



ARGAMASSAS COM RESÍDUOS DE LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA PÓS-PROCESSADOS

MORTARS WITH GLASS WOOL AND ROCK WOOL WASTES SUBMITTED POST-PROCESSING

Wanna Carvalho Fontes (1); Marina Bedeschi Dutra (2); Eigi Munis Okada (3);
Guilherme Jorge Brigolini Silva (4); Ricardo André Fiorotti Peixoto (5)

(1) *Doutoranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(2) *Mestranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(3) *Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Ouro Preto*

(4) *Engenheiro Civil, Dsc. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto*

(5) *Engenheiro Civil, Dsc. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto*

wannarquit@gmail.com

Resumo

É inevitável que todo material no final de seu ciclo de vida se torne um resíduo. Diante desta realidade, pesquisas científicas concentram grandes esforços no desenvolvimento de soluções cada vez mais viáveis para a disposição dos resíduos sólidos industriais, bem como para seu adequado reaproveitamento. Neste contexto, o presente trabalho propõe a utilização dos resíduos de lã de vidro e de lã de rocha pós-processados na produção de matrizes de cimento. As análises de viabilidade técnica deste experimento foram procedidas, inicialmente, pela caracterização física dos resíduos de lã de vidro e lã de rocha, e posteriormente pela caracterização física e mecânica das argamassas experimentais. Foram propostos traços de argamassas segundo proporção 1:3. Onde se estabeleceu matrizes de cimento com adição dos resíduos (lã de vidro e lã de rocha), em diferentes teores (5%, 10%, 20% e 50%); bem como matrizes compostas com cimento e cal, onde a cal foi substituída proporcionalmente pelos resíduos (lã de vidro e lã de rocha) em distintos teores (5%, 10%, 20%, 50% e 100%); e matrizes convencionais. Foram realizados ensaios de teor de umidade, composição granulométrica, massa específica e massa aparente nas amostras dos resíduos. Foram verificados os índices de consistência no estado fresco das matrizes propostas, bem como suas densidades de massa aparente no estado endurecido, absorção de água por capilaridade e resistências mecânicas (tração na flexão e compressão axial). Pelos resultados obtidos pode-se concluir, em geral, que as argamassas aditivadas comparativamente aos modelos produzidos de forma convencional, apresentaram propriedades significativamente melhores, no estado endurecido. Tais resultados permitiram considerar, a princípio, viável tecnicamente o uso destes resíduos na produção de matrizes de cimento. Atitude que irá contribuir diretamente na redução dos impactos ambientais e no aprimoramento tecnológico de produtos destinados a construção civil, neste caso das argamassas.

Palavra-Chave: Argamassas, lã de vidro, lã de rocha, tecnologia de materiais.

Abstract

It is inevitable that all the material at the end of their life cycle become waste. Given this reality, scientific research concentrated great efforts in developing solutions increasingly viable for the disposal of industrial solid waste, as well as their appropriate reuse. In this context, this work proposes the use of waste glass wool and wool post-processed rock in the production of cement products. The analysis of technical feasibility of this experiment was proceeded initially by physical characterization of waste glass wool and rock wool, and later by mechanics and physical characterizations of the experimental mortars. Traces of mortar according to the proportion 1:3 have been proposed. Where he settled cement products with the addition of wastes (glass wool and rock wool), at different levels (5 % , 10 % , 20 % and 50 %); and matrices made with Portland cement and lime, the lime which has been replaced proportionally by waste (glass wool and rock wool) at different concentrations (5%, 10%, 20 %, 50 % and 100 %); and conventional



arrays. Testing the moisture content, particle size distribution, bulk density were performed on the samples and bulk density of the waste. The indices were checked for consistency when fresh tenders matrices as well as their apparent mass densities in the hardened state, water absorption by capillarity and mechanical resistance (traction in flexion and axial compression). From the results obtained it can be concluded in general that the doped mortars compared to the models produced conventionally, had significantly better properties in the hardened state. These results allowed us to consider, in principle, technically feasible the use of these wastes in the production of cement products. Attitude that will contribute directly to the reduction of environmental impacts and enhancement technological of the products for construction, in this case the mortar.

Keyword: Mortars, glass wool, rock wool, materials technology.

1 Introdução

Nas últimas décadas, a questão ambiental tornou-se iminente diante da expressiva expansão do setor industrial, em razão das várias consequências ambientais associadas ao processo fabril, entre essas se têm o aumento da exploração dos recursos naturais, as grandes quantidades de resíduos gerados durante a extração e fabricação dos produtos e o inadequado descarte e reaproveitamento dos produtos no final da sua vida útil. Contexto que tem tornado premente a utilização de tecnologias alternativas nos processos produtivos que visam à redução ou até mesmo a eliminação dos resíduos gerados. Percebe-se assim, numa análise mais ampla, a necessidade de adoção de novas tecnologias, que não se atenham apenas aos próprios processos produtivos, bem como aos produtos em si, mas também, no descarte destes, após o término de sua vida útil.

