



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 08, pp. 58081-58090, August, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.25029.08.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ADIÇÕES MINERAIS EM INCORPORAÇÃO AO CIMENTO PORTLAND E À ARGAMASSA: RESULTADOS DE ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE A APLICAÇÃO DE SILICATOS DE ALUMÍNIO

¹Pedro Henrique Amaral Lima, ²Stênio Cavalier Cabral, ²Marcio Coutinho de Souza and ³Sérgio Antônio Brum Junior

¹Discente do Programa de Mestrado Interdisciplinar em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, Brasil; ²Professores do Programa de Mestrado Interdisciplinar em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, Brasil; ³Professor do Curso de Graduação em Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Santa Helena, Paraná, Brasil.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th June, 2022
Received in revised form
29th June, 2022
Accepted 15th July, 2022
Published online 22th August, 2022

Key Words:

Cimento Portland. Adição mineral.
Silicato de Alumínio. Argamassa. Desempenho.

*Corresponding author:

Pedro Henrique Amaral Lima

ABSTRACT

Esse artigo tem como objetivo analisar os resultados dos estudos empíricos sobre a aplicação de silicatos de alumínio como adição mineral ao cimento Portland e em argamassas, tomando como base as publicações disponibilizadas na plataforma *on-line Google Acadêmico* no período de 2016 a 2021 a partir dos descritores: *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e *allintitle*: “argamassa”. Contudo, não foram encontradas publicações com o descritor *allintitle*: “silicato de alumínio”, assim decidiu-se por avaliar as obras encontradas que traziam nos títulos outras temáticas correlacionadas (OTC) ao tema, ou seja, obras com proximidades com os descritores citados. Destarte, o presente estudo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliográfica, apresentando caráter exploratório e qualitativo. Alguns aspectos em comum foram observados no total das publicações que obtiveram resultados positivos, tais como: resistência à compressão média (melhoria das propriedades mecânicas), elevado desempenho ao longo do tempo e potencialidade pozolânica do material utilizado. No total das publicações que obtiveram resultados pouco satisfatórios ou positivos e negativos, os aspectos em comum encontrados foram: redução/perda de resistência à compressão e desempenho global pouco satisfatório através da utilização de determinados teores de metacaulim.

Copyright © 2022, Pedro Henrique Amaral Lima et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Pedro Henrique Amaral Lima, Stênio Cavalier Cabral, Marcio Coutinho de Souza and Sérgio Antônio Brum Junior, 2022. “Adições minerais em incorporação ao cimento portland e à argamassa: resultados de estudos empíricos sobre a aplicação de silicatos de alumínio”, *International Journal of Development Research*, 12, (08), 58081-58090.

INTRODUCTION

O concreto é considerado o material construtivo de maior utilização em âmbito mundial. Seu principal componente é o cimento Portland, responsável pela formação dos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) formados durante o processo de hidratação e que são os principais determinantes da resistência à compressão dos concretos. Todavia, no presente, a busca por materiais alternativos mais sustentáveis tornou-se crescente, cujo objetivo está voltado à diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e à consequente atenuação das problemáticas ambientais decorrentes da produção cimentícia (MACEDO, 2022). Sob esse aspecto, Gobbi (2014) destacou que a utilização de adições minerais tem ganhado notoriedade na composição do cimento Portland, pois além de possibilitar benefícios

econômicos e ambientais, tais adições contribuem na durabilidade de concretos e argamassas. Como exemplos de adições minerais mais utilizadas nesses últimos anos estão as incorporações de materiais pozolânicos, uma vez que apresentam características interessantes e são capazes de exercer influência nas propriedades do concreto. Esses materiais, constituídos de silicatos ou aluminossilicatos, reagem quimicamente com os compostos alcalinos formados no processo de hidratação do cimento, gerando silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). Desse modo, quando utilizados em quantidades adequadas, os materiais pozolânicos (ou pozolanas) apresentam potencial de melhoria de algumas propriedades da matriz cimentícia dos concretos e das argamassas (MITTRI *et al.*, 2018). Já é notório que muitos resíduos provenientes de outros processos de produção apresentam em suas composições quantidades consideráveis de materiais inorgânicos, como óxido de silício e de alumínio que, em combinações adequadas, podem ser empregados na produção do cimento Portland. Nesse sentido, aspectos físico-mecânicos como

consistência e resistência podem ser melhorados, além da contribuição no refreamento dos efeitos negativos resultantes da indústria cimentícia ao meio ambiente (QUEIROZ, 2019). No referencial teórico será mostrado que algumas adições minerais com elevados teores de sílica e/ou alumina podem desempenhar o papel de adição ou substituição parcial do cimento. Magalhães (2018) enfatiza que nas propriedades cimentícias, os silicatos (componentes elementares dos ligantes hidráulicos) se enquadram como os responsáveis pela ocorrência do endurecimento e os aluminatos de cálcio apresentam importância secundária para as ações de caráter hidráulico.

Dessa forma, esse estudo tem como problema de pesquisa: A partir de estudos empíricos, quais os benefícios encontrados na aplicação de silicatos de alumínio como adição mineral em incorporação ao cimento Portland e em argamassas?

Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo analisar os resultados dos estudos empíricos sobre a aplicação de silicatos de alumínio como adição mineral em incorporação ao cimento Portland e em argamassas, tomando como base as publicações disponibilizadas na plataforma *on-line Google Acadêmico* no período de 2016 a 2021 a partir dos descritores: *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e *allintitle*: “argamassa”.

REFERENCIAL TEÓRICO

As discussões nessa seção visam contextualizar os benefícios da utilização de adições minerais em incorporação ao cimento Portland e à argamassa através de explanações teóricas e empíricas, em particular, pelo emprego de materiais que apresentam sílica e alumina (silicatos de alumínio) em sua composição.

Cimento Portland e Argamassa: A nomenclatura ‘Cimento Portland’ faz referência ao cimento convencional largamente utilizado e conhecido no mercado da construção civil. O processamento do cimento foi concebido no ano de 1824, quando o inglês Joseph Aspdin idealizou a combinação de pedra calcária e argila e submeteu tal mistura a uma elevada temperatura, transformando-se num pó fino. Esse material apresentava características como cor e durabilidade similares às rochas existentes na ilha britânica de Portland, e, por isso, foi designado como Cimento Portland (FREITAS, 2018). O cimento Portland pode ser descrito como um material de aspecto seco e pulverulento que possui propriedades aglomerantes, e que quando em contato com a água, é capaz de se agrupar a materiais inertes tais como areia e brita. O potencial aglomerante do cimento é decorrente do processo de hidratação do clínquer, isto é, de sua reação química com a água para formação de compostos mais estáveis com características de pega e endurecimento. Os principais constituintes do clínquer Portland são: óxido de cálcio (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃). Uma vez que se apresentam em maiores proporções, os silicatos são os compostos de maior importância do clínquer e responsáveis pelo aumento da resistência mecânica da pasta de cimento endurecida (COSTA, 2017; INOCENTE, 2020).

Devido à sua elevada resistência a intempéries e a desgastes ambientais por séculos, a versatilidade do cimento se destaca continuamente na construção civil, quando comparado a outros materiais. Hodiernamente, a produção bruta de cimento apresenta um aumento anual de 2,5% (MEHTA; ASHISH, 2019). O autor Trout (2019) destaca que uma ampla gama de cimentos constituídos de produtos químicos alternativos foi adotada ao longo do tempo, fomentando a versatilidade desse material e reverberando vários graus de sucesso no mercado. O mais óbvio, talvez, seja a alta alumina, ou cimentos de aluminato de cálcio (CAC) que foram produzidos na França como um cimento de elevada performance no que diz respeito à resistência ao sulfato e que foram comercializados pela primeira vez no ano de 1918. Apesar de não ser mais empregado em concreto estrutural, o CAC abrange nichos de uso em configuração subaquática, biogênica e refratária, além de exercer suas

funcionalidades em altas temperaturas. Dentre as principais aplicações do cimento Portland, é válido enfatizar a sua utilização na produção de argamassas, as quais podem ser encontradas, normalmente, como argamassa de assentamento e de revestimento de paredes e tetos. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 13281:2005), a argamassa pode ser descrita como uma “mistura de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”. No Brasil os relatos mais antigos datam do uso de argamassa pelos povos indígenas que após a chegada dos portugueses, desenvolveram novos métodos construtivos, e passaram da utilização de apenas palha e madeira, para a prática da mistura de solo com esterco animal, areia, cal e óleo de baleia (LEITE, 2016).

