

PÓ DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Powder of rubber of useless tires in plastering mortar

José Aparecido Canova¹, Rosângela Bergamasco², Generoso De Angelis Neto³

Recebido em 05 de janeiro de 2015; recebido para revisão em 09 de julho de 2015; aceito em 15 de setembro de 2015; disponível on-line em 12 de novembro de 2015.



PALAVRAS CHAVE:

Resíduo de pneus;
Argamassa mista;
Resistência de aderência à tração;
Módulo de deformação.

KEYWORDS:

Tires residue;
Plastering mixed mortar;
Tensile bond strength;
Deformation module.

RESUMO: Resíduos de pneus inservíveis têm sido avaliados em materiais a base de cimento. Assim, este trabalho objetivou estudar os efeitos desses resíduos em argamassa mista de revestimento, com foco na fissuração. Utilizou-se a cal virgem e areia natural no traço 1:6 (em volume). A mistura maturada foi seca em estufa, recebeu o cimento compondo o traço 1:1,5:9 (em volume) e adições de pó de borracha nas proporções (6%, 8%, 10% e 12%) em volume de agregado. Avaliou-se a massa específica, o teor de ar incorporado e a retenção de água no estado plástico, a resistências à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral, o módulo de deformação estática e a absorção de água por imersão no estado endurecido. Em corpos de prova aplicados sobre substratos avaliou-se a aderência à tração e a fissuração. A argamassa com resíduos de pneus apresentou menores incidências de fissuras visíveis, redução nas propriedades mecânicas e aumento no teor de ar incorporado. Como contribuição principal do trabalho, conclui-se que o produto estudado representa uma potencial alternativa que contribui para a redução de fissuras em revestimentos além de contribuir com a redução do passivo ambiental dos pneus inservíveis.

ABSTRACT: Waste scrap tires have been appraised in cement base materials. Thus, this work aimed study the effects of these residues in the plastering mixed mortar, with a focus on cracking, we used quicklime powder and sand (natural sand) in a proportion 1:6 (by volume). The ripened mixture was previously dried in an oven, this received cement, resulting in the proportions 1:1,5:9 (by volume) and the addition of rubber powder in the proportions 6%, 8%, 10% and 12% by aggregate volume. We evaluated the specific mass, air content, water retention in the plastic state, the axial compressive strength, the tensile strength by diametrical compression, static deformation module, and water absorption by immersion in the hardened state. The tensile bond strength and cracking was evaluated in specimens applied in different substratum. The mortar with scrap tires presented smaller incidences of visible cracks, besides showing a reduction of mechanical properties and increase in air content. The product studied is an alternative that contributes to the reduction of cracks in plastering as well as contributing to reducing the environmental liabilities of waste tires.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: jacanova@uem.br (J. A. Canova)

Doutor em Eng. Química, Professor Adjunto da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

² e-mail: rosangela@deq.uem.br (R. Bergamasco)

Doutora em Eng. Química, Professora Associada da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

³ e-mail: ganeto@uem.br (G. De Angelis Neto)

Doutor em Eng. Civil, Professor Titular da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

1. INTRODUÇÃO

As argamassas, quando aplicadas como revestimento de fachadas exposto ao intemperismo, estão sujeitas a variações

dimensionais, que por sua vez resultam em desempenho inadequado, como é o caso da fissuração. “A ocorrência de fissuras decorre da elasticidade e resistência à tração inadequada diante das tensões de tração resultantes da

retração por secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento” (CINCOTTO et al., 1995). “Uma combinação do módulo de deformação e da deformação por retração pode gerar um valor de tensão que, ao atingir a resistência à tração da argamassa, leva à fissuração” (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Para que isso não ocorra, o material terá que possuir uma extensibilidade adequada.

Assim têm-se condições que favorecem a diminuição de fissuração em revestimento com a contribuição da deformabilidade do material e da resistência à tração. “Estas contribuições ainda podem ser beneficiadas pelo relaxamento das tensões que provêm em alguns casos, da microfissuração interna que ocorre no material quando a retração é impedida nas primeiras idades” (MEHTA e MONTEIRO, 1994; BASTOS, 2001).

