



BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO NILSON SOUZA GONÇALVES

**A UTILIZAÇÃO DE ADIÇÕES EM ARGAMASSAS COLANTES A FIM DE
REDUZIR A QUANTIDADE DE CIMENTO E DE EMISSÕES DE CO₂: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

**CONCEIÇÃO DO COITÉ-BA
2022**

JOÃO NILSON SOUZA GONÇALVES

**A UTILIZAÇÃO DE ADIÇÕES EM ARGAMASSAS COLANTES A FIM DE
REDUZIR A QUANTIDADE DE CIMENTO E DE EMISSÕES DE CO₂: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de conclusão do curso Engenharia Civil da Faculdade da Região Sisaleira – FARESI como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Tamires Cordeiro.

**CONCEIÇÃO DO COITÉ-BA
2022**

Ficha Catalográfica elaborada por:
Carmen Lúcia Santiago de Queiroz – Bibliotecária
CRB: 5/1222

G586 Gonçalves, João Nilson Souza
A utilização de adições em argamassas colantes a fim de reduzir a quantidade de cimento e de emissões de CO₂: revisão bibliográfica/João Nilson Souza Gonçalves. – Conceição do Coité:FARESI, 2022.
19f.;il.,color..

Orientadora: Profa. Ma. Tamires Cordeiro.
Artigo científico (bacharel) em Engenharia Civil – Faculdade da Região Sisaleira (FARESI). Conceição do Coité, 2022.

1 Engenharia Civil 2 Argamassa colante.3 Adições.
I Faculdade da Região Sisaleira – FARESII CCordeiro, Tamires. III Título.

CDD: 620.135

A UTILIZAÇÃO DE ADIÇÕES EM ARGAMASSAS COLANTES A FIM DE REDUZIR A QUANTIDADE DE CIMENTO E DE EMISSÕES DE CO₂: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

João Nilson Souza Gonçalves¹

Tamires Cordeiro Santana²

RESUMO

A produção de cimento gera grandes impactos ambientais decorrente do seu processo de fabricação, uma vez que são emitidos cerca de 832 kg de CO₂ por tonelada de clínquer produzido, decorrentes da queima de combustíveis fósseis e da decarbonatação do calcário. Devido a produção de cimento ser um processo complexo que utiliza significativas quantidades de matéria-prima e energia, e o concreto ser o material mais consumido no planeta após a água, é importante avaliar seu impacto ambiental e propor a indústria cimenteira soluções para mitigar problemas ambientais por meio de práticas sustentáveis. A partir deste cenário, esse trabalho tem como objetivo apresentar adições, que podem substituir parcialmente o cimento como alternativa ecológica no preparo de argamassas colantes. Foi promovido através deste estudo uma revisão bibliográfica, para analisar as adições em argamassa colante no cenário nacional, no período de 2012 a 2022. A análise dos artigos mostrou que o uso de resíduos como adições em substituição parcial ao cimento foi uma solução eficaz ao meio ambiente, pois promoveu uma destinação uma destinação ecológica aos resíduos, além de proporcionar melhorias nas propriedades das argamassas colantes, mostrando-se superior à argamassa de referência e atendendo aos requisitos das NBR14.081-1 (2012) e NBR 14083-4 (2012). Apesar da pequena quantidade de artigos encontrados com esse tema, o que mostra a necessidade de explorar mais esse conteúdo, constata-se que o tema abordado é de grande relevância, pois aponta soluções para o uso sustentável dos resíduos de processos industriais, permitindo assim, o seu uso em argamassas colantes e dando uma destinação ecológica aos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa colante. Adições. Emissão.

ABSTRACT

The production of cement generates major environmental impacts as a result of its manufacturing process, since around 832 kg of CO₂ are emitted per ton of clinker produced, resulting from the burning of fossil fuels and the decarbonation of limestone. Because cement production is a complex process that uses significant amounts of raw material and energy, and concrete is the most consumed material on the planet after water, it is important to assess its environmental impact and propose solutions to the cement industry to mitigate environmental problems. through sustainable practices. From this scenario, this work aims to present additions that can partially replace

¹ Discente do curso de Engenharia Civil. E-mail: joaonilson.goncalves@faresi.edu.br;

² Professora orientadora. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. E-mail: tamires.cordeiro@faresi.edu.br

cement as an ecological alternative in the preparation of adhesive mortars. Through this study, a bibliographical review was promoted to analyze the additions in adhesive mortar on the national scene, from 2012 to 2022. The analysis of the articles showed that the use of waste as additions in partial replacement of cement was an effective solution to the environment, as it promoted an ecological destination for waste, in addition to providing improvements in the properties of adhesive mortars, proving to be superior to the reference mortar and meeting the requirements of NBR14.081-1 (2012) and NBR 14083-4 (2012)). Despite the small number of articles found with this theme, which shows the need to explore this content further, it appears that the topic addressed is of great relevance, as it points to solutions for the sustainable use of waste from industrial processes, thus allowing, its use in adhesive mortars and giving an ecological destination to waste.