A argamassa apresenta potencialidades de aplicação em uma ampla esfera na construção civil, podendo, por exemplo, ser usada para regularizar pisos, rejuntar, assentar alvenaria, cerâmica, pedras, revestimentos internos e externos, além de suprir outras finalidades. Ademais, em virtude do seu aperfeiçoamento, a argamassa também está sendo empregada como acabamento final de inúmeras obras e empreendimentos (SANTOS; FIGUEIREDO, 2019). O comportamento das argamassas é verificado em dois estados: fresco e endurecido. No estado fresco é aferida a trabalhabilidade da mistura e todos os outros indicadores correlacionados. Além disso, nesse estado é possível avaliar a percepção das características do material após a sua secagem. Já no estado endurecido é observada a resistência mecânica e as propriedades físicas, entre elas a porosidade e absorção de água. A importância de distinguir esses dois estados se dá em decorrência da mudança brusca das propriedades do material de um estado para o outro, e o comportamento da mistura ainda fresca exerce influência nas propriedades depois de endurecida (TEDESCO, 2016).

Adições minerais em incorporação ao cimento Portland e à argamassa: Apesar de ser substancial ao desenvolvimento da sociedade, na contemporaneidade a produção cimentícia é notada como vilã para o desenvolvimento sustentável. Para cada tonelada de cimento fabricado, geram-se aproximadamente 0,95 toneladas de CO₂, o que faz com que esse material seja apontado como altamente poluente (MACCARINI, 2015). Contudo, com a evolução tecnológica, materiais alternativos estão sendo pesquisados e surgem no mercado com a intenção de substituição ou adição ao cimento Portland e contribuindo na redução dos danos ocasionados ao meio ambiente (LEITE, 2016). Nesse sentido, a incorporação de adições minerais na composição do cimento Portland viabiliza a atenuação dos impactos ambientais da indústria cimentícia, além de promover uma destinação correta de vários rejeitos provindos de outros setores da indústria, propiciando vantagens econômicas, técnicas, ecossistêmicas e corroborando na durabilidade de concretos e argamassas (GOBBI, 2014). A ABNT traz a definição de adições como materiais inorgânicos naturais ou industriais de partículas finas introduzidas às argamassas em proporção com seus componentes, sendo eficientes na modificação de suas propriedades (ABNT NBR 13529:2013).

Na literatura, materiais classificados como adições minerais, de modo diferente dos aditivos, podem desempenhar o papel de adição ou substituição parcial do cimento, em razão das características semelhantes quando inseridas às misturas. Alguns desses materiais são: cinza da casca de arroz (CCA), resíduo da fibra de vidro moída (RFVM), metacaulim, resíduo de cerâmica vermelha (RCV), resíduos de lã de rocha, além de outros. A presença de sílica e/ou alumina em materiais/resíduos com finura granulométrica e com características de sólidos amorfos podem ser usados como pozolanas em pastas e argamassas, o que favorece o melhoramento das propriedades do cimento, como a durabilidade (LEITE, 2016; GUILLANTE, 2018; QUEIROZ, 2019; ZAPARTE, 2020). Conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o emprego de cimentos com adições teve seu início vagarosamente na década de 1950, e obteve impulsionamento a partir dos anos 1990, tendo em vista que

no presente, e quase 100% dos cimentos comercializados no país apresentam em sua composição algum teor de adição. Contudo, essa incorporação de adições ao cimento Portland em substituição e/ou adição ao clínquer se deu por meio de vários estudos acerca do comportamento e demais vantagens que esse mecanismo pode resultar aos concretos e argamassas (COSTA, 2017). Raisdorfer (2015) salienta que as adições minerais pozolânicas – adições silicosas ou silicoaluminosas que são capazes de reagir com o hidróxido de cálcio, na presença de água, formando compostos com propriedades aglomerantes – vêm sendo avaliadas com a finalidade de aprimorar propriedades inerentes dos concretos e argamassas para uma determinada aplicação, como a diminuição da permeabilidade, ou simplesmente atenuar os custos de produção, desde que seu emprego apresente viabilidade técnica. Dentre a diversidade de tipos de adições, o que tem sido destaque é o metacaulim. Porém, muitos trabalhos tem evidenciado também que outros materiais tem exercido notoriedade e apresentado potencialidades como materiais pozolânicos, como o resíduo de tijolo cerâmico moído, sílica ativa, cinza volante, entre outros. Barbosa (2017) compartilha vertentes similares ao afirmar que os benefícios da adição mineral são: i) tecnológicos: uma vez que há o aumento da resistência mecânica, diminuição da permeabilidade e, como resultado, aumento da durabilidade nos elementos estruturais que apresentam compostos cimentícios em sua composição; ii) ambientais: tendo em vista que a utilização de tais aditivos auxilia na redução dos danos ocasionados ao meio ambiente, em decorrência da redução do uso de matérias-primas não renováveis; o reaproveitamento de resíduos industriais que, outrora, seriam descartados de maneira incorreta e a redução da quantidade de CO₂ expelida na atmosfera durante a produção do cimento Portland; e, iii) econômicos: visto que a inserção de aditivos de minérios em materiais como concretos e argamassas é capaz de promover a redução de custos, seja por intermédio da substituição do cimento por adições residuais, seja pela diminuição das dimensões dos elementos estruturais em razão do maior desempenho mecânico propiciado por elas, associadamente à longevidade/durabilidade das construções.

Silicatos de Alumínio como adições minerais ao cimento Portland à argamassa: De acordo com o autor Oliveira (2000), as propriedades do cimento Portland se associam de forma direta com as frações dos compostos de silicatos e aluminatos. Em função de ser tipificada como uma mistura constituída por diferentes elementos, o processo de hidratação do cimento Portland fundamenta-se em reações simultâneas dos grãos anidros com água, os quais são capazes de se hidratar em velocidades diferentes. Os aluminatos, exemplificativamente, podem se hidratar a uma velocidade mais frenética se comparados aos silicatos, caracterizando o enrijecimento (perda de consistência) e a pega (solidificação) de uma pasta de cimento Portland. Já os aspectos de endurecimento e o aumento da resistência são estabelecidas, sobretudo, pelos silicatos (BULLARD *et al.*, 2011; HAN *et al.*, 2015). Aplicados como adições minerais na fabricação do cimento e na confecção de argamassas com propriedades pozolânicas, tendo em vista que ao inserir um material de propriedades pozolânicas ao cimento, as partículas finas e ricas em sílica empregadas tendem a reagir com o hidróxido de cálcio gerado pela hidratação do cimento e, conseqüentemente, gerar o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) secundário. Com a maior geração de C-S-H, oportunizam-se melhoramentos nas propriedades cimentícias ao qual se deu a utilização deste tipo de material (AUGUSTO JÚNIOR, 2020).

