

O CIMENTO VERDE COMO SOLUÇÃO TÉCNICA PARA DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*GREEN CEMENT AS A TECHNICAL SOLUTION FOR
DESCARBONIZING THE CONSTRUCTION INDUSTRY*

Jaldo Maciel Marinho Júnior 1

Aymara Gracielly Nogueira Colen 2

Fabricio Machado Silva 3

Resumo: Este artigo investiga o papel do cimento verde como solução técnica para a descarbonização da indústria da construção civil. O objetivo é analisar suas características, benefícios e desafios, destacando seu potencial na redução das emissões de carbono associadas à produção de cimento convencional. A metodologia envolve revisão bibliográfica e análise crítica de estudos e dados relevantes. Os resultados demonstram que o cimento verde, produzido com materiais alternativos de baixo carbono, apresenta vantagens significativas em termos de sustentabilidade ambiental e desempenho técnico. No entanto, sua adoção em larga escala requer a superação de obstáculos como aceitação de mercado, custos e disponibilidade de materiais. Conclui-se que o cimento verde tem o potencial de ser uma alternativa viável e eficaz para a descarbonização da indústria da construção civil, exigindo esforços contínuos de diversos autores para sua promoção e implementação.

Palavras-chave: Cimento verde, Construção civil, Descarbonização, Sustentabilidade, Materiais alternativos.

Abstract: This article investigates the role of green cement as a technical solution for the decarbonization of the construction industry. The objective is to analyze its characteristics, benefits and challenges, highlighting its potential in reducing carbon emissions associated with conventional cement production. The methodology involves bibliographic review and critical analysis of relevant studies and data. The results demonstrate that green cement, produced with alternative low-carbon materials, presents important advantages in terms of environmental sustainability and technical performance. However, its large-scale adoption requires overcoming obstacles to market accessibility, costs and material availability. It is concluded that green cement has the potential to be a viable and effective alternative for the decarbonization of the construction industry, requiring continuous efforts from various actors for its promotion and implementation.

Keywords: Green cement, Civil construction, Decarbonization, Sustainability, Alternative materials.

1 - Discente de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP, Palmas, TO. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8228500181779158>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0510-4717>. E-mail: jaldommjr@gmail.com

2 - Dr^a Tecnologia Ambiental, Eng. Ambiental, Mestre AgroEnergia (Biomassa Residual do Agro(Industrial) e do Saneamento), Especialista Inovação Tecnológica. Professora e Pesquisadora do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1142902896675039>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7173-4680>. E-mail: eng.colen@unitop.edu.br

3 - Dr. Tecnologia Ambiental, Eng. Civil, Ambiental, de Produção e de Segurança do Trabalho. Professor, Pesquisador e Coordenador do Curso de Engenharia Civil - Centro Universitário UNITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0308861058772993>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-6659>. E-mail: fabricio_amb@yahoo.com.br

Introdução

A indústria da construção civil é reconhecida como uma das principais emissoras de gases, especialmente devido à produção de materiais como o cimento Portland, cuja fabricação é intensiva em energia e emite grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (BRULLE, 2019). Diante da urgência do equilíbrio climático global e a busca por soluções sustentáveis, torna-se essencial mitigar impactos adversos, utilizando materiais de baixa emissão de poluentes.

Nesse cenário, pesquisas como a de Curado (2024), mostram que o desenvolvimento e a adoção de tecnologias voltadas para a descarbonização da construção civil têm ganhado destaque. Dentre as tecnologias já existentes, a Habitability (2022) e outros profissionais e pesquisadores, evidenciam o cimento verde como promissor, capaz de reduzir significativamente as emissões de CO₂ em relação à produção do cimento comum. Este cimento, o Portland, é obtido pela calcinação de calcário e argila a altas temperaturas (BRULLE, 2019).

No Programa PET-Civil da UFJF, em 2014, cimentos produzidos à base de óxido de magnésio substituíram em até 80% o cimento convencional, contribuindo para menores emissões de gases na atmosfera por possuírem menos clínquer do que o cimento Portland.

Conforme GlobalABC/IEA/UNEP (2020), o cimento verde, também conhecido como cimento de baixo carbono, é produzido a partir de materiais não-convencionais que substituem parcialmente ou totalmente o clínquer do cimento convencional. Além disso, são adotadas práticas de produção mais eficientes e sustentáveis, como o uso de fontes de energia renovável, a otimização do consumo de água e a minimização da geração de resíduos.

Os resíduos gerados nas atividades agroindustriais podem ser aplicados para a produção de um cimento sustentável, como as cinzas do bagaço da cana, da casca de arroz, de palhas, resíduos de madeira, dentre outros. Portanto, poder ser utilizado nas execuções de guias, sarjetas e bocas de lobos.

No Brasil, prefeituras já trabalham com aplicação de resíduos para confecção de artefatos de concreto. Materiais como escória de alto-forno, cinzas volantes, calcário e argila calcinada, possuem menor impacto ao sistema produtivo e ambiental, contribuem portanto para a redução das emissões (SALIM et al. 2023). No Japão já foi produzido um concreto que substituiu a areia por cinzas vulcânicas nas construções de casas, devido a escassez de areia no país (CIMENTO ITAMBÉ, 2020).

Existem diversos materiais com potencial para a produção de filler (pó fino), porém, o pó de calcário é o menos prejudicial à saúde dos colaboradores. O cimento ecoeficiente é fabricado a partir da substituição parcial do clínquer por filler tendo assim uma redução desse ligante principal emissor de CO₂, realizando assim um concreto com menos água, menos poros e mais firme do que o tradicional. A Fapesp (2013) publicou essa tecnologia e despertou muito interesse na indústria cimenteira InterCement, do grupo Camargo Corrêa, com sede em São Paulo

Como uma forma de prolongar a vida útil das edificações, minimizando custos com manutenções, por necessidade de produção de cimento com menores impactos ambientais na construção civil, o bioconcreto se destaca no autorreparo de suas fissuras pela introdução das bactérias *Bacillus pseudofirmus*. Essa inovação já foi introduzida na construção de uma casa na Holanda a qual é constantemente inspecionada por profissionais da área (CELERE, 2021).

Por isso, esta pesquisa tem como objetivo investigar o papel do cimento verde como solução técnica para a descarbonização da indústria da construção civil. Ademais, contribuir para o avanço do conhecimento técnico e científico e tecnologias sustentáveis no setor.

Metodologia

Levantamento de Dados

Foram coletados e analisados trabalhos técnicos e científicos em bases de dados *Scielo*, Google Acadêmico e periódicos da Capes. Como critérios de inclusão, foram consideradas publicações com dados sobre construções sustentáveis e materiais de baixo carbono, voltados à descarbonização da construção civil, com as metas para 2030, e para o ano de 2050.

Abordagem Técnica e Científica do Cimento Verde

Realizou-se uma pesquisa documental e bibliográfica de abordagem qualitativa, baseada na crítica e compreensão ampla e detalhista de materiais diversos (KRIPKA, SCHERLLER, BONOTTO, 2015). Como solução de contribuição às metas de descarbonização da indústria da construção civil, apresentou-se materiais que podem ser aplicados na produção do cimento verde.

