



**unifaema**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA**

**ELLEN CAROLINE ROMERO BENEVENUTI  
JOÃO VITOR SANTOS REIS DE LIMA**

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: USO DE MATERIAIS  
ALTERNATIVOS PARA CONFECCÃO DO CONCRETO**

**ARIQUEMES - RO  
2024**

**ELLEN CAROLINE ROMERO BENEVENUTI  
JOÃO VITOR SANTOS REIS DE LIMA**

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: USO DE MATERIAIS  
ALTERNATIVOS PARA CONFEÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira.

**ARIQUEMES - RO  
2024**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

<p>B461s Benevenuti, Ellen Caroline Romero. Sustentabilidade na construção civil: uso de materiais alterativos para confecção do concreto. / Ellen Caroline Romero Benevenuti, João Vitor Santos Reis de Lima. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2024. 37 f. Orientador: Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2024.</p> <p>1. Bioconcreto. 2. Agregados reciclados. 3. Sustentabilidade. 4. Resíduos industriais. 5. Concreto sustentável. I. Título. II. Lima, João Vitor Santos Reis de. III. Moreira, Roemir Peres Machado.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624</p>
---

**Bibliotecária Responsável**  
Isabelle da Silva Souza  
CRB 1148/11

**ELLEN CAROLINE ROMERO BENEVENUTI  
JOÃO VITOR SANTOS REIS DE LIMA**

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: USO DE MATERIAIS  
ALTERNATIVOS PARA CONFEÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira.

**BANCA EXAMINADORA**

Assinado digitalmente por: ROEMIR PERES  
MACHADO MOREIRA

Razão: Sou Responsável pelo Documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariquemes/RO  
O tempo: 21-11-2024 22:08:20

---

Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

SILENIA PRISCILA DA SILVA  
LEMES:02029279030

Assinado de forma digital por SILENIA PRISCILA DA SILVA  
LEMES:02029279030  
Dados: 2024.11.21 13:55:20 -04'00'

---

Profa. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

Documento assinado digitalmente  
 PHILIPPE THIAGO FERREIRA COSTA  
Data: 21/11/2024 23:04:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Esp. Phelippe Thyago Ferreira Costa  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

**ARIQUEMES – RO  
2024**

Dedicamos aos nossos pais, que sempre nos apoiaram e nunca desistiram de nós.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus, por toda força e sabedoria que tem nos concedido para que pudéssemos vencer todas as dificuldades encontradas ao decorrer desta longa e desafiadora jornada, sem Deus jamais seria possível.

Jamais poderíamos deixar de agradecer aos nossos pais, que nunca mediram esforços para que esse momento pudesse se concretizar, agradecer por não nos deixarem desistir, por nos apoiarem e acreditarem em nós, mesmo quando as circunstâncias se mostravam desfavoráveis.

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira, que dedicou uma grande parcela do seu tempo para nos orientar, com paciência e dedicação.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização de mais um sonho.

*“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”*

*Josué 1:9*

## RESUMO

A indústria da construção civil é um dos setores com maior índice de impacto ambiental. Tendo em sua estrutura o concreto como um dos materiais que mais contribuem para elevar o índice de impacto ambiental. Alguns motivos tornam o concreto como material prejudicial ao meio ambiente como: extração de recursos naturais para sua fabricação e a emissão de gases durante o transporte. Em contrapartida, a busca por alternativas sustentáveis tem sido cada vez mais estudada, uma delas é a aplicação de agregados alternativos na confecção do concreto. Além de contribuir para sustentabilidade, pois utiliza recursos naturais renováveis e até mesmo resíduos industriais, este modelo de concreto tem característica de autorregenerativo, isto é, em contato com a umidade é capaz de restaurar fissuras. O presente trabalho, alicerçado em uma estrutura de revisão bibliográfica de caráter exploratório, elenca os principais tipos de concretos encontrados no mercado, bem como, materiais utilizados como agregados alternativos na confecção do concreto. Esta revisão demonstra que a substituição de agregados convencionais, como areia e brita, por materiais reciclados ou de origem biológica, reduzem o impacto ambiental causado pela extração desses recursos naturais e pelo descarte inadequado de resíduos.

**Palavras-chave:** Bioconcreto; agregados reciclados; sustentabilidade; resíduos industriais; concreto sustentável.

## ABSTRACT

The construction industry is one of the sectors with the highest environmental impact. Concrete is one of the materials that most contributes to increasing the environmental impact index. There are a number of reasons why concrete is harmful to the environment, such as the extraction of natural resources for its manufacture and the emission of gases during transportation. On the other hand, the search for sustainable alternatives has been increasingly studied, one of which is the use of alternative aggregates in the manufacture of concrete. As well as contributing to sustainability, since it uses renewable natural resources and even industrial waste, this model of concrete has self-healing characteristics, i.e., when it comes into contact with moisture, it is capable of restoring cracks. This paper, based on an exploratory literature review, lists the main types of concrete found on the market, as well as the materials used as alternative aggregates in making concrete. This review shows that replacing conventional aggregates, such as sand and gravel, with recycled materials or materials of biological origin, reduces the environmental impact caused by the extraction of these natural resources and the inappropriate disposal of waste.

**Keywords:** Bioconcrete; recycled aggregates; sustainability; industrial waste; sustainable concrete.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Resumo tipos de concreto .....	22
---	----

## LISTA DE SIGLAS

AGR	Agregados Graúdos Reciclados
AMR	Agregados Miúdos Reciclados
CAA	Concreto Autoadensável
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAR	Concreto de Alta Resistência
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PIB	Produto Interno Bruto
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	15
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2 Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
2.1 TIPO DE PESQUISA.....	17
2.2 BASES DE DADOS E DESCRITORES .....	17
2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO .....	17
<b>3 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
3.1 PRELÚDIO AO CONCRETO.....	18
3.2 TIPOS DE CONCRETO .....	18
3.3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	24
3.4 PRELÚDIO AO BIOCONCRETO .....	26
3.5 PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS EM SUBSTITUIÇÃO AOS AGREGADOS PARA CONFEÇÃO DO BIOCONCRETO .....	27
<b>3.5.1 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5.2 Agregados de Resíduos Industriais</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5.3 Materiais Biológicos e Naturais</b> .....	<b>31</b>
3.6 DESAFIOS DOS AGREGADOS ALTERNATIVOS NO BIOCONCRETO .....	31
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao retratar a história do desenvolvimento de materiais cimentícios, remonta-se aos primórdios da idade antiga. Por exemplo, no Egito, o gesso era utilizado para fabricação de utensílios. Já na Roma bem como na Grécia, estes faziam uso do calcário calcinado para fabricar o concreto, tempos depois, areia, pedra, fragmentos de tijolos e a água começaram a ser introduzidos junto ao calcário. E desta forma, surgia o primeiro modelo de concreto da história (Neville, 2011).

De acordo com Helene e Andrade (2010), uso do concreto como material estrutural teve seu marco com a construção do Panteão de Roma, obra esta que possuía 44 metros de comprimento, sendo assim, a cúpula de maior vão livre da antiguidade. Entretanto, ressalta-se que a própria Roma já utilizava um modelo de concreto simples para confecção de rodovias e pavimentos. Como obra estrutural, o Panteão de Roma foi superado apenas em 1912, na Alemanha, na cobertura de um centro de exposições. O concreto utilizado nessa época era um concreto primitivo, feito com uma mistura de cal hidratada e argila pozolânica, esse compósito se tornava um material com alta durabilidade, mas com resistências baixas, principalmente se comparado com o concreto atual.