A cinza do bagaço da cana de açúcar (CBCA) e o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), por exemplo, apresentam elevado potencial de incorporação como adição mineral, podendo ser utilizados como pozolana em argamassas e concretos (SANTOS; CASTRO; GONÇALVES, 2018; TORRES, 2019). Esses materiais são compostos silicoaluminosos que, isoladamente, apresentam capacidade pozolânica. Quando misturados, são capazes de gerar novos silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, desinentes do processo de recombinação da sílica e da alumina amorfas presentes nos mesmos com a fase portlandita, resultante da hidratação do cimento e da constituição química da cal hidratada (DUARTE *et al.*,

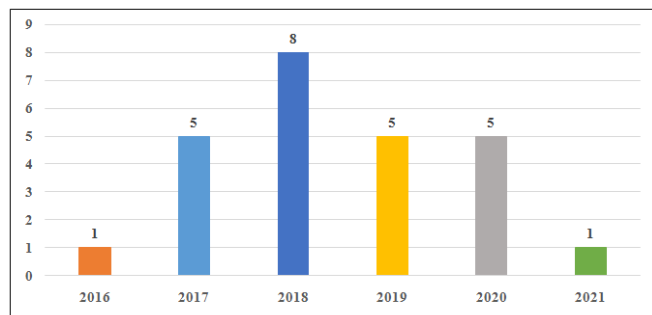
2022). Outro material que também tem sido amplamente utilizado como adição mineral é o metacaulim, o qual é constituído por sílica e alumina (Al₂O₃) nas fases amorfas, sendo capaz de reagir com o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂, para produzir novos compostos hidratados como o C-S-H (ROCHA *et al.*, 2021). Além desses, o campo da construção civil tem se tornado reconhecido pela utilização de inúmeros materiais alternativos e/ou resíduos advindos de outros processos produtivos, tais como resíduos industriais e agroindustriais que apresentam em sua composição elevados teores de silicatos e/ou aluminatos, sendo estes classificados em sua maioria como pozolanas, e que ao serem incorporados ao cimento Portland, contribuem numa melhor performance das propriedades mecânicas e aumentam a sua durabilidade (QUEIROZ, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS APLICADOS NA PESQUISA

O presente estudo foi elaborado a partir de uma pesquisa bibliográfica, tendo cunho exploratório e qualitativo. De acordo com Sousa, Oliveira e Alves (2021), uma pesquisa científica tem seu início a partir da pesquisa bibliográfica, em que o pesquisador se submete à busca de referências importantes já publicadas para entender e averiguar o problema da temática da pesquisa a ser realizada. Em razão disso, a pesquisa bibliográfica é fundamental para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, tendo em vista que permite conhecer melhor o fenômeno em estudo. Os recursos utilizados numa pesquisa bibliográfica compreendem: livros, artigos científicos, teses de doutorado, dissertações de mestrado, revistas, anuários, normas, além de outras tipologias de fontes escritas que já foram publicadas. A pesquisa exploratória contribuiu em conjunto à bibliográfica para um melhor embasamento do estudo em questão. Esse tipo de pesquisa se fundamenta em familiarizar o pesquisador com o objeto que está sendo avaliado durante a pesquisa, ou seja, é utilizada de modo que o pesquisador detenha de uma maior proximidade com o objeto de estudo (EDERLI; PALMA; BERTONCELLO, 2021). Gil (2008) destaca ainda que a pesquisa exploratória tem como enfoque principal o desenvolvimento, esclarecimento e modificação de conceitos e ideias, tencionando à concepção de problemáticas mais precisas ou hipóteses pesquisáveis para estudos vindouros. Desse modo, na busca por referências bibliográficas para desenvolvimento do presente artigo, os autores recorreram à base de dados *Google Acadêmico*, a qual possibilitou o encontro de artigos científicos, livros, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso. Os critérios de busca e seleção do material bibliográfico foram determinados a partir dos descritores: *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e *allintitle*: “argamassa”. Arelada à pesquisa de cunho exploratório, a pesquisa qualitativa também permitiu uma maior interação entre pesquisador e objeto de estudo, uma vez que a sua ação possibilita o estudo dos fenômenos com maior proximidade. O diálogo qualitativo admite o uso de paradigmas distintos e mecanismos de análise no processo investigativo (SILVA; RUSSO; OLIVEIRA, 2018). Para os autores Cardoso; Oliveira e Guelli (2021), na pesquisa qualitativa a interpretação admite lugar especial. Sob esse aspecto, com os descritores pesquisados foi realizada uma análise interpretativa ao longo do corpo do trabalho. É válido ressaltar que durante o processo de interpretação dos resultados obtidos, é possível aplicar as operações estatísticas como prova de validação, compatível ao tipo de estudo e à natureza do material que se encontra sob análise (CARDOSO; OLIVEIRA; GUELLI, 2021).

Análise de Dados: A análise de dados foi realizada nas seguintes etapas: Características gerais das publicações e Resultados das publicações por descritor.

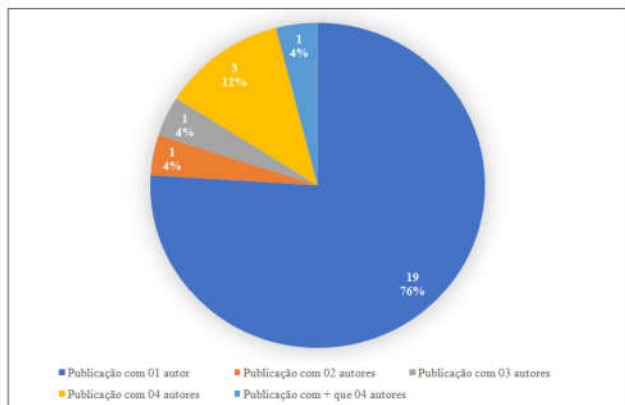
Características gerais das publicações: Observa-se no Gráfico 1 a evolução de publicações entre os anos de 2016 a 2021, tendo como base de análise a quantidade de publicações correspondentes às temáticas envolvendo os descritores *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e *allintitle*: “argamassa” nos últimos 6 anos, por meio da plataforma de pesquisa *on-line Google Acadêmico*.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Gráfico 1. Quantidade de publicações por ano (2016 – 2021)

No Gráfico 1, pode-se observar um crescimento significativo de publicações de 2016 a 2017, isto é, de 4% para 20%, seguindo um aumento até o ano de 2018, constatando-se que nesse último ano ocorreu o ápice a respeito da temática, uma vez que foi encontrado um total de 8 referências naquele ano, o que corresponde a 32% das publicações. Apesar de atualmente o mercado cimentício buscar gradativamente novos materiais que sejam capazes de apresentarem benefícios técnicos e econômicos à indústria do cimento, é muito provável que no ano de 2018, a exploração de materiais considerados como adições minerais que apresentavam elevados teores de sílica e/ou alumina em sua composição encontrava-se em evidência, haja vista que esses materiais são capazes de contribuir consideravelmente para a melhoria das propriedades do cimento. A partir de 2019, com percentual de 20%, nota-se um decréscimo no quantitativo de publicações a respeito da temática, apresentando no ano de 2020 um total de 5 publicações e em 2021 apenas 1 referência sobre o tema em análise, o que corresponde a 4% das publicações. Vale destacar que o quantitativo de publicações teve como base o filtro de busca realizado na base de dados. O Gráfico 2, por sua vez, mostra a quantidade de publicações com um determinado número (n) de autores.

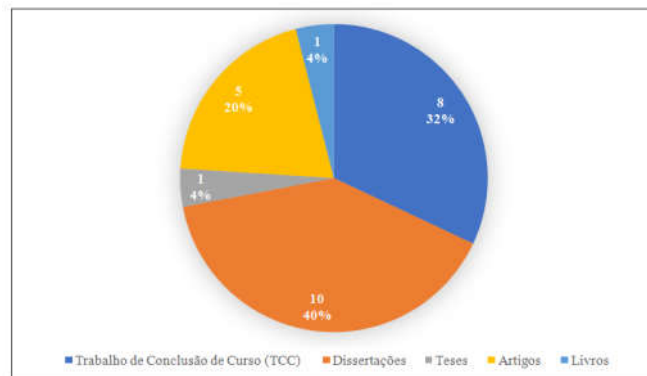


Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Gráfico 2. Quantidade de publicações com n autores (2016 – 2021)

No Gráfico 2, pode-se observar uma maior quantidade de publicações desenvolvidas por apenas um autor, com um total de 19 referências, o que corresponde a 76%; apenas uma obra foi encontrada com 2 autores, isso corresponde a 4% das publicações; essa porcentagem e também ocorre para as publicações com 3 autores e com mais que 4 autores; já o percentual de obras com 04 autores corresponde a 12%, sendo encontrado um total de 3 publicações. A próxima análise a ser realizada, refere-se ao tipo de publicação encontrada com base na análise do respectivo trabalho (Gráfico 3). Vale destacar que os tipos de trabalho demonstrados no Gráfico 3 influenciaram a quantidade de publicações com n autores. Uma reflexão a ser considerada refere-se “à diversidade de produtos, tais como livros, revistas científicas, teses, dissertações” (BUFREM *et al.*, 2007, p. 39) entre outros que podem contribuir para as discussões sobre a temática envolvendo os descritores ‘silicato de alumínio’, ‘argamassa’ e ‘cimento’. Esses

