva. (Hilman Allem, 2017).

Nesse contexto, é certificado uma possibilidade viável de empregar o bambu no tratamento da água. Observa-se uma eficiência de aproveitamento superior a 90% da água tratada, uma vez que, durante o processo de tratamento, além da atuação das bactérias, as impurezas são retidas nas paredes internas do bambu, caracterizando um efeito de filtração. Vale ressaltar que esse método pode ser aplicado tanto em águas provenientes da chuva quanto de mananciais. (Hilman Allem, 2017).

Figura 10 - Sistema de caixas para tratamento de água pluvial com bambu.



Fonte: Fábio Fraga/Arquivo pessoal, 2013.

Figura 11 - Pedaços de bambu servem para conter organismos poluentes



Fonte: Fábio César Fraga, 2013.

2.3.3 Desinfecção com UV do sol

A técnica de Desinfecção Solar da Água (SODIS) emprega a energia solar como meio de desinfecção de microrganismos patogênicos (Figura 12). Esse processo se deve à vulnerabilidade desses microrganismos aos efeitos da luz solar, que incluem o aumento da temperatura (calor) e a radiação no espectro de luz UV-A, abrangendo comprimentos de onda de 320 a 400 nm. A combinação desses dois efeitos é o que intensifica a letalidade dos microrganismos presentes na água. Esta técnica, de custo acessível, é especialmente apropriada para tratamento de volumes reduzidos de água com baixa turbidez. Normalmente, a água de baixa turbidez é acondicionada em garrafas PET e submetida à exposição à radiação solar. (OICS, 2023).

Caso durante o período de exposição a água alcance temperaturas de 50°C ou superiores por pelo menos uma hora, a mesma estará pronta para o consumo. A eficácia desse processo pode ser otimizada quando são utilizadas garrafas de plástico transparente e estas são colocadas sobre uma superfície refletora de luz solar, como alumínio, zinco ou mesmo placas de ferro pré-acumuladas. (OICS, 2023).

Figura 12 - Modelo de Funcionamento Sistema SODIS



Fonte: IMTA - Instituto Mexicano de Tecnologia, 2022

2.4 Esgoto

O saneamento básico, é um componente crítico da infraestrutura urbana que influencia diretamente na propagação da saúde pública, qualidade de vida e conservação do meio ambiente. O esgotamento sanitário é um componente do saneamento responsável por coletar, transportar e descartar as águas residuais geradas nas áreas urbanas, são águas provenientes de áreas molhadas tais como: banheiros, cozinhas, lavanderias e outros de usos similares. O sistema tem como finalidade encaminhar as águas residuais para serem tratadas antes de serem lançadas no meio ambiente, prevenindo a poluição de rios, lagos e oceanos, ou para minimizar vetores de doenças transmitidas pelas águas reutilizadas, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017).

O relatório do Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef, 2021) diz que cerca de 4,2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços de esgotamento sanitário gerenciados de forma segura. O Brasil é um dos países que enfrenta desafios em relação ao esgotamento sanitário, tem sido objeto de preocupação crescente, devido à expansão urbana e à falta de infraestrutura adequada. Embora tenham ocorrido avanços nas últimas décadas, ainda existem desafios significativos a serem superados. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), aproximadamente 39,7% dos municípios brasileiros não têm serviço de esgotamento sanitário, são cerca de 34,1 milhões de domicílios sem acesso a

este serviço. A falta de sistemas de esgotamento sanitário abrange principalmente pequenos municípios, áreas rurais e comunidades carentes, com menos recursos financeiros e pouco investimento em infraestrutura com base nos dados levantados pelo AtlasEsgotos (2017) pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017).

Segundo Tonetti *et al*. (2018), o país tem dimensões significativas, e a garantia de que a população tenha acesso a sistemas adequados e sustentáveis de coleta e tratamento de esgoto é essencial. Neste contexto, uma série de estratégias e tecnologias foram desenvolvidas para tornar o tratamento do esgoto viável em comunidades isoladas onde o tratamento convencional não existe. A gestão sustentável do esgoto sanitário é obrigatória não apenas para preservar a saúde pública, mas também para minimizar os impactos negativos no meio ambiente e promover a eficiência no uso de recursos hídricos.

A implementação de técnicas sustentáveis de disposição final do esgotamento sanitário é de extrema importância para garantir a proteção do meio ambiente e a saúde pública. No entanto, a escolha e a implantação dessas técnicas exigem uma análise cuidadosa de diversos fatores específicos ao contexto local, como a geometria do terreno onde será instalado o sistema, o tipo de águas residuais que serão tratadas. Além disso, é fundamental observar e seguir rigorosamente as normas de regularização da cidade e as legislações ambientais pertinentes (Braga, 2005).

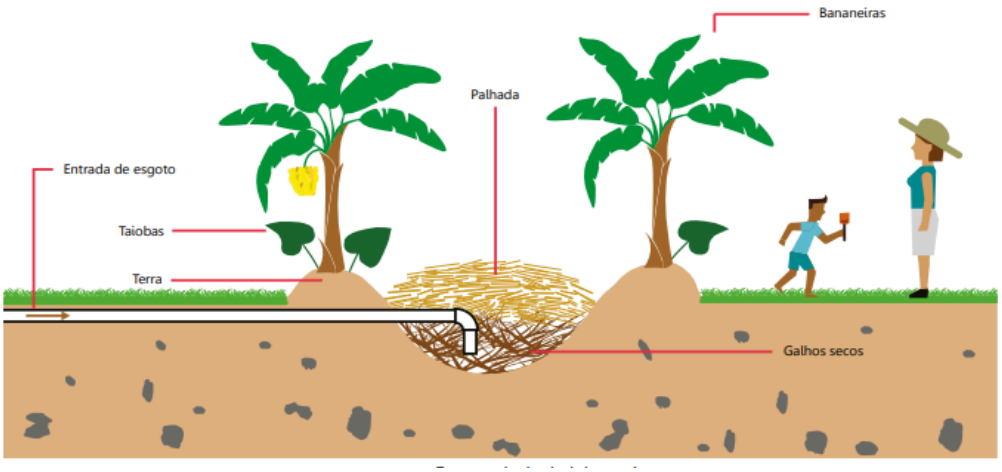
2.4.1 Círculo de Bananeiras

A implementação do Círculo de Bananeiras envolve a criação de um sistema integrado em que as bananeiras são plantadas em círculo ao redor de uma área específica destinada ao tratamento de esgoto (Figura 13). As plantas desempenham um papel crucial na remoção de impurezas da água, agitadas como agentes bioindicadores e biofiltros. As raízes das bananeiras absorvem nutrientes como nitrogênio e fósforo, contribuindo para a purificação da água residual (Tonetti *et al.*, 2018).

Seu processo de implantação consiste em fazer uma cava no solo em formato de bacia com diâmetro interno 1,4 a 2,0 m e 60 cm de profundidade. Esse sistema não pode ser impermeabilizado, pois a água precisa infiltrar no solo, o fundo da bacia deve ser preenchido com galhos pequenos constituindo uma camada de matéria orgânica e na parte de cima deve ser utilizado folhas secas ou capim seco para evitar a entrada de insetos e animais e que a exposição deste esgoto ao ar gera mau cheiro, essa técnica forma um local propício para receber o esgoto (Barbosa *et al*. 2017).

O sistema de tratamento é projetado para esgotos pré-tratados ou águas cinzas, que são tipicamente ricas em nutrientes provenientes de restos de alimentos e outros resíduos orgânicos domésticos que promovem o crescimento vigoroso das plantas, resultando na produção de frutos muito saudáveis Tonetti *et al*. (2018). Esse sistema é conhecido por sua funcionalidade e eficiência, proporcionando uma série de benefícios sociais, econômicos e ambientais. Uma das principais vantagens é o baixo custo de instalação e operação, tornando-os acessíveis para uma ampla gama de aplicações.

Figura 13 - Esquema do Sistema Círculo de Bananeira



Fonte: Tonetti *et al.*,2018.

