

Artigo técnico

A dosagem de material carbonático em relação ao metacaulim em cimento CP II-Z.

The dosage of carbonate material in relation to metakaolin in cement CP II-Z

Sérgio Soares de Lima^{ac*}, Valdecir Angelo Quarcioni^{bc}

Resumo

Nos últimos anos, pesquisas buscam aumentar o uso de adições minerais no cimento Portland para se reduzir a quantidade de clínquer e possibilitar a redução de emissões atmosféricas que são originárias da sua produção. Nesse contexto, este artigo apresenta os dados provenientes de uma pesquisa de dissertação de mestrado que avaliou cimentos especiais CP II-Z dosados com diferentes teores majoritários de material carbonático em relação ao metacaulim e comparou com resultados de resistência mecânica em argamassas. Os resultados indicaram ser possível dosar CP II-Z com proporção majoritária de material carbonático em relação ao metacaulim, pois os resultados de resistência à compressão se mantiveram nos limites citados pela norma vigente.

Abstract

In recent years, research has sought to increase the use of mineral additions in Portland cement to reduce the amount of clinker and enable the reduction of atmospheric emissions that originate from its production. In this context, this article presents data from a master's thesis research that evaluated CP II-Z special cements

^a Discente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia

^b Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia

^c Laboratório de Materiais para Produtos de Construção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

* E-mail: sergiolima@ipt.br

Palavras-chave: cimento composto; material carbonático; metacaulim; material cimentício suplementar (MCS).

Keywords: Composite cement; carbonate material; metakaolin; supplementary cementitious materials (SCM).

dosed with different major amounts of carbonate material in relation to metakaolin and compared them with mechanical strength results in mortars. The results indicated that it is possible to dose CP II-Z with a majority proportion of carbonate material in relation to metakaolin, as the results of compressive strength remained within the limits mentioned by the current standard.

1 Introdução

O principal constituinte do cimento Portland é o clínquer. Para a obtenção desse material são utilizadas matérias-primas, tais como calcário, argila e minério de ferro que são queimadas à 1450 °C, o que utiliza um consumo de combustível considerável e provoca a emissão de gás carbônico proporcional. Logo, a diminuição do fator clínquer no cimento, pela utilização de materiais cimentícios suplementares (MCS) apresenta vantagens econômicas e ecológicas (SNELLINGS; MERTENS; ELSEN, 2012).

No caso do cimento pozolânico (CP IV) ou do cimento composto com pozolana (CP II-Z), ambos possuem pozolana em sua constituição. No entanto, na produção desses cimentos, observa-se que, embora o CP IV utilize maiores teores de pozolana, a produção desse cimento em 2014 foi de 15 %, enquanto que para cimentos compostos CP II (CP II-Z, CP II-F, CP II-E) foi de 63 % (VISED0; PECCHIO, 2019). Esse fato pode estar ligado a distribuição de matérias primas pelo Brasil e características de cada cimento considerando a sua aplicação.

Atualmente, a indústria busca a produção de um cimento sustentável com relação à emissão de gases de efeitos estufa, ou seja, um cimento mais ecológico. Cimentos com adição de material pozolânico respondem a essa solicitação, pois atuam na redução de emissão de CO₂. No entanto, para a ativação desses materiais são utilizados combustíveis fósseis para calcinação com temperatura entre 400 °C e 600 °C, provocando a emissão de CO₂ (VISED0; PECCHIO, 2019).

Dessa forma, aumentando-se o teor de material carbonático no CP II-Z, resulta em um produto com maior sustentabilidade, pois o material carbonático é dosado diretamente no moinho de cimento e possui sinergia com o metacaulim. Essa sinergia foi apresentada nas pesquisas de Antoni *et al.* (2012) ao estudar metacaulim e Scrivener *et al.* (2018) estudando metacaulim em argila calcinada associado a material carbonático que obtiveram melhores resultados de resistência mecânica até 28 dias, para uma proporção de 2 : 1 (material carbonático : metacaulim, em massa) em uma substituição equivalente ao CP IV, ou seja, com uma substituição no cimento na ordem de 45 %.

Este artigo apresenta os dados de cimentos especiais que foram dosados em laboratório, com diferentes teores de material carbonático em relação ao metacaulim para quatro cimentos do tipo CP II-Z para avaliar a resistência à compressão citados na norma NBR 16697 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

2 Procedimento metodológico

Para a dosagem dos quatro cimentos em laboratório, os materiais foram adquiridos no comércio de São Paulo em 2019, sendo um CP II-F, metacaulim e carbonato de cálcio micronizado (LIMA, 2021).

