

Análise comparativa de resistência à compressão axial do concreto utilizando quatro tipos de cimento Portland

Comparative analysis of axial compressive strength of concrete using four Brazilian types of Portland cement

Caio Henrique Nunes¹
Matheus Augusto Gomes Barbosa¹
Matheus Maggi Waltrick¹
Mônica Rodrigues Weber¹
Thaís Hitomi Canetomi¹
André Luís Gamino²

RESUMO

Os cimentos Portland disponíveis no mercado variam em sua composição química e física, e conseqüentemente nas propriedades reológicas do concreto. Neste trabalho foi analisada a resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto, tendo em comum o traço para f_{ck} 30 MPa, utilizando como aglomerante, quatro tipos distintos de cimento Portland, sendo estes CP II-F-32, CP II-Z-32, CP IV-32-RS e CP V-ARI. Para cada tipo de concreto foram moldados dez corpos de prova, rompidos com idades de 3, 7, 14, 28 e 105 dias. Com os resultados obtidos foi possível identificar a variação de resistência à compressão axial que o concreto com determinadas idades apresenta, a consistência do concreto fresco e as classes de resistência de cada um deles. Este estudo evidenciou a importância da escolha do cimento adequado frente à resistência de projeto e desmistificou a ideia de que qualquer cimento é apropriado na composição do concreto.

Palavras-Chave: Cimento Portland; Composição do cimento; Resistência à compressão; Tipos de cimento.

ABSTRACT

The Portland cements available in the market vary in their chemical and physical composition, and consequently in the rheological properties of the concrete. In this study the axial compression strength of cylindrical specimens of concrete was analyzed, having in common the concrete mix for f_{ck} 30 MPa, using as binder four different Brazilian types of Portland cement, being these CP II-F-32, CP II-Z-32, CP IV-32-RS and CP V-ARI. For each type of concrete, ten specimens were molded, ruptured at ages of 3, 7, 14, 28 and 105 days. With the results obtained it was possible to identify the variation of axial compressive strength that the concrete with certain age presents, the consistency of fresh concrete and the resistance classes of each one of them. This study evidenced the importance of choosing the correct cement considering the characteristic strength and demystified the idea that any cement is suitable in the concrete composition.

Keywords: Portland cement; Cement composition; Compressive strength; Types of cement.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Doutor em Engenharia Civil. Docente do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium de Araçatuba.

Introdução

Para analisar a resistência mecânica do concreto, é necessário, primeiramente, conhecer os componentes deste material, que é o segundo elemento mais usado no mundo, atrás somente da água (SNIC, 2017). O concreto é composto de agregados, água e aglomerante. O principal aglomerante no ramo da construção civil é o cimento Portland, nome convencionado mundialmente para representar o popular cimento. Ele é um material fino e em pó com propriedade aglutinante que se solidifica com a presença de água, e mesmo que umedecido posteriormente, permanece indissolúvel.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento é composto de clínquer e adições, sendo o clínquer seu principal elemento, presente em todas as qualidades de cimento. As adições são as responsáveis por definir o tipo do cimento e suas individualidades. Sua nomenclatura corresponde ao prefixo CP seguido de algarismos romanos, variando de I a V. Em relação às suas propriedades, como resistência à compressão, permeabilidade e resistência a meios agressivos, cada tipo de cimento age de forma distinta na argamassa ou concreto produzido. Desta maneira, e conforme a classe de agressividade ambiental, deve-se levar em consideração o tipo de cimento selecionado na dosagem do concreto ou argamassa, buscando empregar o mais adequado para cada situação, evitando patologias futuras.

O concreto adquirido em centrais de dosagem faz-se necessário a realização do controle tecnológico com vista a averiguar se o concreto obtido e desenvolvido para determinado traço apresenta as características para o qual fora elaborado, assim como identificar a presença de demais problemas. O teste realizado para constatar as características desejáveis do concreto em relação à resistência à compressão axial não é instantâneo, uma vez que após moldados os corpos de prova (CPs) deste material, é necessário aguardar um período de 28 dias para rompê-los, comprovando a resistência do lote por meio de prensa eletrohidráulica.

Cada tipo de cimento possui uma média de resistência à compressão axial em relação a sua composição e idade, como mostrado na Figura 1. Além do clínquer e do gesso, a maioria dos cimentos possui algum tipo de adição durante sua fase de moagem, como por exemplo, pozolana, escória de alto forno e/ou

calcário, que lhe atribui de acordo com a proporção do componente adicionado, características preponderantes.