KEYWORDS: Adhesive mortar. Addition. Issue.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cimento gera grandes impactos no que diz respeito as emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, a indústria de cimento foi responsável por 26,82 % das emissões de CO₂ proveniente de processos industriais em 2020 (SEEG BRASIL, 2021). No processo de produção do cimento Portland, cerca de 50 % das emissões de dióxido de carbono são resultantes das reações químicas que convertem o calcário (CaCO₃) em óxido de cálcio (CaO) (WBCSD, 2012).

Para reduzir os impactos ambientais causados pela produção do cimento, adições minerais podem ser utilizadas como substituição parcial do cimento nos concretos e argamassas, podendo trazer melhorias nas propriedades das matrizes cimentícias e redução de custos, além de oferecer uma destinação adequada aos resíduos industriais, minimizando a extração de matéria-prima. As adições mais utilizadas são as escórias, pozolanas e fillers (ABCP, 2021).

Adições minerais são utilizadas em argamassas de cimento Portland principalmente para melhorar suas propriedades, sendo as mais importantes a retenção de água, a resistência mecânica, a aderência e o tempo em aberto. Alguns autores trouxeram resultados promissores sobre o uso de adições em argamassas colantes, entre eles Silva *et al.* (2018) que avaliaram a utilização de resíduos de polimentos de placas de mármore e granito na produção de argamassas colantes e observaram um aumento na resistência a compressão por meio dos ensaios de resistência axial e diametral das argamassas. Rossa e Portella (2012) com “adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I” melhorou a trabalhabilidade

em relação a argamassa de referência, e Abreu *et al.* (2019) com a “análise da viabilidade técnica da substituição parcial de cimento Portland por resíduos da indústria do silício para a produção de argamassa” que apresentou um aumento considerável na resistência à compressão axial em comparação à argamassa de referência.

Cezar (2011) realizou um estudo sobre o uso de cimento com maior percentual de adições e observou que o uso desse cimento resultou em uma menor liberação de gás carbônico, ou seja, o uso de adições minerais na substituição parcial ao cimento nas misturas de argamassa, colaborou com as buscas de soluções alternativas para a preservação do meio ambiente.

Dentro desse contexto este estudo tem como objetivo geral fazer uma revisão bibliográfica do uso de adições minerais em substituição parcial ao cimento Portland nas argamassas colantes. E tendo como objetivo específico a análise das propriedades das argamassas colantes com as adições minerais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRIA DO CIMENTO PORTLAND

O cimento é o produto mais utilizado na construção civil, Lima *et al.* (2022) evidencia a sua importância relatando que o concreto é o segundo produto mais consumido no mundo, ficando apenas atrás da água, e tendo como matéria prima o cimento, alguns estudos mostram indício do seu uso desde o antigo Egito. Os egípcios utilizavam uma mistura de gesso calcinado com terra vulcânica, esses povos já empregava o cimento como aglomerante entre os blocos de pedra dos seus monumentos. Esse cimento posteriormente foi aprimorado pelos romanos através da combinação de calcário calcinado, pedaços de telha e cinza vulcânica chamada de pozzolana (DA SILVA, 2022).

Em 1824 o construtor inglês, Joseph Aspdin, desenvolveu e patenteou uma mistura decorrente da calcinação de pedra calcária e argila, obtendo como resultado desse experimento uma espécie de pó com um elevado grau de finura, que ao ser combinado com água e depois de seco, apresentava características de cor e resistência semelhantes às apresentadas pelas pedras da ilha britânica de Portland.

Decorrente disso Joseph Aspdin nomeou o “Cimento Portland” em homenagem as pedras daquela ilha (ABCP, 2021).

De acordo com Neville (2016), no ano de 1845, Isaac Johnson foi o pioneiro na fabricação do cimento moderno, ao definir a proporção e temperatura ideal para calcinar uma mistura de argila e calcário até a clínquerização, promovendo assim as reações necessárias para a formação de composto de alta capacidade cimentante.

Hoje, o cimento está presente na maior parte das construções que nos cercam. Tendo como elementos presentes na composição do clínquer, o calcário, o sulfato de cálcio (gesso), a argila, adições, entre outros. Como produto pronto, o cimento é misturado com areia e água dando origem a argamassa de que após secar, é capaz de estruturar casas, prédios e obras de infraestrutura. Por propiciar a moldagem *in loco* o cimento permite obter diferentes formas em virtude da sua excepcional trabalhabilidade (SILVA e FERNANDES, 2017).