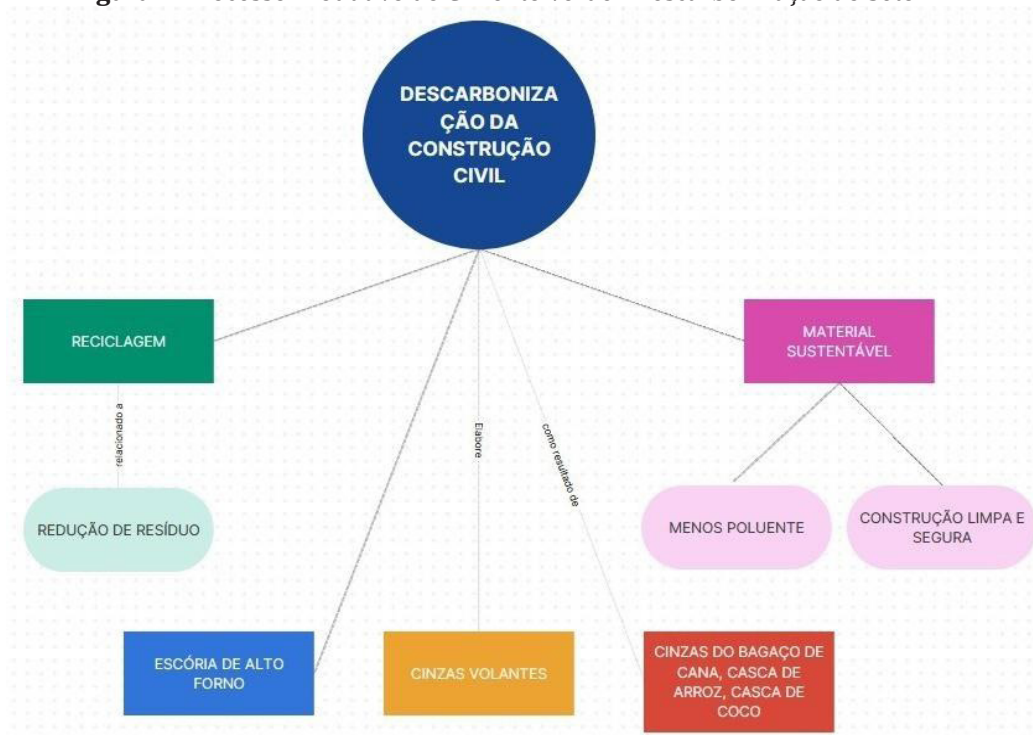
Nesta pesquisa, por meio de uma revisão crítica da literatura, foram levantadas características, benefícios e desafios associados ao uso do cimento verde, destacando seu potencial para promover uma indústria da construção civil mais sustentável e ecoeficiente, fornecendo subsídios para a tomada de decisão de profissionais, empresas e governos e sociedade em geral.

Estudo de Materiais para Descarbonização da Construção Civil

O cimento verde, cimento sustentável ou ecológico, é uma solução inovadora e ambiental ao processo produtivo do cimento convencional (RIBEIRO, 2023).

A caracterização do cimento verde se dá pela sua formulação, que inclui a substituição parcial ou total do clínquer por materiais de baixo carbono, como escória de alto-forno, cinzas volantes, calcário e argila calcinada (Habitability, 2022), resíduos industriais e de origem agrícola, como cinzas de biomassas (GlobalABC/IEA/UNEP, 2020) (Figura 1).

Figura 1. Processo Produtivo do Cimento Verde - Descarbonização do Setor



Fonte: AUTOR (2024).

Estes materiais podem ser produzidos em diferentes proporções, dependendo das características desejadas ao tipo de cimento. O cimento verde tem que manter as propriedades físicas e mecânicas necessárias para a construção civil, a segurança e a qualidade das estruturas Mármol et al. (2016), o desempenho e a durabilidade (Brito & Nascimento, 2018). O Quadro 1 apresenta materiais para esta produção verde.

Quadro 1. Materiais Constituintes do Cimento Verde

Resíduos Agro (agricultura e da agroindústria)	<p>As cinzas do bagaço da cana, casca de arroz e resíduos cerâmicos são postulantes para fazer parte do concreto e minimizar a presença do cimento. As aplicações vão desde celulose, fibras naturais de diversas plantas, a cinzas diversas (QU et al. 2014; APRIANTI et al. 2015; ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015; ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016; WEI; MEYER, 2016; KESIKIDOU; STEFANIDOU, 2019; LUHAR; CHENG; LUHAR, 2019; LYRA et al. 2019).</p> <p>Fábricas de arroz já usam as cascas para gerar energia inerente aos seus processos. Por inúmeros países terem adotado essa prática, estudos têm aferido suas propriedades para construção civil (ABOOD HABEEB; BIN MAHMUD, 2010; MUTHADHI; KOTHANDARAMAN, 2010; RÊGO et al. 2015; SANDHU; SIDDIQUE, 2017; KANG; HONG; MOON, 2019). Na Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram-se um cimento menos agressivo ao meio ambiente com a introdução do óxido de magnésio. Este estudo pode remover até 80% do cimento portland (AGÊNCIA USP, 2010).</p>
Cimentos à base óxido de magnésio (MgO)	Os cimentos à base óxido de magnésio (MgO), isentos de clínquer, são aliados na redução do uso do cimento Portland e conseqüentemente na redução dos impactos causados pelo mesmo. O cimento à base de MgO possui quantidades quase que insignificantes de cálcio. Com isso passa a ser interessante para possível combinação com materiais que necessitam de um meio menos alcalino, como os compósitos de fibras vegetais (UNLUER; AL-TABBAA, 2015; MÁRMOL; SAVASTANO, 2017).
Bioconcreto– (Mix de Concreto tradicional + Lactato de Cálcio)	O bioconcreto é uma mistura do concreto tradicional, 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 (BRITO et al. 2018).
Resíduos Siderurgia	de A escória de alto-forno, por exemplo, é um subproduto da indústria siderúrgica e tem sido amplamente utilizada como material suplementar na produção de cimento verde. Sua utilização não apenas reduz as emissões de CO ₂ , mas também melhora as propriedades mecânicas e de durabilidade do cimento, contribuindo para a produção de concretos mais resistentes e duráveis (ROSSIGNOLO et al. 2017).
Resíduos de termoeletrônicas	As cinzas volantes, por sua vez, são resíduos da queima de carvão mineral em usinas termoeletrônicas e podem ser utilizadas como material pozolânico na produção de cimento verde. Sua incorporação no cimento não apenas reduz as emissões de CO ₂ , mas também melhora a trabalhabilidade, a resistência à compressão e a durabilidade do concreto (JAMIL et al. 2013).

Fonte: AUTOR (2024) (adaptado).

