



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ERICK GUILHERME CARVALHO DE LIMA

**VIABILIDADE E APLICAÇÃO DO BIOCONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UMA REVISÃO**

PAU DOS FERROS – RN

2023

ERICK GUILHERME CARVALHO DE LIMA

**VIABILIDADE E APLICAÇÃO DO BIOCONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Hidalyn Theodory
Clemente Mattos de Souza

PAU DOS FERROS – RN

2023

ERICK GUILHERME CARVALHO DE LIMA

**VIABILIDADE E APLICAÇÃO DO BIOCONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em: 10/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza – (UFERSA)
Presidente

Prof. Dra. Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira – (UFERSA)
Membro Examinadora

Prof. Dr. Clawsio Rogério Cruz de Sousa – (UFERSA)
Membro Examinador

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

LL732 Lima, Erick Guilherme Carvalho de.
v Viabilidade e aplicação do bioconcreto na
construção civil: uma revisão / Erick Guilherme
Carvalho de Lima. - 2023.
40 f. : il.

Orientador: Hidalyn Theodory Clemente Mattos
de Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Engenharia civil. 2. Bioconcreto. 3.
Manifestações patológicas. I. Souza, Hidalyn
Theodory Clemente Mattos de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AGRADECIMENTOS

- ❖ Agradeço primeiramente a Deus por proporcionar este momento único com saúde, coragem e força, superando as dificuldades enfrentadas e concluindo mais uma etapa de suma importância para a minha vida pessoal e profissional.
- ❖ Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza pela confiança e apoio depositados desde o início desta jornada, pela disponibilidade, recepção e atenção em momentos de dúvidas e por ter me guiado da melhor forma possível no decorrer do estudo e desenvolvimento deste trabalho.
- ❖ Agradeço aos meus pais, Elivan Vaz e Maria José e minhas irmãs, Maria Clara e Milene Carvalho, por me apoiarem durante todo este processo e por me incentivarem desde o início, sempre enfatizando que a educação e o conhecimento transformam a vida das pessoas.
- ❖ Agradeço aos meus amigos que independente da dificuldade ou obstáculo enfrentado, sempre me apoiaram para cumprir e se dedicar cada vez mais aos estudos e pesquisas em prol de uma realização maior.
- ❖ Agradeço a todas as pessoas que puderam e buscaram contribuir direto ou indiretamente em mais esta etapa de realização pessoal e profissional e que me incentivaram para que este trabalho fosse possível.

RESUMO

No âmbito da Engenharia Civil, especificamente na área da construção civil, o concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo e consiste basicamente em uma mistura de água, cimento e agregados graúdos e miúdos. Existem os aditivos que são materiais que podem ser incorporados na mistura e possuem funções específicas, na qual alteram as propriedades do material no seu estado fresco e endurecido, como melhorias na resistência, durabilidade, densidade, retração e a trabalhabilidade de modo geral. Entretanto, devido a utilização de técnica inadequada no processo construtivo, como exemplo o tipo de material, proporções dos materiais e processamento, erros de projeto, manutenção, escolha dos materiais e demais infortúnios, o concreto convencional pode apresentar manifestações patológicas, como fissuras, de forma que pode comprometer a estrutura e provocar desastres irreversíveis, tendo em vista, principalmente o risco humano e o prejuízo econômico como consequência. A partir disso, este trabalho traz ideia da utilização e substituição do concreto convencional pelo bioconcreto, com ênfase na premissa de que o concreto autocurável apresenta características de recuperação estrutural a partir de determinadas manifestações patológicas, como fissuras, sem a necessidade de uma manutenção periódica. Ainda, é importante destacar que a aplicação dessa nova tecnologia desenvolvida pelo cientista e microbiologista holandês Henk Jonkers está totalmente ligado às questões de sustentabilidade, abordando aspectos sociais, econômicos e ambientais, em que libera uma menor quantidade de carbono na etapa de produção do concreto e uma maior segurança em uma estrutura de concreto, retardando o processo de desgaste e corrosão das armaduras.

Palavras-Chave: Engenharia Civil. Bioconcreto. Manifestações patológicas.

ABSTRACT

In the scope of Civil Engineering, specifically in the area of civil construction, concrete is the most used construction material in the world and basically consists of a mixture of water, cement and coarse and fine aggregates. There are additives, which are materials that can be incorporated into the mixture and have specific functions, in which they change the properties of the material in its fresh and hardened state, such as improvements in resistance, durability, density, retraction and workability in general. However, due to the use of inadequate techniques in the construction process, such as the type of material, proportions of materials and processing, design errors, maintenance, choice of materials and other misfortunes, conventional concrete can present pathological manifestations, such as cracks, way that can compromise the structure and cause irreversible disasters, especially considering the human risk and economic loss as a consequence. Based on this, this work brings the idea of using and replacing conventional concrete with bioconcrete, with an emphasis on the premise that self-healing concrete presents structural recovery characteristics from certain pathological manifestations, such as cracks, without the need for periodic maintenance. . Furthermore, it is important to highlight that the application of this new technology developed by Dutch scientist and microbiologist Henk Jonkers is fully linked to sustainability issues, addressing social, economic and environmental aspects, in which it releases a smaller amount of carbon in the concrete production stage and greater safety in a concrete structure, delaying the process of wear and corrosion of reinforcement.

Keywords: Civil Engineering. Bioconcrete. Pathological manifestations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de estruturas com técnicas de revestimento e concreto romana: Pont du Gard (esquerda), Coliseu (centro) e o Pantheon (direita).....	13
Figura 2 - Processo de autocura do concreto.....	16
Figura 3 - Processo de cicatrização do concreto.....	16
Figura 4 - As principais origens das anomalias na construção civil.....	21
Figura 5 - Presença de fissura.....	22
Figura 6 - Aparecimento de fissura.....	22
Figura 7 - Manifestação patológica.....	23
Figura 8 - Fissura em residência.....	23
Figura 9 - Estrutura subterrânea, perfuração de túnel.....	25
Figura 10 - Ilha artificial para salvar vida selvagem.....	26
Figura 11 - Argila ampliada, esporos de bactérias e lactato de cálcio no concreto.....	29
Figura 12 - Comparativo da resistência à compressão do concreto e bioconcreto.....	33
Figura 13 - Comparação entre emissões anuais de carbono para casa de concreto e de base biológica.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Despesa em manutenção sem e com o uso do bioconcreto.....	30
Tabela 2 - Impactos ambientais e consumo dos materiais.....	31
Tabela 3 - Comparação de resultados no ensaio de resistência à compressão do concreto.....	33

SIGLAS

CDIAC: *Carbon Dioxide Information Analysis Center*

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

IST-CC: O Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil

LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 HISTÓRIA DO CONCRETO.....	13
1.2 O CONCRETO CONVENCIONAL.....	14
1.3 O BIOCONCRETO OU AUTOCURÁVEL.....	15
1.4 ESTADO DA ARTE DOS MATERIAIS DE BASE BIOLÓGICA USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS APLICAÇÕES.....	17
1.5 OBJETIVOS.....	18
1.5.1 Objetivos Gerais.....	18
1.5.2 Objetivos Específicos.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 O CONCRETO CONVENCIONAL E SUAS PATOLOGIAS.....	20
2.3 ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS.....	25
2.4 ESTRUTURAS NÃO-SUBTERRÂNEAS (VIADUTOS, PONTES, PASSARELAS, RESIDENCIAL).....	26
2.5 VIABILIDADE E GASTOS.....	27
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 DESCRIÇÃO QUALITATIVA.....	28
3.2 DESCRIÇÃO QUANTITATIVA.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 O BIOCONCRETO É RENOVÁVEL E DE BAIXA ENERGIA INCORPORADA.....	31
4.2 O BIOCONCRETO MELHORA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO EM RELAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL.....	32
4.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE.....	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O concreto, em uma visão mais ampla, é qualquer produto ou massa produzida a partir do uso de um meio cimentante e que, geralmente, é o produto da reação entre o cimento e a água.