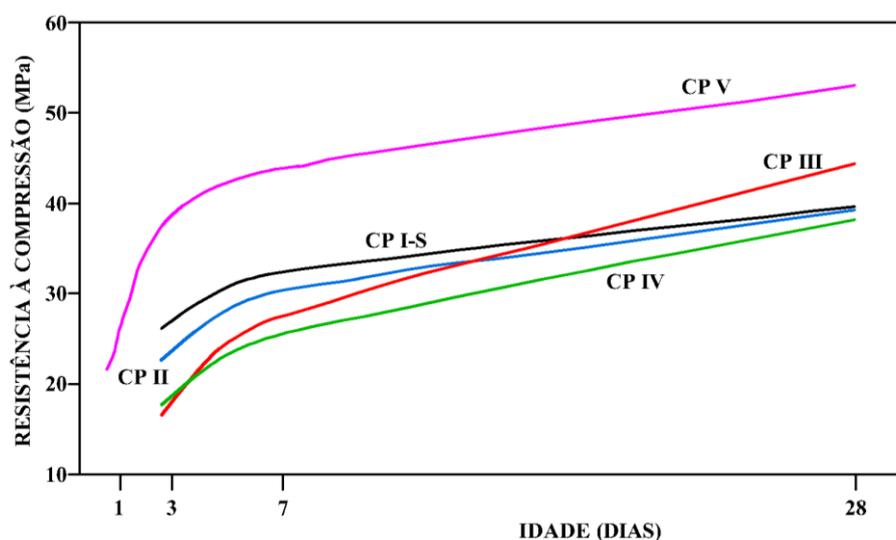


Figura 1 – Resistência média à compressão de diferentes tipos de cimento Portland modificado de ABCP (2002).

Por isso o interesse em analisar o comportamento do concreto em relação à resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de mesmo traço, utilizando quatro tipos distintos de cimento encontrados na região de Araçatuba-SP: cimento Portland composto com fíler (CP II-F-32); cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z-32); cimento Portland pozolânico resistente a sulfatos (CP IV-32-RS); e cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI).

Para isso foram moldados 10 corpos de prova com cada um dos tipos de cimento supracitados, realizando ensaios de compressão axial aos 3, 7, 14, 28 e 105 dias de idade, assim como teste de abatimento de tronco de cone para verificação da consistência e trabalhabilidade do concreto a fim de mostrar a importância e a influência da escolha do tipo de cimento na execução do concreto.

Revisão Bibliográfica

Conforme o guia básico de utilização do cimento Portland da ABCP (2012), todos os cimentos são compostos de clínquer e adições. As adições são variáveis e são elas que definem os tipos de cimento, seja por quantidade ou pela simples presença do material adicionado.

O clínquer é resultado da calcinação da mistura de calcário e argila que submetidos à ação de elevada temperatura, chegam à fusão sob a forma de pelotas,

em seguida são resfriados bruscamente, moídos e pulverizados. No processo de fusão, ocorrem combinações químicas que dão origem ao silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico e ao ferro aluminato tetracálcico, principais compostos do cimento.

- ✓ Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$): Responsável pela resistência em todas as idades, sobretudo até o primeiro mês, é o segundo elemento mais importante na liberação de calor de hidratação e influencia no tempo de pega do cimento. No processo de endurecimento por hidratação, hidrolisa-se, decompondo em silicato bicálcico e hidróxido de cálcio (crystal da solução supersaturada de cal mostrada na Figura 2).