Pesquisas científicas destinadas ao desenvolvimento de novos produtos tecnológicos compostos por materiais reciclados apontam um futuro auto-sustentável, onde por meio da apropriação dos resíduos pode-se obter a redução da exploração de matérias-primas naturais e, conseqüentemente, diminuir o volume de resíduos dispostos em aterros sanitários. Adicionalmente, sabe-se que a construção civil é uma grande aliada dos processos de reciclagem, sendo na maioria das vezes beneficiada pelo desenvolvimento tecnológico obtido destes processos. Por outro lado, a construção civil caracteriza-se por ser um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com SJOSTROM (apud AGOPYAN; JOHN, 2000) a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos da natureza. Segundo estimativa feita por AGOPYAN e JOHN (2000), o consumo de agregado para bloco de concreto e argamassa, no Brasil, é em torno de 210 milhões de toneladas por ano. No entanto esses indicativos apresentam-se favoráveis, a princípio, na iniciativa de reaproveitar os resíduos, como por exemplo, os materiais isolantes térmicos, no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos destinados a construção civil.

Entre os materiais mais comumente utilizados como isolantes térmicos têm-se as mantas compostas basicamente por fibras cerâmicas, como lã de vidro (LV) e lã de rocha (LR), que, para manterem sua forma e facilitarem sua aplicação, são envolvidas por resinas poliméricas. A lã de vidro é constituída de finas fibras de vidro, de diâmetro aproximado de 3µm a 6µm e de comprimento variado, aglomeradas por resinas sintéticas, obtida por um forte sopro de ar sobre o vidro em fusão. Enquanto a lã de rocha é composta por fibras originadas de basalto aglomeradas com resina sintética (BORGES et al., 2007). Segundo estudos desenvolvidos pela International Agency for Research on Cancer ANAIS DO 56º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2014 – 56CBC

(IARC), as lãs de vidro e de rocha são classificadas entre os produtos não-cancerígenos para os seres humanos, grupo III, devido à biossolubilidade das partículas inaláveis, sendo esta uma propriedade importante em comparação a outros tipos de fibras cerâmicas, como o amianto que segundo sua classificação ambiental enquadram no grupo que apresentam risco a saúde humana (BAAN, GROSSE, 2004; WILSON, LANGER, NOLAN, 1999).

A lã de vidro e a lã de rocha apresentam grandes dificuldades no processo de reciclagem, fator que inviabiliza, dentro de uma perspectiva técnica e econômica, o seu reaproveitamento e contribui para que grande parte destes materiais sejam depositados em aterros sanitários. No entanto as lãs de vidro e lãs de rocha podem ser utilizadas como reforço de matrizes cimentícias para a produção de concretos e argamassas de alto desempenho quando produzidas com finalidades e competências específicas para o aumento das propriedades de interesse das matrizes cimentícias (EVANGELISTA, 2011). Tais aspectos abordados impulsionam o desenvolvimento de pesquisas que visem à adequada aplicação da lã de vidro e da lã de rocha em processos viáveis de engenharia sob diferentes formas.

2 Materiais e programa experimental

2.1 Materiais

Os materiais utilizados como ligantes na produção das argamassas experimentais foram o cimento CPIV 32 RS e a cal hidratada aditivada CH I tipo magnésiana ($0,65 \leq \text{CaO} \leq 0,9$), e o utilizado como agregado natural foi a areia procedente do Rio Piranga, região de Ponte Nova em Minas Gerais. Optou-se por esses materiais pela disponibilidade e possibilidade de replicação dos resultados desta pesquisa.

Os resíduos, lã de vidro (ver Figura 1) e lã de rocha (ver Figura 2) foram utilizados neste trabalho em adição e substituição a cal.



Figura 1 – Resíduo de lã de vidro (in-natura)



Figura 2 – Resíduo de lã de rocha (in-natura)

O resíduo de lã de vidro é constituído basicamente pelos óxidos Fe_2O_3 (35,4%), CaO (24,0%), SiO_2 (24,0%), Al_2O_3 (7,3%), TiO_2 (3,4%), SO_3 (2,2%), K_2O (1,5%), MgO (1,3%) e MnO (0,9%), enquanto o resíduo de lã de rocha é constituído por SiO_2 (30,5%), CaO

(26,8%), Fe_2O_3 (22,6%), Al_2O_3 , (7,1%), TiO_2 (5,5%), MgO (3,0%), SO_3 (2,6%), K_2O (1,4%) e MnO (0,5%), conforme análises químicas por fluorescência de raios X de suas amostras. Os resíduos de lãs (LV e LR) utilizados nesse experimento foram obtidos pelo pós-processamento de mantas de isolamento termo-acústico, onde as frações finas, com diâmetro máximo de 0,075mm foram utilizadas em adição e substituição a cal nas argamassas experimentais.

2.2 Metodologia

2.2.1 Caracterização dos agregados

O preparo das amostras de agregados naturais (areia) e agregados reciclados (LV e LR) para a realização dos ensaios seguiu os métodos fixados pela normalização brasileira (ABNT). Foram procedidas análises físicas (teor de umidade - NBR 9939/01; absorção de água - NBR NM30, análise granulométrica - NBR NM 248/03; massa específica - NBR NM 52/03; massa aparente - NBR NM 45/06).

