

MODELAGEM DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE PÓ DE EXAUSTÃO POR DELINEAMENTO POR MISTURAS

RAPHALSKI, Marília (1); COELHO, Adenilson R. (2); PEREIRA, Helena R. S. (3); VALENTINA, Luiz V. de O. D.(4)

(1)Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário Católica de Santa Catarina

(2)Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário Católica de Santa Catarina

(3)Doutoranda em Ciência e Engenharia dos Materiais na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e professora Mestre do curso de Engenharia Civil da Católica de Santa Catarina

(4) Professor Doutor da Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

E-mail: helena.pereira@catolicasc.org.br

RESUMO

Os experimentos estatisticamente planejados permitem uma otimização na análise das propriedades dos materiais estudados. Na técnica de experimentos com misturas as propriedades são analisadas pela variação das proporções de seus materiais constituintes. Neste trabalho foi adotado um modelo de misturas de três componentes, onde as argamassas foram preparadas usando aglomerantes (20% a 30% em massa), areia (65% a 75% em massa) e pó de exaustão (5% a 15% em massa). A partir dos resultados obtidos em vinte misturas realizadas com dois tipos de areia foi definido um modelo quadrático para a resistência à compressão aos 28 dias. Em relação à resistência à compressão, a incorporação do resíduo pó de exaustão de fundição nas proporções estudadas é viável em argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Palavra-chave: *argamassas, misturas, resistência à compressão, pó de exaustão.*

1. INTRODUÇÃO

As argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos são obtidas através da mistura de aglomerantes com agregado miúdo e água, podendo possuir ou não aditivos. O objetivo de um traço, sendo ele com adições ou não, é manter as principais propriedades, tais como trabalhabilidade, aderência e resistência à compressão.

Visando o reaproveitamento de resíduos de fundição, a adição do pó de exaustão de fundição em argamassas de assentamento e revestimento pode ser viável. A utilização adequada de resíduos industriais deve envolver um completo conhecimento sobre o processo de geração incluindo toda sua caracterização, identificando assim, os limitantes de aplicação (ROCHA, CHERIAF, 2003)⁸.

A análise granulométrica do pó de exaustão para Coelho e Pereira (2013)⁴, indica um material muito fino, logo para obtenção da mesma consistência faz-se necessário maior adição de água, devido a grande quantidade de material pulverulento.

Os estudos de Monosi, Sani e Tittarelli (2010)⁵ mostraram qual seria o efeito ao substituir parcialmente o agregado por areia de fundição em concretos e argamassas. Com os experimentos concluíram que se a substituição ocorrer em até 10% a trabalhabilidade não altera. Já para dosagens maiores a adição de plastificantes torna-se viável para obtenção da mesma trabalhabilidade. Além disso, verificou-se que a resistência mecânica diminui cerca de 20% a 30%.

Singh e Siddique (2012)¹⁰ em 5 experimentos substituindo de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% o agregado miúdo por areia de fundição, tendo como objetivo verificar a resistência e a permeabilidade de cada amostra de concreto. Em todos os casos verificou-se o aumento de ambas as propriedades. Além disso, investigaram a resistência a abrasão dentre outras propriedades de resistência, definidas como: resistência à compressão, resistência à tração, resistência à abrasão e módulo de elasticidade. Os resultados averigam a melhoria contínua das propriedades citadas com a substituição parcial dos agregados por areia de fundição.

Para Silva e Silva (2012)⁹ o delineamento por misturas significa planejar e executar um experimento, ajustando modelos empíricos, através de ferramentas estatísticas. Para os mesmos autores o experimento é organizado em três grupos de variáveis, conhecidos como: parâmetros de processo, variáveis de controle e variáveis de resposta, obtendo como resultado, coeficientes numéricos, superfícies de respostas e variáveis estatísticas o que validará o experimento, além de fazer previsões e formulação. Os resultados obtidos através do delineamento de misturas têm altíssima capacidade de indicar parâmetros e formular misturas do seu processo. Esses modelos são aplicados no desenvolvimento de massa e compostos minerais não metálicos (SILVA, SILVA, 2012)⁹.