Com o avanço tecnológico e inovações ao decorrer da história no ramo da construção civil, a utilização de técnicas e métodos através de cálculos e análises detalhadas para a formação e desenvolvimento do concreto vem se propagando expressivamente e levando à construção de estruturas cada vez mais resistentes e elegantes. Entretanto, ainda existe a má formação e misturas inadequadas com agregados graúdos e miúdos que mesmo com a mais avançada técnica aplicada, ainda acaba sendo uma escolha que proporciona uma certa vulnerabilidade à estrutura de acordo com as condições do ambiente e o tempo (KOGA; SANTOS, 2020).

Além de tudo isso, a exigência e preocupação em concluir obras em prazos cada vez mais curtos, a velocidade de produção sem acompanhamento de um profissional legalmente habilitado, podem acarretar problemas em um curto espaço de tempo, como manifestações patológicas em estruturas de concreto e afins. Na maioria das vezes isso tem relação com a contratação de mão de obra desqualificada, ferramental precário ou uso de material inadequado, o que por sua vez, devem estar relacionados com o corte de gastos ou a diminuição dos custos orçamentários da construção, ou mesmo com a falta de acompanhamento profissional qualificado antes, durante e após a finalização da obra. É importante mencionar que a falta de manutenção periódica também contribui para que o processo de deterioração (estrago ou dano) comprometa a estrutura do imóvel (KOGA; SANTOS, 2020).

O bioconcreto surge, assim, como uma alternativa para superar alguns desses problemas. Foi desenvolvido pelo cientista e microbiologista holandês Henk Jonkers, sendo um tipo de concreto um pouco peculiar e que consiste na mistura do mesmo com bactérias que no instante em que se alimentam de lactato de cálcio e realizam a liberação de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) no processo de biomineralização, estas agem como uma alternativa de autocura de manifestações patológicas em estruturas (SANTOS, 2013).

Pesquisas realizadas já mostram que o material desenvolvido (bioconcreto) possui a capacidade de autorreparação em casos de aberturas superficiais em estruturas de concreto, como o aparecimento de fissuras (SANTOS, 2013).

Nessa perspectiva, o presente estudo propõe verificar a utilização do bioconcreto em substituição ao concreto comum, tendo em vista a análise de aspectos econômicos, durabilidade, resistência mecânica, segurança e considerações acerca das vantagens e desvantagens.

1.1 HISTÓRIA DO CONCRETO

Desde a antiguidade, antes mesmo de surgir materiais como o concreto e cimento da forma que conhecemos hoje, estes já existiam há muitos anos na natureza. O ser humano sempre precisou de abrigos para alocação com a necessidade e objetivo de se proteger contra eventuais ataques e até mesmo de um ambiente para se resguardar devido ao frio nos períodos chuvosos (CARVALHO, 2008).

Alguns dos abrigos e locais mais utilizados eram as cavernas, na qual em sua maior composição eram rochas que possuíam características de rigidez, durabilidade e resistência mecânica e intempéries, e isso despertou o interesse do homem em usufruir de ambientes com esses aspectos. Entretanto, somente no Império Romano (aproximadamente 300 anos a.c) surgiram as primeiras idealizações do chamado concreto romano. Ainda, o concreto desenvolvido na época era basicamente composto por agregados, como pedras e mármore, areia, cal, água e a pozolana (CARVALHO, 2008). Além disso, o concreto romano já foi bastante utilizado em obras de construções que apresentam grandes aquedutos, como a *Ponte du Gard* (Sul da França), o *Coliseu* (Roma, Itália) e a obra de *Pantheon* (Roma, Itália) (figura 1).

Figura 1 - Exemplos de estruturas com técnicas de revestimento e concreto romana: *Pont du Gard* (esquerda), *Coliseu* (centro) e o *Pantheon* (direita).



Fonte: Fotos retiradas do site pt.wikipedia.org/wiki/

Tempos depois, durante o período da Revolução Industrial, ocorreu um expressivo crescimento nos estudos e desenvolvimento de novas tecnologias para teste de concreto. Nessa perspectiva, no ano de 1818 na França, o engenheiro Louis Joseph Vicat realizou experimentos e estudos acerca dos ensaios feitos sobre o cimento, em que desenvolveu um

método para determinar o tempo de pega e endurecimento do cimento, baseado na penetração da agulha em uma amostra de pasta de cimento (HELENE, 2010).

Já no início do século XX, à medida que o uso do concreto se expandia, como também o aparecimento da técnica construtiva do concreto armado, mais conhecido como um sistema estrutural composto por massa de concreto e utilização de ferro para compor as armaduras, surgiram diversos problemas relacionados a acidentes e falhas de construção devido a projetos incompatíveis, erros na execução e seleção de materiais com baixa qualidade e fora dos requisitos necessários. A partir disso, para abordar esses desafios, várias nações começaram a emitir as primeiras normas de projeto e execução de estruturas de concreto armado, como a NBR 6118 - Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento (ABNT, 2023). Essas diretrizes chegaram ao Brasil em meados dos anos de 1931 e isso contribuiu para melhorar a segurança e a qualidade das construções em concreto armado em todo o mundo (HELENE, 2010).

1.2 O CONCRETO CONVENCIONAL

Em uma visão mais abrangente, o concreto convencional é produzido a partir do cimento, água e agregados graúdos e miúdos, tendo em vista que em alguns casos e dependendo da finalidade e uso, pode ser adicionado aditivos a fim de melhorar as propriedades mecânicas, consequentemente o desempenho estrutural (SCHMIDT, 2016).

O concreto possui a versatilidade de produção, a partir de vários tipos de cimento, incorporando igualmente diferentes pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais e até mesmo a inclusão de agregados provenientes de concreto reciclado (SCHMIDT, 2016).

Além disso, com a introdução de polímeros e fibras na composição do concreto, juntamente com as diferentes técnicas de produção que podem abranger cura a vapor, autoclavagem, tratamento a vácuo, prensagem, extrusão e projeção, é possível identificar a funcionalidade e desempenho, tendo em vista o estudo para desenvolvimento de um concreto que atenda as expectativas e objetivos estruturais (SCHMIDT, 2016).

Em suma, o concreto é uma matéria-prima versátil e adaptável que desempenha um papel fundamental na construção civil e em diversas outras aplicações. A combinação de ingredientes e técnicas de produção permite uma ampla gama de possibilidades, desde concretos de alta resistência capazes de suportar

cargas elevadas até concretos leves adequados para aplicações especiais. À medida que a pesquisa e a inovação continuam, mais avanços na formulação e produção de concretos com propriedades cada vez mais especializadas surgem, atendendo às crescentes demandas da engenharia moderna e da sustentabilidade ambiental (SCHMIDT, 2016).

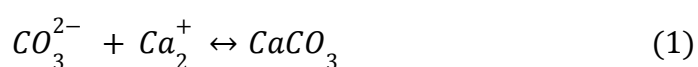
Assim, o constante aprimoramento e adaptação do concreto são essenciais para o desenvolvimento de estruturas duráveis e eficientes, contribuindo para a evolução da construção civil e de outras indústrias relacionadas (SCHMIDT, 2016).

1.3 O BIOCONCRETO OU AUTOCURÁVEL

Inicialmente, o bioconcreto foi desenvolvido como uma solução eficaz para lidar com problemas patológicos frequentes na indústria da construção, ao unir os campos da microbiologia e da engenharia (WIKTOR, 2011).

Dado que o concreto desempenha um papel fundamental na construção civil, é importante considerar que ao longo do tempo ele está sujeito a manifestações patológicas que são deteriorações causadas por fatores externos, que podem aparecer com um tempo, o que resulta na perda de sua resistência e durabilidade. A introdução do bioconcreto surge como uma iniciativa capaz de resolver essas questões (manifestações patológicas) e mesmo que tenha um custo financeiro superior ao do concreto tradicional, apresenta vantagem financeira de forma significativa, tendo em vista que diminui os custos com manutenção em obras, menor produção de cimento e redução de impactos ambientais (BRITO; SOUSA, 2020).