Uma alternativa que é possível contribuir com a melhora das propriedades de deformabilidade da argamassa de revestimento é a introdução do pó de borracha proveniente de pneus inservíveis. Por ser um material altamente elástico, a borracha contribui para uma melhor adequação da elasticidade e com isto, tende a melhorar o desempenho com relação à fissuração das argamassas. Tem-se ainda que o pó de borracha apresenta-se como um resíduo aceitável para utilização em argamassas em relação a sua durabilidade, pois as fibras da borracha são muito resistentes à degradação do meio. Dessa forma a inserção do pó de borracha na argamassa de revestimento, além de gerar um ganho de qualidade no material, pode contribuir para a redução do impacto ao meio ambiente. Haja vista que o pneu é um produto não biodegradável e encontra-se em estado sólido. A NBR 10.004 (ABNT, 2004) considera o rejeito de borracha de pneus como resíduo Classe II que quer dizer não perigoso, ou seja, que não causa riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública. No entanto, os pneus inservíveis ao serem depositados no meio ambiente requerem uma atenção especial, por conta do seu formato que contribui para o acúmulo de água de chuva, gerando focos potenciais de criadouros de vetores, como o mosquito transmissor da dengue,

estes ainda quando queimados produzem uma fumaça altamente tóxica, que contamina o ar, além de expelir um óleo que pode se infiltrar no solo e contaminar o lençol freático (ODA, 2000).

Estudos realizados com resíduos de borracha de pneus inservíveis em concreto iniciaram com ELDIN e SENOUCI (1993) e ALI et al. (1993), prosseguiram com TOPÇU (1995), TOUTANJI (1996) e BALA et al. (2014). Estes pesquisadores detectaram queda nas resistências mecânicas e observaram alta capacidade de absorver energia e maior capacidade de absorver deformações. Por outro lado, Raghavan et al. (1998) iniciaram estudos com resíduos de pneus em argamassa resistente de cimento e areia, seguidos por BIGNOZZI et al. (2000) e TURATSINZE et al. (2005). Estes pesquisadores também detectaram queda nas resistências mecânicas, dando ênfase para redução no módulo de deformação.

No Brasil, tem-se o trabalho de Segre (1999) com pó de borracha em pasta de cimento e o de Meneguini (2003) com argamassa de cimento e areia. Estes pesquisadores trataram a borracha para criar aderência com a matriz de cimento, obtendo resultados satisfatórios. Segre et al. (2004) verificaram que as partículas de borracha em argamassa de cimento e areia têm efeito positivo na resistência ao ácido, e no gelo e degelo mostraram-se propícias para a melhora da durabilidade da argamassa.

Quanto à argamassa mista de revestimento com cimento, cal e areia com adição de pó de borracha, estudos prévios foram iniciados por CANOVA et al. (2005). Os autores obtiveram resultados favoráveis quanto ao desempenho do produto para 5% de adição em relação ao volume de agregado. Estudos mais recente também realizados por Canova et al. (2012) mostraram que a adição de percentagens adequadas de pó de borracha, não comprometeram as principais propriedades da argamassa, além de ter melhorado outras e pode ainda trazer vantagens quando adicionado em uma mistura pronta que contribuirá para eliminar etapas de serviços em obra. Canova (2002) elaborou uma mistura pronta, esta ainda sem pó de borracha, a qual apresentou a vantagem

de composição constante e adequada à argamassa de emboço. O processo levou a bons resultados para as propriedades estudadas na argamassa maturada e seca em estufa, tais como aumento nas resistências mecânicas e resistência de aderência à tração, redução na absorção de água e índice de vazios, além de melhoria na trabalhabilidade em função do aumento no teor de ar no estado fresco.

