ESTUDO COMPARATIVO DE CIMENTOS TERNÁRIOS E A FABRICAÇÃO UTILIZANDO CP-V COMO MATERIAL BASE

COMPARATIVE STUDY OF TERNARY CEMENTS AND THEIR MANUFACTURE USING CP-V AS THE BASE MATERIAL

Leonardo da Silva Cardoso
UFPA | Belém, Pará| agorasimleo@gmail.com

Evandro Júlio da Silva Júnior
UFPA | Belém, Pará | evandro.junior@itec.ufpa.br

Cintia Kerian Silva Ferreira
UFPA| Belém, Pará | Cintia.ferreira@itec.ufpa.br

Gustavo André Silva da Costa
UFPA| Belém, Pará | gustavo.silva.costa@itec.ufpa.br

Taiza Naiana da Silva Ferreira
UFPA| Belém, Pará | taizaferreira@ufpa.br

Luciana Carvalho Queiroz
UFPA | Belém, Pará | lucianaqueiroz@ufpa.br

Resumo

A redução das emissões de CO_2, especialmente no setor de cimento, é uma prioridade global, sendo os cimentos ternários compostos por cimento Portland e adições como argila natural e sílica ativa emergem como uma solução promissora. Este estudo analisou o desempenho de argamassas produzidas com cimentos Portland (CP II Z, CP IV) e cimentos ternários, focando nas propriedades no estado fresco e endurecido. Os resultados demonstraram que os cimentos ternários, particularmente aqueles com argila natural, apresentaram desempenho similar ou superior aos cimentos de referência em termos de resistência à compressão axial e tração, além de um tempo de pega mais longo, característico do comportamento pozolânico. A argila natural também funcionou como plastificante, melhorando a consistência das argamassas. Tais comportamentos indicam que os cimentos ternários têm o potencial de reduzir as emissões de CO_2, com a substituição parcial do clínquer, dado que na etapa 40% das emissões na indústria cimenteira são provenientes da queima do combustível para produzir o clínquer. Diante disso, os cimentos ternários oferecem alternativas mais sustentáveis e eficientes para a construção civil, com boas propriedades mecânicas e durabilidade.

Palavras-chave: Pozolanas; Sustentabilidade; Argila natural; Resistência mecânica; Cimentos ternários.

ABSTRACT

Reducing CO_2 emissions, especially in the cement sector, is a global priority, and ternary cement composed of Portland cement and additions such as natural clay and active silica emerge as a promising solution. This study analyzed the performance of mortars produced with Portland cement (CP II Z, CP IV) and ternary cement, focusing on their properties in a fresh and hardened state. The results showed that ternary cement, particularly those with natural clay, performed similarly to or better than reference cement in terms of axial compressive strength, tensile strength, and a longer setting time, characteristic of pozzolanic behavior. The natural clay also acted as a plasticizer, improving the consistency of the mortars. These behaviors indicate that ternary cements have the potential to reduce CO_2 emissions by partially replacing clinker, given that 40% of emissions in the cement industry come from burning fuel to produce clinker. Ternary cement, therefore, offers more sustainable and efficient alternatives for the construction industry, with good mechanical properties and durability.

Keywords: Pozzolans; Sustainability; Natural clay; Mechanical strength; Ternary cements.

1 INTRODUÇÃO

A redução da emissão de dióxido de carbono é apresentada como uma questão urgente e essencial para o mundo, destacando a necessidade de ações proativas para reduzir as emissões deste e de outros gases de

efeito estufa. De acordo com o relatório Emissions Gap 2024 da ONU, para limitar o aquecimento global a menos de 1,5°C, seria necessário reduzir as emissões em 42% até 2030 e em 57% até 2035. De forma a contribuir para o alcance das metas globais, estudos sobre materiais de menor impacto ambiental vêm sendo desenvolvidos em diversos países, apresentando-se como uma via alternativa ao uso de materiais tradicionais como o cimento Portland, responsável pela emissão global de até 7% de gases do efeito estufa.

A aplicação de materiais alternativos como cimentos ternários e LC3 na produção de concretos e argamassas com diferentes finalidades vem sendo utilizada, como observa-se no estudo de Schaefer et al. (2013), que desenvolveu o estudo sobre argamassas autonivelantes utilizando materiais suplementares na produção, obtendo resultados satisfatórios em suas análises.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo analisar a aplicabilidade de cimentos ternários na produção de argamassas de revestimento e comparar o seu desempenho com argamassas produzidas com cimentos comerciais como uma opção promissora para a indústria cimenteira, utilizando como materiais suplementares os cimentos ternários, que usam como base o clínquer ou cimento CP-V-ARI, por conter menores quantidades de adições em sua composição que apresentam características semelhantes ao cimento Portland comercial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção das argamassas foram executados traços de 1:5 em massa com relação a/c de 0,80. Os materiais utilizados foram: agregado miúdo natural de origem quartzosa; cimentos Portland pozolânicos (CP II-Z e CP IV), classe de resistência de 32 MPa; e cimentos ternários. Os cimentos ternários foram produzidos utilizando o cimento CP V-ARI como fonte de clínquer e gipsita, e foram acrescentados argila natural (AN), sílica ativa (SA) e resíduo de corte de mármore (RCM) nas proporções apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição dos cimentos ternários (% em massa).

