



IMPACTOS GERADOS PELA EMISSÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) NA PRODUÇÃO CIMENTÍCIA

Fabrine Bulhões Araújo ¹

Luis Henrick Monteiro de Britto ²

Anderson Batista Passos ³

Resumo: A produção do cimento é uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo significativamente para o aquecimento global e consequentemente nas mudanças climáticas no planeta. A extração de matérias-primas e a queima de alguns combustíveis fósseis na indústria cimenteira causam a poluição do meio ambiente e aumentam os gases do efeito estufa, afetando a saúde humana e a biodiversidade. A partir disso, o objetivo dessa pesquisa é difundir os impactos causados pela emissão de gases estufa em atividades da indústria cimenteira e incentivar o uso de energias renováveis na tentativa de reduzir essa emissão, por meio do método de pesquisa bibliográfica foi possível a utilização de informações para melhor compreensão do assunto abordado de maneira crítica e reflexiva. Diante disso, o aumento da demanda por cimento destaca a responsabilidade ambiental na busca de alternativas que sejam sustentáveis para diminuir os impactos ambientais.

Palavras-chave: Aquecimento global; Dióxido de carbono; Indústria cimenteira; Mudança climática; Sustentabilidade.

Abstract: Cement production is one of the main sources of carbon dioxide (CO₂) emissions, contributing significantly to global warming and consequently climate change on the planet. The extraction of raw materials and the burning of some fossil fuels in the cement industry cause environmental pollution and increase greenhouse gases, affecting human health and biodiversity. Based on this, the aim of this research is to disseminate the impacts caused by the emission of greenhouse gases in cement industry activities and encourage the use of clean energy in an attempt to reduce this CO₂ emission. Through the bibliographical research method, it was possible to use information to better understand the subject in a critical and clear manner. In view of this, the increase in demand for cement highlights environmental responsibility in the search for sustainable alternatives to reduce environmental impacts.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade de Excelência (UNEX) – Unidade de Itabuna-BA, e-mail:fabrinebulhoes@gmail.com.

² Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade de Excelência (UNEX) – Unidade de Itabuna-BA, e-mail: luishenrickmonteirodebritto@gmail.com.

³ Professor(a) Orientador(a) da Universidade de Excelência (UNEX) – Unidade de Itabuna-BA, e-mail: anderson.passos@ftc.edu.br.

Keywords: Global warming; Carbon dioxide; Cement industry; Climate change; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cimento requer grande quantidade de energia, gerando uma alta quantidade de dióxido de carbono (CO_2) e envolve a exploração de produtos naturais em grande escala, contribuindo para a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Para OLIVEIRA T. R., (2019, p. 02) a produção do cimento emite cerca de 2 bilhões de toneladas de CO_2 , consumindo em torno de 3% da energia primária global, ressaltando a ineficiência no seu rendimento de conversão ao indicar que para a produção de 1 tonelada de clínquer requer a extração de 1,5 a 1,7 toneladas de matérias-primas, assumindo impactos negativos ao meio ambiente.

A extração de matérias-primas como calcário e argila frequentemente tende na deterioração do solo e da paisagem, gerando impactos negativos à diversidade biológica local. A queima de combustíveis fósseis para a alimentação dos fornos contribui para a poluição atmosférica ao liberar poluentes prejudiciais à saúde humana. Com isso, surge uma preocupação legítima e bem fundamentada em relação aos impactos ambientais devido a produção do cimento que vem desde a extração da matéria prima.

No entanto, a explicação para elevada emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente pode ser explicada pelo processo intensivo de energia e pela geração de CO_2 durante a fabricação do clínquer, um pó homogêneo, também chamado de farinha o qual se refere a fase básica e principal do cimento, o qual está intimamente ligado ao meio ambiente devido às emissões de dióxido de carbono que ocorrem durante sua produção, o que contribui para o aumento do aquecimento global. Isso representa uma preocupação ambiental significativa na indústria da construção.

A demanda por cimento sugere ser contínua nos próximos anos por conta da evolução na construção civil, e atrelado a esse crescimento e sua produção em grande escala, existe uma responsabilidade ambiental proveniente da emissão do CO_2 . Sua produção requer um alto consumo de energia durante o processo de fabricação do clínquer, esse processo possui um grande uso de carvão e também a calcinação sendo esses um dos fatores de maior responsabilidade na emissão do CO_2 .

