

# Propriedades do concreto com adição de fíler calcário dolomítico

Properties of concrete with addition of Dolomitic limestone filler

● Cristina Silva Feltrin<sup>1</sup>  
Geraldo Cechella Isaia<sup>2</sup>

## RESUMO

O uso de materiais carbonáticos inertes, tais como, o fíler calcário em concretos pode prover ganhos de resistência e impermeabilidade devido ao efeito físico de empacotamento entre as partículas e, quando utilizado em substituição ao cimento Portland também provê ganhos de sustentabilidade. O objetivo do presente trabalho foi o de realizar estudo das propriedades de concretos empacotados com micropartículas de fíler calcário dolomítico, para níveis de substituição de cimento Portland entre 10% e 20%. As misturas preparadas foram caracterizadas em termos de: resistência à compressão axial aos 7, 28 e 91 dias e absorção de água por capilaridade aos 28 dias. Os resultados mostram que é possível obter boas resistências à compressão axial com até 20% de substituição de cimento por fíler calcário, todavia, há um teor máximo de substituição para cada relação a/ag, independentemente do estudo do empacotamento. Os concretos com adição de fíler calcário dolomítico também obtiveram bons resultados em termos de permeabilidade, com verificação de diminuição da absorção de água por capilaridade nos concretos com menos cimento.

**Palavras-chave:** Calcário moído. Concreto sustentável. Empacotamento de partículas. Resistência à compressão axial. Permeabilidade.

1 Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria e Engenheira Civil do Instituto Federal Farroupilha | cristina.feltrin2@gmail.com

2 Docente programa Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria | geraldoisaia@gmail.com

# Propriedades do concreto com adição de fíler calcário dolomítico

Properties of concrete with addition of Dolomitic limestone filler

## ABSTRACT

The use of inert carbonaceous materials such as limestone filler in concrete can provide strength and impermeability gains due to the physical packaging effect between the particles and when used in substitution of Portland cement also provides sustainability gains. The objective of the present work was to study the properties of concretes packed with dolomitic limestone filler microparticles for levels of Portland cement substitution between 10% and 20%. The prepared mixtures were characterized in terms of: axial compressive strength at 7, 28 and 91 days and water absorption by capillarity at 28 days. The results show that it is possible to obtain good axial compressive strengths with up to 20% cement substitution per limestone filler, however, there is a maximum substitution content for each a / g ratio, regardless of the packaging study. The concretes with addition of dolomitic limestone filler also obtained good results in terms of permeability, with verification of decrease of water absorption by capillarity in concretes with less cement.

**Keywords:** Ground limestone. Sustainable concrete. Particle packing. Axial compressive strength. Permeability.

## 1 Introdução

Nos últimos anos, a rapidez e a extensão das mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta estão se agravando, e têm sido foco de muitas pesquisas em diversas áreas. Na área do concreto estrutural, são necessários novos estudos buscando viabilizar maiores quantidades de adições minerais em substituição ao cimento, o qual é o principal produto com alto impacto ao meio ambiente, devido às altas emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da fabricação.

No campo das adições minerais para uso em concretos, destaca-se o filer calcário, um material inerte que, em geral, é facilmente encontrado e de baixo custo, o qual pode proporcionar ganhos ambientais. Por ser um material fino, ele atua no concreto promovendo o efeito físico de empacotamento granulométrico da mistura (efeito filer), reduzindo-se os vazios do concreto e, conseqüentemente, proporcionando concretos com maior compactidade.

Todavia, há uma limitação para a utilização do mesmo no Brasil, o teor máximo de utilização de filer calcário em cimentos ainda é pequeno, até 10% (NBR 11578, 1991), (NBR 5736, 1991), (NBR EB-208, 1991), (NBR 5732, 1991), sendo que em países Europeus a substituição pode chegar até 35% (EN 197-1, 2000).

Para maximizar o efeito filer e obterem-se concretos com menor permeabilidade, é indispensável realizar o estudo de empacotamento das partículas granulares, realizado por meio de uma análise cuidadosa das composições granulométricas dos materiais, através de modelos matemáticos, tais como, o de Andreasen Modificado (OLIVEIRA et. al., 2000, p.125). Por meio dessa granulometria previamente estudada, procura-se encaixar nos vazios entre os grãos maiores, outros de dimensões menores em teores calculados ou pesquisados experimentalmente, para a obtenção do máximo empacotamento entre as partículas do compósito, resultando em resistências mecânicas mais elevadas, maior durabilidade e vida útil para as peças estruturais.

