

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAURA JÚLIA FERNANDES DA CUNHA DIAS

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DO USO DO
BIOCONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO CONCRETO COMUM**

CAMPO MOURÃO

2022

LAURA JÚLIA FERNANDES DA CUNHA DIAS

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DO USO DO
BIOCONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO CONCRETO COMUM**

**Assessment of the technical and environmental feasibility of the use of
bioconcrete in replacement to common concrete**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Fabiana Goia Rosa De Oliveira

CAMPO MOURÃO

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LAURA JÚLIA FERNANDES DA CUNHA DIAS

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DO USO DO
BIOCONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO CONCRETO COMUM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa De
Oliveira

Data de aprovação: 21 de novembro de 2022

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristiane Kreutz
Doutora em Engenharia Agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sergio Roberto Oberhauser Guintanilha Braga
Mestre em Segurança aos Incêndios Urbanos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras.

Primeiramente agradeço à Deus que me permitiu ter sabedoria para efetuar meu trabalho de conclusão de curso e muitas vezes foi o único que pode me acolher em dias de nervosismo e estresse, no fim deu tudo certo.

Sou muito grata em especial aos meus pais e irmãos. Meu pai e minha mãe sempre me incentivaram aos estudos principalmente pelos dois serem professores. Meus pais me possibilitaram estar longe de casa para estudar e em muitos momentos eu queria que eles estivessem aqui comigo, porque sempre tem aqueles dias que a gente não suporta a saudade de casa, não sabe lidar com a distância e que muitas vezes só queria ter a companhia deles. Queridos pai e mãe, gratidão por tudo que vocês me proporcionaram nesses anos e que ainda proporcionam.

Meus queridos irmãos, são exemplos em minha vida, cada um de sua maneira em particular. Sem eles eu não teria tido a coragem de vir pra tão longe e não seria quem sou hoje, nossas infâncias juntas me ensinou muito e me deu forças para voar. Obrigada por acreditarem em mim e estarem presentes em minha vida. Eu não posso deixar de agradecer a minhas sobrinhas Katarina e Melina, meus amores fora do coração, que me deram a alegria que eu precisava em dias difíceis.

Aos meus amigos, muito obrigada por serem a minha família de coração que me acolheram e me deram suporte emocional para estar aqui hoje. Todos vocês são fundamentais em minha vida hoje e sempre. Amigos são a família que escolhemos para ter por perto quando não temos os familiares mais próximos. A minha querida amiga Rafaela Galassi, obrigada por estar nos momentos bons e ruins, seu suporte me permitiu continuar e se não fosse por nossa amizade, talvez eu já teria desistido nas situações que me via sem saída, você sempre me possibilitou atingir e ser a minha melhor versão. Ao meu querido amigo André Luis, grata por você ter sido meu primeiro amigo da faculdade e que hoje se tornou um irmão para a vida toda.

Por fim e não menos importante, agradeço a minha orientadora Professora Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira por embarcar nessa aventura da tecnologia dos materiais da construção civil e poder compartilha comigo seus conhecimentos

provenientes da sua experiência, e vivência como professora, e aluna de engenharia. Agradeço também a Professora Dr^a. Cristiane Kreutz que pode me dar uma luz e ajudar com a parte de ambiental presente no meu trabalho, foi essencial suas aulas para parte da ideia sobre o tema do meu TCC e também as reuniões corridas que tivemos para que você me ajudasse. Possuo admiração enorme pelas duas professoras e sem elas não seria possível realizar esta pesquisa.

Enfim, gratidão a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa e desses anos na faculdade.

RESUMO

A construção civil é encarregada de oferecer evolução para sociedade e gera empregos. Apesar disso, ela é responsável por diversos impactos ambientais gerados por causa das construções que produzem resíduos e consomem muitos recursos advindos da natureza. Os resíduos e a larga escala de produção de concreto são os principais responsáveis pelos impactos gerados pela construção. Em virtude disso, surgiram os estudos da tecnologia dos materiais, para que os impactos sejam reduzidos. Neste sentido, nascem novos materiais como o bioconcreto que possui características para serem estudadas e aplicadas na área da construção civil com o intuito de melhorar a sustentabilidade ambiental das obras. O bioconcreto é capaz de solucionar algumas patologias que aparecem com o tempo no concreto. Para elaboração deste trabalho foram feitas pesquisas teóricas com bases em artigos, estudos científicos e revisão de bibliografias sobre o assunto. Com o objetivo de viabilizar o uso do bioconcreto em substituição parcial do concreto comum, tabelas comparativas foram criadas com dados relevantes para o estudo deste trabalho e auxiliam para concluir que o bioconcreto pode ser um material com potencial relevante para reduzir o uso do concreto comum e tornar viável a sua utilização com o propósito de diminuição dos impactos ambientais gerados pela construção civil.

Palavras-chave: concreto; bioconcreto; sustentabilidade; impactos ambientais.

ABSTRACT

Civil construction is in charge of offering evolution to society and generating jobs. Despite this, it is responsible for several environmental impacts generated by buildings that produce a lot of waste and consume many resources from nature. Waste and the large-scale production of concrete are mainly responsible for the impacts generated by construction, they arise due to the maintenance and repairs that concrete needs throughout its useful life. As a result, studies of material technology have emerged so that impacts are reduced. In this sense, new materials are born, such as bioconcrete, which has characteristics to be studied and applied in the area of civil construction in order to improve the environmental sustainability of the works. Bioconcrete is capable of solving some pathologies that appear over time in concrete. For the elaboration of this work, theoretical research was carried out based on articles, scientific studies and review of bibliographies on the subject. In order to enable the use of bioconcrete to replace common concrete, comparative tables were created, they have relevant data for the study of this work and help to conclude that bioconcrete can be a material with relevant potential to replace common concrete and make viable its use with the purpose of reducing the environmental impacts generated by the civil construction.

Keywords: concrete; bioconcrete; environmental sustainability; environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1 - Cadeia resumida da construção civil</i> | 19 |
| <i>Figura 2 - Processo produtivo do concreto</i> | 21 |
| <i>Figura 3 - Ensaio de Slump-Test ou abatimento</i> | 22 |
| <i>Figura 4 - Bioconcreto</i> | 24 |
| <i>Figura 5 - Bioconcreto em processo de "autocura"</i> | 24 |
| <i>Figura 6 - Esporos bacterianos por microscopia eletrônica</i> | 25 |
| <i>Figura 7 - Esquema de autocicatrização em bioconcreto</i> | 25 |
| <i>Figura 8 - Argila expandida</i> | 28 |
| <i>Figura 9 - Residência construída com bioconcreto</i> | 31 |
| <i>Figura 10 - Alicerces da sustentabilidade</i> | 31 |
| <i>Figura 11 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento dos resultados</i> ... | 41 |
| <i>Figura 12 - Processo de produção do concreto</i> | 43 |
| <i>Figura 13 - Processo de produção do bioconcreto</i> | 47 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----------|
| Gráfico 1 - Total de RCC coletados - Brasil e regiões (em 1 t/ano)..... | 36 |
| Gráfico 2 - Geradores de resíduos do concreto | 46 |
| Gráfico 3 - Comparação estimada pelo uso do bioconcreto..... | 49 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----------|
| Quadro 1 - Relação de resultados de ensaio de resistência à compressão do concreto | 26 |
| Quadro 2 - Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCC | 35 |
| Quadro 3 - Quadro matriz | 40 |
| Quadro 4 - Critérios de análise de significância para classificação dos impactos ambientais | 40 |
| Quadro 5 - Análise de significância para classificação dos aspectos e impactos ambientais | 41 |
| Quadro 6 - Avaliação dos aspectos e impactos ambientais do processo de produção do concreto | 43 |
| Quadro 7 - Avaliação de aspectos e impactos ambientais do processo de produção do bioconcreto | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabela 1 - Estimativa de coleta de RCC.....</i> | 36 |
| <i>Tabela 2 - Composição média dos materiais de RCC de obras no Brasil (%) ...</i> | 37 |
| <i>Tabela 3 - Fonte geradora e componentes dos RCC</i> | 37 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| EIA | Estudo de Impacto ambiental |
| EUA | Estados Unidos da América |
| MICP | Microbially induced carbonate precipitation |
| NBR | Normas Brasileiras |
| RCC | Resíduos da construção civil |
| RIMA | Relatório de impacto ambiental |
| TCC | Trabalho de conclusão de curso |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|---------------------|
| CO_2 | Gás carbônico |
| CaCO_3 | Carbonato de cálcio |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 Objetivo Geral | 15 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 4.1 Concreto comum | 17 |
| 4.1.1 Propriedades e produção do concreto comum | 19 |
| 4.2 Bioconcreto | 22 |
| 4.2.1 As bactérias e sua aplicação no concreto | 24 |
| 4.2.2 Propriedades e produção do bioconcreto | 26 |
| 4.3 Patologia na engenharia civil | 28 |
| 4.4 Bioconcreto no Brasil e no mundo | 30 |
| 4.5 Sustentabilidade ambiental na construção civil | 31 |
| 4.6 Impactos ambientais gerados pela construção civil | 33 |
| 5 METODOLOGIA | 39 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 6.1 Etapas do processo produtivo do concreto convencional | 43 |
| 6.2 Bioconcreto | 46 |
| 7 CONCLUSÃO | 50 |
| REFERÊNCIAS | 51 |

1 INTRODUÇÃO

O concreto similar ao que conhecemos hoje surgiu no século XIX, mas sem muitas evoluções até o século XX quando ele foi patenteado como Cimento Portland. Em seguida iniciou-se os estudos com essa “massa cimentícia” como uso estrutural, atualmente conhecido como concreto armado. Projetar e construir estruturas passou a ser uma arte inovadora cuja evolução está ligada ao progresso da sociedade ao longo da história da humanidade (CARVALHO, 2008).

O concreto é o material mais utilizado na construção civil em todo o mundo. Seu custo baixo para produção, execução fácil e adaptação a qualquer formato, o torna uma excelente solução para se obter uma estrutura monolítica e hiperestática com resistência às variações atmosféricas e térmica e, além disso, possui alta resistência mecânica com excelente durabilidade. Por todas essas características, ele se posiciona na vanguarda dos materiais disponíveis para a construção civil (ALVES, 2019).

Quando construídas corretamente e nas condições certas, as estruturas de concreto possuem uma vida útil de 100 anos ou mais. Apesar disso, diversas manifestações patológicas podem atingir tais estruturas, sendo uma delas a fissuração (FREITAS *et al.*, 2021). Deste modo, é necessária a busca por alternativas de remediação destas patologias, que sejam eficientes e com baixo custo, uma vez que reparos em concreto demandam tempo, mão de obra qualificada e um concreto que possua uma boa aderência ao concreto original, ocasionando assim muitos gastos com manutenção (ARAUJO *et al.*, 2019).

Apesar do concreto ser um material viável na construção civil pela sua praticidade e fácil acesso, ele afeta a sustentabilidade ambiental, causando impactos ambientais consideráveis. Este assunto, na construção civil tem sido discutido para que novos hábitos sejam adotados e também como fatores importantes em decisões tomadas no processo de criação do projeto e na execução da obra. Ou seja, aplicar dentro das obras a gestão ambiental em harmonia com as atividades socioeconômicas (HELENE e ANDRADE, 2010).

A inovação é uma constante na sociedade moderna que se estende para a construção civil, engloba métodos construtivos e materiais que são aprimorados de acordo com as necessidades particulares de cada obra. Com isso, o

avanço tecnológico do concreto foi marcante ao longo das últimas décadas com a criação de aditivos que, quando utilizados possibilitam a melhoria da estrutura, das propriedades e características do material. Com isso, cientistas da área da engenharia civil, biologia e química se uniram para compreender o fenômeno do concreto auto curável - o bioconcreto (ARAUJO *et al*, 2019).

O bioconcreto é um material novo na construção civil, ele é capaz de interromper o processo de fissuras e o aparecimento de poros na estrutura de concreto, por meio dos dejetos de carbonato de cálcio, produzidos pela bactéria.

