

INFLUÊNCIA DA MAGNETITA E DA BARITA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081130

MAZZARO; FILIPE S.[1]; ALVES; JORDANE G.S.[1]; ALMEIDA; FERNANDO C.R.[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG).
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: FERNANDO@DEMC.UFMG.BR

RESUMO: O uso de resíduos industriais em produtos da construção civil é uma alternativa para contribuir com o desenvolvimento sustentável. O concreto pesado, comumente utilizado para blindagem de radiação em usinas nucleares e hospitais, tem sido objeto de estudos a partir da utilização de rejeitos da mineração, tais como barita e magnetita. Este artigo buscou apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre a influência desses rejeitos em matrizes cimentícias por meio da metodologia ProKnow-C adaptada. Após análise da literatura, verificou-se que a alteração das propriedades físicas do concreto pode levar à melhoria de parâmetros de durabilidade, principalmente quando expostos a elevadas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVES: Magnetita, barita, concreto pesado, rejeito.

ABSTRACT: The use of industrial waste in civil construction products is an alternative to contribute to sustainable development. heavyweight concrete, commonly used for radiation shielding in nuclear power plants and hospitals, has been the subject of studies based on the use of mining waste, such as barite and magnetite. This article sought to present a systematic literature review on the influence of these tailings in cementitious matrices through the adapted ProKnow-C methodology. After analyzing the literature, it was found changing the physical properties of concrete can lead to improved durability parameters, especially when exposed to high temperatures.

KEYWORDS: Magnetite, barite, heavyweight concrete, tailings.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto demanda, anualmente, cerca de 30 gigatoneladas de materiais[(1)]. Desse valor, 4 gigatoneladas corresponde ao cimento, cuja produção é responsável pela emissão de gases poluentes[(2)]. Somente a produção do concreto é responsável por 8% das emissões dos gases que agravam o efeito estufa[(1)]. Nesse contexto, a sociedade deve buscar alternativas que visam à redução dos impactos causados ao meio ambiente[(3)]. O aproveitamento de rejeitos da mineração em matrizes cimentícias, por exemplo, é uma solução para mitigar esse impacto ambiental. Em 2019, a indústria da mineração, no Brasil, produziu mais de 1 milhão de toneladas das principais substâncias metálicas[(4)]. Dentre alguns rejeitos gerados no beneficiamento de minérios, destacam-se aqueles ricos em magnetita (Fe_3O_4) e barita ($BaSO_4$), os quais apresentam potencial uso em concreto pesado, dada a alta massa específica[(5,6,7,8,9)]. Nesse cenário, a avaliação da durabilidade é essencial para garantir a função a qual se destina, a

vida útil e o desempenho[5]. Portanto, o objetivo desse estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da durabilidade de concretos pesados com a presença da magnetita e/ou da barita. A fim de alcançar tal objetivo, utilizou-se a metodologia ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist)* adaptada para realizar o levantamento do portfólio bibliográfico.

2 | METODOLOGIA

A revisão sistemática da literatura é definida como uma síntese de estudos primários que contém objetivos, materiais e métodos claramente explicitados, sendo conduzida de acordo com uma metodologia clara e reprodutível[10]. O levantamento da literatura foi baseado na metodologia ProKnow-C[11]. Essa metodologia consiste na seleção do portfólio bibliográfico, na análise bibliométrica, na análise sistêmica e na elaboração dos objetivos da pesquisa[12]. Neste estudo foram realizadas somente as etapas de definição das palavras-chave, exclusão de artigos repetidos, alinhamento quanto ao título, ao resumo e à leitura integral, classificação quanto ao número de citações e a identificação dos autores com maior número de publicações.

O portfólio bibliográfico foi levantado no Portal de Periódicos CAPES, sem nenhuma adoção de base de dados específica. Inicialmente, foram definidas as palavras-chave a serem adotadas na busca do referencial bibliográfico, combinadas por meio de operadores booleanos. As palavras-chave adotadas foram "*barite*" AND "*mortar*", "*barite*" AND "*durability*", "*barite*" AND "*concrete*", "*magnetite*" AND "*mortar*", "*magnetite*" AND "*durability*", "*magnetite*" AND "*concrete*". Em seguida, foram utilizados os seguintes filtros de busca: data de publicação entre 01/04/2016 e 01/04/2021, tipo de material considerado somente artigo, revisados por pares e, por fim, ordenados por relevância. Alguns critérios de inclusão foram adotados, como o uso da magnetita/barita em concretos e/ou argamassas e o uso da magnetita/barita como adição ou substituição de agregados e de cimento. O critério de exclusão adotado se restringiu àqueles artigos que analisaram somente a proteção radiológica ou os parâmetros mecânicos, mas sem avaliar a durabilidade do material.