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo identificar possíveis impactos

ambientais do CO₂ na produção de cimento Portland em grande escala, buscando a elucidação sobre as implicações que diz respeito a produção do cimento e promover alternativas mais sustentáveis em relação às que são usadas atualmente.

2 METODOLOGIA

O método de pesquisa foi feito através de pesquisa bibliográfica, trazendo reflexões recentes para melhor fundamentar a temática em análise. Para SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, S. O.; ALVES, L. H. (2021):

“A pesquisa bibliográfica é o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria que irá direcionar o trabalho científico o que necessita uma dedicação, estudo e análise pelo pesquisador que irá executar o trabalho científico e tem como objetivo reunir e analisar textos publicados, para apoiar o trabalho científico.” (SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, S. O.; ALVES, L. H., 2021, p. 66).

Como fonte de pesquisa, foram feitos estudos de 8 artigos, 1 dissertação, 2 trabalhos de conclusão de curso, e sites como: WRI Brasil, SNIC, Estadão, IPCC, ONU News e SUNO, todos dentro do âmbito de construção civil, emissão de dióxido de carbono, efeito estufa e aquecimento global, com período de publicação de 2002 a 2023, para uma análise crítica e clara sobre o tema apresentado, trazendo um conhecimento significativo e suficiente para a pesquisa científica.

Sendo assim, espera-se que o presente trabalho alcance os objetivos desejados diante de sua metodologia para que seja instrumento de estudos para estudos futuros podendo assim complementar esta discussão.

No que diz respeito à estrutura da pesquisa, inicia-se com a apresentação da produção do cimento visando a introdução do clínquer, em seguida é exposto dados da indústria cimenteira e sua ligação com o crescimento da estrutura do país, é também identificado as consequências ambientais que atingem a saúde humana e por fim é sugerido o uso de tecnologias sustentáveis agregando não só em melhorias ambientais como no retorno financeiro e de relevância para a empresa.

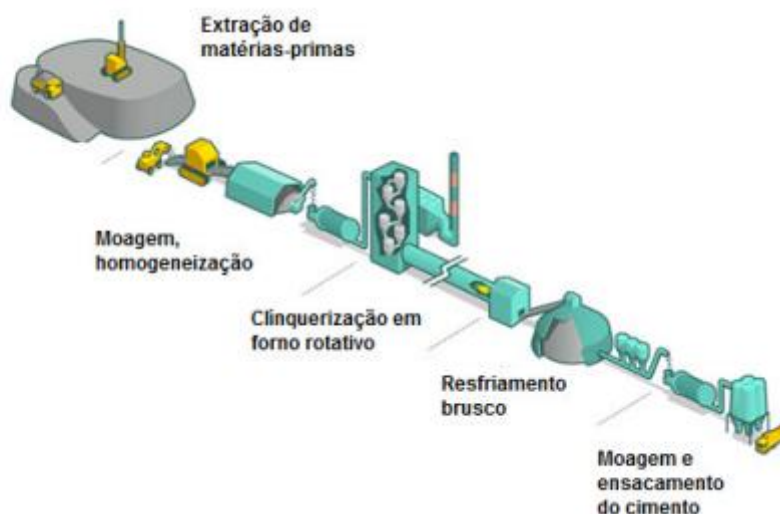
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção do cimento Portland

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos que, ao serem misturados com água, hidratam-se, resultando o endurecimento da massa, que pode, então, oferecer elevada resistência mecânica (Tartuce e Giovannetti,(1990) *apud* Mariani, B. B. (2018)).

Seu processo de produção segue as etapas representadas na figura 01, as quais seguem a ordem exposta: extração de matérias-primas, moagem, homogeneização, clínquerização em forno rotativo, resfriamento brusco, moagem e ensacamento do cimento.

Figura 1 - Processo de produção do cimento Portland



Fonte: (SNIC, 2013 *apud* Mariani, B. B. (2018)).

3.2 O clínquer como principal fator de emissão do CO₂

O clínquer é um componente imprescindível quando fala-se em produção de cimento Portland, que é o tipo de aglomerante hidráulico mais utilizado na construção civil em todo mundo. Ele é produzido a partir da mistura de combinações de algumas matérias-primas em um processo que necessita uma alta temperatura em fornos rotativos. Vale ressaltar certas características sobre o clínquer:

3.2.1 Composição do clínquer

O clínquer é composto principalmente por minerais de cálcio, argila, alumínio e ferro. As matérias-primas mais utilizadas na sua fabricação incluem basicamente o calcário (fonte de cálcio), argila (fonte de sílica, alumínio e ferro), e outras adições, dependendo do cimento que se deseja fabricar. Todas essas substâncias são misturadas em proporções específicas para obter a composição do clínquer.