O propósito desta pesquisa foi buscar a compreensão do uso dos materiais concreto e bioconcreto analisando teoricamente as suas propriedades, produção, origem, conceitos e outras características embasados pelo referencial teórico. Por fim, não menos importante, foi realizada uma avaliação preliminar dos impactos ambientais por meio da comparação entre os dois materiais.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica e ambiental do uso do bioconcreto em substituição ao concreto comum, em obras da construção civil.

2.2 Objetivos Específicos

1. Pesquisar trabalhos acadêmicos sobre concreto comum e bioconcreto, de forma sistematizada;
2. Analisar, de forma teórica, as propriedades do concreto comum e do bioconcreto;
3. Apresentar a avaliação de impactos ambientais do concreto comum e do bioconcreto.

3 JUSTIFICATIVA

Mesmo com as pesquisas ainda preliminares, espero que os benefícios do bioconcreto transforme em uma alternativa de material a ser usado nas construções, de modo que o seu uso alcance gradativamente mais pessoas e também transforme o futuro das obras.

De acordo com Silva Junior *et. al* (2022), apesar da construção civil ser essencial para a sociedade e seu desenvolvimento, ela gera consumo excessivo de recursos naturais, energia, índices de poluição com a produção de gases advindos de fábricas de refinamento de materiais, entre outros fatores. Tudo isso gera impactos ambientais como a geração de rejeitos e seu descarte incorreto. Os profissionais da engenharia civil e outras áreas também, têm a responsabilidade de buscar novos métodos sustentáveis a serem adotados diariamente em suas ações.

Para Laruccia (2014), a construção civil é grande responsável por vários impactos ambientais por seu processo específico de construção. O cimento é considerado o grande causador das emissões do gás carbônico (CO₂) na atmosfera, por ser o principal material da construção civil, com produção proporcional ao seu alto consumo e por ser um aglomerante essencial no setor.

As causas ambientais citadas anteriormente provocam inquietações que resultaram na busca de alternativas que culminaram no estudo deste trabalho.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o embasamento teórico deste trabalho.

4.1 Concreto comum

O concreto é o material mais utilizado na construção civil no mundo inteiro desde o século XX, onde o seu uso se intensificou. Ele está em segundo lugar perdendo apenas para a água que possui o maior consumo humano. A definição simples para concreto seria dizer que é uma massa cimentícia na qual é adicionado agregados, aglomerantes, aditivos e outros, e pôr fim a água para resultar em um material homogêneo (SOARES *et. al*, 2015).

De modo breve, o concreto comum é composto por agregados, aglomerantes e água, sendo considerado o bloco construtor da civilização. Cada um desses componentes deve ser adicionado nas devidas proporções, pois a quantidade de cada parte modifica as características finais do concreto (PINHEIRO *et al.*, 2007).

Agregados são partículas minerais que, segundo Pinheiro *et al.* (2007), quando misturadas à massa do cimento, aumentam o volume da mesma reduzindo assim o seu custo, uma vez que geralmente estes materiais são menos caros. Os agregados podem ser areia, pedras ou brita. Já os aglomerantes foram definidos como os componentes que unem os outros materiais quando adicionados à massa, geralmente é usado o cimento. E a água que é usada para propiciar a mistura dos outros componentes além de participar de reações químicas juntamente com o cimento, o que ocasiona o endurecimento do concreto.

Desde os primórdios os seres humanos têm o instinto de sobrevivência e conseqüentemente a necessidade de obter um local para se abrigar. O ato de construir algo foi se desenvolvendo junto ao avanço da humanidade. No primeiro momento o homem procurava locais onde ele se sentisse protegido dos acontecimentos externos, sejam eles chuvas, ventos, animais selvagens, inimigos e outros (CARVALHO, 2008).

Após este pensamento anteriormente citado, surgiram novas ideias e com elas o uso da pedra que de alguma forma era fixada uma na outra, e assim

finalmente realizar a construção de uma moradia. Continuando com a noção básica de edificar uma casa com o uso de rochas, veio a primeira idealização de um tijolo o qual era utilizado junto com uma pasta para que ele ficasse colado um no outro. Por fim, com a necessidade de unir uma peça na outra, criou-se novas massas que com a evolução constante originou-se o concreto (CARVALHO, 2008).

Segundo Carvalho (2008) desde as primeiras experiências com a alvenaria de pedras, as civilizações buscaram um material que unisse de forma coesa essas pedras. Inicialmente usaram a argamassa de barro (os assírios e babilônios usaram a argila como material ligante) e posteriormente, uma argamassa mais resistente e durável, a argamassa de cal.

De acordo com Soares *et. al.* (2015), a origem do concreto remonta ao tempo pré-histórico, quando o homem abandonou a caverna e foi em busca de novas formas de abrigo. Dessa forma, passou a utilizar estruturas de pedras para preencher seus espaços, além de materiais como lama e argila, conseguindo assim proteção do vento e do frio. Surgiu nesta época a ideia de usar agregados com substâncias mais resistentes de forma a promover maior dureza à mistura. Acredita-se ainda que a mistura cimentícia já tivesse sido notada pelo homem pré-histórico, quando percebeu que as pedras próximas às fogueiras soltavam um pó que endurecia com a ação da umidade do ar.

O concreto próximo ao que conhecemos hoje surgiu no século XIX, mas sem muitas evoluções até o século XX que foi quando o concreto foi patenteado como Cimento Portland e iniciou-se os estudos com essa “massa cimentícia” no uso estrutural, ou seja, concreto armado. Projetar e construir estruturas passou a ser uma arte inovadora cuja evolução é ligada ao progresso da sociedade ao longo da história da humanidade (CARVALHO, 2008).

Apesar do concreto ser um material viável na construção civil pela sua praticidade e fácil acesso, ele ocasiona em problemas que afetam a sustentabilidade, causando impactos ambientais consideráveis. Este assunto na construção civil tem sido discutido para que novos hábitos sejam adotados e também julgados como fatores importantes em decisões tomadas no processo de criação do projeto e na execução da obra. Ou seja, aplicar dentro das obras a gestão ambiental em harmonia com as atividades socioeconômicas (HELENE; ANDRADE, 2010).

Enquanto os sistemas de Gestão de qualidade tratam das necessidades dos clientes, os sistemas de gestão ambiental atendem às necessidades de um vasto conjunto de partes interessadas e às crescentes necessidades da sociedade sobre proteção ambiental. O desenvolvimento sustentável é como a fonte da capacidade de gestão e dos recursos técnicos e financeiros indispensáveis à resolução dos desafios ambientais que necessitam partilhar do entendimento de que deve haver um objetivo comum, e não um conflito, entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental, tanto para o momento presente como para as gerações futuras. (ANDRADE, TACHIZAWA, CARVALHO, 2004), figura 1.

Figura 1 - Cadeia resumida da construção civil



Fonte: Ministério das Cidades (2007)

4.1.1 Propriedades e produção do concreto comum

A fabricação do concreto é conhecida por muitos, desde os fabricados na própria obra até os que são usinados. Porém, alguns fundamentos sobre a sua produção devem ser de conhecimento de quem está produzindo o mesmo, como por exemplo o traço (proporção dos materiais para realizar a mistura) do concreto determinado pelo engenheiro deve ser seguido, o uso de padiolas para sua produção padronizada no canteiro de obras, escolha dos materiais e outros (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto é um material composto, produzido com água, agregados (areia, pedregulho e pedra britada, escória de alto forno) e cimento. Pode conter também

fibras, para melhoria das propriedades mecânicas, e aditivos, para melhoria das condições de preparação e das propriedades do concreto endurecido, como os tensoativos (incorporadores de ar e redutores de água), modificadores de pega (aceleradores e retardadores) e outros (pozolanas e microssílica) (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

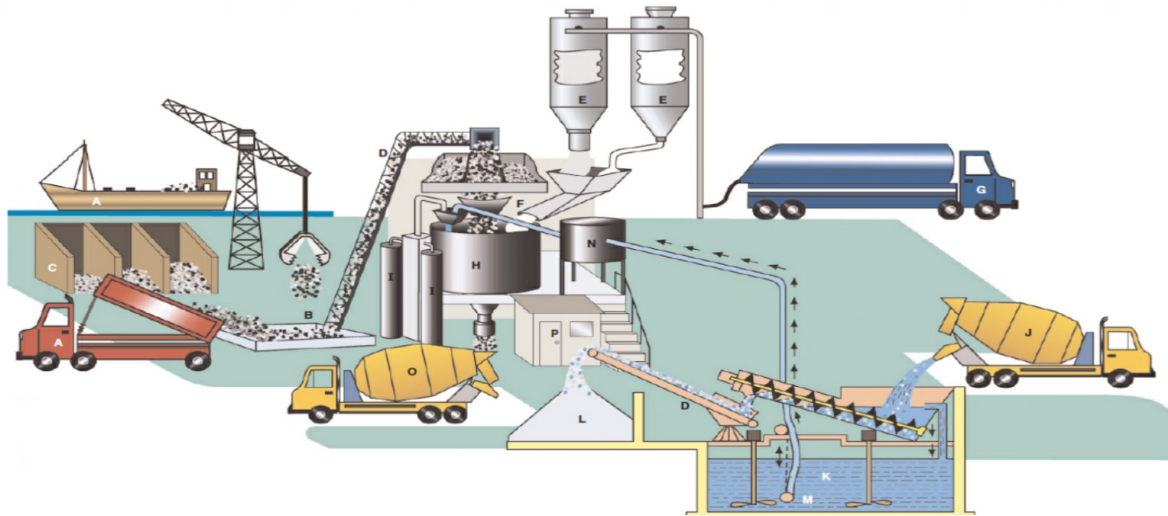
No Brasil, o concreto pode ser misturado pelos seguintes processos: processo manual para pequenas obras; concreto misturado em betoneiras da obra; concreto comprado de centrais de concreto e transportado em caminhões betoneiras (BOTELHO, 2006).

O amassamento manual do concreto, a empregar-se excepcionalmente em pequenos volumes ou em obras de pouca importância, deverá ser realizado sobre um estrado ou superfície plana impermeável e resistente. Neste tipo de amassamento, primeiramente mistura a seco, os agregados e o cimento, de maneira a obter-se cor uniforme; em seguida, adiciona-se aos poucos a quantidade de água necessária, prosseguindo-se a mistura até conseguir uma massa de aspecto uniforme. Não se é permitido misturar de cada vez, um volume de concreto superior a 100kg de cimento (BAUER, 2009).

A mistura mecânica é feita em betoneira, é aconselhado uma sequência, onde, coloca-se primeiramente uma parte da água e os demais materiais vêm seguindo uma ordem (brita, cimento, areia e o restante da água). Pode-se adotar, também, a sequência, na qual, se coloca a brita, metade da água, areia, cimento e o restante da água (SOUZA JÚNIOR, 2003).

Segundo Neville 1997, “o concreto dosado em central é particularmente útil em canteiros congestionados ou em construções rodoviárias onde se dispõe de pouco espaço para uma instalação de concreto e para estocagem de agregados”, figura 2.