2.4.2 Fossa Verde

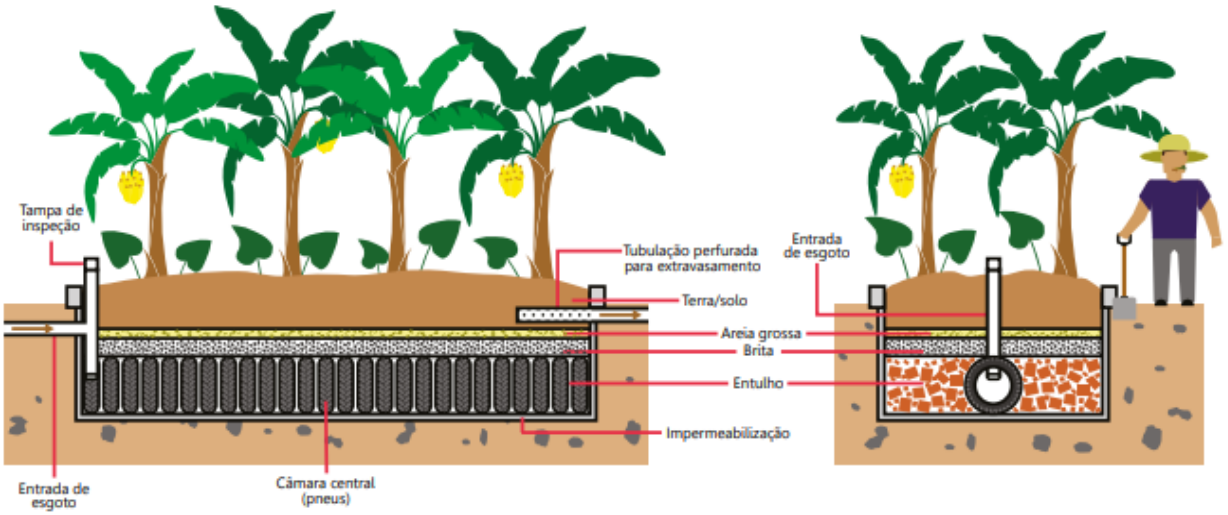
De acordo com FIGUEIREDO, *et al.*, (2018). A fossa verde também é conhecida como bacia de evapotranspiração (BET), eco fossa, fossa biosséptica, tanque de evapotranspiração (tevap), fossa de bananeira e outros. É uma técnica de combinação da fossa séptica tradicional com a aplicação de práticas mais sustentáveis e ecológicas (Figura 14). O objetivo de uma fossa verde é tratar as águas negras provenientes de vasos sanitários de forma eficiente, evitando a poluição ambiental e contribuindo para a fertilização do solo de forma simples.

Essa fossa não necessita de uma unidade de pré-tratamento pois trata somente as águas das privadas, sendo necessário separar as redes do vaso das demais (FUNASA, 2006). Seu funcionamento baseia-se na construção de uma vala impermeabilizada feita de alvenaria, com dimensões adaptáveis conforme a necessidade internamente. Essa vala contém uma câmara, onde o esgoto é direcionado para o seu interior e, posteriormente, escoado para a parte externa

dessa estrutura. Esta área externa é preenchida com materiais porosos que atuam como filtros, como entulho, casca de coco e solo. Além disso, plantas específicas como bananeiras e taioba são cultivadas nessa camada de materiais porosos, desempenhando um papel crucial no processo, ajudando a absorver e degradar os resíduos orgânicos presentes no esgoto.

A fossa verde é capaz de remover até 80% da matéria orgânica presente nas águas negras. Apesar de apresentar um custo de implementação mais elevado em comparação com outras técnicas, o sistema tem uma baixa necessidade de manutenção. Além disso, é altamente adaptável, podendo ser aplicado em áreas com solo extremamente arenoso ou argiloso, e até mesmo em locais com lençol freático reduzido. Essas características fazem dela uma opção sustentável e eficaz para o tratamento de esgoto (Tonetti et al. 2018).

Figura 14 - Esquema de fossa verde



Fonte: Tonetti *et al.*,2018.

2.4.3 Tanque Séptico

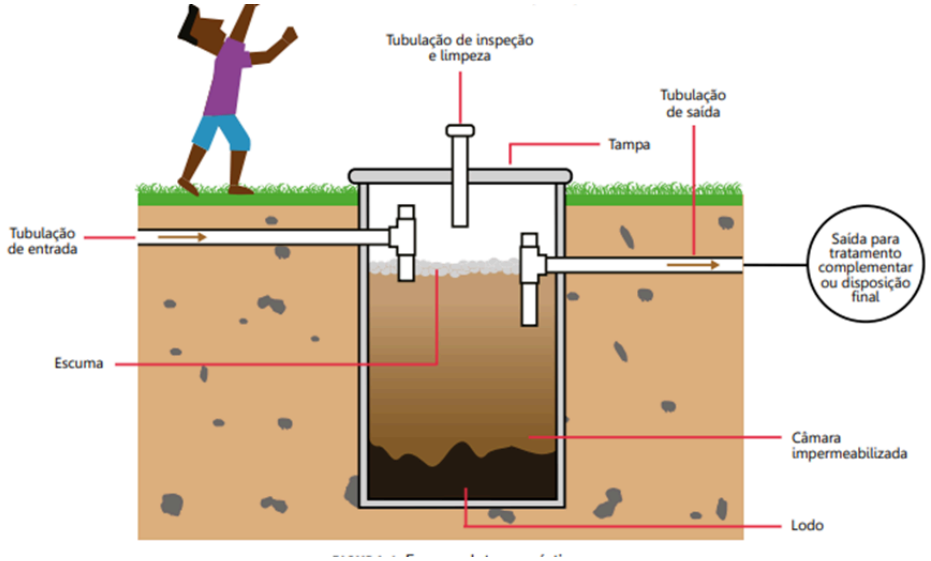
O tanque séptico é uma unidade de tratamento primário simples e econômica (Figura 15). Ele é projetado para receber todos os efluentes domésticos, incluindo os provenientes de cozinhas, lavanderias, lavatórios, banheiros, chuveiros e outros conhecidos como águas cinzas. Além disso, ele também recebe as águas negras provenientes dos vasos sanitários. O tanque pode ser construído de alvenaria, aneis de concreto ou outro material impermeabilizado. O dimensionamento correto e a manutenção regular, ao menos uma vez ao

ano, para a remoção do lodo acumulado, são cruciais para garantir a eficiência adequada do tratamento (Tonetti *et al*., 2018).

O sistema funciona paralelamente em um tanque ou em uma bateria de tanques, utilizando princípios físicos e biológicos para sedimentar os sólidos e digerir anaerobicamente o lodo acumulado no fundo da câmara. Esse lodo permanece, no fundo, pelo tempo necessário para sua estabilização. Na superfície, ficam retidos os sólidos que não se sedimentam, como materiais petrolíferos e gorduras, que formam uma escuma e são decompostos por microrganismos de forma anaeróbica (FUNASA, 2006).

Segundo Tonetti *et al*. (2018), após a água ser tratada e com uma carga orgânica reduzida, é desejável que ela seja direcionada para uma próxima etapa do sistema de tratamento, como um filtro de areia ou um filtro anaeróbio, ou, em alguns casos, para um campo de infiltração. Essas etapas adicionais são necessárias para a remoção do restante da matéria orgânica ainda presente no esgoto, pois o processo inicial não é totalmente eficiente e remove até 79% da matéria orgânica, podendo ainda existir DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio).

Figura 15 - Esquema de tanque séptico



Fonte: Tonetti *et al.,* 2018.

2.4.4 Biodigestor

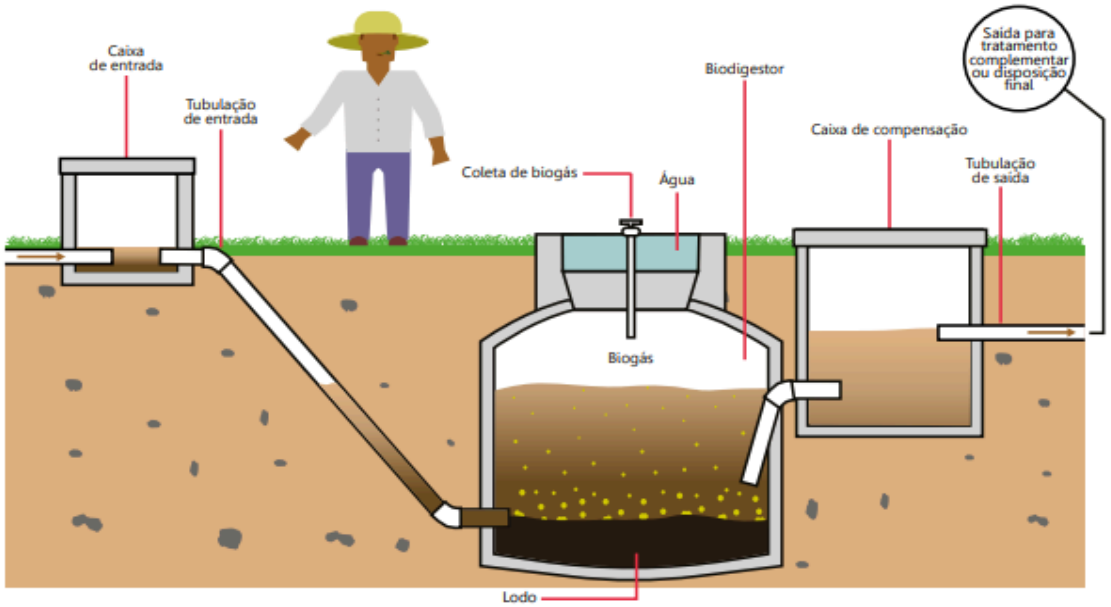
O biodigestor é uma solução eficiente e sustentável para o tratamento descentralizado de esgoto sanitário, podendo ser adotado por famílias unifamiliares ou em sistemas

semi-coletivos para tratar águas de vaso sanitário e esgoto doméstico de maneira eficaz. Embora sua implantação tenha um custo significativo em média R$2.500 (dois mil e quinhentos reais), e sua manutenção é constante ao menos cinco vezes ao ano, ele otimiza espaço para sua implantação conforme destacado por Tonetti *et al.* (2018).