Após o uso das palavras-chave definidas e dos filtros utilizados no Portal de Periódicos CAPES, foi realizado um levantamento do quantitativo de artigos. Nota-se, a partir da Tabela 1, que foram obtidos 4.374 artigos. Esse número se deve ao fato da escolha de termos mais abrangentes. Ao utilizar termos mais específicos, a base de dados encontrou poucos estudos, como o termo "*barite*" AND "*magnetite*" AND ("*concrete*" OR "*mortar*"), que resultou somente em 20 artigos. Após essa etapa, verificou-se o alinhamento do título, do resumo e da leitura integral ao objetivo do estudo.

Palavra-chave	Nº de artigos	Nº de artigos após aderência ao título	Nº de artigos após aderência ao resumo	Nº de artigos após a leitura integral
“barite” AND “mortar”	327	47	20	1
“barite” AND “durability”	179	45	23	5
“barite” AND “concrete”	386	67	47	6
“magnetite” AND “mortar”	1.344	95	29	4
“magnetite” AND “durability”	1.081	69	20	3
“magnetite” AND “concrete”	1.057	54	42	8

Tabela 1 – Testes de aderência

Fonte: Dados da pesquisa

Assim, após a realização dos procedimentos descritos, foram encontrados 12 artigos relacionados ao rejeito de barita e 15 artigos relacionados ao rejeito da magnetita, totalizando 27 artigos relativos ao tema da pesquisa. Essas publicações com os respectivos números de citações, segundo o Google Scholar, são apresentados na Tabela 2.

A análise bibliométrica busca evidenciar informações acerca do portfólio bibliográfico pela análise e pela quantificação de suas características[13]. Após o levantamento realizado, destacam-se o periódico *Construction and Building Materials* (12 artigos), *Materials* (4 artigos) e *Nanotechnologies in Construction* (2 artigos).

No que diz respeito aos autores, três se destacaram: Elzbieta Horszczaruk[5,6,17,22,23] e Pawel Sikora[6,22,23,32,33] (5 artigos), e Michał A. Glinicki[7,9,35] (3 artigos), todos da Polônia. Cabe salientar que Elzbieta Horszczaruk e Pawel Sikora são autores da publicação com o maior número de citações[6], evidenciando a relevância do levantamento bibliográfico realizado.

3 | DURABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

A principal análise de durabilidade realizada diz respeito ao dano provocado ao concreto sob elevadas temperaturas. Isso está relacionado ao fato do concreto pesado ser comumente utilizado em usinas nucleares, onde, normalmente, a temperatura gerada pelo vapor d´água pode chegar a 350°C e, em casos de acidentes, entre 500°C e 1.000°C[22].

Autores	Ano	Citações	Palavras-chave
Horszczaruk *et al*.[6]	2017	71	Nanosilica, Cement mortar, Elevated temperature, Mechanical properties, Heavyweight aggregate
Aksogan *et al*.[14]	2016	57	Corn stalk ash, Wheat straw ash, Sunflower stalk ash, Colemanite, Barite
Radu *et al*.[15]	2017	34	Heavyweight concrete, density, linear attenuation coefficient, compressive strength
Yao *et al*.[16]	2017	24	Heat-treatment temperature, Dynamic uniaxial compressive strength, SHPB, Thermally induced damage, X-ray micro-CT, Loading rate
Horszczaruk[17]	2019	21	Cement-based composites, Magnetite nanoparticles, Mechanical properties, Functional properties, Hydration products
González-Ortega *et al*.[18]	2019	18	EAF slag, Durability, Concrete Wetting-drying cycles, Freeze-thaw Leaching
Horszczaruk e Brzozowski[5]	2019	17	Gamma ray shielding, Heavyweight concrete, High temperature, Compressive strength
Sevinç *et al*.[19]	2017	16	Barite, Colemanite, Pumice, Blast furnace slag, Concrete Engineering properties, Taguchi method
Aslani e Asif[20]	2019	15	Geopolymer concrete, Heavyweight geopolymer concrete, Magnetite aggregates, Normal- weight coarse aggregates, High temperatures
El-Samrah *et al*.[21]	2018	14	Heating effect, Concrete, Integrated fast neutrons removal macroscopic cross section, Total linear attenuation coefficie
Sikora *et al*.[22]	2019	14	Waste magnetite poder, Cement paste, Heat treatment, Thermal resistance, Gamma-ray shielding
Sikora *et al*.[23]	2018	14	Nanosilica, Nanomagnetite, Core-shell structure, Cement mortar, Elevated temperature, Stöber method
Zalegowski *et al*.[24]	2020	14	Radiation shielding, Neutron radiation, Microstructure, Image analysis, Multiple regression analysis, Magnetite, Gadolinium
El-Samrah *et al*.[25]	2018	13	High performance concrete, Radiation shielding, Mass attenuation coeficiente, WinXcom program
Aslani *et al*.[26]	2019	12	Fire performance, Heavyweight concrete, Self-compacting concrete, High strength concrete, Heavyweight self-compacting concrete, Heavyweight high strength concrete, Mechanical properties
Demir *et al*.[27]	2020	10	Shielding of gamma rays and nêutrons, Concrete Shields, Limestone, Barite, Siderite, High temperature, Residual compressive strength
Arel *et al*.[28]	2017	10	NPP, Safety, Ageing, Concrete, Chemical attack, Physical attack

