

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL – ETEC ITAQUERA II

CURSO DE HABILITAÇÃO PROFISSIONAL EM TÉCNICO EM
EDIFICAÇÕES

Anna Clara Ramalho Leite
Gabriel Jahnke Santana
Gabrielly Vitoria Bezerra da Silva
Yasmim Bandeira da Silva

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS MAIS EFICIENTES PARA
CONTER A EMISSÃO DE CO₂ PROVENIENTE DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

São Paulo

2024

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL – ETEC ITAQUERA II**

**CURSO DE HABILITAÇÃO PROFISSIONAL EM TÉCNICO EM
EDIFICAÇÕES**

Anna Clara Ramalho Leite
Gabriel Jahnke Santana
Gabrielly Vitoria Bezerra da Silva
Yasmim Bandeira da Silva

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS MAIS EFICIENTES PARA
CONTER A EMISSÃO DE CO₂ PROVENIENTE DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Unidade de Ensino - Escola Técnica Estadual
Etec Itaquera II - como pré-requisito para a
obtenção do grau de **Técnico em Edificações**,
elaborado sob a orientação do Prof. Lucas
Andrade da Silva Bianchini.

São Paulo

2024

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL – ETEC ITAQUERA II**

**CURSO DE HABILITAÇÃO PROFISSIONAL EM TÉCNICO EM
EDIFICAÇÕES**

Anna Clara Ramalho Leite, Gabriel Jahnke Santana, Gabrielly Vitoria Bezerra da
Silva, Yasmim Bandeira da Silva

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS MAIS EFICIENTES PARA CONTER A EMISSÃO DE
CO₂ PROVENIENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Aprovado em: 09 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Léia Paes (Prof. Base Técnica) – Etec Itaquera II

Sidnei Martins Costa (Prof. Base Comum) – Etec Itaquera II

Lucas Andrade (Orientador) – Etec Itaquera II

Dedicamos este trabalho aos
nossos pais e a nós mesmos.

AGRADECIMENTOS

Eu, Gabriel Jahnke Santana, agradeço primeiramente a Deus, pois nos meus momentos de maior dificuldade, foi Deus quem me deu forças e esperança para continuar; agradeço à minha família, por sempre enxergar meus pontos fortes e me ajudar nos pontos fracos; agradeço também a Laura Guimarães, uma pessoa muito especial para mim, por alegrar meus dias e ser uma inspiração para mim.

Eu, Yasmim Bandeira, agradeço a Deus que me concedeu serenidade e força para trilhar esse caminho. Agradeço à minha mãe, por ser o meu porto seguro e minha maior companheira. Agradeço também à minha família e aos meus colegas do Trabalho de Conclusão de Curso, pois sem eles nada disso seria possível.

Eu, Anna Clara, agradeço à minha mãe, por sempre me incentivar.

Eu, Gabrielly Vitoria, agradeço, primeiramente, a Deus, que me ajudou a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso. Agradeço profundamente à minha mãe, que não deixou de me incentivar e apoiar um dia sequer. À minha tia, Meire, e ao meu namorado, Guilherme, pelo apoio emocional e constantes palavras de conforto.

Agradecemos, por fim, a todos que nos apoiaram durante a realização deste trabalho.

RESUMO

A indústria da construção é um dos maiores emissores de dióxido de carbono e encontra-se num momento crítico da sua transformação. As crescentes preocupações com as alterações climáticas estão a impulsionar a procura de soluções mais sustentáveis e eficientes para minimizar o impacto ambiental e contribuir para um futuro mais verde. O estudo fornece uma análise de materiais e tecnologias inovadoras com o objetivo de encontrar alternativas mais sustentáveis aos materiais de construção tradicionais. Em particular, materiais como bambu, tijolos de adobe, tijolos ecológicos e bioconcreto foram avaliados tendo em conta as suas propriedades físicas e o seu desempenho ambiental ao longo de sua vida útil. Através de análises comparativas que levam em consideração aspectos como emissões de CO₂, durabilidade e custo, pode-se verificar que materiais alternativos apresentam melhor desempenho ambiental do que os materiais convencionais. Os resultados obtidos neste estudo demonstram o grande potencial dos materiais sustentáveis na construção civil. A adoção destas alternativas é um passo fundamental para a redução das emissões de gases do efeito estufa e para a construção de um futuro mais sustentável. Em suma, a construção civil sustentável já não é uma opção, mas sim uma necessidade urgente. Ao escolher materiais e tecnologias mais eficientes, os edifícios podem ser construídos com menor impacto ambiental, promovendo uma economia circular e contribuindo para um futuro mais justo e equitativo para as próximas gerações.

Palavras-chave: Materiais Sustentáveis, Emissão de Dióxido de Carbono, Sustentabilidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 – Floresta de bambu	20
Figura 2 – Catedral Alternativa Nuestra Señora de la Pobreza (Colômbia)	21
Figura 3 – Sharma Springs (Indonésia).....	22
Figura 4 – Pavilhão de bambu e biomateriais (Brasil)	22
Figura 5 – Tijolo de Adobe	23
Figura 6 - Tijolo de adobe	25
Figura 7 – Arg-e Bam (Irã).....	26
Figura 8 – Fluxograma das etapas de fabricação e utilização dos tijolos ecológicos	28
Figura 9 – Tijolo Ecológico	29
Figura 10 – Fachada da residência	31
Figura 11 – Cozinha da residência.....	31
Figura 12 – Bioconcreto	32
Figura 13 – Estação de Salva Vidas (Holanda).....	34
Figura 14 – Planta baixa residencial	35
Figura 15 – Planta estrutural do bambu - Pilares	36
Figura 16 – Planta estrutural do bambu - Vigas	37
Figura 17 – Planta estrutural do bioconcreto e concreto armado - Pilares.....	38
Figura 18 – Planta estrutural do bioconcreto e concreto armado - Vigas.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do bambu	21
Tabela 2 – Tabela de custos comparando os materiais sustentáveis com os tradicionais	40
Tabela 3 – Tabela quantitativa dos materiais aplicados na planta baixa - Alvenarias	42
Tabela 4 – Dimensionamento dos pilares	43
Tabela 5 – Dimensionamento das vigas	44
Tabela 6 – Vigas de Aço	46
Tabela 7 – Tabela quantitativa dos materiais aplicados na planta baixa - Estruturas	48

LISTA DE SIGLAS

CO ₂	Dióxido de Carbono.
ONU	Organização das Nações Unidas.
CIB	Conselho Internacional da Construção.
GtCO ₂ e	Toneladas de gás carbônico equivalente.
FGV	Fundação Getulio Vargas.
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica.
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
SETEC	Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica.
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
SESC	Serviço Social do Comércio.
USP	Universidade de São Paulo.
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis.
NBR	Norma Brasileira.
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland.
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano

LISTA DE SÍMBOLOS

Mpa	Megapascal
Gpa	Gigapascal
Cm	Centímetros
Mm	Milímetros
°C	Graus Celsius
Kg	Quilograma
M ³	Metros Cúbicos
T	Tonelada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa.....	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivos gerais.....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Bambu.....	19
3.2	Tijolo de adobe.....	22
3.3	Tijolo ecológico	27
3.4	Bioconcreto	32
3.5	Estudo de caso	35
3.6	Manutenção dos materiais	39
4	RESULTADOS	42
4.1	Quantificação das alvenarias	42
4.2	Quantificação das estruturas.....	43
4.3	Representação gráfica dos resultados.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, um setor fundamental para o desenvolvimento urbano e social, enfrenta um grande desafio: reduzir significativamente sua pegada de carbono. A produção de materiais de construção, o consumo de energia durante as obras e a operação dos edifícios contribuem de forma expressiva para as emissões de gases do efeito estufa, com destaque para o dióxido de carbono (CO₂). Diante desse cenário, a busca por materiais mais eficientes e sustentáveis torna-se imperativa para mitigar os impactos ambientais da construção e contribuir para um futuro mais sustentável.

O campo da construção civil é um dos maiores emissores de CO₂ em todo o mundo, representando uma parcela significativa das emissões globais. A crescente urbanização e a demanda por novas edificações intensificam ainda mais esse problema.

A extração de matérias-primas, a produção industrial e o transporte dos materiais geram uma série de impactos ambientais negativos, como a degradação de ecossistemas, a poluição do ar e da água e o consumo de recursos naturais não renováveis. Portanto, a utilização de materiais com baixa durabilidade e eficiência energética contribui para o aumento das emissões de CO₂ durante a fase de operação das edificações.

O concreto, por exemplo, é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, destaca-se como um grande emissor de CO₂. A produção de uma tonelada de cimento pode gerar cerca de uma tonelada de CO₂. A dependência do setor da construção civil em relação ao concreto torna a redução das emissões associadas a esse material um desafio crucial para as mudanças climáticas.

Além disso, a utilização de materiais não renováveis e a falta de eficiência energética nas construções contribuem para o agravamento do problema. A busca por alternativas mais sustentáveis e eficientes é urgente para a redução das emissões de CO₂ provenientes da construção civil; é fundamental para alcançar as metas globais de combate às mudanças climáticas, promover um desenvolvimento mais sustentável e minimizar os impactos ambientais gerados pela construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha deste tema justifica-se pela preocupação com o crescente agravamento dos problemas ambientais e a necessidade de desenvolver soluções sustentáveis para o setor da construção civil. A adoção de materiais mais eficientes e sustentáveis pode gerar diversos benefícios, como a redução da demanda por energia, a diminuição da geração de resíduos, a melhoria da qualidade do ar interior dos edifícios e a promoção da economia circular.

A construção civil, por sua natureza intensiva em recursos naturais e energia, apresenta um grande potencial para a redução de emissões de CO₂. Ao investigar materiais de construção mais eficientes e sustentáveis, este trabalho busca contribuir para a transição para um modelo de construção mais verde e responsável, alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Além disso, faz-se de extrema importância para o avanço do conhecimento sobre os materiais de construção mais eficientes e sustentáveis, fornecendo informações para futuras tomadas de decisões mais conscientes e sustentáveis no setor da construção civil.

A adoção de materiais com menor impacto ambiental é fundamental para a construção de um futuro mais verde e resiliente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

- Este trabalho tem como objetivo geral analisar os materiais de construção mais eficientes para a redução de CO₂ e suas aplicações na construção civil, buscando identificar soluções inovadoras e sustentáveis para a construção de edificações com menor impacto ambiental.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão exaustiva da literatura científica sobre os materiais de construção convencionais e suas respectivas emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida. E propor soluções inovadoras para a aplicação de materiais mais eficientes na construção civil, e tecnologias sustentáveis que substituam tecnologias tradicionais, na construção civil, a fim de diminuir ou conter a emissão de CO₂ desse setor, visando a sustentabilidade e conforto em todas as etapas de um projeto;
- Desenvolver um projeto tangível e crucial para demonstrar as emissões dos materiais no projeto. Ao construir uma planta baixa residencial utilizando os materiais, e comparando-os com os materiais convencionais, será possível visualizar alternativas validas mais sustentáveis para o setor da construção civil, validando assim a aplicação prática dos materiais analisados;
- Verificar a emissão de CO₂ gerada na produção da planta baixa, abrangendo a comparação entre as tecnologias tradicionais e as tecnologias estudadas e avaliar o desempenho ambiental e econômico dos diferentes materiais de construção, considerando critérios como, durabilidade, custo e disponibilidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil é uma das áreas que mais contribuem para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), que é o principal gás do efeito estufa. O ramo civil engloba atividades desde a extração de materiais até a operação e demolição de construções, que geram uma pegada de carbono significativa. O Conselho Internacional da Construção (CIB) apontou em um estudo que mais de um terço dos recursos naturais utilizados no Brasil são destinados à indústria da construção civil, e que 50% da energia gerada abastece a operação das edificações. O Relatório de Situação Global 2020 para Edifícios e Construção, da Aliança Global para Edifícios e Construção, mostrou que as emissões de CO₂ relacionadas à energia subiram para 9,95 GtCO₂e em 2019, evidenciando seu grande impacto na emissão desses gases em grande escala. O setor produz uma alta quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, sendo responsável por grande parte dos entulhos gerados em construções e demolições.