Logo, o delineamento por mistura envolve metodologia de superfície de resposta, onde o processo é mantido como constante e os fatores são componentes de certa mistura, a resposta por sua vez depende das frações dos ingredientes (MONTGOMERY, 2003)⁷.

A utilização de experimentos por delineamento de misturas almeja a eficiência do processo experimental (MONTGOMERY, 1997)⁶. A essência de um bom

planejamento está no projeto de um experimento, quando este é capaz de fornecer a informação exata que procuramos (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2002)³.

O objetivo deste trabalho é analisar estatisticamente a resistência à compressão aos 60 dias de argamassas com adição de pó de exaustão de fundição por delineamento de misturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi baseado na NBR 13279 (2005)², que define o método de produção dos corpos-de-prova para determinação da resistência à compressão aos 60 dias.

2.1 Preparo da argamassa

A realização da mistura para obtenção de argamassa segue a ABNT NBR 13276 (2005)¹. Foram executas 10 misturas diferentes com a utilização de cimento Portland CPII-F32, areia comum, cal hidratada CH-III, resíduo (pó de exaustão) e água.

O preparo foi dividido em duas etapas. A priori misturou-se por 4 minutos na argamassadeira, em baixa velocidade, a areia juntamente com o resíduo, com a cal e com a água. Despejou-se então a pasta em uma forma, a qual foi levada à balança para retirada de massa, deixando-a descansar por aproximadamente 24 h. A proporção dos materiais pode ser observada na Tabela 01. Para realização da segunda etapa, analisou-se novamente a massa da forma, onde, a diferença foi preenchida com água, que evidentemente evaporou. Posteriormente adicionou-se cimento e água misturando-os por mais 4 minutos. Na Tabela 02 pode-se verificar a proporção dos materiais a serem utilizados na 2ª etapa.

Tabela 01: Proporção dos materiais para fabricação de argamassa na 1ª etapa.

Mistura	Cal (g)	Areia (g)	Resíduo (g)	Água (ml)
1	240	1040	80	300
2	160	1200	80	300
3	160	1040	240	300
4	200	1120	80	300
5	200	1040	160	300
6	160	1120	160	300
7	186,65	1093,35	133,35	300
8	213,35	1066,65	106,65	300
9	173,35	1146,65	106,65	300
10	173,35	1066,65	186,65	300

Tabela 02: Proporção de materiais para fabricação de argamassa na 2ª etapa.

Mistura	Cimento (g)	Água (ml)
1	240	50
2	160	50
3	160	50
4	200	50
5	200	50
6	160	50
7	186,65	50
8	213,35	50
9	173,35	50
10	173,35	50

As tabelas foram geradas pelo delineamento de misturas, onde estabeleceu-se percentagens máximas e mínimas para cada material constituinte, sendo três variáveis, aglomerantes (cal e cimento), areia e resíduo como mostra a Tabela 03.

Tabela 03: Composição das argamassas em massa

Mistura	Aglomerante (%)	Areia (%)	Resíduo (%)
1	30,00	65,00	05,00
2	20,00	75,00	05,00
3	20,00	65,00	15,00
4	25,00	70,00	05,00
5	25,00	65,00	10,00
6	20,00	70,00	10,00
7	23,33	68,33	08,33
8	26,67	66,67	06,67
9	21,67	71,67	06,67
10	21,67	66,67	11,67

2.2 Moldagem dos corpos-de-prova

Imediatamente após o preparo da argamassa, fixa-se o molde à mesa de adensamento, preenchendo cada compartimento com uma porção de argamassa, assim, com o auxílio da espátula espalha-se bem a argamassa, formando uma camada com aproximadamente a metade da altura do molde, logo aplicam-se 30 quedas. Em seguida ocorre o preenchimento total, espalhando-se uniformemente com a régua metálica, e com posteriores 30 quedas. Após esse preparo, os corpos-de-prova deverão permanecer entre 24 a 48 horas nos moldes, e ao serem deformados, a cura será ao ar livre até a data da ruptura.