3.2.2 Processo de fabricação

O processo de fabricação do clínquer envolve a moagem da matéria prima em um moinho de bolas, após a moagem forma-se uma mistura homogênea conhecida como farinha crua, é importante salientar que quanto mais é moído a matéria prima, mais resistência mecânica ele terá. A farinha crua é alimentada em fornos rotativos, onde é submetida a temperaturas muito elevadas, podendo atingir 1.450°C. Com essas condições ocorrem reações químicas complexas, incluindo fusão dos componentes e a formação de novos minerais, dando origem ao clínquer.

Segundo Silva Z. C (2021, pág 20), em todo o processo de clinquerização a alta temperatura do maçarico o qual é utilizado para a queima do combustível desencadeia reações físico-químicas e parte do material que entra na torre e se transforma em gás carbônico.

3.2.3 Utilização do clínquer

O clínquer é o principal componente do cimento Portland. Após a produção do clínquer, ele é resfriado e moído em um moinho de cimento combinado com pequenas quantidades de gesso ou sulfato de cálcio para regular o tempo de endurecimento. O produto resultante é o cimento Portland, que é amplamente utilizado na construção civil para produção de concreto, argamassas e outros materiais de construção.

3.3 Indústria cimenteira

Segundo Maury M. B., Blumenschein R. N. (2012, pág 5) “Sem dúvida, o maior potencial de emissões está na Ásia, China, Japão e Índia. No Brasil, o potencial de emissão é considerado mediano.” Assim, o potencial de emissões do CO₂ pela

indústria do cimento é maior nesses países citados, justamente por conta do seu desenvolvimento estrutural e econômico. No Brasil, o potencial de emissão desse gás é considerado mediano em relação a esses países da Ásia, essa diferença ocorre, justamente devido à escala de produção e o perfil econômico de cada região.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), a produção de cimento no Brasil foi de 65,8 milhões de toneladas em 2021. O país é o terceiro maior produtor de cimento das Américas, ficando atrás apenas do México e dos Estados Unidos (EUA). A produção de cimento no Brasil, existem algumas regiões que se destacam, como o Sudeste que tem Minas Gerais (MG) e São Paulo (SP), sendo MG o maior produtor de cimento do Brasil, produzindo cerca de 11,6 toneladas, representando cerca de 20% da produção do país; a região sul que é a segunda maior produtora de cimento no Brasil produz cerca de 6,3 toneladas.

Saindo da esfera nacional, segundo alguns dados da United States Geological Survey (USGS), a produção de cimento em 2020 foi de cerca de 4,1 Bilhões de toneladas e representando mais da metade da produção mundial, ou seja, os maiores produtores do mundo têm-se a China, Índia e EUA, e isso se deve principalmente pelo fato deles serem muito desenvolvidos economicamente, conseqüentemente terá uma necessidade maior de produção.

A China investe bastante em construção civil para atender a demanda de crescimento constante na área, incluindo a construção de rodovias, ferrovias e cidades. Na Índia a demanda de cimento é alta, principalmente pela urbanização acelerada e pela renda per capita da população o que impulsiona a produção desses materiais. Nos Estados Unidos, o setor de construção civil é muito alto por ser investido bastante em infraestrutura, assim como os outros países citados, porém ele tem o diferencial de exportação para países vizinhos.

Portanto, é consensual que a produção de cimento esteja ligada principalmente ao crescimento econômico e à infraestrutura de um país. Um exemplo disso são as potências econômicas mundiais, como Estados Unidos e China, que são os maiores produtores desse material, justamente devido à necessidade crescente de infraestrutura, impulsionada pelo constante crescimento econômico desses países.