Apesar de uma maior conscientização e preocupação ambiental em nível global e nacional, a indústria brasileira da construção civil ainda está longe de desenvolver produtos ecologicamente corretos para o mercado consumidor. De acordo com Dias (2002), as discussões sobre as questões ambientais urbanas são negligenciadas, principalmente no que diz respeito ao consumo de recursos naturais, podendo comprometer os objetivos sociais, econômicos e ambientais em todos os países. É fundamental reconhecer que existem diversas outras inovações e tecnologias que estão desempenhando um papel crucial no avanço de tecnologias inovadoras e na construção de um futuro mais sustentável, a fim de substituir as tecnologias tradicionalmente utilizadas.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, embora as práticas sustentáveis na construção civil possam exigir um investimento inicial maior, elas oferecem diversas vantagens financeiras a longo prazo, tornando-as uma opção viável e lucrativa. Vamos explorar alguns dos principais benefícios.

Primeiramente, o aumento do valor do imóvel é um benefício notório, e este se dá pela aquisição de selos verdes, como a certificação LEED e a BREEAM. Ademais, a certificação LEED, segundo estudos da “Building and Environment” pode aumentar o valor de venda de um imóvel em até 20% em comparação com edifícios não

certificados, e um dos pré-requisitos para sua aquisição é a redução das emissões de gases do efeito estufa.

Além disso, um dos benefícios de uma obra sustentável é o desconto em alguns impostos, que vem por meio de incentivos fiscais. De acordo com Prevision (2024), o IPTU Verde é um programa implementado por diversas prefeituras brasileiras que oferece descontos no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para proprietários que adotam práticas e tecnologias sustentáveis em seus imóveis, como por exemplo a utilização de materiais ecológicos na construção.

Com isso, pode-se concluir que apesar de as construções sustentáveis terem um custo inicial alto, a longo prazo, a utilização de materiais sustentáveis é mais lucrativa, como por exemplo um estudo do Green Business Council Brasil que declarou que edifícios com certificação LEED podem gerar um ROI (retorno sobre investimento) de até 20% em 10 anos, essa é uma porcentagem de retorno financeiro verdadeiramente significativa.

As análises de tecnologias eficientes e sustentáveis, como teste de resistências e estudos de caso comparativo, são cruciais para todo o processo de implementação dos materiais estudados. É necessário avaliar toda a sua composição para que haja credibilidade nos mesmos. Através de estudos de casos será possível realizar essa avaliação de maneira detalhada.

Por outro lado, lidamos com o conservadorismo em relação a novas tecnologias. O setor da construção civil é tradicionalmente conservador, com uma alta resistência a adoção de novas tecnologias. Atualmente, a produtividade brasileira na construção representa 20,3% da produtividade americana, segundo estudo da Conference Board divulgado pela FGV. Isso mostra que os sistemas construtivos utilizados no país são extremamente antigos e datam, em sua maioria, das décadas de 60 e 70, mantendo a construção civil um dos setores que mais consomem recursos, gerando resíduos e não aumentam a sua produtividade.

Essa situação tem relação direta com a mentalidade conservadora do setor da construção, caracterizada pela resistência à mudança. A aceitação e a adoção mais lenta de sistemas construtivos inovadores são impactadas pela complexidade das normas e pela regulamentação morosa para a aprovação de novas tecnologias. Outro fator importante é a escassez de mão de obra, onde muitas empresas mantêm

profissionais que possuem experiência apenas em métodos tradicionais. A mudança para novas tecnologias exige um investimento em dinheiro, tempo e treinamento, o que muitas vezes acaba se tornando pouco viável para muitas empresas.

É necessário mudar este cenário e vencer a resistência, mudar a forma como construímos, e assim, obter mais eficiência. As novas tecnologias permitem uma redução de custos a longo prazo, graças ao aumento da eficiência e a redução de desperdícios. Além disso, são muito mais sustentáveis, utilizando menos recursos naturais e gerando menos resíduos.

Apesar da viabilidade de materiais mais sustentáveis, a produção de cimento chega a cerca de 4 bilhões de toneladas anualmente (PILEGGI, 2019), sabe-se que na sua produção, é liberada uma alta quantidade de dióxido de carbono, um dos principais gases do efeito estufa, e essa alta produção faz com que o cimento seja responsável por 7% da emissão de CO₂ no planeta.

Além do cimento, outro material que é muito utilizado no Brasil é o bloco cerâmico, chamado também de tijolo, estima-se que sua produção, só no Brasil, chega a 5,89 bilhões blocos por ano, de acordo com ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) em 2023. Ademais, durante sua produção, é liberado na atmosfera 19,59 kg de CO₂/m³ (CUNHA, 2016).

Segundo a ONU, em 2022, no ramo da construção civil, 3 materiais são os mais usados: cimento, concreto e aço. Focando agora no aço, de acordo com Brasil Mineral, a produção anual de aço bruto, de janeiro de 2023 a janeiro de 2024, foi de 148,1 milhões de toneladas. Em sua produção é liberado 16.628,42 kg de CO₂/m³ (CUNHA, 2016), é um valor preocupante para a saúde da Terra, considerando a quantidade anual produzida.

A emissão de dióxido de carbono não é prejudicial somente para a saúde do planeta, mas também à nossa. Conforme estudos realizados pelo Mundo Educação, altas concentrações de CO₂ em um ambiente pode causar problemas respiratórios, dor de cabeça, tontura, e em casos extremos, asfixia. De uma maneira indireta, afeta a saúde humana pois o dióxido de carbono contribui para o aquecimento global e mudanças climáticas, ocasionando ondas de calor e tempestades.

A construção civil desempenha um papel importante nas cidades e, conseqüentemente, na qualidade de vida da população. No entanto, este setor

também é um grande emissor de gases de efeito estufa, como o CO₂. É nesse contexto que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) “11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis”, “12 - Consumo e Produção Responsáveis” e “13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima” se tornam particularmente importantes. O tema escolhido se conecta diretamente com as ODS citadas, ao buscar soluções inovadoras e sustentáveis, contribuimos para a construção de cidades mais verdes e resilientes, para a promoção de padrões de consumo mais responsáveis e para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

A ODS 11 – “Cidades e Comunidades Sustentáveis”, visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. A construção civil, ao construir edifícios e infraestruturas, tem um impacto direto na qualidade de vida urbana. Ao analisar tecnologias que reduzem as emissões de CO₂, contribuimos para a construção de cidades mais limpas e saudáveis, alinhadas com os objetivos dessa ODS. Já a ODS 12 – “Consumo e Produção Responsáveis”, se concentra em garantir padrões de consumo e produção sustentáveis. A construção civil, por sua vez, é um grande consumidor de recursos naturais e energia. Ao buscar tecnologias mais eficientes, estamos promovendo a utilização racional desses recursos e reduzindo a geração de resíduos, contribuindo para os objetivos da ODS 12. Por fim, a ODS 13 – “Ação Contra a Mudança Global do Clima”, trata da ação climática. A construção civil, como mencionado, é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, principalmente do CO₂. Ao desenvolver e implementar tecnologias que reduzem essas emissões, estamos tomando medidas concretas para combater as mudanças climáticas, alinhadas com os objetivos da ODS 13.

De acordo com dados da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (Setec), o setor da construção civil é um dos principais responsáveis pelas emissões globais de gases de efeito estufa, representando cerca de 36% do consumo global de energia. No Brasil, embora a participação seja menor, as emissões desse setor ainda são significativas, corresponde a 6% das emissões nacionais, e totalizando cerca de 139 milhões de toneladas de CO₂ por ano.

Diante desse cenário, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) lançou um projeto que busca descarbonizar o setor da construção civil brasileira através da promoção de "edifícios net-zero". Essa iniciativa se alinha com a

necessidade global de reduzir as emissões de gases do efeito estufa e combater as mudanças climáticas. Portanto, se alinhando diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Os Edifícios net-zero são construções que são capazes de produzir energia renovável suficiente para suprir sua própria demanda, portanto, sua pegada de carbono é nula. Representam uma solução inovadora para reduzir a pegada de carbono do setor.

Para alcançar o status de edifício net-zero, é necessário implementar diversas estratégias, como a otimização do desempenho energético da edificação, a utilização de materiais sustentáveis, a instalação de sistemas de geração de energia renovável e a adoção de práticas de construção mais eficientes. Ao analisar as diversas opções disponíveis, o projeto busca identificar aquelas que apresentam o melhor custo-benefício e que se adaptam às diferentes realidades climáticas e construtivas do país.

Embora a transição para edifícios net-zero no Brasil enfrente desafios como a necessidade de investir em capacitação profissional e a adaptação da legislação, essa iniciativa representa uma grande oportunidade para o desenvolvimento de um setor mais sustentável e inovador, gerando novos empregos e impulsionando a economia. E ao analisar as tecnologias mais eficientes para conter a emissão de CO₂ proveniente da construção civil, o projeto do MCTI contribuirá para a criação de edifícios mais sustentáveis e energeticamente eficientes, alinhado com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

3 METODOLOGIA

Ao observarmos o ramo da Construção Civil, vimos uma problemática, a qual foi abordada na fundamentação teórica. A partir das análises e estudos das tecnologias, foi possível a identificação de técnicas sustentáveis que ajudam a diminuir a emissão de CO₂ provenientes da construção civil. Diante disso, decidimos estudar mais a fundo alguns materiais.

Nessa metodologia discorreremos sobre quatro tipos de materiais potencialmente capazes de substituir os materiais tradicionais que emitem muito CO₂, sendo eles: bambu, tijolo de adobe, tijolo ecológico e bioconcreto.

3.1 BAMBU

O bambu faz parte da família das gramíneas. Além de pertencer as plantas “C4” que se destacam por seu desempenho na captura de CO₂ da atmosfera, contribuindo consideravelmente para a redução do efeito estufa (DELGADO, 2010). De acordo com Guedes Pinto, Rocha e Bastos (2018), ao contrário da maioria das plantas, que liberam CO₂ durante a respiração, as “C4” apresentam um mecanismo quase nulo de emissão desse gás. Essa característica é decorrente de um sistema de armazenamento de CO₂ em suas fibras de vegetal, diminuindo consideravelmente as emissões de dióxido de carbono. Portanto, o bambu com sua capacidade de remover CO₂ da atmosfera pode ser um meio essencial no combate às mudanças climáticas. Atualmente existem cerca de 50 gêneros e até 1300 espécies que se encontram em regiões de clima tropical e semitropical, sendo abundantes na Ásia, África e América do Sul.