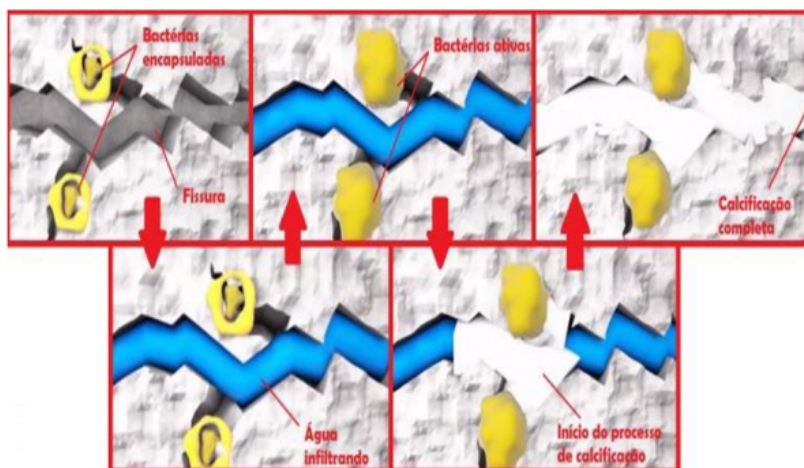
De forma mais técnica e científica, o bioconcreto é composto por bactérias que desencadeiam a produção de carbonato de cálcio $CaCO_3$ por meio da liberação de hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação do concreto e através da biomineralização. Segundo Costa e Rodrigues (2018) e o autor Reis (2017) essas bactérias são incorporadas durante a fabricação do concreto e são referidos pelos pesquisadores como agentes de autocura ou autocicatrização (Eq. 1).



Com isso, quando ocorre danos na estrutura, as cápsulas que contêm as bactérias se rompem e essas bactérias entram em contato com a água, iniciando um processo de consumo do cálcio, que reage com o carbono e resulta na formação do

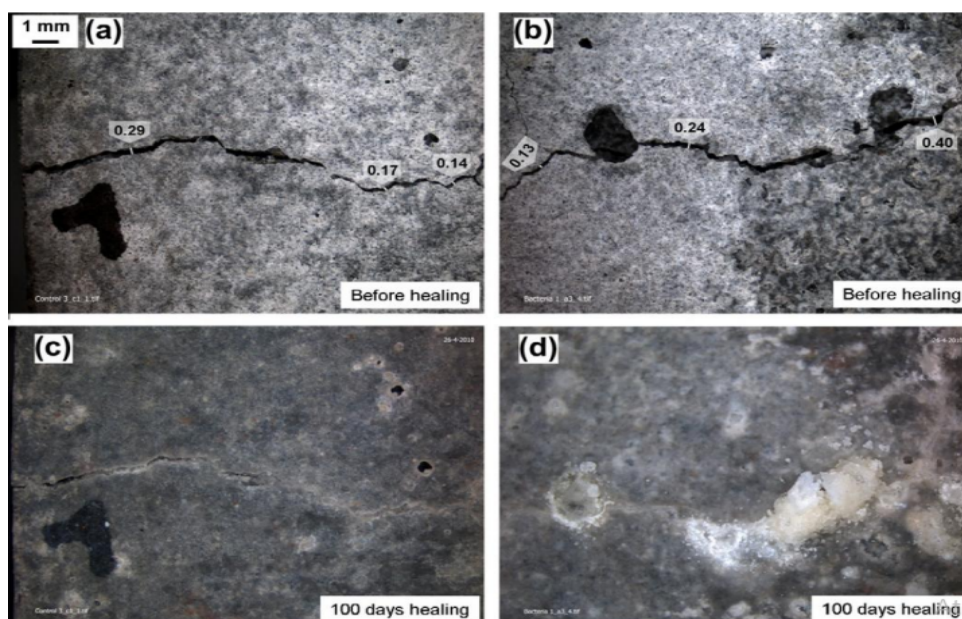
calcário (figura 2). Esse calcário, por sua vez, preenche as fissuras existentes, promovendo assim a reparação da manifestação patológica (SILVA; MELO, 2018) (figura 3).

Figura 2 - Processo de autocura do concreto



Fonte: (NASCIMENTO, 2018)

Figura 3 - Processo de cicatrização do concreto



Fonte: (WIKTOR, 2011)

Inicialmente, na figura 3, ocorre o processo de cicatrização, em que nas figuras (a) e (b) são mostradas a fissura antes da cura e as figuras (c) e (d) mostram a cura depois de 100 dias de utilização do bioconcreto.

Portanto, essa inovadora tecnologia tem como objetivo primordial aumentar a durabilidade das estruturas, ao mesmo tempo em que reduz os custos associados à manutenção e conservação estrutural (PELEGRINELLO; CARNEIRO, 2019).

1.4 ESTADO DA ARTE DOS MATERIAIS DE BASE BIOLÓGICA USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS APLICAÇÕES

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), a indústria da construção civil está cada vez mais interessada em encontrar alternativas sustentáveis aos materiais convencionais, que sejam tecnologicamente avançadas, duráveis e ecologicamente amigáveis. Um dos materiais que tem chamado a atenção é o bioconcreto, uma inovação promissora capaz de se autorregenerar, eliminando a necessidade de custosos trabalhos de manutenção.

O bioconcreto é notável por sua capacidade de se reparar automaticamente, o que o distingue dos materiais tradicionais utilizados na construção civil. Sua regeneração é possível devido à combinação do concreto convencional com bactérias da espécie *bacillus pseudofirmus*. Essas bactérias têm uma notável resistência à compressão, podendo sobreviver em ambientes com deficiência de oxigênio e com altos níveis de pH, como os encontrados no concreto. Curiosamente, essas bactérias são encontradas em locais remotos, como crateras de vulcões e lagos congelados na Rússia (WIKTOR, 2011).

Em condições normais, esses microrganismos permanecem em estado de inatividade. No entanto, quando detectam a presença de umidade, que é comum em rachaduras e danos estruturais, eles se ativam e começam a consumir o lactato de cálcio, liberando calcário (Eq. 1) (Figura 2). Esse calcário preenche as rachaduras ao longo de um período médio de três semanas, efetivamente reparando o concreto ou falha (VIEIRA DOS REIS, 2017).

O desenvolvimento do bioconcreto teve origem na Holanda e representa um notável exemplo de sinergia entre a biologia e a engenharia civil. Ele tem sido testado em várias construções, incluindo canais de irrigação no Equador, onde a atividade sísmica é significativa, e em estações salva-vidas que enfrentam condições climáticas adversas (WIKTOR, 2011). Devido ao seu custo mais elevado em comparação com o concreto tradicional, o bioconcreto é mais indicado para uso em

estruturas subaquáticas ou subterrâneas, onde há maior probabilidade de vazamentos ou corrosão.

Embora o bioconcreto tenha um custo inicial mais alto, ele oferece uma vantagem competitiva significativa devido à redução substancial dos custos de manutenção (preventiva, preditiva e corretiva) e ao aumento da vida útil das construções. Com o contínuo avanço da pesquisa e a monitorização de testes, espera-se que o bioconcreto ganhe presença cada vez maior em projetos de construção em todo o mundo (WIKTOR, 2011).

O Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil (IST-CC) está desempenhando um papel crucial no desenvolvimento de novos materiais, produtos e sistemas construtivos em colaboração com empresas, universidades e instituições de ensino. Um projeto notável envolve uma parceria com a empresa Fungi Biotecnologia Ltda para o desenvolvimento do Material Mush, destinado a substituir materiais de isolamento termoacústico convencionais, como lã de vidro, lã de rocha e isopor (CORREA, 2022).

As placas de Mush utilizam resíduos da agroindústria, como serragem de madeira, bagaço de cana, palha de milho e resíduos de soja, como fonte de nutrientes e suporte para o crescimento de um fungo. Esse fungo atua como uma cola natural, agregando os materiais, o que resulta em propriedades físicas, químicas e biológicas interessantes. Esse projeto busca validar essa tecnologia visando à substituição de materiais tradicionais no setor acústico. A solução tem potencial para ser aplicada em diversos sistemas construtivos, incluindo alvenaria, *drywall* e *steel frame*, melhorando a eficiência térmica e acústica dos ambientes e, assim, contribuindo para uma melhor qualidade de vida das pessoas que ocupam esses espaços, ao mesmo tempo que promove a responsabilidade ambiental no setor (CORREA, 2022).