Com base nos pontos citados, este trabalho propõe estudar o comportamento e as propriedades de concretos dosados a partir da aplicação dos modelos matemáticos de empacotamento de partículas, uso de filer calcário dolomítico em substituição ao cimento Portland, e de aditivos em proporções ideais.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Fíler calcário

O uso de Filer calcário - FC em concretos causa pelo menos dois efeitos: um efeito físico e um efeito químico. O efeito físico, também conhecido como efeito filer, é o mais pronunciado, pois se considera que materiais finos inertes melhoram o empacotamento granulométrico da mistura e atuam como pontos de nucleação para os produtos da hidratação do cimento, promovendo o efeito de tamponamento dos poros (DAL MOLIN, 2011, p.264). O efeito químico do FC ocorre em menor grau e tem relação com a formação dos carboaluminatos (com influência na pega) e na resistência mecânica pela incorporação de CaCO<sub>3</sub> na estrutura do C-S-H (BATTAGIN, 2011, p.205).

O impacto desses efeitos sobre as propriedades mecânicas dos concretos em geral é pequeno e há pesquisas que reportam tanto ganhos de resistência à compressão: (DAMINELI, 2013); (MADANI et al., 2016); (TYDLITÁT, MATAS, CERNÝ, 2014); e (RAHHAL et al., 2012), como redução da resistência à compressão: (KRSTULOVIC, KAMENIC, POPÓVIC, 1994) e (WEERDT, et al., 2011).

## 2.2 Empacotamento de partículas

Na área de materiais cerâmicos compósitos, existem vários modelos de empacotamento de partículas esféricas, onde é possível o cálculo da densidade de empacotamento, alguns com abordagem discreta e outros possuem abordagem contínua (OLIVEIRA et. al., 2000, p.122).

Um desses modelos é o modelo de Furnas, com uma abordagem discreta (equação 1), outro modelo é o de Andreasen que trata as partículas como distribuições contínuas (equação 2). Há também o modelo de Alfred ou, também chamado, de Andreasen Modificado, criado pelos pesquisadores Dinger e Funk (1992), que é um aperfeiçoamento dos modelos anteriores (equação 3) (CASTRO E PANDOLFELLI, 2009).

$$CPFT(\%) = 100 \left[ \frac{D^{\log r} - D_s^{\log r}}{D_L^{\log r} - D_s^{\log r}} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

$$CPFT(\%) = 100 \left[ \frac{D}{D_i} \right]^q \quad (\text{Equação 2})$$

$$CPFT(\%) = 100 \left[ \frac{D^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \right] \quad (\text{Equação 3})$$

CPTF é a porcentagem acumulada de partículas menores que D; D é o diâmetro da partícula; DL é o diâmetro da maior partícula; Ds é o diâmetro da menor partícula; q é o módulo de distribuição.

Em relação ao coeficiente de distribuição q, Oliveira et.al. (2000, p.150) afirmam que suspensões contendo partículas grosseiras e finas (concretos), onde estejam presentes tanto forças superficiais (matriz) como forças decorrentes da massa das partículas (agregados), o coeficiente de distribuição q=0,37 não proporciona a máxima fluidez do sistema. Logo após, por meio de simulações computacionais, Castro e Pandolfelli (2009) verificaram que o valor do coeficiente de distribuição q entre 0,25 e 0,30 favorece o adensamento da mistura.

As pesquisas na área de materiais cerâmicos compósitos, tais como o concreto, mostram que é possível melhorar as propriedades do composto com o uso das teorias de empacotamento de partículas. Fennis et. al. (2008) verificaram que misturas empacotadas necessitam de menor teor de água e têm menor tendência à segregação do que concretos de referência (sem empacotamento). Fennis e Walraven (2012) verificaram que, usando a tecnologia de empacotamento de partículas é possível conceber concreto ecológico, no qual 50% do cimento é substituído por adições minerais.

Castro e Pandolfelli (2009) explicam que a produção de concretos com trabalhabilidade adequada (quando no estado fresco) e alta resistência mecânica e durabilidade (quando no estado endurecido) é possível devido à associação de aditivos superplastificantes. Sendo assim, para que o empacotamento seja efetivo, é oportuno o estudo do teor ótimo de aditivos das misturas cimentícias por meio do Ensaio do Cone de Marsh, por exemplo.

## 3 Materiais e Métodos

### 3.1 Caracterização dos materiais

O tipo de cimento utilizado na preparação das misturas foi o CP-V de alta resistência inicial, respeitando-se os limites estabelecidos pela NBR 5733 (ABNT, 1991). O filler calcário (FC) é do tipo

calcítico-dolomítico e foi moído em moinho de bolas em três diferentes tempos de moagem: 60, 120 e 180 minutos (denominados FC60, FC120 e FC180). A composição química do cimento e filler calcário são apresentadas na Tabela 1. As características físicas do cimento e as adições minerais são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1 – Caracterização química do cimento e Fíler Calcário - FC**

Óxidos (%)	CP-V	FC
SiO <sub>2</sub>	19,12	14,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,30	1,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,69	0,87
CaO	61,00	28,89
MgO	4,67	18,28
SO <sub>3</sub>	2,96	-
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,34
K <sub>2</sub> O	0,89	0,39
TiO <sub>2</sub>	0,30	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	-
Perda ao fogo - PF	3,25	34,44