Figura 1 – Floresta de bambu



Fonte: Bamboo Bioproducts (2021)

Tem conhecimento de mais de 200 espécies diferentes de bambu, em solo brasileiro. Porém, nem todas elas têm propriedades necessárias para o uso estrutural na construção civil. De acordo com Correal (2020), as seguintes espécies possuem essas características: *Arundanaria*, *Bambusa vulgaris*, *Cephalostachyum*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Gigantochloa*, *Guadua Chusquea*, *Guadua angustifolia*, *Melocanna*, *Phyllostachys pubescens* e *Schizostachyum*.

Quando transformamos bambu em produtos, armazenamos carbono e reduzimos os problemas ambientais, devido suas propriedades de sequestrar carbono e manter em sua biomassa. O uso do bambu na construção civil tem diversas vantagens em comparação com a madeira, por exemplo. Além de suas vantagens, que incluem o baixo custo-benefício, a leveza, a possibilidade de curvatura, a superfície lisa e a resistência à tração e à compressão comparável à do aço e superior à do concreto, e obtendo resultados na fabricação de móveis, tubulações, drenos, estruturas e habitações.

O bambu se diferencia de outros vegetais estruturais, por sua elevada produtividade. Após um crescimento que leva aproximadamente dois anos e meio, o bambu alcança uma alta resistência mecânica estrutural. Sua resistência à tração pode atingir até 370 Mpa, o que o torna um substituto viável para o aço, especialmente considerando sua relação entre massa específica e resistência à tração. Em geral, a resistência à tração do bambu varia entre 40 e 215 MPa, com uma elasticidade variando entre 5,5 a 18 GPa, conforme Pereira e Beraldo (2008).

Tabela 1 – Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do bambu

Material	Custo do plantio por hectare	Rendimento	Período de produção
Bambu	US\$ 200-250	20 a 30 t/ha/ano	60 a 120 anos

Fonte: Kamegasawa (2004)

A Catedral Alternativa Nuestra Señora de la Pobreza, na Colômbia, e a Sharma Springs, na Indonésia, são algumas das construções que destacam o uso do bambu como componente principal. No Brasil, mesmo tendo menos incentivos e investimentos para o uso do bambu estrutural, existem algumas construções de pequeno porte que usam bambu, como o Pavilhão de Bambu e Biomateriais no Serviço Social do Comércio (SESC), localizado na cidade de Paraty, no Rio de Janeiro.

Figura 2 – Catedral Alternativa Nuestra Señora de la Pobreza (Colômbia)



Fonte: Acervo Simón Velez (2012)

Figura 3 – Sharma Springs (Indonésia)



Fonte: Ibuku, s.d. (2019)

Figura 4 – Pavilhão de bambu e biomateriais (Brasil)



Fonte: Juan Dias (2018)

3.2 TIJOLO DE ADOBE

O tijolo de adobe, consiste em um tijolo de barro e palha mesclados, que é moldado e seco naturalmente, e surge como uma alternativa ecologicamente consciente à construção tradicional, buscando reduzir significativamente as emissões de CO₂ durante seu ciclo de vida.

A produção do tijolo de adobe se diferencia do tijolo tradicional em algumas etapas importantes: primeiramente a preparação da terra, nessa etapa, a terra é peneirada para remover pedras e impurezas. Em seguida, é misturado com água até obter uma consistência e consistência plástica. Logo após, ocorre a moldagem dos tijolos, onde a massa de terra pode ser moldada manualmente, utilizando formas de madeira ou metal, ou com máquinas prensa-tijolos. As formas devem ter dimensões

padronizadas, geralmente 40 x 20 x 10 cm. Depois dessa etapa vem a secagem, nessa parte os tijolos moldados são colocados em local arejado e protegidos do sol e da chuva para secar. A caminhada deve ser lenta e gradual, para evitar rachaduras. O tempo de secagem depende das condições climáticas, mas geralmente leva de alguns dias a algumas semanas. Após a secagem, os tijolos podem ser curados por alguns dias em um ambiente úmido. A cura melhora a resistência e a durabilidade dos tijolos.

Dito isso, percebe-se a diferença em seu preparo, e o principal é que o tijolo convencional é feito de argila moldada e queimada em alta temperatura (cerca de 900°C), enquanto o tijolo de adobe é feito de terra argilosa, água e fibras vegetais, e não há liberação de carbono em sua preparação.

Diante dessa informação, concluímos que a principal vantagem do tijolo de adobe é a redução das emissões de CO₂, que corresponde a 38,46% em comparação com o tijolo tradicional, observando a emissão por peça produzida dos tijolos.

Em termos de resistência mecânica, os dados do tijolo de adobe variam de acordo com a composição dos materiais utilizados. Segundo uma revista da ANICER, publicada em outubro de 2020 por Antônio Pimenta, o tijolo estrutural convencional possui uma resistência à compressão que varia entre 4 e 20 Mpa, enquanto o tijolo de adobe possui uma resistência à compressão que varia de 0,5 a 2 Mpa. Percebe-se, portanto, que a resistência do tijolo de adobe é inferior ao tijolo estrutural convencional. Devido à baixa resistência, ele é utilizado em construções de pouca altura e com cargas leves.

Figura 5 – Tijolo de Adobe



Fonte: Sienge (2023)

Contudo, não podemos descartar o uso do tijolo de adobe sob essa desvantagem somente, uma vez que possui grandes vantagens e utilidades diferentes, não necessariamente limitadas à resistência mecânica. Sobre as vantagens, a principal é a redução das emissões de CO₂, uma vez que em seu processo de fabricação não há combustão, ao contrário da fabricação do tijolo cerâmico. Além disso, é sustentável, o adobe é feito a partir de materiais encontrados na natureza, como terra, água e, em alguns casos, fibras vegetais para dar mais resistência. Esses são materiais abundantes na natureza e não exige muitos processos industriais complexos para sua obtenção.

A secagem dos tijolos é feita ao ar livre, ao sol, utilizando energia solar, que é uma energia limpa, sustentável. O tijolo de adobe também entrega um conforto térmico, pois tem propriedades de isolamento térmico, mantendo assim a temperatura interna das edificações mais estável, reduzindo consideravelmente a necessidade de sistemas de ar-condicionado e aquecimento. Além disso o adobe possui a capacidade de absorver e liberar umidade, assim obtendo um ambiente interno mais saudável e confortável.

Falando em saúde, na parte da edificação, os tijolos de adobe permitem a passagem de vapor d'água, evitando o tão indesejável mofo. Além disso, relacionado a saúde humana, o adobe não emite os VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis), substâncias químicas nocivas para a saúde. Ademais, costumamos pensar que tudo que é sustentável é caro, mas esse não é o caso do tijolo de adobe, já que possui um ótimo custo-benefício, isso acontece devido a produção desses tijolos ser simples e de baixo custo, pois utiliza materiais abundantes na natureza, que inclusive torna o tijolo de adobe 100% reciclável, mesmo que não produza resíduos. Relacionado a sua fabricação, não requer mão de obra especializada, mesmo que não seja muito comum, também não precisa de equipamentos complexos específicos ou mecanizados para sua produção (Pereira, 2019). Outrossim, as construções feitas com tijolo de adobe podem durar centenas de anos, por ser um material durável, é capaz de suportar as intempéries e o desgaste natural do tempo. Por último, o tijolo de adobe é versátil, dá para se aplicar o tijolo de adobe em diversas técnicas construtivas, dentre elas: taipa, o adobe cru e o adobe estabilizado.

Figura 6 - Tijolo de adobe



Fonte: Fernanda (2019)

Agora que abordamos sobre suas vantagens e benefícios, discorreremos sobre seus desafios e possíveis desvantagens. Em primeiro lugar, o tijolo de adobe não tem resistência à água, ele é suscetível à erosão pela água, e o adobe também é um material poroso. Contudo, essa limitação ou desafio pode ser resolvido com técnicas de impermeabilização e proteção contra intempéries são essenciais. O processo construtivo se torna mais lento ao utilizar o tijolo de adobe, pois não irá somente comprar e utilizar os tijolos, mas também fabricá-los. Abordamos anteriormente sobre a resistência estrutural mecânica, a resistência mecânica do tijolo de adobe é inferior à resistência mecânica de tijolos convencionais. Por isso o tijolo de adobe não é recomendado para construções de grande porte, sendo necessário o uso de reforços estruturais.

Quanto à produção, é necessário o uso do solo adequado, a qualidade desse material depende do tipo de solo utilizado. Não é qualquer solo que pode ser utilizado para a produção de tijolos resistentes. Devido ao conservadorismo da construção civil, não é muito comum o uso desse material, exigindo assim uma mão de obra qualificada, para utilizar o tijolo de adobe, é preciso um conhecimento que nem sempre é encontrado facilmente no mercado de trabalho, o trabalhador deve ter conhecimento das técnicas tradicionais de construção para evitar o mau uso e desperdício desse material. Para finalizar essa parte, um outro contraponto do tijolo de adobe são as normas e regulamentações para o seu uso, elas ainda estão em desenvolvimento em alguns países.

Além disso, não existem tantas normas específicas e abrangentes direcionadas a ele, principalmente quando comparado com outros materiais mais comuns como o concreto e o aço. É importante verificar as normas locais antes de especificar esse

tipo de material em um projeto. Contudo, existem sim algumas normas aplicáveis a esse material, segundo Barroso (2016), existem normas técnicas que podem ser utilizadas para auxiliar no processo de caracterização da terra, a NBR 6457/2016, que trata das amostras de solo, a NBR 16097/2012 tratando da determinação do teor de umidade do solo, a NBR 7180/2016 que determina o Limite de Plasticidade, a NBR 7181/2016 trata da análise granulométrica, por último, a NBR 6459/2016 trata da determinação do limite de liquidez do solo (HENRIQUE; PEREIRA; HORIZONTE, [s.d.]).

Concluindo, relacionado a suas aplicações, o tijolo de adobe é utilizado em diversos tipos de projetos, como edifícios residenciais unifamiliares térreas ou com poucos pavimentos, edificações rurais e casas de campo, paredes internas não estruturais (vedação), projetos de arquitetura bioclimática, restaurações de edificações históricas construídas com adobe, construções sustentáveis e de baixo impacto ambiental. O edifício de Arg-e Bam no Irã, é uma das construções que se destacavam pelo uso do tijolo de adobe, já que foi inteiramente construído por este material, além de ter sido considerado o maior edifício de adobe do mundo. Devido o desenvolvimento de técnicas de estabilização do adobe, adicionando fibras vegetais ou cal, por exemplo, se torna possível melhorar sua resistência e ampliar suas aplicações. Com o crescimento da consciência ambiental e a busca por soluções mais sustentáveis, a expectativa é que o uso do tijolo de adobe se torne cada vez mais comum nos próximos anos, mesmo que seja rudimentar, e os métodos rudimentares tenham sido praticamente abandonados desde a Revolução Industrial devido ao grande aumento de tecnologia (HENRIQUE; PEREIRA; HORIZONTE, [s.d.]).