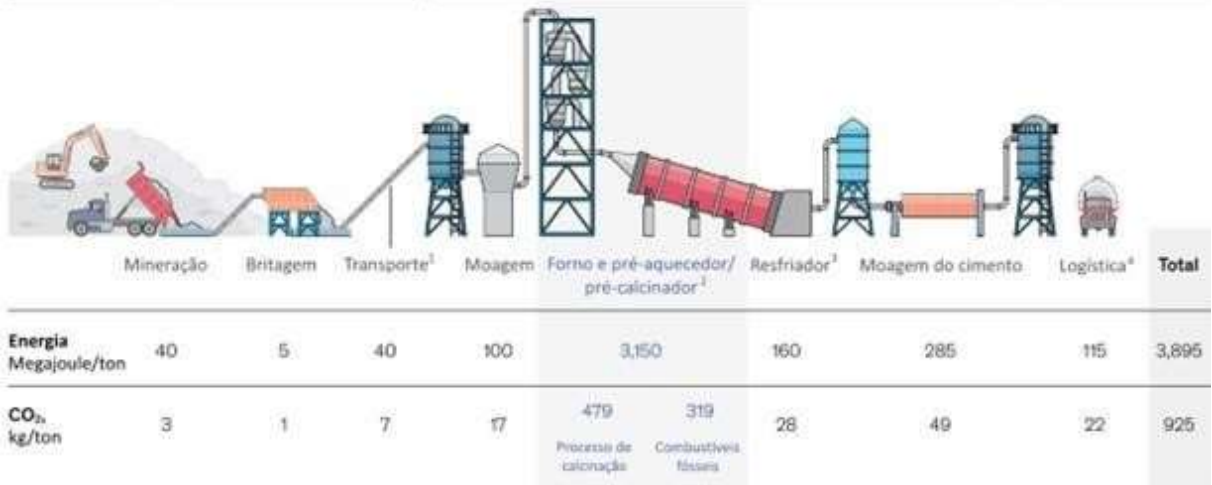
2.2 FABRICAÇÃO DO CIMENTO

Para se compreender melhor os impactos ambientais provocados pela indústria do cimento, é necessário entender o processo de fabricação e a cadeia produtiva desse produto, que se inicia com a extração da matéria prima nas jazidas de calcário depois passa pela britagem, moagem, mistura, clínquerização, ensacamento e distribuição nos pontos de revenda (DA SILVA, 2022). O processo produtivo do cimento está descrito Na Figura 1, sendo possível observar a estimativa do gasto energético e das emissões de gás carbônico em cada etapa do processo de produção do cimento Portland.

Figura 1 – Estimativa da energia utilizada e das emissões de CO₂ no processo produtivo do cimento

Matérias-primas, energia e recursos

Fabricação de clínquer e de cimento



¹ Assumindo 1kWh/100m

² Assumindo média global, dados do Global Cement and Concrete Association, Getting the Numbers Right 2017

³ Assumindo resfriador por esteira com 5kWh/t clínquer

⁴ Assumindo transporte de caminhão na média de 200km

Fonte: Traduzido de Czigler *et al.* (2020).

Segundo Bauer (2011), as fábricas de cimento usualmente são próximas das jazidas de calcário e argila, gerando assim cenário vantajoso em relação ao transporte. A matéria-prima que é extraída nas jazidas de calcário, é conduzido aos britadores onde será fragmentada, reduzindo assim o tamanho dos grãos para aproximadamente 5 cm.

Após a britagem, os materiais são transportados por esteiras e misturados em proporções de 80% de calcário e 20% de argila em massa. Essa mistura segue para moagem, onde serão reduzidas a pó. A função da moagem basicamente é aumentar a área superficial específica dos componentes, assim aumentando a área de contato dos grãos e, conseqüentemente intensificando sua reatividade o resultado dessa mistura é denominado de farinha crua (LARA, 2013).

A farinha crua é lançada nos ciclones verticais em contato com os gases quentes do forno, onde é pré-aquecida a temperatura entre 700 e 900 °C, promovendo a descarbonatação do calcário, formando a cal (CaO), e liberando uma expressiva quantidade de CO₂. Esse material é direcionado a um forno giratório de grandes dimensões cuja temperatura interna vai aumentando progressivamente até chegar a 1450 °C. O intenso calor provoca reações físicas e químicas transformando a mistura em um novo material, denominado de clínquer. O clínquer, resultado das transformações químicas entre o calcário e a argila, sai do forno com uma temperatura de aproximadamente 1000 °C. Após sair do forno o clínquer é

bruscamente resfriado por um jato de ar gelado para uma temperatura de 100 °C (DA SILVA, 2022).

É de suma importância ressaltar que grande parte das emissões de gás carbônico faz com que o clínquer possua um enorme potencial poluidor. Segundo WBCDS (2019), a produção do cimento Portland comum gera em média 832 kg de CO₂ por tonelada de clínquer produzido, sendo a combustão de combustíveis fósseis responsável por aproximadamente 40% das emissões de CO₂, enquanto a descarbonatação do calcário (CaCO₃), durante o processo de calcinação é responsável pelos 60%.