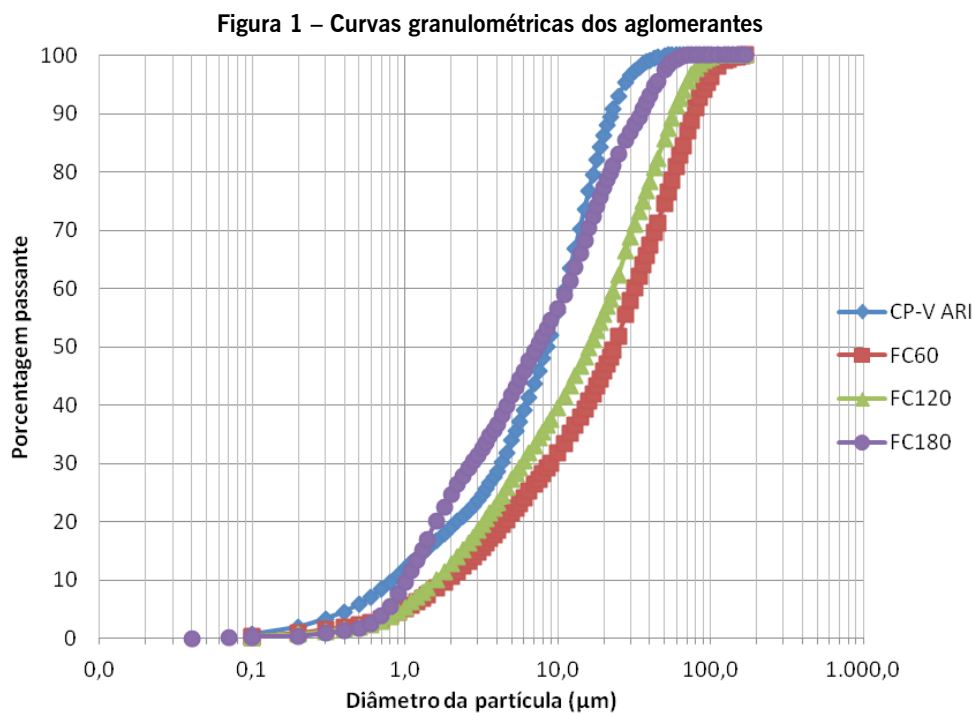
Fonte: elaborada pela própria autora

**Tabela 2 – Propriedades físicas do cimento e adições minerais**

Materiais	Superfície específica B.E.T. (m <sup>2</sup> /g)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
CP-V	1,70	3,09
FC60	2,97	2,84
FC120	3,63	2,89
FC180	3,62	2,92

Fonte: elaborada pela própria autora

Observa-se que o aumento da finura do filler, aumenta a superfície específica B.E.T. (grãos de menor dimensão), aumentando também a massa específica (diminuição da porosidade interna). Na Figura 1, comparam-se as curvas granulométricas obtidas por granulometria a laser, do cimento e das adições utilizadas no estudo. Mediante o tratamento por moagem, foi possível obter um material mais fino do que o cimento, o FC180, com tamanho médio de partículas de 7,28 µm. As demais adições apresentaram tamanho médio de partícula: FC60 23,46 µm e FC 120 16,09 µm. O cimento CP-V ARI possui tamanho médio de partículas de 8,5 µm.



A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados de caracterização dos agregados miúdos e graúdos utilizados na pesquisa. Os agregados miúdos são areias naturais provenientes de rio, com seleção de três diferentes tipos de areia (Areia 1, Areia 2 e Areia 3). As areias foram peneiradas na peneira # 4,75mm para a remoção dos grãos de pedras, lavadas e secas em estufa a 110°C, e depois foram armazenadas em local apropriado (em baías fechadas).