Figura 7 – Arg-e Bam (Irã)



Fonte: Adobe Stock (2012)

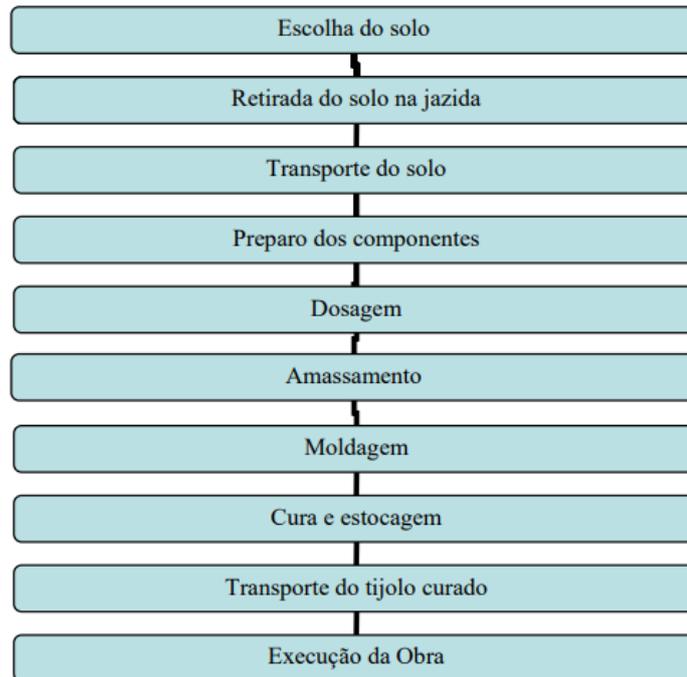
3.3 TIJOLO ECOLÓGICO

O tijolo ecológico, ou também conhecido como tijolo modular solo-cimento, é constituído em sua maioria de materiais ecologicamente corretos. O tijolo ecológico possui o intuito de reduzir a agressão ao meio ambiente, o mesmo mostra-se como uma alternativa extremamente sustentável aos tijolos tradicionais. Sua fabricação não utiliza o processo de queima, tradicionalmente utilizada na fabricação de tijolo comum, reduzindo drasticamente a emissão de gases nocivos na atmosfera. Eles oferecem uma imensidão de benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a construção civil.

O ramo da construção civil é um dos setores industriais mais influente do País, onde possui uma escala de produção e geração de resíduos muito grande, além de vestígios de risco ao meio ambiente e escassez das matérias-primas utilizadas. Visando o encontro de soluções mais sustentáveis e com melhor custo-benefício, a procura para a aplicação do tijolo ecológico vem crescendo, pois o mesmo é resultado de um processo de produção limpo que aproveita uma das matérias primas com mais abundancia do planeta, o solo, e em alguns casos até mesmo os resíduos da própria construção civil. Ele vem se tornando um produto com maior viabilidade financeira para a construção de moradias, podendo assim proporcionar o acesso comum de todos.

De acordo com Pisani (2005) “a produção dos tijolos de solo-cimento varia de acordo com os objetivos de sua utilização (resistências, aparentes ou para serem revestidos, pesos, formato, cor, textura, componentes e outros) e de acordo com o processo a ser utilizado (processos manuais ou mecânicos).” Levando em consideração estes aspectos, pode-se relacionar as seguintes etapas, conforme ilustrado na Figura.

Figura 8 – Fluxograma das etapas de fabricação e utilização dos tijolos ecológicos



Fonte: Pisani (2005)

Seu processo de produção consiste na mistura de terra, água e cimento. Importante ressaltar que a escolha do solo possui grande importância na composição do material, pois o mesmo é o componente de maior quantidade, onde influencia diretamente na qualidade e no custo-benefício do material. Segundo Pecoriello (2003), o solo a ser utilizado deverá ser submetido previamente à uma secagem ao ar local coberto até atingir uma umidade homogênea, em seguida o mesmo deve ser destorroado, e por fim é indicado peneirar o solo para eliminar as partículas com diâmetros superiores a 4.8 mm. Após o peneiramento o solo deve ser bem misturado.

Já em relação a água, a mesma utilizada no processo do tijolo ecológico deverá ser potável. Além disso, o traço adequado deverá apresentar uma quantidade menor de consumo de cimento. Por ter uma proporção bem menor de cimento em sua composição, o tijolo ecológico se torna uma opção muito mais sustentável em relação ao concreto tradicional, reduzindo significativamente o impacto ambiental.

A mistura dos materiais pode ser realizada de forma manual ou mecânica. Segundo a ABCP (2000) deve se proceder da seguinte forma: “O solo, destorroado e peneirado, é colocado sobre uma superfície lisa e limpa (de preferência cimentada) e espalhado numa camada não superior a 20 cm de espessura. Em seguida, o cimento

é distribuído sobre a camada de solo. Com o auxílio de pás e enxadas é processada a mistura do solo com o cimento, até que se obtenha coloração uniforme. Se necessário, colocar água aos poucos, até que se atinja a umidade ideal. Quando a mistura atingir a umidade desejada, recomenda-se proceder a um novo peneiramento, dessa vez para permitir uma melhor homogeneização da água no solo-cimento”

Em relação ao processo de prensagem do tijolo, os mesmos podem ser prensados através de prensas manuais ou hidráulicas. É importante ter ciência de que o tipo de prensa utilizada tem impacto no resultado final do tijolo, pois quanto maior a compactação imposta ao solo, melhor será o desempenho do material.

Se for analisada a fabricação de tijolos ecológico, é visto que dispensam a realização da cura através de fornos, sendo realizada apenas através de água. O que ajuda a contribuir para a diminuição de impactos ambientais, como também é amenizada a utilização de recursos naturais limitados. Portanto, os três elementos são misturados em proporções adequadas e posteriormente são compactadas em moldes sob alta pressão para poder ir para o processo de cura, até que após um período determinado eles obtém a resistência necessária.

Figura 9 – Tijolo Ecológico



Fonte: Alphaz Tijolos Ecológicos (2021)

Como visto na figura acima, o tijolo ecológico apresenta dois furos no seu corpo, onde o mesmo facilita a na implantação de ferragens, o que dispensa a aplicação de grandes pilares e vigas de concreto armado. Além de possibilitar que instalações hidráulicas e elétricas sejam executadas dentro de seus encaixes. O sistema de construção da alvenaria com esse material é baseado no intertravamento e encaixe

dos blocos, sendo este permitido pelo conjunto de saliências e rebaixos no topo e na base do bloco, garantindo também o seu auto alinhamento (PECORIELLO, 2003).

Ao analisar em um contexto geral, o tijolo se torna uma opção mais econômica por conta da redução de concreto armado, argamassa e caixaria utilizado.

Quando comprado aos tijolos tradicionais, o tijolo ecológico gera menores emissões de CO₂, pois o mesmo não exige altas temperaturas em fornos para a queima. Um dos principais fatores que contribuem para essa redução de emissão de CO₂ é a menor quantidade de cimento utilizada no seu processo de fabricação.

Relacionado a sua resistência, a do tijolo ecológico pode variar de acordo com a composição da mistura e o processo de fabricação. Sua resistência é similar ou pode ser superior a alguns tipos de tijolos cerâmicos. A compactação e a umidade adequada da mistura são essenciais para a obtenção de um solo-cimento satisfatório, “pois somente uma boa compactação pode garantir que o material atinja um determinado peso específico, ou densidade aparente, que lhe confira resistência mecânica apropriada para um determinado fim” (GRANDE, 2003)

Uma de suas principais vantagens, é que sua fabricação é considerada um processo simplificado, pois o mesmo é composto por um material em grande abundancia, que é o solo, podendo atender as populações que são desfavorecidas de outros recursos mais complexos. A ausência da queima no processo de cura, que contribui muito para o meio ambiente, reduzindo a quantidade gases poluentes que geralmente são liberados, é muito vantajosa. Como foi citado anteriormente sobre seu formato, o mesmo traz inúmeras vantagens, como os seus furos que servem para a passagem de tubulações e instalações elétricas, evitando a quebra de paredes, diminuindo em 30% seu tempo de execução da obra. Tendo uma visão sustentável e financeiramente viável, as obras que fazem uso desse tipo de material geram menos resíduos e, conseqüentemente, acabam economizando material. Os mesmos também possuem algumas características estéticas, ficando a critério do proprietário a realização de um possível acabamento.

Em relação as desvantagens, podemos citar a facilidade de possíveis erros na parte da dosagem do material, o que pode levar a gerar algumas patologias. Com isso, é importante verificar se a mão de obra que está sendo utilizada é qualificada, pois a falta dela pode ocasionar danos a estrutura.

Sua aplicação vem sendo mais comum em edifícios residenciais, e através de análises foi possível encontrar uma residência feita por este tipo de material. Descrição enviada pela equipe de projeto: “Localizada em um condomínio residencial no interior de São Paulo, na cidade de Cabreúva, a Casa MP possui 350 m² de área construída, com sistema construtivo em tijolo solo-cimento/ecológico com alguns elementos em concreto aparente e aço. É uma construção ecologicamente correta e inteligente, tirando o melhor das características que esse tipo de material pode oferecer”.

Figura 10 – Fachada da residência



Fonte: ArchDaily (2024)

Figura 11 – Cozinha da residência



Fonte: ArchDaily (2024)

É notório que sua aplicação possui uma estética muito favorável, além de ser sustentável. O tijolo ecológico é uma alternativa promissora para o setor da construção, pois o mesmo oferece diversas vantagens em termos de custo, sustentabilidade e desempenho.

3.4 BIOCONCRETO

O bioconcreto é um tipo de concreto autocurável. Desenvolvido para solucionar problemas na estrutura da edificação, a tecnologia é uma das grandes apostas da indústria da construção. Ainda mais porque se trata de uma inovação sustentável. Afinal, a criação do bioconcreto, além de possibilitar a redução dos custos de manutenção e de produção de concreto, também contribui para a redução nas emissões de carbono no processo.

Figura 12 – Bioconcreto



Fonte: Atrex (2022)

A princípio, o bioconcreto ou concreto biológico é proveniente de uma mistura de cimento com bactérias anaeróbicas facultativas, isto é, que sobrevivem tanto na presença quanto na falta de oxigênio.

Esse tipo de concreto foi desenvolvido pelo cientista e pesquisador holandês Henk Jonkers, na Universidade de Tecnologia de Delft. A propósito, a invenção propõe solucionar os problemas causados pelo uso do concreto convencional. Aliás, a produção do concreto é responsável por 8% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂). Já no Brasil, segundo dados do BNDES, só em 2012, cerca de 30% das emissões de dióxido de carbono são provenientes do processo de fabricação do cimento. O processo envolve a queima de muitos minerais, conchas, xisto e outros componentes em fornos com a temperatura de 1.400 °C, nos quais os combustíveis fósseis são normalmente usados como fonte de energia. Ou seja, é daí que vêm as emissões de CO₂, que terão reduções significativamente com a aplicação do bioconcreto.