O sistema consiste em um compartimento hermético, que pode ser construído de alvenaria de tijolos ou outros materiais impermeabilizados (Figura 16). No interior do biodigestor, bactérias anaeróbias realizam a digestão da matéria orgânica presente, sendo crucial a ausência de ar para o sucesso desse processo. Como subprodutos da fermentação, são gerados o biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, que pode ser capturado e utilizado para a produção de energia, e o biofertilizante. Nesta fase, a câmara é projetada para separar o efluente do gás gerado (ECYCLE, 2017).

Segundo Tonetti *et al.* (2018), o efluente tratado pelo biodigestor, que possui uma carga orgânica significativamente reduzida, é direcionado para a próxima fase do sistema de tratamento para a remoção do restante da matéria orgânica residual. O biodigestor consegue remover entre 50% a 79% da carga orgânica, o que não é suficiente para que o efluente seja liberado diretamente no meio ambiente. Após essa segunda fase de tratamento, as águas tratadas podem ser encaminhadas para uma vala de infiltração, um sumidouro, ou utilizadas em outras aplicações seguras no ambiente.

Figura 16 - Esquema de biodigestor



Fonte: Tonetti *et al.* 2018.

3 METODOLOGIA

Neste estudo, uma abordagem metodológica abrangente é adotada para avaliar projetos sustentáveis e de bioengenharia, materiais naturais e sustentáveis, assim como soluções sustentáveis para o abastecimento de água e esgotamento sanitário.

O principal método de pesquisa empregado foi o estudo de casos reais onde foram identificadas e analisadas soluções promotoras da sustentabilidade na prática, bem como os obstáculos à sua implementação. Nesse sentido, são realizadas:

- Visitas in loco para observação e diagnóstico. Elaborou-se roteiros para uma análise precisa em campo, abrangendo a observação dos materiais, técnicas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, soluções energéticas e métodos empregados.
- Entrevistas com profissionais da construção civil (projetistas, equipe de instalação e usuários). Também é elaborado um roteiro de perguntas objetivas relacionadas ao tema, abordando dificuldades no desenvolvimento do projeto, expectativas de custos, prazos para conclusão dos projetos, durabilidade, entre outros.

O levantamento dos formulários foi realizado com base nas informações necessárias para evidenciar os aspectos estudados pelo grupo. Foram selecionados cuidadosamente os questionamentos que proporcionariam entendimento valioso para a pesquisa. Durante as visitas, os entrevistados foram abordados pessoalmente, enquanto para as entrevistas, as perguntas foram enviadas previamente e os questionamentos ocorreram de forma virtual através da plataforma Teams. Além disso, antes das entrevistas com os profissionais, foi realizada uma pesquisa sobre as empresas onde trabalham para identificar aspectos não evidentes nas plataformas online, elaborando perguntas específicas para obter informações adicionais dos profissionais.

3.1 Roteiro de pesquisa para visita à casa ecológica no bairro Filadélfia, Betim

Perguntas destinadas ao engenheiro responsável pela reforma da casa:

1. Como é o processo do sistema de reuso de água?
2. Qual o impacto do sistema na economia de água?
3. Quais materiais são utilizados?
4. Como funciona a filtragem da água coletada?

Perguntas destinadas aos moradores da casa:

1. O que motivou a decisão de instalar um sistema de reaproveitamento de água em sua casa?

2. Qual foi a parte mais desafiadora da instalação?

3. Vocês já haviam visto esse sistema em outra casa antes?

4. Quais profissionais vocês precisaram contratar para a instalação?

5. Quais dicas vocês oferecem para pessoas interessadas em implementar este sistema?

3.2 Roteiro entrevista com o Arquiteto e bioconstrutor - Bruno Azevedo

1. Quais os princípios nos quais devem se basear um projeto de uma edificação sustentável?

2. A Biohabitate destaca-se pela sua abordagem inovadora em métodos construtivos, adotando uma variedade de técnicas que vão além dos padrões convencionais. Neste contexto:

a) A Biohabitate utiliza o telhado verde e outros tantos métodos, quais dessas técnicas construtivas são mais utilizadas na prática e quais são ainda ideais?

b) Quais são os principais mitos e equívocos que as pessoas têm sobre o uso do adobe na arquitetura, e como você os aborda em seus projetos?

c) Dos materiais utilizados pela Biohabitate, qual é o destaque em termos de viabilidade técnica e econômica?

d) Esses materiais são tecnicamente adequados se comparados com seus concorrentes convencionais?

e) Esses materiais são encontrados facilmente no mercado?

3. Quando se trata do manejo da água nas edificações, a Biohabitate adota a prática de coletar água da chuva em seus projetos, visando uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. Nesse cenário:

a) Das técnicas utilizadas pela Biohabitate, qual é a destaque em termos de viabilidade técnica e econômica?

b) Os resultados são significativos?

c) Há economia no uso da água?

4. No âmbito do tratamento de esgotos, a Biohabitate implementa o uso de biodigestores em suas construções, promovendo uma abordagem sustentável. qual se destaca em termos de viabilidade técnica e econômica?

a) Para habitações em condomínios sem rede coletiva, qual solução você sente que na prática é a mais viável?

5. Quais são os principais desafios (gargalos) para incorporar essas práticas sustentáveis em projetos de construção civil?

6. Quais são os principais benefícios ao se adotar essas técnicas de sustentabilidade nos empreendimentos?

7. Qual o perfil do cliente da Biohabitate que procura por esse tipo de construção?

8. Como convencer um cliente a adotar essas tecnologias muitas vezes não convencionais sendo que podem requerer investimentos iniciais significativos?

9. Alguma técnica inovadora ainda não utilizada pela Biohabitate que você destacaria como promissora para o futuro?

10. Como você avalia o retorno sobre o investimento (ROI) ao implementar tecnologias e práticas sustentáveis em projetos de construção?

11. Que conselhos você daria para nós engenheiros e para os colegas arquitetos que desejam incorporar práticas sustentáveis em seus projetos?

3.3 Roteiro de entrevista com o Engenheiro Civil e Sanitário - Ricardo de Andrade

1. Com que frequência deve-se realizar a remoção dos lodos gerados pelo processo de biodigestão e qual é o procedimento correto para a destinação final desses resíduos, considerando as normas ambientais e de saúde pública vigentes?

2. Qual é o investimento inicial necessário para a instalação de um biodigestor para uma família de 5 (cinco) pessoas, incluindo os custos com equipamentos, mão de obra e eventuais licenças ambientais?

3. Quais são os principais custos operacionais associados ao funcionamento de um biodigestor após a sua instalação, incluindo manutenção, insumos e energia necessária para a operação contínua do sistema?

4. Qual é o perfil típico do cliente que busca a instalação de biodigestores, levando em consideração fatores como a área de atuação (residencial, comercial, industrial), a consciência ambiental e as necessidades específicas de gestão de resíduos?

5. Quais são os principais desafios e barreiras que dificultam a adoção generalizada de biodigestores, incluindo aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e culturais?

6. É viável e eficiente utilizar biodigestores em edificações coletivas, como condomínios residenciais, complexos comerciais ou industriais, e quais são as adaptações necessárias para implementar essa tecnologia em larga escala?

7. Que conselhos você daria para nós engenheiros e para os colegas arquitetos que desejam incorporar práticas sustentáveis em seus projetos?

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A investigação de projetos sustentáveis e bioengenharia identificou práticas e soluções biotecnológicas para construções habitacionais e civis. A pesquisa sobre materiais naturais revelou alternativas promissoras, destacando a ecoeficiência. Além disso, foram descobertas tecnologias emergentes para otimizar o uso da água e reduzir o impacto ambiental do saneamento básico.