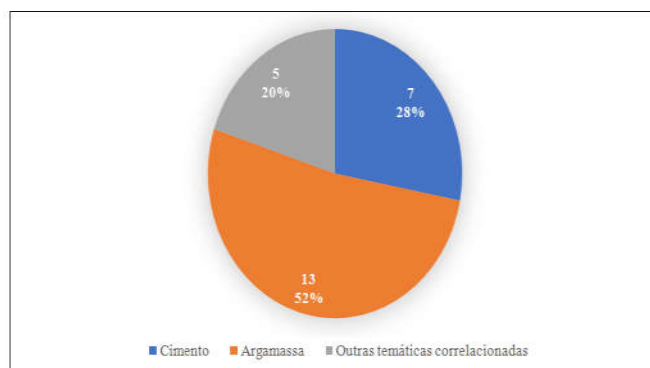
produtos de pesquisas representam meios de divulgação que servem para disseminar o conhecimento científico sobre a temática.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Gráfico 3. Quantidade de tipos de publicações (2016 – 2021)

A partir da análise do Gráfico 3, é possível constatar que dentre as 25 publicações encontradas, a maioria delas é composta por dissertações de mestrado (DM), com um total de 10 publicações, o que representa um percentual de 40%; o segundo maior grupo de obras foram os trabalhos de conclusão de curso (TCC), somando 8 publicações e apresentando um percentual de 32%; os artigos científicos (AC) totalizam 5 publicações, correspondendo a um percentual de 20%; foi encontrada apenas uma tese de doutorado (TD), que equivale a 1% das publicações analisadas; também foi encontrado apenas um livro (LI) sobre a temática, com um percentual de 1%. Nesse contexto, pôde-se verificar que embora com o filtro pesquisado o retorno quantitativo de publicações tenha sido pequeno, a temática permeia diversos produtos de pesquisas que podem proporcionar novos conhecimentos. O Quadro 1 evidencia os autores, o ano, o código (CD), o tipo de publicação (TP) e o título de cada obra encontrada. O Gráfico 4, por sua vez, representa a quantidade de descritores encontrados no título de cada publicação em relação à temática pesquisada. Em análise ao Gráfico 4, observa-se que foi contabilizado um total de 13 referências que abordavam o descritor *allintitle*: ‘argamassa’, correspondendo a um percentual de 52%; 7 referências que constavam do descritor *allintitle*: ‘cimento’, com um percentual de 28%; e, 5 referências englobando ‘outras temáticas correlacionadas’ (OTC) ao tema, com um percentual de 20%.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Gráfico 4. Quantidade de descritores encontrados no título em relação à temática (2016 – 2021)

Embora não tenha sido encontrado o descritor *allintitle*: ‘silicato de alumínio’ em nenhuma das publicações analisadas e ser considerado como um dos elementos principais para a construção dessa pesquisa, ele foi identificado no corpo do trabalho de todas as 25 referências analisadas. A mesma justificativa vale para as publicações cujos descritores encontrados nos títulos se enquadram em ‘outras temáticas correlacionadas’ (OTC) ao tema, que abordam estudos atrelados ao cimento e à argamassa, tais como: ‘pó de blocos cerâmicos’, ‘construção civil’, ‘geopolímeros’, ‘calcinação’ e ‘metacaulim’.

Quadro 1. Identificação dos autores/ano, código, tipo e título das publicações

AUTORES (ANO)	CD	TP	TÍTULO DAS PUBLICAÇÕES
Leite (2016)	LEI16ARG	TCC	A influência da vermiculita em argamassa geopolimérica com adição de nanotitânia
Macioski (2017)	MAC17OTC	DM	Estudo da álcali-ativação de pó de blocos cerâmicos com cal hidratada
Belchior (2017)	BEL17CIM	DM	Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos com substituição parcial do cimento por resíduos cerâmicos
Costa (2017)	COS17OTC	DM	Estudo do bagaço da cana de açúcar como material para construção civil no estado de Pernambuco – sistema ternário com metacaulim e cal hidratada
Cavalcante (2017)	CAV17CIM	DM	Estudo das características física, mecânica e química de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta e malva tratado e adição de materiais pozolânicos
Rocha (2017)	ROC17ARG	DM	Argamassas geopoliméricas com diferentes ativadores alcalinos e seus comportamentos frente à elevação da temperatura
Paiva, Silva (2018)	PAS18CIM	TCC	Análise cienciométrica sobre concreto autoadensável
Cardozo, Rosner, Antunes (2018)	CRA18ARG	AC	Estudo das argamassas de revestimento com substituição parcial do agregado miúdo por feldspato
Guillante (2018)	GUI18CIM	DM	Avaliação de parâmetros químicos e mineralógicos de materiais cimentícios suplementares na mitigação da reação álcali agregado
Volkweis (2018)	VOL18CIM	TCC	O uso do metacaulim como fonte de alumina em cimentos supersulfatados
Alves (2018)	ALV18OTC	DM	Propriedades térmicas e mecânicas de geopolímeros aditivados com peróxido de hidrogênio
Freitas (2018)	FRE18ARG	TCC	Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA
Campos, Luz, Bastos, Nogueira (2018)	CLB18OTC	LI	Capítulo 16: Calcinação
Magalhães (2018)	MAG18ARG	TD	Argamassas de cal com adições pozolânicas: contribuição para o desenvolvimento de formulações para o restauro
Berenguer (2019)	BER19CIM	DM	Estudo da durabilidade e influência da adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar nas propriedades do concreto
Santos, Figueiredo (2019)	SAF19ARG	AC	Controle tecnológico de argamassa produzida com: um, dois e três anos de idade com agregado de resíduo de louça sanitária e agregado natural
Mello (2019)	MEL19ARG	DM	Efeitos das elevadas temperaturas em concretos autoadensáveis com altos teores de resíduo da biomassa da cana-de-açúcar e metacaulim
Andrade (2019)	AND19ARG	TCC	Análise das propriedades de argamassas no estado fresco e endurecido utilizando resíduo de caulim
Silva (2019)	SIL19ARG	TCC	Desenvolvimento preliminar de uma argamassa colante geopolimérica
Menezes Júnior, Silva Filho, Silva, Santos (2020)	MSS20ARG	AC	Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim natural
Musse, Coelho, Gonçalves, Silva (2020)	MCG20ARG	AC	Desempenho do revestimento de argamassas reforçadas com telas: estudo de fissuração e do comportamento mecânico
Paulino (2020)	PLN20ARG	TCC	Propriedades de argamassa estabilizada contendo metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico
Inocente (2020)	INO20OTC	DM	Estudo da produção de metacaulim de alta reatividade em reator flash a partir de um caulim de elevada pureza
Lima (2020)	LIM20CIM	TCC	Estudo da viabilidade técnica do concreto autoadensável com aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar
Silva, Menezes Júnior, Santos, Silva Filho, Oliveira (2021)	SMS20ARG	AC	Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Quadro 2. Resultados das publicações observando o descritor argamassa

CD	METODOLOGIA E PRINCIPAIS RESULTADOS DAS PUBLICAÇÕES
LEI16ARG	Foi utilizado como fonte de aluminossilicato o metacaulim e o hidróxido de sódio como solução ativadora alcalina e foram feitas adições de agregados leves como forma de se obter resultados das propriedades no estado fresco e endurecido da argamassa geopolimérica até os 28 dias de cura, e avaliados os aspectos físicos das amostras. Resultados: Redução na densidade aparente de 33% em relação à amostra de referência com a amostra com 15% de vermiculita; resistência à compressão média de 21,35 MPa para referência aos 28 dias de cura bem como 3,15 MPa para a formulação com 10% de vermiculita, com este último permitindo a aplicação da argamassa em blocos de alvenaria de construção civil.
ROC17ARG	Os geopolímeros estudados foram produzidos com metacaulim como fonte de aluminossilicato e areia quartzosa como agregado miúdo. Ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade longitudinal foram realizados antes e depois da exposição a altas temperaturas. Análises de termogravimetria, termogravimetria diferencial e análise termodiferencial foram conduzidas para avaliar a perda de massa e a estabilidade térmica das argamassas. Além disso, micrografias eletrônicas de varredura foram realizadas para investigar a morfologia das argamassas. Resultados: Todas as argamassas apresentaram praticamente a mesma resistência à compressão axial aos 28 dias, aproximadamente 80 MPa; observou-se o elevado ganho de resistência mecânica nas primeiras idades, variando de aproximadamente 72% a 81% aos 3 dias e de 86% a 93% aos 7 dias em relação ao valor aos 28 dias; as argamassas produzidas com silicato de sódio alcalino apresentaram ganho mais elevado de resistência mecânica inicial do que com silicato de potássio; em todos os casos as argamassas com silicato de potássio apresentaram melhor desempenho quando comparadas com as com silicato de sódio alcalino.
CRA18ARG	Foi avaliado o coeficiente de capilaridade, a absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial, substituindo parcialmente o agregado miúdo por pó de feldspato, nos teores de 0%, 20%, 23%, 26% e 30%. Para o estudo, o traço referência utilizado foi de 1:5. Para a dosagem das misturas, utilizou-se cimento CPIV-32 e areia média. Resultados: A utilização do pó de feldspato potencializou a argamassa em todos os ensaios, mostrando um desempenho superior quando comparado ao traço referência. No entanto, os traços que apresentaram melhores resultados variaram entre 23% e 26%; o traço com 26% de feldspato aumentou significativamente sua resistência à tração na flexão se comparado ao traço referência; o traço com 23% de feldspato demonstrou um bom resultado na resistência à compressão axial; o traço com 30% por sua vez, apresentou uma diminuição de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