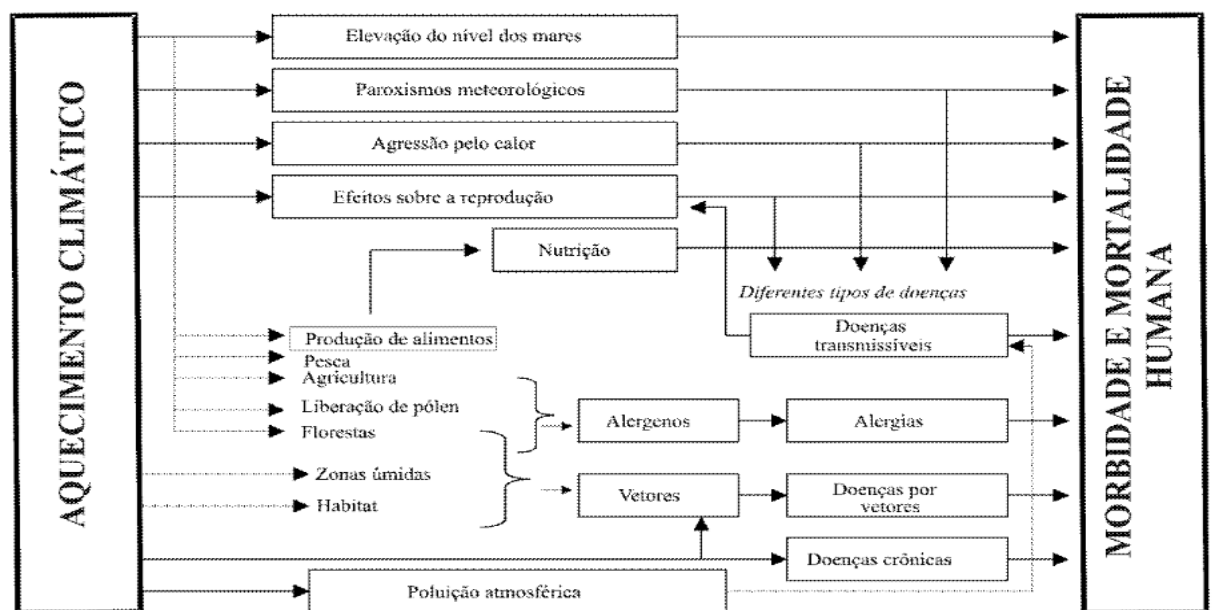
3.4 Impactos gerados pela Emissão do CO₂ na Atmosfera

Para MB Maury, RN Blumenschein, (2012) existe um macro impacto gerado na fase de clinquerização com forte emissão de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono. O efeito estufa é uma das causas naturais do aquecimento global, porém, também leva em consideração, as ações antrópicas do homem na natureza, que viabilizam cada vez mais o aquecimento, sendo uma das causas mais extremas da problemática ambiental (ATR MOREIRA, EC dos Santos, GT Nóbrega, S Regina, B de Carvalho, 2022).

O aumento da temperatura média da Terra, chamado aquecimento global, causa mudanças climáticas com consequências devastadoras como derretimento das camadas de gelo, a elevação dos mares, a perda de espécies e a acidificação dos oceanos, impactos estes que continuarão a aumentar e se agravar à medida que as emissões dos gases estufa aumentam (K. Levin, D. Waskow e R. Gerholdt , 2021).

Esses impactos se estendem também à saúde humana, conforme Mendonça et al. (2002 ,p. 211) condições extremas de calor e frio intenso apontam para os riscos de saúde que podem acompanhar aumento nos índices de mortalidade por doenças respiratórias, cardiovasculares e cerebrovasculares, como também para os problemas já conhecidos como o câncer de pele e cataratas na visão.

Figura 2: Aquecimento climático e seus impactos.

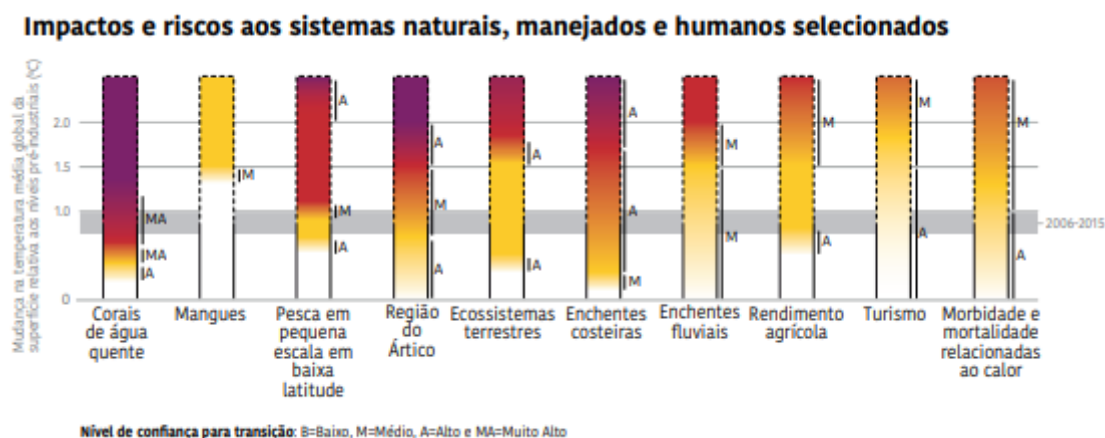


Fonte: Besancenot (2001) *apud* Medonça (2002).