Dada a importância da argamassa mista de revestimento utilizada em obras da construção civil, muito tem sido realizado para o conhecimento das propriedades dessa argamassa, para a melhoria da sua qualidade, mas quanto à fissuração em revestimento, ainda requer estudos com materiais alternativos para solucionar o problema. Dessa forma, este trabalho procurou associar à composição da argamassa um material como a borracha de alta durabilidade, resistente à degradação do meio e que possuísse a capacidade de absorver deformações, devido a sua característica de elasticidade e tenacidade. Por outro lado, que pudesse contribuir com o meio ambiente, em face aos impactos gerados por esse resíduo ao ser descartado inadequadamente.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a influência da adição do pó de borracha moída de pneus descartados na composição da argamassa mista de revestimento, após processo de retirada de água em estufa com adição de diferentes

concentrações em relação ao volume de agregado. Com foco na redução da fissuração em revestimento, além de ser mais uma proposição a destinação técnica e ecologicamente correta a este resíduo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Para o estudo foram realizados os ensaios das características físicas dos materiais, bem como as características químicas do resíduo sólido utilizado na argamassa de revestimento. Com estas características preparou-se a argamassa e se procedeu aos ensaios das propriedades no estado plástico e no estado endurecido, conforme as especificações das NBR (Normas Brasileira) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Os materiais empregados na argamassa de revestimento foram: cimento *Portland* composto Classe 32 (CP II Z – 32), cal virgem em pó tipo CV – C (Cal virgem comum) e areia lavada fina. Como adição utilizou-se o resíduo de borracha moído de pneus com diâmetro inferior a 0,5 mm. Este passou pelo processo de reciclagem que tem como característica básica recuperar borrachas vulcanizadas a menos 80 °C. Com a utilização de um catalisador heterogêneo. As características químicas e físicas dos materiais são apresentadas nas Tabelas de 1 a 4.

TABELA 1: Características físicas do cimento *Portland* (CP II Z – 32).

Características físicas				
Determinação	Resultados	Limite C P II Z – 32	Método de ensaio	
Consistência normal	Relação água/cimento = 0,30	-	NBR - 7215(ABNT, 1996)	
Finura – peneira nº 200 (% retida)	1,62	≤ 12	NBR-MB 3432(ABNT,1991)	
Massa unitária (g/cm ³) sem ar	1,45	-	NBR – NM 45(ABNT, 2006)	
Massa específica (g/cm ³)	3,09	-	NM – 23(ABNT, 1998)	
Tempo de pega	Início	2 horas e 50 minutos	≥ 1 hora	NBR – 7215(ABNT,1996)
	Fim	7 horas e 18 minutos	≤ 10 horas	
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	19,6	10	NBR – 7215(ABNT,1996)
	7 dias	23,8	20	
	28 dias	34,7	32	

TABELA 2: Características da cal virgem em pó dolomítica.

Características físicas			
Determinação	Resultados	Limites CV-C	Método de ensaio
Massa unitária (g/cm ³)	0,96	-	NBR – NM 45(ABNT, 2006)
Massa específica real (g/cm ³)	3,10	-	NBR – NM 23(ABNT, 1998)
Finura - (% retida)	-	-	
Peneira nº 30	0,7	≤ 5,0	NBR – 9289(ABNT, 2000)
Peneira nº 200	0,22	≤ 30	
Características químicas			
Perda ao fogo (%)	5,6	-	
Resíduos Insolúveis (%)	9,6	≤ 10	
CaO (%)	49,6	-	NBR - 6453(ABNT, 1988)
Óxido de magnésio (MgO) (%)	35,20	-	
CaO + MgO não voláteis (%)	89,8	≥ 88	
Água combinada	3,6	≤ 4,0	
CO ₂ (%)	2,0	≤ 12	
CO ₃ residual (%)	2,5	-	

TABELA 3: Características físicas do agregado miúdo – areia fina natural.

Características físicas			
Determinação	Resultados	Método de ensaio	
Massa unitária (g/cm ³)	1,55	NBR – NM 45(ABNT,2006)	
Massa específica real (g/cm ³)	2,63	Picnômetro	
Composição granulométrica	Peneiras (mm)	% Retidas acumuladas	NBR – NM 248(ABNT, 2003)
	6,3	0	
	4,8	0	
	2,4	0	
	1,2	1	
	0,6	7	
	0,3	67	
	0,15	99	
	D _{máx} (mm)	1,2	
Módulo de finura	1,74		
Volume de vazios da areia	411 L/m ³		

TABELA 4: Características do resíduo sólido - pó de borracha.