.....Continuar

FRE18ARG	Avaliou a viabilidade de uso do lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA) em argamassas cimentícias e geopoliméricas. O resíduo foi substituído ao cimento nas porcentagens de 10%, 15%, 20%, 25% e 30%, e na forma de adição nas porcentagens de 10%, 15% e 20%. Nas argamassas geopoliméricas, o lodo substituiu parcialmente o metacaulim na porcentagem de 25%, e foi adicionado em relação ao metacaulim na porcentagem de 15%. Foram analisadas a composição química e mineralógica do lodo, o índice de consistência, as características físicas (densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta), e mecânica (resistência à compressão). Resultados: O lodo de ETA é composto, principalmente, por sílica e alumina nas proporções 25,61% e 25,44%; os ensaios no estado fresco mostraram que a incorporação do lodo reduziu a trabalhabilidade para ambos os tipos de argamassas; nos ensaios de propriedades físicas, todas as amostras de argamassa cimentícia apresentaram aumento das porcentagens de porosidade aberta e absorção de água, e redução na densidade aparente; nas argamassas geopoliméricas, a porcentagem de porosidade aberta e densidade aparente foram menores, mas, ainda assim, a absorção de água aumentou; para os resultados de resistência à compressão, a presença do lodo nas argamassas cimentícias reduziu significativamente a resistência das amostras, sendo que os traços com substituição apresentaram menor resistência que os de adição do resíduo; traço com 10% de adição (CA10) foi o que apresentou melhor resistência, atingindo 1,65 MPa; nas argamassas geopoliméricas, também ocorreu perda de resistência para todos os traços, porém, apresentaram melhor resistência que as argamassas de cimento; traço com maior resistência entre os geopolímeros foi o com 15% de adição (GA15), suportando 30,36 MPa; a utilização do lodo em argamassas de cimento depende da finalidade de uso destinado devido à baixa resistência atingida.
MAG18ARG	Investigou-se o uso de adições minerais, com características pozolânicas e disponíveis nacionalmente, na produção de composições à base de cal, que atendam às exigências para aplicação em intervenções restaurativas de edifícios antigos. Inicialmente, foi efetuado levantamento bibliográfico e documental sobre as tecnologias tradicionais das argamassas com base em cal. Na segunda fase, realizaram-se procedimentos experimentais, abrangendo duas linhas de estudo: i) conhecimento da composição de argamassas de antigas fortificações; ii) caracterização de formulações de cal, elaboradas com pó cerâmico, metacaulim, cinzas volantes e sílica ativa. As amostras de argamassas de fortificações foram caracterizadas por meio de análises químicas, físicas e mineralógicas e, além disso, foram elaboradas composições de cal, com as referidas adições, e avaliado o seu comportamento. Resultados: Confirmou-se a presença de silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, oriundos das reações de caráter pozolânico em algumas amostras de argamassas antigas estudadas; composições formuladas com pó cerâmico, sílica ativa e metacaulim apresentaram desempenho global pouco satisfatório quanto às características pretendidas para aplicação em suportes de edifícios antigos; a argamassa de cal com adição de cinzas volantes foi considerada a mais adequada na utilização em intervenções em edificações antigas, uma vez que mostrou, no estado endurecido, bom desempenho face à ação da água, boa resistência mecânica, adequada aderência, boa resistência à ação dos sais solúveis, em comparação às outras argamassas de estudo com adições.
SAF19ARG	Foi avaliado o comportamento de argamassa produzida com um, dois anos e três anos de idade, com diferentes misturas. A argamassa com três anos de idade denominada A:2016 foi produzida com cimento, silicato de alumínio e areia natural. A argamassa B:2017 com dois anos de idade composta de: cimento, gesso, agregado de resíduo de louça sanitária com 30% de areia natural. Já a argamassa C:2018, com um ano de idade, foi composta por cimento, cal e areia natural. Resultados: As diferentes misturas de argamassa com e sem resíduo não interferiram nos resultados e podem ser utilizadas em revestimento de paredes e tetos, além de contribuir com o meio ambiente.
MEL19ARG	Avaliou-se o comportamento em altas temperaturas de concretos autoadensáveis com elevados teores de resíduo da biomassa da cana-de-açúcar (RBC) e metacaulim (MK). Substituiu-se o cimento de 30% a 50% pelas adições minerais. No estado fresco, as propriedades foram avaliadas comprovando a trabalhabilidade dos concretos confeccionados. No estado endurecido, as amostras foram avaliadas à temperatura ambiente, 200°C, 400°C, 600°C e 800°C e analisadas quanto à inspeção tátil-visual, perda de massa, resistência à compressão, velocidade do pulso ultrassônico, absorção de água por imersão, índice de vazios, massa específica, absorção por capilaridade e difração por raios-X. Resultados: Concretos Autoadensáveis (CAAs) com até 40% de adições minerais são menos sensíveis às alterações devido às altas temperaturas e que a maior inserção de metacaulim os deixam mais sensíveis; mudanças de fase são visualizadas e o alto teor de adições minerais consome o Ca (OH) ₂ do meio, formando gismondina e margarite.
AND19ARG	Foram estudados dois tipos de resíduos de caulim: o fino (RF), avaliado como substituição da cal hidratada, e o grosso (RG), como agregado miúdo. Os traços escolhidos foram 1:1:6 e 1:6 em volume, variando a proporção de resíduo em 50% e 100% com os materiais convencionais. Foram utilizados nas misturas de argamassa aditivo plastificante e metacaulim (MC). Foi realizada a caracterização dos materiais de partida, nas propriedades físicas, na obtenção de dados sobre a composição química e mineralógicas. Além disso, avaliou-se as propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido. Resultados: Bom desempenho mecânico e um maior consumo de água de amassamento das argamassas constituídas por resíduo; o uso de aditivo plastificante contribuiu para a redução do fator água/aglomerante e para o aumento da resistência à compressão, quando comparado às argamassas de referência.
SIL19ARG	Avaliou preliminarmente um traço de argamassa geopolimérica sem aditivos para o assentamento de placas cerâmicas e comparou o seu desempenho com uma argamassa colante industrializada comercial do tipo ACL. Foi utilizado metacaulim (MK) como fonte de aluminossilicato e uma solução ativadora de hidróxido de sódio e silicato de sódio comerciais, relação 1:1 (MK:areia), Na ₂ O= 15% Ms=0,75 e relação água/ligante de 0,30. As amostras foram avaliadas quanto ao tempo em aberto, deslizamento reduzido e resistência de aderência à tração para a condição de cura normal, imersa em água e aquecida em estufa. Resultados: Observou-se tempo em aberto (15 min) e resistência de aderência (1,51 MPa) superior ao da argamassa colante industrializada (material de referência) e deslizamento reduzido (1,050 mm) dentro dos valores da norma, evidenciando a viabilidade de aplicação de geopolímeros para a produção de argamassas colante sem aditivos.
MSS20ARG	Avaliou o uso do caulim na produção de argamassa de reboco. O caulim foi submetido aos ensaios de caracterização: superplastificação de raio X, análise química por FRX, e análise granulométrica. A partir de um traço de 1:5 (cimento, areia) o mesmo foi utilizado para substituir a areia 20 a 80%. Resultados: O caulim melhorou muito a trabalhabilidade no estado fresco; após a cura, houve acréscimo da resistência, massa específica e redução da absorção de água; o caulim pode ser utilizado na produção de argamassa.
MCG20ARG	Avaliou a incidência de fissuras de revestimentos reforçados com telas, submetidos à variação térmica, visando contribuir para o conhecimento do desempenho e comportamento das telas nos revestimentos argamassados. Para tanto, foi avaliada a resistência à tração direta de três telas (uma de polietileno e duas galvanizadas) a serem empregadas como reforço em argamassas analisadas quanto à resistência à compressão, tração, flexão e cisalhamento. Foram construídos protótipos de fachadas revestidos com reboco reforçado com tela observando-se o comportamento do sistema após carregamento térmico (38 °C e 80 °C) por meio de termografia, mapeamento de fissuras e resistência ao impacto, avaliando-se, ainda, a eficiência de duas metodologias de reparo de fissuração (tela poliéster com massa acrílica e resina epóxi). Resultados: A tela galvanizada eletrossoldada apresentou melhor desempenho ao absorver parte das tensões e reduzir as aberturas das fissuras, garantindo ao conjunto melhor resistência à flexão; ambas as metodologias de reparo analisadas apresentaram desempenho adequado ante a exposição térmica.
PLN20ARG	Avaliou a influência do resíduo de tijolo cerâmico (RTCM) e metacaulim (MC) nas propriedades de argamassas estabilizadas para assentamento. Foram realizadas misturas de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por 10 e 20% de MC e 10 e 20% de RTCM, em massa. O traço utilizado, para preparação das misturas, foi fixo numa proporção aglomerante:areia (1:5,8). As argamassas no estado fresco foram avaliadas quanto à trabalhabilidade, densidade de massa fresca, e teor de ar incorporado. Foi realizada também a moldagem de seis corpos-de-prova de dimensões 4x4x16 (cm) para a análise no estado endurecido. Todas as misturas foram analisadas para 3 tempos de estabilização (0h, 36h e 48h). Resultados: Com o passar do tempo de estabilização, no estado fresco, a mistura perde trabalhabilidade; à medida que a densidade de massa aumenta, há uma queda no teor incorporado; no estado endurecido obteve-se resultados de resistência para as amostras com 10% e 20% de MC com crescimento de 68,9% e 26,8%, respectivamente; constatou-se uma perspectiva de estudos para as argamassas com 10% de substituição das adições, que obtiveram melhores resultados.
SMS21ARG	Avaliou o uso do caulim na produção de argamassa de reboco. O caulim foi submetido aos ensaios de caracterização: superplastificação de raios X, análise química por fluorescência de raios X e análise de distribuição granulométrica. A partir de um traço de 1:5 em massa (cimento: areia) utilizado para reboco, o mesmo foi utilizado para substituir a areia, de 20 a 80% em massa. Foram produzidos corpos-de-prova cilíndricos de 5cmx10cm, os quais foram imersos em água potável contendo cal e deixados curando por 28 dias. Após cura, os mesmos foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica à compressão, absorção de água e massa específica aparente. Resultados: À medida que o caulim foi incorporado, houve melhora na trabalhabilidade no estado fresco; após a cura, houve acréscimo da resistência e da massa específica e redução da absorção de água; a argamassa foi aplicada numa parede-teste e foi observada uma melhora exponencial na textura, mas houve retração diferencial que pode promover fissuração, portanto, deve ser utilizado de forma moderada.