Resultados e Discussão

Cimento Verde nas Indústrias e nos Canteiros de Obras

A introdução do cimento verde, nas indústrias produtoras de cimento e nos canteiros de obras, requer uma abordagem e uma execução multifacetada. Para facilitar essa transição, é essencial transferir conhecimentos aos profissionais da indústria da construção civil, sobre os benefícios do cimento verde e os métodos adequados de produção e aplicação (IBGE, 2010). Governos e órgãos reguladores podem desempenhar um papel crucial na promoção do cimento verde, oferecendo incentivos fiscais, subsídios e publicando regulamentações, para incentivar a produção e a utilização (HARVEY, 2016). Colaborações e parcerias entre as indústrias produtoras de cimento, fabricantes de materiais alternativos, empresas de construção civil e instituições de pesquisa são de extrema relevância para o desenvolvimento de soluções técnicas e estratégias de implementação eficazes (IBGE, 2010).

O cimento verde é inovador e promissor para tornar a indústria da construção civil mais sustentável e ecoeficiente, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, está alinhado com as tendências globais de sustentabilidade e responsabilidade ambiental, e à crescente demanda por materiais mais ecoeficientes e de baixo impacto ambiental (EL GHAOURI, 2023).

Monitorar e avaliar continuamente o desempenho de um cimento verde em termos de emissões de carbono, qualidade do produto final e impactos ambientais e sociais, também é essencial (HARVEY, 2016). Isso pode ser feito por meio de sistemas de gestão ambiental, certificações de sustentabilidade e avaliações de ciclo de vida, pois identificam áreas de melhoria e otimização (IBGE, 2010), dentre outras aplicações de metodologias e tecnologias.

Ao adotar uma abordagem integrada, as indústrias produtoras de cimento e os canteiros de obras podem incorporar com sucesso o cimento verde em suas práticas e processos, contribuindo para a redução das emissões de carbono do setor da construção civil (HARVEY, 2016).

Cimento com Filler de Pó de Calcário

O filler de pó calcário, obtido a partir do processo de moagem fina do calcário (rocha sedimentar expressiva no Brasil), foram testados em concreto, argamassa e no fibrocimento, e, obteve-se as mesmas propriedades de um produto convencional, mas com metade do teor de clínquer (CIMENTO ITAMBÉ, 2014) (Figura 2).

Wang et al. (2019), estimaram que mais de 10 bilhões de resíduos de construção e demolição (RC&Ds) são gerados no mundo, causando impactos como excessivo consumo de matérias-primas, além de emissões de gases. Anualmente, a China lidera a geração RC&Ds, com uma produção de mais de 2 bilhões de resíduos.

Gunasekar et al. (2019) citam que o concreto produzido com RC&Ds reciclados apresenta ganho em relação a várias propriedades mecânicas. Sata et al. (2020) relatam que o uso de resíduos de construção e demolição (concreto triturado, cinzas, pneus, vidro) como agregados pode ser uma alternativa exequível na produção de compósitos geopoliméricos, porém os estudos ainda são escassos.

A União Europeia estabeleceu como meta para 2020, a reutilização de 70% de resíduos de construção e demolição, a fim de reduzir seu impacto no meio ambiente e na saúde, bem como melhorar a eficiência dos recursos (GONZÁLEZ et al. 2017).

Concreto com Vidro Reciclado

A utilidade do pó de vidro como substituto da areia detém de imensa capacidade para a fabricação de concreto e deve ser visto como uma possibilidade sustentável para a indústria da

construção civil, dado que o resíduo que seria desprezado será reaproveitado, além de deixar de extrair recursos naturais, finitos.

Após destruídos, pode continuar a ser útil para a construção. Pesquisadores da Alemanha e Inglaterra realizaram testes substituindo a areia por vidros após serem triturados. Em seguida, o material foi lavado, secado, moído e peneirado (Figura 3).

Figura 2. Concreto com filler de pó de calcário



Fonte: FAPESP (2013).

Figura 3. Uso de vidro reciclado em concretos



Fonte: (LIPPEL, S/D).

Concreto com Resíduos da Mineração e Fibras de Coco

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, por meio do Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA) a produção de coco, em toneladas, no Brasil saltou de 1.300.000 no ano 2.000 para quase 2.000.000 de toneladas em 2010 (IBGE, 2010).

Segundo Silva et al. (2008), as principais finalidades de se reforçar matrizes com fibras estão ligadas ao aumento da resistência à tração, flexão e ao impacto, prevenindo ou retardando o aparecimento de fissuras, o que diminui a abertura das mesmas, e pode conferir maior capacidade de absorção de energia antes da ruptura.

Ainda, conforme os pesquisadores, os resíduos da mineração como o pó de quartzito utilizado, além de contribuir para a reciclagem, melhoram, assim como as fibras de coco, a resistência dos blocos de concreto. Os blocos executados possuem melhores desempenhos em termos de isolamento térmico, contribuindo para reduzir a transferência de calor (PORTAL DA CIÊNCIA UFLA, 2023). Conseqüentemente, edifícios construídos com esses blocos podem oferecer melhor conforto térmico, poupando a energia que seria gasta em aquecimento ou resfriamento.

É provável abranger também vantagens econômicas e sociais consideráveis para grupos que necessitam da extração de quartzito. Ao aproveitar resíduos dessa rocha na confecção de blocos de concreto, promove-se a criação de empregos locais, a diminuição de desperdício de recursos naturais e o desenvolvimento sustentável. Isso cede a concepção de estimular a economia e o bem-estar nas regiões de extração de quartzito.

Em diversos países como a Tailândia, a fibra de coco é frequentemente utilizada para construir telhados de casas, em proveito da sua resistência à água e às intempéries (DIKOKO, 2023). Dessa forma, com o propósito de tornar blocos de concreto mais compactos de forma sustentável, pesquisadores de Minas Gerais utilizaram fibras de coco e resíduos da rocha quartzito (Figura 4).

Cimento com Resíduos Agrícolas

Os resíduos provenientes da agricultura e da agroindústria surgem também com imenso

potencial para redução das emissões. As cinzas do bagaço da cana, casca de arroz e resíduos cerâmicos são postulantes para fazer parte do concreto e minimizar a presença do cimento. As aplicações vão desde celulose, fibras naturais de diversas plantas, a cinzas diversas (QU et al. 2014; APRIANTI et al. 2015; ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015; ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016; WEI; MEYER, 2016; KESIKIDOU; STEFANIDOU, 2019; LUHAR; CHENG; LUHAR, 2019; LYRA et al. 2019).

A temperatura de queima para obtenção da cinza da casca do arroz (CCA), é inferior à do cimento Portland. Com a incineração inspecionada da casca do arroz é possível chegar-se à eficiência energética e ter-se um material com elevado teor de sílica reativa, capaz de substituir parcialmente o cimento Portland (TASHIMA et al. 2012; JAMIL et al. 2013; ROSSIGNOLO et al. 2017). Algumas fábricas de arroz já usam as cascas para gerar energia inerente aos seus processos. Porém, há a problemática de gerenciar ou dar um destino a cinza residual que passa a ser uma questão ambiental. Por inúmeros países terem adotado essa prática, estudos têm aferido suas propriedades para construção civil (ABOOD HABEEB; BIN MAHMUD, 2010; MUTHADHI; KOTHANDARAMAN, 2010; RÊGO et al. 2015; SANDHU; SIDDIQUE, 2017; KANG; HONG; MOON, 2019).