No decorrer da história, o concreto sofreu modificações em sua composição básica. A exemplo, tem-se o concreto dito moderno, cuja composição base destaca-se: agregado graúdo, agregado miúdo e água, além da matéria prima base, o cimento Portland. O cimento Portland foi criado em 1824, por Joseph Aspdin, cujo nome é em referência a uma cidade britânica, portadora de jazidas de minério que, na época, eram utilizadas para fabricação do cimento (Carvalho; Filho, 2017).

Uma das primeiras construções a utilizar os moldes do concreto moderno, destaca-se a construção de um barco realizada pelo francês Joseph-Louis Lambot que em 1855. Ainda neste arcabouço, em 1867, o também francês Joseph Monier, construiu vasos, utilizando argamassa armada. Além disso, ficou reconhecido por ter projetado e construído a primeira ponte de argamassa armada em 1875 no Castelo de Chazelet (Helene; Andrade, 2010).

Visando um enorme potencial nesse inovador material estrutural, o alemão Gustav Adolf Wayss, engenheiro, resolveu adquirir a patente de Monier e dar continuidade ao desenvolvimento do concreto armado. Com este feito, Gustav direcionou sua empresa *Wayss & Freytag* ao crescimento a partir de 1875, empresa

a qual desempenhou grande importância na dissipação do concreto armado nos países da América do Sul, como Brasil, Argentina e Uruguai, iniciando a produção do material nesses países no ano de 1900. Até então, nestes países não existiam indústrias siderúrgicas com capacidade de confeccionar perfis estruturais, que é um dos materiais mais relevantes da construção civil até os dias atuais (Helene; Andrade, 2010).

Segundo Helene e Andrade (2010), ao misturar o cimento Portland com água, cria-se uma pasta, que tem sua fluidez dependente do percentual de água adicionado. Como a pasta é maleável nas primeiras horas, desta maneira, é possível moldá-la de diversas formas. Com decorrer do tempo, essa fluidez tende a diminuir, de modo que o endurecimento de forma irreversível, o que o torna um material estrutural excelente. O concreto constituído com o cimento Portland, tem como elementos adicionais a água e agregados. Os concretos mais modernos e, que tem tomado cada vez mais força no mercado atual, além de tais elementos leva em sua conformação: aditivos, fibras, pigmentos e adições minerais. A proporção desses componentes é ajustada pela necessidade da aplicação do concreto, que visa atender da melhor forma possível as propriedades mecânicas, físicas, e claro, durabilidade exigida.

Os Estados Unidos e o Canadá, duas potências da sociedade atual, tem como um dos seus principais investimentos os estudos das estruturas de concreto. Tais estudos impactam significativamente na economia e entendem que estes investimentos são de suma importância para obter uma melhor qualidade de vida para a população (Helene; Andrade, 2010).

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção devido à sua facilidade de produção, além do baixo custo de mão de obra. Porém a sua fabricação exige uma demanda elevada de recursos não renováveis, tendo como consequência um acúmulo significativo de resíduos sólidos e impactos ambientais consideráveis. E por essa razão, a construção civil é vista como uma indústria que contribui diretamente para a degradação do meio ambiente (Freitas *et al.*, 2021).

Considerando os impactos ambientais decorrentes da construção civil, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), destaca que existe uma grande preocupação sobre as consequências desses impactos nas gerações presentes e futuras no mundo. Tendo em vista que, o setor da construção civil já chegou a representar 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Atualmente, no segundo trimestre de 2024 o setor da construção civil teve um crescimento de 3,5%,

quando comparado ao crescimento do PIB do Brasil de 1,4% em relação ao primeiro trimestre de 2024. O que demonstra que o setor está prosperando e elevando a economia, tendo como resultado uma boa geração de empregos, que foram de 200 mil no período de janeiro até junho de 2024. O ritmo da construção civil e o desempenho positivo do setor indicam boas perspectivas para o segundo semestre de 2024 e para 2025 (CBIC, 2024).

Portanto, se faz necessário que as empresas invistam em maneiras de reduzir os impactos ambientais, tendo práticas sustentáveis que foquem em priorizar a utilização responsável de recursos naturais e a preservação do meio ambiente.

Um dos materiais mais utilizado na construção civil é o concreto armado, cuja composição encontra-se: concreto e aço. No Brasil em 2016, a produção de cimento e do aço para fabricação do concreto armado tiveram a contribuição de 24,9% e 48,2% respectivamente, na emissão de gases do efeito estufa (Mello; Pena; Muschioni, 2023).

A introdução de resíduos agroindustriais como matéria prima na área da construção, assim como a utilização de materiais suplementares em substituição parcial do cimento Portland, são alternativas que procuram diminuir a dependência de recursos não renováveis. Os resíduos agroindustriais são atrativos especialmente por serem resíduos de outro processo produtivo e estarem acessíveis em grande quantidade. Presume-se uma produção anual global de 140 Gt desses resíduos e o Brasil está entre os quatro maiores produtores de biomassa agrícola (Bezerra *et al.*, 2023).

Atualmente, a busca por práticas sustentáveis vem proporcionando a utilização de materiais alternativos que possuem uma composição similar aos materiais convencionais e demonstram características que asseguram sua aplicação na construção civil. É nesse cenário que surge o bioconcreto, um material biodegradável confeccionado pela adição de compósitos de cimento de biomassa que substitui parcialmente o cimento usual (Helene; Andrade, 2010).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Sabendo a importância do setor da construção civil para a economia e para o desenvolvimento do país, e que suas atividades podem gerar danos ambientais, deve-se buscar maneiras para que seus processos ocorram de forma a promover a

sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Tendo em vista que, o concreto é um dos materiais mais utilizados desse setor e, concretos com o uso de agregados alternativos surge como uma alternativa mais sustentável para diminuir os impactos ambientais. Assim, se faz necessário o aprofundamento do estudo científico do tema, explorando o que a literatura diz a respeito de materiais alternativos na fabricação do concreto que podem ser utilizados para produzi-lo, a fim de promover o reaproveitamento e reciclagem de resíduos, bem como, a sustentabilidade na construção civil, para que este setor favoreça a economia sem degradar o meio ambiente.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Apresentar os principais tipos de concretos visando a aplicação de materiais alternativos utilizados em substituição aos agregados para confecção do concreto sustentável evidenciado na literatura.

### 1.2.2 Específicos

- Descrever os principais tipos de concretos usuais da construção civil;
- Retratar a influência do uso do concreto convencional a danos ambientais;
- Caracterizar bioconcreto e sustentabilidade na construção civil;
- Relacionar os benefícios da aplicação de agregados alternativos na confecção de concreto na construção civil.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter exploratório, visando a identificação e análise das principais alternativas sustentáveis no setor da construção civil para confecção do concreto, por exemplo, a utilização de agregados alternativos na confecção do concreto. Buscando compreender as vantagens, obstáculos e impacto desses materiais no meio ambiente. A revisão foi realizada por meio de artigos científicos, livros, manuais e demais materiais disponíveis de acordo com a temática.

Esta revisão bibliográfica tem como objetivo sintetizar o conhecimento existente sobre os principais materiais utilizados na substituição dos agregados tradicionais do bioconcreto.

Foram utilizados apenas manuscritos de domínio público e todos os critérios éticos referentes à preservação de autoria e citação das fontes foram respeitados.

### 2.2 BASES DE DADOS E DESCRITORES

Para realização dessa revisão bibliográfica, foi consultada a base de dados “*Google Scholar*”. A busca abrangeu estudos publicados relacionados ao tema, como artigos científicos, livros, manuais, publicações de revistas nacionais e internacionais. Os descritores de pesquisa utilizados foram combinados, tanto no idioma português quanto em inglês, de maneira a abranger a maior quantidade de estudos relevantes para o tema. Os termos utilizados incluem: bioconcreto, *recycled aggregates*, *sustainable concrete*, *aggregate substitution*, *vegetal fibers in concrete*, agregados alternativos, agregados recicláveis, e sustentabilidade.