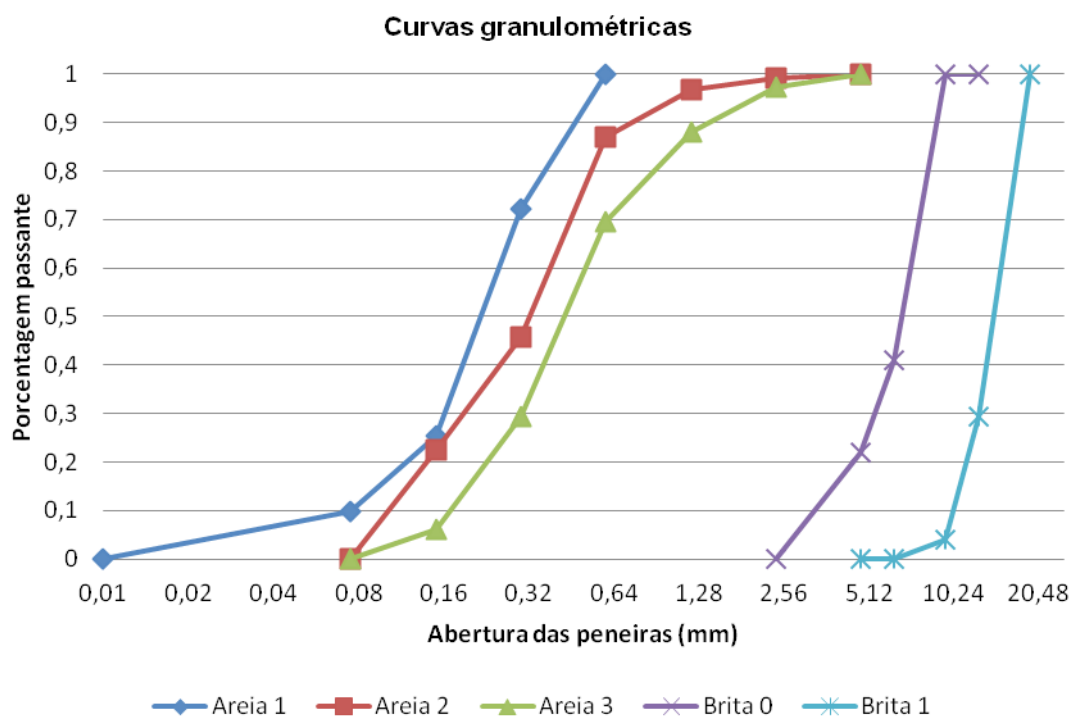
Os agregados graúdos são pedras diabásicas provenientes da pedra localizada no município de Itaara/RS, denominadas brita 0 e brita 1. As britas foram peneiradas, para a brita 0 foi utilizada a fração retida entre as peneiras # 4,75 mm e 9,5 mm, e para a brita 1, a fração retida entre as peneiras # 9,5 mm e 19,0 mm. Logo, após o peneiramento procedeu-se à lavagem dos agregados, a seguir o material era seco ao sol, e por fim estocado em baías. Na Figura 2, é possível visualizar a composição granulométrica de todos os agregados.

**Tabela 3 – Características físicas dos agregados miúdos e graúdos**

Propriedades	Areia 1	Areia 2	Areia 3	Brita 0	Brita 1
Módulo de finura	1,14	1,49	2,04	6,25	7,32
Diâmetro máximo característico (mm)	0,60	1,20	2,40	9,50	19,00
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,65	2,66	2,65	2,65
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,53	1,63	1,71	1,20	1,34
Perda por abrasão Los Angeles (%)	-	-	-	11,04	15,20
Índice de forma	-	-	-	-	3,39
Absorção de água (%)	0,33	0,35	0,38	3,16	2,36
Material pulverulento	5,50	3,00	3,00	-	-

Fonte: elaborada pela própria autora

Figura 2 – Distribuição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos



Fonte: elaborada pela própria autora

### 3.2 Métodos de dosagem e empacotamento de partículas

Primeiramente, determinou-se o teor ideal de argamassa do composto, que foi fixado em 51% para todas as misturas. Logo após, definiu-se os traços para cada relação água/aglomerante (a/agl), e partiu-se para o estudo do empacotamento entre as partículas dos agregados miúdos e graúdos, do cimento e das partículas de filer calcário.

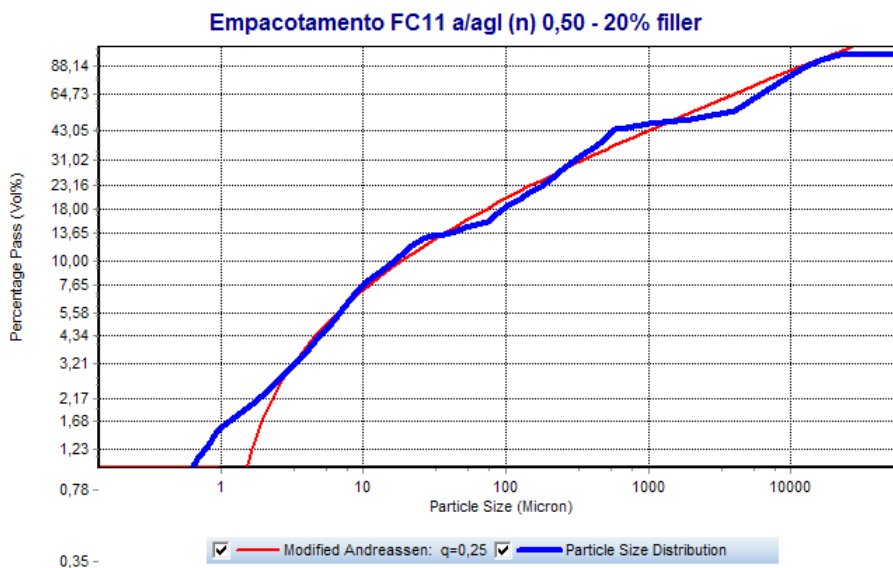
Estudou-se o concreto com teores de 10, 15 e 20% de substituição em relação à massa de cimento por FC, sendo que, para o cálculo do empacotamento, variou-se o tipo de filer empregado de acordo com sua finura (FC60, FC120 ou FC180). O filer selecionado era aquele que mostrava maior densidade de empacotamento para cada mistura calculada no programa computacional EMMA (Elkem Materials Mixture Analyzer)<sup>1</sup>, ou seja, com maior aproximação da curva de Andreasen Modificado para um coeficiente de distribuição de  $q = 0,25$ .

