

ANÁLISE DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO UTILIZANDO A METODOLOGIA DE HIERARQUIA DE PESOS*

Markssuel Teixeira Marvilar¹
Afonso Rangel Garcez Azevedo²
Euzébio Bernabé Zanelato³
Thuany Espírito Santo Lima⁴
Jonas Alexandre⁵
Sergio Neves Monteiro⁶
Laimara Barroso da Silva⁷
Giovanni Bruzzi Guarçoni⁸

Resumo

Em função da complexidade do comportamento de argamassas de revestimento e dos diferentes parâmetros avaliados no estudo desse tipo de material, a técnica de análise hierárquica de pesos (AHP) foi empregada para verificar diferentes composições de argamassa levando em consideração a importância de cada propriedade desse material. Foram utilizados dois conjuntos de dados extraídos de trabalhos presentes na bibliografia para aplicação da AHP. Os resultados comprovam a possibilidade da utilização dessa técnica no que diz respeito a avaliação do comportamento de argamassas de revestimento.

Palavras-chave: Argamassas; Revestimento; Análise hierárquica de pesos.

ANALYSIS OF COATING MORTARS USING METHODOLOGY OF WEIGHT HIERARCHY

Abstract

Due to the complexity of the behavior of the mortars and of the different properties evaluated in the study of this material, a technique of hierarchical analysis of weights (HAW) was used to verify the trawling compositions considering the importance of each property of this material. Two sets of data were extracted from works in the bibliography for the application of HAW. The results obtained demonstrate a possibility of using the technique that does not respect the evaluation of the behavior of coating mortars.

Keywords: Mortars; Coating; Hierarchical analysis of weights.

- ¹ Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ² Doutor em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ³ Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁴ Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁵ Doutor em Ciências de Engenharia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁶ Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos.
- ⁷ Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁸ Estudante de Engenharia Civil, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Argamassas caracterizam-se por serem materiais de construção composto por um ou mais aglomerantes unidos a um agregado miúdo e ativados por um determinando líquido, geralmente a água [1]. Apresentam composições muito variadas, uma vez que podem ser compostos de cimento, cal hidratada e/ou gesso como aglomerante e areia natural, britada, materiais como efeito filer para agregado miúdo, podendo ainda ser produzidos através de reação ativador-precursor quando são fabricados com materiais geopoliméricos [2]. Além disso, apresentam diferentes funções, como revestimento, assentamento de blocos e artefatos cerâmicos, isolamento acústico, regularização de superfícies, reparo estrutural, entre outros [3]. Em função disso, o estudo desses materiais torna-se bastante complexo, principalmente no que diz respeito de quais propriedades devem ser avaliadas e quais propriedades são mais relevantes do que as outras. Diferente do estudo de concreto, em que os principais parâmetros de estudos já são consagrados, a ciência das argamassas apresenta grande dificuldade de análise e interpretação em função dos conceitos apresentados acima.

No que diz respeito as propriedades, o estudo desses materiais classicamente se divide em duas etapas: estudo no estado fresco, através de ensaio de retenção de água [4], densidade de massa no estado fresco [5], teor de ar incorporado [5], e trabalhabilidade do material (avaliado pelos ensaios de consistência [6], squeeze flow [7], vane test, dropping ball, por exemplo); e estudo no estado endurecido, onde destacam-se os ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão [8], resistência de aderência à tração [9], capilaridade [10], absorção de água por imersão e fervura [11] e densidade de massa no estado endurecido [12]. A interpretação desses parâmetros, porém, é comprometida uma vez que as normas brasileiras e internacionais não apresentam valores mínimos e máximos para as propriedades das argamassas.

Alguns pesquisadores, como Mattana et al. (2012) [13] realizaram uma descrição das principais propriedades das argamassas, destacando a importância de cada parâmetro e apresentando uma forma conjunta de avaliar as propriedades desse material, através da análise hierárquica de pesos (AHP), uma técnica utilizada para verificar a viabilidade financeira de incorporação imobiliárias. A técnica foi adaptada para o estudo de argamassas de revestimento, e, portanto, não é válida para outras aplicações de argamassa, como estrutural e colante, uma vez que dependendo da aplicação desse material, algumas propriedades se sobressaem sobre as outras.