Depois de ser submetido ao processo de resfriamento, o clínquer é estocado e está pronto para passar pela última etapa da fabricação, ou seja, a moagem final juntamente com a gipsita e as adições. Após ser moído, é ensacado e está finalizado o cimento Portland. Esse é utilizado abundantemente para produção de concretos e argamassas.

2.3 ARGAMASSA COLANTES

De acordo com a NBR 14081-1 (ABNT, 2012), argamassa colante é definida como produto industrializado, no estado seco, composta de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que ao ser misturada com a água, torna-se uma mistura viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

As argamassas colantes são designadas pela sigla AC, seguida do algarismo romano, que indica o tipo de utilização de acordo com suas características. O Quadro 1 mostra a classificação das argamassas colantes.

Quadro 1 - Requisitos das argamassas colantes.

Requisito		Método de ensaio	Unidade	Critério		
				AC I	AC II	AC III
Tempo em aberto		ABNT NBR 14081-3	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura submersa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa				≥ 0,5	≥ 1,0

Fonte: NBR 14081-1 (ABNT, 2012).

Argamassa colante do tipo ACI é indicada para fixação de revestimentos cerâmicos em ambiente interno, que não serão expostos ao calor e a umidade, como paredes e pisos interno; já a do tipo ACII é indicada para fixação de revestimento cerâmico tanto em ambientes internos como externos, podendo ser expostos ao calor e a umidade, como fachadas e pisos ao ar livre; a do tipo ACIII é indicada para ambientes que estarão exposto a condições extremas de calor e umidade, como piscina, estufas e saunas.

2.4 PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS COLANTES

A propriedade fundamental que diferencia as argamassas colantes das argamassas tradicionais é a sua capacidade de reter água. Essa propriedade permite que a argamassa colante seja aplicada em camadas finas, sem perder a água de amassamento para o substrato ou para o ambiente (MEDEIROS E SABBATINI, 1999 apud VIEIRA et al. 2003).

Além da retenção de água, destaca-se outras propriedades que são fundamentais para as argamassas colantes, como o tempo em aberto, a trabalhabilidade, e a aderência (VIEIRA et al. 2003).

A NBR 14081-1 (ABNT,2012) define o tempo em aberto como sendo o tempo disponível para se aplicar o revestimento cerâmico após ser aplicada a argamassa no substrato. Este tempo varia de acordo com as condições dos ambientes, podendo sofrer alterações de acordo com a temperatura, umidade do ar e do vento. O ensaio que descreve esse tempo é regulamentado pela NBR 14083 (ABNT, 2012).

A trabalhabilidade é uma propriedade relacionada ao estado fresco da argamassa, e é definida como a facilidade com o que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas. Essa propriedade está intrinsecamente ligada à relação água/cimento e à relação cimento/areia (OLIVEIRA, 2016).

Uma das propriedades mais importante para as argamassas é a aderência, que segundo a NBR 13528 (ABNT, 2014), é a capacidade do revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com o substrato. Essa norma cita que a resistência de aderência não é uma propriedade exclusiva das argamassas

colantes, mas sim da interação entre as camadas do sistema de revestimento.

Quando se trata de aderência em argamassas colante existem dois mecanismos que se destacam: a ancoragem mecânica e a ancoragem química. Ancoragem mecânica acontece entre a argamassa e o substrato, sendo caracterizada pela transferência de água entre a argamassa e os poros do substrato, o que possibilita a entrada da pasta de cimento nos poros do substrato que, ao ser hidratado, precipita os hidróxidos e silicatos, promovendo assim a aderência mecânica. A ancoragem química, por sua vez, acontece através do uso de aditivos que conferem um maior poder de aderência, podendo ser superior ao primeiro mecanismo (CARASEK, 2010).

Dessa forma, através desta revisão sistemática foi possível analisar as soluções viáveis com a utilização de resíduos em argamassas colantes, que possam trazer contribuições tanto para meio ambiente como também na melhoria das propriedades citadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi proposto neste trabalho uma revisão bibliográfica das pesquisas mais atuais sobre as o uso de adições em argamassas colantes. Segundo Souza, Oliveira e Alves (2021), a revisão bibliográfica é uma revisão de obras já existentes, que auxilia o pesquisador na delimitação do tema e na contextualização do objeto problema. A questão norteadora desta revisão foi se uso de materiais não convencionais como adições minerais apresenta um potencial como alternativa ecológica para uso em argamassas colantes.