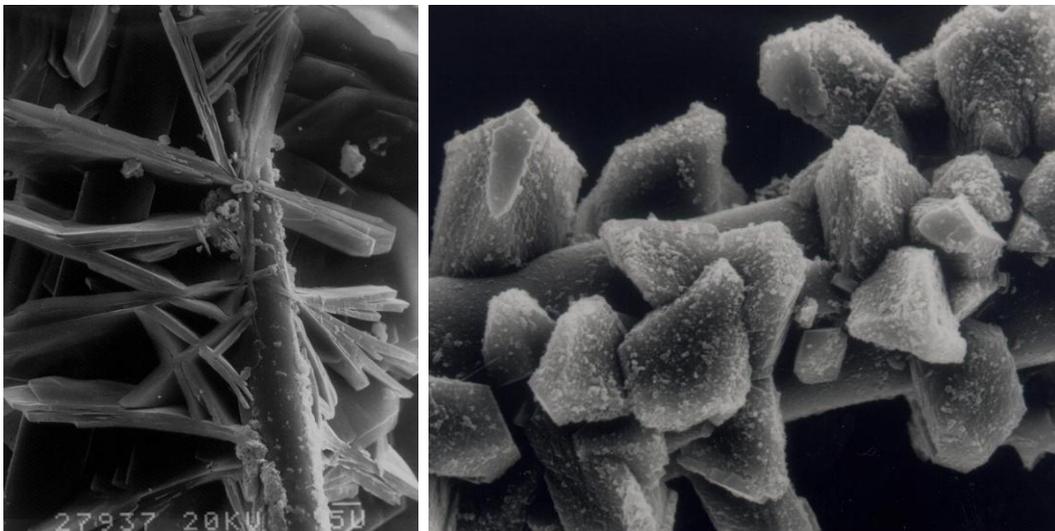


Figura 2 – Placas hexagonais de hidróxido de cálcio segundo Alizadeh (2017).

- ✓ Silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$): No processo de endurecimento em idades mais avançadas – um ano ou mais – o ganho de resistência é obtido, tendo como o componente responsável este composto. Na hidratação, resulta da hidrólise do silicato tricálcico (Figura 3) e a determinadas temperaturas (estrutura de natureza cristalina em elevadas temperaturas), deposita-se no estado de gel após adquirir duas moléculas de água.

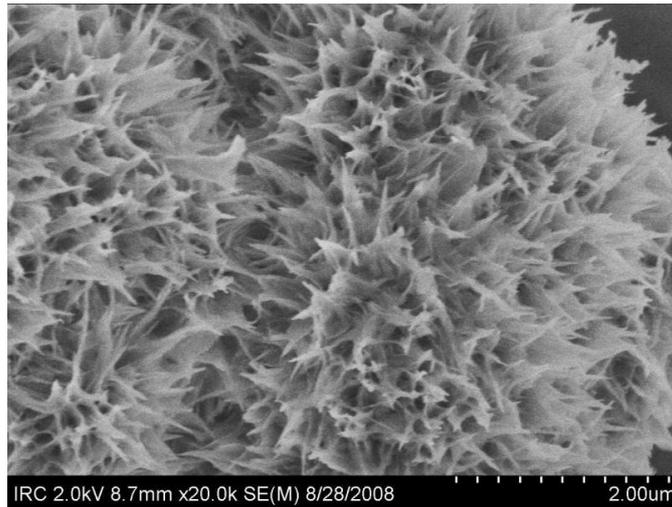


Figura 3 – Cristais de silicato de cálcio hidratado segundo Alizadeh (2017).

- ✓ Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$): Contribui para a resistência inicial especialmente nas primeiras 24 horas, assim como para o calor de hidratação no início do período de cura, e é responsável pela rapidez da pega quando em forma cristalina. Desenvolve cristais de variado conteúdo de água quando se hidrata. O clínquer, quando hidratado, tem endurecimento imediato, tornando-se material inútil para o consumidor, daí a necessidade da correção do clínquer com adição de sulfato de cálcio hidratado natural (gipsita).
- ✓ Ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$): Não contribui para a resistência e quando hidratado assume forma gelatinosa.

O clínquer é um ligante hidráulico, sua propriedade mais importante é o ganho de elevada resistência à compressão e durabilidade quando em sua forma em pó reage com a água, formando primeiramente uma mistura pastosa e posteriormente endurecida.

As adições como o sulfato de cálcio são acrescentadas durante a fase de moagem do clínquer, assim como escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e/ou materiais carbonáticos.

O sulfato de cálcio tem como função retardar a pega, ou seja, atrasar o início do endurecimento da reação feita pelo clínquer e a água. Ele está presente em todos os tipos de cimento, em porcentagem correspondente de 3% a 5% em massa do clínquer utilizado. Caso não fosse adicionado o sulfato de cálcio, o início da pega seria instantâneo, o que acabaria limitando seu uso em obras, pois a trabalhabilidade seria reduzida.

Os materiais pozolânicos são provenientes de rochas vulcânicas, argila queimada ou cinzas da queima de carvão mineral. O acréscimo deste material moído em grãos finíssimos na reação de clínquer em pó, sulfato de cálcio e água resulta num composto com propriedades aglomerantes. O concreto resultante dessa mistura tem sua microestrutura modificada, aumentando a durabilidade, estabilidade, trabalhabilidade e resistência à compressão em idades avançadas; diminuindo sua permeabilidade, calor de hidratação, porosidade capilar e difusibilidade iônica (ABCP, 2012).