### 2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Para os critérios de inclusão deste trabalho, foram definidos estudos que abordem os agregados alternativos para fabricação do concreto visando a sustentabilidade. Além disso, tais estudos foram limitados no período de 2008 a 2024.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 PRELÚDIO AO CONCRETO

O concreto é um dos materiais estruturais de maior uso na atualidade, de maneira ampla, a sua fabricação conta com a mistura do cimento Portland, agregados graúdos (pedra ou brita), agregados miúdos (areia) e água, sendo que o cimento ao entrar em contato com a água se torna uma pasta aderente aos agregados (Couto *et al.*, 2013).

Desta forma o concreto, ao contrário da madeira e do aço comum, tem uma grande capacidade de resistência à ação da água, essa característica faz do concreto um material excelente para estruturas com a finalidade de controlar, estocar e até transportar água (Couto *et al.*, 2013).

A resistência, durabilidade, e também o custo benefício do concreto, deve-se a considerar alguns importantes fatores: as propriedades de cada um dos materiais constituintes, a proporção correta da mistura, o transporte, o lançamento nas fôrmas e o adensamento do concreto devem ser feitos corretamente, e também, um tempo de cura cuidadoso e hidratação do cimento. Todas essas condições também dependem de um clima favorável para a cura do concreto (Couto *et al.*, 2013).

Vários modelos de materiais cimentícios podem ser utilizados na fabricação do concreto, o mesmo também pode conter pozolonas, como cinza volante, sílica ativa, escória de alto-forno, minerais, agregados de concreto reciclado aditivos, polímeros e fibras (Santarém; Rodrigues; Figueiredo, 2021, p. 49).

#### 3.2 TIPOS DE CONCRETO

De acordo com o exposto, o concreto em sua condição fresca pode ser modelado em várias formas, texturas e propósitos. Todavia, a qualidade do concreto irá depender da escolha dos materiais e do traço utilizado para produzi-lo, tais escolhas devem garantir as características prometidas ao cliente, sendo as seguintes características desejadas: mistura homogeneizada, adensamento adequado, cura esperada, e que alcance a resistência desejada para a estrutura. Resultando desta forma, em um produto de alta qualidade que atende às necessidades particulares, de acordo com as demandas apresentadas (Lima *et al.*, 2014).

Há uma ampla gama de tipos de concreto, cada um adequado para uma determinada necessidade nas construções civis. Entre os principais, podemos destacar o concreto convencional, que é um dos concretos mais utilizados no setor da construção civil, devido a resistência e durabilidade. O concreto convencional é um material composto por cimento, geralmente o cimento Portland, água e agregados (areia e brita), em algumas ocasiões podem ser adicionados aditivos químicos para melhorar suas propriedades, trabalhabilidade e até mesmo seu tempo de cura (Mehta; Monteiro, 2014).

O concreto convencional é amplamente utilizado em pavimentos, lajes, fundações, colunas e em estruturas de grande porte como pontes, barragens e túneis. O concreto por natureza possui alta resistência a compressão, mas uma baixa resistência a tração. Para solucionar o problema de baixa resistência a tração do concreto convencional, o mesmo é combinado com o aço, e a partir dessa fusão, surge o concreto armado (Neville, 2011).

O concreto armado é combinação do concreto convencional com barras de aço ou malhas metálicas, conhecidas como armaduras. O aço possui uma forte resistência a tração, que combinado com a alta resistência a compressão do concreto forma um material muito mais forte e eficaz em relação as tensões trativas e compressivas, que são comuns no setor da construção civil (Neville, 2011).

O aço é posicionado de forma estratégica na estrutura, mais especificamente onde o concreto sofrerá maior tensão de tração. Um fator muito importante para a combinação do aço e do concreto é que ambos possuem um coeficiente de dilatação muito parecido, isso permite que os materiais quando submetidos as variações de temperatura se dilatam na mesma proporção. Esse fator evita fissuras na composição o que aumenta sua durabilidade e garante estabilidade para estrutura (Mehta; Monteiro, 2014).

Outro modelo de concreto é o de alto desempenho (CAD), que pode ser caracterizado como uma evolução do concreto convencional, pois é projetado para apresentar uma maior durabilidade, resistência, trabalhabilidade e uma menor permeabilidade em comparação ao concreto convencional (Patel; Shah, 2013).

O CAD possui em sua fabricação a mistura de materiais e aditivos que visam um desempenho elevado em ambientes hostis e agressivos, ambientes expostos a produtos químicos, ciclos de congelamento e descongelamento, além de elevada resistência a compressão, que dependendo de sua formulação, podem ultrapassar

resistências de 50 MPa, o que o torna um tipo de concreto muito eficaz na construção estruturas esbeltas e leves (Mehta; Monteiro, 2014).

O concreto leve diferente do concreto convencional é um tipo de concreto com menor teor de densidade, e sua utilização convém quando o objetivo é diminuir o peso total de uma estrutura sem comprometer a resistência. Essa redução de peso provém da substituição de agregados graúdos pesados, por agregados mais leves, como argila expandida, ou até mesmo pela introdução de bolhas de ar na mistura (Lima *et al.*, 2014).

Ainda neste cenário, o concreto de alta resistência (CAR) surge como um tipo de concreto projetado para resistir cargas e tensões significativamente superiores às do concreto convencional, assim como o concreto de alto desempenho (CAD), o concreto de alta resistência é capaz de atingir uma resistência a compressão superior a 50MPa. Este modelo de concreto é empregado na construção de arranha-céus, pontes e torres de transmissão, uma vez que tais construções necessitam de uma alta resistência mecânica (Neville, 2011).

O modo de produção do concreto de alta resistência é semelhante ao concreto convencional, entretanto, a diferença na proporção de insumos utilizados, como por exemplo, o cimento Portland de alta resistência e água potável. No processo de fabricação do CAR a relação entre a água e o cimento é reduzida para diminuir a formação de poros e conseqüentemente tornar o concreto mais denso. Devido à baixa quantidade de água adiciona na mistura do concreto de alta resistência na sua produção é comum a utilização de aditivos superplastificantes que permitirão uma boa trabalhabilidade (Mehta; Monteiro, 2014).

Conforme Tutikian e Dal Molin (2008), o concreto autoadensável (CAA) ultrapassa a barreira da fabricação do “concreto”, pois traz em seu bojo técnicas alinhadas a forma de aplicação. Tal atribuição está atrelada a sua alta capacidade de fluidez, possibilitando com que este perpasse entre a armadura de aço sem obstrução.

O concreto autoadensável foi desenvolvido em 1988 no Japão, tendo como característica a capacidade de se moldar nas formas sem a necessidade de vibração ou compactação externa. Este é largamente utilizado em estruturas complexas e de difícil acesso, como em moldes de armaduras densas e peças pré-moldadas, pelo fato de possuir uma alta fluidez e viscosidade (Olafusi, 2015).

Ainda neste contexto, tem-se o concreto projetado cuja composição é similar ao concreto convencional. Todavia, a diferença está em sua forma de aplicação, que

é feita de maneira em que o concreto é projetado em alta velocidade sobre a superfície desejada, sem a utilização de formas. Este concreto pode ser lançado de duas maneiras: seca ou úmida (Silva; Costa, 2020).

Como mencionado, as duas modalidades de lançamentos divergem entre si, pois enquanto no método a seco os agregados bem como o cimento são lançados previamente sem a inclusão de água, pois, o aparelho de projeção transporta essa mistura através de ar comprimido até o mangote, de modo que a adição da água ocorre no bico de projeção, pouco antes da mistura entrar em contato com a superfície alvo. Por outro lado, no método úmido, toda a combinação dos materiais é realizada antes da projeção, incluindo a incorporação de água a mistura. Após a mistura, o concreto é levado por ar comprimido para dentro do mangote em seu estado final, pronto para ser aplicado na superfície receptora (Soares; Gomes, 2022).

