

Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes

(Masonry mortars containing expanded vermiculite and rubber aggregates from recycled tires - Relevant properties)

C. L. D. Cintra^{1,3}, A. E. M. Paiva², J. B. Baldo³

¹Departamento de Construção Civil, ²Departamento de Mecânica e Materiais

Instituto Federal do Maranhão, Av. Getúlio Vargas 04, Monte Castelo, S. Luís, MA 65030-000

³Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos, Rod. Washington Luís km 235 S. Carlos, SP 13565-905

cynthia@ifma.edu.br, ernandes@ifma.edu.br, baldo@ufscar.br

Resumo

Neste trabalho são apresentadas algumas propriedades relevantes de argamassas leves para revestimento confeccionadas com: cimento, areia, cal, vermiculita e agregados de borracha de pneus reciclados. Tais argamassas foram comparativamente avaliadas em relação a outras feitas com os mesmos componentes exceto o agregado de borracha reciclada de pneus. As propriedades avaliadas no estado a fresco foram; consistência, retenção de água, tempo final da pega, teor de água, densidade de massa (teórica, experimental) e teor de ar incorporado. No estado endurecido avaliou-se a densidade de massa aparente, a resistência à compressão e a resistência de aderência sob tração. Comparando-se os resultados dos ensaios no estado fresco e no estado endurecido, pode-se concluir que as argamassas contendo vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus, apresentaram propriedades similares no estado fresco, enquanto que no estado endurecido apresentaram melhores resultados de resistência à compressão e aderência, do que aqueles apresentados pelas argamassas que não foram aditivadas com borracha (só com vermiculita). As densidades aparentes das argamassas contendo agregados de borracha reciclada foram naturalmente mais elevadas, porém elas não deixaram de se enquadrar na classe de argamassas leves e apresentaram propriedades no estado fresco e resistência mecânica satisfazendo plenamente às exigências da normalização brasileira pertinente. Os resultados permitem concluir que a combinação borracha e vermiculita em argamassas leves para alvenaria, é uma alternativa viável, aliando aspectos de sustentabilidade e proteção ambiental, além de serem de custo menor comparativamente às argamassas à base apenas de vermiculita.

Palavras-chave: argamassa leve, vermiculita expandida, borracha reciclada de pneus.

Abstract

In this study it is presented some relevant properties of light masonry mortars composed of cement, lime, washed river sand, vermiculite and recycled rubber aggregates from wasted tires. The properties of these mortars were comparatively evaluated to similar ones using the same components except recycled rubber aggregates. The properties in the fresh condition such as; consistency, mass density, mixing water, entrained air content, final set time and the properties in the hardened state such as apparent density, compressive strength and adherence tensile strength, were the comparison parameters. The results indicate that the properties in fresh condition of the rubber containing mortars were similar to those of mortars without rubber aggregates. On the other hand, in the hardened condition the axial compressive strength and adherence tensile strength of the rubber containing mortars were superior to those of mortars without rubber aggregates. The apparent densities of the rubber containing mortars were bigger than the ones without rubber aggregates, however, they still could be categorized as light weight mortars, fully satisfying the Brazilian standards requirements. These findings indicate that the vermiculite and rubber combination are a feasible, cheaper and sustainable alternative for light weight masonry mortars compared to the ones containing only vermiculite.

Keywords: light weight mortar, expanded vermiculite, recycled rubber tire.

INTRODUÇÃO

O destino final consciente de resíduos sólidos gerados pelo homem tem sido objeto de muitas pesquisas que acabam tendo como foco principal, o aproveitamento destes resíduos para gerar materiais alternativos. Acrescentar produtos reciclados em aplicações de engenharia, não envolve apenas a questão ambiental, mas em muitos casos pode modificar ou melhorar,

sob baixa relação custo/benefício, algumas propriedades importantes com reflexos positivos no comportamento do produto final. Neste aspecto, a construção civil é uma das áreas que tem absorvido uma gama de resíduos sólidos reciclados em componentes de edificações.

Os revestimentos e acabamentos das paredes constituem parte significativa das edificações contribuindo para a proteção das mesmas contra as ações climáticas, mecânicas

e/ou ambientais. Um dos revestimentos tradicionais de presença obrigatória é o revestimento à base de argamassa [1]. Este elemento construtivo tem como principal função proteger as estruturas de vedação, conferindo isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases além de regularizar a superfície para receber outros revestimentos e o acabamento final. Para que uma argamassa cumpra as suas funções adequadamente é necessário que apresente tanto no estado fresco como no endurecido, algumas propriedades notadamente o índice de trabalhabilidade, a resistência à compressão e a aderência sob tração [1].