Os materiais carbonáticos quando presentes no cimento, segundo ABCP, confere maior trabalhabilidade aos concretos e argamassas, devido ao fato das partículas desses materiais moídos terem dimensões adequadas para se alojar entre os grãos dos demais componentes do cimento, contribuindo para a resistência inicial à compressão do concreto.

Cada tipo de cimento tem uma composição diferente, apesar de na maioria das vezes utilizarem os mesmos componentes, a sua porcentagem em massa é alterada, conforme Tabela 1, mostrando a composição dos principais tipos de cimento e a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que o regulamenta.

Tabela 1 – Composição do cimento Portland segundo ABCP (2012).

Cimento Portland (ABNT)	Clínquer + Gesso (%)	Escória de Alto-Forno (%)	Material Pozolânico (%)	Material Carbonático (%)	Norma Técnica (ABNT)
CP I	100	-	-	-	NBR 5732 (1991)
CP I-S	95-100	0-5			
CP II-E	56-94	6-34	-	0-10	NBR 11578 (1991)
CP II-F	90-94	-	-	6-10	
CP II-Z	76-94	-	6-14	0-10	
CP III	25-65	35-70	-	0-5	NBR 5735 (1991)
CP IV	45-85	-	15-50	0-5	NBR 5736 (1991)
CP V-ARI	95-100	-	-	0-5	NBR 5733 (1991)
CPB estrutural	75-100	-	-	0-25	NBR 12989 (1993)
CPB não estrutural	50-74	-	-	26-50	

Materiais e Métodos

O traço foi calculado de acordo com o método INT (Instituto Nacional de Tecnologia), optando-se pela Condição “A” de mistura, isto é, todos os materiais separados em massa e com desvio padrão máximo de 4,0 MPa. Para a resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) adotado de 30 MPa, resultou no seguinte traço calculado em massa 1: 1,22 : 2,25 : 0,43, referente a quantidade em massa dos materiais: cimento, areia, brita e água, respectivamente e consumo de cimento de 487,02 kg/m³.

Foi realizado o ensaio para a determinação da composição granulométrica segundo a NBR NM 248 (2003) tanto para o agregado miúdo quanto para o gráudo, utilizando respectivamente amostras de 1 kg e 2 kg. Para o agregado miúdo foram utilizadas as peneiras de nº 70, 50, 40, 30, 20 e 16 e para o gráudo, as peneiras com malha de 3/8”, 1/2”, 3/4” e 1”.

A disposição dos materiais no balão da betoneira ocorreu de acordo com a NBR 12821 (2009): 100% do agregado gráudo + aproximadamente 1/3 da água; 100% do cimento + aproximadamente 1/3 da água; 100% do agregado miúdo + água remanescente, limitando-se a intervalos de dois minutos para cada etapa da mistura.

Após o concreto pronto, foi retirada uma amostra para a determinação da consistência por meio do abatimento do tronco de cone (*slump test*) obedecendo aos critérios apresentados pela NBR NM 67 (1998). Para o traço calculado, adotou-se o abatimento de 8 cm ± 2 cm, com consistência plástico a mole.

As moldagens do concreto fresco foram feitas de acordo com a NBR 5738 (2015) em 10 corpos de prova cilíndricos de aço com dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Para o processo de cura os CPs ficaram submersos em reservatório estanque com água potável com solução saturada de hidróxido de cálcio.

Todo o processo descrito foi realizado para os quatro tipos de cimento em estudo: CP II-F-32, CP II-Z-32, CP IV-32-RS e CP V-ARI, totalizando a moldagem de 40 corpos de prova.

A verificação da resistência à compressão do concreto deu-se por meio da realização de ensaios de compressão axial com corpos de prova aos 3, 7, 14, 28 e 105 dias de idade, com o rompimento de dois CPs em cada um dos dias

mencionados seguindo as recomendações da NBR 5739 (2007), por meio de prensa eletrohidráulica.

A regularização das bases dos corpos de prova foi possível com o auxílio do sistema de capeamento não colado, utilizando discos de neoprene com diâmetro de 100 mm, espessura de 13 mm e dureza Shore 70, confinados em pratos de aço.

Resultados e Discussões

Com vistas à verificação da padronização dos agregados utilizados, foi realizado o ensaio de granulometria por peneiramento, que tem como objetivo a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo para o concreto.