As caracterizações dos materiais foram realizadas conforme as normas (LIMA, 2021):

- Análise química do cimento CP II-F: conforme métodos indicados pela norma NBR 16697 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018);
- Análise química do material carbonático: conforme métodos da norma NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003);
- Análise química do metacaulim: conforme diretrizes gerais da norma NBR 14656 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) e determinação de atividade pozolânica conforme a norma NBR 15895 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010);
- Análise por granulometria à laser conforme diretrizes gerais da norma ISO 13320 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2020).

A **Tabela 1** apresenta os dados de caracterização dos materiais utilizados no estudo.

Tabela 1 – Caracterização dos materiais.

Determinações	CP II-F	Material carbonático	Metacaulim
Perda ao fogo (PF), em %	4,69	41,4	2,98
Anidrido silícico (SiO ₂), em %	18,5	-	63,0
Resíduo Insolúvel (SiO ₂ +RI), em %	1,43	5,51	-
Óxidos de ferro e alumínio (R2O ₃), em %	-	0,40	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃), em %	4,03	-	26,2
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃), em %	4,18	-	2,92
Óxido de cálcio (CaO), em %	58,6	45,5	0,15
Óxido de magnésio (MgO), em %	6,39	7,87	0,17
Anidrido sulfúrico (SO ₃), em %	2,47	-	-
Óxido de titânio (TiO ₂), em %	0,50	-	1,96
Óxido de sódio (Na ₂ O), em %	0,07	-	-
Óxido de potássio (K ₂ O), em %	0,17	-	2,45
Cal livre (em CaO), em %	1,33	-	-
Anidrido carbônico (CO ₂), em %	3,06	42,0	-
Atividade pozolânica, em mg Ca(OH) ₂ /g de material	-	-	997
Granulometria à laser D(10), em (µm)	6,56	1,97	3,53
Granulometria à laser D(50), em (µm)	20,1	7,84	18,7
Granulometria à laser D(90), em (µm)	51,2	28,3	62,5

Fonte: adaptado pelos autores com dados de Lima (2021).

A **Tabela 2** apresenta as dosagens utilizadas para cada cimento e os limites vigentes para o CP II-Z.

Tabela 2 – Dosagens dos cimentos especiais CP II-Z em laboratório

Tipo de Cimento	Composição, em %				Relações e variação da pozolana	
	Clínquer, resíduo insolúvel e sulfato de cálcio	Material carbonático suplementar	Material carbonático (7 % presente no CP II-F e adição suplementar) (A)	Material pozolânico (B)	Relação A : B	Dosagem de pozolana
CP II-Z Especial 1	80	10	17	4	4 : 1	< 6 %
CP II-Z Especial 2	80	7	14	7	2 : 1	Acima do limite mínimo
CP II-Z Especial 3	79	3	10	11	1 : 1	Teor médio de pozolana
CP II-Z Especial 4	79	-	7	14	1 : 2	Máximo de pozolana
Limites da ABNT NBR 16697 para CP II-Z	71-94	-	0-15	6-14	-	-

Fonte: Adaptado pelos autores com dados de Lima (2021) e NBR 16697 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018).

A seguir esses cimentos foram ensaiados a resistência à compressão, conforme norma NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) para as idades 3, 7, 28, 60, 91 e 120 dias.

3 Resultados e discussão

Os resultados de resistência à compressão e os limites vigentes para CP II-Z (Classe 32) dos cimentos estão apresentados na **Tabela 3**.