RESULTADOS DAS PUBLICAÇÕES POR DESCRITOR

O Quadro 2 mostra a metodologia e os principais resultados das publicações com o descritor *allintitle*: “argamassa”. Cada publicação está identificada com seu devido código (CD) que foi descrito anteriormente.

A partir do Quadro 2 é possível identificar que 13 publicações retrataram sobre o descritor *allintitle*: “argamassa” e serão discutidas a seguir:

Das publicações analisadas, 8 englobaram o metacaulim como fonte de silicato de alumínio, sendo este um material pozolânico constituído de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) na fase amorfa (de estrutura cristalina desordenada) obtido através da calcinação do caulim (ativação térmica entre 600°C a 850°C) (MEDINA, 2011). Tais publicações estão assim distribuídas em função dos resultados alcançados: os resultados positivos estavam presentes em 4 publicações (LEI16ARG, ROC17ARG, SIL19ARG e AND19ARG), destacando-se aspectos como a redução na densidade aparente, resistência à compressão média, possibilidade de aplicação da argamassa em blocos de alvenaria, elevado desempenho, resistência de aderência superior ao da argamassa colante industrializada, deslizamento reduzido, viabilidade de aplicação de geopolímeros para a produção de argamassas colante sem aditivos, entre outros; contudo,

4 publicações mostraram resultados não satisfatórios ou positivos e negativos (FRE18ARG, MAG18ARG, MEL19ARG e PLN20ARG), destacando-se aspectos tais como: redução/perda da trabalhabilidade, redução/perda de resistência à compressão, desempenho global pouco satisfatório através da utilização de composições formuladas com pó cerâmico, sílica ativa e metacaulim em composições à base de cal, maior sensibilidade aos concretos autoadensáveis pela maior inserção de metacaulim, bom desempenho face à ação da água, boa resistência mecânica, adequada aderência e boa resistência à ação dos sais solúveis. O quantitativo de 2 publicações trataram do uso do caulim como fonte de silicato de alumínio, sendo este material descrito como uma rocha formada pela decomposição do feldspato através de processos geológicos e que se apresenta como silicato hidratado de alumínio (ROCHA, 2005). Nas duas publicações foram obtidos resultados satisfatórios (MSS20ARG e SMS21ARG), tais como melhoria da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco; aumento da resistência mecânica e massa específica; e, diminuição da absorção de água. Por último, na análise, 3 publicações trataram de materiais diferentes, sendo eles: pó de feldspato (CRA18ARG), silicato de alumínio (SAF19ARG) e telas de polietileno e galvanizadas (MCG20ARG). Na publicação CRA18ARG, a utilização do pó de feldspato em determinadas proporções para os traços estipulados foi capaz de mostrar um elevado desempenho, aumento na resistência à tração na flexão e na resistência à compressão axial; entretanto, o traço com 30% de feldspato apresentou uma diminuição de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