Em 2008, foram atribuídas às fábricas de cimento 7% dos lançamentos de gases de efeito estufa na atmosfera. Conforme os dados empregados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), para cada tonelada (t) de cimento fabricado resta para atmosfera 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂) (REVISTA FAPESP, 2008).

De acordo Gonzalo Visedo, diretor de meio ambiente e sustentabilidade do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) o Brasil de 1990 a 2015 reduziu-se 20% de suas emissões, o equivalente a 125 milhões de toneladas de gases de efeito estufa evitados. O plano possibilita um potencial de minimizar 33% das emissões, impedindo mais 420 megatoneladas de CO₂ até 2050. Buscar novas soluções implica em inovações tecnológicas, em superar obstáculos regulatórios, em trabalhar com políticas públicas com o poder público, envolve outros desafios não apenas da indústria cimentícia (INTEGRIDADE ESG, 2022).

A utilização de resíduos agroindustriais em uma matriz cimentícia (Figura 5), além de melhorar as propriedades de seus produtos, contribui para uma indústria construtiva mais sustentável (MÁRMOL et al. 2016; CHEN et al. 2017; ROSSIGNOLO et al. 2017; PRASARA-A; GHEEWALA, 2018).

Figura 4. Produção de bloco de concreto com resíduos de mineração e fibra de coco



Fonte: PORTAL DA CIÊNCIA UFLA (2023).

Figura 5. Produção de concreto com resíduos agrícolas



Fonte: ARCHDAILY BRASIL (2023).

Cimento Magnesiano para Produção de Fibrocimento

Os cimentos à base óxido de magnésio (MgO), isentos de clínquer, são aliados na redução do uso do cimento Portland e consequentemente na redução dos impactos causados

pelo mesmo, possui quantidades quase que insignificantes de cálcio. Com isso passa a ser interessante para possível combinação com materiais que necessitam de um meio menos alcalino, como os compósitos de fibras vegetais (UNLUER; AL-TABBAA, 2015; MÁRMOL; SAVASTANO, 2017).

Estudantes da Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram um cimento menos agressivo ao meio ambiente com a introdução do óxido de magnésio. Neste estudo foi possível remover até 80% do cimento portland (AGÊNCIA USP, 2010). O material produzido se aplicou como elemento construtivo para telhas e painéis de fechamento. Sua qualidade menos nociva ao ambiente devido o produto ser menos alcalino que o cimento comum. Segundo Shand (2016), este tipo de cimento apresenta algumas propriedades consideradas superiores quando comparado ao Cimento Portland, como cura úmida dispensável; alta resistência ao fogo; baixa condutividade térmica; boa resistência à abrasão.

Conforme o engenheiro Carlos Gomes, perante os ensaios de imersão em água quente nos fibrocimentos, compostos por fibras de escória de alto-forno ou celulose, ocorreu um desgaste acelerado após 56 dias, um período padrão recomendado por norma. Já os fibrocimentos formados com o material moderno, de maneira oposta do cimento Portland, não expuseram deterioração das fibras (PET CIVIL UFJF, 2014).

A inovação tecnológica possui vantagens no ramo sustentável dado que, a produção é consideravelmente menos nociva que a fabricação de cimento convencional e pode absorver mais carbono do meio ambiente. A energia necessária para a produção deste tipo de cimento é relativamente mais baixa (WALLING, PROVIS, 2016) (Figura 6).

Bioconcreto

Segundo Brito et al. (2018), o bioconcreto é uma mistura do concreto tradicional, 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.

De acordo com a Thorus Engenharia (2019), o bioconcreto designado como “concreto auto-curável”, consiste na mistura do concreto com bactérias produtoras de calcário. Um elemento adicional denominado agente de cura, composto por bactérias *Bacillus Pseudofirmus* e lactato de cálcio (C₆H₁₀CaO₆).

Ademais, conforme Silva e Passarini (2017), a habilidade de autorregeneração (Figura 7), a durabilidade e a eficiência do bioconcreto reduzem os custos de manutenção e reparos e estende a vida útil de construções, além de ser um material sustentável. Mendes et al. (2016), afirmam que a utilização de bactérias dormentes na mistura do concreto, além de preencher as fissuras, aumenta o tempo de vida das estruturas e garante condições seguras de uso, além de diminuir a realização de manutenções.

De acordo com o engenheiro civil Eng. Saminar (2016), o bioconcreto pode ser preparado por método de aplicação direta, ou seja, a solução no concreto auto-reparador, o conteúdo bacteriano é integrado durante a construção, enquanto o sistema de argamassa e líquido de reparo só entra em ação quando ocorre dano agudo nos elementos de concreto.

Do ponto de vista econômico, o concreto com fibra ainda apresenta menor vantagem para o mercado. Eles apresentam cicatrização das fissuras em menor período em relação aos demais, desta forma quando analisados os prazos de cumprimento de execução das obras, estes tipos de concreto não atendem bem às expectativas das empresas de construção civil (VENTURA; CLAUDINO; FERREIRA; VEIGA; ROSSI, 2023). Embora pareça ser um material mais caro que o concreto comum, seu custo/benefício é maior quando avaliado a longo prazo, tornando-se uma opção mais barata e sustentável que é capaz de aumentar o tempo de vida dos empreendimentos (WEG, 2021).

Figura 6. Cimento à base de óxido de magnésio para fibrocimento



Fonte: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (2010).

Figura 7. Bioconcreto com capacidade de autorregeneração



Fonte: EDUCA CIVIL (2020).

Bloco Solo-cimento com RCD

O tijolo solo-cimento é outra alternativa aliada a destinação de entulhos de construção civil porque possibilita a reintrodução dos resíduos das obras e demolição para serem utilizados na produção de tijolos verdes ou tijolos ecológicos. Ele é considerado destaque devido seu processo de confecção ser limpo e isento da queima, impedindo a poluição com gases de efeito estufa (WEBER; CAMPOS E BORGA, 2017).

Esse tijolo apresenta particularidades essenciais ao desenvolvimento sustentável, tornando-se assim um material de qualidade e autossustentável (GONÇALVES; CARDOSO, 2016). Ademais, os materiais utilizados são encontrados com certa facilidade: terra (solo), resíduos de construção e demolição, areia fina, filito ou pó de pedra, cimento CP - V Alta Resistência Inicial (ARI) (composto por 70% de entulho, 10% de cimento e 10 a 20% de filito).

Stroher (2017) enfatiza que a área da construção civil é responsável por gerar em torno de 40% da totalidade de resíduos, que se acumulam em aterros, gerando vários problemas ambientais. Os pesquisadores Wong et al. (2018) argumentaram que a resistência do concreto poderia ser maximizada pela substituição parcial do cimento pelo pó de tijolos, que é obtido por britagem e posterior moagem das partículas de tijolos.