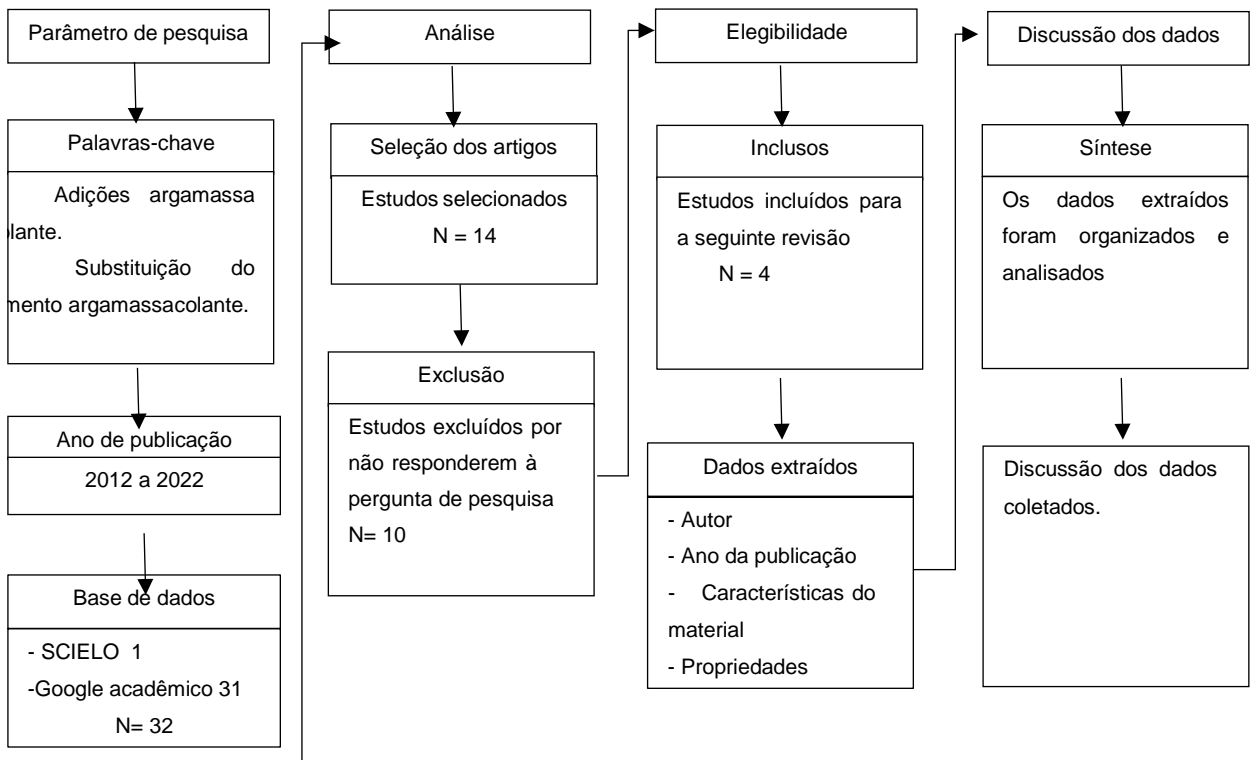
Dessa forma, utilizou-se como fontes de buscas sites como Scielo e Google Acadêmico, que ofertam base de dados reconhecidas pela alta qualidade dos materiais apresentados. A pesquisa teve como delimitação o período compreendido de 2012 a 2022. Além disso, foram utilizadas as seguintes palavras-chave para auxiliar a busca pelos trabalhos: “adições em argamassas colantes” e “argamassa colante substituição do cimento”.

Foram encontrados cerca de 14 trabalhos que abordaram a temática de adições em argamassas colantes. Os critérios de inclusão utilizados para manter os artigos foram responder as seguintes perguntas: “Quais as adições que podem ser utilizadas para substituir o cimento e manter ou melhorar as propriedades das

argamassas colantes?” e “Quais os benefícios para o meio ambiente em utilizar esses resíduos nas argamassas colantes”.

Após ser aplicado esse filtro foram selecionados um total de 4 artigos. A quantidade pequena de trabalhos encontrados se justifica por ser um tema muito específico. Os outros 10 trabalhos que foram excluídos, abordaram a temática das adições em argamassa colante, porém no seu escopo apresentavam soluções para substituir o agregado miúdo e não o cimento.

Figura 2- Fluxograma da revisão bibliográfica



Fonte: Autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa buscou por meio de uma revisão bibliográfica abordar os benefícios para o meio ambiente em se utilizar como adições minerais em substituição ao cimento na formulação de argamassas colantes.

4.1 BENEFÍCIOS DAS ADIÇÕES PARA O MEIO AMBIENTE

Os benefícios para o meio ambiente com o uso de adições em substituição ao cimento estão diretamente relacionados à redução das emissões de CO₂ ao reduzir a quantidade de clínquer produzido, uma vez que a produção desse apresenta um alto teor de emissões decorrente principalmente da descarbonatação do calcário, ou seja, quanto menos produção de clínquer na composição do cimento menos emissões será lançada para o meio ambiente.