Em alguns casos houve dificuldade de aproximação da curva devido ao excesso ou à falta de finos (a depender do traço), então se ponderou as proporções de materiais, diminuindo o teor da areia mais fina nos traços com maior quantidade de material aglomerante e aumentando a proporção de areia mais fina nos casos em que a mistura tinha poucos finos.

Para cada uma das misturas de referência (REF01 à RF03), misturas com 10% de filer (FC04 à FC06), misturas com 15% de filer (FC07 à FC09), e misturas com 20% de filer (FC10 à FC12), foram determinados três traços para cada nível de resistência, representados pelas relações água/aglomerante nominais de 0,35, 0,50 e 0,65, desta forma, foram realizadas 12 (doze) curvas de empacotamento, que resultaram em 12 (doze) diferentes traços de concreto. Na Figura 3, ilustra-se a curva de empacotamento de uma das misturas (mistura com 20% de FC) gerada no programa EMMA. As quantidades de materiais empregados para cada traço estão representadas na Tabela 4.

<sup>1</sup> Software livre desenvolvido pela empresa Elkem Materials.

Figura 3 – Curva de empacotamento para o traço com 20% de fíler calcário



Fonte: elaborada pela própria autora no EMMA

Tabela 4 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto

Traços	CP-V kg/m <sup>3</sup>	FC60 kg/m <sup>3</sup>	FC120 kg/m <sup>3</sup>	FC180 kg/m <sup>3</sup>	Areia 1 kg/m <sup>3</sup>	Areia 2 kg/m <sup>3</sup>	Areia 3 kg/m <sup>3</sup>	Brita 0 kg/m <sup>3</sup>	Brita 1 kg/m <sup>3</sup>	Água kg/m <sup>3</sup>	Aditivo (l/m <sup>3</sup> )
RF01	487	-	-	-	190	190	253	536	536	174	1,5
RF02	360	-	-	-	223	223	295	529	529	180	0,7
RF03	284	-	-	-	223	241	321	520	520	187	0,6
FC04	438	49	-	-	63	190	380	536	536	171	0,9
FC05	324	-	36	-	185	185	371	529	529	180	0,6
FC06	256			28	321	321	161	521	521	185	0,5
FC07	414	73	-	-	63	190	380	536	536	171	0,8
FC08	306	-	54	-	185	185	371	529	529	183	0,6
FC09	241			43	321	321	161	521	521	185	0,5
FC10	390	97	-	-	63	190	380	536	536	171	0,8
FC11	288		72		185	185	371	529	529	183	0,6
FC12	227			57	321	321	161	521	521	185	0,5

Fonte: elaborada pela própria autora

### 3.2.1 Aditivo

O aditivo para uso no concreto foi escolhido após estudo da compatibilidade entre cimento e três diferentes tipos de aditivos: plastificante, superplastificante e hiperplastificante a base de éter policarboxilato. O método utilizado foi o do Cone de Marsh, sendo que as misturas de pasta de cimento foram preparadas seguindo-se os passos indicados pelo Aitcin (1998). Os resultados revelaram uma melhor compatibilidade do cimento com o aditivo hiperplastificante, o teor ótimo encontrado para este aditivo foi de 1,2%, sendo este o aditivo utilizado para moldagem dos corpos-de-prova de concreto.



### 3.2.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Após a definição dos traços, foram moldados 16 (dezesseis) corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 10 x 20 cm de acordo com o que prescreve a NBR 5738 (ABNT, 2015) para cada uma das misturas. Dentre os dezesseis corpos-de-prova, 4 (quatro) foram destinados, para cada idade (7, 28 e 91 dias), para o ensaio de resistência à compressão axial e outros 4 (quatro) corpos-de-prova para o ensaio de absorção de água por capilaridade.

As misturas foram realizadas em betoneira convencional. Após a mistura, foram medidos abatimento, temperatura do concreto e do ar, massa específica e teor de ar incorporado. O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Buscou-se um abatimento de tronco de cone de  $100 \pm 20$  mm, corrigido com o uso de aditivo hiperplastificante.

Os corpos-de-prova foram adensados em mesa vibratória e, depois de desmoldados, colocados em um tanque com água saturada de cal à temperatura constante de  $23 \pm 2$  °C até a data dos ensaios (7, 28 e 91 dias). A massa específica média do concreto fresco foi de  $2,3 \text{ kg/dm}^3$ .