Foi utilizada uma amostra de 1 kg de areia para o ensaio granulométrico do agregado miúdo. Com os resultados obtidos, foi confeccionada a curva granulométrica, mostrada na Figura 4.

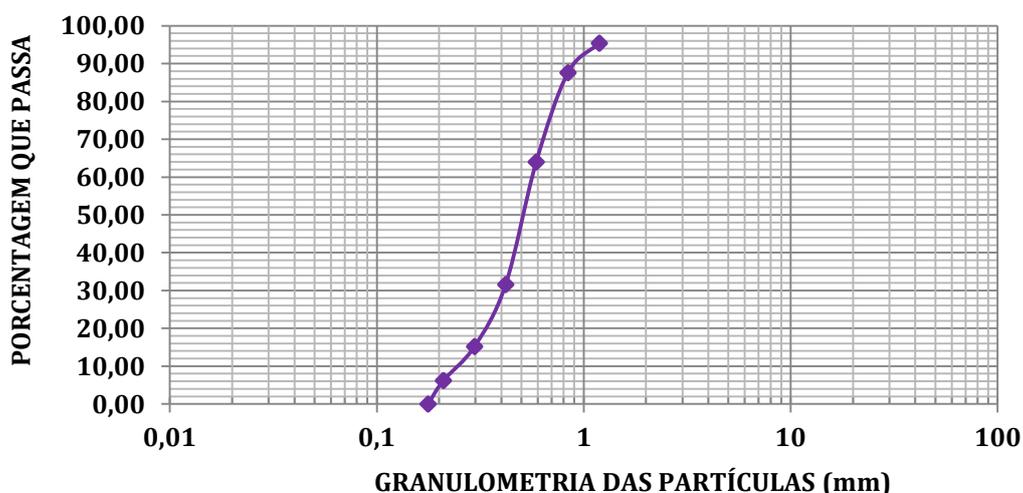


Figura 4 – Curva granulométrica do agregado miúdo.

A análise desta curva demonstrou que o agregado miúdo utilizado foi classificado como areia média, pois 70% do seu desenvolvimento esteve compreendido entre o intervalo de 0,3 mm e 1,2 mm.

Para o ensaio granulométrico do agregado graúdo foi utilizada uma amostra de 2 kg, cujos resultados compuseram a curva granulométrica ilustrada na Figura 5.

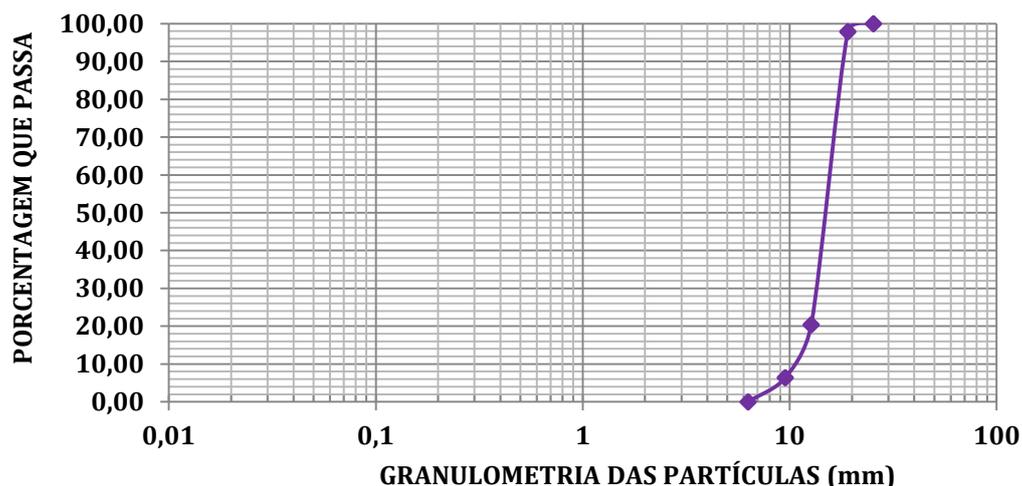


Figura 5 – Curva granulométrica do agregado graúdo.

Conforme análise da curva apresentada, aproximadamente 90% do agregado manteve-se na faixa de granulometria de Brita 1, atendendo o critério utilizado para a elaboração do traço empregado neste estudo.