Figura 2 - Processo produtivo do concreto

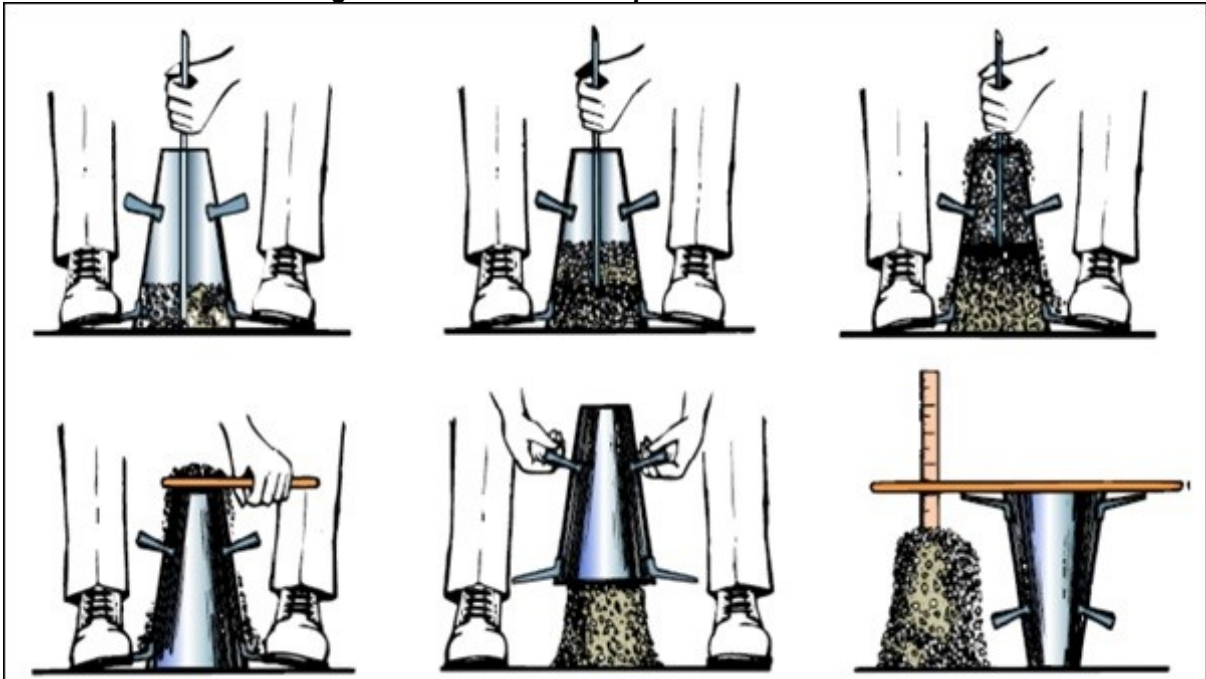


Fonte: https://site.ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/Concreto_blog/press-releases/concretousinado/ (2020)

As propriedades do concreto são avaliadas em duas condições diferentes, fresco e endurecido. O concreto fresco é considerado até o início da pega do aglomerante, já o endurecido é o resultado final pós pega do aglomerante. As suas propriedades almeçadas são encarregadas de assegurar a obtenção de uma mistura fácil de lançar, transportar, adensar, sem segregação dos materiais. (HELENE; ANDRADE, 2010)

O concreto fresco apresenta as seguintes propriedades: consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade. A consistência está relacionada a mobilidade da massa, o principal fator influente é o teor água/cimento, o principal teste usado é o Slump-Test (figura 3). A Plasticidade do concreto necessária resulta em um material que é fácil de moldar sem sofrer um rompimento. O poder de retenção de água é o contrário à exsudação que é o fenômeno de quando a água se separa do concreto e sobe para a área ali concretada, isso origina sequelas na estrutura deste concreto. A trabalhabilidade depende da natureza da obra e o que for definido em projeto para a execução adequada de forma coerente aos métodos previstos anteriormente, acrescentando que a segregação não deve existir para que o concreto seja classificado como trabalhável (HELENE; ANDRADE, 2010).

Figura 3 - Ensaio de Slump-Test ou abatimento



Fonte: Paula (2018)

Na fase de endurecimento do concreto são notáveis as seguintes propriedades: resistência, durabilidade, impermeabilidade e aparência. A resistência mecânica é a competência de o material sustentar as cargas que ele será submetido, alguns fatores influenciam na capacidade do concreto de resistir aos carregamentos, como: fator água/cimento, idade, forma e granulometria dos agregados, tipo de cimento e condições de cura. A durabilidade e a impermeabilidade estão diretamente ligadas, a capacidade de resistir as deteriorações que a estrutura fica exposta e impedir acesso de agentes agressivos são as definições para cada propriedade citada anteriormente. (HELENE; ANDRADE, 2010)

4.2 Bioconcreto

As inovações surgem em várias áreas de atuação e na construção civil também, onde engloba métodos construtivos, materiais que são aprimorados de acordo com as necessidades, entre outros. O avanço tecnológico do concreto foi marcante ao longo das décadas com a criação de aditivos, uso do mesmo como estrutura, melhoria nas propriedades e características. Com isso cientistas da área da engenharia civil, biologia e química uniram seus conhecimentos para

compreender o fenômeno do concreto auto curável (bioconcreto) (ARAUJO *et. al*, 2019).

O bioconcreto surgiu do estudo de Henk Jonkers, ele foi para a Universidade de Tecnologia de Delft em 2006. Seu estudo nasceu de um problema apresentado por acontecimentos negativos no concreto comum, a infiltração por capilaridade em estruturas. A água entra pelas micro fissuras causadas por flexão gerada pelo lençol freático e que se propagam por toda a estrutura. Vale lembrar que o contato com a água gera oxidação das ferragens que estão na parte interna do concreto e diante de todo esse contexto, Jonkers compreendeu que essa complicação poderia ser estudada resultando em uma solução viável (ARAUJO *et. al*, 2019).

Pesquisar sobre o bioconcreto surgiu pelo microbiologista Henk Jonkers e o Engenheiro especializado em materiais de construção Eric Schlangen da Universidade Técnica de Delft na Holanda. Os dois cientistas iniciaram o estudo desta técnica em 2006 quando um engenheiro questionou sobre a utilização de bactérias em concretos que teria a capacidade de se “curar” (SANTOS, 2013).

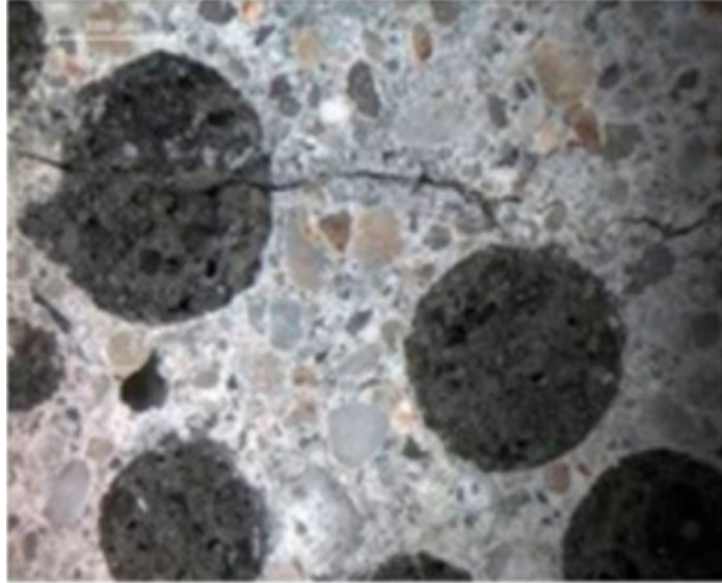
Segundo Araujo *et. al.* (2019) o bioconcreto é um produto Microbially induced carbonate precipitation (MICP) - Precipitação de carbonato induzida microbiologicamente - que tem como objetivo diminuir os espaços entre as partículas do concreto e também as fissuras geradas por diferentes patologias naturais e provocados por esforços de cargas.

Conforme Brito *et al.* (2018), o bioconcreto é uma mistura do concreto tradicional, a bactérias e Lactato de cálcio (alimento das bactérias), uma vez que, a bactéria é ativada quando entra em contato com a água ou oxigênio. Se o concreto começa a se degradar, os *Bacillus Pseudofirmus* se abrem e por meio de reações químicas, as bactérias auxiliam na regeneração do concreto.

O bioconcreto é um produto da MICP que tem como objetivo diminuir os espaços entre as partículas do concreto e também as fissuras geradas por diferentes patologias (REIS, 2017).

O processo de MICP é uma técnica ambiental que se usa para a remediação de íons cálcio, radio nucleotídeos e metais potencialmente tóxicos, dentre outros. Este processo está sendo pesquisado na construção civil que é uma área mais ampla, que se utiliza na proteção de argamassas e concretos (SILVA; PASSARINI, 2017), figura 4.

Figura 4 - Bioconcreto



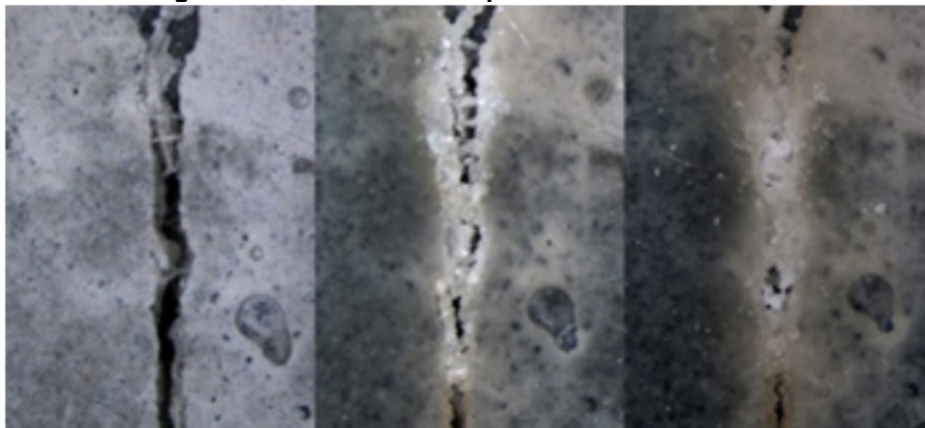
Fonte: Alves (2019)

4.2.1 As bactérias e sua aplicação no concreto

A pesquisa de Dr. Jonkers, que estudava a regeneração de diversos materiais, encontrou duas bactérias que manifestaram uma eficácia na produção do calcário que é necessário para a restauração do concreto (figura 5), são elas: *Bacillus pseudofirmus* e *Sporosarcina pasteurii* (ARAUJO, 2019), figura 6.

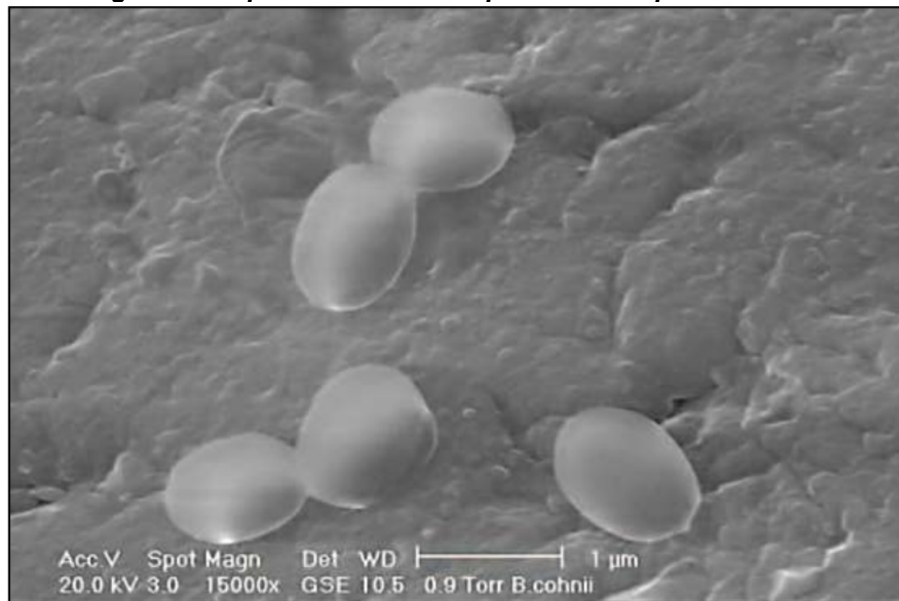
Eles são capazes de ficar dormentes por até 200 anos e só começam a trabalhar de forma importante somente depois que rachaduras aparecem e entram em contato com a água [2]. Quando o concreto racha, o ar e a umidade acionam a bactéria para começar a “mastigar” o lactato de cálcio. Eles convertem o lactato de cálcio em calcita, um ingrediente do calcário, selando as rachaduras (ARAUJO, 2019, p. 46).