Quadro 4. Resultados das publicações observando descritores envolvendo OTC

CD	METODOLOGIA E PRINCIPAIS RESULTADOS DAS PUBLICAÇÕES
MAC17OTC	Estudou a avaliação da reatividade do pó de blocos cerâmicos em função da temperatura de sinterização; a avaliação da reatividade do pó de blocos cerâmicos em função do tamanho das partículas e do tipo de ativador básico utilizado e, a avaliação da cinética da reação de álcali-ativação em função da relação molar SiO ₂ /CaO, além do método de cura. Resultados: A reatividade do pó de blocos cerâmicos sofre influência da temperatura de sinterização da argila e do tamanho das partículas; o bloco cerâmico comercial não atingiu os requisitos físicos para ser classificado como pozolana, obtendo no ensaio Chapelle o valor de 305 mg de Ca(OH) ₂ fixadas por grama de pozolana e 5,5 MPa de resistência mecânica com a cal no ensaio IAP; a adição de Ca(OH) ₂ no pó de blocos cerâmicos, com relação molar SiO ₂ /CaO igual a 2,75, proporcionou a maior resistência mecânica à compressão, quando curada a 77 °C e 90% de umidade relativa, atingindo 8,5 MPa aos 28 dias.
COS17OTC	Avaliou o potencial pozolânico da amostra de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) em seu estado natural, denominado CAN, em duas faixas de granulometria, a primeira passante na peneira 400, denominado CANP400 e a segunda moída por 7 horas, denominado CANM7H. As amostras foram submetidas aos ensaios previstos na norma ABNT NBR 5751:2015, para determinação da atividade pozolânica com Cal aos sete dias (IAC) e, tiveram também sua atividade pozolânica avaliada através da termogravimetria (TG). Resultados: A CANM7H apresentou resultados muito melhores se comparados com os da CANP400, onde, este último, só apresentou características pozolânicas quando da inclusão a partir de 30% de Metacaulim (MTC) em sua matriz.
ALV18OTC	Produziu pastas e argamassas geopoliméricas porosas utilizando metacaulim, ativadores alcalinos e areia natural como materiais precursores. O peróxido de hidrogênio foi utilizado como agente formador de poros. As mudanças ocasionadas pela decomposição do H ₂ O ₂ nas propriedades do produto final foram investigadas aplicando-se diferentes concentrações do agente formador de poros. Propriedades físicas tais como porosidade, densidade, tamanho dos poros e condutividade térmica e propriedades mecânicas como resistência à compressão e tração na flexão foram determinadas. Resultados: O aumento nas concentrações adicionadas de peróxido de hidrogênio resultou em um aumento da porosidade do material em até 78% para a concentração de 0,8% de H ₂ O ₂ (em peso); a amostra com esta porosidade obteve condutividade térmica de 0,19 W/m.K e resistência à compressão de 16,6 MPa em pasta; os testes com argamassa resultaram em uma resistência à compressão de 3,86 MPa e porosidade de 60%; pode-se considerar o material promissor para o uso na construção civil como material leve ou utilização para isolamento térmico.
CLB18OTC	Trouxe a definição de calcinação como um tratamento térmico aplicado a quaisquer substâncias sólidas com o objetivo de remover uma fase volátil, quimicamente ligada a um determinado sólido; decomposição térmica; produção de um óxido; e, mudança de uma estrutura, em substâncias cristalinas. A calcinação tem uma importância industrial muito significativa na produção da cal, de gesso, na fabricação de cimento, na produção de alumina, dentre outras. Nesse sentido, exemplifica-se a calcinação do caulim (onde a caulinita, seu principal constituinte, é um silicato de alumínio hidratado que apresenta a seguinte fórmula química: Al ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₈ , que se dá por meio do tratamento térmico do caulim. É possível a obtenção de dois produtos: o caulim parcialmente calcinado e o caulim de calcinação completa (metacaulim).
INO20OTC	Produziu um metacaulim <i>flash</i> de alta reatividade e avaliou seu potencial pozolânico. Além disso, foi avaliada a atividade pozolânica de um resíduo industrial de refratário à base de caulim. Através de um planejamento experimental, foram obtidos 5 metacaulins <i>flash</i> variando a temperatura de calcinação e o fluxo de alimentação. Resultados: O metacaulim produzido se enquadra nas normas da ABNT NBR 12653 (2014) para materiais pozolânicos e ABNT NBR 15894 (2010) específica para metacaulins; o índice de desempenho com cimento aos sete dias atingiu resistência máxima de 40,8 ± 0,86 MPa, índice 78% acima dos corpos-de-prova de referência; no ensaio Chapelle Modificado todas as amostras tiveram valor superior a 436 mg Ca(OH) ₂ /g exigido por norma; o índice de atividade pozolânica a cal aos sete dias variou entre 15,94 MPa e 12,97 MPa, o dobro do valor determinado por norma; observou-se pelas análises térmicas que nas temperaturas trabalhadas não houve formação da fase mulita; os melhores índices de desidroxilação e formação de fase amorfa foram alcançados na amostra 4 de metacaulim <i>flash</i> (MK4) – essencialmente composta por sílica e alumina (97%) – com apenas 1,11% de perda de massa e 99% de fase amorfa; o grau de amorfismo apresentou correlação direta no aumento da resistência mecânica e grau de desidroxilação; o resíduo de refratário apresentou um índice de resistência mecânica com cimento superior aos corpos-de-prova de referência, porém não atingiu os limites mínimos exigidos por norma nos ensaios de pozolanicidade com cal e Chapelle Modificado.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Constituído por silicato de alumínio, e proporções de potássio, bário, cálcio e sódio, o feldspato pode ser encontrado em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (CARDOZO; ROSNER; ANTUNES, 2018). Em SAF19 ARG, destacou-se a utilização das argamassas em revestimento de paredes e tetos, além de contribuir com a sustentabilidade, enquanto em MCG20ARG, a tela galvanizada eletrossoldada atrelada à argamassa industrializada com silicato de alumínio em sua composição apresentou elevado desempenho ao absorver parte das tensões e reduzir as aberturas das fissuras, garantindo uma melhoria na resistência à flexão. O Quadro 3 mostra a metodologia e os principais resultados das publicações com o descritor *allintitle*: “cimento”. Cada publicação está identificada com seu devido código (CD) que foi descrito anteriormente. Sobre as publicações envolvendo o descritor outras temáticas correlacionadas (OTC), destaca-se que apesar de nos títulos das obras analisadas não terem sido identificados os descritores *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e/ou *allintitle*: “argamassa”, é possível encontrá-los no corpo do texto de cada obra selecionada. Nesse sentido, enfatiza-se que essas obras estão totalmente ligadas à temática da pesquisa e serão melhores discutidas a seguir:

Das publicações analisadas, 2 englobaram o estudo da adição de materiais ao cimento Portland, sendo um deles o pó de blocos cerâmicos (MAC17OTC) e o outro a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (COS17OTC), entretanto apenas este último apresentou resultados positivos, tendo como destaque o potencial pozolânico do material mesmo que em sua condição mais natural. Em MAC17OTC, ao avaliar a reatividade do resíduo cerâmico, verificou-se que tal material não atingiu a reatividade mínima de 436mg de Ca(OH)₂/g para ser classificado como um material pozolânico.

Apenas 1 publicação (ALV18OTC) teve como parte do trabalho a avaliação da produção de pastas e argamassas geopoliméricas porosas utilizando o metacaulim como fonte de silicato de alumínio e os resultados alcançados foram muito satisfatórios, apresentando aspectos como resistência à compressão, porosidade, desempenho para utilização no mercado da construção civil e utilização para isolamento térmico.

Por último, 2 publicações englobaram a calcinação (queima) de materiais para serem utilizados em incorporação ao cimento Portland, sendo citado o metacaulim nas duas referências encontradas (CLB18OTC e INO20OTC). Ambas apresentaram resultados positivos, destacando-se aumento da resistência à compressão simples, potencial pozolânico, alta reatividade e ausência de formação da fase mulita, o que quer dizer que o processo de calcinação é considerado como uma alternativa eficaz e promissora para a fabricação de metacaulins de alta reatividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar os resultados dos estudos empíricos sobre a aplicação de silicatos de alumínio como adição mineral ao cimento Portland e em argamassas, tomando como base as publicações disponibilizadas na plataforma *on-line Google Acadêmico* no período de 2016 a 2021. Na busca das publicações, foram utilizados os descritores *allintitle*: “silicato de alumínio”, *allintitle*: “cimento” e *allintitle*: “argamassa”. Em uma primeira análise, constatou-se que nos seis anos compreendidos foi encontrado um total de 25 obras publicadas abordando a temática em questão. Ressalta-se que em 2018 se deu a ocorrência de 8 publicações, o que evidenciou o ápice a respeito do assunto. Além disso, pode-se observar uma maior quantidade de publicações desenvolvidas por apenas um autor, com um total de 19 referências, sendo que a maioria delas se referiram como dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de curso. Por meio da análise de dados, foi possível constatar que um total de 13 referências que abordavam o descritor *allintitle*: “argamassa”, 8 publicações se destacaram por utilizarem o metacaulim como fonte de silicato de alumínio, mas apenas 4 obtiveram resultados positivos. Ainda, foi possível observar que 7 publicações retrataram sobre o descritor *allintitle*: “cimento”, as