Para análise do concreto fresco foi utilizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*). O concreto obtido com a utilização do aglomerante CP II-F-32 apresentou abatimento de 19 cm. Pode-se justificar como possível causa deste comportamento a composição do cimento, que possui em sua mistura um percentual elevado de fíler calcário, entre 6% e 10%, proporcionando maior trabalhabilidade ao concreto devido à finura das partículas do fíler que se alojam entre os grãos dos demais componentes da mistura.

O resultado do *slump test* com valor de 16,5 cm do concreto confeccionado com CP II-Z-32 pode ser explicado devido à elevada porcentagem de materiais pozolânicos compreendida entre 6% e 14%, somados a adição de materiais carbonáticos entre 0 a 10%. Estas duas adições conferem trabalhabilidade ao concreto devido à sua finura.

A consistência dos concretos com estes dois tipos de cimento assemelham-se e se justificam devido à produção destes cimentos serem igualmente padronizados. Sendo assim, ambos apresentam poucas ou nenhuma disparidade em suas propriedades químicas, físicas e mecânicas, distinguindo entre si apenas o percentual, o tipo de adição e ainda o teor de resíduo insolúvel.

O concreto com cimento CP IV-32-RS apresentou consistência de 14 cm no *slump test*, com características físicas semelhantes ao CP II-Z-32. No entanto, há

elevado teor de materiais pozolânicos variando entre 25% e 40%, devendo apresentar aos 28 dias, no mínimo 75% de sua atividade de reação, verificado mediante ensaio específico.

Aliado às variáveis analisadas, a granulometria do agregado graúdo influenciou nos descritos resultados, uma vez que não estava totalmente uniforme com a brita do traço calculado (Brita 1), contendo aproximadamente 10% de Brita 0 e 2.

Por sua vez, o concreto obtido com cimento CP V-ARI apresentou *slump test* de 6,0 cm, em conformidade ao abatimento de projeto. Pode-se afirmar que este comportamento justifica-se devido à finura do material com área específica na ordem de 300 m²/kg, sendo maior que os demais analisados.

As variações das consistências obtidas para cada tipo de concreto estudado foram dispostas graficamente, possibilitando fácil visualização do comportamento do concreto fresco, conforme Figura 6.

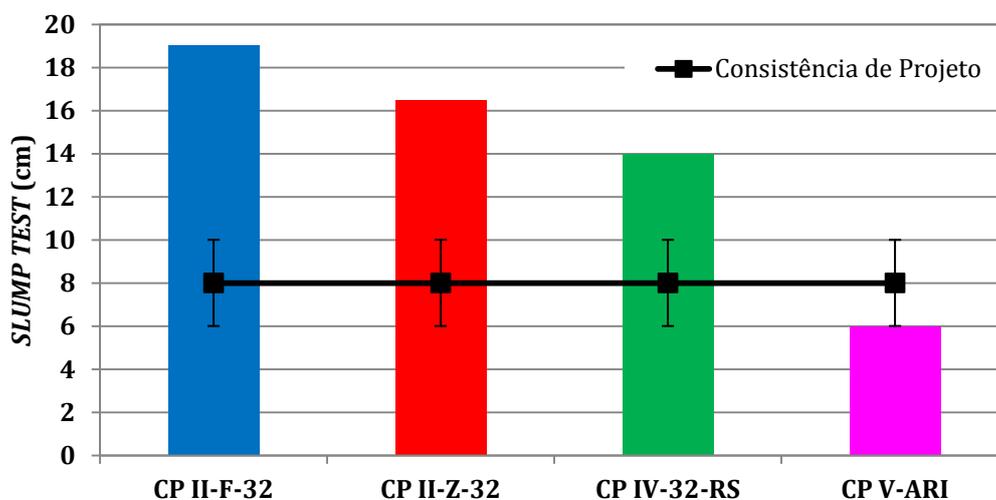


Figura 6 – Consistência de projeto e *slump tests* obtidos.

Após atingirem a idade de ruptura, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial aos 3, 7, 14, 28 e 105 dias de idade contados a partir da data de moldagem.

A Figura 7 apresenta os resultados dos ensaios de compressão axial do concreto separados por tipos de cimento, obtendo-se as médias de resistência à compressão entre os dois corpos de prova de mesma idade, também apresentado na Tabela 2, juntamente com os resultados expressos do abatimento.