Devido às suas características químicas, mineralógicas e micro-estruturais, é bastante disseminado o uso de vermiculita expandida em argamassas leves, uma vez que confere propriedades interessantes tais como: diminuição de peso estrutural, ausência de toxidez, incombustibilidade, capacidade de absorção de líquidos e isolamento térmico e acústico. Por sua vez agregados de borracha reciclada de pneus tem sido utilizados em concreto, visando principalmente melhorar à resistência ao impacto. A incorporação de agregados reciclados de borracha de pneus em argamassas leves de revestimento contendo vermiculita aparentemente ainda não foi reportada na literatura. Sob o ponto de vista construtivo, essa inclusão, não só pode contribuir para a sustentabilidade e proteção ambiental, mas também para diminuir o custo comparativamente às argamassas só com vermiculita.

Baseando-se no exposto acima, o objetivo principal desta pesquisa foi desenvolver e investigar as propriedades relevantes de argamassas leves contendo vermiculita areia, cimento, cal e agregados de borracha reciclada de pneus, para aplicação em paredes, pisos e lajes. A borracha neste caso cumpriu as funções de agregado, tendo sido adicionada em duas granulometrias diferentes em substituição tanto de parte da vermiculita como da areia. Paralelamente as argamassas contendo agregados de borracha, foram comparadas com outras argamassas leves, contendo no seu traço apenas vermiculita, areia, cimento e cal. A verificação do potencial construtivo consistiu na avaliação quanto aos aspectos físicos no estado fresco e aos mecânicos no estado endurecido, através dos ensaios de consistência, retenção de água, tempo de pega, densidade de massa (teórica, experimental e aparente), o teor de ar incorporado, a resistência à compressão e a resistência de aderência sob tração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudadas quatro composições de argamassa, dois traços utilizando cimento, cal, areia, vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus e dois traços contendo cimento, cal, areia e vermiculita expandida. A metodologia seguida para confeccioná-las foi a mesma reportada em [2]. Na Tabela I são mostrados os materiais e seus respectivos percentuais utilizados nas composições estudadas. Como aditivos especiais foram utilizados, um sal sódico de ácido naftaleno sulfônico (SSNS) em pó, de função superplastificante e a microsilica objetivando compensar

Tabela I - Composições das argamassas pesquisadas.
[Table I - Composition of the investigated mortars.]

Composição	A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)	A4 (%)
Cimento CII F32	25	30	25	20
Cal CHIII	15	10	20	15
Areia lavada de rio (finura = 2,56)	27	12	12	28
Vermiculita expandida < 2 mm	20	12	40	34
Borracha grossa (2 a 3 mm)	7	18	-	-
Borracha fina (<1 mm)	3	15	-	-
Microsilica Elkem 920 U	3	3	3	3
SSNS	0,3	0,3	0,3	0,3
H ₂ O	50	40	80	70

a perda natural da resistência mecânica das argamassas, pois as mesmas são de porosidade elevada e, portanto de resistência mecânica inerentemente baixa.

As argamassas foram confeccionadas misturando-se primeiramente a seco os materiais em um misturador planetário conforme determinação da NBR 13279 [3], em seguida colocou-se a água previamente medida, para um índice de trabalhabilidade próximo a 250 mm. A mistura prosseguiu por mais 5 min para homogeneização. Os corpos de prova para ensaio de compressão foram moldados em moldes cilíndricos confeccionados de PVC com base de madeira, medindo 50 mm x 100 mm. Para o ensaio de aderência sob tração, que é medido através do ensaio de arrancamento por tração, foram feitas aplicações sobre um substrato padrão (concreto) de 250 mm x 500 mm x 20 mm, conforme NBR 14082 [4].

A densidade de massa, também denominada massa específica, é a relação entre as massas da argamassa e o seu volume podendo ser absoluta e relativa. Na absoluta não são considerados os vazios que estão no volume da argamassa, e na relativa os vazios são considerados, ocorrendo desta maneira, a variação também do teor de ar de acordo com a massa específica dos materiais constituintes desta argamassa. A NBR 13278 [5] determina que o cálculo da densidade de massa A no estado fresco deve ser realizado por meio da equação A.

$$A = (M_C - M_V) / V_r \quad (A)$$

na qual M_C = massa do recipiente cilíndrico de PVC, contendo a argamassa de ensaio, em g, M_V = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em g, e V_r = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em cm³.

O teor de ar incorporado é a quantidade de ar presente em um determinado volume de argamassa, segundo a equação indicada (B) pela NBR 13278 [5], devendo ser expresso em porcentagem, arredondado ao número inteiro mais próximo.

$$AI = 100 \times [1 - (A/B)] \quad (B)$$

sendo A= densidade de massa com vazios, B= densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios.

Por sua vez, a densidade de massa aparente é calculada a partir dos corpos de prova no estado endurecido utilizando a fórmula que consta na NBR 13280 [6]. Os corpos de prova são medidos e pesados, calculando-se os volumes dos mesmos e posteriormente a razão da massa pelo volume.