Através de visitas in loco e entrevistas com profissionais, obtivemos conhecimentos valiosos sobre diversas técnicas e materiais estudados ao longo do projeto, que serão apresentados a seguir.

4.1 Visita técnica à casa ecológica no bairro Filadélfia, Betim

Durante o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC II), foi proporcionada uma oportunidade valiosa de visitar uma residência em Betim, submetida a um processo de reforma com a finalidade de se tornar um modelo de habitação ecologicamente sustentável. Na ocasião, os estudantes foram acompanhados pelo engenheiro Igor Viegas, encarregado da obra, o qual apresentou um dos sistemas implantados no local: o reaproveitamento de água da chuva e da máquina de lavar.

Este sistema de reaproveitamento de água não apenas se destaca como uma prática sustentável, mas também se revela uma solução inteligente diante da crescente escassez de recursos hídricos. Por meio da captação e armazenamento de água pluvial e da água utilizada na lavagem de roupas, esta tecnologia desempenha um papel significativo na redução da demanda sobre os sistemas tradicionais de abastecimento de água potável. Adicionalmente, contribui para a preservação dos recursos naturais e para a minimização dos custos associados ao consumo de água.

Investir em sistemas que reaproveitam água é fundamental para cuidar do meio ambiente e incentivar as pessoas a usarem água de forma mais responsável. Com o aumento dos problemas relacionados à falta de água em várias partes do mundo, iniciativas como essa estão se tornando cada vez mais importantes e urgentes.

O sistema é composto pelos seguintes elementos:

- 2 reservatórios (Figura 17);
- 2 boias automáticas de níveis interativos (Figura 18);
- 1 ladrão pluvial (Figura 19);
- 1 válvula de escape (Figura 20);
- 1 bomba (Figura 21).

Figura 17 – Reservatórios



Fonte: Autoral. 2024.

Figura 18 – Boia automática de nível interativo



Fonte: Autoral. 2024.

Figura 19 – Ladrão Pluvial



Fonte: Autoral. 2024.

Figura 20 – Válvula de Escape



Fonte: Autoral. 2024.

Figura 21 – Bomba



Fonte: A casa São Paulo, 2024.

Todos os elementos trabalham em conjunto para que o sistema de reaproveitamento de água aconteça de forma segura e eficiente. Para o funcionamento do sistema de reuso citado, primeiro deve-se considerar as áreas de captação no caso das águas pluviais, e do escoamento da água das máquinas de lavar direcionando-as para as caixas.

Durante uma chuva, a água cairá pelo telhado seguindo pelos condutores das calhas (Figuras 22 e 23) até ser despejada nos reservatórios (Figura 17) que estarão munidos de uma boia de nivel automática (Figura 18), sincroniza com a bomba (Figura 21) e a outra boia de nivel automática instalada na caixa d'água localizada na laje, onde ficará armazenada e alimentará as as bacias acopladas dos sanitários.

Figuras 22 e 23 – Calhas



Fonte: Autoral, 2024.

Para ativação da bomba é preciso considerar quatro cenários possíveis, sendo que ela ligará em apenas um deles:

Cenário 1: Caixa da Laje Vazia + Caixa de Bombeamento Vazia = bomba desligada
Cenário 2: Caixa da Laje Vazia + Caixa de Bombeamento Cheia = bomba ligada
Cenário 3: Caixa da Laje Cheia + Caixa de Bombeamento Cheia = bomba desligada
Cenário 4: Caixa da Laje Cheia + Caixa de Bombeamento Vazia = bomba desligada

Quando bombeada, a água será direcionada para um reservatório dedicado exclusivamente ao reúso antes de ser encaminhada para os tubos de alimentação das caixas acopladas das bacias sanitárias. Ainda nos reservatórios (Figura 17), foi feito um sistema de ladrão (Figura 19) e válvula de escape (Figura 20) em caso de excesso de água armazenada nos reservatórios.

Foi observado que existe um sistema de decantação (Figura 24) das impurezas nas caixas. Para isso, um joelho foi instalado para direcionar a água captada para as paredes internas da primeira caixa, que receberá toda a água de reuso. Desta maneira, a força de queda da água será dissipada pelas paredes antes de entrar em contato com a água já presente no

reservatório, evitando a dispersão dos resíduos a cada queda d'água e, consequentemente, a mistura do conteúdo das caixas, formando um filtro por decantação.

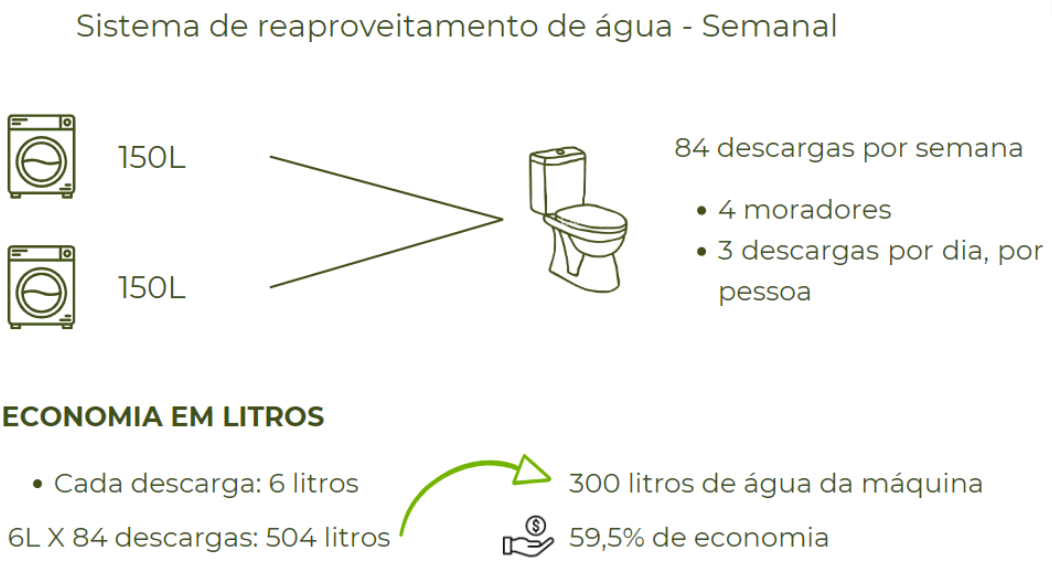
Figura 24 – Sistema de decantação



Fonte: Autoral, 2024.

Uma das questões levantadas pelo grupo durante a visita foi quanto os moradores podem economizar com o sistema de reuso de água. Para ilustrar e demonstrar essa economia, o engenheiro realizou o seguinte cálculo (Figura 25):

Figura 25 – Cálculo feito pelo engenheiro para estimar a economia de água



Fonte: Autoral. 2024.

Considerando uma residência com 4 moradores, onde cada pessoa utiliza a descarga cerca de 3 vezes por dia, é possível concluir que o sistema de reaproveitamento de água proporciona uma economia de aproximadamente 59,5%. Ressalta-se que esse cálculo considerou apenas a água reutilizada das máquinas de lavar. Em períodos chuvosos, essa economia pode ser ainda maior.

Após entrevistar os moradores da casa foi relatado que, o que os motivou a instalar o sistema de reaproveitamento de água, mesmo sem nunca terem visto isso em outra residência, foi a percepção de que é essencial que todos nós, seres humanos, tenhamos a responsabilidade de preservar os recursos naturais, que estão se esgotando.

Outra vantagem destacada pelos moradores é que a casa ganha valorização por possuir elementos sustentáveis, uma característica que será cada vez mais procurada no futuro. Para a instalação, foi necessário contratar um engenheiro para estudar como o sistema seria implantado, já que a casa está sendo reformada e não construída do zero, o que representou um grande desafio. Além do engenheiro, foram necessários apenas um eletricista e um bombeiro hidráulico para a implementação do sistema.

Os moradores aconselham realizar um estudo detalhado projetando o sistema antes de colocá-lo em prática, pois ele exige um espaço considerável para os reservatórios. Também é importante contratar os profissionais corretos para a execução, já que uma instalação inadequada pode causar vazamentos, mau cheiro devido à dificuldade de manutenção e

limpeza, e o mau funcionamento do sistema. Apesar do investimento inicial, o sistema trará um retorno significativo na economia de água, por isso não deve haver receio em investir.