Outro benefício para o meio ambiente está relacionado com a agregação de

valor a resíduos que previamente seriam descartados de maneira inadequada. Abreu et al. (2019) afirmam que o Brasil em 2004 extraiu cerca de 2 milhões de toneladas/ano de quartzo para a produção de silício, e desse total extraído cerca de 15% foram descartados na forma de rejeitos. Trazendo para um cenário mais atual a empresa de beneficiamento do Silício, localizada no estado do Pará, gera resíduos de silício de forma abundante sendo estimado em 40 toneladas/mês de rejeitos que não tem aplicação e nem destinação que gere algum valor agregado, e por isso, acabam sendo descartados na natureza.

Ribeiro et al. (2012) destacam que o Brasil em 2008 produziu 26,6 milhões de toneladas de bauxita, e 0,3 a 1 toneladas de lama vermelha para cada tonelada de alumínio produzido. A lama vermelha é o rejeito proveniente do beneficiamento da bauxita, sendo descartado 10,6 milhões de toneladas desses resíduos anualmente. Para o armazenamento da lama vermelha é necessária uma área de aproximadamente 1km² por cinco anos para uma indústria que produza 1Mton de alumina por ano, promovendo assim uma série de problemas ambientais. Dessa forma, o uso deste rejeito em matrizes cimentícias é motivado pela elevada quantidade de cimento consumido em todo o mundo sendo proporcional com a alta geração deste resíduo.

4.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSA COLANTES COM AS ADIÇÕES

Os autores dos 4 artigos utilizaram a mesma metodologia mostrada no Quadro 2. Em todos os estudos foram realizados ensaios experimentais para avaliar o efeito da substituição parcial do cimento por adições minerais sobre as propriedades das argamassas colantes.

Quadro 2 Artigos utilizados na revisão.

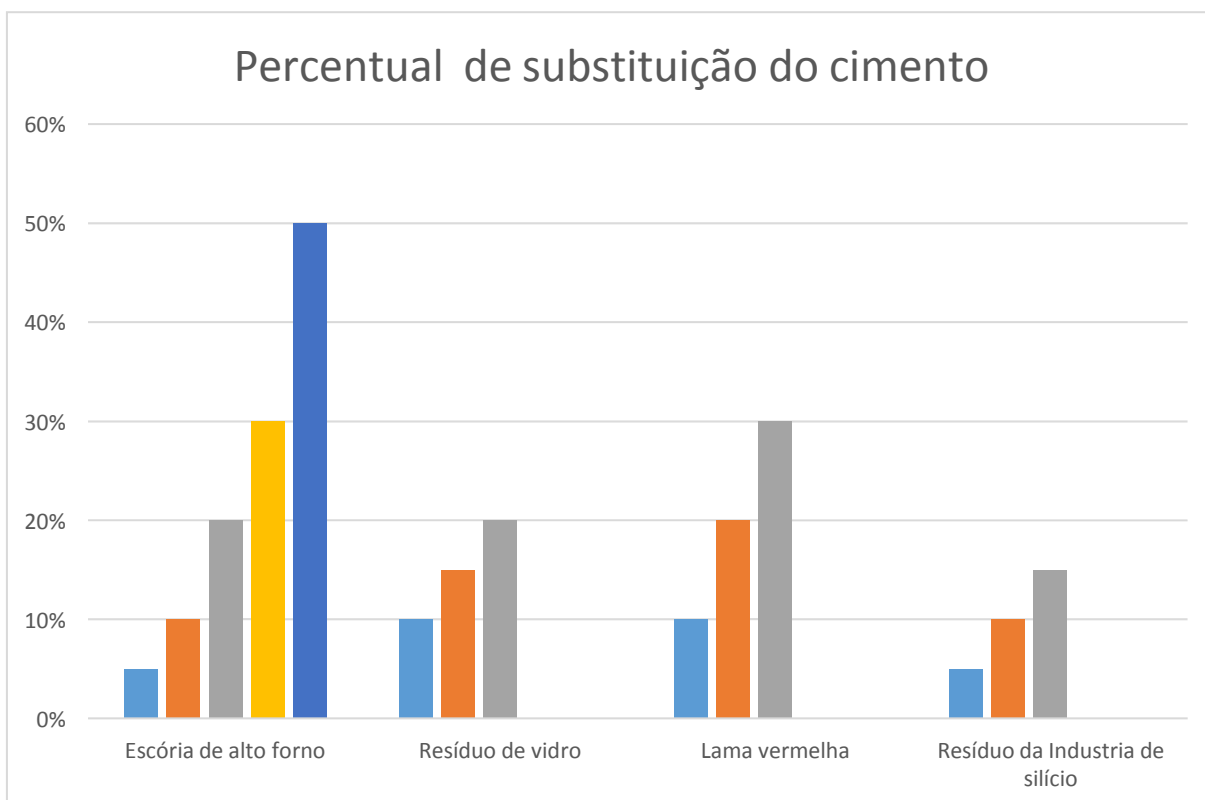
Artigos				
Título do trabalho	Autor	Ano	Palavras-chave	Periódico
Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I	J. Rossa Jr K. F. Portella	2012	Argamassa colante; Escória; Cimento Portland.	SciELO
Influência do uso de resíduo de vidro nas propriedades de argamassas adesivas	Diogo Pereira et al. (2017)	2017	Argamassa adesiva; Resíduo de vidro; Reciclagem de vidro; Sustentabilidade	Google acadêmico