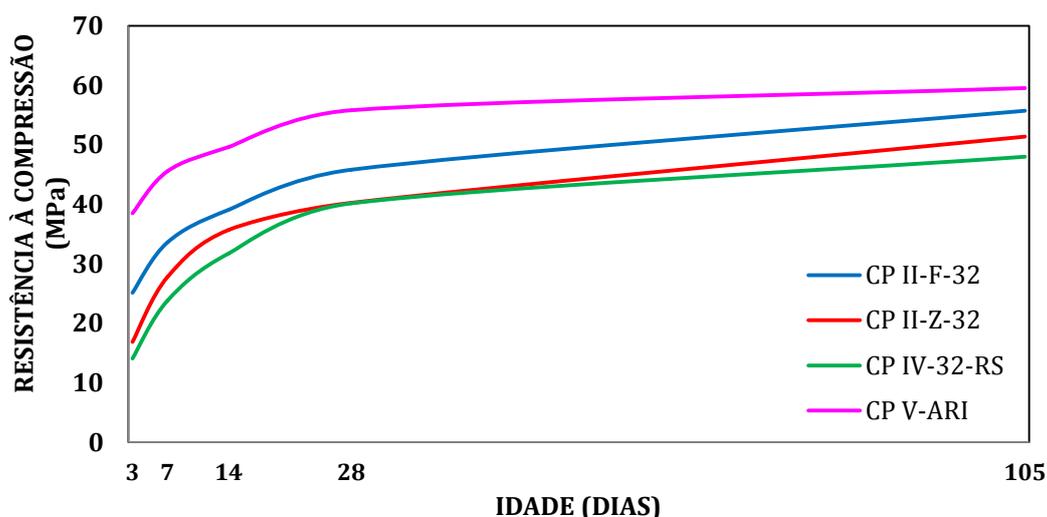


Figura 7 – Resistência média à compressão do concreto para cada tipo de cimento.

Tabela 2 – Resultados obtidos de abatimento e resistência média à compressão.

Tipo de Cimento	Abatimento [cm]		Resistência Média à Compressão [MPa]				
	Esperado	Obtido	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	105 dias
CP II-F-32	8,0 ± 2,0	19,0	25,111	33,589	39,073	45,803	55,717
CP II-Z-32		16,5	16,823	27,734	35,660	40,200	51,333
CP IV-32-RS		14,0	14,069	23,795	31,727	40,140	47,973
CP V-ARI		6,0	38,472	45,534	49,606	55,776	59,499

Analisando os dados obtidos, nota-se que o tipo de cimento tem influência direta na resistência mecânica do concreto, determinados pelos principais componentes presentes em cada tipo. Quando comparados, foi possível observar que aqueles com cimentos de composição mais pura têm maior valor de resistência em todas as idades, como é o caso do CP V-ARI e CP II-F-32. O cimento CP V-ARI, cuja principal característica é o alto ganho de resistência inicial, obteve resultados satisfatórios, atingindo valores médios de 38,472 MPa a 59,499 MPa entre 3 e 105 dias.

Outro tipo de cimento com composição semelhante ao mencionado é o CP II-F-32, tendo como diferencial um acréscimo maior de material carbonático, conseqüentemente obtendo resultados análogos, alcançando resistência inicial aos 3 dias de 25,117 MPa e final aos 105 dias de 55,716 MPa.

Já os concretos que continham cimento com maiores teores de adições, como o CP IV-32-RS e CP II-Z-32, obtiveram valores de resistência à compressão

menor que os outros dois supracitados. Ambos contêm pozolana em sua composição, sobretudo o cimento CP IV-32-RS, conseqüentemente seu tempo de pega é mais longo, impedindo que a resistência inicial seja alta. Entretanto conforme a idade dos CPs moldados com este cimento avança, sua resistência evolui, referentes a resistência à compressão aos 3 dias de 14,069 MPa e 105 dias de 47,793 MPa.

Com o cimento CP II-Z-32 também era esperado que tivesse resultados similares ao anterior, uma vez que a composição de ambos era mais próxima que os demais, comprovado pela resistência inicial aos 3 dias de 16,823 MPa e final de 51,333 MPa aos 105 dias.

Embora cada concreto tenha obtido valores distintos, todos apresentaram aos 28 dias a resistência à compressão mínima desejada de 36,6 MPa, referente ao traço calculado. Classificando-os em ordem crescente de valores de resistência à compressão aos 28 dias, tem-se CP IV-32-RS (40,140 MPa), CP II-Z-32 (40,200 MPa), CP II-F-32 (45,803 MPa) e CP V-ARI (55,776 MPa).