2.3 Ruptura dos corpos-de-prova

A determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa, seguiu a NBR 13279 (ABNT, 2004). Os corpos-de-prova foram apoiados no equipamento de ensaio que por sua vez aplicou uma carga de 500 ± 50 N/s até a ruptura. A tensão máxima é calculada pela seguinte equação (A)

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (A)$$

Devido a datas inoportunas alguns corpos-de-prova foram rompidos com 63 dias e outros com 69 dias.

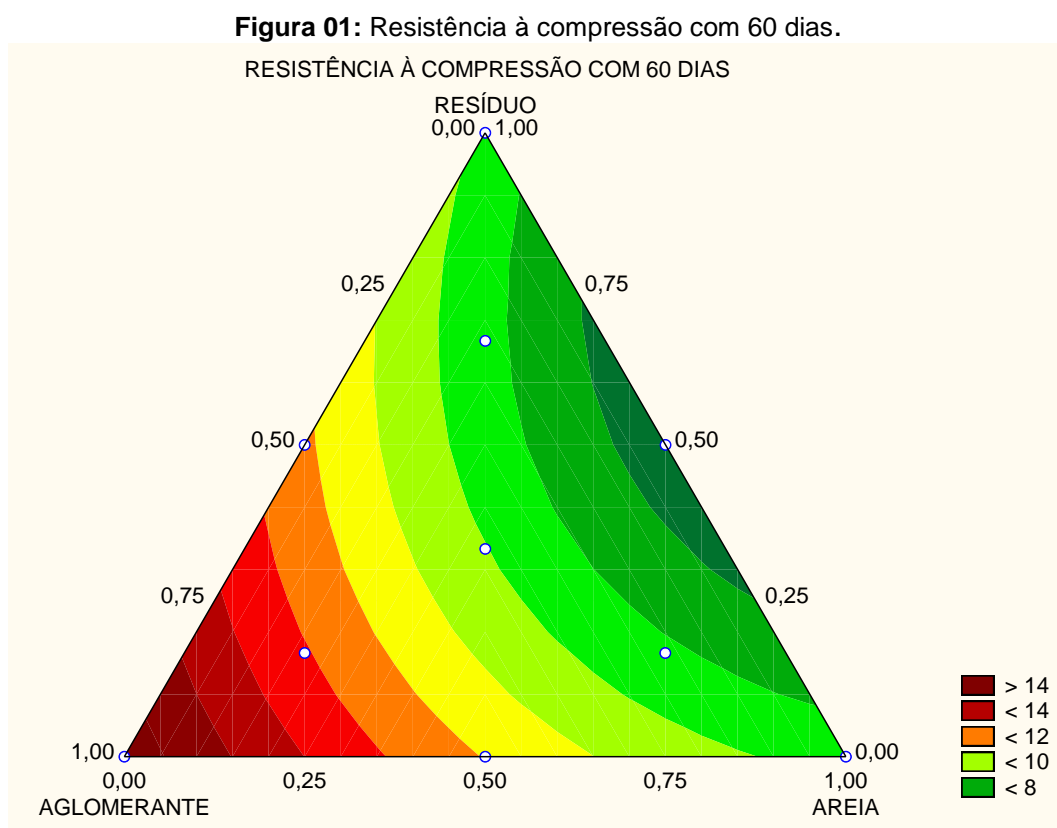
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 04 resume os resultados obtidos referente à resistência à compressão aos 60 dias, podendo assim classificar cada amostra.