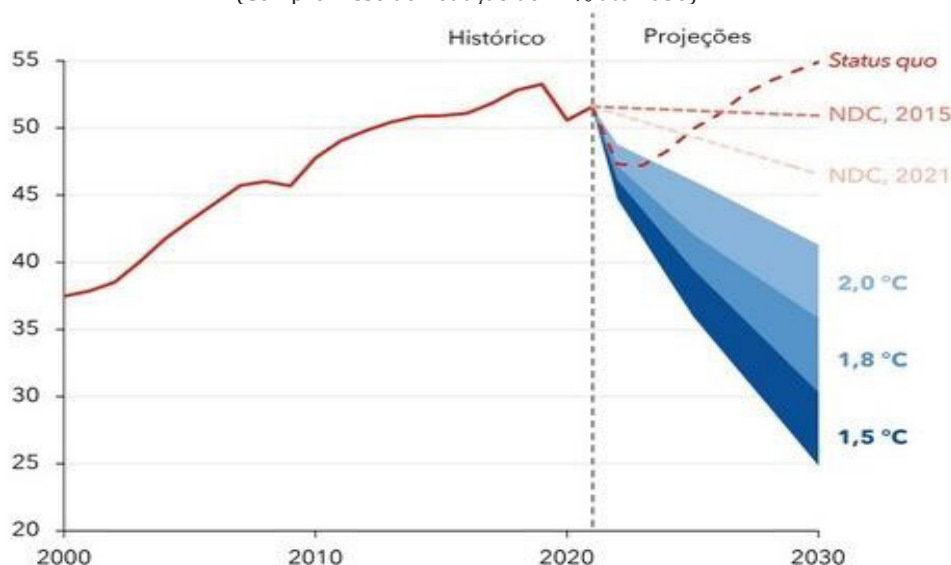
Descarbonização da Indústria da Construção Civil

A indústria da construção civil é o maior consumidor a nível global de recursos e matérias-primas, e, estima-se que até ao ano de 2025 produza cerca de 2,2 bilhões de toneladas de resíduos (EMF, 2020). Logo, as soluções sustentáveis como uso de materiais não convencionais minimizam impactos ambientais na sociedade, realizando a chamada “transição verde”.

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) da indústria da construção civil representam aproximadamente 25% do total emitido em escala global, ocorrendo ao longo de todo o ciclo de vida dos empreendimentos (FARIAS; MARINHO, 2020). Essas emissões estão relacionadas à elevada demanda energética desta indústria, que representa cerca de 42% do consumo mundial (DURANTE; CALLEJAS; AMARAL, 2020).

A Figura 8 apresenta uma projeção com compromisso de redução global de 11% de emissões de gases de efeito estufa até 2030.

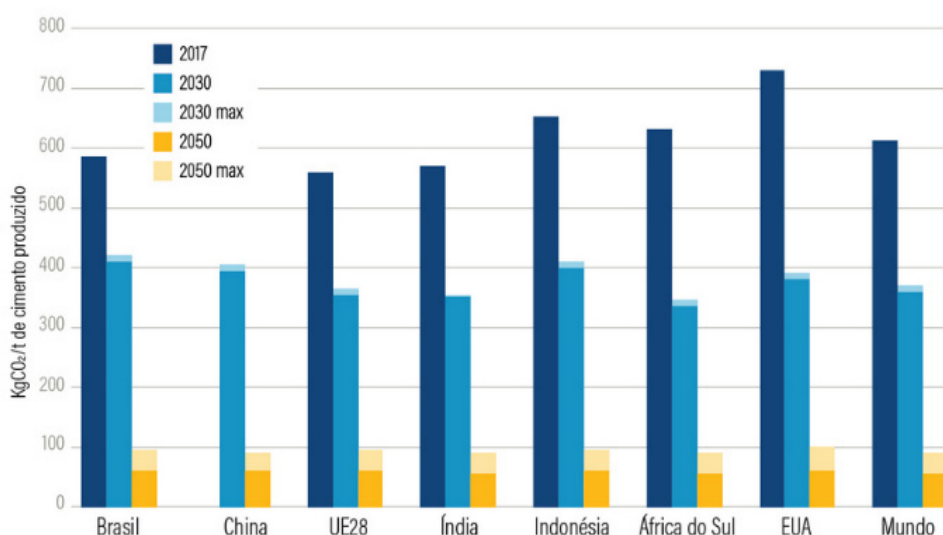
Figura 8. O Histórico e Projeção das Emissões Mundiais de Gases de Efeito Estufa (Compromisso de Redução de 11% até 2030)



Fonte: IMF (2022).

A indústria cimenteira responde por 7% das emissões de CO₂ globais. Em qualquer cenário de crescimento, ela pode evoluir em 15 anos para 20% de CO₂, ou seja, a indústria cimenteira sabe que precisa reduzir o impacto da emissão de CO₂ (ABCP, 2021) (Figura 9).

Figura 9. Geração de carbono em 2017 e metas para 2030/2050 da indústria cimentícia



Fonte: WRI; CLIMATE ACTION TRACKER (2020).

Uma das principais tendências que impulsionam o crescimento do mercado do cimento verde é a crescente demanda por construções sustentáveis. À medida que a conscientização sobre os impactos ambientais da construção civil aumenta, os clientes e investidores estão cada vez mais exigindo edifícios e infraestruturas que minimizem seu impacto ambiental e maximizem sua eficiência energética (GlobalABC/IEA/UNEP, 2020). Nesse contexto, uma solução atraente, capaz de atender a essas demandas e oferecer uma alternativa ao cimento convencional.

O cimento ecoeficiente reduz a utilização do cimento ao substituir parcialmente por

filler de calcário consegue minimizar até 70% da dependência de clínquer, consequentemente diminui as emissões de gases de dióxido de carbono lançados na atmosfera. De acordo com a GCP Applied Technologies Brasil (2020), cada queda de 1% no fator de clínquer pode reduzir o CO₂ emitido em 8 – 9kg/tonelada de cimento.

O cimento com cinzas, por exemplo, não necessita em seu processo de produção passar por etapas de altas temperaturas, como o cimento Portland etapa esta que gera o maior quantitativo de emissões de poluentes no processo da queima, assim sendo, pode-se conseguir obter um ligante cimentício com produção de carbono zero, por meio da reutilização das cinzas de termoelétricas que são geradas nas queimas do bagaço de cana, cinzas da casca de arroz, cinzas volantes dentre outros materiais residuais.

Práticas Técnicas, Socioambientais e Econômicas

Um aspecto crucial para o sucesso da adoção do cimento verde e outras práticas sustentáveis na indústria da construção civil é a conscientização e o engajamento das partes interessadas em todos os níveis, desde os tomadores de

decisão até os trabalhadores da construção civil e a sociedade em geral (ABNT, 2004). O Quadro 2 apresenta práticas sustentáveis essenciais exequíveis na indústria da construção civil.