Este método tem ganhado destaque no mercado da construção civil, pois proporciona otimização dos serviços nos quais são utilizados, devido a facilidade e velocidade de aplicação com fácil adesão as superfícies de aplicação. É comumente empregado em estabilização de encostas e recuperação de reforço estrutural de lajes, vigas e pilares (Silva; Costa, 2020).

Outro modelo de concreto a ser destacado, corresponde ao concreto permeável, também chamado de concreto poroso. Este tipo de concreto traz consigo uma porcentagem de vazios entre 15% e 25%, além da possibilidade de utilizar pouca quantidade de agregado fino em sua mistura, apenas o suficiente para garantir a coesão entre os agregados graúdos. A sua aplicação está associada a áreas de tráfego leve, como estacionamentos, entradas de garagens, calçadas e outras similares, como também, em obras de drenagem urbana, pois, sua permeabilidade permite o melhor escoamento das águas pluviais (Schwetz *et al.*, 2015).

Dentre os modelos de concreto, há um concreto confeccionado com microrganismos bacterianos, denominado de bioconcreto. A adição das bactérias na confecção deste concreto se faz, pois, ao expostas a umidade, estas são ativadas, consumindo o lactato de cálcio. Em seguida, as bactérias iniciam a produção de calcário, que por sua vez, servirão para reparar as fissuras encontradas no concreto (Gonçalves; Martins; Paula, 2019).

Conforme destacam Gonçalves, Martins e Paula (2019), este tipo de concreto é projetado para aumentar a durabilidade das estruturas, minimizando os custos de

manutenção. As bactérias, por exemplo, reagem com o dióxido de carbono e a água, precipitando carbonato de cálcio que sela as fissuras

Ainda neste sentido, Silva, Passarini e Santos (2017), ressaltam a capacidade regenerativa atrelada ao concreto autossustentável (bioconcreto). O bioconcreto é uma mistura de concreto tradicional, bactérias (*Bacillus Pseudofirmos*) e lactato de cálcio.

Conforme os autores citados a cima, segue abaixo um quadro contendo o resumo de cada tipo de concreto.

Quadro 2 – Resumo dos tipos de concreto

TIPO DE CONCRETO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
Concreto convencional	Concreto formado por cimento, água e agregados (areia e brita), em algumas situações podem ser incluídos aditivos químicos para aprimorar as propriedades, a trabalhabilidade e tempo de cura. Este modelo de concreto é empregado em pavimentos, lajes, fundações, colunas e em grandes estruturas, como pontes, barragens e túneis. Apresenta alta resistência à compressão. A partir dele, é produzido o concreto armado, incorporando a ferragem.
Concreto de alto desempenho (CAD)	Desenvolvido para oferecer maior durabilidade, resistência, trabalhabilidade e menor permeabilidade em comparação ao concreto convencional. Confeccionado a partir de um traço que forneça desempenho superior em ambientes hostis e agressivos, como aqueles expostos a produtos químicos e a ciclos de congelamento e descongelamento. Sua resistência à compressão pode ultrapassar significativamente os 50 MPa, tornando-o um tipo de concreto muito eficiente na construção de estruturas esbeltas e leves.
Concreto leve	Concreto com menor densidade, tendo sua aplicação associada na redução do peso total de uma estrutura sem prejudicar sua resistência. Essa diminuição de peso resulta da substituição de agregados graúdos e pesados (como brita) por agregados mais leves, como argila expandida, ou até mesmo pela inclusão de bolhas de ar na mistura.
Concreto de alta resistência (CAR)	Concreto projetado para suportar cargas e tensões significativamente maiores do que o concreto comum. Assim como o concreto de alto desempenho (CAD), o concreto de alta resistência pode alcançar uma resistência à compressão superior a 50 MPa. O concreto de alta resistência (CAR) é empregado em arranha-céus, pontes e torres de transmissão, que são estruturas que demandam alta resistência mecânica. Sua fabricação é similar à do concreto convencional, mas a proporção dos insumos é diferente. Ele utiliza agregados de maior

	<p>resistência, com baixa porosidade e boa aderência. O cimento utilizado é o de maior finura, e a relação entre água e cimento é reduzida para minimizar a formação de poros. Devido à baixa quantidade de água na mistura, é necessário o uso de aditivos superplastificantes para garantir uma boa trabalhabilidade do concreto.</p>
<p>Concreto autoadensável (CAA)</p>	<p>Amplamente utilizado em estruturas complexas e de difícil acesso, como em moldes de armaduras densas e peças pré-moldadas. O concreto autoadensável (CAA) é empregado nesse tipo de estrutura devido à sua alta fluidez e viscosidade, o que permite que ele preencha formas, escoando e se compactando pela ação da gravidade, sem a necessidade de vibração.</p>
<p>Concreto projetado</p>	<p>Técnica na qual o concreto é projetado diretamente sobre a superfície, sem a necessidade de formas. O concreto projetado pode ser aplicado de duas formas: a seco, onde a mistura de agregados e cimento é feita previamente, sem a adição de água, e o equipamento de projeção transporta essa mistura por meio de ar comprimido até o mangote, enquanto a adição de água ocorre no bico de projeção, pouco antes que a mistura entre em contato com a superfície alvo; ou úmido, onde toda a combinação dos materiais é realizada antes da projeção, incluindo a adição de água, e, em seguida, o concreto é levado por ar comprimido para dentro do mangote em seu estado final, pronto para ser aplicado na superfície receptora. Esse método é frequentemente utilizado em estabilização de encostas e na recuperação estrutural de lajes, vigas e pilares.</p>
<p>Concreto de alta durabilidade</p>	<p>É formulado para resistir a condições ambientais agressivas, como climas com alta concentração de sal, produtos químicos, variações térmicas e ambientes marinhos. Para aumentar sua durabilidade, utiliza-se uma menor relação água:cimento e adições minerais que reduzem sua permeabilidade</p>
<p>Concreto permeável</p>	<p>Este concreto apresenta uma porcentagem de vazios entre 15% e 25% do total, utilizando pouca quantidade de agregado fino em sua mistura, apenas o necessário para assegurar a coesão entre os agregados graúdos e a manter a porosidade. Devido a essa composição, possui baixa resistência à compressão, variando entre 3,5 e 28 MPa. Sua aplicação está vinculada a áreas de tráfego leve, como estacionamentos, entradas de garagens, calçadas e outras semelhantes, assim como em obras de drenagem urbana, pois sua permeabilidade favorece o escoamento das águas pluviais.</p>
<p>Bioconcreto</p>	<p>Concreto que incorpora bactérias ou agentes químicos que possibilitam o autorreparo de fissuras. Desenvolvido para aumentar a durabilidade das estruturas, reduzindo os custos</p>

	de manutenção. As bactérias contidas no mesmo reagem com o dióxido de carbono e a água, precipitando carbonato de cálcio, que preenche as fissuras.
--	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

### 3.3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O desenvolvimento sustentável é um debate que norteia os planejamentos para o desenvolvimento social, a sustentabilidade pode ser entendida como a compatibilização entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação do meio ambiente. Existem alguns princípios básicos que dão sentido ao desenvolvimento, são eles: a preservação de sistemas ecológicos que são base para vida e biodiversidade, a garantia da sustentabilidade nos usos que empregam recursos renováveis e o de regular as atividades humanas dentro da capacidade que os ecossistemas sustentadores possam suportar (Nascimento; Viana, 2019).