A trabalhabilidade avalia qualitativamente a facilidade para o manuseio. É uma propriedade complexa, que depende de variáveis inter-relacionadas que conjuntamente concorrem para a boa qualidade e produtividade durante a aplicação. Algumas destas variáveis são: adesão inicial, plasticidade, consistência, retenção de água, início e final de pega. Varias propriedades das argamassas no estado endurecido estão diretamente relacionadas a trabalhabilidade inicial. Diz-se que uma argamassa é trabalhável quando for lançada na parede, distribui-se facilmente, não endurece e nem adere à ferramenta do pedreiro, se mantendo sem segregação ao ser transportada e permanecendo plástica durante o tempo da sua aplicação [7].

A adesão inicial é a capacidade de união da argamassa no estado fresco ao substrato. Após a argamassa ser lançada deve fixar-se à parede, sem escorrer ou desprender e possibilitar o manuseio para conformá-la corretamente, fazendo com que quando chegar ao estado endurecido tenha uma boa aderência.

Plasticidade é a propriedade que permite a argamassa se deformar sem que haja a ruptura mantendo a forma adquirida quando da sua aplicação.

As argamassas com cal hidratada são mais plásticas, facilitando o espalhamento devido as suas características coloidais. A plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, sendo que, tanto a plasticidade quanto a consistência são influenciadas pelo teor de ar incorporado, teor de água e processo de mistura [8]. O índice de consistência é a propriedade em que a argamassa no estado fresco, tende a resistir a deformações impostas, determinado pela medida do espalhamento de uma porção da argamassa moldada em forma de tronco de cone sobre a mesa de ensaio, conforme NBR 13276 [9]. Utilizou-se para fazer este ensaio a mesa de consistência (*flow table*) descrita pela NBR 7215, anexo B [10] e a metodologia descrita na NBR 13276 [9]. Neste ensaio, a argamassa é colocada em um tronco de cone sendo a seguir vazada sobre mesa pela retirada do cone. A argamassa é deformada mediante quedas padronizadas. Após uma seqüência de golpes mede-se a deformação resultante com o auxílio de um paquímetro. O índice de consistência é calculado através da média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais da argamassa espalhada na mesa.

A retenção de água é a propriedade que confere à argamassa a capacidade de não alterar seu comportamento reológico. Está ligada a capacidade da argamassa no estado fresco em manter a trabalhabilidade quando da perda de quantidade de água de amassamento, que ocorre ou pela evaporação, ou pela absorção pelo substrato ou pela reação de hidratação do cimento. Esta propriedade interfere tanto no

comportamento da argamassa no estado fresco, quanto afeta as propriedades no estado endurecido. A argamassa precisa que grande parte do percentual da água fique retida para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de uma maneira adequada, de modo que as propriedades no estado endurecido sejam satisfatórias.

Nas argamassas mistas (cimento e cal) temos uma cura mais correta, pois a água armazenada pela cal vai sendo liberada de modo gradual e lento, atendendo as necessidades do cimento. A cal, por ser mais fina e ávida por água retém por mais tempo a água de amassamento.

Os ensaios de retenção de água seguiram a metodologia descrita na NBR 13277 [11] e foram calculadas segundo as fórmulas C e D.

$$Ra = 1 - \left[\frac{Mf - Mse}{AF \times (Mma - Mm)} \right] \times 100 \quad (C)$$

sendo AF = fator água/argamassa fresca

$$AF = M_w / (M + M_w) \quad (D)$$

Ma qual w = massa total de água acrescentada à mistura, em g, M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa feita em obra, em g, Mf = massa de conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g, Mse = massa do conjunto de discos secos, em g, Mma = massa do molde com argamassa, em g, Mm = massa do molde vazio, em g.

O início da pega aponta o ponto em que a pasta se torna não trabalhável, iniciando a solidificação, já o fim da pega representa o tempo necessário para a completa solidificação, determinado pelo intervalo de tempo entre adição de água no cimento até o momento em que a agulha de área maior, utilizada para o final da pega, ao penetrar a pasta, não deixar marca na superfície da argamassa [12].

A resistência à compressão axial, foi avaliada segundo a NBR 13279 [3]. Cinco corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm de cada composição foram ensaiados aos 28 dias de idade, utilizando uma máquina de ensaio mecânico EMIC DL 10.000, com a célula de carga de 5 KN sob velocidade de travessão constante de 1 mm/min, sendo que o ensaio foi interrompido quando a deformação atingiu 10%.

A aderência sob tração é a propriedade que o revestimento tem em se manter fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface substrato/revestimento. Esta aderência é resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da tensão de aderência da argamassa. As propriedades da argamassa no estado fresco, o material, as condições do substrato e os procedimentos da execução do revestimento influenciam diretamente nesta aderência [13].