Características químicas - massa (%)							
C	MO	CaO	MgO	K ₂ O	Al	P ₂ O ₅	
53,18	96,79	3,34	1,96	0,26	0,06	0,003	
Características químicas – Massa em mg.kg ⁻¹							
Fé	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr (total)	Ni
710,00	52,60	Nd	646,00	108,00	Nd	32,00	4,00
Características químicas - S- SO ₄ – Extraído pelo método Fosfato Monocálcico no espectrofotômetro							
Determinação					Quantidade (mg/dm ³)		
Extraível na forma de sulfato					20,17		
Total de enxofre na forma de sulfato					40.117		

Em relação aos metais pesados, realizou-se o ensaio de lixiviação. Os resultados obtidos mostraram uma segura incorporação à argamassa, com resultados bem inferiores aos limites normalizados. NBR 10.004 (ABNT, 2004) considera o limite máximo no extrato em mg/dm^3 para o sulfato (expresso em SO_4) de 250 mg/dm^3 . O resultado de 40.117 mg/dm^3 corresponde a 0,5% de enxofre na composição da amostra do pó de borracha que foi utilizada na pesquisa. A análise granulométrica do pó de borracha foi realizada pelo ensaio manual, utilizando-se da série normal de peneiras com a amostra seca ao ar, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O resultado consta da Figura 1, a massa unitária determinada para o pó de borracha foi de $0,44 \text{ g/cm}^3$ e a massa específica real de $0,79 \text{ g/cm}^3$.

3.1.1 Argamassa

Os experimentos foram desenvolvidos partindo-se da argamassa simples de cal virgem e areia fina lavada de rio no traço 1: 6 (em volume). O traço utilizado para argamassa composta foi 1: 1,5: 9 de cimento, cal virgem e areia lavada (em volume) equivalente ao traço em massa 1: 0,993: 9,623. A argamassa simples de cal virgem e areia com utilização de $2,46 \text{ dm}^3$ de água por kg de cal foi produzida, previamente, numa betoneira de eixo inclinado com capacidade de 320 litros. Após ser misturada por 5 minutos e determinado a sua massa, ficou em maturação por 7 dias em recipientes metálicos dimensionados para a hidratação da cal, tempo especificado pela NBR 7200 (ABNT, 1998). Completada a maturação procedeu-se à secagem em estufa a uma temperatura de $105 \pm 10^\circ\text{C}$ até atingir massa constante. A argamassa seca com a massa determinada foi desgrumada e passou por peneiramento na malha 2,4 mm; no estado solto foi embalada e ficou depositada por 60 dias em recipientes de madeira fechado e seco, processo utilizado por Canova (2002).

Com a argamassa seca acrescida de cimento procederam-se os ensaios sem a adição de pó de borracha e com os teores de 6%, 8%, 10% e 12% de pó de borracha, recebendo as

denominações As0 (Argamassa de referência), (As6), (As8), (As10) e (As12), respectivamente. Para a argamassa englobando todos os teores denominou-se (Asx). Quantificada a água evaporada durante a secagem da argamassa em estufa mais a água que foi acrescida à mistura, após adição de cimento e o pó de borracha, determinou-se o índice de consistência padrão para argamassa conforme especificação da NBR 13276 (ABNT, 2005).

3.1.2 Propriedades medidas

As propriedades selecionadas e investigadas neste estudo foram avaliadas por ensaios de laboratório, normalizados pela ABNT. Foram avaliadas a consistência, a massa específica e o teor de ar incorporado, além da retenção de água, no estado plástico; a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral, o módulo de deformação estática e a absorção de água por imersão, no estado endurecido; e a resistência de aderência à tração ao substrato. Para a fissuração foi realizada a medida no revestimento.

3.1.3 Argamassa no estado plástico

As propriedades medidas para a argamassa no estado plástico foram: índice de consistência, massa específica, teor de ar incorporado e retenção de água.

- O índice de consistência foi determinado segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005).
- A massa específica e teor de ar incorporado seguiram o procedimento recomendado pela NBR 13278 (ABNT, 2005).
- A retenção de água foi determinada segundo a NBR 13277 (ABNT, 2005).