A princípio, o preparo do bioconcreto ocorre a partir da mistura do concreto tradicional com colônias da bactéria *Bacillus pseudofirmus*. As bactérias são adicionadas ao cimento em formatos de microcápsulas biodegradáveis que limitam o movimento desses microrganismos e suprimem-nos em forma de esporos. As cápsulas biodegradáveis contêm lactato de cálcio, um reagente que se transformará em calcário por meio através da ação das bactérias ativas pela presença de água nas infiltrações. Vale ressaltar que essa bactéria fica inativa depois que o concreto se solidifica e pode permanecer nessa forma por até 200 anos. Após a estabilização do concreto, as bactérias passam a fazer parte da estrutura e só ficam ativas quando surgir uma rachadura na estrutura. Desse modo, dá-se início a um processo de regeneração da rachadura e a ação das bactérias é capaz de regenerar concretos com fissuras de até 8 mm de largura.

O bioconcreto é ideal para estruturas subaquáticas ou no subsolo, ou seja, em ambientes onde o nível de vazamento e corrosão são maiores. Uma aplicabilidade para este material seria em estruturas com rachaduras em regiões com tremores de terra leves.

O bioconcreto possibilita construções sustentáveis. Além de contribuir para a redução nas emissões de CO₂, ele também pode ser combinado com outros materiais ecológicos e fontes de energia renováveis. Isso se dá devido a sua capacidade de se autorregenerar, dispensando os gastos com reparos e manutenção na estrutura da construção. O mesmo pode regenerar fissuras de qualquer comprimento, sem limitação.

Inicialmente, o uso do bioconcreto vem sendo testado em diferentes estruturas como, como por exemplo a Estação de Salva Vidas na Holanda, que foi primeira estrutura a utilizar o material. O início da construção se deu em 2011 e, apesar de estar sujeita à alta incidência solar e à presença contínua de água, a estrutura continua em ótimo estado de conservação até os dias atuais;

Figura 13 – Estação de Salva Vidas (Holanda)



Fonte: CNN (2015)

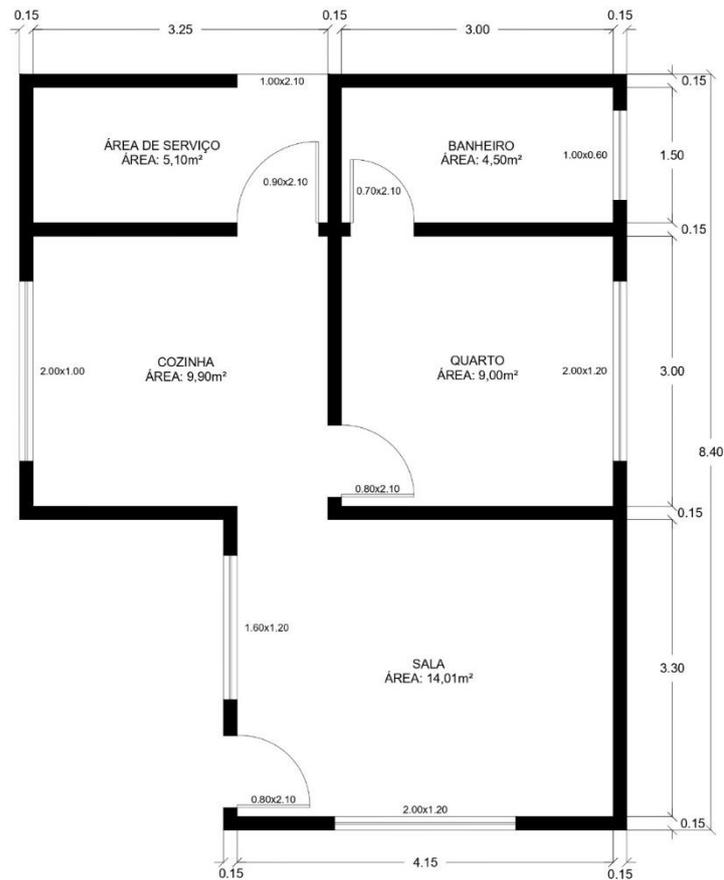
Além disso, o bioconcreto também já foi utilizado em canais de irrigação no Equador. O país possui ocorrências frequentes de abalos sísmicos, que podem provocar rachaduras, colocando em teste a capacidade de regeneração do concreto biológico.

3.5 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem como objetivo principal analisar e comparar as emissões de CO₂ em uma construção residencial utilizando materiais de construção tradicionais, como: O tijolo cerâmico e o concreto, e materiais mais sustentáveis, como: O tijolo ecológico, tijolo de adobe, bambu e o bioconcreto. Através da análise de uma planta baixa residencial onde foram aplicados separadamente os seis materiais, pretende-se quantificar as emissões de CO₂ de cada material e realizar uma comparação no geral com os materiais tradicionais.

A figura abaixo ilustra a planta baixa residencial, que possui cinco cômodos (Sala, cozinha, quarto, banheiro e área de serviço), contabilizando uma área total de 48.50 m², e servirá de base para a análise.

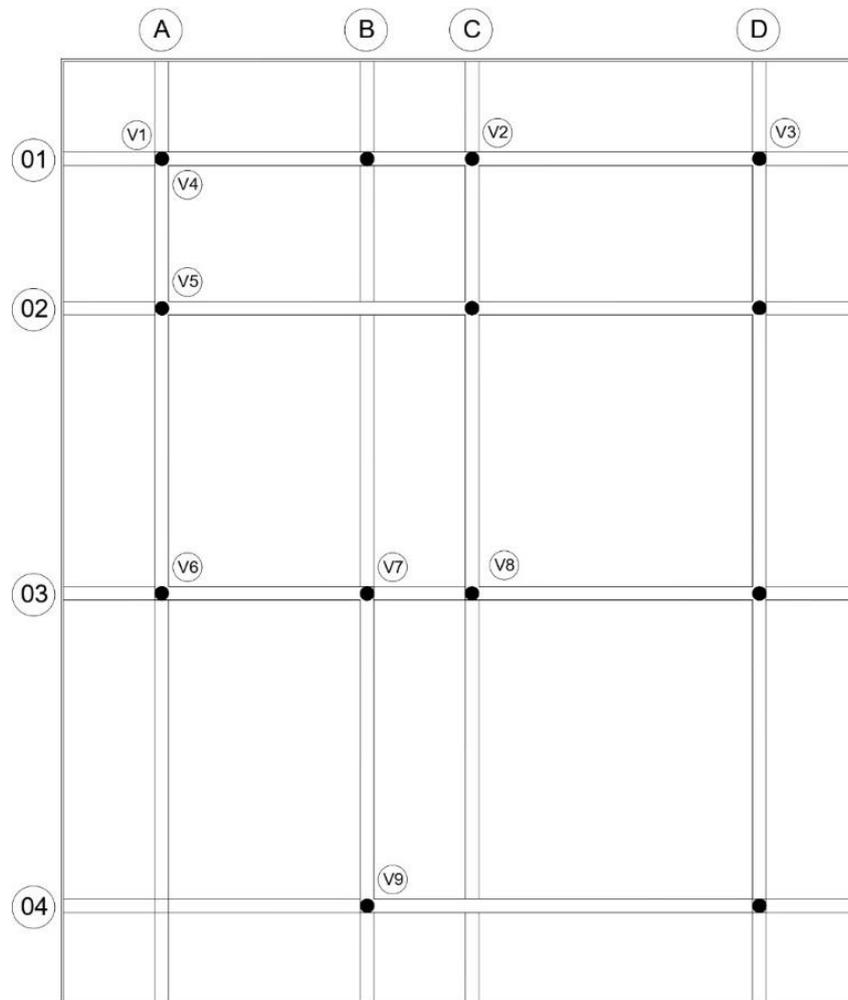
Figura 14 – Planta baixa residencial



Fonte: Autores (2024)

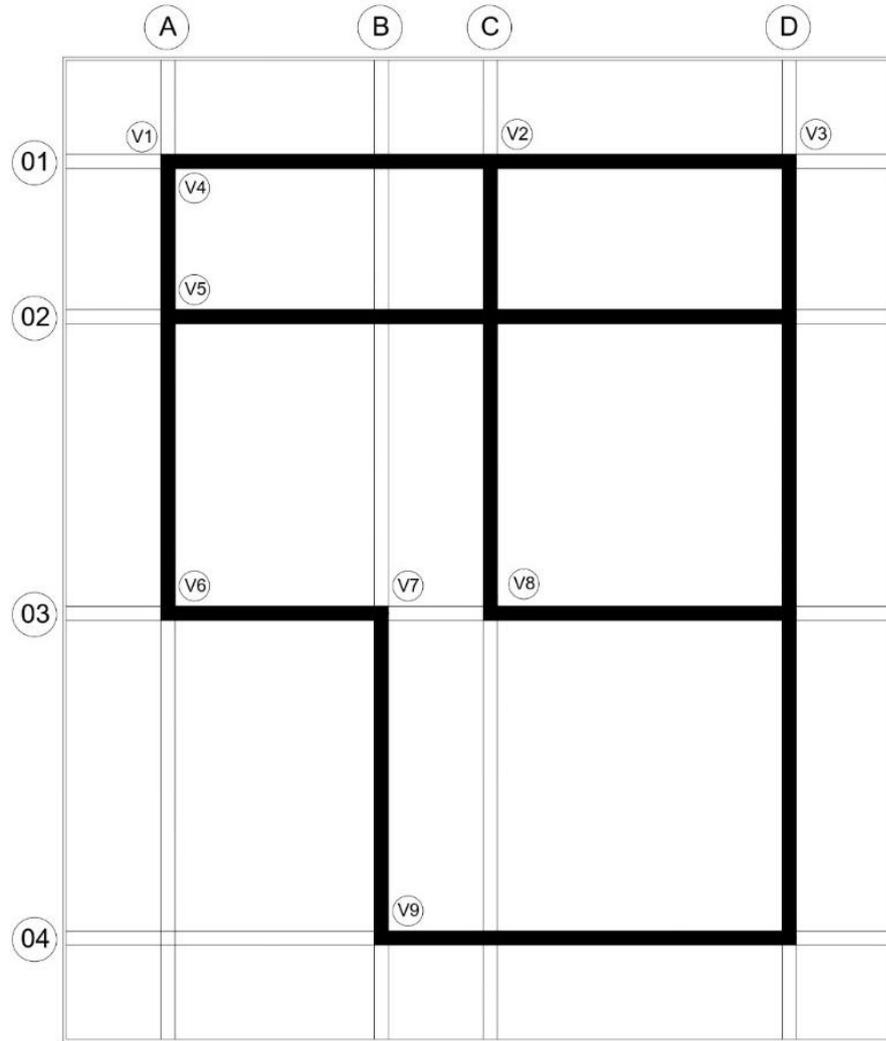
A parte estrutural da residência foi feita com a utilização das duas alternativas sustentáveis; O bambu e o bioconcreto e, como referência, o concreto armado, como representado nas figuras abaixo.