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Gerais

O objetivo central do estudo é realizar uma avaliação abrangente e comparativa da aplicação e desempenho do bioconcreto na recuperação de fissuras em estruturas de concreto, tendo em vista a viabilidade e segurança do concreto auto

curável em comparação ao concreto comum. Dentro desse contexto, caracterizamos este trabalho como um estudo bibliográfico que se utiliza de uma abordagem qualitativa, sendo descritivo, analítico e comparativo.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade econômica para a substituição do concreto comum pelo bioconcreto;
- Avaliar parâmetros relativos à produção, eficiência, desempenho e resistência estrutural - à base do bioconcreto como alternativa viável;
- Averiguar critérios de segurança e estabilidade na utilização do concreto “auto curável”, tendo em vista a extensão de vida útil destas estruturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONCRETO CONVENCIONAL E SUAS PATOLOGIAS

O concreto pode ser entendido como um material composto, na qual é formado a partir da mistura de agregados graúdos e miúdos, água e cimento. Segundo Nascimento (2018), o desempenho do concreto pode ser influenciado por uma variedade de fatores físicos e químicos ao longo do tempo, que tem o potencial de impactar suas propriedades mecânicas e físicas. Esses fatores podem contribuir para o surgimento de pequenas fissuras no concreto, sendo resultantes de influências tanto externas como internas.

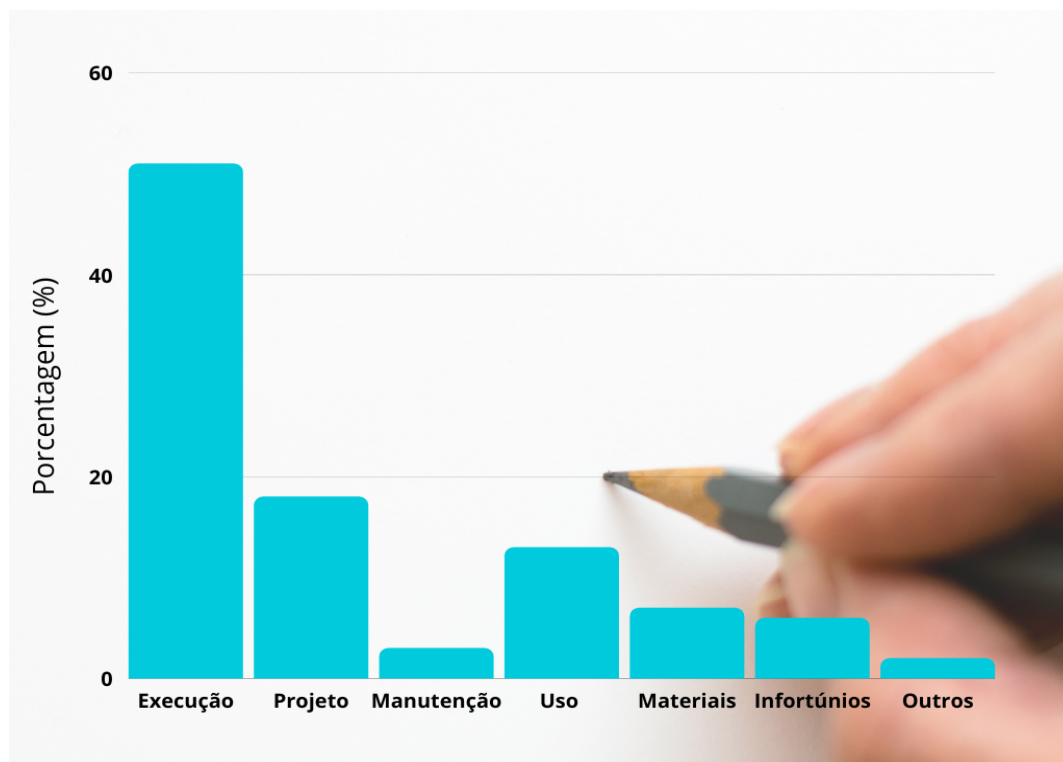
Diversos fatores externos, como as condições físicas do local, o clima e a ação do vento, assim como fatores internos, como o calor gerado durante a hidratação, que é resultado da liberação de energia exotérmica, podem afetar o concreto. Sabe-se que quanto maior o volume do concreto, maior é a quantidade de calor gerada pela reação química, e esse calor pode ser dissipado na atmosfera ou absorvido pela própria massa do concreto (CARNEIRO; GIL; CAMPOS NETO, 2011).

Além disso, de acordo com o tempo, as estruturas de concreto estão sujeitas a desgastes, que podem ser causadas por fatores naturais, influências externas ou até mesmo erros na construção. Esses desgastes podem levar ao surgimento de problemas patológicos nas construções e que a presença de fissuras é um alerta de que algo está fora do padrão, na qual pode trazer consequências significativas, como o desenvolvimento de fissuras sob momentos de flexão, que é a soma dos momentos de todas as forças em um suporte, seja viga e em ambos os lados de uma seção, que por sua vez, pode levar à corrosão das armaduras, tendo em vista que de acordo com a carga aplicada, pode proporcionar o aparecimento de manifestações patológicas e, conseqüentemente, facilitar a presença de fissuras e a infiltração, em que colabora para que ocorra a corrosão das armaduras (COSTA et al., 2021).

Segundo Piancastelli (2023), no contexto da construção civil no Brasil, conforme evidenciado no gráfico da figura 4, as principais origens das patologias estão associadas à fase de execução (51%). A segunda causa mais frequente é atribuída a problemas nos projetos (18%), que podem resultar de avaliações inadequadas de cargas, equívocos no dimensionamento estrutural, erros na definição da rigidez dos elementos estruturais, falta de sistemas de drenagem apropriados, ausência de impermeabilização eficaz e deficiência no detalhamento das armaduras. Em seguida, outra causa para a origem de anomalias é na fase do uso da edificação (13%), materiais (7%), possíveis infortúnios (6%), manutenção (3%), e

por fim haver outros impasses que possam influenciar no surgimento de manifestações patológicas (2%).

Figura 4 - As principais origens das anomalias na construção civil



Fonte: Adaptado de Piancastelli (2023, p.3)

Segundo Leite (2018), na construção civil, é comum encontrar diversas imperfeições nos materiais e no concreto pode-se citar as fissuras, conforme ilustrado nas figuras 5, 6, 7 e 8 logo abaixo. Esses problemas podem surgir em elementos como alvenarias, vigas, pilares, lajes, pisos e outros, geralmente devido às tensões exercidas sobre os materiais. Ainda, quando essas tensões ultrapassam a capacidade de resistência dos materiais, ocorre uma falha que resulta na formação de aberturas. A gravidade dessas aberturas varia de acordo com a espessura, tendo em vista que independente da abertura, essas manifestações patológicas são classificadas como fissuras.

Figura 5 - Presença de fissura



Fonte: Autoria própria

Figura 6 - Aparecimento de fissura



Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Manifestação patológica



Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Fissura em residência



Fonte: Autoria própria

Esses problemas de saúde do concreto podem ser identificados através de fissuras na sua superfície externa ou interna, as quais podem servir como pontos de acesso para substâncias danosas, sejam elas de natureza química ou física (GONÇALVES, 2015).

2.2 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS (DESEMPENHO E GASTO ENERGÉTICO) DO BIOCONCRETO

O bioconcreto, associado às suas características intrínsecas, possui potencial para apresentar um desempenho térmico superior quando comparado ao concreto tradicional. Isso pode resultar em possíveis reduções nos custos de energia para edifícios e estruturas. Logo, existem alguns tópicos a serem considerados no que diz respeito ao desempenho e gasto energético, são eles:

- Capacidade de isolamento térmico: O bioconcreto tem a capacidade de fornecer um isolamento térmico mais eficiente em comparação com o concreto convencional. Isso implica que ele é mais eficaz na manutenção de uma temperatura interna estável em um edifício, o que, por sua vez, reduz a necessidade de aquecimento ou resfriamento excessivo. Como resultado, pode haver economias significativas de energia relacionadas aos sistemas de climatização.
- Aprimoramento da eficiência energética: Devido ao seu melhor desempenho térmico, edifícios construídos com bioconcreto podem atender a padrões mais rigorosos de eficiência energética. Isso pode resultar na obtenção de certificações, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), que é uma ferramenta de certificação internacional e orientação ambiental para edificações utilizado em mais de 160 países e busca incentivar a elaboração e execução de projetos com foco no desenvolvimento sustentável. Ainda, pode resultar na obtenção de certificações equivalentes em outras regiões, que podem proporcionar benefícios fiscais e outras vantagens.
- Redução da demanda energética: Em climas quentes, o bioconcreto pode ajudar a reduzir a demanda por energia para resfriamento, mantendo uma temperatura interna mais fresca. Da mesma forma, em climas frios, pode diminuir a necessidade de aquecimento. Essa redução na demanda de energia contribui para economias significativas a longo prazo.
- Longevidade e manutenção simplificada: O bioconcreto, devido à sua capacidade de autorregeneração, pode ter uma vida útil mais longa e exigir menos manutenção em comparação com o concreto tradicional. Isso também pode resultar em economia de

energia, pois a manutenção de edifícios frequentemente envolve o uso de energia para reparos e substituições.