3.1.4 Argamassa no estado endurecido

Para os ensaios da argamassa no estado endurecido foram moldados séries de seis corpos-de-prova (CPs) cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e ensaiados com 28 dias de idade, a desmoldagem foi realizada com 48 horas e a cura foi feita ao ar com temperatura controlada de $24 \pm 4^\circ\text{C}$.

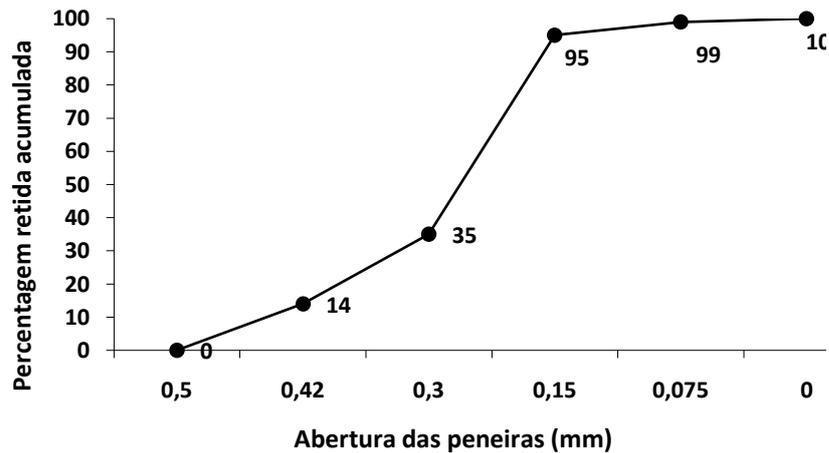


FIGURA 1: Análise granulométrica do pó de borracha. FONTE: Próprio autor (2015).

- A resistência à compressão axial, de acordo com o procedimento da NBR 13279 (ABNT, 2005).
- A resistência por compressão diametral de CPs à tração foi obtida conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011).
- O módulo de deformação estática foi determinado conforme a NBR 8522 (ABNT, 1984) - plano de carga tipo I, tangente inicial.
- A absorção de água por imersão foi determinada em conformidade com a NBR 9778 (ABNT 2005).
- A resistência de aderência à tração em corpos-de-prova sobre substrato seguiu a NBR 13528 (ABNT, 1995). O substrato utilizado foi confeccionado com bloco cerâmico de 6 furos medindo 9 x 14 x 19 cm e chapisco no traço 1: 3 de cimento e areia (em volume); o revestimento foi executado em painéis de 1,0 m², para cada um dos teores de pó de borracha adicionado, executados em revestimento de camada única com 1,5 cm de espessura. A parede de alvenaria de bloco cerâmico foi construída fora do ambiente de laboratório e o lançamento da argamassa foi realizado no período da tarde, com temperaturas variando entre 28 e 32°C procedeu-se o ensaio após 91 dias do lançamento da argamassa.
- A fissuração foi determinada pelas medidas dos comprimentos e quantidades de fissuras nos painéis, para cada teor de pó de borracha adicionado na argamassa nas idades de 24 horas e 90 dias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para as propriedades, tanto no estado plástico como no estado endurecido, são apresentados individualmente.

4.1 RESULTADOS NO ESTADO PLÁSTICO

O índice de consistência pré-estabelecido entre 245 a 255 mm com resultados apresentados na Tabela 5, permitiu caracterizar a trabalhabilidade conferida a cada mistura. Na Tabela 5 apresentam-se os parâmetros de proporção das argamassas. A argamassa de referência foi a que necessitou a maior quantidade de água, para atingir o índice de consistência dentro do parâmetro pré-estabelecido. Isto parece identificar o pó de borracha como um elemento que ajuda a lubrificar os componentes da argamassa e não como um fino que aumenta a exigência de água para a mistura.

4.1.1 Massa específica

No gráfico da Figura 2 têm-se os valores médios de três determinações da massa específica no estado plástico para os teores de pó de borracha utilizados nas argamassas. Verifica-se que com o aumento no teor de pó de borracha ocorre redução da massa específica, resultado, a princípio, esperado pela baixa massa unitária do pó de borracha.

TABELA 5: Parâmetros de proporção das argamassas.