Na década de 60, a ONG Clube de Roma, teve como pauta de debate as questões ambientais, levando a um impacto à comunidade científica ao emitir seu primeiro relatório em 1972, chamado Limits to Growth, no qual o tema principal foi a sustentabilidade e o impacto do desenvolvimento econômico no meio ambiente (Corrêa, 2009).

Segundo Corrêa (2009), o Limits to Growth trouxe cenários catastróficos sobre o futuro do planeta se o padrão de desenvolvimento e crescimento continuassem no mesmo ritmo. Tal abordagem gerou ampla discussão sobre o desenvolvimento sustentável ao redor do mundo, desafiando a visão tradicional sobre o crescimento econômico, e dando destaque para a importância de olhar de maneira mais séria para os limites dos recursos do planeta.

A preocupação mundial com o meio ambiente surge com a percepção da sociedade ao ver que com o desenvolvimento e crescimento das cidades, os recursos naturais utilizados nesse processo estão se esgotando e que recursos como a água podem se tornar não renováveis. O debate ambiental no Brasil inicia-se por volta da década de 70 e surge com o intuito de conservar o meio ambiente visto que o processo da urbanização brasileira cresce de maneira acelerada (Nascimento; Viana, 2019).

Paralelo a essa temática, a construção civil vem dando passos a tal proposta. Neste contexto, Corrêa (2009), destaca a introdução de alternativas sustentáveis na

construção civil tem se fortalecido gradativamente no mercado de trabalho. Apesar de sua enorme contribuição socioeconômica, existe um alerta para o setor da construção civil que historicamente é uma das indústrias com maiores índices e impactos ambientais no planeta. Tal setor da construção civil consome, aproximadamente 35% do total dos recursos naturais do planeta, fazendo com que o este se torne um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental.

Segundo Bezerra *et al.* (2023), no cenário da construção civil, 40% dos materiais extraídos da natureza são destinados para: agregados, matérias-primas para fabricação de cimento e outros materiais suplementares. Desta maneira, soluções que busquem a junção da redução de impactos ambientais consequentes da extração de recursos naturais com as normas técnicas da construção civil são uma necessidade que cresce a cada dia.

Ainda nesta perspectiva, Roque e Pierre (2019) destacam que a construção civil é diretamente responsável por um consumo elevado de recursos naturais não renováveis e renováveis, além de gerar resíduos que afetam diretamente o meio ambiente. Em escala mundial, o setor consome de 12 à 16% de toda a água disponível, 32% de recursos não renováveis e renováveis, 25% de toda a madeira, 40% de todas as matérias-primas, 30 a 40% de resíduos sólidos, além de ser responsável por 35% da emissão de CO<sub>2</sub>.

Como mencionado, o cimento constitui um dos elementos pertencentes à fabricação do concreto. Na produção do mesmo, um elevado nível de CO<sub>2</sub> são transferidos para atmosfera terrestre. Apenas no Brasil, a emissão de CO<sub>2</sub> para a confecção de cimento foi de 610 kg Cos/ton. Até 2050 é estipulado que o consumo de cimento aumentará cerca de 2,5 vezes em todo o planeta, contribuindo para o aumento nos índices negativos de impactos ambientais (Santiago; Botelho; Santarém, 2021).

Conforme destaca Freitas *et al.* (2021, p. 174):

As mudanças sociais, culturais, políticas e econômicas, que se evidenciam nos últimos tempos, provocam um quadro desolador quando ocorre em forma de intervenções bastante negativas para o meio ambiente, natureza. Colocando, desse modo, a sustentabilidade ambiental no ápice das discussões sobre meio ambiente. Isto pressupõe que todos os segmentos da sociedade devem ser envolvidos e que a importância de se estudar o tema “desenvolvimento sustentável”, deve-se em grande medida ao fato de que este é um processo longo e contínuo.

Para Roque e Pierre (2019), a utilização eficiente e inteligente desses recursos naturais consumidos pela construção civil torna-se uma alternativa para diminuir os impactos negativos causados pelo setor. Neste cenário, uma rota alternativa que vem endossar a minimização dos impactos ambientais associados a construção civil são os bioconcretos.

### 3.4 PRELÚDIO AO BIOCONCRETO

De acordo com Rosa (2024), a utilização da biomassa para fabricação de materiais de construção é uma façanha antiga. Os primeiros relatos da utilização desta biomassa na construção foram no reforço em matrizes frágeis, como por exemplo, palha e capim para fabricação de tijolos de terra e fibra vegetal, misturados com água, conhecidos como adobes.

O bioconcreto teve seu desenvolvimento iniciado na Holanda em 2006, quando o cientista e microbiologista Henk Jonkers deu início a pesquisas com o intuito de encontrar uma forma na qual o concreto tradicional pudesse ganhar a habilidade de autorreparo (Gonçalves; Martins; Paula, 2019).

A autorreparação do bioconcreto ocorre através da utilização de micro-organismos, que ao entrarem em contato com a água produzem uma espécie de calcário composto principalmente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Nesta perspectiva, o bioconcreto tem se tornado uma alternativa promissora para substituição do concreto usual, uma vez que promove a redução nos custos de manutenção e, principalmente, os impactos ambientais causados pelo concreto usual (Silva; Passarini; Santos, 2017).

O bioconcreto é um compósito formado por agregados feitos a partir de biomassa vegetal, como por exemplo, bambu, madeira, cânhamo, e também aglomerantes inorgânicos, como o cimento e a cal. A incorporação de uma grande quantidade de biomassa vegetal na forma de agregado (bioagregado) é o preceito principal deste conceito (Rosa, 2024).

Os bioconcretos podem ser aplicados em estruturas pré-fabricadas, telhados, barreiras acústicas, formas permanentes, painéis de isolamento térmico e também na produção de habitações de interesse social. A leveza é uma das características que mais se destaca nesse tipo de material, consequência do uso de bioagregados de

baixa massa específica. Apesar disso, conforme o tipo de biomassa, da eficiência mecânica almejada e adensamento escolhido, a confecção de bioconcretos pode resultar em elevados consumos de cimento (Glória, 2020).

### 3.5 PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS EM SUBSTITUIÇÃO AOS AGREGADOS PARA CONFECÇÃO DO BIOCONCRETO

A fabricação do concreto convencional nas atividades do setor da construção civil demanda uma alta quantidade de recursos naturais, na maioria são materiais inertes, tais como: areia que geralmente é obtida através da remoção de sedimentos aluviais, a remoção desse material modifica o perfil e o equilíbrio dos rios, mudando sua estrutura hidrológica e hidrogeológica; e brita extraída de formações rochosas em áreas montanhosas e acidentadas também é danosa ao meio ambiente, uma vez que altera e desestabiliza a paisagem (Fernandes; Amorim, 2014).

Assim, a substituição dos agregados convencionais pelos reciclados proporcionam muitos benefícios, gerando economia na aquisição de matéria-prima, redução da poluição danos ambientais resultantes da produção e extração dos agregados, e melhoria na conservação dos recursos naturais de matéria-prima do planeta (Fernandes; Amorim, 2014).

Abaixo estão descritos os principais tipos de agregados reciclados que podem ser utilizados para substituir os recursos naturais na fabricação do concreto convencional e do bioconcreto, com o intuito de diminuir a exploração de recursos naturais para tal serviço.

#### 3.5.1 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Segundo o Artigo 2º, parágrafo primeiro, da Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), os resíduos de construção civil são:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Ainda de acordo com a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), a classificação dos resíduos é definida em quatro classes, sendo elas:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são uma das alternativas mais utilizadas para a substituição dos agregados convencionais no bioconcreto. As vantagens da utilização do RCD é não apenas reduzir drasticamente a quantidade de entulhos que são descartados em aterros como também diminuir a utilização de recursos naturais no meio ambiente (Cruz; Martins; Oliveira, 2021).