2.3 ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS

A presença de água durante a construção de túneis pode acarretar uma série de desafios, variando em gravidade de acordo com a quantidade de água envolvida, que pode variar de infiltrações leves a inundações severas (figura 9). Esses desafios são influenciados pela prevenção de problemas e pelas características do terreno em que o túnel está sendo escavado. A ocorrência de água subterrânea pode provocar modificações no terreno, como a formação de dutos, e pode prejudicar o progresso dos trabalhos em andamento, bem como a segurança das pessoas envolvidas, frequentemente exigindo intervenções adicionais para resolver a situação (ABREU, 2019).

Figura 9 - Estrutura subterrânea, perfuração de túnel



Fonte: (ABREU, 2019)

A manifestação de água em escavações subterrâneas pode ser resultado de condições naturais, relacionadas à hidrogeologia da região, ou de fatores não naturais. Essa presença de água influencia significativamente o processo de construção, a estabilidade do túnel e do entorno. Em casos extremos, uma inundação de água pode representar uma ameaça, especialmente quando o túnel está sendo escavado em direção descendente ou a partir de um poço (ABREU, 2019).

A pressão e capacidade erosiva elevadas de fluxos de água, assim como a resistência insuficiente ao corte das paredes estruturais e da frente de escavação, podem comprometer a estabilidade, levando a possíveis falhas nas paredes do túnel. Portanto, a gestão adequada da água durante a construção de túneis é essencial para garantir a segurança das operações e a integridade estrutural do túnel. A prevenção e o controle eficazes das infiltrações de água são cruciais para minimizar interrupções e garantir que a escavação prossiga sem contratempos significativos (ABREU, 2019).

Com isso, essa nova tecnologia sendo implantada de maneira eficaz (bioconcreto), eleva a resistência de estruturas de concreto subterrâneas, na qual existe a presença de água e, ainda, contribui para o não aparecimento de manifestações patológicas, tendo como consequência principal, maior segurança e menor custo com manutenção dessas edificações.

2.4 ESTRUTURAS NÃO-SUBTERRÂNEAS (VIADUTOS, PONTES, PASSARELAS, RESIDENCIAL)

De acordo com Mors (2015), o bioconcreto está em fase de testes em diversas estruturas, com o objetivo de conquistar aceitação no mercado. Um notável exemplo de sua aplicação inicial ocorreu em 2011, quando foi utilizado na construção de uma estação de salva-vidas às margens de um lago em Galder, na Holanda (figura 10). Essa estrutura enfrenta condições extremas, caracterizadas pela exposição intensa ao sol e pela presença constante de água.

Figura 10 - Ilha artificial para salvar vida selvagem



Fonte: Gazeta do povo (2019)

Além disso, na América do Sul, especificamente no Equador, o bioconcreto também está sendo empregado em canais de irrigação, dado o histórico de ocorrências sísmicas

significativas no país. Tais eventos sísmicos podem gerar fissuras nas estruturas, o que proporciona uma oportunidade única para testar a capacidade de regeneração do bioconcreto (ZAGO, 2021).

2.5 VIABILIDADE E GASTOS

Segundo Silva (2018), o bioconcreto no Brasil representa uma tecnologia emergente, e a avaliação de sua viabilidade ainda está em processo, já que alguns especialistas mencionam que seu custo inicial pode ser mais elevado em comparação ao concreto convencional. Entretanto, é crucial considerar também os custos associados às futuras manutenções, que podem surgir como resultado de reparos necessários para tratar potenciais problemas estruturais em obras de concreto.

A longevidade do bioconcreto estende consideravelmente a vida útil (período em que a edificação atende às normas de desempenho sem necessidade de manutenção imprevista) do material em consideração ao convencional, ao mesmo tempo em que fortalece sua resistência à compressão por meio do preenchimento eficaz dos vazios presentes na estrutura, proporcionando assim condições seguras para sua utilização contínua. Uma característica notável do bioconcreto é sua vantajosa viabilidade econômica, uma vez que reduz substancialmente a necessidade de realizar manutenções frequentes na estrutura e proporciona economia à longo prazo (SILVA; PASSARINI, 2017).

Ainda, de acordo com o jornal britânico The Guardian (2015), o custo por metro cúbico do concreto tradicional era de aproximadamente US\$ 80 (equivalente a cerca de R\$ 260 naquela época), enquanto o metro cúbico de bioconcreto estava estimado em cerca de US\$ 110, ou seja, cerca de R\$ 360 na cotação da época. Isso ressalta claramente o potencial de viabilidade do bioconcreto, uma vez que sua capacidade de autorregeneração pode evitar despesas adicionais relacionadas à manutenção.

3 METODOLOGIA

A pesquisa discute os aspectos específicos e teóricos acerca da utilização do bioconcreto comparado ao concreto convencional, considerando as abordagens de caráter econômico e de segurança estrutural que possam embasar a necessidade e a viabilidade desse material na composição estrutural. Além disso, utilizou-se dados obtidos em pesquisas e experimentos realizados anteriormente, especificamente por Wiktor e Jonkers (2011) e pelos autores Silva e Passarini (2017), tendo isso como base para apresentação e análise de resultados.

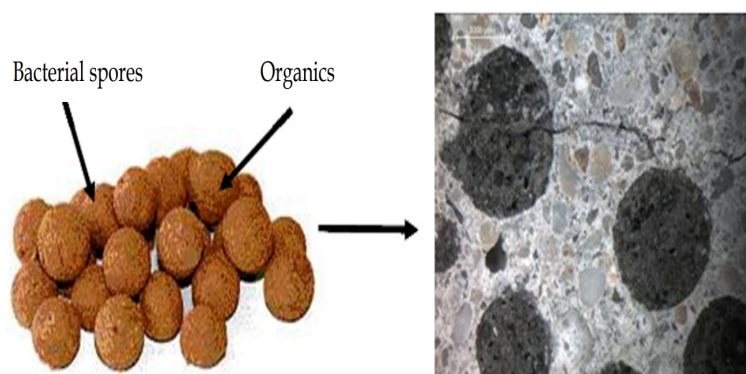
Assim, o desempenho, eficiência e durabilidade estrutural do concreto sustentável foi comparado ao concreto convencional a partir destas pesquisas, na qual realizou-se um levantamento e comparação de resultados acerca da resistência à compressão e patologias em ambos os materiais. Discutiu-se, também, as principais vantagens e desvantagens para a substituição e utilização do bioconcreto, como preparação, custos de produção, mão de obra para a instalação, manutenção e outros aspectos econômicos tanto para o concreto “autocurável”, como também para o concreto comum.

3.1 DESCRIÇÃO QUALITATIVA

Segundo Gonçalves et al. (2019), o bioconcreto pode ser preparado de duas maneiras, em que o primeiro método é o de aplicação direta, ou seja, a solução bacteriana é misturada junto com o lactato de cálcio e adicionada à água com o concreto, tendo em vista que, quando ocorre alguma fissura no concreto, as bactérias ficam expostas ao ambiente, e com isso elas saem do seu estado vegetativo e começam a se alimentar do lactato de cálcio ali presente.

A segunda abordagem envolve o encapsulamento das bactérias junto com o lactato de cálcio em pastilhas, geralmente feitas de argilas expandidas tratadas (figura 11). Essas pastilhas são então adicionadas à mistura de concreto. Quando ocorre uma fissura no concreto, a estrutura dos grânulos de argila é rompida, iniciando assim o processo de reparação. Os autores Silva e Passarini (2017) observaram que, ao utilizar este método com esporos das bactérias incorporados juntamente com o lactato de cálcio nas pastilhas de argila expandida, houve um aumento na longevidade das bactérias. Além disso, verificou-se que não houve perda de viabilidade ao longo do período observado.