Figura 5 - Bioconcreto em processo de "autocura"



Fonte: Goyal (2015)

Figura 6 - Esporos bacterianos por microscopia eletrônica



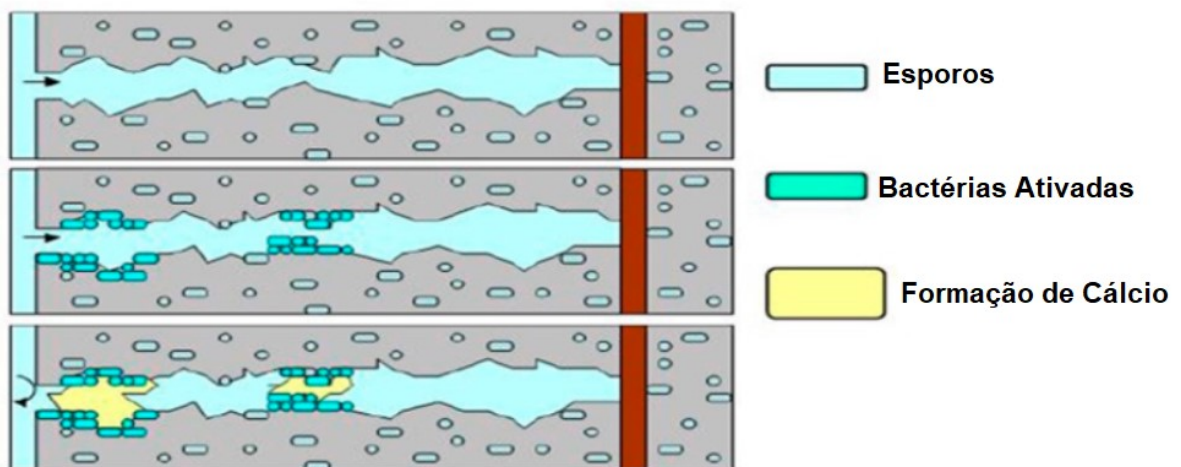
Fonte: Arnold (2011)

As bactérias são responsáveis pela auto-cicatrização do concreto que ocorre da seguinte forma:

O processo de auto-cicatrização do concreto se dá a partir do momento em que essas bactérias inativas presentes no concreto são ativadas ao entrarem em contato com a água, que entra nas fissuras formadas. Essas fissuras são, então, rapidamente preenchidas e seladas por meio da precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), produzido pelo aumento do número de bactérias, mediada metabolicamente pelos micro-organismos presentes no concreto (FREITAS, 2021, p. 7).

Como é possível ver na Figura 7, apresentada a seguir.

Figura 7 - Esquema de autocicatrização em bioconcreto



Fonte: Alves (2019)

Para manter as bactérias dormentes até que ocorra a manifestação, essas são encapsuladas em partículas pequenas compostas de argila expansível e lactato de cálcio. Logo, quando surge uma fissura, as cápsulas são rompidas e as bactérias entram em contato com a água e começam a se alimentar do cálcio que reage com o carbono e produz o calcário, que por sua vez preenche as fissuras existentes. (FREITAS *et. al.*, 2021, p. 7-8)

4.2.2 Propriedades e produção do bioconcreto

O bioconcreto divide propriedades parecidas com as do concreto comum, porém ele advém de estudos para melhorar a qualidade e suas propriedades como se fosse um concreto com aditivo o qual atende a cada necessidade desejada prevista em um projeto.

A durabilidade do bioconcreto amplia a vida útil do concreto, sua resistência a compressão é intensificada devido ao preenchimento dos vazios presentes na estrutura (quadro 1) que garante condições seguras de uso. A viabilidade econômica é um destaque pelo bioconcreto que diminui a necessidade de realizar manutenções na estrutura (SILVA; PASSARINI, 2017).

“Para melhor exemplificar a durabilidade do bioconcreto a longo prazo, na quadro 1 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão no concreto durante o período de 365 dias” (FREITAS *et. al.*, 2021, p. 8).

Quadro 1 - Relação de resultados de ensaio de resistência à compressão do concreto

| Dias | Concreto Convencional (Mpa) | Bioconcreto (Mpa) |
|------|-----------------------------|-------------------|
| 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: Adaptação de Silva e Passarini (2018)

“De acordo com os dados é notório o acréscimo da resistência com o passar dos dias. É perceptível, em comparação ao concreto convencional, que o bioconcreto apresenta uma resistência considerável à compressão” (FREITAS *et. al.*, 2021, p. 9).

Para promover a cura autonômica, são liberados sinais químicos no local da fratura que iniciam uma resposta sistemática e transmite agentes restauradores para o local da fratura. O bioconcreto é uma autocura do concreto que é feito através da descarga de sinais químicos na fissura do concreto que então aumenta cicatrização autônoma. O bioconcreto foi desenvolvido como resultado da fissuração no concreto que resultou em um caminho para substâncias negativas, como dióxido de carbono, cloretos, água e oxigênio, para evitar acessar o aço causando ferrugem ou corrosão, eventualmente levando a destruição do concreto. O ato de fissurar o concreto é um desafio devido ao reparo necessidades, o que implica despesas adicionais, por exemplo, reparação de pontes de auto-estradas (ALVES, 2019).

No processo de formação de fissuras de vedação, são geradas bactérias que também podem ser usadas para produzir calcário e criar gomas. Pode ser incorporado para formar rachaduras ou todo as lacunas para formar calcário e, em seguida, tampe as gengivas. O concreto geralmente é exposto a ambientes muito hostis, portanto, as bactérias usadas podem resistir às condições ambientais adversas de alto pH alcalino produzindo calcário simultaneamente. Três culturas de bactérias foram idealizadas por pesquisadores do laboratório a expandir em circunstâncias alcalinas que os tornam apropriados para uso em concreto (ALVES, 2019).

Uma das vias pelas quais essas bactérias se desenvolvem é conhecida como via autotrófica. O procedimento é feito na existência de dióxido de carbono para o qual a conversão de dióxido de carbono carbonatação por micróbios é feito de três maneiras únicas, a saber, fotossíntese anoxigênica (por bactérias roxas), fotossíntese oxigenada (por cianobactérias) e não metilotróficas metanogênese (por arqueia metanogênica). Nesta produção, o dióxido de carbono e o oxigênio são convertidos em metano de acordo com a via da metanogênese não metilotrófica. Depois que o carbonato é produzido, o produto com a mistura de íons de cálcio reagirá para produzir precipitação de carbonato de cálcio (ALVES, 2019).

A preparação do bioconcreto pode ser de duas formas: a aplicação direta e o encapsulamento das bactérias. No primeiro método, a bactéria é diretamente aplicada no bioconcreto e integrada à construção. A argamassa e o líquido de reparo entram em ação quando surgem danos críticos no concreto.

Os esporos bacterianos são encapsulados dentro de pellets de argila de dois a quatro milímetros de largura e adicionados à mistura de cimento com nitrogênio separado, fósforo e um agente nutricional. Este procedimento inovador garante que as bactérias permaneçam inativas no concreto por até 200 anos (ALVES, 2019, p. 29).

O segundo método, as bactérias são encapsuladas unidas ao lactato de cálcio em pastilhas de argilas expandidas tratadas e adicionadas a mistura do concreto.

O encapsulamento das bactérias junto ao lactato de cálcio em pastilhas geralmente de argilas expandidas tratadas e adicionadas juntas a mistura do concreto. Quando há fissura no concreto, a estrutura dos grânulos de argila é quebrada, assim dando o início do tratamento de reparação (SILVA; PASSARINI, 2017, p. 51).

Como a figura 8 mostra adiante.

Figura 8 - Argila expandida



Fonte: Jonkers (2015)

4.3 Patologia na engenharia civil

Segundo Nazário e Zancan (2011), o termo patologia, tem origem grega *páthos* = *doença*, e *logos* = estudo, e, portanto, pode ser entendido como o estudo da doença, esse termo é muito utilizado nas áreas da ciência. Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações. A patologia é o estudo que aponta as causas e efeitos das adversidades que surgem nas

edificações, culminando em ações de diagnóstico e possibilitando a solução do problema.

Reforçando que o concreto é o material mais utilizado na construção no mundo todo, seu custo baixo para sua produção, execução fácil, se adapta a qualquer formato, é uma excelente solução para obter uma estrutura monolítica e hiperestática, resistência a atmosfera, térmica e resistência mecânica alta e uma excelente durabilidade são vantagens entre os materiais (ALVES, 2019).

Algumas desvantagens também devem ser consideradas como, peso próprio, baixa proteção térmica e isolamento acústico. Além disso, as rachaduras da região de tração, que podem, contudo, ser controlado usando armadura de tração. A presença de rachaduras na superfície de estruturas reforçadas é uma das patologias mais comuns. É um fenômeno natural e inevitável do concreto predisposto para agravar a crescente busca pelo uso dos componentes de resistência e pode manifestar em si mesmo em cada uma das três fases de sua vida: plástica, endurecimento e concreto duro (ALVES, 2019).

A causa mais comum de fissuras são concretos extremamente secos (execução mal feita da cura), retração, variação de temperatura, ataques do meio ambiente, acidentes, corrosão do reforço, carregamento, erro de desenho, detalhamento escasso no desenho, erro de execução, fundação e cargas estruturais (tensão, compressão, flexão e cisalhamento) (ALVES, 2019).

Geralmente, o concreto é um material extremamente resistente e, quando construídas corretamente e nas condições certas, as estruturas de concreto podem facilmente durar de 50 a 100 anos ou mais. Apesar disso, diversas manifestações patológicas podem atingir tais estruturas, sendo uma delas a inevitável fissuração (FREITAS *et. al.*, 2021).

A produção do concreto é definida pelos elementos que são usados em sua massa. A metodologia utilizada, a qualidade dos materiais utilizados em sua composição e por fim as condições externas que este concreto se encontra exposto (intemperes, temperatura, tensões, produtos químicos e outros) vão contribuir para a gerar futuras patologias no concreto. (FREITAS *et. al.*, 2021)

Dependendo do tipo de condição que o concreto for submetido definirá também qual tipo de patologia se desenvolverá, seja ela uma condição intrínseca ou extrínseca. Deste modo, é necessário a busca por alternativas de remediação destas patologias, que sejam eficientes e com baixo custo, uma vez que reparos em

concreto demandam tempo, mão de obra e que possuam uma boa aderência ao concreto original, ocasionando assim muitos gastos com manutenção (ARAUJO, 2019).

4.4 Bioconcreto no Brasil e no mundo

No Brasil a maioria das construções utilizam o concreto armado como o material principal da obra. O concreto atende vários requisitos que o favorecem para que ele seja muito mais usado do que outros materiais que temos presentes na área da engenharia civil. Diante disso, para atender as demandas sustentáveis do mercado e também do custo benefício obteve-se conhecimento do bioconcreto. Uma tecnologia inovadora, porém, pouco conhecida pelos brasileiros. Seu alto valor comparado ao concreto comum faz com que ainda seja inviável a sua utilização em obras. Não se tem dados de aplicação do bioconcreto em obras no Brasil, por enquanto apenas estudos sobre o tema (VELOSO *et. al.*, 2019).

O uso do bioconcreto em obras pelo mundo teve início na prefeitura de Osaka – Japão e uma ponte no Michigan – EUA. A edificação japonesa de aproximadamente 300 metros de altura é considerada uma altitude alta de trabalho no Japão, por ser um país com frequentes terremotos e conseqüentemente suas construções podem aparecer rachaduras e fissuras advindas do movimento. A ponte construída em Michigan – EUA, elimina o uso de articulações tradicionais expansivas e evita a preocupação constante de manutenção na estrutura (VELOSO *et. al.*, 2019).

Para o monitoramento do concreto biológico, uma residência foi construída (figura 9) a qual é inspecionada regularmente. Portanto, é possível avaliar as possíveis conseqüências de inserir a bactéria no concreto (VELOSO, 2019)

Figura 9 - Residência construída com bioconcreto

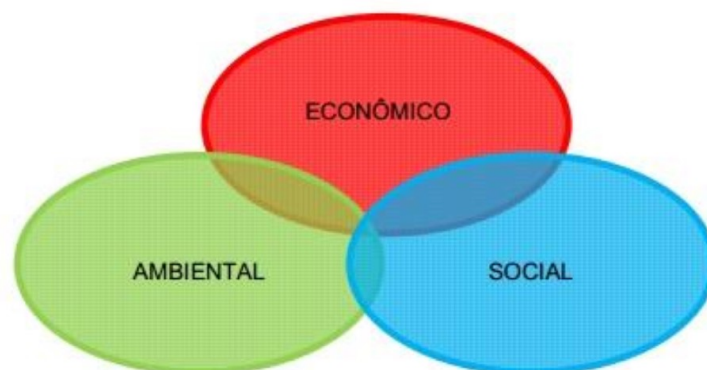


Fonte: PET ENG. CIVIL UFSC, 2016.