2.2.2 Preparação do material

As amostras dos resíduos (LV e LR) foram enviadas ao laboratório de materiais de construção civil da UFOP em lotes identificados, coletados de acordo com a NBR10007/2004.

O processo de cominuição das lãs procedeu-se por meio de moinho de bolas convencional horizontal com esferas de aço inox, conforme pode ser observado na Figura 3 e Figura 4. As lãs (LV e LR) foram cominuídas em porções de aproximadamente 600g durante 30 e 45 minutos respectivamente. As amostras dos resíduos (LV e LR) foram obtidas em 3 series de cominuição quarteadas e homogeneizadas.

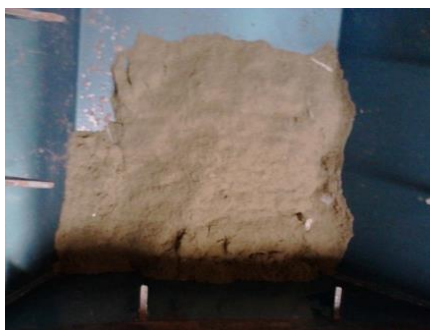


Figura 3 - Moagem da lã de vidro



Figura 4 - Moagem da lã de rocha

2.2.3 Dimensionamento dos traços

Todo planejamento experimental foi fundamentado em análises comparativas, onde as matrizes cimentícias convencionais, traço de cimento:areia (TA0) e traço de

cimento:cal:areia (TS0), foram tomadas como referência. A produção das argamassas e a realização dos ensaios seguiram os métodos fixados pela normalização brasileira (ABNT).

As argamassas simples foram produzidas segundo proporção 1:3, sendo compostas basicamente por cimento, areia e resíduos de lãs (LV ou LR). Nestes traços os resíduos (LV e LR) foram utilizados como adição, segundo proporções 0%, 5%, 10%, 20% e 50% em relação à massa do cimento, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Traços com adição de lã de vidro e lã de rocha (massa).

Traço	Adição	Cimento	Areia	Adição
TA0	Natural	1	3	0
TA5	LV	1	3	0,05
TA10		1	3	0,1
TA20		1	3	0,2
TA50		1	3	0,5
TA5		LR	1	3
TA10	1		3	0,1
TA20	1		3	0,2
TA50	1		3	0,5

Enquanto os traços de argamassas mistas foram dosados segundo proporção 1: 1: 6 e constituídos essencialmente pelo cimento, cal, lã residual (LV ou LR) e areia. Nestes traços os resíduos de lãs (LV e LR) foram utilizados em substituição gradativa da cal hidratada nas seguintes proporções 0%, 5%, 10%, 20% e 50%, 100%, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços com substituição da cal por lã de vidro e lã de rocha (massa).

Traço	Substituição	Cimento	Cal	Substituição	Areia
TS0	Natural	1	1	0	6
TS5	LV	1	0,95	0,05	6
TS10		1	0,9	0,1	6
TS20		1	0,8	0,2	6
TS50		1	0,5	0,5	6
TS100		1	0	1	6
TS5		LR	1	0,95	0,05
TS10	1		0,9	0,1	6
TS20	1		0,8	0,2	6
TS50	1		0,5	0,5	6
TS100	1		0	1	6



2.2.4 Moldagem dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova prismáticos foi realizada de acordo com NBR 13279/05, quantidade conforme especificada pelas normas dos ensaios realizados no estado endurecido. Os corpos-de-prova foram desmoldados em 24 horas e curados durante 28 dias em câmara úmida à temperatura de 25°C e umidade relativa de 60%.

2.2.5 Caracterização das argamassas no estado fresco

Com intuito de produzir argamassa idênticas e identificar a influência da adição ou substituição dos resíduos (LV e LR) foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência para cada um dos traços do programa experimental, onde todos os traços obtiveram valores de abertura de 260 + 5 mm, NBR13276/05.

2.2.6 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Foram realizados nas argamassas no estado endurecido, ensaios de densidade de massa aparente - NBR 13280/05, resistência à compressão e à tração na flexão - NBR 13279/05 e absorção de água por capilaridade – NBR 15259/2005. Sendo que nos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, os corpos-de-prova foram rompidos após serem curados de acordo com a idade estabelecida pelo experimento.

3 Resultados e discussões

3.1 Análises físicas dos agregados

3.1.1 Teor de umidade

Através do ensaio realizado de acordo com a NBR 9939/01, obteve-se o teor de umidade da areia de 0,183%, da lã de vidro de 0,30% e da lã de rocha de 0,00 %. Pela análise desses dados é possível verificar que a porcentagem da umidade da lã de vidro é aproximadamente 1,64 vezes superior a da areia, enquanto a lã de rocha apresentou-se ausente de umidade em relação aos demais agregados em razão de ser não higroscópica.

3.1.2 Absorção de água

Constatou-se pelas realizações das análises de absorção de água, NBR NM30, que a lã de vidro obteve uma absorção de 4,08%, enquanto a lã de rocha de 13,78%. Acredita-se que esta absorção das lãs (LV e LR) esteja relacionada à forma de suas fibras.