A grande maioria dos estudos encontrados sobre ensaios de aderência à tração utiliza substratos (base para aplicação das camadas de revestimento) de blocos cerâmicos ou de concreto, sendo que nesta pesquisa, a argamassa foi aplicada em substratos de concreto, seguindo a NBR 14082

[4]. As argamassas foram aplicadas sobre os substratos, confeccionados com 28 dias de antecedência. Após 28 dias de cura, foram feitos 12 cortes, empregando-se serra copo diamantada, acoplada a um equipamento de extração de testemunhos, onde foram coladas pastilhas de alumínio. No dia seguinte, após escovar e fazer a remoção de alguma partícula na superfície dos corpos de prova é feita a fixação das pastilhas de alumínio com 50 mm de diâmetro onde foram rosqueadas olhais para acoplar o equipamento de tração, conforme Fig. 1.

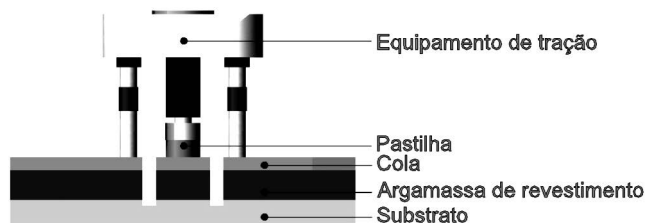


Figura 1: Esquema da operacionalização do ensaio de aderência à tração.

[Figure 1: Scheme of operation of the test will grip traction.]

Passados 24 h da colagem da pastilha iniciaram-se os ensaios, utilizando-se o equipamento de tração mecânico pull-off tester modelo Dyna. Selecionou-se a taxa de carregamento, em função da resistência de aderência à tração, de tal maneira que o ensaio dure de 10 a 80 s, conforme a tabela existente na NBR 13528 [14]. Após a escolha da taxa de carregamento iniciam-se os ensaios até a ruptura. Anota-se o tipo de ruptura do corpo de prova tomando com referência os tipos de rupturas definida pela NBR 13528 [14]. O cálculo da resistência de aderência à tração é resultado da fórmula (E):

$$R_a = P / A \quad (E)$$

na qual R_a = resistência de aderência à tração, em MPa, P = carga de ruptura, em N, A = área da pastilha, em mm^2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela II são apresentados os resultados das densidades (experimental, teórica e aparente) e o teor de ar incorporado das 4 argamassas estudadas.

As densidades de massa aparente das argamassas contendo agregados de borracha reciclada, A1 e A2, são aproximadamente 30% maiores comparativamente aos valores das argamassas A3 e A4, que não contêm agregados de borracha. Este fato já era previsto considerando-se que a borracha tem uma densidade de $0,86 \text{ g/cm}^3$ enquanto que a vermiculita expandida utilizada tem densidade de $0,23 \text{ g/cm}^3$. Pode-se perceber que as densidades obtidas são substancialmente menores do que as de argamassas convencionais de cimento, cal e areia ($1,7$ a $2,0 \text{ g/cm}^3$), o que as tipifica como argamassas leves. Note-se também que o teor de areia foi variado em função de seu substituto

Tabela II - Densidades e teor de ar incorporado das quatro argamassas estudadas.

[Table II - Densities and incorporated air content of the four mortars studied.]

Argamassa	Densidade experimental (g/cm^3)	Densidade teórica (g/cm^3)	Densidade aparente (g/cm^3)	Teor de ar incorporado (%)
A1	1,59	1,90	0,80	16,37
A2	1,56	1,75	1,05	10,81
A3	1,21	1,71	0,65	29,23
A4	1,27	1,67	0,78	23,95

(vermiculita ou borracha). Quanto ao teor de ar incorporado à composição com um maior percentual de vermiculita (A3) tem o maior percentual de ar incorporado, enquanto que a com menor percentual de vermiculita (A2) tem o menor teor de ar incorporado, o que já era igualmente esperado. O teor de ar incorporado é um parâmetro que influencia bastante na trabalhabilidade, pois quanto mais leve for a argamassa, maior a trabalhabilidade e o tempo em que se mantém trabalhável. Isto possibilita reduzir o esforço durante a sua aplicação resultando em maior produtividade. Porém vale lembrar que o ar incorporado, que corresponde aos vazios formados pela entrada de ar no interior da argamassa, apesar de favorecer a sua trabalhabilidade, prejudica a resistência mecânica final [15].

Na Tabela III são apresentados os resultados de consistência, retenção de água, resistência à compressão e aderência na tração.