Tabela 04: Classificação da argamassa de areia comum

Mistura	Aglomerante (%)	Areia (%)	Resíduo (%)	Resistência à compressão aos 60 dias (Mpa)
1	30,00	65,00	05,00	15,96 ± 1,13
2	20,00	75,00	05,00	8,48 ± 0,75
3	20,00	65,00	15,00	8,64 ± 0,32
4	25,00	70,00	05,00	11,45 ± 1,34
5	25,00	65,00	10,00	11,70 ± 0,82
6	20,00	70,00	10,00	6,49 ± 0,39
7	23,33	68,33	08,33	8,99 ± 1,06
8	26,67	66,67	06,67	10,78 ± 0,78
9	21,67	71,67	06,67	8,38 ± 0,30
10	21,67	66,67	11,67	8,43 ± 0,45

Em seguida observa-se o gráfico de curva de nível obtido através da modelagem por delineamento por misturas na Figura 01.



Usando a abordagem de teste das hipóteses, ou seja, o valor de p deve ser menor ou igual ao nível de significância (igual a 0,05), o modelo apresentou $p = 0,0062$. A variabilidade dos dados, explicada pela análise de variância é

relativamente reduzida apresentado valor de $R^2=0,9616$. A Equação B representa a modelagem da propriedade resistência à compressão aos 60 dias.

$$RC60 \text{ (MPa)} = +15,64X + 8,66Y + 8,79Z - 4,80XY - 4,17XZ - 9,05YZ \quad (\text{Equação B})$$

Onde:

RC60-Resistência à compressão aos 60 dias em MPa

X-Aglomerante (cimento + cal em proporções iguais em massa) em proporção de massa

Y-Areia em proporção de massa

Z-Resíduo em proporção de massa

4. CONCLUSÃO

Analisando os valores de resistência à compressão aos 60 dias das argamassas obteve-se valores entre 6,49 MPa e 15,96 Mpa. Pode-se observar que os maiores valores de resistência obtidos, ocorreram nas amostras em que a quantidade de aglomerante é maior. Assim, a utilização do pó de exaustão em argamassas segundo a propriedade resistência à compressão aos 60 dias é viável, contribuindo desta forma para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.
- [3] BARROS NETO, B. D.; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas: Editora da UNICAMP, 2002.
- [4] COELHO, A. R.; PEREIRA, H. R. S. **Caracterização de argamassas com pó de exaustão de fundição.** Católica de Santa Catarina. Joinville, 2013.
- [5] MONOSI, S.; SANI, D.; TITTARELLI, F. **Used Foundry Sand in Cement Mortars and Concrete Production.** The Open Waste Management Journal, n. 3, p. 18-25, 2010.

[6] MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. New York, John Wiley & Sons, 1997.

[7] MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

[8] ROCHA, J.C.; CHERIAF, M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre. Coletânea Habitare, 2003 v. 4.

[9] SILVA, N. S.; SILVA, H. C.; **Modelo experimental por delineamento de misturas**: aplicada no desenvolvimento de massas de porcelanato esmaltado, 2012.

[10] SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste. **Construction And Building Materials**, n.28, p.421-426, 2012.

MOLDING OF THE RESISTANCE TO COMPRESSION IN MORTARS WITH ADITION OF EXHAUSTION POWDER BY DELIMITATION BY MIXTURES

ABSTRACT

All the experiments statistically planned, allow an optimization in the analysis of the properties from the studied materials. In mixtures experiments technique, the properties are analyzed through the variation of the materials proportions. In this work, it was adopted a mixture pattern of three components, where the mortars were prepared using binders (20% to 30% in mass), sand (65% to 75% in mass) and exhaustion powder (5% to 15% in mass). From the results obtained in twenty mixtures made with two kinds of sand, a quadratic pattern was defined for the resistance to compression in 28 days. Related to the resistance to compression, the incorporation from fusion exhaustion powder waste, according to the studied proportions, is viable in settlement mortars and wall and roofs coating.

Keywords: mortars, mixtures, resistance to compression, exhaustion powder.