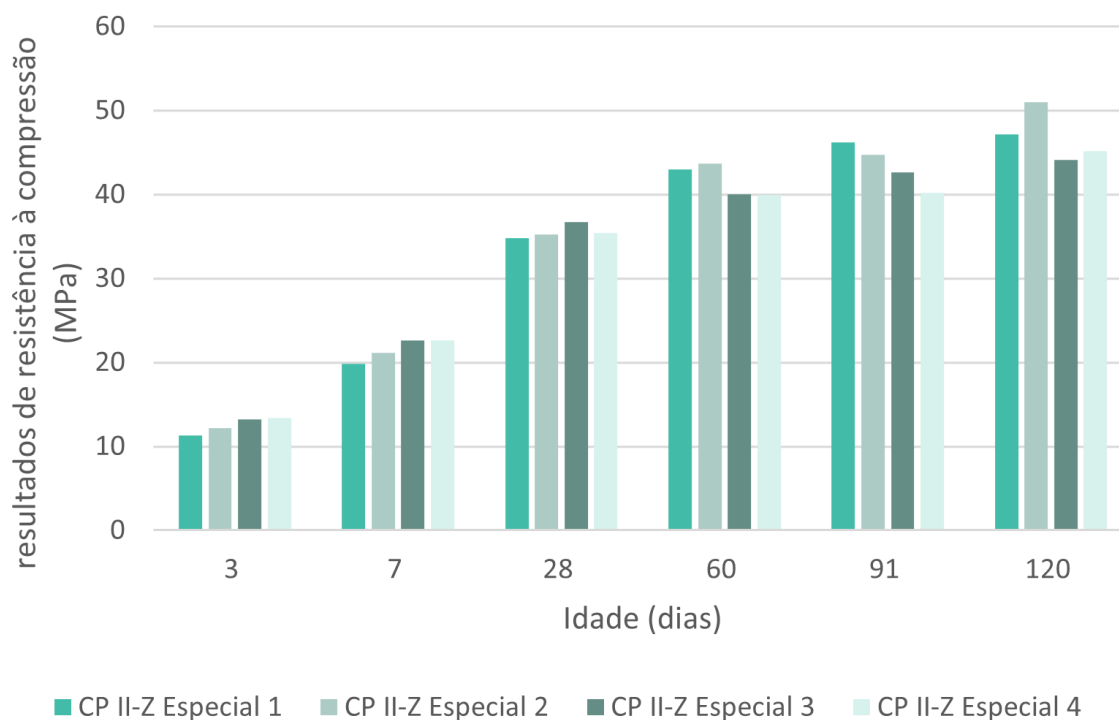
Tabela 3 – Resistência à compressão dos cimentos CP II-Z

Idade (dia)	Resultados de resistência à compressão (MPa) e desvio relativo máximo (DRM) (%)				Limites da ABNT NBR 16697 para CP II-Z Classe 32
	CP II-Z Especial 1	CP II-Z Especial 2	CP II-Z Especial 3	CP II-Z Especial 4	
3	11,3 (3,5)	12,2 (4,9)	13,2 (2,3)	13,4 (2,2)	≥ 10
7	19,8 (4,5)	21,1 (4,7)	22,6 (3,5)	22,6 (1,8)	≥ 20
28	34,8 (1,4)	35,2 (3,4)	36,7 (4,9)	35,4 (5,1)	≥ 32
60	43,0 (4,2)	43,7 (2,1)	40,0 (4,0)	39,9 (3,8)	-
91	46,2 (3,2)	44,7 (4,3)	42,6 (5,6)	40,2 (3,5)	-
120	47,2 (1,9)	51,0 (2,2)	44,1 (3,6)	45,2 (5,8)	-

Fonte: adaptado pelos autores com dados de Lima (2021).

Os resultados de resistência à compressão dos cimentos especiais dosados em laboratório estão apresentados também na **Figura 1**.