O aumento da temperatura também contribuirá para a alteração das florestas, incidindo sobre poléns e alérgenos, além das zonas úmidas, habitats e vetores, repercutindo assim em alergias e doenças transmitidas por vetores (Mendonça, 2002, p. 212).

Em 2016, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) fez um relatório sobre os impactos do aquecimento global e suas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa baseado na limitação do aquecimento a 1,5°C. As implicações foram estimados pelo relatório e trouxe um gráfico já preocupante.

Figura 3: Temperatura média global da superfície.



Fonte: IPCC, 2018.

Nos parágrafos acima foi projetado expectativas a qual acreditava-se ser controlada, mas já percebe-se a era das consequências não sendo cumprida tal limitação do aquecimento global a 1,5 °C por relatórios do IPCC, ainda de acordo com a ONU News em abril de 2022, "Guterres alertou sobre o caminho rápido para o desastre climático, com principais cidades debaixo d'água, ondas de calor sem precedentes, tempestades aterrorizantes, falta de água generalizada e a extinção de 1 milhão de espécies de plantas e animais."

Considerando-se os impactos do efeito estufa e decorrente dele o aquecimento global, é de fato notório a influencia de fatores externos antropogênicos e como tais impactos afetaram todo o planeta Terra. Assim destacando a influência direta do dióxido de carbono (CO₂) como gás efeito estufa e a forma que ele é emitido na produção do cimento durante toda sua fabricação, bem como na clínquerização.

3.5 Incentivo ao uso de energias renováveis

A cadeia produtiva da indústria da construção civil pode definir valores em seu processo adotando práticas sustentáveis por critérios ESG - *Environmental, Social and Governance* (Ambiental, Social e Governança), não apenas beneficiando financeiramente e sua competitividade entre as empresas do setor mas tendo como foco principal o meio ambiente e a sociedade. Para Tiago Reis (2023) o ESG “é um conjunto de políticas utilizados para orientar empresas, investimentos e escolhas de consumo focadas em sustentabilidade.”

Essa análise sugere que aliar a indústria cimentícia com as práticas sustentáveis pode resultar no uso de tecnologias de baixo carbono reduzindo a emissão de gases estufa e consequentemente seus impactos, ainda assim trazendo para a empresa do setor uma boa reputação e aceitação pública, gerando credibilidade positiva.

Em confirmação da visão financeira CAPPUCCI, (2018) apud DIAS, (2022, p. 7) ressalta que as empresas que implantaram o modelo ESG seguindo os seus critérios tendem a possuir mais investidores com potencial econômico ao demonstrar compromisso e confiança, os quais buscam investir em organizações sólidas e com visão a longo prazo

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo foi identificado os impactos ambientais do dióxido de carbono (CO₂) emitidos na produção de cimento Portland em grande escala, sendo atingido o objetivo principal desta pesquisa bibliográfica. Esta problemática difundida para o leitor possui o propósito de um incentivo à transição para o uso de energias mais limpas e sustentáveis na indústria do cimento, dentre elas destacam-se: solar, eólica, hídrica, biomassa e geotérmica, mitigando a emissão do CO₂ e reduzindo seus impactos.

Salienta-se então, a necessidade da inclusão de fontes de energias renováveis e o uso de adições minerais na mistura de cimento para reduzir a quantidade de clínquer é necessário, mas para isso será imprescindível políticas responsáveis para enfatizar a importância de tecnologias e energias mais limpas na produção do cimento, além

do avanço de estudos voltados para o setor industrial atrelado ao meio ambiente, desenvolvimento e à sustentabilidade.

Assim, o estudo contribui diretamente com o mercado da construção civil e toda a sociedade para a compreensão, bem como na disseminação das causas e seus impactos, partindo para o avanço da indústria cimentícia mantendo a vida útil das estruturas a serem construídas com um cimento menos poluente.