Figura 11 - Argila ampliada, esporos de bactérias e lactato de cálcio no concreto



Fonte: (WIKTOR; JONKERS, 2011)

De acordo com Gonçalves et al. (2019), o bioconcreto apresenta vantagens como maior eficácia e economia na construção civil, menor gasto com manutenção e restauração de estruturas, tendo em vista que o concreto autocurável é voltado para edificações sustentáveis e apresenta melhor desempenho e conforto.

Entretanto, apesar de apresentar considerável potencial em diversas áreas, essa tecnologia enfrenta algumas limitações que precisam ser superadas antes de sua adoção em larga escala no mercado. Uma das desvantagens notáveis é a sua relativa lentidão em comparação com processos químicos mais simples. Isso ocorre porque a atividade dos micro-organismos depende de uma série de fatores ambientais, como temperatura, nível de acidez (pH), disponibilidade e difusão de nutrientes, bem como processos metabólicos (VIEIRA DOS REIS, 2017).

3.2 DESCRIÇÃO QUANTITATIVA

Durante sua vida útil, todas as construções estão suscetíveis a experimentar efeitos indesejados de problemas estruturais, estéticos ou funcionais, que podem afetar a qualidade do produto final. Além disso, a maioria das edificações é predominantemente construída com materiais de qualidade inferior, o que as torna mais suscetíveis a desenvolver problemas patológicos, incluindo fissuras. Essas fissuras podem surgir em várias fases, desde a construção, devido à falhas no projeto, nos materiais utilizados e nas técnicas de construção, até o período pós-ocupação, resultantes de mau uso, falta de manutenção ou influências do ambiente físico-químico (GONÇALVES et al., 2019).

Tomando o Brasil como exemplo, um estudo conduzido por Silva (2018) revela que, das 166 obras inspecionadas, cerca de 69% delas apresentaram problemas relacionados à

corrosão da armadura, desencadeados pela exposição da armadura à atmosfera e, inicialmente, associados a trincas e fissuras. Nesse contexto, se fosse possível prevenir a maioria dessas patologias por meio da adoção de bioconcreto ou concreto autocicatrizante, poderíamos economizar aproximadamente 69% dos custos relacionados à manutenção, em vez de gastar esse montante.

De acordo com uma publicação de Schmidt (2019) no jornal O Globo, a Prefeitura do Rio de Janeiro destinou um montante de apenas R\$ 439 mil para despesas de manutenção, que incluíram viadutos, pontes, passarelas e túneis. O autor também comparou esses gastos com os anos anteriores. Esses dados teriam sido obtidos do sistema Fincon e nos registros financeiros da prefeitura.

Assim, a tabela 1 abaixo exemplifica de acordo com os dados, a economia existente caso fosse utilizado o bioconcreto nas construções de viadutos, pontes, passarelas e demais estruturas que necessitam de manutenções periódicas de 2010 a 2019.

Tabela 1 - Despesa em manutenção sem e com o uso do bioconcreto

Ano	Despesa em Manutenção	69% de economia	Valor Real da Manutenção
2010	R\$ 1.352.000,00	R\$ 932.880,00	R\$ 419.120,00
2011	R\$ 2.297.000,00	R\$ 1.584.930,00	R\$ 712.070,00
2012	R\$ 5.651.000,00	R\$ 3.899.190,00	R\$ 1.751.810,00
2013	R\$ 8.761.000,00	R\$ 6.045.090,00	R\$ 2.715.910,00
2014	R\$ 4.800.000,00	R\$ 3.312.000,00	R\$ 1.488.000,00
2015	R\$ 1.241.000,00	R\$ 856.290,00	R\$ 384.710,00
2016	R\$ 1.759.000,00	R\$ 1.213.710,00	R\$ 545.290,00
2017	R\$ 1.183.000,00	R\$ 816.270,00	R\$ 366.730,00
2018	R\$ 1.184.000,00	R\$ 816.960,00	R\$ 367.040,00
2019	RS 439.000,00	R\$ 302.910,00	R\$ 136.090,00

Fonte: Zago (2021)

Dessa forma, pode-se perceber como uma simples bactéria no concreto ou a aplicação de aditivos cicatrizantes têm um impacto notável. Ao considerar as economias potenciais em despesas de manutenção, podemos afirmar com confiança que investir na implementação desses métodos em substituição ao concreto convencional pode resultar em recuperação do investimento em um curto período de tempo (ZAGO, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O BIOCONCRETO É RENOVÁVEL E DE BAIXA ENERGIA INCORPORADA

Segundo dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) de 2012, a indústria da construção civil consome aproximadamente 40% dos recursos naturais e energia produzidos, utiliza 12% da água, contribui com 55% do uso de madeira não certificada e é responsável por 40% da produção total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Os impactos negativos provocados por esse setor são diversificados e de suma importância, portanto, requerem uma atenção cuidadosa (SANTIAGO, 2021).

Os efeitos resultantes da atividade dessa indústria são diversos e de grande importância, portanto, merecem uma análise atenta. A Tabela 2 apresenta alguns exemplos desses efeitos.

Tabela 2 - Impactos ambientais e consumo dos materiais

IMPACTOS AMBIENTAIS	CONSUMO
Utilização da Madeira	39% do ecossistema natural
Edifícios Brasileiros	21% da água consumida do país
Construção e Manutenção da Infraestrutura	75% do recursos naturais extraídos, sendo a maior consumidora
Cadeia Produtiva da Construção	Contribui para poluição, liberação de gases do efeito estufa, como CO_2
Risco de Contaminação Ambiental	Lixiviação de biocidas e metais pesados de alguns materiais de construção

Fonte: (SANTIAGO, 2021).

É importante destacar o significativo impacto da produção de cimento no aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO_2) no planeta. O cimento desempenha um papel fundamental na indústria da construção, sendo essencial para a fabricação de concreto.

De acordo com o *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) em 2013, estimou-se que a emissão de CO_2 decorrente da produção de cimento no Brasil tenha atingido 610 quilogramas de CO_2 por tonelada de cimento. Com uma demanda projetada de 3,6 bilhões

de toneladas por ano, prevê-se que o consumo de cimento aumente 2,5 vezes até o ano de 2050 (SANTIAGO, 2021).

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (2010), em escala global, quase 90% das emissões de CO_2 relacionadas à produção de cimento ocorrem durante o processo de produção do clínquer. O clínquer é um composto mineral artificial obtido através de reações físico-químicas envolvendo calcário, argila e agentes corretivos em altas temperaturas. Durante o processo de fabricação, é necessário realizar a queima de consideráveis volumes de combustíveis de origem fóssil (SANTIAGO, 2021).

Com isso, foi importante destacar que a utilização e substituição do concreto convencional pelo bioconcreto influencia diretamente em forma de benefício para a redução das emissões de CO_2 na atmosfera, pois quanto maior a quantidade de edificações e construções tendo como base o bioconcreto, menor será a frequência de manutenções, consequentemente menor produção de clínquer e cimento utilizado em reparos, por exemplo. Além disso, maior durabilidade das estruturas e, por conseguinte, menor produção e extração de recursos naturais para a produção de materiais de construção, como por exemplo o cimento.