Quadro 2. Práticas Sustentáveis na Indústria da Construção Civil

ÁREA DE ATUAÇÃO	PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS
Educação e Capacitação (BRITO & NASCIMENTO, 2018)	Realizar treinamentos para profissionais da construção civil sobre técnicas de construção sustentável e uso adequado de materiais ecoeficientes. Programas educacionais e iniciativas de capacitação são fundamentais para aumentar o conhecimento e a compreensão sobre os benefícios do cimento verde e outras soluções sustentáveis.
Envolvimento das Comunidades Locais (CURADO, 2024)	Envolver as comunidades desde as fases iniciais de planejamento e desenvolvimento, garantindo transparência, diálogo e participação ativa nos processos de tomada de decisão. As comunidades locais desempenham um papel fundamental na aceitação e implementação de projetos de construção sustentável.
Incentivos e Reconhecimento (HABITABILITY, 2022)	Incluir incentivos fiscais para edifícios verdes, certificações de construção sustentável, como LEED e BREEAM, e premiações para projetos e iniciativas inovadoras. Incentivos financeiros, certificações de sustentabilidade e reconhecimento público são importantes ferramentas para motivar as partes interessadas a adotarem práticas sustentáveis.
Advocacia e Mobilização (EL GHAOURI, 2023)	Incluir campanhas de sensibilização, lobby político e parcerias estratégicas entre diferentes autores. A advocacia e mobilização por parte de organizações da sociedade civil, instituições de pesquisa, empresas e governos são essenciais para promover políticas públicas e regulamentações que favoreçam a adoção do cimento verde e outras práticas sustentáveis na indústria da construção civil.

Fonte: AUTORES (2024) (adaptado).

Ao conscientizar e engajar as partes interessadas em todos os aspectos da indústria da construção civil, é possível promover uma cultura de sustentabilidade e contribuir para a construção de um setor mais responsável, resiliente e alinhado com os objetivos de desenvolvimento sustentável (PASTORE, 2023).

Considerações Finais

O cimento verde surge como uma solução técnica e tecnológica promissora e eficaz para a descarbonização da indústria da construção civil, oferecendo uma alternativa viável e sustentável ao cimento convencional. Por meio da incorporação de materiais de baixa emissão de carbono e da adoção de técnicas e práticas de produção mais eficientes e sustentáveis, o cimento verde possibilita a redução significativa das emissões de CO₂ em relação à fabricação e uso do cimento Portland tradicional.

Ao substituir parcialmente o clínquer por materiais como escória de alto-forno, cinzas volantes, cinzas do bagaço da cana, cinzas da casca de arroz, pozolanas, pó de calcário e resíduos industriais, o cimento verde contribui para a preservação dos recursos naturais (extração), a minimização da geração de resíduos e a mitigação dos impactos ambientais negativos causados pela indústria da construção civil. Além disso, sua durabilidade e desempenho garantem a segurança e a qualidade das estruturas construídas, sem comprometer a eficiência técnica dos materiais.

É importante ressaltar que a adoção do cimento verde não apenas beneficia o meio ambiente, mas também está alinhada com as demandas e expectativas crescentes da sociedade por práticas construtivas mais sustentáveis e responsáveis. Como parte de um movimento global em direção à economia de baixo carbono, o cimento verde representa um material significativo na direção da descarbonização da indústria da construção civil devido a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Contudo, para que o potencial do cimento verde seja plenamente realizado, são necessários investimentos contínuos em pesquisa tecnológica, desenvolvimento e inovação, bem como políticas públicas e regulamentações que incentivem a sua adoção e disseminação em larga escala. Além disso, é fundamental promover a conscientização e a educação ambiental e industrial sobre os benefícios do cimento verde entre os profissionais da construção civil, os consumidores, os empreendedores e a sociedade em geral.

Assim, o cimento verde representa uma solução para transformar o setor em direção a um modelo mais sustentável, resiliente e responsável, contribuindo para a construção de um futuro mais equitativo para as gerações presentes e futuras, descarbonizando a indústria da construção civil.

Referências

ABCP. **Indústria brasileira faz a sua parte na redução de emissões**. 23 de abr. de 2021. Disponível em: <<https://abcp.org.br/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>> Acesso em 10 de mai. 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABOOD HABEEB, G.; BIN MAHMUD, H. **Study on Properties of Rice Husk Ash and Its Use as Cement Replacement Material**. Materials Research. [s.l.: s.n.].

AGÊNCIA USP. **Cimento alternativo é desenvolvido na USP**. 07 de out. de 2010. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=cimento-alternativo-magnesiano&id=010160101007>> Acesso em 22 de mai. 2024.

APRIANTI, E. et al. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes - A review. **Construction and Building Materials**, 2015.

ARCHDAILY BRASIL. **Concreto feito de cana-de-açúcar de resíduo agrícola a estruturas sustentáveis**. 11 de jun. de 2023. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/1001541/concreto-feito-de-cana-de-acucar-de-residuo-agricola-a-estruturas-sustentaveis>> Acesso em 21 de mai. 2024.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115–128, 15 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815000550>>. Acesso em: 11 mai. 2024.

BRITO, A. V. & Nascimento, M. S. (2018). A implantação do Bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas estruturais tais como: Fissuras, Rachaduras e Trincas. **Revista Científica Semana Acadêmica**. https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/bioconcreto-pos_grad.1_artigo_0.pdf Acesso em 15 abr. 2024

BRULLE, R. J. **Networks of Opposition: A Structural Analysis of U.S. Climate Change Countermovement Coalitions 1989–2015**. *Sociological Inquiry*, v. 91, issue 3, 2019, pp.603-624. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/soin.12333>>. Acesso em 15 abr. 2024

CAMPOS, Elisa. **O Brasil encara seus recursos naturais como algo que pode ser liquidado para fazer dinheiro rápido**. Entrevista com Mathis Wackernagel em 03/07/2017. *Revista Época*, Editora Globo, [S.I.], 2017. Seção Negócios. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/07/o-brasil-encara-seus-recursos-naturais-como-algo-que-pode-ser-liquidado-para-fazer-dinheiro-rapido.html?utm_content=bufferdab76&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer. Acesso em: 15 abr. 2024.

CELERE. **“Bioconcreto: o superconcreto que se autorrepara”**. 12 de jul. de 2021. Disponível em: <<https://celere-ce.com.br/inovacao/bioconcreto/>> Acesso em: 15 de abr. 2024.

CHEN, J. J. et al. Production of High-performance Concrete by Addition of Fly Ash Microsphere and Condensed Silica Fume. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 165–171, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817305519>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CIMENTO ITAMBÉ. **“Japão faz concreto substituindo areia por cinza vulcânica”**. 18 de jun. de 2020. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/japao-faz-concreto-substituindo-areia-por-cinza-vulcanica/> Acesso em: 29 de abr. 2024.

CIMENTO ITAMBÉ. **“Pesquisa global busca cimento de baixo carbono”**. 13 de fev. de 2014. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/pesquisa-global-busca-cimento-de-baixo-carbono/>> Acesso em: 29 de abr. de 2024.

CURADO, JULIANNA. **Medidas para descarbonização da construção civil avançam no Brasil**. CREA-AP. Brasília, 2024. Disponível em <https://creaap.org.br/medidas-para-descarbonizacao-da-construcao-civil-avancam-no-brasil/> Acesso em 15 abr. 2024.