Cimento Ternário	CPV	SA	AN	RCM
CTSA01	50	40	-	10
CTSA02		30	10	
CTAN01		0	40	
CTAN02		10	30	

Fonte: Autores.

Para caracterização da areia foram realizados os ensaios de massa específica (NBR 16605, ABNT 2017), granulometria (NBR 12826, ABNT 2014), massa unitária (NBR 16607, ABNT 2018), índice de vazios e módulo de finura (NBR 16607, ABNT 2018). E para caracterização dos cimentos foram realizados os ensaios de: massa específica (NBR 16605, ABNT 2017), índice de finura por peneiramento (NBR 12826, ABNT 2014), massa unitária (NBR 16607, ABNT 2018) e tempos de pega (NBR 16607, ABNT 2018). O comportamento das argamassas foi avaliado no estado fresco através do ensaio de índice de consistência (NBR 13276, ABNT 2016) e no estado endurecido pelo ensaio de resistência à tração na flexão e compressão axial (NBR 13279, ABNT 2005) nas idades de cura de 7 e 28 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO

Os resultados obtidos na caracterização da areia indicam um módulo de finura de 2,75 com diâmetro máximo de 1,20 mm. A massa específica é de 2,61 g/cm³, massa unitária de 1,59 g/cm³ com o índice de vazios de 39,23%.

A Tabela 2 apresenta os resultados de caracterização dos cimentos. Nota-se que as massas específicas se assemelham aos cimentos normatizados, principalmente com o CP-IV-32. Enquanto isso, apresentaram diferentes índices de finura e provaram ser mais finos que os cimentos de referência. Observa-se que quanto maior o percentual de argila nos cimentos desenvolvidos, maior o seu índice de finura.

Tabela 2: Resultados de caracterização.

Materiais	CP-II-Z	CP-IV	CTSA01	CTSA02	CTAN01	CTAN02
ME (g/cm³)	3,05	2,90	2,54	2,56	2,86	2,82
Índice de finura	0,06	0,10	37,20	27,64	59,16	33,42

Tempos de Pega						
Início	02:40	02:20	01:35	01:40	01:58	02:05
Fim	03:50	03:00	03:05	04:20	05:18	05:20
Δ Tempo	01:10	00:40	01:30	02:40	03:20	03:15

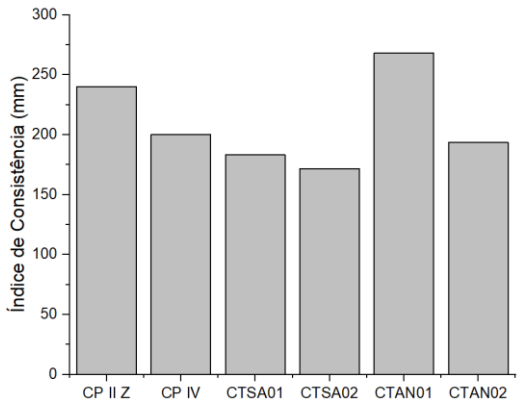
Fonte: Autores.

Verificou-se que as misturas de cimentos ternários apresentaram aceleração quanto ao seu tempo de pega inicial em comparação aos cimentos pozolânicos, podendo ser justificado pela matéria-prima (CP-V-ARI) utilizada, que por ter maior calor de hidratação acelera as reações responsáveis pelo endurecimento inicial da pasta. Observa-se também a inversão ao analisar o tempo final de pega das misturas ternárias, comportamento já esperado, uma vez que as reações pozolânicas acontecem de forma mais lenta devido à formação da Portlandita, não podendo liberar hidratos para o enrijecimento da argamassa, atrasando o tempo final de pega das pastas, de acordo com Wang et al. (2021b) e evidenciado nos estudos de Ez-Zaki et al. (2021) e Neckel et al. (2023).

3.2 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio de consistência, onde é possível observar que os cimentos compostos com maior teor de argila natural apresentaram um maior espalhamento, entre 190 a 260 mm, enquanto os cimentos com adições de sílica ativa apresentaram um menor índice de consistência comparado aos outros. O cimento apresentou menor plasticidade devido à alta finura, resultando em uma mistura mais rígida e com menor fluidez.

Figura 1: Índice de consistência.