4.5 Sustentabilidade ambiental na construção civil

A sustentabilidade ambiental está alicerçada nos pilares econômicos, ambiental e social que constituem a sua base estrutural (figura 10). Nesse sentido “o conceito de sustentabilidade é uma questão global ampla, que compreende vários estudos inter-relacionados sobre os meios social, ambiental e econômico.” (BUONO, 2014, p.17)

Figura 10 - Alicerces da sustentabilidade



Fonte: ARAÚJO E MEDONÇA (2009)

A construção civil tem envolvimento direto com a sustentabilidade ambiental, sendo ela responsável por, segundo Moura e Motta 2013, 25% do total dos resíduos

sólidos gerados no planeta, o consumo de 25% da água disponível e a ocupação de 12% das terras do planeta. É o setor que mais extrai materiais do meio natural, 30%, gerando um consumo de energia entre 40% a 50% da energia total consumida.

Além dos problemas citados acima, a construção civil também é uma grande emissora de gás carbônico na atmosfera sendo que

[...] O cimento é um dos principais materiais de construção, possuindo um elevado consumo mundial [...] esse material aglomerante é de grande importância para o setor, porém também é elevada a geração de impactos [...] na sua produção, por exemplo, ocorre a emissão de grandes quantidades de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. (LARUCCIA, 2014, p. 70)

Os problemas ambientais produzidos pela construção civil são gatilhos para questionamentos sobre o assunto. Diante disso, no ano de 1960 estudiosos do mundo começaram a dedicar maior atenção aos impactos gerados pelo setor e com isso surgiram debates ambientais a respeito do futuro do planeta. (CORRÊA, 2009).

Os impactos ambientais desde então se tornaram pautas para discussões das quais originaram as ações sustentáveis, ou seja, aos poucos vão surgindo estratégias e soluções para evitar a extinção de alguns materiais retirados da natureza para o consumo da indústria da construção civil. (SILVA JUNIOR *et. al.*, 2022)

A tecnologia da construção civil começa a adotar medidas mais sustentáveis desde a década de 60. Este desenvolvimento se faz necessário para que o aumento populacional não degrade tanto o meio ambiente, não aumente a poluição, não tenha um crescimento desordenado, evite a desigualdade social, entre outras complicações. (SILVA JUNIOR *et. al.*, 2022)

Em vista disso as ações sustentáveis na construção civil surgiram para amenizar problemas e também para serem adotadas em um planejamento mais sustentável para as obras. Neste sentido deve atentar-se as seguintes ações ao planejar, projetar e executar uma obra:

- Aproveitamento de condições naturais locais.
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural.
- Implantação e análise de entorno.

- Não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação da implantação da obra.
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários.
- Uso de matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo.
- Redução do consumo energético.
- Redução do consumo de água.
- Reduzir, reutilizar e reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos.
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável.
- Educação socioambiental: conscientização dos envolvidos no processo (KAVA, 2011, p. 8-9)

O concreto por ser o material mais utilizado na construção tornou-se objeto de estudos para torna-se mais eficiente e sustentável. Dessa forma as pesquisas sustentáveis em relação ao concreto englobam a ação do tempo, um dos causadores dos desgastes estruturais como fissuras, trincas e outros problemas. A tecnologia dos materiais procura por soluções para que o concreto seja mais resistente à degradação do tempo e conseqüentemente interfira menos no meio ambiente com redução das demolições indesejadas e forçadas (SILVA JUNIOR *et. al.*, 2022).

4.6 Impactos ambientais gerados pela construção civil

Para Laruccia (2014), a construção civil é grande responsável por vários impactos e também por processos específicos da produção. Tendo em vista que o cimento é o principal material da construção civil e sua produção é proporcional ao seu alto consumo, por ele ser um aglomerante essencial no setor, ele é um grande causador das emissões do gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Lembrando que a construção quando finalizada continua gerando impactos ao meio ambiente que por sua vez foi alterado pelo homem. Sendo necessário o consumo diário, por uma

enorme população, de recursos como água e eletricidade que não deixam de gerar degradação ambiental.

A construção civil gera impactos desde a extração dos seus matérias e até o fim da vida útil de uma construção. Acrescentando ao que foi dito anteriormente, o cimento e sua produção geram muitos impactos ao meio ambiente e por isso Laruccia (2014) diz que

[...] é fato a sua importância econômica. Porém, não é apenas esse aspecto que deve ser levado em conta. O benefício econômico, em muitos casos acaba tendo um contraste quando comparado com aspectos sociais e ambientais (LARUCCIA, 2014, p. 72).

Ela ainda acrescenta os seguintes fatores gerados pela construção civil

A atividade de mineração é uma atividade que traz consigo características degradantes. [...] Questões como retirada da vegetação nativa e cobertura vegetal e com isso perda de espécies animais que habitavam aquele local, poluição da água, do ar, poluição sonora, vibração, contaminação do lençol freático, emissão de particulado, subsidência do terreno (movimentação do terreno), em alguns casos destruição de mata ciliar, entre outros, são exemplos de ações indesejáveis geradas pela mineração. Ainda, quanto ao caráter social, tem-se a depreciação de imóveis circunvizinhos, problemas quanto ao tráfego urbano, ruído e vibração (LARUCCIA, 2014, p. 72).

Segundo Paiva e Ribeiro (2011) o reaproveitamento de materiais como madeira, cuidado com os desperdícios de areia, cimento, cal e argamassa. Para que isso funcione é necessário ser feito um planejamento de sustentabilidade e conscientização de construtoras. Ainda nesse sentido de sensibilização

da participação consciente dos cidadãos e melhoria dos processos, no sentido de construir as condições para alcançar o desenvolvimento sustentável, pelo uso de materiais renováveis, das melhores tecnologias e inovações nas atividades de monitoramentos e controles, bem como tornar mais eficientes ambiental e economicamente os processos produtivos, minimizando os impactos socioambientais, entende-se que os custos de produção e de prestação de serviços podem diminuir, gerando maior competitividade, inclusão social e assim a sustentabilidade (BRIZOLLA, 2017, p. 7).

Outras medidas podem ser adotadas para a minimizar os impactos ambientais. Além da conscientização das pessoas, existem critérios legais que regulamentam as atividades realizadas desde o início das produções dos materiais da construção civil que devem ser seguidos pelos construtores. Segundo Laruccia (2014), “o licenciamento ambiental é uma obrigação legal destinada a todo

empreendimento ou atividade que cause degradação ou poluição ao meio ambiente” e ainda completa sobre o assunto “uma das exigências para ter acesso ao licenciamento ambiental é a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental, o EIA, e o posterior Relatório de Impacto Ambiental, o RIMA.”

No Brasil existe as normas (tabela 2) que tratam dos resíduos sólidos que devem ser observadas pelos projetos e obras de construção civil. A NBR 10.004 de 2004 trata da definição e classificação de resíduos sólidos. Ela trata da definição de resíduos sólidos como sendo

A NBR 10.004 de 2004 faz a classificação de resíduos sólidos e na construção civil os resíduos gerados também causam impactos no meio ambiente. Então temos como definição de resíduos sólidos

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004)

Quadro 2 - Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCC

| Norma | Descrição |
|------------|--|
| NBR 10.004 | Resíduos sólidos (classificação) |
| NBR 15.112 | RCC e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem (diretrizes para projetos, implantação e operação). |
| NBR 15.113 | RCC e resíduos inertes - aterros (diretrizes para projetos, implantação e operação). |
| NBR 15.114 | RCC - áreas para reciclagem (diretrizes para projetos, implantação e operação). |
| NBR 15.115 | Agregados reciclados de RCC - execução de camada de pavimentação (procedimentos). |
| NBR 15.116 | Agregados reciclados de RCC - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (requisitos). |

Fonte: Fernandez (2012)

A junção dos resíduos sólidos é conhecida como entulho de obra, nesse sentido a resolução 307 do CONAMA diz que eles

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. (CONAMA, 2002, p. 1).

Para completar o que a resolução diz que

os geradores de tal resíduo devem ter como objetivo prioritário não gerá-lo, e, como secundário, devem buscar reduzi-lo, reutilizá-lo, reciclá-lo e cuidar para que a destinação final seja correta, uma vez que não é possível sua disposição em aterros domiciliares, área de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. A responsabilidade pelo entulho gerado é do gerador, sendo a Prefeitura corresponsável por pequenas quantidades (geralmente menos que 50 kg ou 100 lts) (LARUCCIA, 2014, p.76).

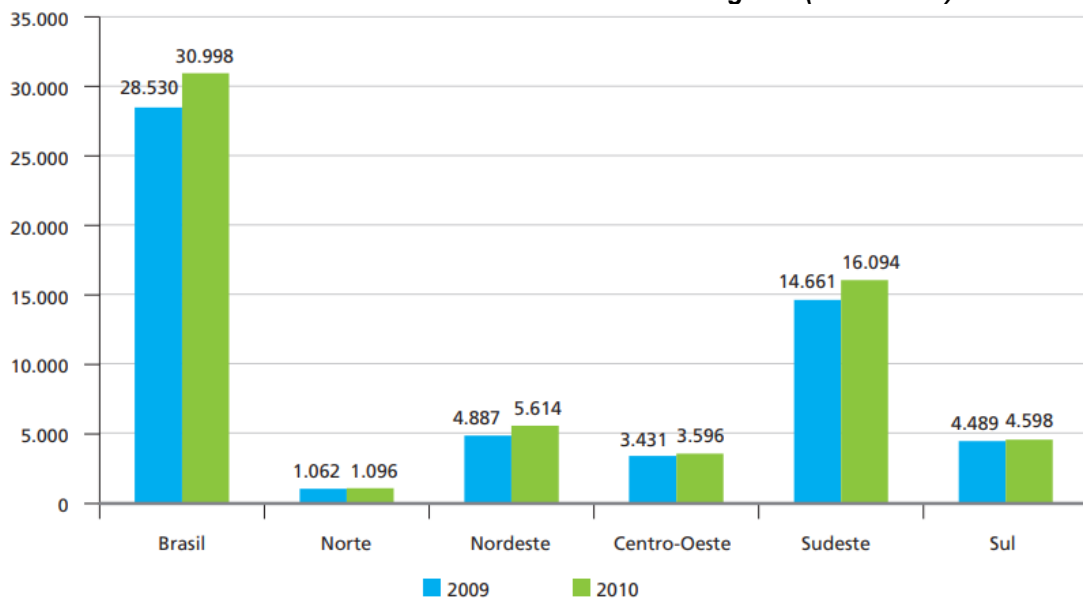
A tabela 1 e o gráfico 1 apresentam os indicadores da coleta de resíduos da construção civil (RCC) por ano no Brasil, distribuído por região.

Tabela 1: Estimativa de coleta de RCC

| Brasil | Quantidade coletada de RCC de origem pública (t/ano) | Quantidade coletada de RCC de origem privada (t/ano) |
|-------------------------------------|--|--|
| Amostra da pesquisa: 372 municípios | 7.192.372,71 | 7.365.566,51 |

Fonte: SNIS (Brasil, 2010)

Gráfico 1 - Total de RCC coletados - Brasil e regiões (em 1 t/ano)



Fonte: Abrelpe (2011)

Os resíduos gerados na construção civil passam por um reconhecimento dos principais materiais que compõem o entulho gerado pelas obras (tabela 2) e as fontes geradoras de RCC (tabela 3).