Figura 1 – Resistência à compressão dos cimentos CP II-Z

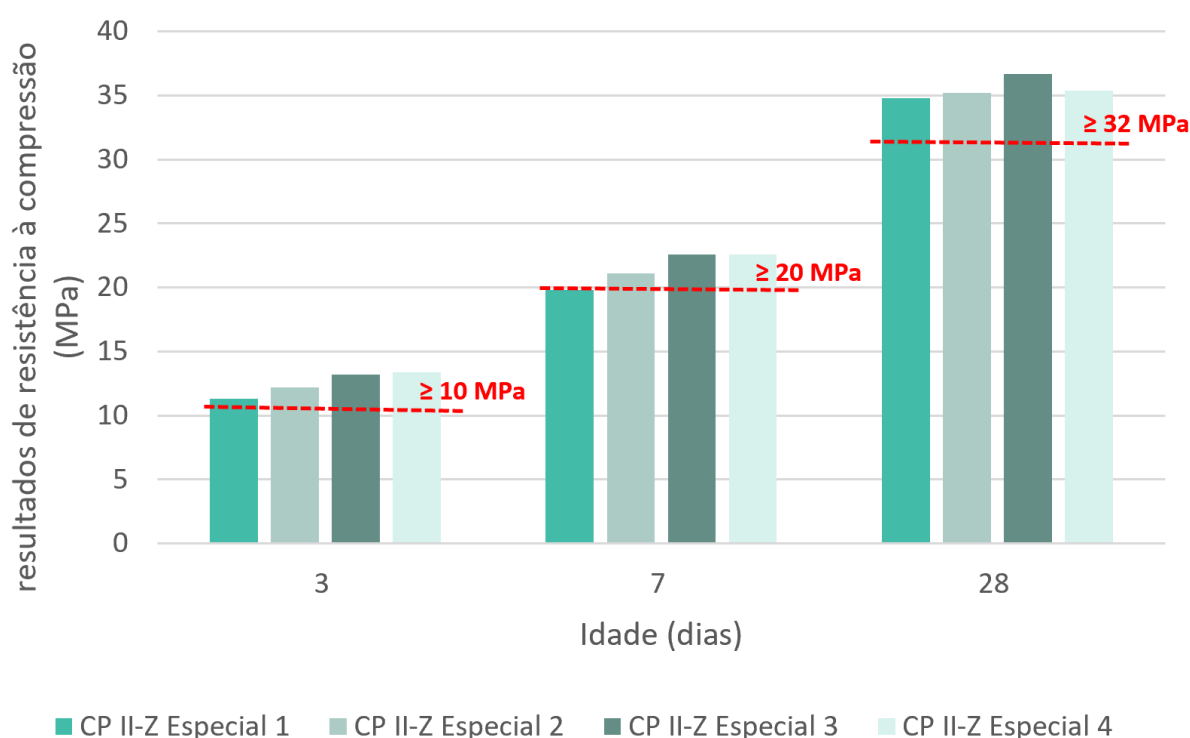


Fonte: elaborado pelos autores com dados de Lima (2021).

Com relação aos resultados de resistência à compressão apresentados na **Tabela 4** e **Figura 1**; dos cimentos com variação de material pozolânico entre 4 e 14 % e material carbonático entre 7 e 17 % pode-se indicar que:

- Na **Figura 2** na qual se apresenta o gráfico com os resultados entre 3 e 28 dias, observa-se que os resultados para os cimentos são próximos, apresentando resistência à compressão de 3 dias entre 11,3 e 13,4 MPa; de 7 dias entre 19,8 e 22,6 MPa; de 28 dias entre 34,8 e 36,7 MPa;

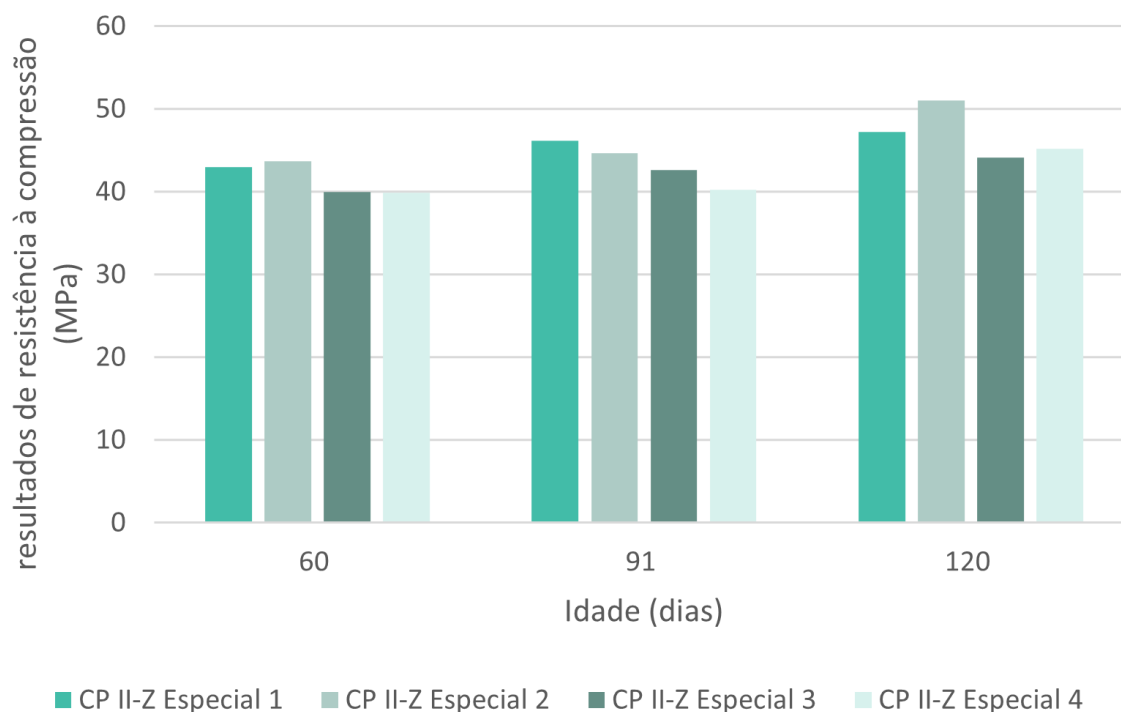
Figura 2 – Resistência à compressão de 3 a 28 dias dos cimentos CP II-Z e Limites da ABNT NBR 16697 para CP II-Z – Classe 32



Fonte: elaborado pelos autores com dados de Lima (2021).

