

**DESENVOLVIMENTO DE AGLOMERANTES ATIVADOS ALCALINAMENTE
UTILIZANDO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA: UMA REVISÃO DA
LITERATURA**

THALITA P. CAPORALI¹; JOÃO PEDRO B. BATISTA²,
JOSÉ AMÉRICO A. SALVADOR FILHO³

1 Graduanda em Engenharia Civil, Bolsista PIBITI/CNPq, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, caporali.t@aluno.ifsp.edu.br

2 Professor M.Sc., Engenharia Civil, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, joao.bittencourt@ifsp.edu.br

3 Professor Dr., Engenharia Civil, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO: A evolução das tecnologias dos materiais na construção civil nos últimos anos tem sido atrelada a sustentabilidade. Assim, o estudo de possíveis alternativas para substituir materiais de elevado impacto ambiental como o cimento Portland (CP) vem sendo averiguados por diversos pesquisadores, é o caso dos aglomerantes ativados alcalinamente (AAA). Os AAA são produzidos por meio de uma reação química em que um material silicoaluminoso (precursor) é misturado com uma solução alcalina (ativador) produzindo um material com propriedades cimentantes. Ademais, esta tecnologia é capaz de incorporar em sua composição subprodutos e/ou resíduos como matéria prima, oferecendo dessa forma, diversas vantagens em sua utilização, já que a gestão de resíduos é uma problemática presente em diversas indústrias em todo o mundo, assim como a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Neste estudo é feito uma revisão bibliográfica acerca do tema em pesquisas que utilizaram o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) como precursor, permitindo a realização de considerações, comparações e análises com base nos resultados encontrados pelos artigos selecionados.

PALAVRAS-CHAVE: Ativação Alcalina; RCV; resíduos.

**DEVELOPMENT OF ALKALI-ACTIVATED BINDERS USING RED CERAMIC WASTE: A
LITERATURE REVIEW**

ABSTRACT: The evolution of materials technologies in civil construction in recent years has been linked to sustainability. Thus, the study of possible alternatives to replace materials with high environmental impact such as Portland cement (PC) has been investigated by several researchers, such as alkaline activated binders (AAB). The AAB are the result of a chemical reaction in which a silicoaluminous material (precursor) is mixed with an alkaline solution (activator) producing a material with cementing properties. In addition, this technology is capable of incorporate by-products and/or waste as raw material in its composition, thus achieving several advantages in its use, since waste management is a problem present in several worldwide industries, as well as the emission of carbon dioxide in atmosphere. In this study, a literature review is developed emphasizing the used of red ceramic waste (RCW) as precursor, allowing considerations, comparisons and analyses based on the results found on selected papers.

KEYWORDS: Alkaline activation, RCW, wastes.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a comunidade científica tem buscado o desenvolvimento de novos materiais que permitem a minimização dos impactos ambientais. Dessa forma, a ativação alcalina tem apresentado excelentes resultados com a produção sustentável de matrizes cimentantes. Esta tecnologia caracteriza-se como uma reação química em que um material sílico-aluminoso, denominado de precursor, misturado

com uma solução alcalina, denominada de ativador alcalino, gerando um produto com propriedades cimentantes chamado aglomerante ativado alcalinamente (AAA). Estes ligantes, comparados ao cimento Portland, apresentam uma redução de até 70% de emissão de CO₂, além de possuírem propriedades mecânicas similares ou superiores, como: alta resistência à compressão, boa resistência a abrasão e ao fogo, resistência a vários ácidos etc. Além disso, são capazes de incorporar em sua composição subprodutos e/ou resíduos como matéria prima (PROVIS, 2017; PACHECO-TORGAL et al., 2015; DUXSON et al, 2007).