Tabela 2 - Composição média dos materiais de RCC de obras no Brasil (%)

| Componentes | Porcentagem |
|-------------------|-------------|
| Argamassa | 63 |
| Concreto e blocos | 29 |
| Outros | 7 |
| Orgânicos | 1 |
| Total | 100 |

Fonte: Santos (2009)

Tabela 3 - Fonte geradora e componentes dos RCC

| Componentes | Trabalhos rodoviários | Escavações | Sobras de demolições | Obras diversas | Sobras de limpeza |
|-------------------------|-----------------------|------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Concreto | 48 | 6,1 | 54,3 | 17,5 | 18,4 |
| Tijolo | - | 0,3 | 6,3 | 12,0 | 5,0 |
| Areia | 4,6 | 9,6 | 1,4 | 3,3 | 1,7 |
| Solo, poeira, lama | 16,8 | 48,9 | 11,9 | 16,1 | 30,5 |
| Rocha | 7,0 | 32,5 | 11,4 | 23,1 | 23,9 |
| Asfalto | 23,6 | - | 1,6 | 1 | 0,1 |
| Metais | - | 0,5 | 3,4 | 6,1 | 4,4 |
| Madeira | 0,1 | 1,1 | 1,6 | 2,7 | 3,5 |
| Papel/material orgânico | - | 1,0 | 1,6 | 2,7 | 3,5 |
| Outros | - | - | 0,9 | 0,9 | 2,0 |

Fonte: Santos (2009)

As tabelas trazem informações importantes para ter conhecimento sobre os impactos ambientais gerados pelo concreto no Brasil.

A NBR ISO 14001:2004 tem como objetivo

especificar os requisitos relativos a um sistema da gestão ambiental, permitindo a uma organização desenvolver e implementar uma política e objetivos que levem em conta os requisitos legais e outros requisitos por ela subscritos e informações referentes aos aspectos ambientais significativos. Aplica-se aos aspectos ambientais que a organização identifica como aqueles que possa controlar e aqueles que possa influenciar. Em si, esta Norma não estabelece critérios específicas de desempenho ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 1).

Essa norma serve para que alguns termos sejam explicados antes de fazer um sistema de gestão ambiental, tais como meio ambiente, aspecto e impacto ambiental, desempenho ambiental, política ambiental e outros. Além disso, ela mostra os requisitos de um sistema de gestão ambiental, a sua implementação e operação, verificação. A norma ainda diz que

O aprimoramento do desempenho ambiental. Por esta razão, esta Norma baseia-se na premissa de que a organização irá, periodicamente, analisar e avaliar seu sistema de gestão ambiental, para identificar oportunidades de

melhoria e implementá-las. A velocidade, extensão e temporalidade deste processo de melhoria contínua são determinados pela organização, à luz das circunstâncias econômicas, entre outras. Melhorias no sistema de gestão ambiental têm como objetivo resultar em novas melhorias em seu desempenho ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 10).

5 METODOLOGIA

Segundo Gil (1999) os dados obtidos na pesquisa não são indiferentes à forma de obtenção. Portanto o trabalho precisa indicar minuciosamente os procedimentos adotados na investigação. Ou seja, todo o caminho percorrido para a realização da pesquisa.

Para Carvalho (1989, p. 99), “pesquisar, num sentido amplo, é procurar uma informação que não se sabe e que se precisa saber. Consultar livros e revistas, examinar documentos, conversar com pessoas, [...] são formas de pesquisa”.

A natureza da pesquisa de que se trata este TCC foi exploratória com análise de textos brasileiros e não brasileiros. As fontes internacionais foram relevantes para a pesquisa por se tratar de um estudo ainda pouco desenvolvido no Brasil.

Na primeira parte deste relatório apresenta-se uma análise teórica sobre o concreto comum e o bioconcreto. Para a busca das fontes utilizadas neste trabalho, foram usadas palavras chaves como sustentabilidade ambiental, impacto ambiental na construção civil, gestão ambiental, sustentabilidade em obras, concreto e bioconcreto, essas foram algumas palavras usadas. As ferramentas utilizadas para auxílio das pesquisas realizadas foram o Google Acadêmico e Bibliotec.

Como o tema é abrangente, os assuntos tratados neste trabalho foram filtrados para alcançar os objetivos traçados inicialmente neste TCC, dessa forma foi possível encontrar o material necessário para o desenvolvimento teórico presente.

Além da pesquisa exploratória, fora feito uma análise e construção de quadros comparativos entre o concreto comum e o bioconcreto, de forma a obter uma comparação dos impactos ambientais gerados por cada um dos dois o que viabilizou a análise final deste trabalho.

A coleta de dados a respeito dos aspectos e impactos ambientais gerados pelo concreto e bioconcreto está representada no quadro 3. Os dados para seu preenchimento, foram utilizados valores tabelados por Assumpção (2018) e Seiffert (2002).

Quadro 3 - Quadro matriz para coleta de dados dos impactos e aspectos ambientais

| ATIVIDADE | ASPECTO | IMPACTO | Abrangência | Gravidade | Frequência | Probabilidade | Importância | SIGNIFICÂNCIA |
|-----------|---------|---------|-------------|-----------|------------|---------------|-------------|---------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Fonte: Adaptação Assumpção (2018) e Seiffert (2002)

Para a classificação dos impactos ambientais associados as etapas do processo de produção do concreto e do bioconcreto, quanto ao seu grau de significância, utilizou-se os seguintes critérios que estão apresentados nos Quadros 4 e 5 respectivamente.

Quadro 4 - Critérios de análise de significância para classificação dos impactos ambientais

| ABRANGÊNCIA (extensão do dano) | | |
|--|---|---|
| LOCAL | 1 | Dentro dos limites da empresa |
| REGIONAL | 3 | Afetam uma região geográfica razoavelmente bem definida |
| GLOBAL | 5 | Amplitude de conseqüências que afetam toda a humanidade |
| GRAVIDADE (capacidade de reversão) | | |
| BAIXA | 1 | Danos pouco significativos, reversíveis em curto prazo. |
| MÉDIA | 3 | Danos consideráveis, reversíveis a médio prazo. |
| ALTA | 5 | Danos severos com efeitos irreversíveis a médio prazo. |
| FREQUÊNCIA (ocorrência em situação normal ou anormal) | | |
| BAIXA | 1 | Ocorre raramente, uma vez por mês ou menos. |
| MEDIA | 3 | Ocorre periodicamente, mais de uma vez por mês. |
| ALTA | 5 | Ocorre continuamente. |
| PROBABILIDADE (ocorrência em situação de risco) | | |
| BAIXA | 1 | Ocorre menos de uma vez por mês |

| | | |
|-------|---|--------------------------------|
| MÉDIA | 3 | Ocorre mais de uma vez por mês |
| ALTA | 5 | Ocorre diariamente |

Fonte: Adaptado de Assumpção (2018) e Seiffert (2002).

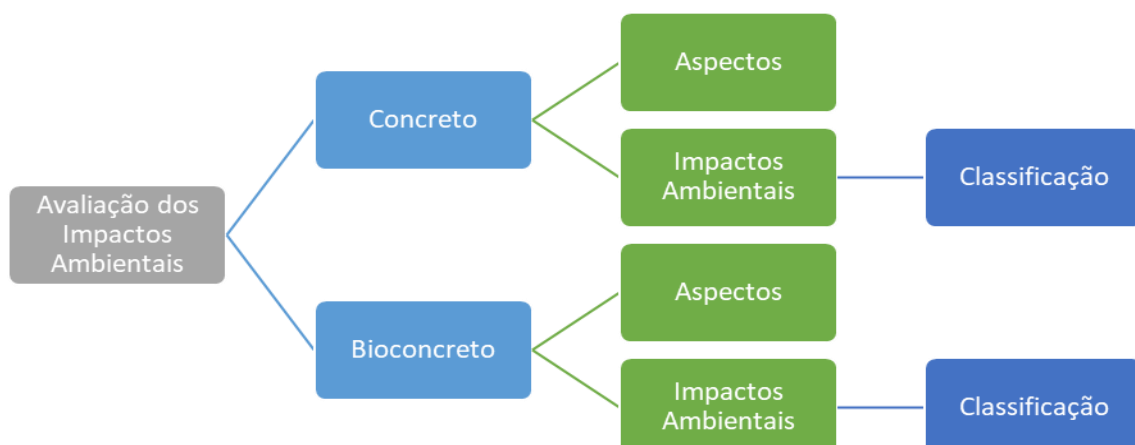
Quadro 5 - Análise de significância para classificação dos aspectos e impactos ambientais

| IMPORTÂNCIA (IM) |
|--|
| A importância é o valor resultante da soma dos graus de abrangência, gravidade, frequência ou probabilidade. |
| SIGNIFICÂNCIA (SI) |
| MUITO SIGNIFICATIVO (MS) – Serão considerados Muito Significativos , os aspectos/impactos com resultado de importância entre 15 a 20 e/ou que apresente Requisitos Legais e/ou Partes Interessadas associadas. |
| SIGNIFICATIVO (SG) – Serão considerados Significativos , os aspectos/Impactos com resultado de importância entre 7 a 14 e que não apresente Requisitos Legais ou Partes Interessadas associadas. |
| NÃO SIGNIFICATIVO (NS) – Serão considerados Não Significativos os aspectos/Impactos com resultado de importância entre 3 a 6 e que não apresente Requisitos Legais e Partes Interessadas associadas. |

Fonte: Adaptado de Assumpção (2018) e Seiffert (2002).

Para a construção de cada etapa do tópico dos resultados, o fluxograma a seguir foi criado para compreensão da metodologia aplicada para buscar os resultados esperados inicialmente desta pesquisa.

Figura 11: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento dos resultados



Fonte: Autoria própria (2022)

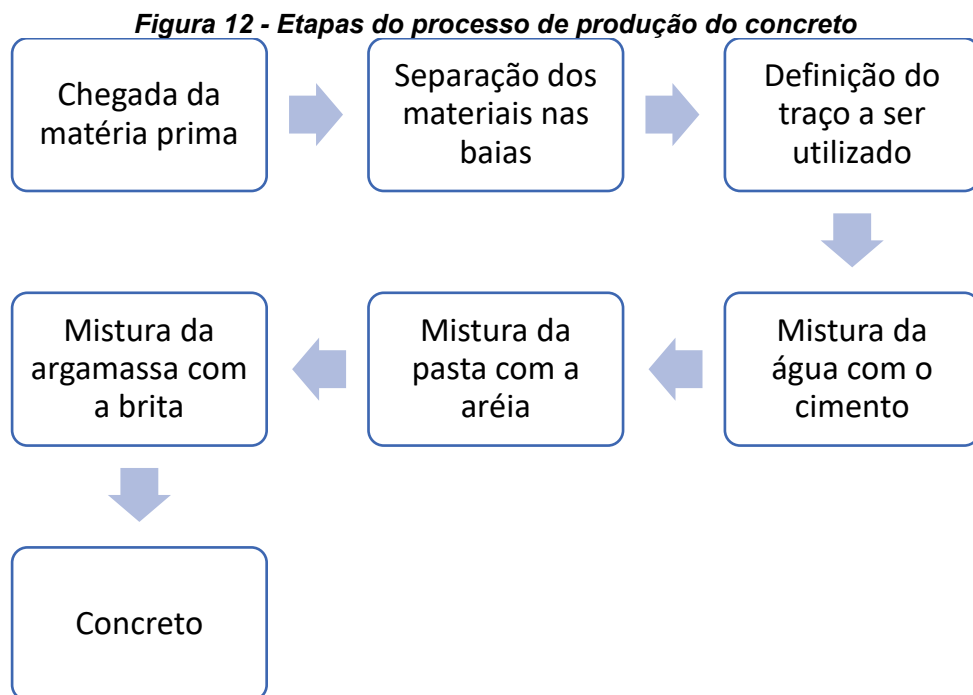
A avaliação dos impactos ambientais fora feita para cada material. Após isso os aspectos e impactos ambientais do concreto e bioconcreto foram coletados e inseridos no quadro 3 apresentado anteriormente. Adiante, os impactos ambientais dos materiais passaram por uma classificação de valores tabelados como mostrado nos quadros 4 e 5.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados deste trabalho.

6.1 Etapas do processo produtivo do concreto convencional

Para coletar os aspectos e impactos ambientais gerados pelo concreto fez-se necessário a busca pelo conhecimento sobre o processo de produção descrito na figura 13. Em seguida, tem-se o quadro 6 que apresenta os aspectos e impactos ambientais da produção do concreto.



Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 6 - Avaliação dos aspectos e impactos ambientais do processo de produção do concreto

| ATIVIDADE | ASPECTO | IMPACTO | Abrangência | Gravidade | Frequência | Probabilidade | Importância | SIGNIFICÂNCIA |
|--------------------|------------------|----------------------|-------------|-----------|------------|---------------|-------------|---------------|
| Chegada da matéria | Emissão de gases | Poluição atmosférica | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|----|----|
| prima | na atmosfera | | | | | | | |
| | Consumo de óleo diesel | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 3 | 5 | 18 | MS |
| Mistura da água e do cimento | Consumo de água | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |
| | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização do cimento | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |
| | | Emissão de CO ₂ na atmosfera | | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 |
| Mistura da pasta com a areia | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização da areia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| Argamassa misturada com brita | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização de brita | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |

Fonte: Adaptação Assumpção (2018) e Seiffert (2002)

Diante do quadro 6, percebe-se os grandes impactos ambientais gerados pelo uso do concreto diariamente. Para que fique mais claro os impactos causados pelo o uso do concreto, no gráfico 2 foi produzido a partir dos seguintes cálculos.

$$x = \frac{14.557.939,22 \times 29}{100}$$

$$x = 4.221.802,3738 \text{ ton/ano}$$

Os valores usados para o cálculo acima advêm das tabelas 1 e 2. Da tabela 1 somou-se os valores da coluna 1 e da coluna 2 obtendo o resultado de 14.557.939,22 ton/ano. Para obter o valor 4.221.802,3738 ton/ano, utilizou-se o valor do material concreto encontrado na tabela 2 (29%). A resultante do cálculo anterior mostra a quantidade de resíduo de concreto gerado por ano no Brasil.

$$x = \frac{4.221.802,37 \times 54,3}{100}$$

$$x = 2.292.438,69 \text{ ton/ano}$$

Para o desenvolvimento do cálculo acima usou-se valor de 53,4% que provém do componente concreto da tabela 3. O resultado encontrado mostra a quantidade de resíduos gerados por demolições e reparos feitos nas construções.

Nos cálculos a seguir, os valores mostram cada fonte geradora dos resíduos do concreto, trabalhos rodoviários, escavações, obras diversas e sobras de limpeza, respectivamente, encontrados na tabela 3 do referencial teórico deste trabalho.

$$x = \frac{4.221.802,37 \times 48}{100}$$

$$x = 2.026.465,14 \text{ ton/ano}$$

$$x = \frac{4.221.802,37 \times 6,1}{100}$$

$$x = 257.529,94 \text{ ton/ano}$$

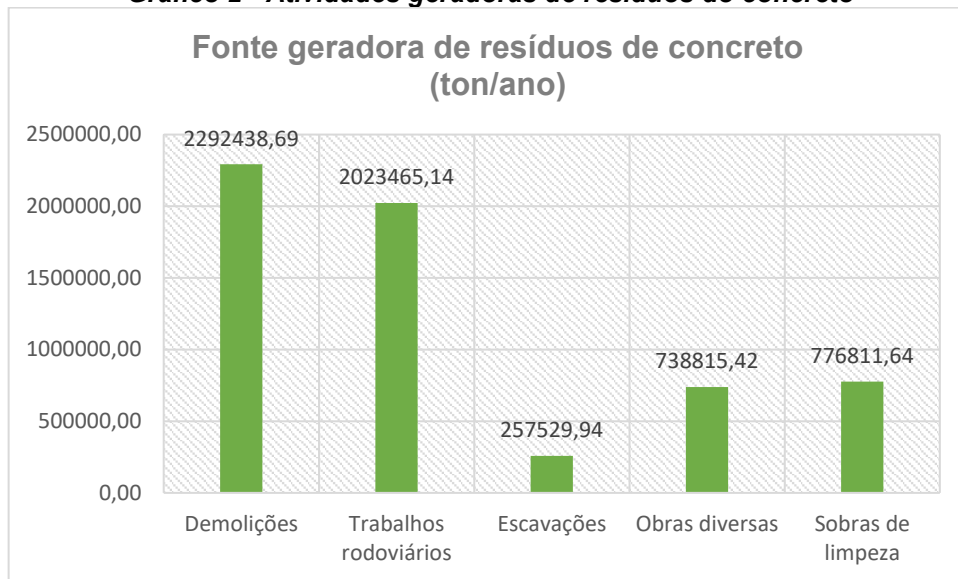
$$x = \frac{4.221.802,37 \times 17,5}{100}$$

$$x = 738.815,42 \text{ ton/ano}$$

$$x = \frac{4.221.802,37 \times 18,4}{100}$$

$$x = 776.811,64 \text{ ton/ano}$$

Para melhor entender os valores encontrados observe o gráfico 2.

Gráfico 2 - Atividades geradoras de resíduos do concreto

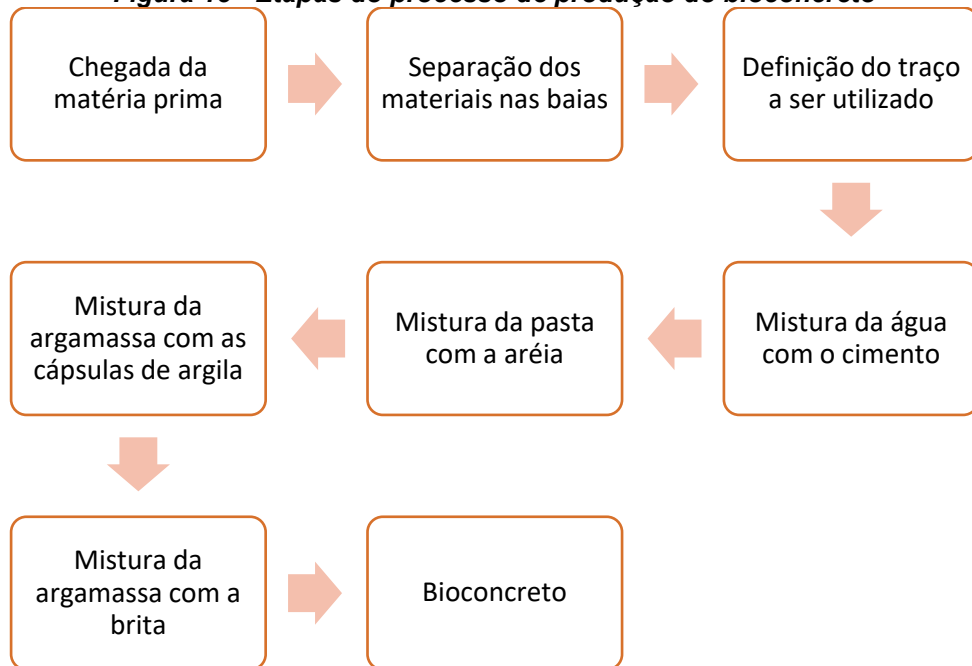
Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados apontados em relação aos impactos gerados pelo concreto mostram, numericamente, que os valores encontrados são altos e podem confirmar as consequências ambientais que o concreto causa.

As quantidades mais elevadas de resíduos gerados vêm das demolições e que não deixam de abranger os reparos de manutenções do concreto, diante disso percebe-se que se diminuir essa necessidade de restauração e demolições, conseqüentemente a produção do cimento em larga escala, diminuirá consideravelmente. Além disso, os resíduos produzidos pelo concreto também vão reduzir.

6.2 Bioconcreto

Para coletar os aspectos e impactos ambientais gerados pelo bioconcreto é necessário o conhecimento sobre o processo de produção (figura 4) descrito a seguir e em seguida tem-se o quadro que apresenta os aspectos e impactos ambientais da produção do bioconcreto.

Figura 13 - Etapas do processo de produção do bioconcreto

Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 7 - Avaliação de aspectos e impactos ambientais do processo de produção do bioconcreto

| ATIVIDADE | ASPECTO | IMPACTO | Abrangência | Gravidade | Frequência | Probabilidade | Importância | SIGNIFICÂNCIA |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|------------|---------------|-------------|---------------|
| Chegada da matéria prima | Emissão de gases na atmosfera | Poluição atmosférica | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Consumo de óleo diesel | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 3 | 5 | 18 | MS |
| Mistura da água e do cimento | Consumo de água | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |
| | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização do cimento | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |
| | | Emissão de CO ₂ na | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |

| | | atmosfera | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------------------|---|---|---|---|----|----|
| Mistura da pasta com a areia | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização da areia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| Mistura da Argamassa com as cápsulas de argila | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Consumo de argila | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 3 | 5 | 16 | MS |
| Mistura da argamassa com a brita | Consumo de energia | Escassez dos recursos naturais | 5 | 3 | 5 | 5 | 18 | MS |
| | Utilização de brita | Escassez dos recursos naturais | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | MS |

Fonte: Adaptação Assumpção (2018) e Seiffert (2002)

O processo de produção do bioconcreto muda apenas na parte de adição das cápsulas de argila. Percebe-se porém que os valores apresentados no quadro acima são parecidos com os do quadro 6, do concreto. Mesmo assim, as propriedades do bioconcreto apresentam pontos que podem ser viável a sua troca em substituição ao concreto.

O quadro 1, por exemplo, presente no referencial teórico deste trabalho, apresenta o desempenho da resistência do concreto e do bioconcreto. O aumento da resistência do bioconcreto ocorre com o passar do tempo ao preencher os vazios da estrutura com a ação da bactéria. Sendo assim, afirma-se que uma construção que utiliza o bioconcreto terá sua vida útil maior e em consequência disto também diminuirá os resíduos gerados pelas manutenções e demolições de obras.

A estimativa de redução dos resíduos é de 30% do valor total produzido por ano no Brasil. Lembrando que os valores obtidos anteriormente são baseados em dados coletados aqui no Brasil e que ainda não se tem conhecimento de um valor total produzido a nível global.

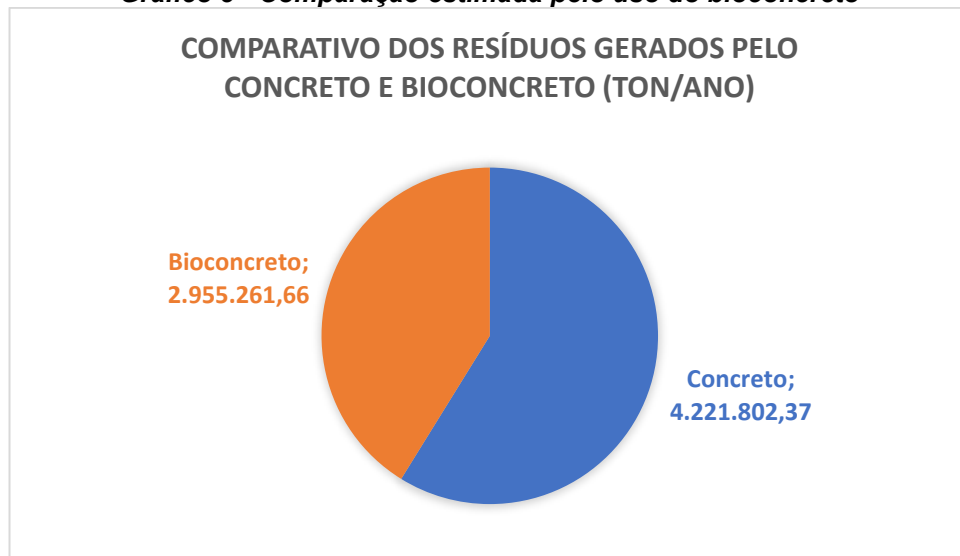
Os cálculos apresentados a seguir são apenas uma hipótese da possível redução dos resíduos com a adoção do uso do bioconcreto em substituição do concreto.

$$x = \frac{4.221.802,37 \times 30}{100}$$

$$x = 1.266.540,71 \text{ ton/ano}$$

O valor acima mostra que o bioconcreto sendo utilizado pode reduzir em 1.266.540,71 toneladas por ano de resíduo produzido aqui no Brasil.

Gráfico 3 - Comparação estimada pelo uso do bioconcreto



Fonte: Autoria própria (2022)

O gráfico 3 apresenta a comparação dos resíduos gerados no uso do concreto e do bioconcreto em um ano. O bioconcreto traz essa possibilidade de redução dos resíduos gerados anualmente pelo seu uso e, em consequência, a sua utilização se torna viável a sustentabilidade ambiental na construção civil.