- Esses resultados entre 3 e 28 dias são maiores ou iguais ao citado pela ABNT NBR 16697 para CP II-Z – Classe 32;
- A **Figura 3** apresenta o gráfico com os resultados para as idades entre 60 e 120 dias. Embora não sejam citados limites pela norma, nota-se uma tendência discreta para maiores resultados de resistência à compressão para CP II-Z Especial 1 e CP II-Z Especial 2.

Figura 3 – Resistência à compressão de 60 a 120 dias dos cimentos CP II-Z



Fonte: elaborado pelos autores com dados de Lima (2021).

Para os cimentos estudados, observaram-se resultados de resistência à compressão próximos. Isso significa que o emprego majoritário de material carbonático no CP II-Z Especial 1 e 2 não provocou prejuízo de resistência à compressão. Embora no CP II-Z Especial 1 com teor 2 % menor em pozolana e maior teor de material carbonático (Tabela 2), o que indica a possibilidade da dosagem dentro dos limites citados pela norma, ou seja, de 6 % para material pozolânico e de 14 % para material carbonático.

Esses resultados, possivelmente, estão relacionados aos efeitos da utilização do metacaulim e sua sinergia com o material carbonático. No caso do metacaulim, por se tratar de um material amorfo e formado de um silicato de alumínio ($Al_2Si_2O_7$), que ao reagir com hidróxido de cálcio, proveniente do clínquer, produz C-(A)-S-H e aluminatos de cálcio hidratados. Já o material carbonático, reage com os aluminatos de cálcio hidratados formando carboaluminatos hidratados, juntamente com os demais produtos de hidratação, provocando o preenchimento de poros e, conseqüentemente, contribuindo na resistência à compressão (ANTONI *et al.*, 2012).

Para uma melhor confirmação desses efeitos, que também foram observados no estudo de Antoni *et al.* (2012) seria necessária a avaliação da microestrutura associada a porosidade pela técnica de porosimetria por intrusão de mercúrio, que não foi possível no presente estudo, mas que pode ser realizada no futuro.

4 Conclusões

Conclui-se que é possível dosar teor majoritário de material carbonático associado a menor teor de metacaulim, ou seja, na proporção de 2 : 1 (material carbonático : metacaulim, em massa) para CP II-Z nas faixas citadas pela norma vigente, ou seja, obtém-se um cimento com maior sustentabilidade. Constatou-se que não houve prejuízo nos resultados de resistência à compressão, considerando limites de dosagens dos materiais e de resistências à compressão apresentados pela norma vigente. Assim, o estudo pode prosseguir no sentido de se verificar o comportamento da mistura frente ao fenômeno da carbonatação, o ganho de resistência com a idade e, de uma maneira mais ampla, os efeitos do meio ambiente na durabilidade da argamassa ou do concreto com a utilização desse cimento.

6 Referências

- ANTONI, M., *et al.* substitution by a combination of metakaolin and limestone. **Cement and Concrete Research**, [S.l.], v. 42, n. 12, p.1579-1589, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2019. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14656**: Cimento Portland e matérias-primas - Análise química por espectrometria de raios X - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada - Análise química. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 31 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15895**: Materiais pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado - Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2018. 12 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13320**: Particle size analysis - Laser diffraction methods. Genebra, 2020. 59 p.
- LIMA, S. S. **Influência da mistura de metacaulim com material carbonático em cimento CP II-Z: avaliação a partir de dados de ensaios de laboratório**. 2021. 106p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Área de Concentração: Tecnologia em Construções de Edifícios, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, 2021.

SCRIVENER, Karen; MARTIRENA, Fernando; BISHNOI, Shashank; MAITY, Soumen. Calcined clay limestone cements (LC3). **Cement and Concrete Research**, [S.L.], v. 114, p. 49-56, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>.

SNELLINGS, R.; MERTENS, G.; ELSEN, J.. Supplementary Cementitious Materials. **Reviews In Mineralogy And Geochemistry**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 211-278, 1 jan. 2012. Mineralogical Society of America. <http://dx.doi.org/10.2138/rmg.2012.74.6>.

VISEDO, Gonzalo; PECCHIO, Marcelo. **ROADMAP tecnológico do cimento**: Potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Disponível em: <<http://snic.org.br/noticias-ver.php?id=28>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

10.34033/2526-5830-v6n20-4