Estudo das reações álcalis-sílica associadas ao uso da lama vermelha em argamassas colantes e de revestimento	D. V. Ribeiro <i>et al.</i> (2012)	2012	Cimento; Argamassas; Lama vermelha; RAS, Durabilidade; Reologia	Google acadêmico
Análise da viabilidade técnica da substituição parcial de cimento Portland por resíduos da indústria do silício para produção de argamassa	Marcilene de Abreu Santos <i>et al.</i> (2019)	2019	Reciclagem; Compósito; Cimentícios; Rejeito de cinzas de silício	Google acadêmico

Fonte: Autor (2022).

Nos estudos selecionados, foi possível observar que foram realizados variados traços com diferentes percentuais de substituição do cimento como mostrado na Figura 3. Além disso, nesses estudos foram produzidas argamassas de referência para fins de comparação e estabelecimento do teor ótimo de substituição.

Figura 3 - Percentual de substituição do cimento.



Fonte: Autor (2022)

Segundo Rossa e Portella (2012) com o uso de escória de alto forno em substituição ao cimento Portland em argamassas colantes não houve alteração em termo de viscosidade. Além disso, com as proporções de substituição entre 5 e 20 %

foram obtidas melhorias em termo da trabalhabilidade. Rossa e Portella (2012) também ressalta que o teor ótimo de adições foi de 5 %, no entanto os resultados das amostras de 20 % de substituição de cimento pela escória demonstraram que as propriedades de aderência, resistência tração e tempo em aberto atenderam os valores estabelecido pela NBR 14081-1 (ABNT,2012).

De acordo com Pereira et al. (2017) com a substituição do cimento e dos agregados miúdos por resíduo de vidros no processo de fabricação de argamassas colantes foi verificada uma redução na consistência e na adesão da argamassa quando comparada com a argamassa de referência. Como ponto positivo foi verificado que o aumento da temperatura de cura resultou em um ganho de resistência da argamassa colante. Esse efeito foi explicado pelo aumento da temperatura ter favorecido as reações pozolânicas devido ao resíduo de vidro ser composto de SiO₂ (67,9 %), Na₂O (13,6 %) e CaO (8,4 %), que correspondem a uma quantidade elevada de álcalis, típico do vidro comum de soda-lima.

De acordo com Abreu et al. (2019), com a utilização do resíduo da indústria do silício foi possível verificar uma diminuição da densidade do compósito após a substituição do cimento, facilitando assim o manuseio da mistura e diminuindo o peso próprio da estrutura. Também foi constatado pelos autores que o percentual de substituição de 10 % e 15 % apresentaram um aumento considerável na resistência a compressão das argamassas produzidas em relação a argamassa de referência. Fixando o teor ótimo de substituição em 5 %, considerando a resistência a tração na flexão e a densidade no estado endurecido.

Segundo Ribeiro et al. (2012) a lama vermelha apresenta em sua composição química o hidróxido de alumínio (Al (OH)₃), o carbonato de cálcio (CaCO₃), o dióxido de silício (SiO₂) e o óxido de ferro (Fe₂O₃). Apresenta um diâmetro médio de 3,5 µm. As partículas são finas e ao serem hidratadas apresentam uma característica de empacotamento. As partículas preenchem os vazios e reduz a quantidade de água livre na mistura, provocado assim uma diminuição na tensão de escoamento e aumentando a viscosidade plástica da argamassa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo foi possível evidenciar os problemas ambientais que

estão atrelados ao cimento, intrínsecos a seu processo de fabricação, derivado tanto da queima de combustíveis fósseis, que são responsáveis por emitir cerca de 332 kg de CO₂ por tonelada de clínquer produzido, quanto da descarbonatação do calcário (CaCO₃) durante o processo da calcinação, emitindo cerca de 500 kg de CO₂ por tonelada de clínquer produzido.

Este trabalho teve a finalidade de apresentar uma revisão bibliográfica sobre o uso de adições minerais em argamassas colantes. Para isso, foi realizada uma busca, em periódicos conceituados, de artigos que tratassem sobre o uso de resíduos que representassem alternativa viável para a substituição do cimento. A busca pelos artigos foi delimitada entre o ano de 2012 a 2022. A quantidade de trabalhos encontrados foi baixa em virtude da busca ter sido apenas por trabalhos nacionais, e por meio dessa limitação foram desconsiderados os trabalhos de autores internacionais, mas ainda assim, isso não trouxe prejuízos a revisão, visto que, os materiais encontrados serviram de parâmetro de pesquisa e atenderam aos objetivos estabelecidos.