REFERÊNCIAS

SOUSA, ANGÉLICA SILVA DE OLIVEIRA, GUILHERME SARAMAGO DE ALVES, LAÍS HILÁRIO. **Pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**, Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/2021. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336/1441>>. Acesso em: Setembro de 2023

MARIANI, B. B. **Produção de clínquer Portland com baixa emissão de CO₂ a partir da incorporação de minério não reagido (MNR) advindo da produção de TiO₂**/Bruno Bueno Mariani. -- Salvador, 2018. 130 f. : Il. Disponível em: <<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/32946>>. Acesso em: Setembro de 2023.

MENDONÇA, FRANCISCO. **Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias**. Terra livre. São Paulo, v. 1 - n. 20, p. 205-221, jan/julho 2023. Disponível em: <<https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/184/168>>. Acesso em: Setembro de 2023.

LEVIN, Kelly. WASKOW, David. GERHOLDT, Rhys. **Mudanças Climáticas: veja 5 grandes resultados do relatório do IPCC**. World Resources Institute, 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/mudancas-climaticas-alarmanter-veja-5-grandes-resultados-do-relatorio-do-ipcc?gclid=CjwKCAjw1MajBhAcEiwAagW9MUveuoqKR0oOam7sLGRornC6Q9YKA68nJ-stKYKXF0uaVSd9jkdohRoCcK4QAvD_BwEhttps://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/184/168f>. Acesso em: Setembro de 2023.

Dados do setor. Sistema Nacional da Indústria do Cimento, 2022. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>>. Acesso: Acesso em: Setembro de 2023.

ANDRADE, Maria Lúcia Amarante de; CUNHA, Luiz Maurício da Silva; SILVA, Marcela do Carmo. **Desenvolvimento e perspectivas da indústria de cimento**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.15 , p. [35]-62, 03/2002. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13456>>. Acesso em: Setembro de 2023.

Maury M. B., Blumenschein R. N. **Produção do cimento: impactos a saúde e meio ambiente. Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012. . Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12110/1/ARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf>. Acesso em: Setembro de 2023.

Calcário agrícola: vantagens, tipos e como deve ser usado. Canal Agro, 2022. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/calcario-agricola-vantagens-tipos-e-como-deve-ser-usado/#:~:text=O%20ssssscalco%20rio%20C3%A9%20uma%20rocha,%20presen%C3%A7a%20de%20outros%20compostos>>. Acesso em: Setembro de 2023.

PRADO, J.E.A. et al. **Análise das emissões de gases do efeito estufa pelo coprocessamento de resíduos sólidos em indústria cimenteira.** Rev. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 18, n. 53, p.154-166, seção temática, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15684>. Acesso em: Setembro de 2023.

MOREIRA, Aline TR et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. **Revista Educação em Foco–Edição nº**, 2022. Disponível em: <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2022/06/O-IMPACTO-DA-A%C3%87%C3%83O-ANTR%C3%93PICA-NO-MEIO-AMBIENTE-AQUECIMENTO-GLOBAL-p%C3%A1g-22-a-27.pdf>. Acesso em: Setembro de 2023.

SILVA, Zilda Conceição da. **Coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer: uma revisão sistemática de literatura.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15166/TCC%20Zilda%20Silva%20-%202024.11.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: Setembro de 2023.

DE OLIVEIRA, Thamires Rodrigues; VIEIRA, Luara Batalha; DA SILVA PAES, Larissa. Avaliação da Utilização de Resíduos incorporados ao Clínquer Portland: Revisão Sistemática. **Anais. V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia**, 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/56d5/4dc9bad1fc4c8492f5444e402aa7e68cb008.pdf>. Acesso em Setembro.

Aquecimento Global de 1,5°C. **MCTIC**, julho 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf> >. Acesso em outubro de 2023.

Relatório da ONU aponta recorde de emissões de gases de efeito Estufa. **ONU News**, 4 abril 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/04/1785102>>. Acesso em outubro de 2023.

DIAS, Flaviane Moraes. O processo de implementação de um sistema ESG em uma construtora. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1387>>. Acesso em outubro de 2023.

REIS, Tiago. ESG: o que é? Entenda tudo sobre essa sigla. **SUNO**, 11 fevereiro 2022. Disponível em: <https://www.suno.com.br/guias/esg/>>. Acesso em novembro de 2023.