A técnica de Mattana et al. (2012) [13], baseada na norma americana ASTM E 1765 (2002) [14], é utilizada para análise de decisões relacionadas a investimentos na área de construção, através de uma abordagem racional. A ideia do método é criar uma relação entre dois parâmetros, A e B, onde traçam-se relações de importância entre eles. Dessa maneira, A e B podem ter igual importância, ou A ser mais ou menos importante que B, conforme destacado na Tabela 1.

O método adaptado a argamassas consiste em criar relações de importância entre as propriedades das argamassas, que então, são caracterizadas pelos parâmetros A e B. A utilização do método em argamassas será melhor explicado na Metodologia.

Tabela 1. Escala de importância entre os parâmetros A e B.

Escala de comparação	Valor associado
A igual importância que B	1
A pouco mais importante que B	3
A mais importante que B	5
A muito mais importante que B	7
A extremamente mais importante que B	9

Com base nos conceitos apresentados, é possível definir o objetivo desse trabalho, que é aplicar a metodologia de análise hierárquica para criar relação entre os principais parâmetros de argamassas de revestimento, afim de concluir que composição de argamassa apresenta um melhor desempenho em serviço, quando considera-se o comportamento do material como um todo. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado a metodologia presente no trabalho de Mattana et al. (2012) [13] de maneira adaptada.

2 METODOLOGIA

Para verificação da validade da metodologia de análise hierárquica de pesos em argamassas, foram escolhidas as seguintes composições do material, todas na proporção 1:1:6 (cimento: cal hidratada: areia): um primeiro conjunto de dados, contendo argamassas com substituição de 0% (referência), 25%, 50%, 75% e 100% de cal hidratada por argila caulínica de Campos dos Goytacazes, RJ retiradas do trabalho de Marvila et al. (2019a) [14], e outro conjunto de dados composta por argamassas contendo 0% (referência), 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo proveniente da indústria de rocha ornamental de Cachoeiro de Itapemirim substituída no lugar da cal hidratada, retiradas do trabalho de Marvila et al. (2019b) [15].

A metodologia da AHP baseia-se numa sequência de passos definidos conforme a seguir:

Primeiro passo: Criar a relação entre os parâmetros estudados baseado na Tabela 1.

Segundo passo: Com a realização da relação entre os parâmetros estudados, monta-se uma matriz de decisão e executa-se o cálculo do peso relativo para cada parâmetro de análise. Para isso, considera-se a soma individual de cada um dos critérios, dividindo-o pela soma geral de todos os critérios e multiplicando por 100. Assim cada parâmetro recebe um percentual de importância na análise do desempenho das argamassas. A Tabela 2 apresenta a matriz de decisão montada com base nesse passo.

Terceiro passo: os resultados de cada ensaio são divididos pelo maior valor encontrado para aquele parâmetro entre todas as argamassas estudadas.

Assim, os dados ficam normalizados numa escala de 0 a 1 para todos os ensaios considerados.

Quarto passo: O peso de cada ensaio obtido pelo segundo passo é multiplicado pelos dados normalizados obtidos pelo passo três. Realiza-se o somatório de todas

as propriedades para cada argamassa estudada, obtendo um valor que pode variar de 0 a 100%.

Tabela 2. Matriz de decisão para os parâmetros de argamassa.

Ensaio	Densidade de massa fresca (a)	Retenção de água (b)	Teor de ar incorporado (c)	Densidade de massa endurecida (d)	Índice de vazios (e)	Módulo de elasticidade (f)	Resistência à compressão (g)	Resistência à tração na flexão (h)	Resistência à aderência (i)	Coefficiente de Capilaridade (j)
(a)	1	5	3	1	3	5	3	7	9	5
(b)	1/5	1	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1	5	3
(c)	1/3	3	1	1	1	5	3	5	7	3
(d)	1	5	1	1	1	5	3	5	7	5
(e)	1/3	3	1	1	1	5	1	5	7	3
(f)	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1	1/3	1	5	1
(g)	1/3	3	1/3	1/3	1	3	1	5	7	5
(h)	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1	3	1
(i)	1/5	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1/5	1	1	1/5
(j)	1/9	1/5	1/7	1/7	1/7	1	1/7	1/3	5	1
∑ peso	3,9	22,5	7,5	5,3	8,2	27,2	12,2	31,3	56,0	27,2
Total	201,4									
%	1,90	11,20	3,70	2,60	4,10	13,50	6,10	15,60	27,80	13,50

Quinto passo: Conclui-se qual é o melhor traço analisado, que será aquele que obtiver a maior nota entre as proporções de estudo.