Argamassa	Índice de consistência (mm)	Relação água/materiais secos (massa)	Relação água/cimento (massa)	Relação água/aglomerante (massa)	Relação agregado/aglomerante (massa)
As0	254	0,231	2,64	1,328	4,79
As6	250	0,226	2,60	1,303	4,87
As8	252	0,223	2,60	1,289	4,90
As10	253	0,223	2,60	1,289	4,93
As12	251	0,223	2,60	1289	4,95

FONTE: Próprio autor (2015).

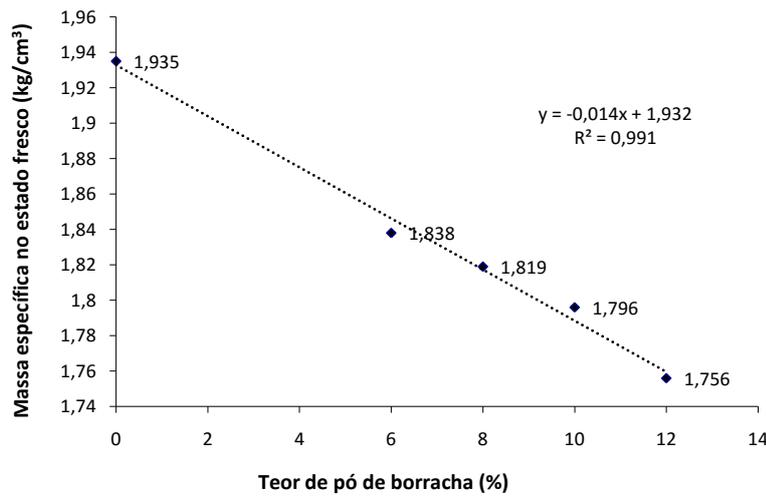


FIGURA 2: Gráfico da massa específica das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

4.1.2 Teor de ar incorporado

O gráfico da Figura 3 apresenta os valores do teor de ar incorporado nas argamassas. Observa-se que houve um aumento no teor de ar incorporado com o aumento da adição do pó de borracha, o que pode ter contribuído também para a queda na massa específica e para a redução na quantidade de água de amassamento da argamassa que recebeu os teores de pó de borracha. O aumento no teor de ar incorporado, embora contribua para a trabalhabilidade das argamassas, pode ocasionar redução na resistência de aderência à tração.

4.1.3 Retenção de água

Na Figura 4 têm-se a retenção de água das argamassas com os teores de adição de pó de

borracha. Observa-se que para os valores de 6% e 8% de pó de borracha, em relação ao volume de agregado, estes são ligeiramente superiores para as argamassas que receberam esses teores de pó de borracha em relação à argamassa de referência. Com valores acima de 10% existe uma tendência de redução na retenção de água com o acréscimo do pó de borracha na argamassa. Percebe-se pela Figura 4 que para adições até 8% o pó de borracha preenche os vazios inter-grãos, isto parece contribuir com a retenção de água na argamassa, ao passo que aumentando a adição o excesso passa a interferir.

4.2. RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Resistência à compressão axial

A Figura 5 apresenta graficamente os

resultados obtidos para a resistência à compressão axial. Observa-se pelo gráfico da Figura 5 que a resistência à compressão axial diminui com o aumento dos teores do pó de borracha na argamassa. Esta redução pode estar ligada ao aumento no teor de ar incorporado no estado plástico e também pelo fato da borracha ser um material altamente elástico e possuir baixas resistências mecânicas bem como possuir baixa massa específica.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Observa-se pela Figura 6 que a curva de redução da resistência à tração por compressão diametral ocorreu de forma semelhante a da resistência à compressão axial e os valores, em média, correspondem a 7,63 vezes menores que os valores da resistência à compressão, índice semelhante encontrado por TRISTÃO (1995).

4.2.3 Módulo de deformação estática

Na Figura 7 estão os valores obtidos para o módulo de deformação estática. Os quais apresentam maiores reduções a partir da adição de 8% de pó de borracha na argamassa. Mesmo com o módulo de deformação apresentando uma queda maior com aumento nos teores de adição, a correlação com a resistência à compressão axial é muito alta ($R^2 = 0,974$). Esta redução do módulo vem contribuir com a capacidade de absorver deformações na argamassa.