A consistência é diretamente determinada pela quantidade de água, e no caso desta pesquisa observa-se que o percentual de água esta diretamente relacionada ao percentual de vermiculita. Assim a argamassa A3 contendo 40% de vermiculita exigiu 80% de H_2O enquanto que A2 contendo 12% de vermiculita exigiu apenas 40% de H_2O . Pelos resultados, segundo a NBR 13281 [16], as 4 argamassas estudadas possuem alta capacidade de retenção de água (> 90%), e isto é significativo considerando-se que a argamassa que não possui capacidade de retenção de água adequada, afeta negativamente o seu manuseio, comprometendo a qualidade do revestimento, pois as reações de hidratação do cimento e carbonatação da cal (Ca(OH)_2) ficarão prejudicadas.

Para determinar o tempo final de pega, utilizaram-se as normas NM 43 [17] e NM 65 [18]. Inicialmente foi determinado o teor de água da pasta de consistência normal para as 4 composições e posteriormente utilizando-se o aparelho Controls Vicamatic, Aparelho Agulha de Vicat. O tempo do final da pega de todas as 4 argamassas estudadas foi similar ≤ 15 h. As Figs. 2 e 3 mostram as relações entre a consistência, teor de ar incorporado e a retenção de águas das 4 argamassas estudadas.

Como pode ser observado nos gráficos das Figs. 2 e 3, a consistência esta diretamente relacionada ao percentual de

Tabela III - Propriedades gerais das quatro argamassas estudadas.
 [Table III - General properties of the four mortars studied.]

Argamassa	Consistência (mm)	Retenção de água (%)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência de aderência à tração (MPa)
A1	243,5	99,91	1,34	0,24 (b)
A2	231,5	99,94	1,44	0,26 (b)
A3	273,5	99,89	1,36	0,18 (b)
A4	261,5	99,90	1,25	0,21 (b)

(b) Ruptura na argamassa segundo a NBR 13528⁽¹⁰⁾

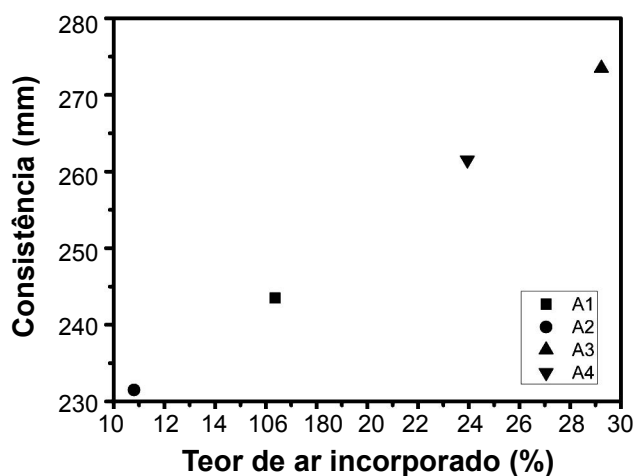


Figura 2: Teor de ar incorporado versus consistência das argamassas.
 [Figure 2: Incorporated air content versus consistency of the mortars.]

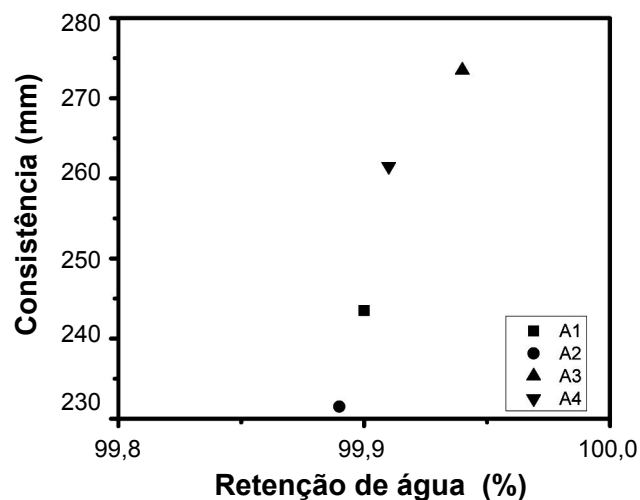


Figura 3: Retenção de água versus consistência das argamassas.
 [Figure 3: Water retention versus consistency for the mortars.]

vermiculita, ou seja, quanto maior a quantidade de vermiculita na composição, maior o índice de consistência. Esta mesma relação pode ser observada nos resultados de ensaio de retenção de água. Isto é, quanto maior o percentual de vermiculita, maior o percentual de retenção de água. Embora as argamassas contendo agregados de borracha tenham

apresentado comparativamente uma menor consistência do que aquelas apenas com vermiculita, os níveis alcançados foram suficientes para uma aplicação satisfatória. Por sua vez os resultados dos ensaios de resistência à compressão das 4 (quatro) argamassas estudadas, apresentaram valores variando na faixa de 1,25 a 1,44 MPa. Estes valores satisfazem plenamente as exigências da NBR 13281 [16]. De acordo com esta norma, as argamassas estudadas são classificadas como sendo do Tipo I (entre 0,1 e 4,0 MPa).