Com base nesses passos apresentados, é possível verificar e analisar todas as propriedades das argamassas de uma maneira globalizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para as argamassas, extraídas dos trabalhos de Marvila et al. (2019a) [14] e Marvila et al. (2019b) [15]. Como é possível observar na tabela, os referidos autores fizeram a caracterização completa da argamassa de referência e as argamassas contendo substituição de cal hidratada por argila caulinítica (nomeados com ARG) no trabalho [14] e por resíduo de rocha ornamental (nomeados como MAR, em função do resíduo ser proveniente de mármore) no trabalho [15]. Em ambos os casos as substituições foram realizadas em 25%, 50%, 75% e 100%, e nos dois trabalhos a conclusão foi parecida: é possível realizar a substituição da cal hidratada parcialmente, tanto por argila caulinítica quanto por resíduo de rocha ornamental, em teores de até 50%. Essas conclusões foram realizadas baseando-se nas diferenças estatísticas obtidas para cada parâmetro em avaliação, onde foram consideradas satisfatórias as argamassas com desempenho estatístico igual ou superior ao traço de referência. Porém, não foi considerado o desempenho global das argamassas, levando em consideração todos os parâmetros de forma simultânea, que consiste no objetivo principal do presente trabalho.

Tabela 3. Valores individuais obtidos para as argamassas estudadas por Marvila et al. (2019a) [14].

Parâmetro	ARG00	ARG25	ARG50	ARG75	ARG100
Densidade no estado fresco (kg/m ³)	1875	1889	1887	1902	1905
Teor de ar incorporado (%)	9,48	8,31	6,87	5,83	4,27
Retenção de água (%)	93,87	92,18	91,24	93,24	95,23
Densidade no estado endurecido (kg/m ³)	1830	1850	1880	1790	1700
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,34	1,27	1,31	1,19	1,06
Resistência à compressão (MPa)	4,56	4,42	4,25	3,81	4,04
Coefficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	15,8	8,24	6,62	9,73	12,67
Índice de vazios (%)	27,78	27,96	28,02	29,37	30,18
Módulo de elasticidade (GPa)	11,8200	10,7400	7,1400	9,1500	8,5400
Aderência à tração (MPa)	0,313	0,301	0,304	0,309	0,298

Tabela 4. Valores individuais obtidos para as argamassas estudadas por Marvila et al. (2019b) [15].

Parâmetro	MAR00	MAR25	MAR50	MAR75	MAR100
Densidade no estado fresco (kg/m ³)	1886	1900	1958	1968	1976
Teor de ar incorporado (%)	7,7	8,01	8,11	8,22	8,74
Retenção de água (%)	92,1	92,2	92,5	91,85	91,9
Densidade no estado endurecido (kg/m ³)	1821	1820	1845	1837	1838
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,41	1,44	1,45	1,46	1,48
Resistência à compressão (MPa)	4,36	4,4	4,58	4,58	4,6
Coefficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	13,85	13,1	12,38	12,42	12,58
Índice de vazios (%)	26,8	25,3	24,8	25,1	25,9
Módulo de elasticidade (GPa)	12,0000	11,9600	11,0400	12,08	15,01
Aderência à tração (MPa)	0,320	0,280	0,250	0,235	0,225

As Tabelas 5 e 6 apresentam os parâmetros normalizados para as argamassas e os pesos totais, dos dois conjuntos de materiais estudados. É válido destacar que algumas propriedades, como resistência mecânica e aderência, são melhores quanto maior forem os seus valores, isto é, na comparação entre duas composições de argamassas diferentes, aquela que apresentar o maior valor nesses parâmetros apresenta melhor comportamento. Outros parâmetros, porém, como é caso da densidade e da absorção de água, são considerados mais satisfatórios quanto menores forem os valores obtidos para eles. Dessa forma, para realizar a AHP é necessário fazer uma adequação nessas propriedades. Essa adequação consiste em tomar o valor inverso (1/x) na hora de realizar os cálculos de normalização de valores. Assim, é possível realizar uma análise de pesos de forma coerente.