### 3.2.3 Ensaio de resistência à compressão axial

Para o ensaio de resistência à compressão axial, os corpos-de-prova foram preparados de acordo com o que prescreve a (NBR 5738, 2015). Antes do ensaio, as amostras foram capeadas com enxofre e, posteriormente, rompidas em prensa hidráulica, levando-se em consideração as diretrizes estabelecidas pela (NBR 5739, 2003). Foram ensaiados 4 (quatro) corpos-de-prova para cada amostra, sendo que foi adotada a média entre os quatro valores.

### 3.2.4 Ensaio de absorção de água por capilaridade

Quatro corpos-de-prova de cada mistura de concreto foram destinados para a determinação da absorção de água por capilaridade aos 28 dias, conforme a norma (NBR 9779, 2012), com o objetivo de avaliar a oposição ao ingresso de agentes agressivos.

Os corpos-de-prova foram, após o período de 28 dias em cura úmida, secos em estufa, e depois foram inseridos em recipientes com água, tomando-se o cuidado de manter o nível de água constante em  $5 \pm 1$  mm de sua face inferior durante os três dias de ensaio. A absorção capilar foi medida após 72 horas.

A absorção capilar de água para cada mistura é a média das quatro medições e foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (\text{Equação 4})$$

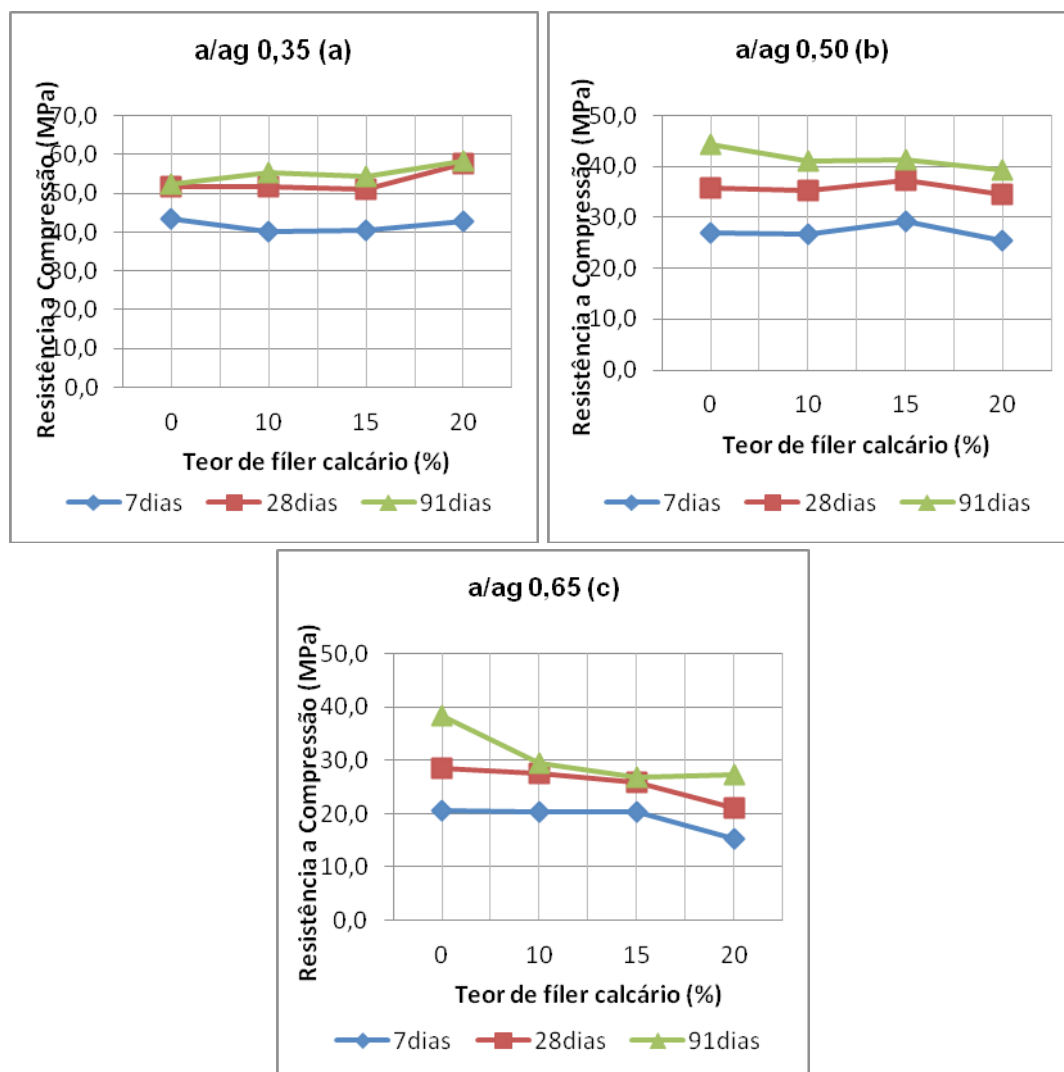
C é a absorção de água por capilaridade;  $m_{sat}$  é a massa saturada do corpo-de-prova durante o tempo especificado em gramas;  $m_s$  é a massa do corpo-de-prova seco em gramas; e S é a área de seção transversal em  $\text{cm}^2$ .