Algumas relações entre os resultados obtidos nos ensaios de densidade aparente, compressão uniaxial e teor de ar incorporado estão nas Figs. 4 e 5.

As resistências mecânicas das argamassas contendo vermiculita e/ou borracha reciclada não diferiram acentuadamente, apresentando todas, valores acima dos exigidos pela norma. Quando se analisa a relação densidade aparente versus resistência à compressão (Fig. 4), para as argamassas sem borracha, nota-se que a argamassa A3 foi a de menor densidade aparente, mas apresentou uma boa resistência à compressão. Por sua vez a argamassa A4 com maior densidade aparente do que a A3, tem a menor resistência à compressão. Esse fato pode ser explicado pela maior quantidade de componentes cimentantes (cimento+cal+microsilica) utilizados na argamassa A3.

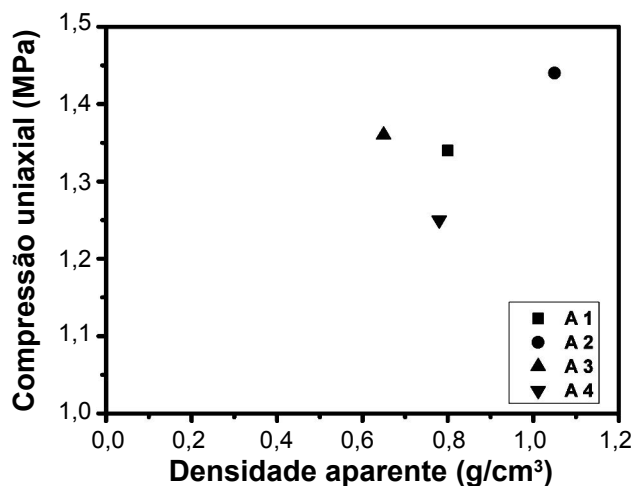


Figura 4: Densidade aparente versus compressão uniaxial das argamassas.

[Figure 4: Bulk density versus uniaxial compressive strength of the mortars.]

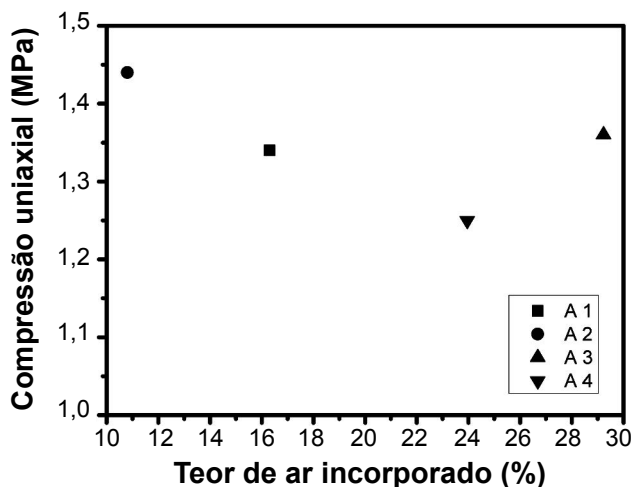


Figura 5: Teor de ar incorporado versus compressão uniaxial das argamassas.

[Figure 5: Incorporated air content versus uniaxial compressive for the mortars.]

Com relação às argamassas contendo borracha, vemos que a argamassa A2 com maior teor de borracha foi a de maior densidade dentre todas, mas também foi a de maior resistência mecânica à compressão. Assim as resistências mecânicas das argamassas contendo vermiculita e/ou borracha reciclada embora tenham diferido nos níveis de resistência mecânica à compressão, apresentaram todos os valores acima dos exigidos pela norma.

Outro aspecto interessante diz respeito aos resultados de ar incorporado (Figs. 4 e 5), vis a vis com os de resistência mecânica e densidade aparente. Eles poderiam indicar uma contradição, uma vez que seria esperada uma menor resistência mecânica para quem tivesse menor densidade de massa e maior teor de ar incorporado. Essa contradição é apenas aparente, pois se analisarmos a Tabela I das composições, pode-se perceber que as argamassas foram formuladas com quantidades de agentes ligantes (cimento + cal) em teores propositalmente diferenciados, para compensar perda de resistência mecânica, quando os teores de vermiculita ou de borracha reciclada fossem aumentados e este objetivo foi alcançado. Como a argamassa de revestimento não tem função estrutural, a resistência mecânica em si, poderia ser um parâmetro secundário no comportamento do revestimento. Porém a resistência de aderência sob tração da argamassa é um componente muito significativo [19].