É possível observar para o conjunto de extraídos de Marvila et al. (2019a) [14] presentes na Tabela 5 que a argamassa ARG50 apresenta nota muito superior as demais composições estudadas, uma vez que apresentou desempenho satisfatório nas propriedades com maior importância definida pela AHP. Enquanto isso, o traço de referência (ARG00) apresentou o segundo pior desempenho, melhor apenas que ARG100. Assim, comprova-se que a AHP leva a mesma conclusão obtida no trabalho [14]: a utilização de 50% de argila caulínica como substituição da cal

hidratada é viável tecnicamente, uma vez que melhora o desempenho das argamassas quando comparada ao traço sem incorporações.

Tabela 5. Valores normalizados e nota final obtidos para as argamassas estudadas por Marvila et al. (2019a) [14].

Parâmetro	ARG00	ARG25	ARG50	ARG75	ARG100
Densidade no estado fresco (kg/m ³)	1,000	0,993	0,994	0,986	0,984
	1,900				
Teor de ar incorporado (%)	1,000	0,877	0,725	0,615	0,450
	3,700				
Retenção de água (%)	0,986	0,968	0,958	0,979	1,000
	11,200				
Densidade no estado endurecido (kg/m ³)	0,929	0,919	0,904	0,950	1,000
	2,600				
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,000	0,948	0,978	0,888	0,791
	15,600				
Resistência à compressão (MPa)	1,000	0,969	0,932	0,836	0,886
	6,100				
Coeficiente de Capilaridade (g/dm ³ .min ^{1/2})	0,419	0,803	1,000	0,680	0,522
	13,500				
Índice de vazios (%)	1,000	0,994	0,991	0,946	0,920
	4,100				
Módulo de elasticidade (GPa)	0,604	0,665	1,000	0,780	0,836
	13,500				
Aderência à tração (MPa)	1,000	0,962	0,971	0,987	0,952
	27,800				
Total (%)	86,47	89,69	96,65	87,58	83,66

Enquanto isso, a análise dos valores normalizados para as argamassas com incorporação de rocha ornamental, extraídos de Marvila et al. (2019b) [15] e apresentados na Tabela 6 demonstram que a argamassa com maior nota é a do traço de referência (MAR00). Observa-se uma queda gradual da nota obtida pelas argamassas contendo incorporação do resíduo, o que comprova que o material em análise provoca prejuízos no comportamento global do material, quanto a análise é realizada pelo AHP. Se for realizado uma comparação com a conclusão obtida pelo trabalho [15], verifica-se que a argamassa MAR50 apresentou nota de 93,20% enquanto a composição de referência teve nota de 95,63%. Isso não valida o resultado obtido pelos autores, uma vez que a argamassa de referência é a que apresenta o melhor desempenho na análise dos parâmetros de uma forma global. Porém, é válido destacar que a nota do traço MAR50, defendido pelos autores como possível de utilização, é apenas 2,43% inferior a composição de referência, o que pode ser considerado como satisfatório, uma vez que análise hierárquica de pesos toma como erro valores em torno de 2,50%. Assim, os resultados obtidos em ambos os trabalhos utilizados como conjunto de dados para aplicação da metodologia de AHP são coerentes com a análise realizada baseando-se no trabalho de Mattana et al. (2012) [13].

Tabela 6. Valores normalizados e nota final obtidos para as argamassas estudadas por Marvila et al. (2019b) [15].