## 4 Análise e discussão dos resultados

### 4.1 Resistência à compressão axial

A Figura 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial para cada relação a/ag nominal, mostrando o efeito na resistência do aumento da porcentagem em massa de filer calcário, aos 7, 28 e 91 dias.

Figura 4 – Resistência à compressão axial para cada relação a/ag nominal 0,35 (a), 0,50 (b) e 0,65 (c)



Fonte: dados obtidos pela autora

Como previsto, as resistências à compressão aumentaram com a idade e diminuíram com o incremento da relação a/ag, sendo que todas as misturas alcançaram a resistência mínima de norma de 20 MPa aos 28 dias.

Para que fosse possível analisar se as variáveis do estudo tiveram influência significativa na resistência à compressão axial, os resultados de resistência à compressão aos 91 dias foram analisados através do emprego da Análise de Variância (Analysis of Variance – ANOVA) para cada relação a/ag, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 5. As análises foram realizadas para um nível de confiança de 95%.

**Tabela 5 – Tabela ANOVA para resistência à compressão axial. GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada**

Tabela ANOVA para resistência à compressão						
	Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Relação a/c 0,35	Constante	1	48663,26	48663,26	6336,879	0
	Teor de FC	3	73,24	24,41	3,179	0,063288
Relação a/c 0,50	Constante	1,000	27657,35	27657,350	3368,092	0,000000
	Teor de FC	3,000	50,77	16,920	2,061	0,159052
Relação a/c 0,65	Constante	1	14874,24	14874,24	2411,405	0
	Teor de FC	3	347,05	115,68	18,754	0,00008

Fonte: elaborada pela própria autora

Para as relações a/ag 0,50 e 0,65, as resistências à compressão diminuíram com o aumento da quantidade de FC, porém, de acordo com ANOVA, para a relação a/ag 0,50, a redução não foi significativa ( $p > 0,05$ ), sendo que para 0,65 a redução foi significativa ( $p < 0,05$ ). Para a relação a/ag 0,35, houve um aumento da resistência à compressão com o aumento do teor de FC, porém esse aumento não foi expressivo ( $p > 0,05$ ). Em todos os casos, até o teor de 10% de FC, os aumentos e reduções da resistência foram pequenos, ou seja, a resistência manteve-se quase que constante.

O incremento de resistência entre as idades de 28 e 91 dias não foi expressivo para todas as relações a/ag estudadas, pois o FC, por ser um material inerte, possui efeito predominantemente físico, o qual ocorre nas primeiras idades de cura na pasta de cimento hidratado.

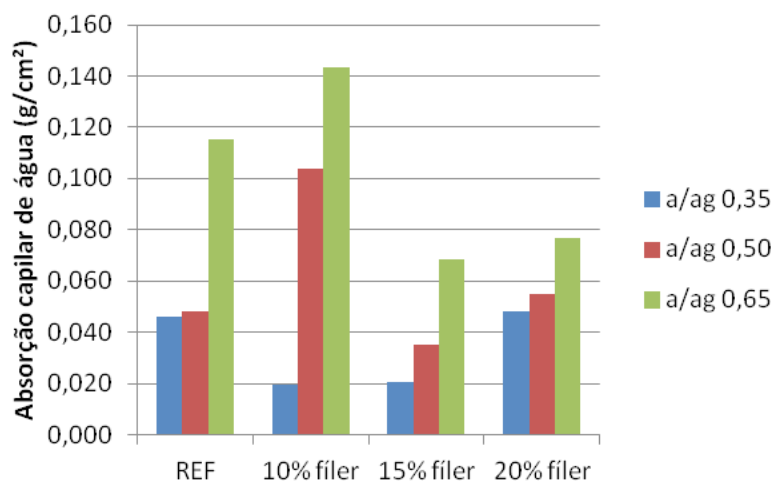
Os dados mostraram que o uso do empacotamento com micropartículas de filer calcário, em substituição ao cimento, pode contribuir para o ganho de resistência à compressão dos concretos, todavia, somente para baixas relações água/aglomerantes (próximas a 0,35). Com efeito, a mistura de concreto que obteve a maior resistência à compressão foi o FC10, com 20% de filer calcário, e relação a/ag de 0,35, revelando que o poder de preenchimento dos vazios do filer calcário pode ser potencializado com o estudo do empacotamento de partículas, aliado à baixa relação a/ag e ao bom controle dos parâmetros reológicos.

Destaca-se que, para as relações água/aglomerantes maiores do que 0,50, há a tendência de diminuição da resistência à compressão à medida que ocorre aumento da quantidade de filer calcário na mistura, comprovando que o empacotamento depende do efeito físico de contato (aproximação) entre as partículas. Quando se aumenta a relação água-aglomerante, também aumenta a distância entre as partículas do compósito, e o contato entre as partículas é diminuído, logo, o efeito físico e a resistência também diminuem.