Desta forma, promovendo melhorias em toda a esfera da sociedade, gerando benefícios socioambientais, culturais e econômicos, seja através de processos de inclusão social e conscientização ambiental, ou pela redução de despesas com produção, extração de recursos naturais, energia e redução de efeitos ambientais (Mezech; Freitas, 2021).

De acordo com Mezech e Freitas (2021, p. 174):

A gestão e logística de materiais e recursos dentro do canteiro de obras são de suma importância, uma vez que lidam com a disposição adequada dos materiais que serão utilizados durante toda a fase de execução. Não menos importante é a deposição adequada dos

resíduos e seu reuso no próprio canteiro. No canteiro, são gerados vários tipos de resíduos além do resíduo da construção, normalmente conhecido como entulho.

Uma realidade enfrentada no setor da construção é que uma grande parte dos resíduos oriundos dos canteiros de obras é descartada de forma ilícita em terrenos baldios, várzeas e taludes de cursos d'água, o que gera impactos visíveis no meio ambiente. Outro método de descarte de resíduos é depositar a céu aberto, onde é realizada a queima dos resíduos, causando grande poluição atmosférica (Mezech; Freitas, 2021).

A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), define reutilização como “o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo” e, a reciclagem como “o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.”

A reciclagem envolve desde a gestão ambiental no local de construção, com a correta separação e armazenamento do lixo em caçambas ou depósitos, até o seu descarte final.

Como visto anteriormente, a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), classifica os resíduos em quatro classes e também define a destinação dos resíduos de cada classe:

Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros;

Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;

Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Os RCD, em sua maioria, se enquadram na classe A da Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 2002, por serem constituídos em grande parte de materiais inertes, sendo sujeitos a reaproveitamento ou reciclagem, desde que, não se contaminem com outros materiais como o gesso (classe C) ou perigosos como solventes, tintas, amianto e outros (classe D) o que causa o desperdício dos mesmos, e essa separação e cuidado desde o momento em que o resíduo é gerado implica diretamente na mudança de consciência e envolvimento de todos no canteiro

de obras, para que haja o devido manuseio dos materiais, desta forma, garantindo que os resíduos gerados tenham o seu devido fim (Mezech; Freitas, 2021).

Conforme estudos realizados pelos autores, no qual avaliaram a viabilidade técnica e econômica do uso de agregados reciclados oriundos de RCD em concretos, realizando uma comparação entre concretos produzidos com agregados naturais e com concretos produzidos com reciclados nas proporções de 50% e 100% de agregados graúdos reciclados (AGR) e agregados miúdos reciclados (AMR) em cinco composições. Os resultados indicaram que os agregados reciclados em proporções devidamente dosadas podem melhorar algumas propriedades do concreto, como sua resistência a compressão e durabilidade.

Segundo Silva, Costa e Lima (2020), a introdução do RCD no bioconcreto se mostrou muito eficaz no que se diz sobre a resistência e desempenho mecânico do material, porém ainda existem algumas questões a serem observadas para a escolha do resíduo a ser utilizado, como a porosidade do material e sua absorção de água.

### **3.5.2 Agregados de Resíduos Industriais**

Outros materiais que podem ser utilizados na substituição dos agregados no bioconcreto são os resíduos industriais, como as cinzas volantes e escória de alto-forno. A escória é um subproduto proveniente da fabricação de ferro e aço, é um material farto em óxidos de cálcio silício e alumínio, essas características da escória a tornam um material capaz de melhorar as propriedades mecânicas do concreto. Outra vantagem da substituição parcial dos agregados tradicionais pela escória é a redução da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Xu; Li; Wang, 2022).

De acordo com Gomes, Pereira e Nascimento (2021), as cinzas volantes também são materiais muito promissores para substituição dos agregados, é um material proveniente da queima de carvão em usinas termelétricas. As cinzas volantes são materiais que possuem uma excelente compatibilidade com o concreto, essa compatibilidade faz com que o material melhore sua trabalhabilidade e a sua resistência a longo prazo. Porém, alguns obstáculos ainda precisam ser superados, como o controle de qualidade e normatização técnica, já que as características das cinzas volantes variam conforme o tipo de carvão.

### 3.5.3 Materiais Biológicos e Naturais

Materiais de origem biológica e naturais como as fibras vegetais (bambu, coco, sisal, serragem de madeira) e resíduos orgânicos (cascas de arroz), também estão sendo estudados como grandes substitutos dos agregados convencionas do bioconcreto. Materiais como esses são abundantes no meio ambiente, além de serem materiais renováveis, esse tipo de material possui características extremamente positivas, como leveza e a capacidade de absorção de choques, são características que favorecem para uma boa melhora de resistência à tração e durabilidade das estruturas, além da grande redução do impacto ambiental gerado pelo consumo de materiais não renováveis (Dias; Nogueira; Ferreira, 2020).

Um estudo realizado por Nunes, Lima e Carvalho (2024), no qual desenvolveram um painel sanduíche a base de cimento, reforçado com fibra de sisal e núcleo em bioconcreto contendo resíduo do endocarpo do dendê em substituição ao agregado natural de origem mineral. Nesse estudo foi utilizado um teor de bioagregado da ordem de 150% do teor de aglomerante. O painel produzido obteve um teor de condutividade térmica abaixo dos apresentados pelas soluções convencionalmente utilizadas para alvenaria, como bloco cerâmico ou concreto, classificando-o como um material com bom isolamento térmico.

Outro trabalho seminal foi efetuado por Glória (2020), onde procederam com a incorporação do bioagregado de bambu com o teor de até 40% na mistura do concreto, resultando na produção de um bioconcreto com baixo consumo de cimento e água.

No entanto, a casca de arroz é o material que ganha o maior destaque pelo fato da grande quantidade de arroz que é produzido. Sendo que, a casca de arroz na maioria das vezes não é reaproveitada, e seu processo lento de biodegradação gera grandes acúmulos. Tendo em vista que, a composição de suas fibras faz com que seja possível sua utilização como material de construção, assim como suas cinzas (Santarém; Rodrigues; Figueiredo, 2021).

## 3.6 DESAFIOS DOS AGREGADOS ALTERNATIVOS NO BIOCONCRETO

É fato que a substituição dos agregados tradicionais e não renováveis por materiais biológicos e também reciclados possuem uma série de vantagens,

obviamente em relação à sustentabilidade e a mitigação do impacto ambiental causado pela construção civil. Ainda assim, existem desafios no que tange o desempenho técnico do concreto (Vieira; Almeida; Santos, 2020).

Entre os desafios para a implementação dos planos de gestão de resíduos de construção e demolição (RCD), sobressaem-se a escassez de recursos financeiros e a ausência de uma equipe técnica qualificada nos quadros profissionais, capaz de identificar fontes geradoras e executar ações, como a fiscalização, para que haja o devido destino e reaproveitamento dos resíduos (Brasileiro; Matos, 2015).

Ainda conforme o autor, grande parte dos resíduos ainda são descartados em aterros sanitários ou de forma ilícita em lugares impróprios. Muito em parte da ausência de áreas adequadas para o recebimento dos mesmos, o que possibilitaria o processo de beneficiamento para futura reutilização. Ademais, a adoção da gestão ambiental de resíduos requer um investimento inicial elevado para viabilizar o funcionamento de usinas de reciclagem em regiões onde a construção civil está se expandindo em larga escala, como ocorre na maioria das cidades brasileiras.

De acordo com Oliveira, Lima e Mendes, (2021), a inconstância de qualidade dos materiais alternativos é outro fator a ser considerado e estudado para que soluções sejam encontradas. Existe a necessidade padrões técnicos e normativos a serem considerados para que a segurança e confiabilidade desses materiais sejam comprovadas, e eles possam realmente serem adotados de maneira ampla no mercado da construção civil.