Figura 15 – Planta estrutural do bambu - Pilares



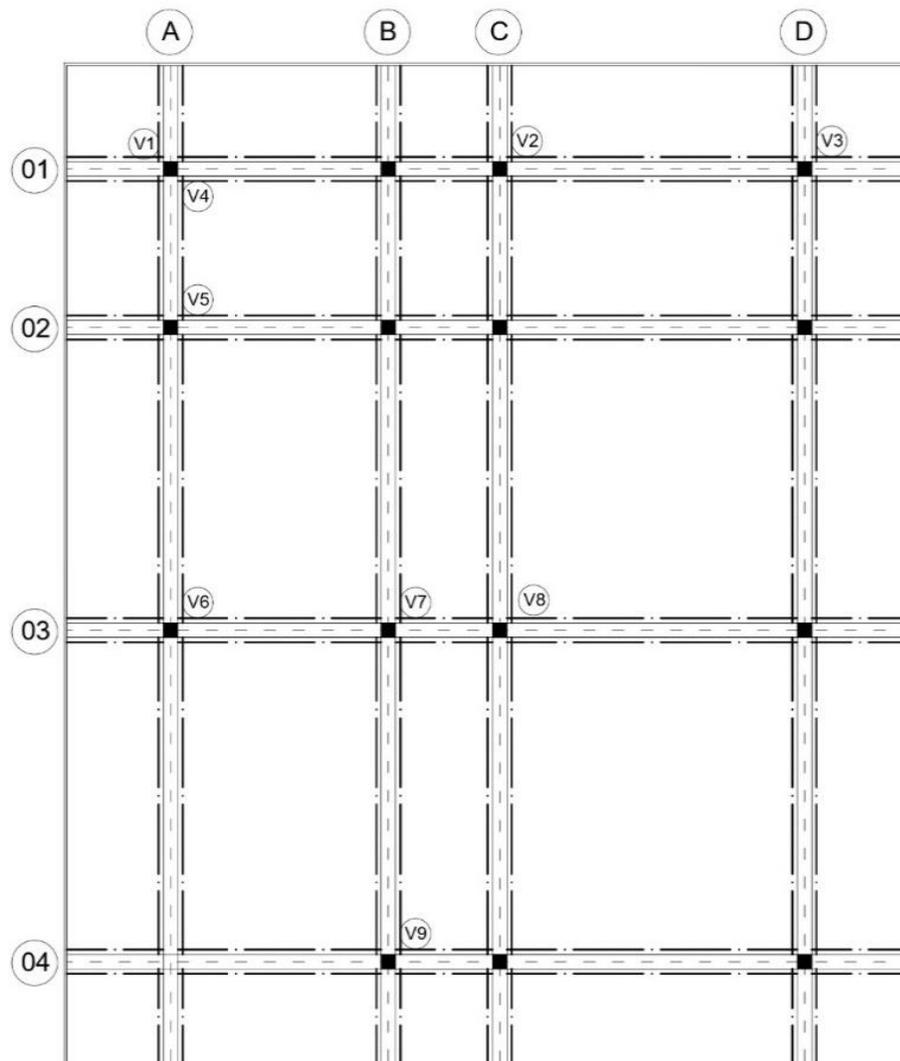
Fonte: Autores (2024)

Figura 16 – Planta estrutural do bambu - Vigas



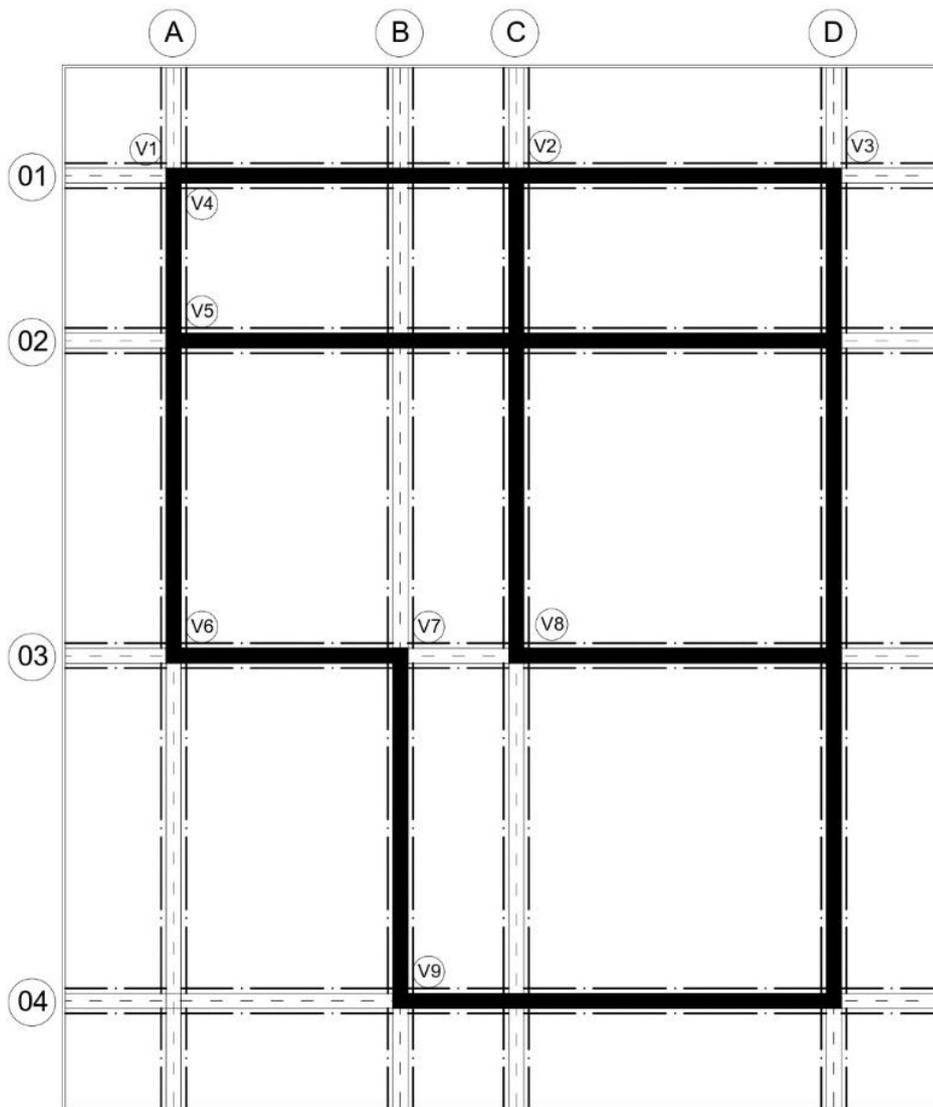
Fonte: Autores (2024)

Figura 17 – Planta estrutural do bioconcreto e concreto armado - Pilares



Fonte: Autores (2024)

Figura 18 – Planta estrutural do bioconcreto e concreto armado - Vigas



Fonte: Autores (2024)

3.6 MANUTENÇÃO DOS MATERIAIS

O concreto convencional não dispensa as manutenções para evitar e/ou identificar possíveis patologias. O mesmo necessita de manutenções e reparos em períodos periódicos para evitar problemas como corrosão e deterioração. Portanto, limpezas regulares, inspeções e correções, uso de aditivos e proteção de armaduras são processos fundamentais para garantir a boa funcionabilidade do concreto tradicional.

Por outro lado, o bioconcreto dispensa essas manutenções periódicas, por conta de sua composição e estrutura. O mesmo possui capacidade de regeneração das próprias rachaduras, sendo capaz de se autoconsertar por meio da alimentação e

da digestão de bactérias. Quando as mesmas saem da inércia, elas consomem o lactato de cálcio utilizado na mistura do concreto, liberam do calcário na digestão, que ocupa espaço aberto no concreto e com o calcário produzido é acumulado na região das rachaduras.

Apesar de ser considerado um material mais caro que o concreto convencional, o seu custo benefício é bem maior quando analisado a longo prazo, o mesmo se torna uma opção muito mais barata e sustentável que é capaz de reduzir os gastos com mão de obra e manutenção nas edificações do setor da construção civil, além de diminuir as emissões de CO₂ que são emitidas durante o processo de produção do concreto.

A tabela apresentada abaixo demonstra que a adoção de materiais mais sustentáveis na construção civil não significa necessariamente um aumento expressivo dos custos, podendo até mesmo ser mais econômica. Embora alguns materiais, como o bioconcreto, apresentem um custo inicial superior aos convencionais, os benefícios a longo prazo são consideráveis. A redução do consumo de energia e a diminuição dos impactos ambientais, justificam o investimento inicial e demonstram que a sustentabilidade pode ser economicamente viável.

Tabela 2 – Tabela de custos comparando os materiais sustentáveis com os tradicionais

Materiais sustentáveis	Custo	Materiais convencionais	Custo
Bambu	R\$ 200 a R\$ 250 por m ²	Concreto	R\$ 200 a R\$ 400 por m ²
Bioconcreto	R\$ 428 por m ²		
Tijolo de Adobe	R\$ 3,80 cada	Tijolo Cerâmico	R\$ 1,00 cada
Tijolo Ecológico	R\$ 1,30 cada		

Fonte: Autores (2024)

Embora as práticas sustentáveis na construção civil possam exigir um investimento inicial maior, elas oferecem diversas vantagens financeiras a longo prazo, tornando-as uma opção viável e lucrativa.

Uma dessas vantagens é a redução de custos operacionais, de acordo com o Sebrae, os edifícios sustentáveis têm a possibilidade de reduzir 30% no consumo

de energia elétrica, 50% no consumo de água, 50% a 80% no descarte de resíduos, 35% na emissão de gases de efeito estufa, 8% a 9% no custo operacional total da obra. Portanto, desde a execução da obra já é possível obter retornos financeiros.

Além disso, o imóvel é valorizado, edifícios sustentáveis são mais procurados por inquilinos e compradores que valorizam a sustentabilidade e os benefícios associados. Não somente por isso, mas os imóveis são valorizados por meio de certificações de sustentabilidade, como a LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental) e a BREEAM (Método de Avaliação Ambiental de Estabelecimento de Pesquisa em Edifícios). Essas certificações têm como objetivo verificar se o edifício construído é sustentável dentro de seus padrões pré-estabelecidos, caso sim, a construção recebe o selo verde correspondente, podendo ser um meio de valorizar sua obra.

Uma outra vantagem financeira de edifícios sustentáveis são os incentivos fiscais e governamentais, e isso se dá por meio de descontos em impostos, como o IPTU. Diversas cidades do Brasil possuem esse incentivo governamental, cujo nome é IPTU verde, que concede percentuais de descontos nas contas dos municípios. De acordo com Sienge, em Guarulhos, o IPTU verde dá 3% de desconto no valor do Imposto Predial e Territorial Urbano para construções com materiais sustentáveis.

Com isso, concluímos que mesmo que construções sustentáveis possuam um custo inicial elevado, a longo prazo, a utilização de materiais sustentáveis é mais lucrativa. De acordo com um estudo do Green Business Council Brasil, edifícios com certificação LEED podem gerar um ROI (retorno sobre investimento) de até 20% em 10 anos.