Parâmetro	MAR00	MAR25	MAR50	MAR75	MAR100
Densidade no estado fresco (kg/m ³)	1,000	0,993	0,963	0,958	0,954
	1,900				
Teor de ar incorporado (%)	0,881	0,916	0,928	0,941	1,000
	3,700				
Retenção de água (%)	0,996	0,997	1,000	0,993	0,994
	11,200				
Densidade no estado endurecido (kg/m ³)	0,999	1,000	0,986	0,991	0,990
	2,600				
Resistência à tração na flexão (MPa)	0,953	0,973	0,980	0,986	1,000
	15,600				
Resistência à compressão (MPa)	0,948	0,957	0,996	0,996	1,000
	6,100				
Coeficiente de Capilaridade (g/dm ³ .min ^{-1/2})	0,894	0,945	1,000	0,997	0,984
	13,500				
Índice de vazios (%)	0,925	0,980	1,000	0,988	0,958
	4,100				
Módulo de elasticidade (GPa)	0,920	0,923	1,000	0,914	0,736
	13,500				
Aderência à tração (MPa)	1,000	0,875	0,781	0,734	0,703
	27,800				
Total (%)	95,63	93,62	93,20	90,72	87,60

4 CONCLUSÃO

Em função da complexidade do estudo de argamassas, por causa de sua composição diversificada e por causa dos diversos parâmetros analisados para esses materiais, é necessário a criação de novas técnicas racionais para verificar o comportamento global desses componentes cimentícios.

Uma das técnicas possíveis para isso é a análise hierárquica de pesos (AHP), metodologia utilizada pelas indústrias americanas na verificação da viabilidade de incorporação de empreendimentos imobiliários e adaptada por Mattana et al. (2012) [13] para estudo de argamassas.

A validação da AHP foi realizada através da análise de dois conjuntos de dados extraídos de dois trabalhos de argamassa. Verificou-se para o trabalho de Marvila et al. (2019a) [14] que a conclusão obtida pelos autores foi exatamente a mesma obtida pela AHP, enquanto para os dados analisados do trabalho de Marvila et al. (2019b) [15] houve uma pequena divergência de resultados. Destaca-se, entretanto, que essa divergência não invalida a análise realizada pelos autores e nem a obtida pela AHP uma vez que a diferença entre o traço MAR50, definida por Marvila et al. (2019b) [15] como possível para argamassas, e o traço de referência MAR00, que obteve as maiores notas pela análise hierárquica de pesos, foi de 2,43%, abaixo do erro utilizado para invalidar decisões pelo método testado que é de 2,50%.

Assim fica comprovado a possibilidade da utilização de AHP para estudo de argamassas de revestimento, conforme objetivo proposto nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 A. R. G. Azevedo, M. T. Marvila, L. da S. Barroso, E. B. Zanelato, J. Alexandre, G. de C. Xavier, S. N. Monteiro; Effect of Granite Residue Incorporation on the Behavior of Mortars; *Materials* 2019, 12, 1449.
- 2 E. A. Santos, M. A. F. Melo, D. M. A. Melo, J. C. O. Freitas, A. E. Martinelli, V. R. M. Melo, R. L. B. A. Medeiros; Influência da adição de diatomita nas propriedades de pastas geopoliméricas: volume de filtrado, tempo de espessamento e resistência à compressão; *Cerâmica* 61 (2015) 309-316.
- 3 E. B. Zanelato, J. Alexandre, A. R. G. de Azevedo, M. T. Marvila; Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates; *Materials and Structures* (2019) 52:53.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água: NBR 13277. Rio de Janeiro.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: NBR 13278. Rio de Janeiro.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência: NBR 13276. Rio de Janeiro.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010) Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow: NBR 15839. Rio de Janeiro.
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: NBR 13279. Rio de Janeiro.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010) Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração: NBR 13528. Rio de Janeiro.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade: NBR 15259. Rio de Janeiro.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica: NBR 9778. Rio de Janeiro.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido: NBR 13280. Rio de Janeiro.
- 13 MATTANA, A.J., MEDEIROS, M.H.F., SILVA, N.G., COSTA, M.R.M.M. (2012) Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento, *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79.
- 14 M. T. Marvila, J. Alexandre, A. R. G. Azevedo, E. B. Zanelato, G. C. Xavier & S. N. Monteiro, Study on the replacement of the hydrated lime by kaolinitic clay in mortars, *Advances in Applied Ceramics*, 2019.
- 15 M. T. Marvila, J. Alexandre, A. R. G. Azevedo, E. B. Zanelato, Evaluation of the use of marble waste in hydrated lime cement mortar-based; *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2019.