A resistência de aderência sob tração é importante nos casos em que as manifestações patológicas passam a interferir no equilíbrio do sistema, como por exemplo, quando ocorre uma fissura na argamassa e a mesma não é recuperada. Desse modo, a água pode encontrar um caminho por estas trincas e acabar por atingir a interface argamassa/substrato, prejudicando ao longo do tempo, a ligação argamassa/parede e o revestimento se desprende pela falta de aderência [20]. Nesta pesquisa todos os corpos de prova, nos ensaios de resistência de aderência tração, apresentaram ruptura na própria argamassa, conforme a

Fig. 6, e os resultados das argamassas contendo borracha, satisfazem melhor as exigências da NBR 13749 [21] que especifica o mínimo de 0,20 MPa de aderência sob tração, para revestimentos internos e tetos. Por sua vez as resistências de aderência, apresentadas pelas argamassas contendo apenas vermiculita ficaram próximas ao limite mínimo exigido pela norma.

Na Fig. 6 é apresentado um desenho esquemático, do modo de ruptura das argamassas, após ensaio para determinar a resistência à aderência sob esforço de tração - ruptura na argamassa- onde deve preferencialmente ocorrer.



Figura 6: Desenho esquemático do modo de ruptura das argamassas no ensaio de resistência de aderência à tração.

[Figure 6: Schematic drawing of the failure mode of the test mortar bond strength will pull.]

Nas Figs. 7, 8 e 9, as relações entre os resultados obtidos nos ensaios de resistência de aderência versus propriedades são apresentados.

Na Fig. 7 vemos que novamente a argamassa A2, contendo o maior teor de borracha e maior densidade, foi ligeiramente mais aderente do que a argamassa A1 de menor teor de borracha. Fica claro que as argamassas só com vermiculita são menos aderentes. Podemos então inferir, que a borracha contribui significativamente para a aderência através de um mecanismo ainda a ser estudado.

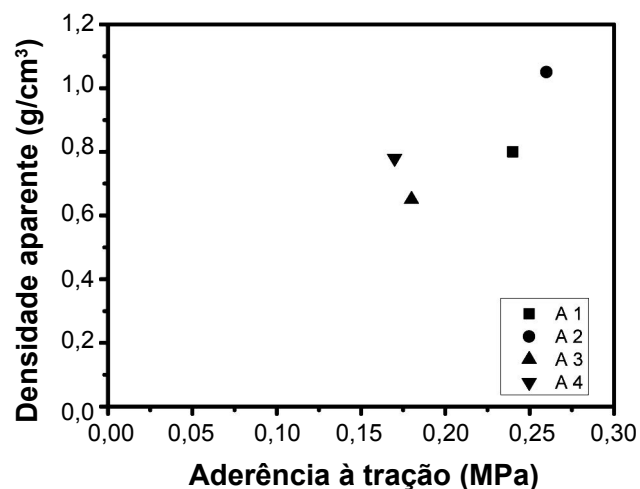


Figura 7: Aderência à tração versus densidade aparente das argamassas.

[Figure 7: Adhesion tensile strength versus Bulk density for the mortars.]

Nota-se pela Fig. 8, a mesma relação entre a resistência à compressão e à aderência, que foi encontrada para a densidade e aderência, ou seja, as argamassas contendo borracha apresentaram uma relação clara de quanto maior o teor de borracha, maiores foram a aderência e resistência à compressão. Enquanto que para as argamassas só com vermiculita essa regularidade não ocorreu. Este fato é interessante, pois a borracha não apresenta qualquer interação com a matriz cimentante, considerando que os agregados reciclados de borracha, ficam apenas sob constrição mecânica.

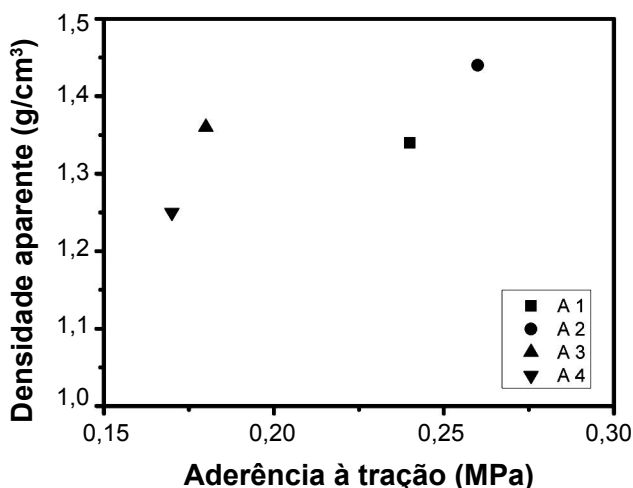


Figura 8: Aderência à tração versus compressão uniaxial das argamassas.

[Figure 8: Adhesion tensile strength versus uniaxial compressive strength of the mortars.]

Na Fig. 9 a inclusão de agregados de borracha diminui sensivelmente o teor de ar incorporado e melhora a aderência. Este fato, no entanto, não impede que nas argamassas sem borracha a aderência possa ser boa, mesmo com elevado teor de ar incorporado. Deve-se neste último caso reforçar a matriz.