Os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) podem ser gerados nas etapas de fabricação ou após a utilização do material. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2016), as indústrias desse ramo chegam a desperdiçar até 10% de sua produção durante o processo de combustão e cerca de 5-20% na pós-queima (peças quebradas ou trincadas). Estes materiais possuem em sua composição grandes quantidades de silício e alumínio, o que possibilita sua utilização em AAA como precursores. Estudos com sua incorporação vêm sendo realizados para avaliar seu potencial e consequente valorização (PROVIS et al, 2015). Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos AAA utilizando o RCV como precursor, permitindo a realização de comparações e análises com base nos resultados encontrados.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta revisão de bibliografia, foram pesquisadas as palavras-chaves nos mecanismos de busca Google Acadêmico, Sciencedirect, Scielo, as quais foram: “RCW”; “Alkali activated”; “Red Ceramic”; “wastes”; “ativação alcalina”; “RCV”. A seleção dos artigos foi realizada com base no critério de ano de publicação, nos períodos de 2015 a 2020, e no fator de impacto dos periódicos, apresentados de forma cronológica, sendo que destes foram selecionados os mais pertinentes ao tema, e a partir dos escolhidos, comparou-se e discutiu-se os resultados alcançados pelos pesquisadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos estudos selecionados verifica-se que em geral o RCV, é incorporado como precursor junto ao metacaulim (MK), e submetido a uma solução alcalina, geralmente, composta por hidróxido de sódio (NaOH) e silicato de sódio (Na₂SiO₃), este último é comum por possuir grande quantidade de sílica reativa e também por promover uma dissolução mais rápida da sílica e alumina, aumentando a formação dos produtos hidratados. Porém, o silicato de sódio emite grandes quantidades de CO₂ em sua produção cerca de 17% quando comparada com os demais componentes usuais desse ligante, evento que pode ser evitado caso não haja a incorporação deste material na ativação (GERALDO, R. H. et al, 2017; PROVIS, J. L.; PALOMO, A.; SHI, C,2015).

Analisando mais minuciosamente os precursores empregados junto ao RCV, o metacaulim (MK) foi o mais utilizado. Este material provém do tratamento térmico de argilas caulinitas a temperaturas de 500 a 800 °C. Segundo ainda Provis e Bernal (2014) a dissolução das camadas de alumínio das partículas também deixa os locais de silício acessíveis à solução alcalina, o que torna o MK um precursor altamente reativo sob condições de ativação alcalina. Já Geraldo et al (2017) afirmaram que este material foi empregado em mais de 70% das pesquisas e que em sua maioria foi utilizada no Brasil.

Dessa forma, tomando por base os artigos mencionados na Tabela 1 e os materiais utilizados juntamente ao RCV na mistura, faz-se possível a constatação de que o resíduo mencionado possui potencial para ser utilizado como precursor, ainda que parcialmente nos AAAs. Esta afirmação pode ser verificada ao analisar as Figuras 1 e 2, as quais apresentam os dados máximos de resistência à compressão atingidos pelos pesquisadores ao incorporar este material, dado que um representa os estudos realizados em argamassas e o outro em pastas, respectivamente. Além disso, os gráficos exibem o tempo de cura para os referentes dados de compressão alcançados com cura feita tanto em temperatura ambiente quanto cura térmica, conforme os critérios escolhidos por cada pesquisa.

Observa-se ao analisar a literatura de cada artigo em estudo que, em sua maioria, a resistência à compressão aumentou com o decorrer do tempo de cura e que o estudo de dosagem dos insumos escolhidos foi fator imprescindível para que os pesquisadores atingissem resultados mecânicos

satisfatórios. Assim, ainda que os gráficos apresentados ilustrem o tempo de cura e resistência à compressão, os dados não podem ser correlacionados como justificativa de uma pesquisa atingir resistências maiores se comparada a outra, devido aos materiais utilizados (origem e composição), suas dosagens e tipo de cura serem o diferencial para o resultado alcançado.

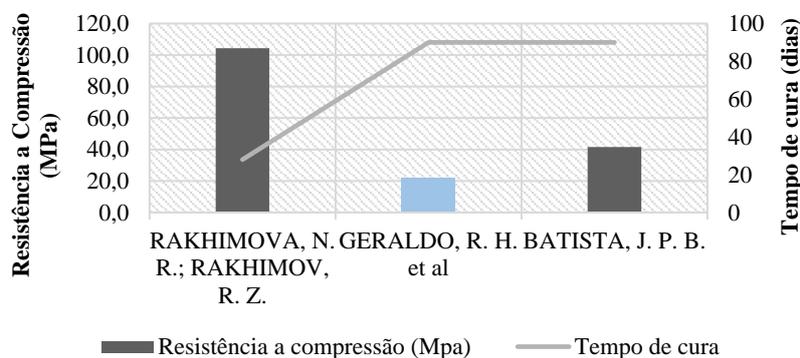


FIGURA 1. Resistência à compressão e tempo de cura das amostras de argamassa utilizadas nas pesquisas mencionadas, sendo que os corpos de prova em cinza e azul possuem formato prismático e cúbico, respectivamente. (Autor, 2020)