Uma limitação associada ao uso do bioconcreto está na utilização de construções subaquáticas ou subterrâneas, onde sua aplicação se torna praticamente inviável, devido ao alto teor de umidade e agentes corrosivos nesses ambientes, o que demandaria muita manutenção, fatores estes que alteram os organismos do bioconcreto (Soares; Oliveira, 2024).

Estudos efetuados por Aguiar (2020), no qual foi utilizado o bioagregado constituído por serragem de madeira para a produção do bioconcreto obteve-se resultados positivos, tais como, baixo potencial para combustão quando adicionado na escala de 50% a 70% de biomassa (serragem de madeira). Demonstrando, assim, uma aplicabilidade para revestimentos em núcleos de painéis. Porém, neste estudo, foi constatado que a temperaturas acima de 250 °C ocasionou na perda de massa do bioconcreto, conseqüentemente, queda da resistência. A elevação da temperatura

resultou no surgimento de microfissuras na estrutura, provocando a perda de rigidez do material.

O bioconcreto, tendo como base, agregados sustentáveis apresenta boa resistência, porém, ainda não se iguala a resistência obtida pelos concretos convencionais, o que restringe sua aplicação a estruturas que necessitam de elevadas cargas. Nos últimos anos, pesquisas estão sendo voltadas para aprimoramento, bem como, compreender os fatores que influenciam em características como: tipo, composição e a dosagem dos agregados alternativos, objetivando melhorias das propriedades mecânicas (Santiago; Botelho; Santarém, 2021).

Nesta perspectiva, Brasileiro e Matos (2015), destacam que dentre os obstáculos enfrentados a respeito da utilização de bioagregados está na natureza cultural, pois, existe incerteza por parte de construtores e clientes em relação ao desempenho dos produtos gerados. Além disso, há uma questão normativa, pois não existem regulamentos que garantam sua aceitação no mercado, devido à sua grande inhomogeneidade. Ações para conscientização precisam ser realizadas para promoverem essa consciência na sociedade, desde a esfera individual, onde cada pessoa desempenha seu papel, até a escala global, envolvendo governos, organizações, associações e empresas privadas.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordado a questão do bioconcreto como rota para mitigar a questão dos impactos ambientais oriundos da construção civil. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, buscou-se conhecer os modelos de materiais que viabilizam a confecção deste concreto.

A partir da análise dos estudos, foi possível identificar que a substituição de agregados tradicionais por materiais alternativos, como resíduos de construção e demolição, cinzas volantes, escórias de alto-forno, fibras naturais e resíduos industriais, oferecem vantagens significativas para o desenvolvimento de um concreto mais sustentável e conseqüentemente redutor de impactos ambientais.

A integração entre pesquisas acadêmicas, inovação tecnológica e diretrizes normativas possuem um papel fundamental para que os agregados alternativos para confecção do bioconcreto alcance patamares elevados, tornando-se popular nas construções e, conseqüentemente, reduzindo as taxas dos impactos ambientais oriundos deste setor econômico, pois o foco passa a ser o reaproveitamento de resíduos que seriam descartados pela indústria.

Portanto, a substituição de agregados convencionais por materiais reciclados e biológicos, apresenta um grande potencial para reduzir a degradação ambiental oriunda do setor da construção civil, fazendo com que este se alinhe às diretrizes globais de sustentabilidade. Muito embora, para tal consolidação, como uma alternativa viável dependerá de esforços contínuos de pesquisa e desenvolvimento, além de políticas públicas e incentivos econômicos que promovam a sua adoção no mercado.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Amanda Lorena Dantas de. **Estabilidade térmica e reação ao fogo do bioconcreto de madeira**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020, p. 115.

ALMEIDA, F. M.; SANTOS, L. H.; ROCHA, C. A. **Utilização de fibras vegetais no concreto: uma revisão sobre sua aplicabilidade e durabilidade**. Revista de Engenharia Civil, 2020, v. 12, n. 2, p. 45 - 58.

BEZERRA, Carolina Goulart; OLIVEIRA, Solanda; HASPARYK, Nicole Paga; GLORIA, M'hamed Yassin Rajiv da; SANTOS, Daniele Oliveira Justo dos; PEREIRA, Alexandre de Castro; BRANCO, Vivian Karla Castelo; BALTHAR, Louback Machado; FILHO, Romildo Dias Toledo. **Caracterização reológica de massas ternárias para o desenvolvimento de bioconcretos folhas de casca de arroz**. Rio de Janeiro: revista Matéria, 2023, v. 28, n. 1.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Diário Oficial da União, 17 de julho de 2002.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica (ABCeram), 2015, v. 1, p. 178-189.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Deu na mídia: Crescimento da Construção fica acima da alta do PIB no 2º trimestre de 2024**. Brasília: CBIC, 2024. Disponível em: <<https://cbic.org.br/deu-na-midia-crescimento-da-construcao-fica-acima-da-alta-do-pib-no-2o-trimestre-de-2024/>>. Acesso em: 11 de out. 2024.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**. Brasília: CBIC, 2017, v. 1.

CARVALHO, Roberto; FILHO, Jasson. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado**. São Carlos: EdUFSCar, 2017, v. 4, p. 415.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na Construção Civil**. Belo Horizonte/MG: Escola de Engenharia da UFMG, 2009, p. 70.

COUTO, José Antônio Santos; CARMINATTI, Rafael Lima; NUNES, Rogério Reginato Alves; MOURA, Ruan Carlos A. **O concreto como material de construção**. Sergipe: Caderno De Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT, 2013, v. 1, n. 17, p. 49 – 58.

CRUZ, R. F.; MARTINS, J. P.; OLIVEIRA, M. S. **Resíduos de construção e demolição como agregados reciclados no concreto**. Sustentabilidade na Construção, 2021, v. 7, n. 1, p. 29 - 41.

DIAS, J. R.; NOGUEIRA, A. C.; FERREIRA, P. H. **Contribuições das fibras naturais na redução da fissuração em concretos**. Ciência e Engenharia de Materiais, 2020, v. 28, n. 1, p. 14 - 23.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; AMORIM, José Ricardo Ribeiro. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. Sergipe: Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas – UNIT, 2014, v. 2, n. 1, p. 79 – 104.

FREITAS, Aurilaine Ávila; ROMÃO, Ediene Monteiro; ANÍCIO, Sabrina de Oliveira; BARROS, Adriano José. **Bioconcreto: Uma revisão de sua aplicação na construção civil**. Research, Society and Development, 2021, v. 10, n. 4, p. 1 – 11.

GLORIA, M. Y. R. **Comportamento experimental e numérico de bioconcretos de madeira e de painéis sanduíches com faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal**. Rio de Janeiro: Tese para doutorado em Engenharia Civil do Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

GOMES, F. A.; PEREIRA, M. S.; NASCIMENTO, L. S. **Estudo do uso de cinzas volantes como substituição parcial dos agregados no concreto**. Revista Brasileira de Materiais Sustentáveis, 2021, v. 9, n. 3, p. 55 - 70.

GONÇALVES, José. R. M. R.; MARTINS, Fabiano. B. da S.; PAULA, Liliâne. da S. **Bioconcreto: a próxima geração de concreto auto-reparável**. Projectus, 2019, v. 4, n. 2.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: Concreto de Cimento Portland**. Ciberespaço: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2010, p. 906 – 944.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos; COUTINHO, Carlos Otávio Dantas; AZEVEDO, Gabriel Gama Carnaúba; BARROS, Tarsys Yuri Gomes; TAUBER, Thiago Campos; LIMA, Sandovânio Ferreira de. **Concreto e suas inovações**. Maceió: Cadernos de Graduação - Ciências exatas e tecnológicas, 2014, v.1, n.1, p. 31-40.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo. J. M. Concreto. **Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014, 2 ed., p. 751.