Jaskulski *et al*.[7]	2019	9	Blended aggregate,Concrete mix design,Density,Non-stationary method,Open porosity, Thermal properties,Thermal conductivity, Specific heat, Radiation shielding
Beaucour *et al*.[29]	2020	8	Electric Arc Furnace slag, Heavyweight concrete, Barite aggregate, Temperature, Compressive strength, Dynamic modulus, Recycle, Thermal conductivity
Jozwiak-Niedzwiedzka *et al*.[9]	2018	6	Alkali-silica reaction, Heavyweight concrete, High-density aggregate, Quartz size, Radiation shielding, Reactive minerals
El-Sayed[30]	2021	0	Heavy weight concrete, Magnetite, Rice straw ash (RSA), Radiation, Nano materials
Rashid *et al*.[31]	2020	0	Elevated temperature, Magnetite, Radiation, Radiation shielding, Silica sand, Ultra-high performance concrete
Dragomirová *et al*.[8]	2020	0	Cementitious composites,· Hydration heat, Heavyweight concrete, Aggregates, Radioactive isotope, Mechanical properties, Thermophysical properties
Sikora[32]	2020	0	Cement mortar, Nanosilica, Elevated temperature, Thermal properties, Cracking
Sikora[33]	2020	0	Cement mortar, Nanosilica, Elevated temperature, Thermal properties, Cracking
Ahmad *et al*.[34]	2019	0	Normal concrete, Barite concrete, Compressive strength, Tensile strength, Elastic modulus, Radiation shielding.
Jóźwiak-Niedźwiedzka *et al*.[35]	2020	0	Chloride permeability, Carbonation, Slag cement, Radiation shielding concrete, Microstructure, MIP, Mix design, Portland cement, Magnetite

Tabela 2 – Portfólio Bibliográfico

El-Samrah *et al*.[25], ao utilizarem barita em substituição ao agregado graúdo, observaram que a perda de massa a 450°C chegou a 5,3%. Porém, a perda de resistência à compressão atingiu 48%, que representa menos de 20 MPa. Horszczaruk e Brzozowski[5] analisaram a barita e a magnetita em substituição aos agregados graúdos e miúdos. O desempenho das amostras foi satisfatório até 600°C, notando-se que o concreto com barita apresentou resultados inferiores à magnetita. Sikora *et al*.[22] analisaram a substituição do cimento pela magnetita em percentuais entre 5 e 30%. A perda de massa foi semelhante até 300°C. Acima desse valor, o melhor desempenho foi observado em maiores teores de magnetita. Esses resultados foram confirmados pela resistência à compressão, que demonstrou melhor desempenho das amostras com maiores teores de magnetita[23].

O bom desempenho de compósitos cimentícios com rejeitos de minerais pesados, expostos a elevadas temperaturas, pode estar relacionado também ao aumento da porosidade. Jaskulski *et al*.[7] verificaram que o uso desses minerais provocou aumento da porosidade aberta entre 1,2 e 2,3%. Resultado semelhante foi obtido por Beaucour *et al*.[29], Zalegowski *et al*.[24]polypropylene macro- or/and microfibers, acrylic dispersion, acrylic dispersion together with gadolinium oxide, epoxy dispersion, and finally the inorganic chemical compound containing boron (NaBH4 e Dragomirová *et al*.[8].