3.1.3 Análise granulométrica

As análises das composições granulométricas das lãs de vidro e de lã de rocha residuais foram realizadas de acordo com a ABNT NM 248/03. A distribuição granulométrica do resíduo moído de lã de vidro é apresentada na Figura 1 a seguir.

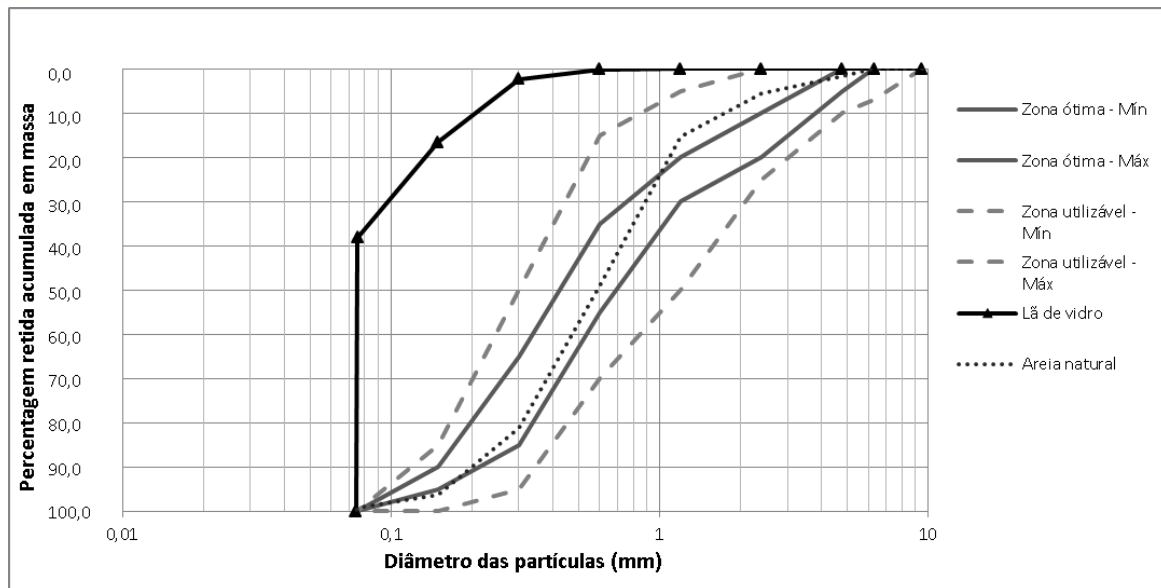


Figura 1 - Distribuição granulométrica do resíduo moído de lã de vidro

Nota-se que a curva da distribuição granulométrica da lã de vidro encontra fora das zonas utilizáveis propostas pela normalização. Devido ao fino material resultante do pós-processamento da lã de vidro, obteve-se mais de 61,8% de sua massa passante na peneira com abertura de 0,075mm. A lã de vidro apresentou uma dimensão máxima de 0,3 mm e a areia natural de 4,8 mm. Os módulos de finuras foram 0,19 e 2,49, respectivamente.

A distribuição granulométrica do resíduo moído de lã de rocha é apresentada na Figura2.

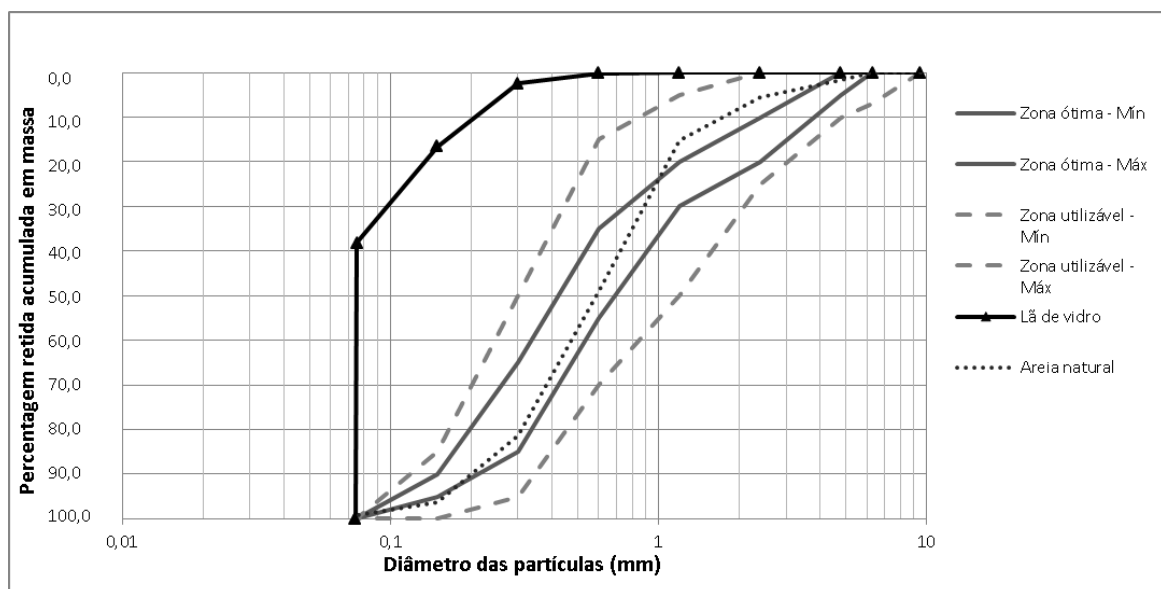


Figura 2 - Distribuição granulométrica do resíduo moído de lã de rocha.