4 RESULTADOS

Cálculos de quantificação dos resultados apresentados na planta do estudo de caso:

4.1 QUANTIFICAÇÃO DAS ALVENARIAS

Quantidade de cada material das alvenarias usados na planta baixa, bem como suas emissões:

- Tijolo convencional

Quantidade do material + 5% de perdas: $50 \times 99,40 + (50 \times 99,40 \times 5/100) = 5220$ peças

Emissão de CO₂ no projeto: $0,176 \times 99,40 = 17,49$ kg

- Tijolo Ecológico

Quantidade do material + 5% de perdas: $48 \times 99,40 + (48 \times 99,40 \times 5/100) = 5010$ peças

Emissão de CO₂ no projeto: $0,021 \times 99,40 = 2,09$ kg

- Tijolo de Adobe

Quantidade do material + 5% de perdas: $44 \times 99,40 + (44 \times 99,40 \times 5/100) = 4600$ peças

Emissão de CO₂ no projeto: $0,00 \times 99,40 = 0,00$ kg

Tabela 3 – Tabela quantitativa dos materiais aplicados na planta baixa - Alvenarias

	Tijolo Convencional	Tijolo Ecológico	Tijolo de Adobe
Rendimento por m ²	50 peças	48 peças	44 peças
Área total das paredes do projeto	99,40m ²		
Qtd. Do material + 5% de perdas	5220 peças	5010 peças	4600 peças
Emissão de CO ₂	0,176kg de CO ₂ /m ²	0,021kg de CO ₂ /m ²	0kg
Emissão de CO ₂ no projeto	17,49kg	2,09kg	0kg

Fonte: Autores (2024)

4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Quantidade de cada material de vedação usado na planta baixa, bem como suas emissões:

Tabela 4 – Dimensionamento dos pilares

Dimensionamento dos pilares		
Pilares	Área	
P01	$(3,25 \times 2,80) - (2,10 \times 1,00) + (3,00 \times 2,80) =$	15,40m ²
P02	$(3,25 \times 2,80) - (2,10 \times 0,90) =$	7,21m ²
P03	$(3,00 \times 2,80) - (0,70 \times 2,10) =$	6,93m ²
P04	$(1,50 \times 2,80) - (1,00 \times 0,80) =$	3,40m ²
P05	$(4,70 \times 2,80) - (2,00 \times 1,00) =$	11,16m ²
P06	$(3,00 \times 2,80) - (0,80 \times 2,10) + (1,50 \times 2,80) =$	10,42m ²
P07	$(3,00 \times 2,80) - (2,00 \times 1,20) =$	6,00m ²
P08	$(2,10 \times 2,80) =$	5,88m ²
P09	$(3,00 \times 2,80) =$	8,40m ²
P10	$(3,30 \times 2,80) - (0,80 \times 2,10) - (1,60 \times 1,20) =$	5,64m ²
P11	$(4,15 \times 2,80) - (2,00 \times 1,20) =$	9,22m ²
P12	$(3,30 \times 2,80) =$	9,24m ²
Total	99,40m²	

Fonte: Autores (2024)

Tabela 5 – Dimensionamento das vigas

Dimensionamento das vigas		
Vigas	Área	
V01	$0,20 \times 0,20 \times 6,40 =$	$0,384\text{m}^3$
V02	$0,20 \times 0,20 \times 4,80 =$	$0,288\text{m}^3$
V03	$0,20 \times 0,20 \times 8,10 =$	$0,486\text{m}^3$
V04	$0,20 \times 0,20 \times 4,80 =$	$0,288\text{m}^3$
V05	$0,20 \times 0,20 \times 5,95 =$	$0,357\text{m}^3$
V06	$0,20 \times 0,20 \times 1,95 =$	$0,117\text{m}^3$
V07	$0,20 \times 0,20 \times 3,00 =$	$0,180\text{m}^3$
V08	$0,20 \times 0,20 \times 3,00 =$	$0,180\text{m}^3$
V09	$0,20 \times 0,20 \times 4,30 =$	$0,258\text{m}^3$

Fonte: Autores (2024)

- Estrutura de concreto armado:

Pilares no projeto: 15

Tamanho de cada pilar: $0,20 \times 0,20 \times 3,00\text{m} = 0,12\text{m}^3$

Quantidade de concreto: $15 \times 0,12 = 1,80\text{m}^3$

Aço: metragem linear da coluna = altura da coluna \times quantidade de barras

$$3 \times 15 = 45\text{m}$$

Metragem linear total = metragem da coluna \times nº de colunas

$$45 \times 15 = 675\text{m}$$

Quantidade de barras = metragem linear total / 12

$$675 / 12 = 56,25 \text{ barras de aço}$$

Aço do estribo: $300\text{cm} / 15 = 20\text{cm}$

$$10 + 20 + 10 + 20 = 60 \text{ cm (0,60 m)}$$

$$0,60 \times 20 = 12 \text{ m.}$$

$$12\text{m} \times 15 \text{ colunas} = 180 \text{ m de aço.}$$

Aço total = 180 + 675 => 855m de aço

- Emissões de CO₂ na estrutura de concreto armado:

O concreto emite 610kg de CO₂ por tonelada de concreto

1,80m³ -> 1800kg ou 1,80t

0,61t CO₂ ---- 1,00t X = 1,10t de CO₂

X t CO₂ ----- 1,80t

O aço emite 1,91 tonelada de CO₂/tonelada de aço produzida

Vergalhão CA 50 32mm

12m de aço ----- 75,76 kg Y= 5397,9kg ou 5,40t

855m de aço ---- Y

1,91t CO₂ ---- 1,00t de aço X = 10,31t de CO₂

X t CO₂ ----- 5,40 de aço

Total (concreto + aço) = 1,10+10,31

Emissão de CO₂ nos pilares de concreto armado = 11,31t

Quantidade em m³ de concreto que será utilizado:

Volume concreto = V1+V2+V3+V4+V5+V6+V7+V8+V9

Volume de concreto = 2,538m³

0,61t CO₂ ---- 1,00t X = 1,55t de CO₂

X t CO₂ ----- 2,538t

Tabela 6 – Vigas de Aço

Dimensionamento das vigas		
Vigas	Metragem linear da coluna = Altura da coluna × Quantidade de barras	
V01	6,40×15 =	96,00m
V02	4,80×15 =	72,00m
V03	8,10×15 =	121,50m
V04	4,80×15 =	72,00m
V05	5,95×15 =	89,25m
V06	1,95×15 =	29,25m
V07	3,00×15 =	45,00m
V08	3,00×15 =	45,00m
V09	4,30×15 =	64,50m
Total	634,50m	

Fonte: Autores (2024)

Quantidade de barras = metragem linear total / 12

$$634,50 / 12 = 52,87 \text{ barras de aço}$$

$$\text{Aço do estribo: (média de todas as alturas)} 2,82\text{cm}/15 = 18,8\text{cm}$$

$$10 + 20 + 10 + 20 = 60 \text{ cm (0,60 m)}$$

$$0,60 \times 18,80 = 11,28 \text{ m.}$$

$$11,28\text{m} \times 15 \text{ colunas} = 170 \text{ m de aço.}$$

$$\text{Aço total} = 170 + 634,50 \Rightarrow 804,50\text{m de aço}$$

O aço emite 1,91 tonelada de CO₂/tonelada de aço produzida

Vergalhão CA 50 32mm

$$12\text{m de aço} \text{ ----- } 75,76 \text{ kg} \quad Y = 5079\text{kg ou } 5,08\text{t}$$

$$804,5\text{m de aço} \text{ ---- } Y$$

$$1,91\text{t CO}_2 \text{ ---- } 1,00\text{t de aço} \quad X = 9,70\text{t de CO}_2$$

$$X \text{ t CO}_2 \text{ ----- } 5,08\text{t de aço}$$

Total (concreto + aço) = 1,55+9,70

Emissão de CO₂ nas vigas de concreto armado = 11,25t

SOMATÓRIA DAS EMISSÕES DE CO₂ NAS VIGAS E PILARES DE CONCRETO ARMADO:

11,25+11,31 = 22,56t de CO₂.

- Estrutura de bambu:

Devido a sua característica de sequestrar carbono da atmosfera, não há emissões, pois tudo que produz de CO₂ é transformado em O₂ por meio da fotossíntese.

Portanto, 0kg de CO₂.

- Estrutura de bioconcreto:

Tamanho de cada pilar: 0,20x0,20x3,00m = 0,12m³

Quantidade de concreto: 15x0,12 = 1,80m³

O bioconcreto emite 610kg de CO₂ por tonelada de concreto

1,80m³ -> 1800kg ou 1,80t

0,61t CO₂ ---- 1,00t X = 1,10t de CO₂

X t CO₂ ----- 1,80t

Emissão de CO₂ nos pilares de bioconcreto = 1,10t

Quantidade em m³ de concreto que será utilizado:

Volume concreto = V1+V2+V3+V4+V5+V6+V7+V8+V9

Volume de concreto = 2,538m³

0,61t CO₂ ---- 1,00t X = 1,55t de CO₂

X t CO₂ ----- 2,538t

SOMATÓRIA DAS EMISSÕES DE CO₂ NAS VIGAS E PILARES DE BIOCONCRETO: $1,10+1,55 = 2,65\text{t}$ de CO₂.

*Vale ressaltar que a diminuição da emissão de CO₂ por meio da utilização do bioconcreto virá ao longo do tempo, por este material não exigir manutenção na sua vida útil, conseqüentemente emitindo mais CO₂.

Tabela 7 – Tabela quantitativa dos materiais aplicados na planta baixa - Estruturas

	Aço	Bambu	Concreto	Bioconcreto
Qtd. Do material + 5% de perdas	898m	472m	4,56m ³	4,56m ³
Emissão de CO2	1,91t p/t	0kg	0,61t de CO2/t	0,61t de CO2/t
Emissão de CO2 no projeto	21,01t	0kg	2,65t	2,65t

Fonte: Autores (2024)

4.3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS

Gráfico 1 – Gráfico quantitativo dos materiais aplicados na planta baixa - Alvenarias