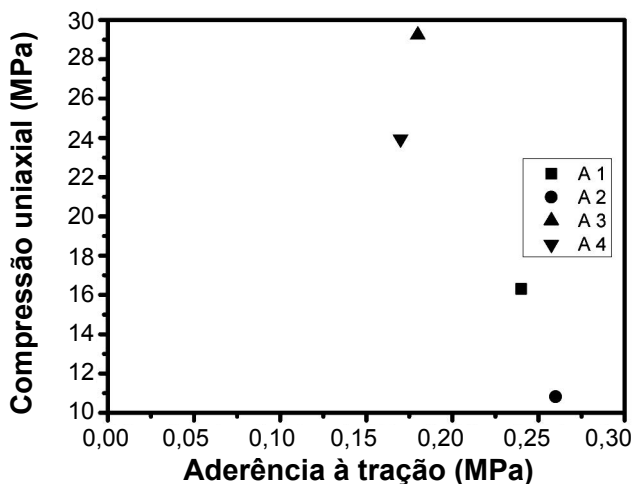


Figura 9: Aderência à tração pelo teor de ar incorporado das argamassas.

[Figure 9: Adhesion tensile strength versus incorporated air content for the mortars.]

CONCLUSÕES

Foram investigadas composições de argamassas para revestimentos contendo borracha de pneus reciclados, que combinassem principalmente leveza (com vistas à diminuição de peso estrutural), sustentabilidade e proteção ambiental, mas que também atendessem as determinações das normas. As argamassas com vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus (A1 e A2) apresentaram uma aderência 40% maior do que as argamassas sem a borracha (A3 e A4). Dentre as argamassas com vermiculita e borracha reciclada de pneus, a que tem um maior percentual de borracha (A2= 33%) tem maior aderência que a que tem menor percentual desta borracha (A1= 10%), demonstrando a importância da incorporação deste componente na argamassa para efeito de aderência. Com a substituição de um percentual de agregados (areia) pela vermiculita e/ou borracha reciclada de pneus as 4 composições, sob uma dosagem adequada de fase ligante (cimento + cal), as argamassas desenvolvidas apresentaram resultados satisfatórios quanto às propriedades físicas no estado fresco e endurecido e principalmente quanto à resistência à compressão e aderência à tração independente da composição. Constatou-se que quanto maior o percentual de borracha, menor é o teor de ar incorporado e melhor a aderência à tração da argamassa no substrato feito de concreto. A inclusão de vermiculita e borracha reciclada de pneus, aliada a uma dosagem adequada dos agentes cimentantes, não alterou a trabalhabilidade e aplicabilidade das argamassas que apresentaram propriedades no estado fresco e endurecido compatíveis às exigidas pelas normas de argamassas de revestimento para edificações.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e à FAPESP (CMDMC/CEPID).

REFERÊNCIAS

- [1] H. Carasek, "Argamassas", in G. C. Isaia. (Org.), "Materiais de Construção Civil", 1ª Ed., V. 1, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), S. Paulo, SP (2007) 863-904.
- [2] N. Segre, I. Joekes, *Use of Tire Rubber particles as addition to cement Paste*, Cement Concrete Res. 30 (2000)1421-1425.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13279, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à compressão* (1995).
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14082, *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios* (2004).
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13278, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado* (1995).

- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13280, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido* (1995).
- [7] F. H. Sabbatini, L. L. M. Baía, “Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa”, 1ª Ed., O Nome da Rosa Editora Ltda., S. Paulo, SP (2000) 82.
- [8] M. A. Cincotto, M. A. C. Silva, H. C. Cascudo, *Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio*, Boletim Técnico n. 68, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, S. Paulo, SP (1995).
- [9] 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* (2002).
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7215, *Cimento Portland. Determinação da resistência à compressão* (1996).
- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13277, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da retenção de água* (1995).
- [12] P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, “Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais”, 1ª Ed. Editora PINI, S. Paulo, SP (1994).
- [13] L. L. Maciel, M. M. S. B. Barros, F. H. Sabbatini, *Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externas e tetos*, EPUSP, S. Paulo, SP (1998).
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13528, *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação da resistência de aderência à tração* (2010).
- [15] A. A. P. MANSUR, *Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)*, 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR (2006).
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13281, *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Requisitos* (2005).
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR NM43, *Cimento Portland. Determinação da pasta de consistência normal* (2003).
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR NM65, *Cimento Portland. Determinação do tempo de pega* (2003).
- [19] C. S. Kazmierczak, D. E. Brezezinski, D. Collatto, *Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa*, Estudos Tecnológicos 3, 1 (2007) 47-58
- [20] J. B. L. Liborio, V. S. Silva, *Estudo da aderência de argamassas de revestimento e chapiscos em estruturas de concreto armado*, Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, MG (2002).
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13749, *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Especificação* (1996).
(Rec. 16/06/2013, Ac. 12/10/2013)