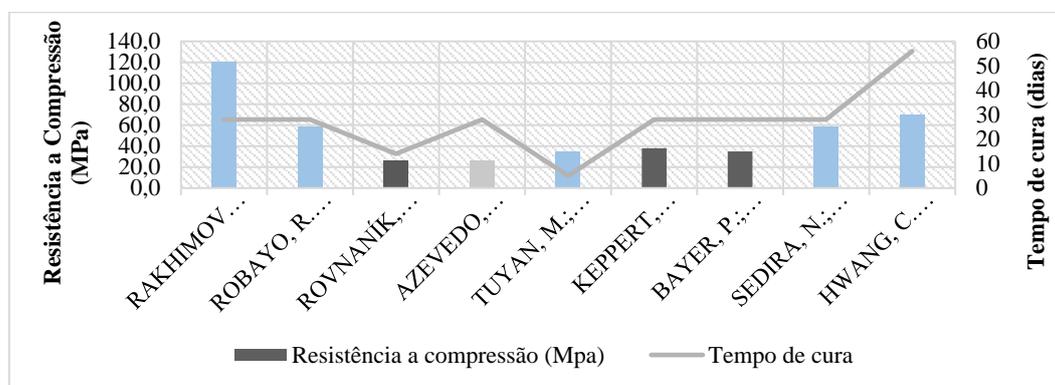


FIGURA 2. Resistência à compressão e tempo de cura das amostras de pastas utilizadas nas pesquisas mencionadas, sendo que os corpos de prova em cinza escuro, azul e cinza claro possuem formato prismático, cúbico, cilíndrico, respectivamente. (Autor, 2020)

A pesquisa de Rakhimova (2015), obteve um alto desempenho mecânico, acima de 100 MPa. Os autores justificaram o alto desempenho devido à utilização da escória de alto forno granulada (GBFS) como fonte de cálcio, formando produtos do tipo sílico aluminatos de cálcio hidratado (C-A-S-H). Ademais, Batista (2018) adicionou 5% (em massa de aglomerante) de hidróxido de cálcio a mistura, com o intuito de elevar a resistência mecânica da argamassa produzida e obteve êxito, pois houve um ganho de resistência de aproximadamente de 300% (de 4 para 16 MPa), reiterando que adição destes materiais ricos em cálcio potencializam o desempenho dos AAA.

Outra pesquisa relevante foi de Caetano et al (2019), em que compararam a resistência à compressão atingida de corpos-de-prova com duas dosagens diferentes (ensaio 01 e ensaio 02) dos materiais mencionados na Tabela 1 e com amostras convencionais de CP. Foi concluído que o material em estudo está apto a ser utilizado como argamassa para assentamento, já que obtiveram resultados próximos do convencional.

Retomando o que já foi citado, a análise de dosagem é indispensável ao estudo e desenvolvimento desse ligante, dessa forma, a Tabela 1 expõe as dosagens utilizadas por 9 trabalhos distintos, apresentando a relação entre os precursores, a concentração de NaOH empregada nas misturas, que em sua maioria foi de 8 molal, a relação líquido e ligante, e as conclusões levando em consideração o resultado mecânico obtido. Ademais, nota-se que dentre os pesquisadores, a relação mais comum de $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ foi de 1,30, aproximadamente, enquanto Batista (2018) e Sedira et al (2018) atingiram o melhor resultado mecânico utilizando uma quantidade de 50% de RCV como precursor.

TABELA 1. Dosagens utilizadas em pesquisas relacionadas a AAA com utilização do RCV.

Autor	Dosagens estudadas			Relação Líquido / Ligante	Dosagem que alcançou maior resistência mecânica.
	Precursor		Solução de NaOH (M)		
	Tipo	Relação de quantidade (%)			
ROBAYO, R. A. et al. (2016)	RCV/CP	(95/5) - (80/20)	-	0,25	Módulo de sílica (SiO ₂ / Na ₂ O) de 1,29 e uma relação de precursor de (90/10) a 25°C e (20/80) a 70°C.
ROVNANÍK, P. et al. (2018)	RCV/MK	(100/0), (75/25), (50/50), (25/75), (0/100)	7,9	-	Relação de precursor de (25/75).
AZEVEDO, A. G. DE S.; STRECKER, K.; LOMBARDI, C. T. (2018)	RCV/MK	(0/100), (50/50)	8	-	Relação de precursor de (0/100).
BATISTA, J. P. B. (2018)	RCV/CF*	(100/0), (87,5/12,5), (75/25), (62,5/37,5), (50/50)	8,3	0,45	Módulo de sílica (SiO ₂ / Na ₂ O) de 1,30, solução de NaOH de 8M e relação de precursor de (50/50).
TUYAN, M.; ANDIÇ-ÇAKIR, Ö.; RAMYAR, K. (2018)	RCV	100	-	0,46	Módulo de sílica (SiO ₂ / Na ₂ O) de 1,80.
SEDIRA, N.; CASTRO-GOMES, J.; MAGRINHO, M. (2018)	RCV/TMWM*	(10/90), (20/80), (30/70), (40/60), (50/50)	10	0,25	Relação de precursor de (50/50).
CAETANO, M. R. et al. (2019)	RCV/C*	(60,9/39,1), (66,7/33,3)	-	0,26	Relação de precursor de (66,7/33,3).
HWANG, C. L. et al. (2019)	RC/FA*/GGB FS*	(100/0/0), (60/30/10), (60/20/20), (60/10/30)	-	0,45	Relação de precursor de (60/10/30).