Por meio da técnica de ultrassom, El-Samrah *et al*.[21] verificaram que a velocidade do pulso reduziu, a 450°C, cerca de 90%. Sevinç *et al*.[19]mechanical and durability

properties of concrete in recent years. In this study four different mineral additives were used which are barite, colemanite, basaltic pumice and ground granulated blast furnace slag (BFS, ao realizarem substituições parciais de 2,5, 5 e 10% de barita como agregado miúdo, observaram que a velocidade do pulso aumenta ligeiramente à medida que o percentual de barita é acrescido. Demir *et al*.[27] obtiveram resultados semelhantes ao substituírem totalmente os agregados graúdos e miúdos por barita. Esse aumento da velocidade do pulso ultrassônico pode estar relacionado a uma maior densificação da matriz cimentícia pelo aumento da massa específica dos minerais utilizados.

Além desses ensaios, outros parâmetros de durabilidade foram analisados, mas em menor quantidade, devido à escassez de estudos na área. Quanto à carbonatação, amostras com barita apresentaram menor profundidade quando comparadas a outros materiais[18]. Tal efeito foi consistente com os resultados de penetração de água, visto que amostras com maior absorção de água apresentaram menor profundidade de carbonatação. Por outro lado, amostras com magnetita apresentaram pior desempenho quando comparadas às amostras de referência[35]. Sobre a penetração de cloretos, o maior coeficiente de migração foi observado nas amostras com magnetita[35], sendo este trabalho o único encontrado na literatura recente sobre o tema. Em relação ao ciclo do gelo-degelo, as amostras com barita apresentaram desempenho inferior ao material de referência, tanto em função da velocidade do pulso ultrassônico, quanto da resistência à compressão[18]. Relativamente à porosidade, apesar de não haver consenso, nota-se que, majoritariamente, as amostras com barita e/ou magnetita apresentaram porosidade superior à amostra de referência[5,18,24,35].

Assim, os resultados referentes à análise de durabilidade ainda são inconclusivos e não consensuais, evidenciando, portanto, uma lacuna acerca do estudo de concretos com rejeitos pesados expostos a diversos ambientes agressivos.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual contexto exige que a sociedade busque alternativas relativas à redução da emissão de gases poluentes ao meio ambiente. Portanto, esse estudo buscou realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da durabilidade de matrizes cimentícias com rejeitos à base de magnetita e barita. Verificou-se que a alteração das propriedades físicas dos concretos e argamassas pode levar à melhoria da durabilidade, principalmente quando expostos a elevadas temperaturas. Porém, estudos complementares são necessários, haja vista as inúmeras possibilidades de alterações da composição das misturas e as diversas condições de exposição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMC/UFMG e ao PIBIT/CNPq/UFMG pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. MILLER, S. A.; MOORE, F. C. Climate and health damages from global concrete production. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 5, p. 439–443, 2020.

2. HABERT, G. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v.1, n.11, 559–573, 2020.

3. GHAVAMI, S. et al. Influence of sodium chloride on cement kiln dust-treated clayey soil: strength properties, cost analysis, and environmental impact. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 1, p. 683–702, 2021.

4. BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas.** Brasília, 2020.

5. HORSZCZARUK, E.; BRZOZOWSKI, P. Investigation of gamma ray shielding efficiency and physicomechanical performances of heavyweight concrete subjected to high temperature. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 574–582, 2019.

6. HORSZCZARUK, E. et al. The effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 137, p. 420–431, 2017.

7. JASKULSKI, R. et al. Application of a non-stationary method in determination of the thermal properties of radiation shielding concrete with heavy and hydrous aggregate. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 130, p. 882–892, 2019.

8. DRAGOMIROVÁ, J. et al. Optimization of cementitious composite for heavyweight concrete preparation using conduction calorimetry. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 142, n. 1, p. 255–266, 2020.

9. JOZWIAK-NIEDZWIEDZKA, D. et al. Alkali-silica reactivity of high density aggregates for radiation shielding concrete. **Materials**, v. 11, n. 11, 2018.

10. GREENHALGH, T. How to read a paper: Papers that summarise other papers (systematic reviews and meta-analyses). **BMJ**, v. 315, 1997.

11. ENSSLIN, L. et al. **ProKnow-C, Knowledge Development Process- Constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**. Brasil, 2010a.

12. AFONSO, M. H. F. et al. Como Construir Conhecimento Sobre O Tema De Pesquisa? Aplicação Do Processo Proknow-C Na Busca De Literatura Sobre Avaliação Do Desenvolvimento Sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.5,n.2,47–62, 2012.