Além do reaproveitamento de água, outra medida sustentável adotada na casa em Betim é a instalação de paineis solares (Figura 26). Essa tecnologia permite a geração de energia limpa e renovável, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

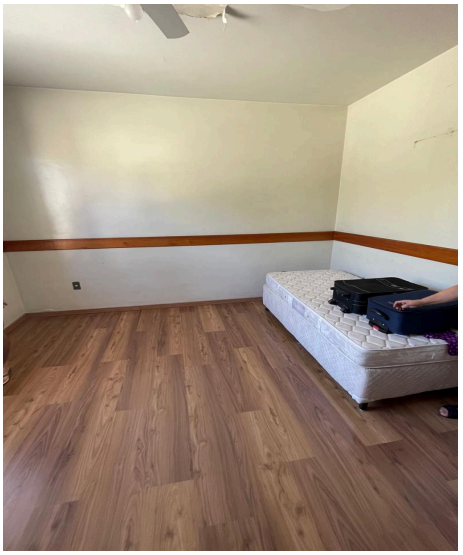
Figura 26 – Paineis Solares



Fonte: Autoral. 2024.

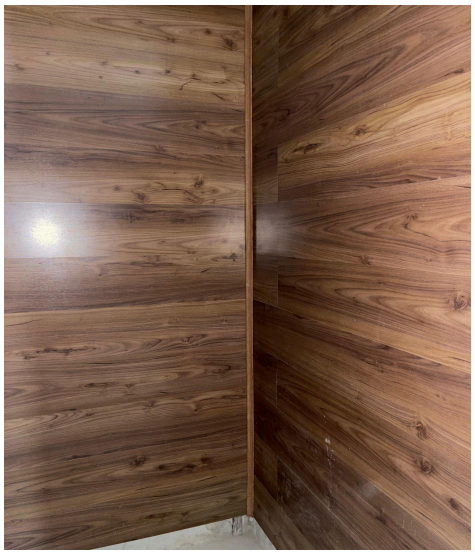
A casa em Betim também adota práticas de reaproveitamento de materiais, como os pisos laminados retirados dos quartos (Figura 27). Esses materiais estão sendo reutilizados na construção de um painel na entrada da casa e em uma das paredes de circulação (Figuras 28 e 29), demonstrando um compromisso com a economia circular e a redução do desperdício.

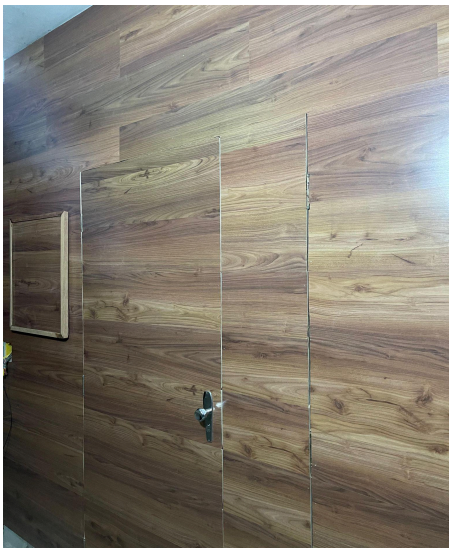
Figura 27 - Piso Laminado



Fonte: Autoral. 2024.

Figuras 28 e 29 - Reaproveitamento do Piso Laminado no painel da parede





Fonte: Autoral. 2024.

O reaproveitamento de materiais não apenas contribui para a redução dos impactos ambientais associados à extração e produção de novos materiais, mas também promove a valorização de recursos já existentes e a criatividade na concepção de novos espaços e

elementos arquitetônicos. Essa abordagem sustentável não só beneficia o meio ambiente, mas também pode gerar economias significativas de custo em projetos de construção e reforma.

Em resumo, a combinação de sistemas de reaproveitamento de água, energia solar e materiais representa uma abordagem holística para a construção de residências sustentáveis. Essas práticas não apenas contribuem para a preservação do meio ambiente, mas também promovem uma maior eficiência energética, redução de custos e melhoria da qualidade de vida dos moradores. A casa em Betim é um exemplo inspirador do potencial transformador da sustentabilidade e inovação na construção civil, demonstrando que é possível conciliar o conforto e a funcionalidade dos espaços com a responsabilidade ambiental.

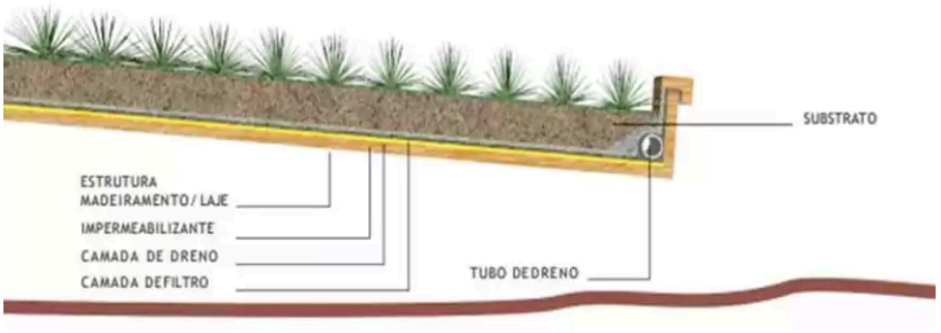
4.2 Entrevista com o Arquiteto e bioconstrutor - Bruno Azevedo

Em 13 de março de 2024, conduzimos uma entrevista com o arquiteto, urbanista, bioconstrutor e sócio-diretor da Biohabitate, Bruno Aluízio dos Santos Azevedo, com o intuito de explorar as técnicas empregadas pela empresa Biohabitate. O encontro ocorreu remotamente, por meio da plataforma Teams, e contou com a participação de todos os membros do grupo entrevistador.

A Biohabitate é uma empresa comprometida com a criação de soluções sustentáveis e ecologicamente conscientes para habitação e desenvolvimento urbano. Seus serviços abrangem uma variedade de opções, incluindo projetos de bioconstrução, nos quais a equipe técnica oferece uma gestão completa do projeto. Isso engloba a construção de casas ecológicas, casas de madeira pré-fabricadas, casas de taipa e outras estruturas sustentáveis. Além disso, a Biohabitate oferece cursos online e consultoria para aqueles interessados em aprender mais sobre práticas de construção sustentável e implementar esses conceitos em seus próprios projetos.

Na entrevista, foi explorada a técnica do telhado verde, discutindo seu custo e processo de instalação. Esse tipo de cobertura é composto por uma estrutura de suporte, um assoalho para acomodar camadas impermeabilizantes, substrato e vegetação, além de bordas de tábuas para delimitar suas extremidades. Sobre o assoalho, são aplicadas camadas de proteção mecânica, anti-raíz e uma lona vinílica para impermeabilização, como mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Estrutura de um telhado verde



Fonte: *Biohabitate.* 2024.

O custo de um telhado verde pode variar consideravelmente, dependendo da região e do tamanho da área a ser coberta, já que grande parte do investimento está relacionada à estrutura de suporte. Quanto maior a área a ser coberta, maior será o custo devido à necessidade de peças maiores para a estrutura. No entanto, é possível esperar um custo semelhante ao de telhados cerâmicos ou outros tipos de cobertura com estruturas de madeira mais elaboradas.

Em termos de custo-benefício, manutenção e conforto, os telhados verdes oferecem um conforto térmico incomparável, transformando espaços anteriormente subutilizados, como telhados, em áreas agradáveis e funcionais, como é apresentado na Figura 30. Essa alternativa é particularmente valiosa em áreas urbanas onde o espaço para jardins ou áreas verdes é escasso. Ao contrário do que se pensa, tetos verdes requerem pouca manutenção, exceto se o proprietário quiser produzir uma horta nele. Para a cobertura em si, é suficiente manter os drenos limpos e verificar regularmente o crescimento de plantas invasivas. Além disso, os telhados verdes estão se tornando cada vez mais populares, com alguns municípios oferecendo incentivos fiscais para sua adoção.

Figura 31 - Casa com Teto Vivo - Projeto e execução Biohabitate



Fonte: *Biohabitate.* 2024.

Foi abordado como a Biohabitate utiliza a técnica do adobe em seus projetos, destacando sua durabilidade e diversas vantagens, como isolamento térmico, acústico e controle de umidade. O adobe é descrito como uma escolha inteligente e sustentável, oferecendo baixo impacto ambiental e acessibilidade. Com baixa emissão de carbono e uso de recursos locais, o adobe surge como uma solução promissora para construção ecológica, reduzindo a pegada de carbono e promovendo a harmonia com o meio ambiente.

Composto principalmente de terra crua e água, o adobe é moldado em tijolos secos ao sol, com a proporção correta de argila e areia sendo crucial para sua resistência, na Figura 32 é mostrado a produção do adobe em uma obra da Biohabitate. Suas vantagens ambientais e econômicas refletem a prioridade atual da sustentabilidade, reduzindo as emissões de CO2, promovendo o uso de recursos locais e resultando em economia financeira na construção.