MELLO, Gláucia Nolasco de Almeida; PENA, Lucas Lopes De Carvalho; MUSCHIONI, Leonardo Mindêllo. **Avaliação do impacto ambiental causado por concreto armado utilizado em pontes**. Florianópolis: Mix Sustentável, 2023, v. 9, n. 3, p. 17 – 32.

MEZECH, Roberta Cristina Casarotto; FREITAS, Ana Paula Meneghetti de. **Aproveitamento de resíduos de construção e demolição com foco na sustentabilidade**<sup>1</sup>. Santa Maria: Disciplinarum Scientia - Naturais e Tecnológicas, 2021, v. 22, n. 2, p. 169 - 185.

MORGAN, D. R. **Shotcrete: Materials, properties, and durability**. ACI Materials Journal, 1991, v. 88, n. 4, p. 388 - 400.

NASCIMENTO, Inês Cristina da Silva; VIANA, Bartira Araújo da Silva. **Áreas verdes da região sul de Teresina/PI: estudo de caso do parque ambiental da prainha, aspectos socioambientais e de gestão**. Universidade Federal do Piauí: Revista do Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica, 2019, v.7, n. 2, p.91-107.

NEVILLE, Adam M. **Properties of concrete**. Universidade da Califórnia: Pearson Education Limited, 2011, 5 ed., p. 846.

NUNES, Mariana Santos; LIMA, Paulo Roberto Lopes; CARVALHO, Ricardo Fernandes. **Potencialidade de painéis sanduíche com núcleo de bioconcreto leve com resíduo do endocarpo de palma para uso na construção civil**. Bahia: FAPESB, 2024.

OLAFUSI, Oladipupo S.; ADEWUYI, Adekunle P.; OTUNLA, Abiodun I.; BABALOLA Adewale O. **Avaliação das propriedades frescas e endurecidas do concreto autoadensável**. Open Journal of Civil Engineering, v. 5, n.1, 2015.

OLIVEIRA, L. S.; LIMA, A. M.; MENDES, C. F. **Normatização e desafios da aplicação de resíduos industriais no bioconcreto**. Tecnologia e Sustentabilidade na Construção, 2021, v. 15, n. 2, p. 88 - 99.

PATEL, Vatsal; SHAH, Niraj. **Uma pesquisa sobre desenvolvimentos de concreto de alto desempenho no campo da engenharia civil**. Open Journal of Civil Engineering, 2013, v. 3, n. 2, 2013, p. 69 - 79.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. **Uso inteligente dos recursos naturais e sustentabilidade na construção civil**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, 2019, v. 8, n. 2.

ROSA, Maíta dos Santos. **Investigação de propriedades físicas e mecânicas de um compósito cimentício produzido a partir do aproveitamento da biomassa de resíduos de coco**. Rio de Janeiro: BIBLIOTECA CTC/B UERJ, 2024, p. 89.

SANTARÉM, Sara dos Santos; RODRIGUES, Fabrício de Amorim; FIGUEIREDO, Suelânia Cristina Gonzaga de. **Engenharia Civil: Inovação e tecnologia no contexto da era contemporânea**. Belo Horizonte: Poisson, 2021, v. 1, n. 1, p. 165.

SANTIAGO, J. M.; BOTELHO, C. V. B.; SANTARÉM, S. S. **Avaliação das propriedades intrínsecas ao bioconcreto e de suas composições: Caracterização e aplicações**. In: SANTARÉM, S. S.; RODRIGUES, F. A.; FIGUEIREDO, S. C. G. Organizadores. Engenharia Civil: Inovação e tecnologia no contexto da era contemporânea. Belo Horizonte: Poisson, 2021. Cap. 4, p. 48.

SCHWETZ, Paulete; LORENZI, Alexandre; FILHO, Luiz Carlos P. Silva; FERREIRA, Livia Zoppas; LINHARES, Vitor; PARISOTO, Michael. **Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve**. Ciberespaço, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221\\_Concreto\\_permeavel\\_otimizacao\\_do\\_traco\\_para\\_pa](https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221_Concreto_permeavel_otimizacao_do_traco_para_pa)

vimentacao\_de\_fluxo\_leve/links/5593f96708ae5af2b0ecde7a/Concreto-permeavel-otimizacao-do-traco-para-pavimentacao-de-fluxo-leve.pdf>. Acesso em: 2 de out. 2024.

SILVA, Felipe Portela Candido; PASSARINI, Victor de Carvalho; SANTOS, Fernanda Cristina Storte. **Bioconcreto: A tecnologia para construção sustentável**. São Paulo: INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation, 2017, v. 5, n. 2, p. 41-58.

SILVA, Rodrigo Rogerio Cerqueira da; TAVARES, Maeli dos Santos; NASCIMENTO, Ana Mariana Aparecida do; LIMA, Thiago Henrique de Souza. **Influência da pressão de ar comprimido nas propriedades mecânicas e físicas de concreto projetado via úmida aplicado em túneis NATM**. Curitiba: Braz. J. of Develop., 2020, v. 6, n. 11, p. 90961-90980.

SILVA, T. R.; COSTA, P. A.; LIMA, J. F. **Impacto dos resíduos de construção e demolição na resistência do concreto reciclado**. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2020, v. 18, n. 1, p. 77 - 86.

SOARES, Bárbara Regina Paes; OLIVEIRA, Cláudio Bonfante de. **Tecnologias de construção naturais no brasil e suas funcionalidades**. São Paulo: Revista Ibero - Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 2024, v. 10, n. 08, p. 4117 – 4125.

SOARES, Erick Rógenes Simão; GOMES, Alessandra dos Santos. **Inovações Técnicas do Concreto Projetado Aplicado em Obras Subterrâneas**. Brasília: ResearChgate, 2022. Disponível em: <(PDF) Inovações Técnicas do Concreto Projetado Aplicado em Obras Subterrâneas>. Acesso em: 1 de out. 2024.

TORRES, Anthony; AGUAYO, Federico; GAEDICKE, Cristian; NERBY, Parker; CAVAZOS, Mario; NERBY, Collin. **Desenvolvimento de misturas de concreto permeável de alta resistência com materiais locais**. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 2020, v. 8, n.1, p. 20-34.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini LTDA, 2008, v.1.

VIEIRA, M. C.; ALMEIDA, D. P.; SANTOS, B. A. **Desempenho mecânico de concretos com agregados reciclados**. Journal of Structural Engineering, 2020, v. 13, n. 4, p. 222 – 232.

XU, B.; LI, Z.; WANG, J. **Escória de alto-forno e sua aplicação em concretos sustentáveis**. Journal of Industrial Ecology, 2022, v. 16, n. 1, p. 99 - 110.

## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Ellen Caroline Romero Benevenuti, João Vitor Santos Reis de Lima.

**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 31.10.2024

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **1,27%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [▲](#)

Suspeitas confirmadas: **0,61%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [▲](#)

Texto analisado: **92,98%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*

Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.9.4  
quinta-feira, 31 de outubro de 2024

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho dos discentes ELLEN CAROLINE ROMERO BENEVENUTI n. de matrícula **44761**, e JOÃO VITOR SANTOS REIS DE LIMA n. de matrícula **10721**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 1,32%. Devendo os alunos realizarem as correções necessárias.

Assinado digitalmente por: ISABELLE DA SILVA SOUZA  
Razão: Responsável pelo documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariqueme/RO  
O tempo: 31-10-2024 21:38:13

**ISABELLE DA SILVA SOUZA**  
**Bibliotecária CRB 1148/11**  
Biblioteca Central Júlio Bordignon  
Centro Universitário Faema – UNIFAEMA