4.2.4 Absorção de água por imersão

Observa-se pela Figura 8 que os valores médios obtidos indicam uma tendência de redução na absorção de água por imersão com o aumento da adição do pó de borracha na argamassa. Isto indica que houve uma redução no índice de vazios, consequentemente fechando o pacote granulométrico das argamassas.

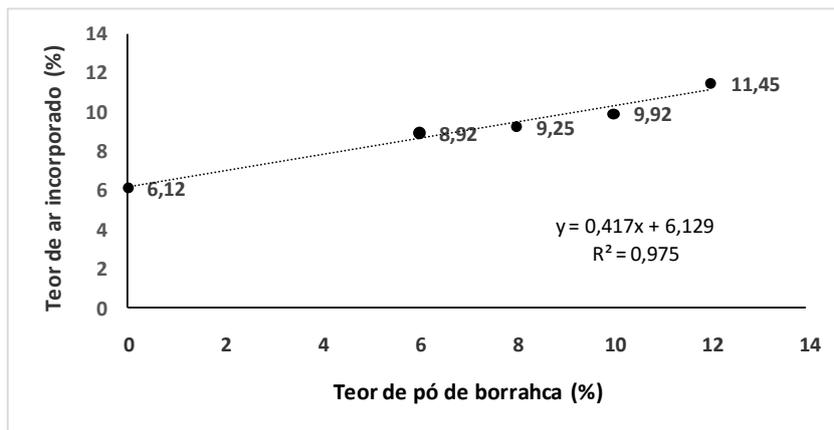


FIGURA 3: Gráfico do teor de ar incorporado das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

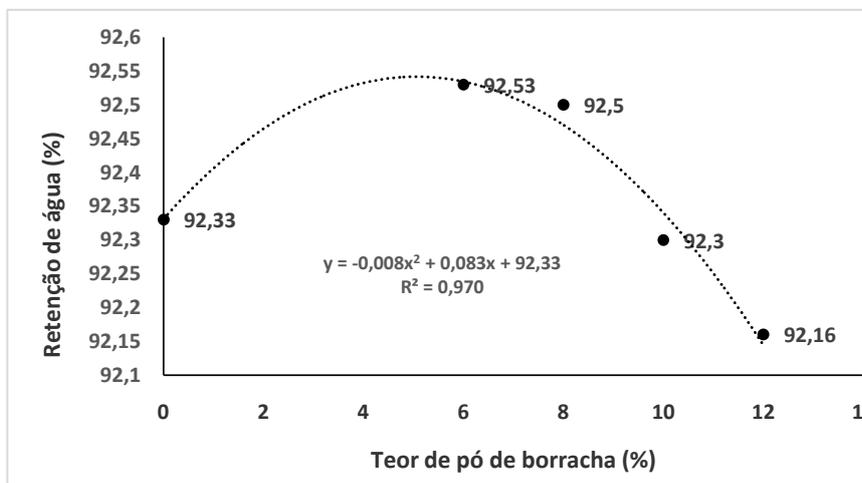


FIGURA 4: Gráfico da retenção de água das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

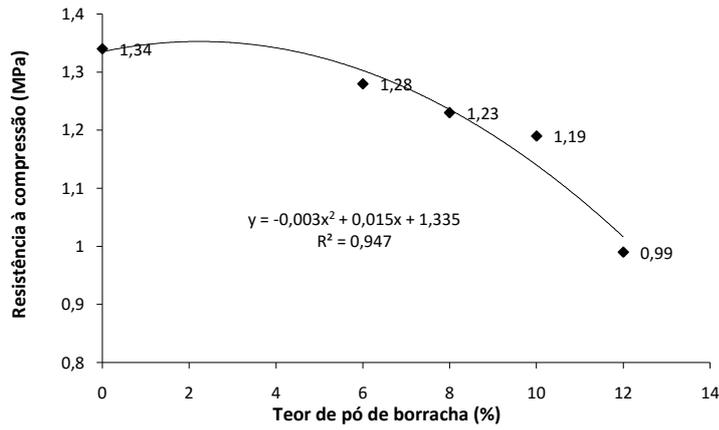


FIGURA 5: Gráfico da resistência à compressão axial das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