Figura 32 - Produção de adobes em fôrma de madeira e metal. Obra Casa Confins - Biohabitate



Fonte: *Biohabitate.* 2024.

O entrevistado discutiu as práticas de manejo da água em construções, incluindo métodos utilizados pela Biohabitate para a captação de água da chuva em seus projetos, visando uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos. Um exemplo foi uma construção no Vale do Jequitinhonha, onde a água é escassa, com uma cisterna projetada para armazenar 16 mil litros de água, usada exclusivamente na descarga dos banheiros. Essa abordagem foi replicada em 400 residências, promovendo o uso sustentável da água na comunidade.

No contexto do tratamento de esgoto, exploramos com a Biohabitate a adoção de biodigestores em seus projetos. De acordo com o entrevistado, os biodigestores são mais apropriados em áreas rurais, onde há uma maior disponibilidade de matéria orgânica. Para ambientes urbanos, uma alternativa mais adequada e interessante é o tanque de evapotranspiração, também conhecido como TEVAP, é uma técnica de tratamento de esgoto que combina características da fossa séptica com a evaporação e transpiração de plantas (Figura 33 e 34). Funciona como uma fossa séptica convencional, onde ocorre a decomposição anaeróbica dos resíduos. No entanto, o efluente é direcionado para um sistema de drenagem subterrânea, onde é absorvido pelas raízes de plantas, evaporando-se e transpirando, resultando em uma redução significativa do efluente. É uma alternativa sustentável para áreas com restrições de espaço ou recursos hídricos.

Figura 33 - Corte esquemático do TEVAP



Fonte: *Biohabitate.* 2024.

Figura 34 - Câmara anaeróbia dos dois TEVAPs feita de tijolo cerâmico furado - Obra Biohabitate



Fonte: *Biohabitate.* 2024.

Para finalizar, foi perguntado sobre quais seriam os principais benefícios ao se adotar técnicas de sustentabilidade nos empreendimentos. De acordo com o entrevistado, a adoção de técnicas de sustentabilidade nos empreendimentos podem trazer uma série de benefícios significativos. Primeiramente, há a redução do impacto ambiental, pois essas técnicas ajudam

a minimizar a emissão de poluentes e a degradação do meio ambiente, contribuindo para a preservação dos ecossistemas.

Os empreendimentos sustentáveis oferecem múltiplos benefícios a longo prazo. Economizam recursos como água e energia, reduzem os custos operacionais e a pegada de carbono, contribuindo para a preservação ambiental. Promovem ambientes internos mais saudáveis, valorizam-se no mercado imobiliário e cumprem regulamentações governamentais, evitando multas. Essas práticas não só geram vantagens econômicas para proprietários e ocupantes, mas também sociais para as comunidades.

4.3 Entrevista com o Engenheiro Civil e Sanitário - Ricardo de Andrade

Durante as pesquisas para o trabalho de conclusão de curso, houve a oportunidade de entrevistar o engenheiro civil e químico Ricardo de Andrade. Ele atua na empresa Sanear Brasil, especializada na fabricação de biodigestores. Ricardo também é proprietário de um canal no YouTube chamado "Rota Engenharia", voltado para soluções de promoção ao Saneamento Básico no Brasil.

O canal do Ricardo foi criado em 2011 e conta com quase 1.200 membros interessados nos temas que aborda. Ele discute soluções individuais e coletivas para o tratamento de água e esgoto, incluindo fossa séptica, filtro anaeróbio, sumidouro, vala de infiltração, biodigestor, caixa gradeada, válvula de retenção, caixa de gordura, bioaditivos, leito de secagem, estação de tratamento de esgoto (ETE), estação de tratamento de água (ETA), REATOR UASB, lodo ativado, lagoas de estabilização, dosador de cloro, drenagem urbana e filtro para água de chuva, bem como o gerenciamento de resíduos sólidos.

Durante a entrevista, foram discutidas técnicas sustentáveis de disposição final do esgotamento sanitário, com ênfase na técnica dos biodigestores. Foram apresentadas a capacidade de uso, o preço de mercado, a instalação, a manutenção, o tempo necessário para implantação e o período máximo para manutenção dos biodigestores. Foram feitas comparações entre os tipos de tratamento, relacionando benefícios para edificações unifamiliares de baixa renda, entre outros temas levantados.

O custo inicial de investimento em um biodigestor foi relatado em aproximadamente 2 mil reais, o que representa uma opção acessível em comparação com outras tecnologias, como o conjunto séptico, que utiliza três tanques e requer mais escavação. Os custos operacionais também são destacados, uma vez que o lodo biológico pode ser neutralizado com cal e removido após secagem por pessoas sem qualificação específica. O lodo resultante pode ser

utilizado como fonte de matéria orgânica e nutrientes para plantas, oferecendo uma abordagem sustentável para o gerenciamento de resíduos.

Embora o biodigestor seja adequado para uso residencial unifamiliar, sua capacidade limitada o torna menos viável para edificações com uma população maior. Nestes casos, outras técnicas, como sistemas sépticos, são recomendadas para garantir o tratamento eficaz dos resíduos.

Ricardo foi questionado sobre os três principais motivos que ele considera diferenciais para a adoção do biodigestor. Ele relatou que são o preço acessível, a otimização do espaço e a rápida instalação, oferecendo uma solução conveniente e eficiente para o tratamento de resíduos orgânicos.

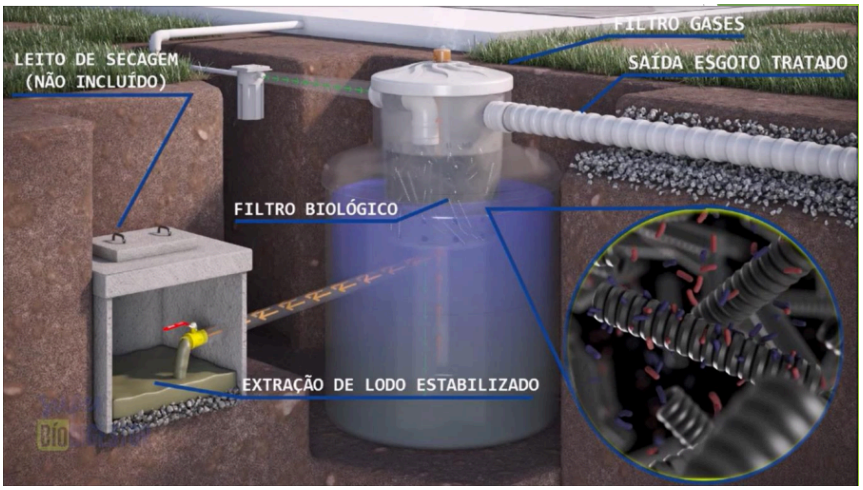
Também foi abordado o tempo apropriado para a manutenção e remoção do lodo biológico, identificado como a cada 12 meses, devido à produção relativamente pequena em uma casa residencial.

Embora seja possível utilizar o biodigestor como um pré-tratamento para o esgoto antes de ser lançado na rede pública, isso não é obrigatório, uma vez que já pagamos pela concessão da cidade para realizar o tratamento. Essa consideração deve ser avaliada em termos de custo-benefício e impacto ambiental.

Um dos principais obstáculos para o uso em grande escala do biodigestor é a falta de informação, destacando a importância da conscientização pública e da educação sobre os benefícios e o funcionamento desses sistemas para promover sua adoção em larga escala.

A implementação de biodigestores em edificações residenciais representa uma abordagem inovadora para o tratamento de resíduos orgânicos, oferecendo benefícios ambientais e econômicos significativos. Os resultados obtidos a partir da entrevista com o engenheiro civil especializado no assunto proporcionam conhecimentos valiosos sobre o potencial e as limitações associadas ao uso desses sistemas.

Figura 35 - Detalhe do Biodigestor



Fonte: Rota Engenharia, 2024.

4.4 Visita técnica ao Mineirão

Durante o percurso de pesquisa para o trabalho de conclusão de curso, foi realizada uma visita técnica ao Estádio Governador Magalhães Pinto, comumente referido como Mineirão. O objetivo primordial dessa visita consistiu em aprofundar o entendimento acerca das técnicas de sustentabilidade aplicadas na prática.