DIKOKO. **Descubra os incríveis benefícios da fibra de coco na construção: resistência, durabilidade e estilo**. 12 de jan. de 2023. Disponível em: <<https://www.dikoko.com.br/descubra-os-incriveis-beneficios-da-fibra-de-coco-na-construcao-resistencia-durabilidade-e-estilo/>> Acesso em 22 de mai. 2024.

DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; AMARAL, G. M. (2020) **Energia embutida de uma habitação: abordagem considerando as fases do ciclo de vida.** In: DURANTE et al. (2020) *Habitações de Interesse Social [recurso virtual] Inovações Aplicadas ao desempenho do ambiente construído.* 1 ed., p. 43-73.

EDUCA CIVIL. **Bioconcreto: Saiba mais o que é, como funciona e como é feito.** 18 de ago. de 2020. Disponível em: <<https://educacivil.com/bioconcreto-saiba-mais-o-que-e-como-funciona-e-como-e-feito/>> Acesso em 20 de mai. 2024.

EL GHAOURI, OUSSAMA. **CNI: descarbonizar a indústria brasileira pode custar R\$ 40 bilhões até 2050.** Rádio Nacional. Brasília, 2023. Disponível em https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2023-12/_cni-descarbonizar-industria-brasileira-pode-custar-r-40-bi-ate-2050 Acesso em 14 abr. 2024.

EMF. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A Economia Circular: uma Covid-19 transformadora estratégia de recuperação: como os decisores políticos podem preparar o caminho para uma economia de baixo carbono e um futuro próspero.** 2020.

FAPESP. **Pesquisadores da USP desenvolvem cimento ecoeficiente.** Agência Fapesp, 2013. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/pesquisadores-da-usp-desenvolvem-cimento-ecoeiciente/17215>> Acesso em: 30 de abr. de 2024.

FARIAS, L. M.; MARINHO, J. L. A. (2020). **Construções sustentáveis: Perspectivas sobre práticas utilizadas na construção civil.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 16023-16033, mar 2020.

GCP APPLIED TECHNOLOGIES BRASIL. **Reduzindo o CO₂ através da substituição do clínquer.** 11 de set. de 2020. Disponível em: <<https://gcpat.com.br/pt-br/about/news/blog/reducing-co2-through-clinker-replacement>> Acesso em: 29 de abr. 2024.

GLOBALABC/IEA/UNEP: **GlobalABC Regional Roadmap for Buildings and Construction in Latin America: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.** Paris: IEA, 2020. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2.%20GlobalABC_Regional_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_in_Latin_America_2020-2050.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024

GONÇALVES, Caroline de Paiva; CARDOSO, Adriana de Freitas. A utilização da cerâmica nas técnicas construtivas em busca da inovação e sustentabilidade. **In: Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 60. 2016. Águas de Lindóia, São Paulo, 2016. P. 577 – 587.

GONZÁLEZ, J.S.; GAYARRE, F.L.; PÉREZ, C.L.C.; ROS, P.S.; LÓPEZ M.A.S. Influence of recycled brick aggregates on properties of structural concrete for manufacturing precast prestressed beams. **Construction and Building Materials**, v. 149, p.507-514, 2017.

GUNASEKAR, S.; RAMESH, N.; SHIVANI, G. Effective Utilisation of Construction and Demolition Waste (Cdw) As Recycled Aggregate in Concrete Construction – A Critical Review. **International Research Journal of Multidisciplinary Technovation (IR-JMT)**, v.1, p. 465-46,2019.

HABITABILITY. **COP 27: concreto e cimento de baixo carbono ganham mais apoio.** Habitability, 2022. Disponível em <https://habitability.com.br/cop-27-concreto-e-cimento-de-baixo-carbono-ganham-mais-apoio/> Acesso em: 14 abr. 2024.

HARVEY, D. **Dezessete contradições e o fim do capitalismo**. São Paulo, SP: Boitempo, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro; IBGE, v. 23, p. 1-80, 2010.

IMF. International Monetary Fund. **Retomar o rumo para alcançar emissões líquidas zero: três prioridades cruciais para a COP27**. Disponível em: <<https://www.imf.org/pt/Blogs/Articles/2022/11/04/getting-back-on-track-to-net-zero-three-critical-priorities-for-cop27>> Acesso em: 30 de abr. de 2024.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Cimento alternativo é desenvolvido na USP**. 07 de out. de 2010. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=cimento-alternativo-magnesiano&id=010160101007>> Acesso em: 30 de abr. de 2024.

INTEGRIDADE ESG. **Indústria do cimento mira neutralidade de carbono em 2050**. 12 de set. de 2022. Disponível em: <<https://integridadeesg.insightnet.com.br/industria-do-cimento-mira-neutralidade-de-carbono-em-2050/>> Acesso em 22 de mai. 2024.

JAMIL, M. et al. Pozzolanic contribution of rice husk ash in cementitious system. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 588–593, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.088>>. Acesso em: 30 de abr. de 2024.

KANG, S.-H.; HONG, S.-G.; MOON, J. The use of rice husk ash as reactive filler in ultra-high-performance concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 115, p. 389–400, 1 jan. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884618302795> Acesso em: 3 jun. 2024.

KESIKIDOU, F.; STEFANIDOU, M. Natural fiber-reinforced mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 25, 2019.

KRIPKA, R. M. L.; SCHELLER, M.; BONOTTO, D. L. **Pesquisa Documental: Considerações sobre conceitos e características na Pesquisa Qualitativa**. Atlas - Investigação Qualitativa em Educação. v. 2, p. 243-247; 2015.

LIPPEL. **Os benefícios econômicos e ambientais da reciclagem do vidro**. Disponível em: <<https://www.lippel.com.br/noticias/os-beneficios-economicos-e-ambientais-da-reciclagem-do-vidro/>> Acesso em 22 de mai. 2024.

LYRA, G. P. et al. Reuse of sugarcane bagasse ash to produce a lightweight aggregate using microwave oven sintering. **Construction and Building Materials**, v. 222, p. 222–228, 20 out. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819315776>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

LUHAR, S.; CHENG, T.-W.; LUHAR, I. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review. **Composites Part B: Engineering**, v. 175, p. 107076, 15 out. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836819310054>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

MÁRMOL, G. et al. Optimization of the MgOSiO₂ binding system for fiber-cement production with cellulosic reinforcing elements. **Materials & Design**, v. 105, p. 251–261, 5 set. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>

[S0264127516306694](#)>. Acesso em: 29 abr. 2024.

MENDES, F. G. B., Ruas, B. L. A., Silva, R. K. R., Melo, T. M. Eleutério, I. A. R., Costa, R. A. L. Gomes. L. S. P. (2016). **Concreto auto regenerativo: uma revisão bibliográfica sobre suas propriedades e benefícios para as estruturas de concreto** Anais de eventos. 10^o FEPEG. Montes Claros.

MUTHADHI, A.; KOTHANDARAMAN, S. **Optimum production conditions for reactive rice husk ash**. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, v. 43, n. 9, p. 1303–1315, nov. 2010.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. **Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review**. Cement and Concrete Composites, v. 68, 2016.