13. ENSSLIN, L. et al. **Processo de análise bibliométrica. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI, 2010b.**

14. AKSOGAN, O.; BINICI, H.; ORTLEK, E. Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. **Construction and Building Materials**,106,253–263, 2016.

15. RADU, L. et al. Betoane cu capacitate de ecranare a radiațiilor gama pentru construcții speciale. **Romanian Journal of Materials**, v. 47, n. 3, p. 322–327, 2017.

16. YAO, W. et al. Thermal degradation of dynamic compressive strength for two mortars. **Construction and Building Materials**, v. 136, p. 139–152, 2017.

17. HORSZCZARUK, E. Properties of cement-based composites modified with magnetite nanoparticles: A review. **Materials**, v. 12, n. 2, 2019.

18. GONZÁLEZ-ORTEGA, M. A. et al. Durability of concrete with electric arc furnace slag aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 217, p. 543–556, 2019.

19. SEVINÇ, A. H.; DURGUN, M. Y.; EKEN, M. A Taguchi approach for investigating the engineering properties of concretes incorporating barite, colemanite, basaltic pumice and ground blast furnace slag. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 343–351, 2017.

20. ASLANI, F.; ASIF, Z. Properties of ambient-cured normal and heavyweight geopolymer concrete exposed to high temperatures. **Materials**, v. 12, n. 5, 2019.

21. EL-SAMRAH, M. G.; ABDEL-RAHMAN, M. A. E.; EL SHAZLY, R. M. Effect of heating on physical, mechanical, and nuclear radiation shielding properties of modified concrete mixes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 153, n. September, p. 104–110, 2018.

22. SIKORA, P. et al. Incorporation of magnetite powder as a cement additive for improving thermal resistance and gamma-ray shielding properties of cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 113–121, 2019.

23. SIKORA, P. et al. The effects of Fe_3O_4 and Fe_3O_4/SiO_2 nanoparticles on the mechanical properties of cement mortars exposed to elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 182, p. 441–450, 2018.

24. ZALEGOWSKI, K. et al. Relation between microstructure, technical properties and neutron radiation shielding efficiency of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 235, p. 117389, 2020.

25. EL-SAMRAH, M. G.; ABDEL-RAHMAN, M. A. E.; KANY, A. M. I. Study Characteristics of New Concrete Mixes and their Mechanical, Physical, and Gamma Radiation Attenuation Features. **Zeitschrift fur Anorganische und Allgemeine Chemie**, v.644,n.2,p.92–99, 2018.

26. ASLANI, F.; HAMIDI, F.; MA, Q. Fire performance of heavyweight self-compacting concrete and heavyweight high strength concrete. **Materials**, v. 12, n. 5, p. 1–24, 2019.

27. DEMIR; GÜMÜŞ, M.; GÖKÇE, H. S. Gamma ray and neutron shielding characteristics of polypropylene fiber-reinforced heavyweight concrete exposed to high temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 257, 2020.

28. AREL, H. Ş.; AYDIN, E.; KORE, S. D. Ageing management and life extension of concrete in nuclear power plants. **Powder Technology**, v. 321, p. 390–408, 2017.

29. BEAUCOUR, A. L. et al. Influence of elevated temperature on properties of radiation shielding concrete with electric arc furnace slag as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 256, p. 119385, 2020.

30. EL-SAYED, T. A. Performance of heavy weight concrete incorporating recycled rice straw ash as radiation shielding material. **Progress in Nuclear Energy**, v.135, p.103693, 2021.

31. RASHID, R. S. M. et al. Effect of elevated temperature to radiation shielding of ultra-high performance concrete with silica sand or magnetite. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120567, 2020.

32. SIKORA, P. The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part ii. **Nanotechnologies in Construction**, v. 12, n. 3, p. 147–154, 2020a.

33. SIKORA, P. The microstructural and thermal characteristics of silica nanoparticle-modified cement mortars after exposure to high temperatures. Part i. **Nanotechnologies in Construction**, v. 12, n. 2, p. 108–115, 2020b.

34. AHMAD, I. et al. Densification of concrete using barite as fine aggregate and its effect on concrete mechanical and radiation shielding properties. **Journal of Engineering Research (Kuwait)**, v. 7, n. 4, p. 81–95, 2019.

35. JÓŹWIAK NIEDŹWIEDZKA, D. et al. Influence of slag cement on the permeability of concrete for biological shielding structures. **Energies**, v. 13, n. 17, 2020.