O Mineirão, localizado em Belo Horizonte, é o primeiro estádio brasileiro e o segundo no mundo a receber o selo Platinum de certificação ambiental LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), concedido pelo Green Building Council Institute (GBCI). O selo Platinum representa a categoria máxima de certificação ambiental, reconhecendo projetos que atendem rigorosos critérios de eficiência energética e sustentabilidade. O estádio atendeu plenamente aos requisitos estabelecidos para eficiência da água e completou a maioria dos requisitos relacionados à energia e atmosfera.

A entrevista guiada por Otávio Goes, gerente técnico do Mineirão, elucidou métodos construtivos empregados e curiosidades pertinentes relacionados à reforma do estádio. Iniciando pelo sistema de captação e reutilização não potável da água da chuva, que se destaca como um dos maiores requisitos e o mais bem avaliado do estádio. Este sistema tem a capacidade de armazenar cerca de cinco milhões de litros de água, coletados da cobertura do estádio e direcionados para reservatórios instalados estrategicamente abaixo das arquibancadas (Figura 36). Esse volume é suficiente para atender a essas necessidades por até três meses durante os períodos de estiagem, sendo utilizada principalmente na irrigação do

gramado, bacias sanitárias e mictórios, o que representa aproximadamente 70% do consumo total de água do estádio.

Figura 36 - Reservatório de Água - Mineirão

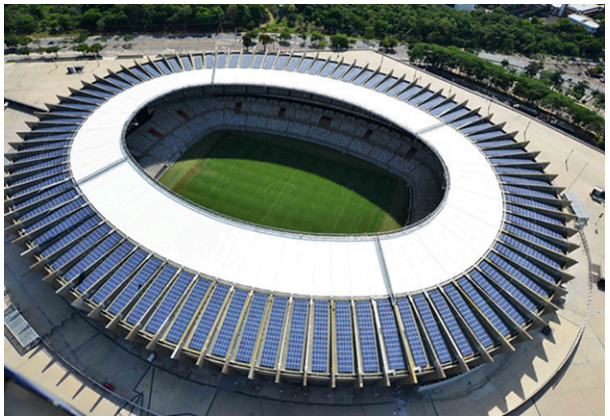


Fonte: Autoral. 2024.

A visita prosseguiu até o telhado do estádio, onde Otávio Góes, gerente técnico do Mineirão, compartilhou informações sobre o processo de implementação da usina fotovoltaica. O projeto apresenta características e soluções de engenharia específicas, devido à proteção integral da fachada do estádio pelo Conselho do Patrimônio Histórico de Belo Horizonte, bem como à sua integração no Conjunto Arquitetônico da Pampulha, a abordagem adotada foi projetar a instalação de maneira a se harmonizar com a fachada, preservando sua estética e, simultaneamente, transformando-a em um centro gerador de energia.

A construção da Usina Solar Fotovoltaica no Mineirão, em parceria com a Cemig, possui a capacidade de geração de 1.800 MWH/ano de energia, equivalente ao consumo médio anual de 1.400 casas. As placas solares geram aproximadamente 80% de toda a energia elétrica consumida pelo estádio (Figura 37). Durante o dia, o excedente de energia é direcionado para a rede de abastecimento. Em dias de jogos, especialmente à noite, a energia é devolvida à rede para suprir as necessidades do estádio.

Figura 37 – Paineis Solares - Mineirão



Fonte: Mineirão. 2020.

Além das medidas previamente mencionadas, Otavio Goes, trouxe algumas informações sobre os métodos de lidar com os resíduos gerados no estádio, dentre tantas, implementação do reaproveitamento integral de todos os resíduos gerados em suas dependências. O material orgânico, derivado da manutenção do jardim, das podas do gramado e das árvores, é encaminhado para uma usina de compostagem. Os materiais recicláveis, como papelão, plástico e latas de alumínio, são processados em colaboração com a Asmare (Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis de Belo Horizonte).

No decurso da reforma e operação do novo Mineirão, várias iniciativas de sustentabilidade foram implementadas. Uma dessas ações destacadas foi a adoção de um sistema de lavagem dos pneus dos veículos que transitavam pelo canteiro de obras, visando mitigar a dispersão de sujeira e poeira nas vias públicas adjacentes. Aproveitamento de 90% dos entulhos e destinação consciente dos materiais. A terra retirada para o rebaixamento do campo foi utilizada em obras de mobilidade e doada para preencher cavas de mineradoras, enquanto o concreto foi reaproveitado na pavimentação de ruas. a doação das antigas cadeiras do estádio para ginásios e estádios mineiros, o reuso do gramado em um projeto de inclusão social do Governo do Estado de Minas Gerais, e o reaproveitamento das madeiras retiradas por artesãos locais na produção de arte popular.

A iluminação do estádio foi projetada visando alta eficiência e baixo consumo, incorporando um sistema elétrico inteligente que otimiza o uso de energia elétrica. Essas medidas evidenciam o comprometimento do Mineirão com a sustentabilidade em todas as etapas de sua reforma e operação.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e análises apresentados, a pesquisa revelou um interesse crescente por soluções sustentáveis na construção civil. Ficou evidente que a falta de adoção de sistemas construtivos sustentáveis está, em grande parte, relacionada a questões culturais e à falta de informação sobre as possibilidades disponíveis. Muitas vezes, as pessoas desconhecem os benefícios e técnicas que podem ser aplicados para atender às suas necessidades de forma sustentável. Além disso, há uma relutância em abandonar os métodos convencionais em favor de abordagens não convencionais, mesmo que estas últimas possam não ser consideradas inovadoras.

O mercado está respondendo de maneira positiva, com a oferta de alternativas economicamente viáveis, como o uso de materiais de baixo impacto e soluções de tratamento de esgoto de baixo custo. A reutilização de água e a reciclagem de entulhos também se destacam como práticas promissoras, apesar de ainda não serem amplamente adotadas.

Esses achados sugerem que há uma conscientização sobre a importância da sustentabilidade na construção, não apenas como uma responsabilidade ambiental, mas também como uma oportunidade de reduzir custos e impactos negativos na comunidade. No entanto, há espaço para aprimoramento e maior disseminação dessas práticas, especialmente em relação ao reuso de água e reciclagem de resíduos.

Assim, conclui-se que a sustentabilidade na construção civil não é apenas uma aspiração, mas uma realidade tangível e alcançável. É fundamental que os diversos atores envolvidos, desde empresas e profissionais do setor até os próprios consumidores, continuem a promover e investir nessas soluções, contribuindo para um futuro mais equilibrado e consciente em relação ao meio ambiente e às comunidades locais.

Portanto, sugerem-se futuros estudos para buscar e desenvolver métodos de avaliação da sustentabilidade na construção civil, considerando o significativo impacto do setor e a crescente importância do tema nos dias atuais. Seria altamente benéfico avaliar construções utilizando indicadores sustentáveis para identificar as diferenças, vantagens e desvantagens entre aquelas que adotam práticas sustentáveis e aquelas que não o fazem. Uma possibilidade promissora é investigar as certificações de edificações sustentáveis disponíveis no mercado e incluir também a análise de aspectos econômicos das alternativas técnicas.

6 REFERÊNCIAS

_____. **Terra crua utilizada para confecção de blocos.** Disponível em: http://lecycpicorelli-bioarquitetura.blogspot.com/2011/06/construcao-de-terra-parte2-adobe.html#axzz8GykGDMZB. Acesso em: 10 nov. 2023.

_____. **Design Biofílico.** Disponível em: https://cte.com.br/blog/sustentabilidade/biofilia-o-que-e-e-os-seus-impactos-nos-espacos-de-trabalho/. Acesso em: 10 nov. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidro - gráficas.** 2017. Disponível em: https://bibliotecadigital.cnj.jus.br/jspui/handle/123456789/500. Acesso em: 03 Fevereiro 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16814**: Adobe — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5711732/mod_resource/content/2/NBR16814%20norma%20adobe%20Arquivo%20para%20impress%C3%A3o.pdf. Acesso em 05 de out de 2023.

BARBOSA, Bruno Corrêa *et al*- 2017. **Tópicos-em-Sustentabilidade-Conservação Book.pdf.** 1º edição. Disponível em: https://fazendatriqueda.com.br/wp-content/uploads/2018/08/BARBOSA-et-al-2017_T%C3%B3picos-em-Sustentabilidade-Conserva%C3%A7%C3%A3o_Book.pdf#page=70 Acesso em: 08 jan. 2024.

BIOHABITATE. **Bioconstrução e arquitetura sustentável.** Disponível em: https://biohabitate.com.br/artigos/tudo-sobre-bioconstrucao-na-pratica. Acesso em: 07 de jan de 2024.