* Obs.: CF - cinza da cana de açúcar; TMWM - Lama de resíduos de mineração de tungstênio; C - Cinza de forno da indústria cerâmica; FA - Cinza volante; GGBFS - Escória granulada de alto forno.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a literatura referente ao uso de RCV em AAA como precursor mostrou que o processo para a produção desse ligante depende de diversas variáveis tais como dosagem, temperatura e tempo de cura, e materiais utilizados como ativadores. Além disso, apesar da dificuldade na comparação dos resultados devido às diferentes condições, as amostras com RCV atingiram excelentes resultados mecânicos, mostrando que essa tecnologia é promissora, possibilitando um desenvolvimento mais sustentável, além da valorização de resíduos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o apoio do corpo técnico do Laboratório Integrado de Engenharia Civil (LIEC) do IFPS Campus Caraguatatuba pelo suporte durante as atividades, e ao CNPq pela bolsa para realização do estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha. [S. l.], 2016. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_página_única - Cerâmica Vermelha.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_página_única_-_Cerâmica_Vermelha.pdf)>. [Acesso em: 23 de abril, 2019]

AZEVEDO, A. G. DE S.; STRECKER, K.; LOMBARDI, C. T. Produção de geopolímeros à base de metacaulim e cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 64, n. 371, p. 388–396, 2018.

BATISTA, JOÃO PEDRO BITTENCOURT. Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar em aglomerantes ativadas alcalinamente baseado no resíduo de cerâmica vermelha. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

BAYER, P.; ROVNANIKOVA, P. Effect of alkaline activator quantity and temperature of curing on the properties of alkali-activated brick dust. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 385, n. 1, 2018.

CAETANO, M. R. et al. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Argamassa Produzido com Aglomerante Alkali-Ativado à Base de RCV e Cinzas Evaluation of the Mechanical Properties of Mortar Produced with Alkali-Activated Binder Based on RCV and Ashes 1 Introdução Ao longo das últi. n. 1, p. 1–9, 2019.

DUXSON, P. ET AL. The role of inorganic polymer technology in the development of ‘green concrete’. *Cement and Concrete Research*, Kidlington, v. 37, n. 12, p.1590-159, 2007.

GERALDO, R. H. et al. Alkali-activated binder containing wastes: A study with rice husk ash and red ceramic. *Cerâmica*, v. 63, n. 365, p. 44–51, 2017.

HWANG, C. L. et al. Development of high-strength alkali-activated pastes containing high volumes of waste brick and ceramic powders. *Construction and Building Materials*, v. 218, p. 519–529, 2019

KEPPERT, M. et al. Red-clay ceramic powders as geopolymer precursors: Consideration of amorphous portion and CaO content. *Applied Clay Science*, v. 161, n. March, p. 82–89, 2018.

PACHECO-TORGAL, F. Introduction to Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes. In: PACHECO-TORGAL, F. et. al. (Ed.). *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*. Sawston: Woodhead, 2015. p.1-16.

PROVIS, J. L. Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, Amsterdam, p. 1-9, 2017.

PROVIS, J. L.; BERNAL, S. A. Geopolymers and Related Alkali-Activated Materials. *Annual Review of Materials Research*, v. 44, n. 1, p. 299–327, 2014.

PROVIS, J. L.; PALOMO, A.; SHI, C. Advances in understanding alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, v. 78, p. 110–125, 2015.

RAKHIMOVA, N. R.; RAKHIMOV, R. Z. Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste. *Materials and Design*, v. 85, p. 324–331, 2015.

ROBAYO, R. A. ET AL. Alternative cements based on alkali-activated red clay brick waste. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v. 128, p.163-169, 2016.

ROVNANÍK, P. ET AL. Rheological properties and microstructure of binary waste red brick powder/metakaolin geopolymer. *Construction and Building Materials*, v. 188, p. 924–933, 2018.

SEDIRA, N.; CASTRO-GOMES, J.; MAGRINHO, M. Red clay brick and tungsten mining waste-based alkali-activated binder: Microstructural and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, v. 190, p. 1034–1048, 2018.

TUYAN, M.; ANDIÇ-ÇAKIR, Ö.; RAMYAR, K. Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer. *Composites Part B: Engineering*, Kidlington, v. 135, p. 242-252, 2018.