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a aplicação do bioconcreto traz diversos benefícios, mas a maior vantagem é a minimização da intervenção humana para a correção das patologias, que surgem ao passar do tempo.

O bioconcreto surgiu da necessidade de uma estrutura com alta resistência que não apareça patologias e que tornasse a obra sustentável, produzindo menos resíduos e com redução de custos. Além disso, o uso do bioconcreto diminui o índice de manutenções obrigatórias no concreto, logo o seu uso reduz a produção de cimento, o consumo de água, de energia e dos recursos naturais ao longo do ano. Conforme apresentado no gráfico 3, fica implícito a redução estimada de 30% do consumo dos materiais citados anteriormente.

O novo material possui potencial para substituir o concreto comum com vantagens estruturais e econômicas. O bioconcreto é um material que apresenta uma melhor performance ambiental, com a diminuição da emissão do CO₂ causada na fabricação do cimento, além dos citados no parágrafo acima. Um projeto que utiliza o bioconcreto indica que ele foi planejado para buscar a harmonia entre a sustentabilidade ambiental e a socioeconômica, com o intuito de reduzir os impactos ambientais gerados pela construção civil. Desta forma, os objetivos traçados no início da pesquisa foram alcançados.

Diante da relevância do assunto, espera-se que novas pesquisas sejam realizadas para elucidar cada vez mais a possibilidade do bioconcreto substituir o concreto comum, dada as suas características socioambientais e econômicas. Neste sentido sugere-se que sejam realizadas pesquisas de diagnóstico do ciclo de vida do bioconcreto e análise de sua etapa de aplicação.

REFERÊNCIAS

- AKINRADEWO, P. A. C. A. O. **Intervention of Biomimicry for Sustainable Construction: The use of Bio-Concrete**. FIMEK, South Africa, v. 4, n. 5, p. 641-648, out./2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Opeoluwa-Akinradewo-2/publication/359939382_Intervention_of_Biomimicry_for_Sustainable_Construction_The_use_of_Bio-Concrete/links/6257ff339be52845a902ba67/Intervention-of-Biomimicry-for-Sustainable-Construction-The-use-of-Bio-Concrete.pdf>. Acesso em 3 maio 2022.
- ALMEIDA, Luiz Carlos. **Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV – Concreto armado**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2022.
- ALVES, L. et al. **Characterization of Bioconcrete and the Properties for Self-Healing. Proceedings**, v. 38, n. 4, p. 2-2, dez./2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2504-3900/38/1/4#cite>>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- ANDRADE, R. O.; TACHIZAWA, T.; & CARVALHO, A. B. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Makron, 2004.
- ARAUJO, C. E. S. D. et al. **BIOCONCRETO. Revista Diálogos Interdisciplinares**, Brasil, v. 8, n. 2, maio 2019. ISSN 2317-3793. Disponível em: <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/686>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- ARAUJO, G. C.; MENDONÇA, P. S. M. **Análise do processo de implantação das normas de sustentabilidade empresarial: um estudo de caso em uma agroindústria frigorífica de bovinos**. Revista de Administração Mackenzie, São Paulo, v. 10, n. 2, mar./abr., 2009
- ARNOLD, D. **Self-healing concrete**. Emerging Technology, 2011. p. 39-43. Disponível em <<https://www.ingenia.org.uk/getattachment/743f5997-3362-4eef-92c1-4540ce8c6f57/Arnold.pdf>>
- ASSUMPTÃO, L. F. J. **Sistema de gestão ambiental: manual prático para implementação de SGA e certificação ISO 14.001/2004**. 5. ed. Curitiba: Juruá, 2018. p. 15-419.
- Bacterial concrete apud silva, f. P. C.; passarini, v. De c. Bioconcreto: a tecnologia para construção sustentável. Inovae - issn: 2357-7797, são paulo, vol.5, n. 2, pág. 41-58, jul./dez., 2017
- BACTERIAL. **BACTERIAL CONCRETE**. In: Civil Eng. Seminar. The Civil Engineering Lexicon. Jun. 2016. Disponível em: <<http://civilenggseminar.blogspot.com.br/2016/06/bacterial-concrete.html>>. Acessado 01 de maio 2022
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, p. 409.
- BENITE, Anderson. **Emissões de carbono e a construção civil**. São Paulo: CTE (Centro de Tecnologia de Edificações), 2011.
- BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- BRASIL. Resolução 307 de 5 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Ministério do Meio ambiente. Brasília, DF. Publicada no D.O.U. Diário Oficial da União em 17 jul. 2002.

Disponível em:

<https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 25 Ago. 2022.

BRITO, A. V.; NASCIMENTO, M. S. **A implantação do bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: fissuras, rachaduras e trincas**. Revista científica semana acadêmica. ed. 153, vol. 1, dez. 2018. Disponível em <<https://semanaacademica.org.br/artigo/implantacao-do-bioconcreto-desenvolvido-para-solucionar-problemas-estruturais-tais-como>>. Acesso em 17 de maio 2022.

BUONO, Livia Nunes. **Sustentabilidade ambiental de empreendimento comercial em operação com base no manual de certificação AQUA - HQETM**. 2014. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

CARVALHO, J. D. N. D. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, Maringá - PR, v. 17, p. 19-28, 2008. Disponível em: <<https://silo.tips/download/about-the-origins-and-development-of-reinforced-concrete>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

CARVALHO, Maria Cecília Maringoni de (org.). 2. ed. Campinas: SP: Papirus, 1989.

CARVALHO, J. D. N. D. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica**, Maringá - PR, v. 17, p. 19-28, **2008**. Disponível em: <https://silo.tips/download/about-the-origins-and-development-of-reinforced-concrete>. Acesso em: 16 abr. 2022.

CARVALHO, Maria Cecília Maringoni de (org.). 2. ed. Campinas, SP: Papirus, 1989.

CORRÊA, L. R. (2009). **Sustentabilidade na Construção Civil. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.**

CORRÊA, L. R. . **Sustentabilidade na Construção Civil**. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Brasília, DF: Ipea, 2012. <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7669/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf>. Acessado em: 25 Ago. 2022.

FREITAS, A. Á. D. et al. **Bioconcreto: Uma revisão de sua aplicação na construção civil**. Research, Society and Development, Brasil, v. 10, ano 4, p. 2-10, abr./2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14270>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOYAL, N. **Self-Healing Concrete Can Repair Its Own Cracks with Bacteria**, 2015. Industry tap. Disponível em: <http://www.industrytap.com/self-healing-concrete-can-repaircracksbacteria/29051>. Acesso em: 17 de mai. 2022.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: IBRACON, 2010. p. 905-944, Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PEDROSO, Fábio. **Impactos ambientais do concreto usinado no Brasil**. IBRACON, 2020. Disponível em: <https://site.ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/Concreto_blog/press-releases/concretousinado/>. Acesso em: 14 de mai. 2022.

JONKERS, Henk Marius. **Bacteria-based self-healing concrete**. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Materials and Environment. Delft, Netherlands: 2011. Disponível em: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119709>>. Acesso em: 27 de abri. 2022.

JONKERS, Henk Marius; SCHLANGEN, Eric. **Self-healing of cracked concrete: A bacterial approach**. IA-FraMCoS. Disponível em: <<https://framcos.org/FraMCoS-6/164.pdf>>. Acesso em: 27 abri. 2022.

SILVA JÚNIOR, E.B; SANTOS, T.N.; ARAÚJO, A.S. **Sustentabilidade na construção civil: impactos e perspectivas**. Revista Teccen. 2022 Jan./jun.; 15 (1): 51-58. Disponível em <<file:///home/elio/Downloads/3177+RT+V15N1+PL.pdf>>. Acesso em: 27 abri. 2022.

KAVA, C. M. **Construção Civil, a Construção Sustentável e a Educação Socioambiental: Um Estudo de Caso de Aplicações nas Habitações de Interesses Sociais**. UFPR, Curitiba, PR: 2011. <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43217/R%20-%20E%20-%20CINTIA%20MERLO%20KAVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 28 ago. 2022.

LARUCCIA, Mauro Maia. **Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil**. Guarulhos, SP, ENIAC, 2014. v. 3, n. 1, p. 69-84. Disponível em: <<https://doi.org/10.22567/rep.v3i1.124>>. Acesso em: 28 ago. 2022.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<10.11606/T.3.2010.tde-23082010-105858>>. Acesso em 1 mai. 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Estrutura, propriedades emateriais**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008, 674 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Impactos do Setor da Construção Civil**. 2007. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=section&id=17&menupid=215&menupt=saneamento>>. Acessado 26 de maio 2022.

MOURA, M.; MOTTA, A. L. T. S. **O fator energia na construção civil**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, IX, 2013. Anais... Niterói: CNEG, 2013. Disponível em <<https://silo.tips/download/o-fator-energia-na-construcao-civil>>. Acesso em 27 agosto 2022.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. 2011. 16f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/151/1/Daniel%20Nazario.pdf>>. Acesso em: 10 abri. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – classificação**. Brasil, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14001: Sistemas da gestão ambiental Requisitos com orientações para uso**. Brasil, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Ruy AlbertoCremonini. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2016. 841 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013. 447 p.

PAIVA, Paulo Antônio de; RIBEIRO, Maisa de Souza. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos.** REA-Revista Eletrônica de Administração, v. 4, n. 1, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.unifacel.com.br/index.php/rea/article/viewFile/185/37>>. Acesso em 12 ago. 2022.

PAULA, L. V. Q. D. **Resistência Característica à Compressão do Concreto.** Argamassas. Campo Grande, v. 1, n. 3, p. 6-23, dez./2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/argamassa/article/view/9059>>. Acesso em: 27 maio 2022.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** Universidade de São Paulo. São Carlos, SP: 2007. 380 p. Disponível em: <https://www.academia.edu/33208157/UNIVERSIDADE_DE_S%C3%83O_PAULO_FUNDAMENTOS_DO_CONCRETO_E_PROJETO_DE_EDIF%C3%8DCIOS>. Acesso em: 10 maio 2022.

SANTOS, A. L. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos de construção e demolição (RCC): análise das construtoras associadas ao Sinduscon/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN.** 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/14923>>. Acesso em: 10 maio 2022.

SANTOS, Altair. **Bactéria pode dar “imortalidade” ao concreto.** Curitiba, PR: Massa Cinzenta, 2013. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/bacteria-pode-dar-imortalidade-ao-concreto/>>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SEIFFERT, M. E. B. **Modelo de implantação de sistemas de gestão ambiental (SGA - ISO 14001) utilizando-se a abordagem da engenharia de sistemas.** Florianópolis: UFSC, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84056>>. Acesso em 15 ago. 2022.

SOARES, A. P. F., VASCONCELOS, L. T., NASCIMENTO, F. B. C. . **Corrosão em Armaduras de Concreto.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, 2015. v. 3, n. 1, p. 177-188. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651/1540>>. Acesso em 15 ago. 2022.

SOUZA JÚNIOR, T. F. **Estruturas de Concreto Armado.** Notas de Aulas. Universidade Federal de Lavras. 2003. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

VELOSO, B. A. F., MARIZ, C. O., LIMA, A. C., PÁDUA, B. C. & PORTO, T. B. **Bioconcrete Use in the World.** International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI), 2019. v. 8, issue 95, p. 72-75. Disponível em: <<http://www.ijsei.com/papers/ijsei-89519-10.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2022.

VENDRAMI, J. M. **Bioconcreto – O concreto que ganhou vida.** 2016. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/2016/10/bioconcreto-o-concretoque-ganhou-vida/>. Acesso em: 01 maio 2022.

VIEIRA DOS REIS, LUANN. **Biotechnology microbiana da construção: potencial de biomineralização de bactérias ureolíticas de solo de cerrado e de rejeitos de construção civil.** Dissertação (programa de pós-graduação em ciências ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia: 2017. 103 f.

ZAGO, A. D. F. **Estudo comparativo entre métodos de recuperação de estruturas com processos de autocura: bioconcreto e concreto autocicatrizante.** Tubarão-SC, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/19419>>. Acesso em 12 ago 2022.