O estudo do coeficiente de variação dos ensaios resultou em valores classificados entre bom e excelente, o que traduz que os parâmetros utilizados neste estudo apresentaram poucos desvios, garantindo assim maior confiança nos resultados obtidos. A Tabela 3 dispõe as resistências à compressão dos corpos de prova individuais aos 28 dias e os coeficientes de variação do ensaio.

Tabela 3 – Resistência à compressão aos 28 dias e coeficiente de variação do ensaio.

Tipo de Cimento	CP II-F-32		CP II-Z-32		CP IV-32-RS		CP V-ARI	
Corpo de Prova	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Resistência à Compressão [MPa]	45,880	45,725	40,410	39,990	42,070	38,209	57,688	53,863
CVe [%]	0,15		0,46		4,26		3,04	
Classificação	Excelente		Excelente		Bom		Muito Bom	

Para determinar as classes de resistência de cada tipo de concreto deste estudo, foi calculada a resistência característica de cada. Com os dados apresentados na Tabela 4, é possível classificar a resistência dos concretos obtidos de acordo com os parâmetros descritos na NBR 8953 (2015).

Tabela 4 – Classificação de resistência dos concretos.

Tipo de Cimento	CP II-F-32	CP II-Z-32	CP IV-32-RS	CP V-ARI
f_{ck} [MPa]	45,622	39,710	35,635	51,323
Classe de Resistência	C45	C35	C35	C50

Conforme a Tabela 4, todos os concretos obtiveram classificação de resistências acima de C30, calculada no traço, demonstrando assim o alto desempenho dos cimentos e eficiência do método utilizado.

Conclusões

A análise dos resultados corroborou para o desenvolvimento do conhecimento técnico com enfoque na diversidade dos cimentos disponibilizados no mercado, principalmente dos cimentos CP II-F-32, CP II-Z-32, CP IV-32-RS e CP V-ARI.

Com relação à composição do cimento, a variação dos percentuais de clínquer e de adições, age intrinsecamente no comportamento do concreto fresco e endurecido, seja na consistência ou na resistência à compressão, assemelhando-se aos resultados de ensaio dos respectivos tipos de cimento utilizados.

Quanto à utilização dos agregados, é importante a uniformidade da granulometria, principalmente do agregado graúdo, pois o alojamento dos grãos menores no concreto fresco aumenta seu abatimento no *slump test*.

Aproximadamente 75% dos resultados do ensaio de consistência do concreto apresentaram divergências em relação aos esperados, visto que os abatimentos obtidos foram maiores que o de projeto, podendo ser justificados à finura dos cimentos e à granulometria do agregado graúdo. Não obstante a isso, a resistência à compressão dos corpos de prova mantiveram-se acima do mínimo projetado de $f_{cm} = f_{c28} = 36,6$ MPa. Pode-se afirmar que a resistência à compressão do concreto não sofre alteração caso o abatimento não seja o de projeto, desde que sejam respeitadas a relação água/cimento e as massas dos agregados.

Os concretos apresentaram resistência característica aos 28 dias de 35,635 MPa, 39,710 MPa, 45,622 MPa e 51,323 MPa enquadrando-se nas classes de resistência C35, C35, C45 e C50, respectivamente para os cimentos CP IV-32-RS, CP II-Z-32, CP II F-32 e CP V-ARI.

Conforme avaliação da resistência média à compressão aos 28 dias os valores crescentes são de 40,140 MPa (CP IV-32-RS), 40,200 MPa (CP II-Z-32), 45,803 MPa (CP II F-32) e 55,776 MPa (CP V-ARI). O CP IV-32-RS apresentou menor resistência devido à maior porcentagem de pozolana como adição no clínquer. Por outro lado, o cimento CP V-ARI obteve resultados opostos ao CP IV-32-RS devido à alta resistência inicial, obtendo resistência média à compressão maior que os outros analisados, visto que há baixo teor de adições em sua composição, garantindo maior pureza ao cimento. Por sua vez, os cimentos CP II-Z-32 e CP II-F-32 tiveram resistências média à compressão intermediárias quando comparados aos demais, sendo justificadas principalmente pela grande quantidade de material pozolânico e carbonático no primeiro, e apenas materiais carbonáticos no segundo.

Referências Bibliográficas

ALIZADEH, R. *Cement and Art*. Ottawa: Institute for Research in Construction. Disponível em: <<http://www.cementlab.com/cement-art.htm>>. Acesso em 17 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento Portland*. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento Portland*. 8. ed. São Paulo, 2012. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2009. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. *História do Cimento no Brasil*. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/Historia_do_Cimento_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.