4.2 O BIOCONCRETO MELHORA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO EM RELAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL

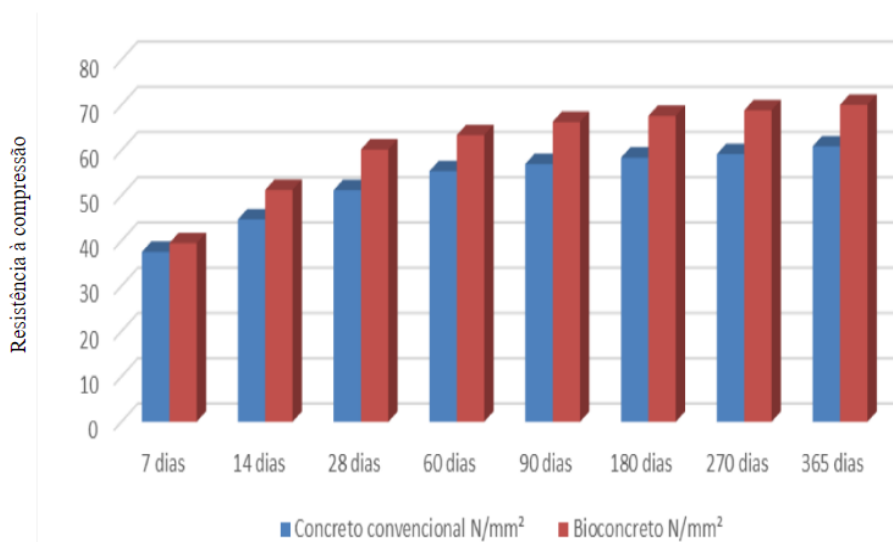
Em sua pesquisa, Reis (2017) examina a longevidade a longo prazo (ao longo de vários anos) e a relação custo-efetividade do bioconcreto. De acordo com o autor, as vantagens potenciais associadas ao bioconcreto incluem a redução dos gastos com manutenção e reparos, o prolongamento da vida útil das estruturas e sua característica sustentável como material de construção. Exemplificando melhor e com dados acerca da durabilidade e resistência do bioconcreto com o passar do tempo, a tabela 3 representa os valores obtidos para a resistência à compressão no período indicado.

Após 365 dias de testes, como ilustrado no gráfico da figura 12, observa-se um aumento de até 10% na resistência do concreto em comparação com os testes realizados após 7 dias, que o aumento era de aproximadamente 2%. A resistência à compressão do concreto ocorre devido ao preenchimento dos poros presentes no material com carbonato de cálcio, que é produzido pelas bactérias. Isso resulta em um aumento significativo da resistência do concreto ao longo do tempo.

Tabela 3 - Comparação de resultados no ensaio de resistência à compressão do concreto

DIAS	CONCRETO CONVENCIONAL (N/mm^2)	BIOCONCRETO (N/mm^2)
7	37,57	39,48
14	44,73	51,26
28	51,19	60,17
60	55,39	63,35
90	56,97	66,27
180	58,37	67,62
270	59,17	68,84
365	60,87	70,07

Fonte: Adaptado de Sunil et al. (2010)

Figura 12 - Comparativo da resistência à compressão do concreto e bioconcreto

Fonte: Adaptado de Sunil et al. (2010)

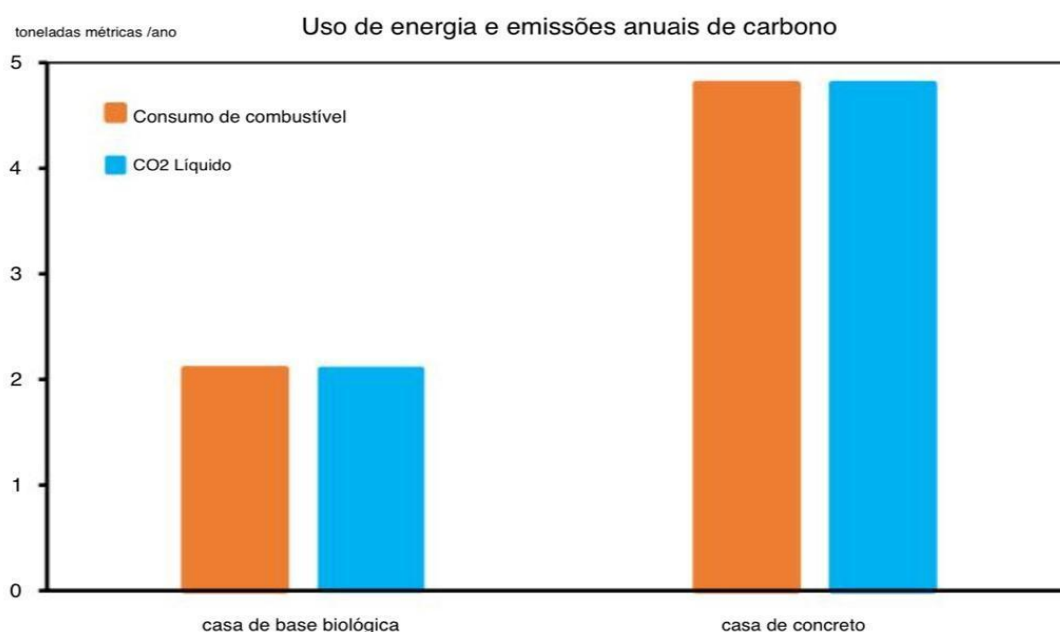
4.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

A promoção da eficiência energética figura como uma das principais metas das políticas energéticas internacionais atualmente, na qual visa alcançar uma transformação em direção a uma sociedade mais sustentável, tendo em vista que é essencial unir esforços na implementação de políticas, práticas e comportamentos que favoreçam a eficiência energética. Essa transição requer uma abordagem voltada para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que o carbono desempenha um papel fundamental na ampliação dessa pegada ambiental (BOURBIA et al., 2023).

O crescente reconhecimento das questões ambientais está estimulando a adoção de materiais de construção que sejam tanto ecológicos quanto capazes de oferecer um excelente desempenho térmico. A incorporação de materiais derivados de fontes biológicas está emergindo como um fator fundamental para aprimorar a eficiência energética das edificações, gerando vantagens tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico (BOURBIA et al., 2023).

Assim, de acordo com o gráfico da figura 13, foi possível perceber a diferença entre uma estrutura ou casa de base biológica, nesse caso foi utilizado fardos de palha com material biológico, e uma residência à base de concreto normal, na qual é uma forma de combate aos efeitos do aquecimento global.

Figura 13 - Comparação entre emissões anuais de carbono para casa de concreto e de base biológica



Fonte: (KRASNY et al., 2017)

O bioconcreto (material de base biológica) é um excelente regulador térmico. Em contraste com o tradicional isolamento térmico, o isolamento de origem biológica (fardos de palha, utilizado como exemplo) emprega recursos renováveis e possui um desenvolvimento sustentável e sustentabilidade significativamente superior. Isso desempenha um papel fundamental na redução das cargas térmicas em edifícios, resultando em menor consumo de energia. Sua eficácia, por sua vez, está intrinsecamente ligada à condutividade térmica, a qual é influenciada pela densidade, porosidade e nível de umidade presente no material (BOURBIA et al., 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto é um elemento fundamental em todas as obras, e ao longo do tempo, tem havido avanços significativos nas técnicas de sua produção. Um desses avanços envolve a aplicação da biotecnologia para aprimorar a manipulação do concreto. Essa abordagem envolve o uso de microorganismos e materiais de origem biológica para preencher fissuras, melhorando assim o desempenho, a durabilidade e a sustentabilidade na indústria da construção. A inovação nesse campo é de grande interesse para investidores no setor de construção civil devido aos benefícios potenciais, como a redução de custos e a possibilidade de criar edifícios mais resistentes a fissuras.

O presente estudo se propôs a examinar, respaldado por evidências científicas, os benefícios associados à incorporação do bioconcreto e substituição em relação ao concreto tradicional na indústria da construção. A partir dessa análise teórica, buscou-se evidências de que o uso do bioconcreto surge como uma alternativa altamente sustentável e promissora para mitigar problemas patológicos relacionados a fissuras na construção civil, bem como para reduzir a necessidade de futuras manutenções e eventuais reparos.

Além disso, notou-se um aumento na durabilidade dos concretos que incorporam microrganismos, já que eles demonstram uma notável melhora na resistência ao longo do tempo, superando o desempenho do concreto convencional. Com base nos dados considerados, pode-se concluir que o bioconcreto efetivamente comprova sua eficácia, tornando sua aplicação correta promissora, com potencial para aprimorar a capacidade de autorreparação do concreto.