Nota-se que a curva da distribuição granulométrica da lã de rocha encontra-se fora das zonas utilizáveis propostas pela normalização, sendo 26,9% de sua massa passante na peneira com abertura de 0,075mm. A lã de rocha apresentou uma dimensão máxima de 0,3 mm e a areia natural de 4,8 mm. Os módulos de finuras foram 0,19 e 2,49, respectivamente.

3.1.4 Massa específica

Através do ensaio realizado de acordo com a NBR NM 52/03, obteve-se a densidade de massa da areia de 2,65 g/cm³ e devido a particularidades dos resíduos de lãs (LV e LR), o ensaio de massa específica não pôde ser efetuado.

3.1.5 Massa aparente

Através do ensaio realizado de acordo com a NBR NM 45/06, obteve-se a densidade de massa aparente da areia de 1,502 g/cm³, da lã de vidro de 0,88 g/cm³ e da lã de rocha de 0,72 g/cm³. O valor da densidade de massa aparente das lãs é consideravelmente inferior a da areia, sendo da lã de vidro 41,4% inferior a da areia, e a lã de rocha 52% inferior a da areia. As lãs apresentaram menos densas em relação ao agregado natural provavelmente em função da constituição física das lãs obtidas pelo processo de moagem.

3.2 Análises ambientais do agregado reciclado (LV e LR)

A classificação dos resíduos sólidos envolve, entre seus processos, a comparação de seus constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente são reconhecidos. Dentro deste propósito as amostras dos resíduos de lãs foram submetidas às análises ambientais de lixiviação e solubilização, em concordância com os parâmetros de avaliação contidos na NBR 10004/04, onde foram classificadas como resíduo classe II A - não perigoso e não inerte.

3.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

3.3.1 Índice de consistência

Os ensaios de índice de consistência das argamassas foram realizados de acordo com a NBR 13276/05. A Tabela 3 apresenta, em porcentagem, a quantidade de água necessária para cada tratamento onde houve a adição do resíduo (LV ou LR) e do tratamento de referência (TA0).

Tabela 3- Quantidade de água das argamassas (adição do resíduo de LR ou LV)

Traço	Adição	Porcentagem de adição do resíduo	Porcentagem de água
TA0	Natural	0	80
LRTA5	LR	5	67
LRTA10		10	66
LRTA20		20	67
LRTA50		50	74
LVTA5		LV	5
LVTA10	10		73
LVTA20	20		76
LVTA50	50		79

Nota-se que a adição da lã residual (LV ou LR) proporcionou maior plasticidade às argamassas, como no traço LRTA10, com redução de 17,5% da água de amassamento, e no traço LVTA5, com redução de 16,2% da água de amassamento, em relação à pasta de referência. A Tabela 4 apresenta, em porcentagem, a quantidade de água necessária para cada tratamento onde houve a substituição de parte da fração da cal pelo resíduo (LV ou LR) e do tratamento de referência (TS0).

Tabela 4 - Quantidade de água das argamassas (substituição da cal pelo resíduo de LR ou LV)

Traço	Substituição	Porcentagem de substituição da cal pelo resíduo	Porcentagem de água
TS0	Natural	0	160
LRTS5	LR	5	158
LRTS10		10	158
LRTS20		20	132
LRTS50		50	128
LRTS100		100	117
LVTS5		LV	5
LVTS10	10		159
LVTS20	20		161
LVTS50	50		122
LVTS100	100		139

A substituição da cal pela lã residual (LV ou LR) proporcionou maior plasticidade às argamassas, como no traço LRTS100 com redução de 26,9% da água de amassamento e no traço LVTS50 com redução de 23,7% da água de amassamento. No entanto o traço LVTS5 apresentou comportamento distinto dos demais tratamentos, com aumento de 6,9% da água de amassamento.

3.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

3.4.1 Densidade de massa aparente

A determinação da densidade de massa das argamassas no estado endurecido foi realizada de acordo com a NBR13280/05. Na Figura 3 encontram-se as densidades de massa aparente das argamassas, com adição de lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TA0).

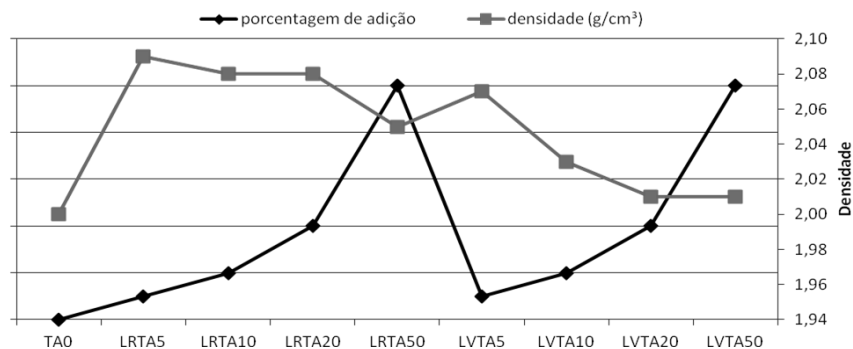


Figura 3 - Densidade de massa aparente das argamassas (adição do resíduo de LR ou LV)

Estes resultados indicam que os traços compostos com adição de resíduos de lãs (LV ou LR) são bem mais densos do que o convencional, devido à granulometria fina do resíduo e, portanto haverá menor índice de vazios.