BLOG PROFESSORA LUCIANE KAWA, **Sustentabilidade na Construção Civil,** 11 de janeiro de 2016**.** Disponível em: https://professoralucianekawa.blogspot.com/2016/01/sustentabilidade-na-construcao-civil.html. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRAGA, BENEDITO; HESPANHOL, IVANILDO. **Recursos Hídricos e Saneamento no Brasil: Proposta de Inclusão Social e Sustentabilidade Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. Acesso em: 08 jan. 2024

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de saneamento**. 5. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. Acesso em: 06 out. 2023

BRUNDTLAND apud. Ediélma do Rocio Chipanski. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no brasil. Curitiba, 2006** .Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2006/d462_0636-M/parte_2.pdf. Acesso em 07 dez 2023.

CASACOR. **O Prédio Residencial Mais Sustentável do Brasil está em Porto Alegre.** Disponível em: https://casacor.abril.com.br/sustentabilidade/predio-residencial-mais-sustentavel-do-brasil-porto-alegre/. Acesso em: 10 nov. 2023.

CBCS, (2014) **A iniciativa Avaliação de Ciclo de Vida Modular (ACV-m) do CBCS visa criar uma plataforma de informações com indicadores de sustentabilidade de materiais, produtos e componentes para auxiliar profissionais e consumidores na tomada de decisão.** Disponível em: http://acv.cbcs.org.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82 Acesso em 15 out. 2023.

CBIC. **Conservação de água.** Disponível em**:** https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Guia_Orientativo_Normas_de_Conservacao_de_Agua.pdf

CORRÊA aar, teixeira vh, lopes sp, oliveira ms. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua)**. Lavras – mg; 2006. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/6227. Acesso em 05 out. 2023.

CORREIO BRASILIENSE. **Urina humana, um fertilizante inesperado mas eficiente e menos poluente. Disponível em:** www.correiobraziliense.com.br/ciencia-e-saude/2022/04/5003946-urina-humana-um-fertilizante-inesperado-mas-eficiente-e-menos-poluente.html. Acesso em: 10 nov. 2023.

ECYCLE. **Biodigestão de resíduos é opção para grandes quantidades de lixo orgânico.** Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1338-biodigestao-e-uma-opao-para-o-lixo-organico-rural-e-urbano.html>. Acesso em: 09 jan 2024.

ENSINE. **Terra crua utilizada para confecção de blocos.** Disponível em: https://ensin-e.edu.br/arquitetura-e-construcao-com-terra-alternativa-sustentavel/. Acesso em: 10 nov. 2023.

FIGUEIREDO, I. C. S. et al., 2018. **Tratamento de esgoto na zona rural: Fossa verde e Círculo de bananeiras.** Unicamp – Campinas, SP. Projeto. Disponível em: . https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%c3%adrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf, Acesso em: 08 jun. 2024.

FSC. **Símbolo da organização Forest Stewardship Council (FSC).** Disponível em: https://fsc.org/en. Acesso em: 10 nov. 2023.

GBC Brasil. **O Prédio Residencial Mais Sustentável do Brasil está em Porto Alegre**. 2023. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/idea-bage-1o-projeto-gbc-condominio-platina-do-brasil/. Acesso em: 10 nov. 2023.

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. S.; PACIORNIK, S.(2005). **Bambo: Functionally Granded Composite Material. Asian Engineering (building and housing)**, Irã, v. 4, n. 1, p. 1- 10, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Kbc8SzVVdMYshSJ6fHsvyfk/?format=pdf&lang=pt. Acesso em 05 out. 2023.

GHAVAMI, K (2005) **Bambu como Material de engenharia**. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/320208925_Bambu_como_Material_de_Engenharia . Acesso em 15 out. 2023.

HILLMAN ALLEN (2017) - **Tratamento de água com bambu.** Disponivel em: http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5548/1/BeatrizHillman.pdf

IBGE. **Quatro em cada dez municípios não têm serviço de esgoto no país.** Disponivel em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28326-quatro-em-cada-dez-municipios-nao-tem-servico-de-esgoto-no-pais.
Acesso em: 10 nov. 2023.

ISORENEL. **Isolantes naturais utilizados nas paredes.** Disponível em: https://pt.123rf.com/stock-photo/insulation.html - https://isorenel.pt/celulose-projetada/. Acesso em: 10 nov. 2023.

KELLERT, S.; CALABRESE, E. **Design Biofílico**. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Elizabeth-Calabrese/publication/360181097_A_PRATICA_DO_DESIGN_BIOFILICO/links/6266e5cd1b747d19c2a73acd/A-PRATICA-DO-DESIGN-BIOFILICO.pdf . Acesso em: 10 nov. 2023.

KREBS, L.F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha**. UniversidWade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10177/000563232.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em 05 out 2023.

LED MOVEIS. **Telhados verdes utilizados em residências.** Disponível em: https://ledmoveis.com.br/arquitetura-como-criar-um-telhado-verde/. Acesso em: 10 nov. 2023.

LIMA. (2011) - **Captação, manejo e uso de água de chuva.** Disponível em: https://www.google.com/search?q=LIMA+2011+COLETA+DE+AGUA+DE+CHUVA&oq=LIMA+2011+COLETA+DE+AGUA+DE+CHUVA&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICAEQABgWGB4yCAgCEAAYFhgeMgoIAxAuGAoYFhgeMggIBBAAGBYYHjIICAUQABgWGB4yCAgGEAAYFhgeMggIBxAAGBYYHjIICAgQABgWGB4yCAgJEAAYFhge0gEJMTI3NDRqMGo0qAIAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8

LOTURCO, B. P**rojetos que buscam certificação de sustentabilidade devem pautar escolha de materiais por critérios técnicos e fugir de propaganda enganosa.** Revista Techne, 215 ed., Fev. 2018, PINI, São Paulo. Disponível em: https://revistatechne.com.br/edicao/ Acesso em 15 out 2023.

MOREIRA, anabela mendes. **Terra crua, anotações de aula materiais de construção. Instituto politécnico de tomar**. Tomar. 2008/2009. Disponível em: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Terra_MC1.pdf. Acesso em 05 out. 2023.

NSPE. Sustentabilidade e Resiliência [s.d.] 2024. Disponível em: https://www.nspe.org/resources/issues-and-advocacy/action-issues/sustainability-and-resilience. Acesso em: 07 fev 2024.

OICS - **Desinfecção Solar de Água: solução** individuaL.2023 https://oics.cgee.org.br/estudos/-/estudo-de-caso/article/sodis-desinfeccao-solar-de-agua-solucao-individual_5c8d0eee6c28dfa63ee89501/como-replicar Acesso em: 07 fev 2024

OMS, 2024. Disponível em: https://www.paho.org/pt/brasil Acesso em: 07 fev 2024

POUEY, M.T.F. **Estudo Experimental do Desempenho Térmico de Coberturas Planas: Vegetação e Terraço**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGEC. UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/119132/000248241.pdf?sequence=1. Acesso em 05 out 2023.

RIPPER, **Sociedade, natureza e técnica: Design das Estruturas Adaptáveis de Bambu,** 2015 Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/25434/25434_1.PDF . Acesso em 05 out 2023.

ROTA ENGENHARIA**.** **biodigestor.** Disponível em: https://rotadaengenharia.com.br/super-biodigestor/. Acesso em: 08 junho. 2024.

TONETTI, Adriano Luiz *et al*. **Tratamento de Esgotos Domésticos em Comunidades Isoladas**. 1.ed. São Paulo: Biblioteca Unicamp, 2018.

TRIBUNA DE MINAS. **Bioconstrução**: o pau a pique de volta em projetos para novas moradias. Disponível em: https://tribunademinas.com.br/especiais/meuimovel/09-08-2018/bioconstrucao-o-pau-a-pique-de-volta-em-projetos-para-novas-moradias.html. Acesso em: 10 nov. 2023.

VIVA DECOR. Disponível em: *estruturas confeccionadas com madeira.* Disponível em: https://www.vivadecora.com.br/pro/madeira-de-reflorestamento/. Acesso em: 10 nov. 2023.

WERTHMANN, **C.Green Roof - A Case Study: Michael Van Valkenburgh Associates' Desig. New York: Princenton Architectural Press**, 2007. Disponível em: https://newyorkgreenroofs.com/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwvIWzBhAlEiwAHHWgvYExAdDlT_R1fCsY-xgfobkD_NSjasK3F7CC6HHO1H47SlU6syGYWBoC4VQQAvD_BwE. Acesso em 05 out 2023.

WORDPRESS**.** **Tijolos Adobe utilizados na construção.** Disponível em: https://qualidadeonline.wordpress.com/2020/02/26/a-conformidade-da-producao-do-adobe-ou-tijolo-de-barro/. Acesso em: 10 nov. 2023.