Por fim, o estudo e a implementação desse recurso têm o potencial de simplificar alguns processos construtivos, revolucionar as práticas construtivas contemporâneas e abordar de forma inovadora os desafios ambientais na engenharia civil, promovendo soluções mais sustentáveis na indústria da construção.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ABREU, B. G.; DE ARAÚJO, C. E. S.; ÓRFÃO, R. B.; AMARANTE, M. S. **Bioconcreto**. Revista Diálogos Interdisciplinares, v. 8, n. 2, p. 45-55, 2019. Disponível em: <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/686/680>>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- BOURBIA, S.; KAZEoui, H.; BELARBI, R. A review on recent research on bio-based building materials and their applications. **Materials for Renewable and Sustainable Energy**, v. 12, p. 117-139, may, 2023. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40243-023-00234-7>>. Acesso em: 22 set. 2023.
- BRITO, J. E. G.; SOUSA, L. C. Bioconcreto: uma inovação sustentável na construção civil. **In: Encontro de Extensão, Docência e Iniciação Científica (EEDIC)**, v. 7, nov., p.1., 2020, Quixadá-CE. Disponível em: <<http://publicacoesacademicas.unicatolicaquixada.edu.br/index.php/eedic/article/view/4310/3791>>. Acesso em: 10 set. 2023.
- CARNEIRO, V. H. S. C.; GIL, L. K. S.; CAMPOS NETO, M. P. **Calor de Hidratação no Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 67f., 2011. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/webby/up/140/o/CALOR_DE_HIDRATA%C3%87%C3%83O_N_O_CONCRETO.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.
- CARVALHO, J. D. **Um pouco sobre a história do concreto**. Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil. DEC. Universidade. Estadual de Maringá, PR, 2008.
- CORREA, K. C. Novos materiais biológicos são utilizados na construção civil. **SENAI - Blog STI**. Curitiba, 30 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/blog/novos-materiais-biologicos-sao-utilizados-na-construcao-civil-1-36126-464854.shtml>>. Acesso em: 25 set. 2023.
- COSTA, A. S.; RODRIGUES, F. A. Desenvolvimento de concretos auto curáveis utilizando a bactéria *bacillus megaterium*. **Revista Científica UMC**. Mogi das Cruzes. v. 3, n. 3, outubro, 2018. Disponível em: <<http://seer.umc.br/index.php/revistaumc/article/view/483/0>>. Acesso em: 05 out. 2023.
- COSTA, L. B.; LIMA, F. G. C.; LEITE, G. S.; MERGULHÃO, R. A. C.; OLIVEIRA, R. G.; Bioconcreto e sua aplicabilidade na recuperação de manifestações patológicas na construção civil. Revista Mangaio Acadêmico. João Pessoa, Paraíba. v. 6, n. 2, p. 47-67, jul./dez. 2021. Disponível em: <<https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/view/1553>>. Acesso em: 24 set. 2023.
- GAZETA DO POVO. SUSTENTABILIDADE: Holanda constrói ilhas artificiais para salvar vidas selvagens. 10 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/holanda-constro-i-lhas-artificiais-para-salvar-vida-selvagem/>>. Acesso em: 03 set. 2023.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. 174 f. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2023.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. Ed. Ibracon, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em 11 ago. 2023.

KOGA, D.S.; SANTOS, L.M. **Bioconcreto: autocicatrização do concreto pelo processo de biomineralização realizado por bactérias**. 2020. 10p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica, Goiás, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/895>>. Acesso em: 21 Nov. 2021.

KRASNY, Elma.; KLARIC, S.; KORJENIC, A. Analysis and comparison of environmental impacts and cost of bio-based house versus concrete house. **ScienceDirect**. Sarajevo. v. 161, p. 968-976, set. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617310430>> Acesso em: 11 out. 2023.

LEITE, A. A. B. **Fissuras causadas por recalques diferenciais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Centro Universitário de Maringá. Maringá – PR, 2018, 21p. disponível em: <<http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/652>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

MARCONDES, F. C. S.; CARDOSO, F. F. **Contribuição para aplicação do conceito de logística reversa na cadeia de suprimentos da construção civil**. 2005, Anais. Porto Alegre, RS: ANTAC, 2005.

MORS, R. M.; JONKERS, H. M. **Reduction of Water Permeation through Cracks in Mortar by Addition of Bacteria based Healing Agent**, 2015. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ab4eecdcd-d2aa-4ff3-9301-520450f329a3>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

NASCIMENTO, M. S. **A implantação do bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: fissuras, rachaduras e trincas**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000153, 05/12/2018. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/implantacao-do-bioconcreto-desenvolvido-para-solucionar-problemas-estruturais-tais-como>>. Acesso em: 03 set. 2023.

OLIVEIRA, J. A. C et al. Inspeção predial e avaliação das manifestações patológicas do subsolo em edificação residencial localizada no distrito federal – estudo de caso condomínio residencial 116 norte. **In: Anais Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias**. Foz Iguaçu-PR, 2017. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/095.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2023.

PELEGRINELLO, M.; CARNEIRO, A. F. Influência da deposição de CaCO_3 oriundos de bactérias *bacillus* em matrizes argamassas - Introdução à biocicatrização. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Paraná, ed. especial, p. 321-330, set, 2019. Disponível em: <<https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/644>>. Acesso em: 27 set. 2023.

PIANCASTELLI, É. M. **Patologias do concreto**. AECweb. 28 fev 2023. Disponível em:<<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/patologias-do-concreto/6160>>. Acesso em: 27 set. 2023.

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. Disponível em: <https://pesquisa.fametro.edu.br/wp-content/uploads/2023/03/Eng_CivilTec_Voll.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2023.

SANTOS, A. **Bactéria pode dar “imortalidade” ao concreto**. 2013. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/bacteria-pode-dar-imortalidade-ao-concreto/>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

SCHMIDT, H.; HENRIQUES, M.; GUILGE, M. S. **Aditivos melhoram propriedades e aplicações do concreto**. AECweb. 03 out 2016. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/aditivos-melhoram-propriedades-e-aplicacoes-do-concreto/14428>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SCHMIDT, S. **Orçamento da Prefeitura para Investimentos em Túneis, Viadutos e Pontes está Zerado**. 2019. Disponível em:<<https://oglobo.globo.com/rio/orcamento-da-prefeitura-para-investimentos-em-tuneis-viadutos-pontes-esta-zerado-23675932>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SILVA, D. G.; MELO, L. A. **Aplicação de bactérias biocimentantes no tratamento de patologias de revestimentos de argamassa**. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Aparecida de Goiânia, Goiás, 2018. Disponível em:<<https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/208>>. Acesso em: 27 ago. 2023.

SILVA, D. H. **Recuperação de estruturas de concreto – Corrosão das armaduras - Estudo levantado no centro oeste de Minas Gerais** . Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 10, Vol. 02, 2018. ISSN:2448-0959. Disponível em:<<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/recuperacao-de-estruturas>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SILVA, F. P. C.; PASSARINI, V. C.; SANTOS, F. C. S. Bioconcreto: A tecnologia para Construção Sustentável. **INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**. São Paulo, v.5, n. 2, p. 41-58, jul./dez./ 2017. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1678>>. Acesso em: 15 set. 2023.

SUNIL, P. R. S; SESHAGIRI, R. M. V.; APARNAC, P.; SASIKALAC, Ch. **Performance of standard grade bacterial (*Bacillus Subtilis*) Concrete**. Researchgate [internet]. v. 11, n. 1, p. 43-55, Disponível em: <file:///C:/Users/gx/Downloads/103820100103%20(1).pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

THE GUARDIAN (2015): The self-healing concrete that can fix its own cracks. United Kingdom, UK: Rosie Spinks. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/jun/29/the-self-healing-concrete-that-can-fix-its-own-cracks>>. Acesso em: 10 set. 2023.

VIEIRA DOS REIS, L. G. V. **Biotecnologia microbiana da construção: Potencial de biomineralização de bactérias ureolíticas de solo de cerrado e de rejeitos de construção civil**. Orientador: Prof. Dr. José Daniel Gonçalves Vieira. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <VIEIRA >. Acesso em: 10 set. 2023.

WIKTOR, V.; JONKERS, H. M. Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete. **Cement & Concrete Composites**, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering & Geosciences. The Netherlands., v.33, n.7, p. 763-770, August, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946511000618?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 set. 2023.

ZAGO, A. F. **Estudo comparativo entre métodos de recuperação de estruturas com processos de autocura: Bioconcreto e concreto autocicatrizante**. Orientadora: Prof. Lucimara Aparecida Schambek Andrade, Ms. 2021. 75 f. TCC (graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/19419>>. Acesso em: 14 jul. 2023.