Na Figura 4 encontram-se as densidades de massa aparente das argamassas com substituição proporcional da cal pelas lãs (LV ou LR), e da argamassa de referência (TS0).

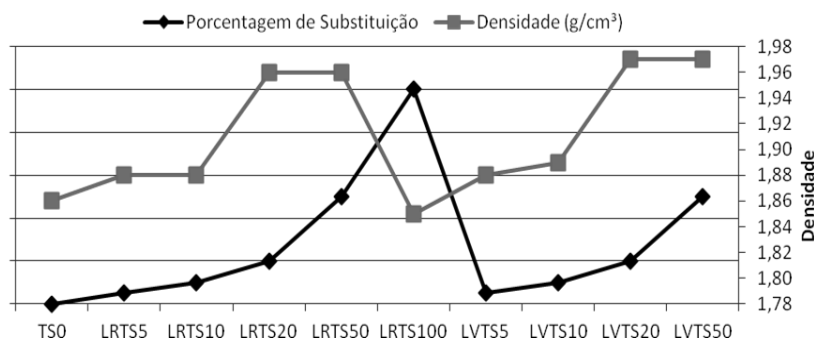


Figura 4 – Densidade de massa aparente das argamassas (substituição da cal pelo resíduo de LR ou LV)

Com exceção do traço LRTS100, nota-se um aumento de densidade nas argamassas cuja cal foi substituída proporcionalmente pela lã (LV ou LR) em comparação com o traço natural em virtude das densidades de massa das lãs, sendo estas 0,88 g/cm³ da lã de vidro e 0,72 g/cm³ da lã de rocha, por serem superiores a densidade de 0,48 g/cm³ da cal (MASSICAL, 2014), exceto na substituição total da cal pela lã devido a existência de vazios, conforme pode ser verificado nos resultados de capilaridade das argamassas

conforme item 3.4.2. Destaque aos traços LVTS20 e LVTS50 que apresentaram densidades 5,9% superiores ao traço TS0.

3.4.2 Absorção de água por capilaridade

Os corpos de prova produzidos foram estudados segundo suas propriedades absorção de água e impermeabilidade de acordo a NBR15259/05. Na Figura 5 encontram-se os coeficientes de capilaridade das argamassas, com adição de lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TA0).

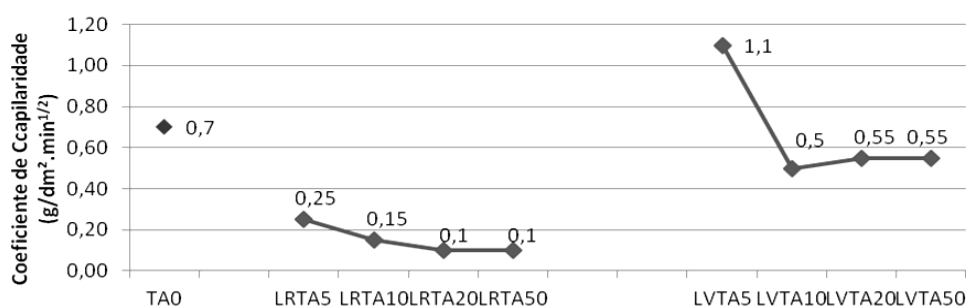


Figura 5 – Coeficientes de capilaridade das argamassas (adição do resíduo de LR ou LV)

A adição da lã de rocha provocou uma redução da capilaridade, como consequência da redução dos índices de vazios. Já a lã de vidro também apresentou menor coeficiente da capilaridade em relação ao traço natural, exceto quando foram adicionados apenas 5%. Na Figura 6 encontram-se os coeficientes de capilaridade das argamassas, com substituição proporcional da cal pela lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TS0).

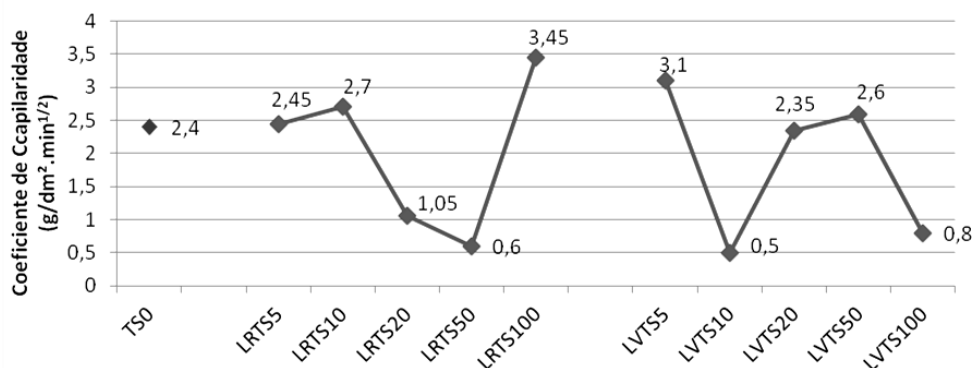


Figura 6 – Coeficientes de capilaridade das argamassas (substituição da cal pelo resíduo de LR ou LV)