Foi possível observar que os resíduos industriais são uma alternativa viável como adições minerais em substituição ao cimento, uma vez que, além de reduzir a produção de clínquer e (consequentemente) a quantidade de emissões de CO₂ lançado ao meio ambiente, agregar valor aos resíduos que anteriormente seriam descartados de forma inadequada

Com relação as propriedades, foi constatado que as argamassas colantes dos artigos encontrados apresentaram melhorias nas suas propriedades: no tempo em aberto, na trabalhabilidade e na resistência a compressão, mesmo sendo proveniente de resíduos diferentes. Além disso, as argamassas colantes produzidas com substituição parcial do cimento por resíduos atenderam aos requisitos mínimos das normas NBR14.081-1 e NBR 14083-4, demonstrando que essas argamassas fabricadas a partir dos resíduos citados poderiam ser comercializadas desde que o teor de substituição do cimento pelos resíduos de escória de alto forno, e o resíduo da indústria do silício fossem até 5%.

Logo, constata-se que o tema abordado é de grande relevância, pois aponta soluções para o uso sustentável dos resíduos de processos industriais, permitindo assim, o seu uso em argamassas colantes e dando uma destinação ecológica aos resíduos.

REFERÊNCIAS

ABCP. Disponível em: <abcp.org.br/>. Acesso em: 10 dez. 2021.

ABREU, Marcilene santos et al. Análise da viabilidade técnica da substituição parcial de cimento Portland por resíduos da indústria do silício para produção de argamassa. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 9, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 13528** “Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas- determinação da resistência de aderência a tração”. Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14081-1** “Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas parte 1 : requisitos”. Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14083** “Argamassa Colante Industrializada para Assentamento e Placas de Cerâmica – Determinação do tempo em aberto”. Rio de Janeiro, 2012.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. Brasília. 40 pp. v. 02.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**: São Paulo, IBRACON 2010.

CEZAR, Daiana de Souza et al. Características de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento. 2011.

CZIGLER, T. et al. Laying the foundation for zero-carbon cement: The cement industry is a top source of CO2 emissions, but abatement pressures could prompt efforts to reimagine the business. **Mckinsey e Company**, v. 40, n. 2, p. 9, 2020

DA SILVA, Leandro Souza. INDÚSTRIA BRASILEIRA DO CIMENTO: CONSUMO E IMPACTOS AMBIENTAIS. Revista **CONSTRUINDO**, Belo Horizonte. Volume 14, número 1, p. 43 – 52, Jan/Jun, 2022.

DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021.

INFO ESCOLA. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/química/dioxido-de-carbono/>>. Acesso em: 25 Nov. 2021.

LARA, Luiz Alcides Mesquita. **Materiais de construção**. Ouro Preto : IFMG, 2013.

LIMA, Pedro Henrique Amaral. *et al.* Novas tecnologias aplicadas no estudo da fabricação do clínquer de cimento Portland. **Revista Vozes dos Vales**, UFVJM, MG, Brasil, Nº 21, 05/2022.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, Guilherme Costa. Desenvolvimento de argamassa colante utilizando o resíduo de caulim. **Centro de Ciências e Tecnologia**, Campina grande, 2016.

PEREIRA, Diogo dos Santos et al. INFLUENCIA DO USO DE RESÍDUO DE VIDRO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ADESIVAS, **Congresso Anual da ABM**, vol. 72, 1 2017.

RIBEIRO, D. V. et al. Estudo das reações álcalis-sílica associadas ao uso da lama vermelha em argamassas colantes e de revestimento. **Cerâmica**, v. 58, p. 90-98, 2012.

ROSSA, J e PORTELLA, K. F. Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I. **Cerâmica**, p.542-548, 2012.

SEEG BRASIL. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/sankey/>>. Acesso em: 20

SILVA, Hudson Tiago Lima e FERNANDES, Maria José Costa. Reflexões geográficas sobre a produção de cimento em Baraúna (RN): uma abordagem acerca dos seus fluxos comerciais. **Revista Pensar Geografia**, v. 1, n. 1, p. 29-49, 2017.

SILVA, Luzilene Souza et al. Incorporação de resíduos de polimento de placas de mármore e granito em argamassas colantes industrializadas AC-I. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 7, 2018.

VIEIRA, Jucélia Kuchla et al. ARGAMASSAS COLANTES–CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E CUIDADOS NA APLICAÇÃO. **IV Encontro Tecnológico da Eng. Civil e Arquitetura**, Brasil, 2003.

DA SILVA, Walney Gomes et al. DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS COLANTES UTILIZANDO RESÍDUOS DE BRITAGEM DE ROCHAS CALCÁRIAS. **HOLOS**, v. 4, p. 33-41, 2009.

WBCDS. Relatório do Projeto GNR CO2. Disponível em: <<https://gccassociation.org/gnr/>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development Diretrizes para o Relatório e Monitoramento das Emissões na Indústria de Cimento. **Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento**. Brasília. 40 pp. v. 02. 2012.