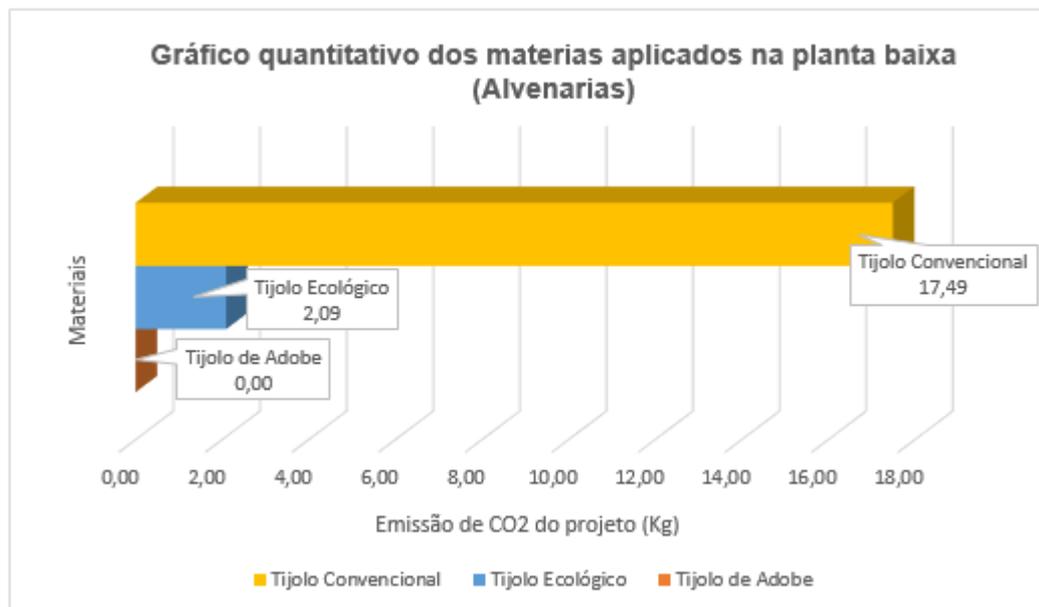
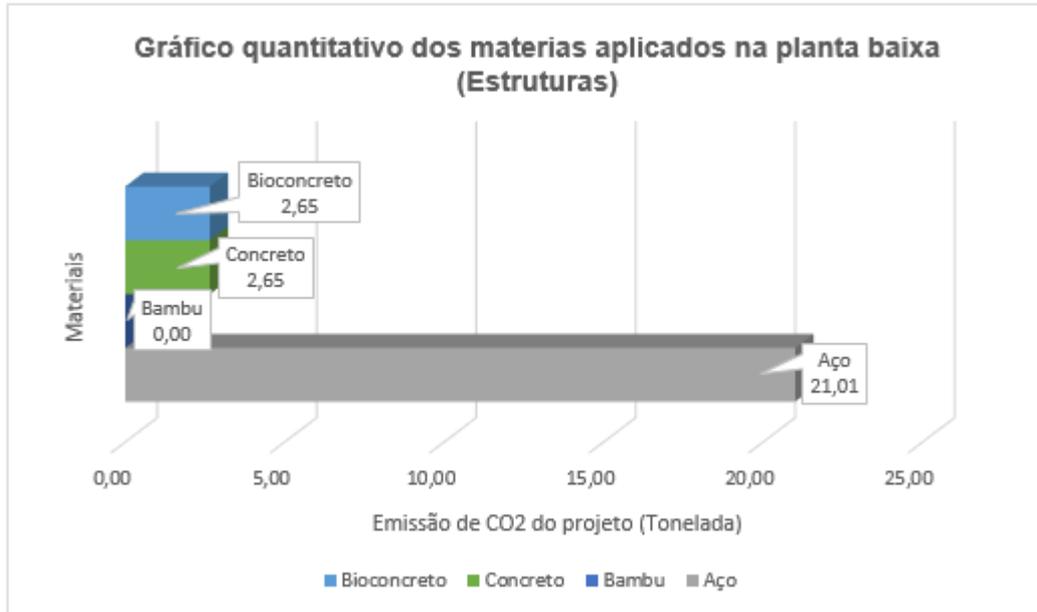


Gráfico 2 – Gráfico quantitativo dos materiais aplicados na planta baixa - Estruturas



Fonte: Autores (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os resultados desta análise indicam que as alternativas propostas representam um passo significativo rumo à construção civil mais sustentável. A substituição gradual dos materiais tradicionais por opções mais ecoeficientes é fundamental para mitigar os impactos ambientais do setor, que consome grande quantidade de recursos naturais e gera um volume considerável de resíduos. As alternativas analisadas demonstram que é possível conciliar desempenho técnico e durabilidade com menor impacto ambiental, graças à incorporação de soluções inovadoras e ao uso de materiais renováveis ou reciclados.

A transição para uma construção mais sustentável não se limita à escolha de materiais, mas envolve também a otimização dos processos construtivos, a adoção de práticas de gestão ambiental e a busca por soluções que promovam a eficiência energética e o conforto térmico dos edifícios. Nesse sentido, as alternativas propostas contribuem para a construção de um futuro mais sustentável, onde a edificação se torna um elemento ativo na promoção da qualidade de vida e na preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, P. **QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES COM DIFERENTES MATERIAIS IASMINY BORBA DA CUNHA LICENCIADA EM MATEMÁTICA ENGENHEIRA CIVIL DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul FACULDADE DE ENGENHARIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS.** [s.l.: s.n.]. (Disponível em: <<https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/8797/1/000479993-Texto%2bCompleto-0.pdf>>. Acesso em: 26/07/2024).

ALEXANDRE. **Bioconcreto – um passo rumo ao futuro das construções.** (Disponível em: <<https://sensoreng.com.br/bioconcreto-um-passo-rumo-ao-futuro-das-construcoes/#:~:text=Esta%C3%A7%C3%A3o%20Salva%20Vidas%20na%20Holanda>>. Acesso em: 29/07/2024).

A resistência dos blocos e tijolos cerâmicos estruturais. (Disponível em: <<https://revista.anicer.com.br/a-resistencia-dos-blocos-e-tijolos-ceramicos-estruturais/>>. Acesso em 29/07/2024).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1980). **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio.** São Paulo, SP., 51p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND- ABCP. (2000). **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais.** Publicações ABCP, São Paulo.

Bambu estrutural: possibilidades para uma engenharia sustentável. (Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4893/4015>>. Acesso em: 17/07/2024).

BONI, F. **LEED: O Que é e Como Funciona a Maior Certificação Para Edificações.** Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/certificacao-leed-o-guia-completo-mais-video/#:~:text=O%20primeiro%20passo%20para%20obter>>. Acesso em: 06/09/2024.

Cimento – Produção mundial pode dobrar sem aumentar CO₂ – ESCOLA POLITÉCNICA. Disponível em: <<https://www.poli.usp.br/noticias/1527-cimento-producao-mundial-pode-dobrar-sem-aumentar-co2.html#:~:text=A%20emiss%C3%A3o%20de%20CO2%20varia%20de%20pa%C3%ADs%20para%20pa%C3%ADs>>. (Acesso em 08/09/2024)

Como calcular a ferragem para a obra – Sul Minas Aço. Disponível em: <<https://sulminasaco.com.br/como-calcular-a-ferragem-para-a-obra/>>. Acesso em: 31 out. 2024.

CORREAL, F. F. **Bamboo design and construction**. In Nonconventional and Vernacular Construction Materials. Elsevier, 2020

COSTA, BRUNO. **QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 GERADAS NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL.**, mar. 2012. Acesso em: 25/07/2024.

DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, 2011

DOMINGOS ZAPAROLLI. **Prioridade máxima**. Disponível em: <<https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/siderurgia/noticia/2023/09/26/prioridade-maxima.ghtml>>. Acesso em: 08/09/2024.

Emissões de CO2 na área de construção civil atingem novo recorde | ONU News. (Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805122#:~:text=A%C3%A7o%2C%20concret%20e%20cimento%20s%C3%A3o>>. Acesso em: 26/07/2024).

Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 - relatório da ONU. (Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram>>. Acesso em: 26/07/2024).

Emprego do bambu na construção civil. (Disponível em: <<https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/51/29>>. Acesso em: 17/07/2024).

FERRARI, J. **O Impacto das Emissões de Carbono na Construção Civil**. (Disponível em: <<https://www.fastbuilt.com.br/emissoes-de-carbono-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 26/07/2024).

HENRIQUE, L.; PEREIRA, M.; HORIZONTE, B. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS: CONSTRUÇÕES COM TIJOLO DE ADOBE**. [s.l.: s.n.]. (Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31410/1/MONOGRAFIA%20-%20EDIFICA%C3%87%C3%95ES%20SUSTENT%C3%81VEIS%20CONSTRU%C3%87%C3%95ES%20COM%20TIJOLO%20DE%20ADOBE.pdf>>. Acesso em 29/07/2024).

HUBER, R. D. **Construção sustentável pode reduzir em até 25% o custo da obra** - De Huber - Material de Acabamento para Construção. Disponível em: <<https://dehuber.com.br/construcao-sustentavel-pode-reduzir-em-ate-25-o-custo-da-obra/>>. Acesso em: 31 out. 2024.

IPTU Verde: incentivos fiscais para construções sustentáveis - Prevision. Disponível em: <<https://prevision.com.br/blog/iptu-verde/>>. Acesso em: 06/09/2024.

Manutenção e recuperação em estruturas de concreto armado. – Diprotec Blog | Distribuidora de produtos para construção. Disponível em: <<https://diprotec.com.br/blog/manutencao-e-recuperacao-em-estruturas-de-concreto-armado/>>. Acesso em: 25 out. 2024.

MENEZES, P. **Conheça os incentivos econômicos à construção sustentável.** Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/incentivos-economicos-a-construcao-sustentavel/>>.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil.** (Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 26/07/2024).

PAULO, S. **Aço 4000 Com. de Mat. p/ Constr. LTDA EPP R. Martinho Guedes, 88 -Vila Vera (Região do Ipiranga).** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/aco4000/tabelaprodutospesosmedidas.pdf>> . Acesso em: 31 out. 2024.

PECORIELLO, L A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solocimento na produção de alvenaria.** Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação) São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2003 75 p.

PILEGGI, GABRIEL. **O cimento e seus derivados na construção civil: necessidade de uso e uso mais sustentável.**, maio 2019. Acesso em: 26/07/2024.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** In: SINERGIA. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005.

Prolongando a Vida Útil do Concreto Usinado: Manutenção e Cuidados Essenciais – Grupo Santo Anjo. Disponível em: <<https://grpsantoanjo.com.br/prolongando-a-vida-util-do-concreto-usinado-manutencao-e-cuidados-essenciais/>>. Acesso em: 25 out. 2024.

RAMOS, A. **O que é concreto de baixo carbono e por que está se tornando mais popular?** (Disponível em: <<https://engenhariae.com.br/ciencia/o-que-e-concreto-de-baixo-carbono-e-por-que-esta-se-tornando-mais-popular#:~:text=O%20concreto%20de%20baixo%20teor>>. Acesso em: 19/07/2024).

SILVA, F. S.; CASTRO, A. P. **Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental através da disciplina de materiais de construção civil.** Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio. Salto, SP, 2009, 8p.

SILVA, H. D. **D. INDICADORES AMBIENTAIS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS.** (Disponível em: <<https://www.greenhousesheliodias.com/post/indicadores-ambientais-para-tijolos-ecol%C3%B3gicos>>. Acesso em: 29/07/2024).

SILVA. INDICADORES AMBIENTAIS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS. Disponível em: <<https://www.greenhousesheliodias.com/post/indicadores-ambientais-para-tijolos-ecol%C3%B3gicos>>.

ecol%C3%B3gicos#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20tijolos%20convencionais>. Acesso em: 08/09/2024.

TEIXEIRA, ANDRÉ. **CONCRETO DE BAIXO CARBONO À BASE DE CIMENTO BINÁRIO DE CINZA DE BIOMASSA E SÍLICA ATIVA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS DE PAVIMENTAÇÃO.** , 2021. (Acesso em: 19/07/2024).

UNIVERSIDADE DO MINHO. **Materiais de Construção Sustentáveis.** v. 1.

WEBER, Eduardo. CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de. BORGA, Tiago. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na Construção civil.** Disponível em:
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Zfee3QIMDQYJ>