A substituição de cal por lã de rocha e lã de vidro apresentou uma considerável redução no coeficiente de capilaridade das argamassas LRTS20, LRTS50, LVT S10 e LVT S100. Contudo, a total substituição da cal pela lã de rocha aumentou sensivelmente o coeficiente de capilaridade da argamassa quando comparada com a de referência. O mesmo acontece para a substituição de 5% de cal pela lã de vidro.

3.4.3 Resistência à compressão

Pela realização dos ensaios em conformidade com a NBR 13279/05, obtiveram-se os resultados referentes à resistência à compressão das argamassas na idade de 28 dias. Na Figura 7 encontram-se as resistências à compressão axial das argamassas, com adição de lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TA0).

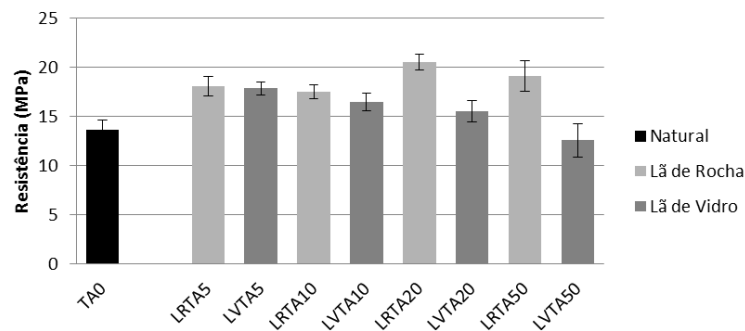


Figura 7 – Resistência à compressão das argamassas (adição do resíduo de LR ou LV)

Todos os traços aditivados com os resíduos de lãs (LV e LR) apresentaram melhor desempenho mecânico em relação ao traço natural (TA0), exceto para a adição de 50% de lã de vidro. O aumento da resistência à compressão pode estar associado com a redução de água e o preenchimento dos vazios da argamassa pelo resíduo adicionado. Na Figura 8 encontram-se as resistências à compressão axial das argamassas com substituição proporcional da cal pela lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TS0).

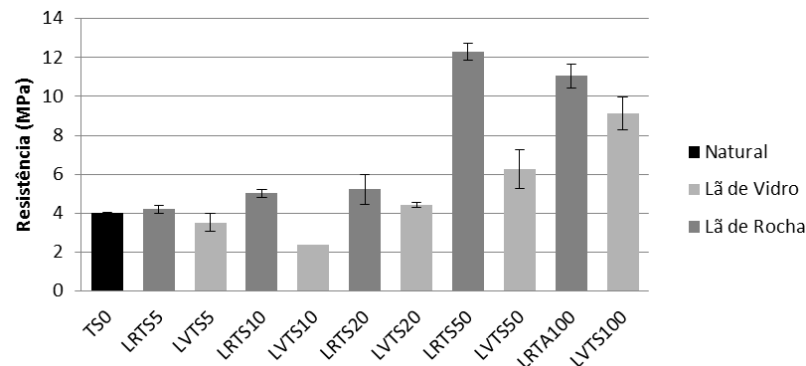


Figura 8 – Resistência à compressão das argamassas (substituição da cal pelo resíduo de LR ou LV)

Para os traços produzidos com substituição da cal pela lã (LV ou LR), verificou-se que os traços LRTS50, LVTS50, LRTS100 e LVTS100, obtiveram um representativo incremento na resistência à compressão, enquanto os traços LRTS5, LVTS5, LRTS10, LRTS20 e LVTS20, apresentaram resultados estatisticamente idênticos ao traço natural (TS0). Apenas o traço LRTS10 apresentou um considerável decréscimo de resistência à compressão, sendo este 40% inferior em relação ao traço natural.

3.4.4 Resistência à tração na flexão

Pela realização dos ensaios em conformidade com a NBR 13279/05, obtiveram-se os resultados referentes à resistência à tração na flexão das argamassas na idade de 28 dias. Na Figura 9 encontram-se e as resistências à tração na flexão das argamassas, com adição de lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TA0).