quais estudaram a adição e/ou substituição de materiais ao cimento Portland para melhoria das propriedades cimentícias. Dentre as 7 publicações, apenas 4 apresentaram resultados satisfatórios. Foram encontradas 5 publicações envolvendo o descritor ‘outras temáticas correlacionadas’ (OTC) ao tema, das quais 4 obtiveram resultados positivos. Alguns aspectos positivos em comum foram observados no total das publicações que obtiveram resultados positivos, tais como: resistência à compressão média (melhoria das propriedades mecânicas), elevado desempenho ao longo do tempo e potencialidade pozolânica do material utilizado. No total das publicações que obtiveram resultados pouco satisfatórios ou positivos e negativos, os aspectos em comum encontrados foram: redução/perda de resistência à compressão e desempenho global pouco satisfatório através da utilização de determinados teores de metacaulim. Propostas para trabalhos futuros: pesquisas sobre outros materiais ricos em sílica e alumina para incorporação ao cimento Portland e à argamassa; pesquisas sobre silicatos de alumínio na incorporação de outros materiais da construção civil, tais como: tintas, lajotas, telhas coloniais, tijolos cerâmicos, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Cleidson Rosa. Propriedades térmicas e mecânicas de geopolímeros aditivados com peróxido de hidrogênio. 2018. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- ANDRADE, Laís Bento de. Análise das propriedades de argamassas no estado fresco e endurecido utilizando resíduo de caulim. 2019. 62p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: Aditivos para concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- AUGUSTO JUNIOR, José. Caracterização e reciclagem de resíduos cerâmicos de construção civil para aplicação como adição pozolânica e como componente de clínqueres visando novos cimentos. 2020. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.
- BARBOSA, Jairo Mendes. A influência da moagem na atividade pozolânica do resíduo de granito. 2017. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- BELCHIOR, Wallace Melo. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos com substituição parcial do cimento por resíduos cerâmicos. 2017. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- BERENGUER, Romildo Alves. Estudo da durabilidade e influência da adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades do concreto. 2019. 222p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- BUFREM, Leila Santiago *et al.* Produção científica em Ciência da Informação: análise temática em artigos de revistas brasileiras. Revista Perspectivas em Ciência da Informação, n. 1, p. 38-49, jan./abr. 2007.
- BULLARD, Jeffrey W. *et al.* Mechanisms of Cement Hydration. Journal Cement and Concrete Research, n. 12, p. 1208-1223, dez. 2011.
- CAMPOS, Antônio Rodrigues de *et al.* Calcinação. In: LUZ, Adão Benvindo da; FRANÇA, Silvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. p.727-752.

- CARDOSO, Márcia Regina Gonçalves; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; GUELLI, Kelma Gomes Mendonça. Análise de conteúdo: uma metodologia de pesquisa qualitativa. *Revista Cadernos da Fucamp*, n.43, p.98-111, 2021.
- CARDOZO, Ariádney Comin; ROSNER, Rodrigo; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. Estudo das argamassas de revestimento com substituição parcial do agregado miúdo por feldspato. In: LOPES, Gisele Silveira Coelho *et al* (orgs.). *Temas contemporâneos em pesquisa*. Florianópolis: Dois Por Quatro, 2018. p. 82-93.
- CAVALCANTE, Daiana Góes. Estudo das características física, mecânica e química de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta e malva tratado e adição de materiais pozolânicos. 2017. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- COSTA, Lawrence Francisco. Estudo do bagaço da cana de açúcar como material para construção civil no estado de Pernambuco: sistema ternário com metacaulim e cal hidratada. 2017. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.
- DUARTE, João Batista *et al*. Adição conjunta do resíduo de cerâmica vermelha e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de tijolos ecológicos. *Revista Principia*, 2022.
- EDERLI, Daniel Lucas; PALMA, Daniel Henrique do Prado; BERTONCELLO, Alexandre Godinho. O impacto das criptomonedas na economia. *Revista Alomorfia, Presidente Prudente*, n. 3, p. 426-437, 2021.
- FREITAS, Yasmin Ribeiro. Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA. 2018. 58p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.
- GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOBBI, Andressa. Atividade pozolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares. 2014. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- GUILLANTE, Patrícia. Avaliação de parâmetros químicos e mineralógicos de materiais cimentícios suplementares na mitigação da reação álcali agregado. 2018. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.
- HAN, Jianguo *et al*. Mechanism of triethanolamine on Portland cement hydration process and microstructure characteristics. *Journal Construction and Building Materials*, p. 457-462, 2015.
- INOCENTE, Jordana Mariot. Estudo da produção de metacaulim de alta reatividade em reator flash a partir de um caulim de elevada pureza. 2020. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2020.
- LEITE, Juliano Moreira. A influência da vermiculita em argamassa geopolimérica com adição de nanotitânia. 2016. 49p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.
- LIMA, Karen Lopes. Estudo da viabilidade técnica do concreto autoadensável com a aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. 2020. 60p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Verde, 2020.
- MACCARINI, Helena Somer. Desenvolvimento de geopolímero a partir do uso de metacaulim. 2015. 58 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.
- MACEDO, Amanda Regina de Souza. Efeitos da diatomita em substituição parcial ao cimento portland nas propriedades de concretos convencionais. 2022. 121p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- MACIOSKI, Gustavo. Estudo da álcali-ativação de pó de blocos cerâmicos com cal hidratada. 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- MAGALHÃES, Ana Cristian Alves de. Argamassas de cal com adições pozolânicas: contribuição para o desenvolvimento de formulações para o restauro. 2018. 314p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- MEDINA, Engler Apaza. Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio. 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- MEHTA, Ankur; ASHISH, Deepankar Kumar. Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. *Journal of Building Engineering*, p. 1-18, 2019.
- MELLO, Larissa Cavalcante de Araújo. Efeitos das elevadas temperaturas em concretos autoadensáveis com altos teores de resíduo da biomassa da cana-de-açúcar e metacaulim. 2019. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- MENEZES JÚNIOR, Hudson Santos *et al*. Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim natural. *Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)*, n. 1, p. 321-326, 2020.
- MITTRI, Sérgio Hémerson de Moraes *et al*. Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, São Paulo, n. 6, p. 1186-1207, nov./dez. 2018.
- MUSSE, Daniela Santana *et al*. Desempenho do revestimento de argamassas reforçadas com telas: estudo de fissuração e do comportamento mecânico. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, n. 3, p. 467-491, jul./set. 2020.
- OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. Falcão (Orgs). *Materiais de Construção*. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000. p. 35-62.
- PAIVA, Claugemax Tyminiak de; SILVA, Peterson Carlos Olimpio da. Análise cienciométrica sobre concreto autoadensável. 2018. 70p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Unievangélica, Anápolis, 2018.
- PAULINO, Igor Maurício. Propriedades de argamassa estabilizada contendo metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico. 2020. 72p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.
- QUEIROZ, Luciana Carvalho. Cimentação de Areia a Partir de Sistemas Ligantes Álcali-Ativados. 2019. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- RAISDORFER, Janderson William. Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento Portland: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos. 2015. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- ROCHA, Aretuza Karla Araújo *et al*. Estudo da Carbonatação Acelerada em Argamassas do CAA com Elevados Teores de Adições Minerais. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 2021.
- ROCHA, Guilherme Gallo Neves. Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade. 2005. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- ROCHA, Thais da Silva. Argamassas geopoliméricas com diferentes ativadores alcalinos e seus comportamentos frente à elevação da temperatura. 2017. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.
- SANTOS, Juzelia; FIGUEIREDO, Nathália Cristina Xavier de. Controle tecnológico de argamassa produzida com: um, dois e

- três anos de idade com agregado de resíduo de louça sanitária e agregado natural. *Revista Proficiência*, n. 13, p.60-79, 2019.
- SANTOS, Rafael Francisco Cardoso dos; CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; GONÇALVES, Karoline Mariana Santos. Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. *Revista Matéria*, n. 3, 2018.
- SILVA, Beatriz Rocha et al. Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim. *Revista Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, p. 74-83, 2021.
- SILVA, Jaqueline Becker da. Desenvolvimento preliminar de uma argamassa colante geopolimérica. 2019. 80p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- SILVA, Luciano Ferreira da; RUSSO, Rosária de Fátima Segger Macri; OLIVEIRA, Paulo Sergio Gonçalves de. Quantitativa ou qualitativa? Um alinhamento entre pesquisa, pesquisador e achados em pesquisas sociais. *Revista Pretexto, Belo Horizonte*, n. 4, p. 30-45, out./dez. 2018.
- SOUSA, Angélica Silva de; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. *Revista Cadernos da Fucamp*, n. 43, p.64-83, 2021.
- TEDESCO, Thais Delaqua Costa. Desenvolvimento de argamassas utilizando granulometrias distintas de perlita. 2016. 47 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.