PASTORE, MARINA. **COP 28 estimula a cooperação para net zero na indústria do cimento**. Massa Cinzenta. São Paulo, 2023. Disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/cop-28-estimula-cooperacao-par-a-net-zero-na-industria-do-cimento/> Acesso em 15 abr. 2024.

PET CIVIL UFJF. **Cimento magnesiano: uma boa alternativa**. 08 de ago. de 2014. Disponível em: <<https://petcivilufjf.wordpress.com/2014/08/08/cimento-magnesiano-uma-boa-alternativa/>> Acesso em 23 de mai. 2024.

PORTAL DA CIÊNCIA UFLA. **Pesquisa utiliza resíduos de mineração e fibras de coco para reforçar blocos de concreto**. 22 de nov. de 2023. Disponível em: <<https://ciencia.ufla.br/reportagens/tecnologia-e-inovacao/964-pesquisa-utiliza-residuos-de-mineracao-e-fibras-de-coco-para-reforcar-blocos-de-concreto>> Acesso em 20 de mai. 2024.

PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. Sustainable utilization of rice husk ash from power plants: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, 2018. QU, J. et al. Effects of rice- husk ash on soil consistency and compactibility. *Catena*, v. 122, p. 54–60, 1 nov. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816214001519>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

QU, J. et al. **Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility**. *Catena*, v. 122, p. 54–60, 1 nov. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816214001519>>. Acesso em: 3 jun. 2024.

RÊGO, J. H. S. et al. Microstructure of cement pastes with residual rice husk ash of low amorphous silica content. **Construction and Building Materials**, v. 80, p. 56–68, 1 abr. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814013610>>. Acesso em: 21 mai. 2024.

REVISTA FAPESP. **Concreto verde: resíduos agrícolas podem diminuir o uso de cimento e reduzir a emissão de dióxido de carbono**. Abril, 2008. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/concreto-verde/>> Acesso em 22 de mai. 2024.

RIBEIRO, IVO. **A Indústria do cimento e concreto busca acelerar a redução das emissões de CO2 e o Brasil tem papel relevante, diz presidente da GCCA**. Revista Econômico Valor. São Paulo, 2023. Disponível em <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2023/11/06/industria-do-cimento-e-concreto-b-usca-acelerar-a-reducao-das-emisses-de-co2-e-brasil-tem-papel-relevante-diz-presidente-da-gcca.ghtml> Acesso em: 15 abr. 2024.

ROSSIGNOLO, J. A. et al. **Improved interfacial transition zone between aggregate-cementitious matrix by addition sugarcane industrial ash.** Cement and Concrete Composites, v. 80, p. 157–167, 1 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946516302207>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SALIM, LEILA; PACHECO, PRISCILA; ANGELO, CLAUDIO. **Agência vê pico de emissões até 2025, mas 1,5°C ainda fora de alcance.** O Eco. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em <https://oeco.org.br/noticias/agencia-ve-pico-de-emissoes-ate-2025-mas-15oc-ainda-fora-de-alcance/> Acesso em 15 abr. 2024.

SAMINAR, Civ. Eng. 2016. **BACTERIAL CONCRETE.** [S.l.]: Disponível em: <<http://civillengseminar.blogspot.com/2016/06/bacterial-concrete.html/>>. Acesso em: 11 mai. 2024.

SANDHU, R. K.; SIDDIQUE, R. **Influence of rice husk ash (RHA) on the properties of self-compacting concrete: A review** Construction and Building Materials, 2017.

SATA, V.; CHINDAPRASIRT, P. **Use of construction and 19 demolition waste (CDW) for alkali-activated or geopolymer concrete.** Advances in Construction and Demolition Waste Recycling, p. 385-403, 2020.

SHAND, M. A. **The Chemistry and Technology of Magnesia.** John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, 2016.

SILVA, F. P. C., de Carvalho PASSARINI, V., & SANTOS, F. C. S. (2017). **Bioconcreto: A Tecnologia Para Construção Sustentável.** INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797),5(2), 41-58.

SILVA, I. I. S. A.; LAGO, L. B.; SOARES, J. P.; SOUZA, P. S. L. **Avaliação do uso de fibra de coco em compósitos cimentícios.** In: Congresso brasileiro do concreto, 50, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008. 17p.

STROHER, A. P. et al. **Utilização da cerâmica de entulho na substituição de agregado graúdo do concreto.** Cerâmica Industrial, v. 22, n. 4, p. 34–46, 2017.

TASHIMA, M. M. et al. **Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica.** Ambiente Construído, v. 12, n. 2, p. 151–163, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-6212012000200010&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 30 de abr. de 2024.

THORUS ENGENHARIA. **Bioconcreto você sabe o que é?** (2019). Disponível: <<https://thorusengenharia.com.br/bioconcreto-o-que-e-concreto-regenerativo/>> Acesso em 15 abr. 2024.

UNLUER, C.; AL-TABBAA, A. **The role of brucite, ground granulated blastfurnace slag, and magnesium silicates in the carbonation and performance of MgO cements.** Construction and Building Materials, v. 94, p. 629–643, 30 set. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815301264>>. Acesso em: 4 mai. 2024.

VENTURA; CLAUDINO; FERREIRA; VEIGA; ROSSI. **Comparação entre a utilização do bioconcreto com concreto convencional e com o concreto com fibra.** Revista FT. 27 de out. de 2023. Disponível em: <https://revistaft.com.br/comparacao-entre-a-utilizacao-do-bioconcreto-com-concreto-convencional-e-com-o-concreto-com-fibra/> Acesso em 8 de mai. 2024.

WALLING, S. A.; PROVIS, J. L. **Magnesia-Based Cements: A Journey of 150 Years, and Cements for the Future?** Chemical Reviews American Chemical Society. 27 abr. 2016.

WANG, J.; WU, H.; TAM, V.W.Y.; ZUO, J. **Considering life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China.** Journal of Cleaner Production, v. 206, p.1004-1014, 2019.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil.** Ignis, Caçador, v. 6, n. 2, p.18-34, maio/ago 2017. Semestral.

WEG. **Bioconcreto: o que é e como ele é capaz de se regenerar.** 21 de jul. de 2021. Disponível em: <<https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/bioconcreto-o-que-e-e-como-ele-e-capaz-de-se-regenerar/>> Acesso em 20 de mai. 2024.

WEI, J.; MEYER, C. **Utilization of rice husk ash in green natural fiber-reinforced cement composites: Mitigating degradation of sisal fiber.** Cement and Concrete Research, v. 81, p. 94–111, 1 mar. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884615002975>>. Acesso em: 11 mai. 2024

WONG, C. L. et al. **Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review.** Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, , 10 set. 2018.

WRI BRASIL. **A ação climática precisa avançar muito mais rápido para atingirmos a meta de 1,5°C.** 20 de nov. de 2020. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/acao-climatica-precisa-avancar-muito-mais-rapido-para-atingirmos-meta-de-15degc-0>> Acesso em 09 de mai. 2024.

Recebido em 6 de dezembro de 2024.
Aceito em 16 de dezembro de 2024.