## 4.2 Absorção de água por capilaridade

A Figura 5 mostra os resultados da absorção de água por capilaridade das misturas após 72 horas de imersão dos corpos-de-prova de concreto em água.

Figura 5 – Resultados de absorção de água por capilaridade



Fonte: dados obtidos pela própria autora

As misturas com FC, em geral, exibiram quantidades menores de absorção capilar de água do que a mistura de referência, principalmente a baixas relações a/ag. Isso comprova que é possível diminuir a porosidade intergranular com o uso do empacotamento com micropartículas de filer calcário.

As misturas com apenas 10% de filer calcário nas relações a/ag 0,50 e 0,65 não obtiveram índice de absorção menor do que a mistura de referência, aduzindo que apenas 10% de FC não é suficiente para que o efeito físico seja garantido. Contudo, na relação a/c 0,35, todas as misturas obtiveram índices menores de absorção do que a mistura de referência. No geral, as misturas que obtiveram os melhores índices de absorção capilar foram as com 15% de FC. Na relação a/agl 0,35, a mistura com 10% de filer calcário FC04 foi a que apresentou o menor índice de absorção de água capilar. E as altas relações água-aglomerantes (0,65) à mistura FC09 com 15% de FC foi a que obteve o menor índice de absorção de água por capilaridade.

Atribui-se o efeito de redução da absorção de água capilar nos concretos ao efeito físico de preenchimento dos poros dado pelo filer calcário. Estudos complementares devem ser realizados para o teor de 10% de FC.

## 5 Conclusões

O estudo da substituição de 10%, 15% e 20% de cimento por FC dolomítico em concreto estrutural apresentou as seguintes conclusões:

(a) da análise das resistências à compressão axial é possível concluir que o uso de filer calcário, em conjunto com a aplicação dos conceitos de empacotamento de partículas, permite o desenvolvimento de concretos com melhor resistência, no entanto, para que isso ocorra, é imprescindível o uso de baixas relações água/aglomerantes e o uso de aditivos em teores ideais. Assim, pode-se concluir que o efeito físico é maior quanto menor for a relação a/agl;

(b) da análise dos resultados de absorção de água por capilaridade, constata-se que o uso de FC dolomítico pode ser eficaz para reduzir a permeabilidade do material por preenchimento e densificação da pasta de cimento hidratado. Com o ganho de impermeabilidade, reduz-se a entrada de agentes agressivos ao concreto, melhorando a durabilidade do componente estrutural e mostrando, por consequência, que o calcário pode ser uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente no âmbito da Construção Civil.

Contudo, acredita-se que são necessários mais estudos para confirmação do que foi demonstrado e, também, para comparação entre diferentes tipos de fileres.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR EB-208**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

AÏTCIN, P. C. **High Performance Concrete** (Modern Concrete Technology 5 ed.). London: E & FN Spon, 1998.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia** v. 1, p. 185-232, São Paulo: IBRACON, 2011.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica, n. 55, n. 333, p. 18-32, 2009.

DAL MOLIN, D. C. Adições Minerais. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, v. 1, p. 261-309, São Paulo: IBRACON, 2011.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 197-1**: Composition, specifications and conformity criteria for low heat common cements. Brussels, 2000.

FENNIS, S. A.; WALRAVEN, J. C.; NIJLAND, T. G. Measuring the packing density to lower the cement content in concrete. In: STOELHORST, W. **Tailor Made Concrete Structures**, p. 419-24, 2008.

FENNIS, S. A.; WALRAVEN, J. C.; NIJLAND, T. G. Measuring the packing density to lower the cement content in concrete. In: STOELHORST, W. **Tailor Made Concrete Structures**, p. 419-24, 2008.

KRSTULOVIC, P.; KAMENIC, N.; POPÓVIC, K.A **New approach in evaluation of filler effect in cement I. Effect on strength and workability of mortar and concrete**. Cement and Concrete Research, n. 33, p. 1071-5, 1994.

MADANI, H., et al. **The influence of Ultrafine Filler Materials on Mechanical and Durability Characteristics of Concrete**. Civil Engineering Infrastructures Journal, p. 251-62, 2016.

OLIVEIRA, I. R. et al. **Dispersão e Empacotamento de Partículas: Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico**. São Paulo: Fazenda Arte Editorial, 2000, 224p.

RAHHAL, V. et al. **Role of the filler on Portland cement hydration at early ages**. Constructions and Building Materials, n. 27, p. 82-90, 2012.

TYDLITÁT, V.; MATAS, T.; CERNÝ, R. **Effect of w/c and temperature on the early-stage hydration heat development in Portland-limestone cement**. Construction and Building Materials, n. 50, p. 140-7, 2014.

WEERDT, K. et al. Synergic between fly ash and limestone powder in ternary cements. **Cement & Concrete Composites**, n. 33, p. 30-8, 2011.