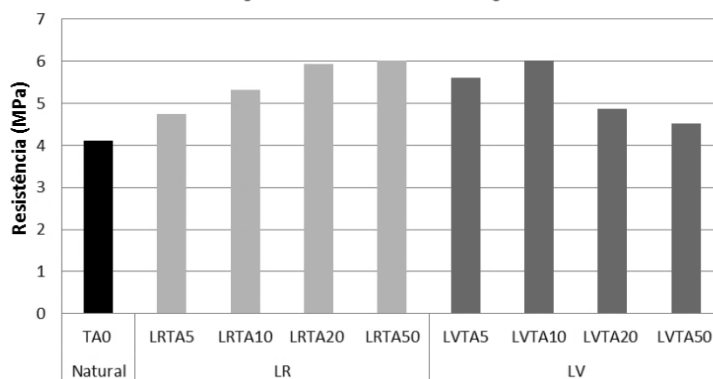


Figura 9 – Resistência à tração na flexão das argamassas (adição do resíduo de LR ou LV)

Todos os traços apresentaram melhor comportamento relativamente à tração na flexão, comparados ao traço natural (TA0). Sendo que quanto maior o teor de resíduo de lã de rocha presente na argamassa, maior será sua resistência à tração, no entanto as argamassas compostas com o resíduo de lã de vidro não apresentaram esta relação.

Na Figura 10 encontram-se as resistências à tração na flexão das argamassas, com substituição proporcional da cal pela lã residual (LV ou LR), e da argamassa de referência (TS0).

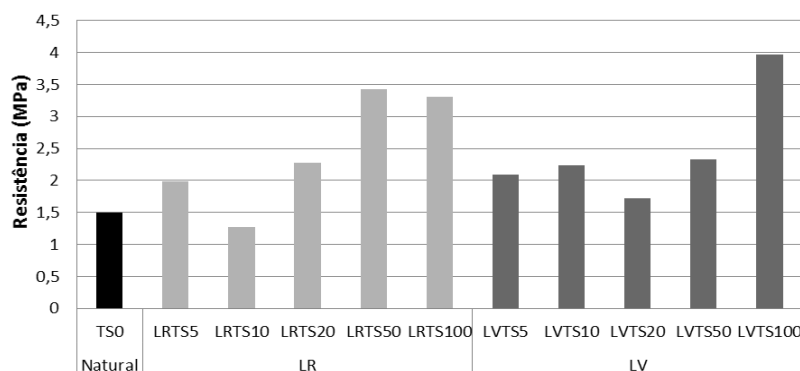


Figura 10 – Resistência à tração na flexão das argamassas (substituição da cal pelo resíduo de LR ou LV)

Para os traços produzidos com substituição da cal pela lã (LV ou LR), verificou-se que os traços LRTS50, LRTS100 e LVT S100, obtiveram um representativo incremento na resistência à tração na flexão, enquanto os traços LRTS5, LVT S5, LVT S10, LRTS20, LVT S20 e LVT S50 apresentaram um acréscimo de resistência menos representativo com



relação ao traço natural (TS0). Apenas o traço LRTS10 apresentou decréscimo de resistência à tração, sendo este 15,9% inferior em relação ao traço natural.

4 Conclusão

Os resultados apresentados das análises das argamassas de resíduos de lãs (LV e LR) relacionam-se aos trabalhos preliminares de investigação, sendo ainda necessários estudos mais detalhados e específicos do tema. As argamassas com adições, comparativamente aos modelos produzidos de forma convencional, apresentaram resultados significativamente melhores, relativamente às propriedades em seu estado endurecido e fresco. Em geral, a adição da lã de vidro e lã de rocha moída proporcionou o aumento da trabalhabilidade das argamassas, sendo possível a redução de água e o aumento da resistência à compressão e a tração para determinados teores de adição. Em relação, especificamente, ao desempenho mecânico das argamassas onde houve a adição dos resíduos, percebe-se que as argamassas constituídas de lã de rocha obtiveram resistências à compressão e a tração maiores em relação às argamassas de lã de vidro. Percebe-se também que em grande parte dos traços onde a cal foi substituída pelo resíduo (LV e LR) quanto maior a porcentagem da substituição, melhor foi o desempenho mecânico das argamassas. As amostras de argamassas com adição lã de vidro e lã de rocha apresentaram redução do coeficiente de capilaridade, exceto para as misturas com 5% de lã de vidro. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho a utilização das lãs de vidro e de rocha em adição ou substituição da cal apresenta-se viável tecnicamente para a produção de argamassas destinadas a construção civil.

5 Agradecimentos

Agradecemos a FAPEMIG, CAPES, CNPq, grupo de pesquisa RECICLOS, pelo apoio e fomento concedidos; a PROPEC, Fundação Gorceix, VALE-SA pela concessão de matérias primas, logística e apoio financeiro.

Referências

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. V.5, São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9939: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10007: Amostragem de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.

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.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NM 248: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

BAAN, E.A.; GROSSE, Y. **Man-made mineral (vitreous) fibres: evaluations of cancer hazards by the IARC.** Monographs Programme. Mutation research, v.81, 2004.

BORGES, P. R. et al. **Caracterização de resíduo de lã de vidro e avaliação de sua utilização na fabricação de concreto.** Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2008-127-00.pdf>, acessado em 30 de junho de 2014.

EVANGELISTA, N. **Estudo da utilização de resíduos industriais de lã cerâmica e lã de vidro em argamassas e concretos.** Tese (doutorado) – UFOP, Ouro Preto, 2011.

WILSON, R.; LANGER, A.M.; NOLAN, R. P. **A risk assessment for exposure to glass wool.** Regulatory toxicology and pharmacology, v.30, n.2, 1999.