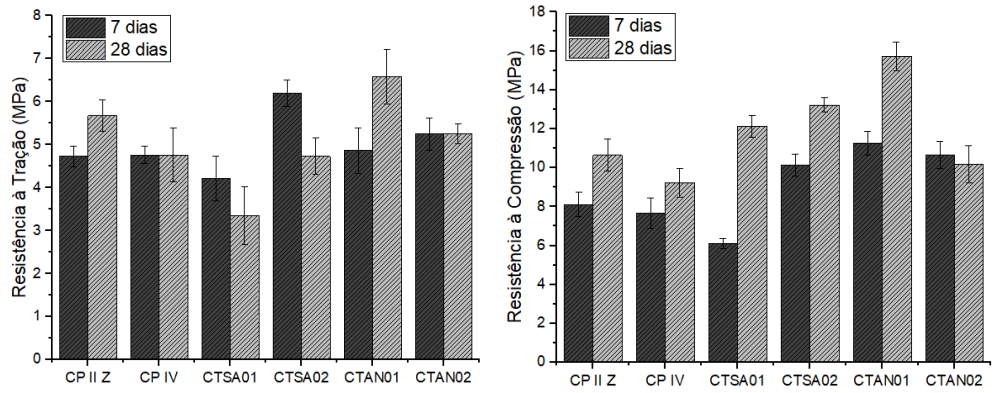
Fonte: Autores.

Devido ao seu índice de finura, há uma maior área de contato entre as partículas, sendo assim, a demanda de água necessária é maior. Enquanto que com a argila, como já mencionado, apresentou maior plasticidade, o cimento de referência CP-II-Z e o CTAN01 foram os cimentos com maior índice de consistência, entretanto, o cimento ternário tem mais de 10,44% a mais de diâmetro de espalhamento em relação ao cimento de referência. O cimento com maior índice de argila natural, com 40% de AN, obteve a maior área de espalhamento dentre os demais.

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados dos ensaios de propriedades mecânicas das argamassas são apresentados na Figura 2. Os cimentos CTAN01 e CTAN02 apresentam maiores resistências à tração aos 28 dias de cura que os demais cimentos, comportamento semelhante nos resultados de compressão com o CTAN01 apresentando o maior ganho de resistência, alcançando valores próximos de 16 MPa para a mesma idade de cura. No entanto, as argamassas de CP II Z e CP IV mostram resistências relativamente mais baixas, indicando um desempenho inferior. Esses resultados sugerem que os cimentos CTAN01 e CTAN02 podem ter uma cinética de hidratação mais eficiente, levando a um melhor desempenho mecânico ao longo do tempo, isso deve-se ao efeito da argila natural que pode ter contribuído no aumento de resistência. Berodier e Scrivener (2014) determinam que a quantidade de caulinita presente na argila antes da calcinação tem impacto significativo no aumento da resistência potencial da matriz cimentícia. Em estudo subsequente, Scrivener et al. (2018) constataram que esse fator tem uma influência mais pronunciada no ganho de resistência em idades mais avançadas, como é possível verificar nos resultados obtidos aos 28 dias.

Figura 2: Resultados das propriedades mecânicas. (a) resistência à tração; (b) resistência à compressão.



Fonte: Autores.

4 CONCLUSÃO

Portanto, os cimentos ternários, especialmente aqueles com adição de pozolanas como a argila natural, apresentam um bom desempenho comparado aos cimentos de referência. A análise dos ensaios realizados indica que esses cimentos têm potencial de oferecer alternativas mais sustentáveis e eficazes, tanto no que se refere à resistência e durabilidade quanto às suas propriedades no estado fresco, aspectos fundamentais em diversas aplicações da construção civil. É relevante, também, que o comportamento pozolânico observado nos cimentos compostos com argila natural possa abrir novas perspectivas para o desenvolvimento de cimentos mais eficientes e ecológicos, reduzindo a dependência de materiais tradicionais e contribuindo para um desempenho superior a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9831: Cimento – Determinação da finura pelo método do peneiramento, Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11581: Cimento – Determinação do tempo de pega, Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

Berodier, E., & Scrivener, K. L. (2014). "Influence of the amount of kaolinite on the pozzolanic reactivity of clay in cementitious matrices." Cement and Concrete Research, 57, 95-106. Scrivener, K. L., Martirena, F., & De la Varga, I. (2018). "The impact of kaolinite on the long-term strength development of pozzolanic cements." Cement and Concrete Research, 112, 11-20.

EZ-ZAKI, Hassan et al. A fresh view on limestone calcined clay cement (LC3) pastes. Materials, v. 14, n. 11, p. 3037, 2021.

NECKEL, Rafael Matheus et al. AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES MATERIAIS POZOLÂNICOS NA CONSISTÊNCIA E TEMPO DE PEGA DE PASTAS DE LC³. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO CIMENTO, v. 1, p. 1-6, 2023.

SCHAEFER, Cecília Ogliari et al. Valorização de Fonte alternativa de Sulfato de Cálcio para a produção de argamassas autonivelantes. 2013.

The Cement Sustainability Initiative (CSI). (2018). Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reduction initiatives. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

UNEP. Emissions Gap Report 2024. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2024.

Wang, J., Zhang, L., Li, Z., & Zhou, H. (2021). "Effect of pozzolanic reactions on early-age strength development of blended cements." Cement and Concrete Composites, 116, 103918.