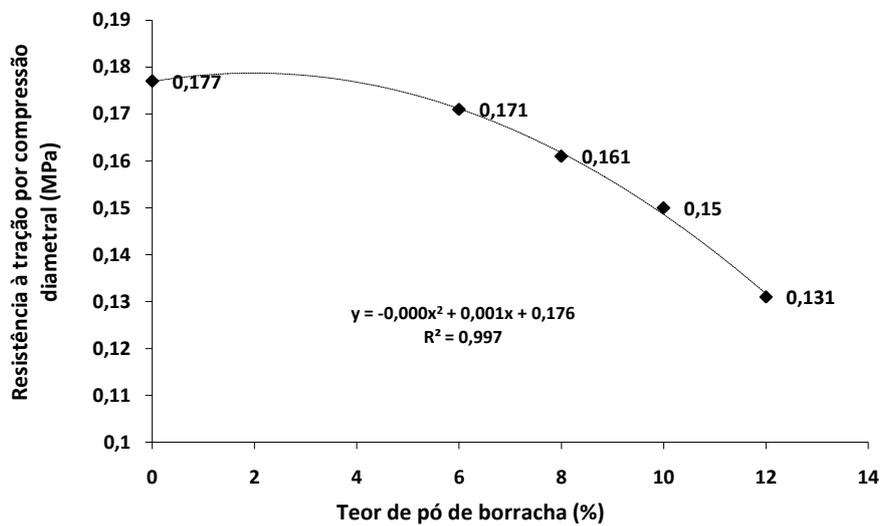


FIGURA 6: Resistência à tração por compressão diametral das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

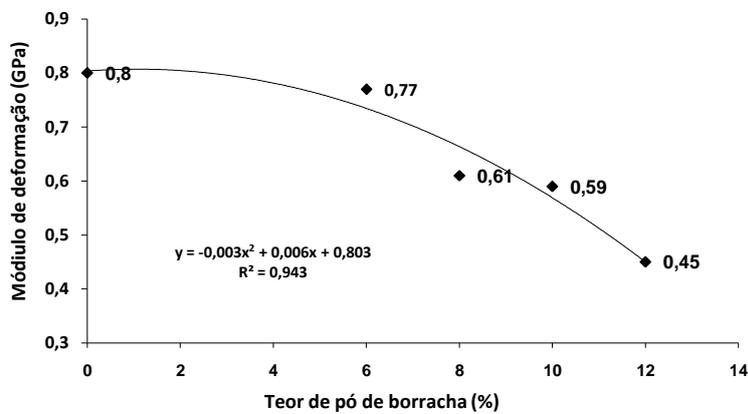


FIGURA 7: Gráfico do módulo de deformação estática das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

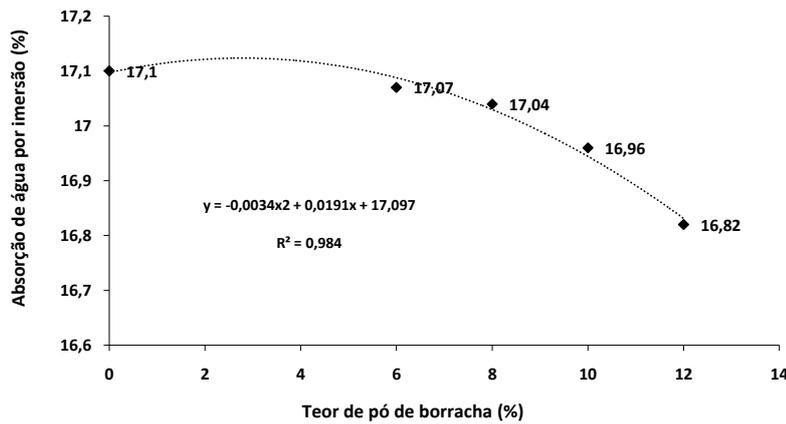


FIGURA 8: Gráfico da absorção de água por imersão das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

4.2.5 Resistência de aderência à tração

Na Tabela 6 e Figura 9 apresentam-se os resultados obtidos com idade de 91 dias no ensaio de resistência de aderência à tração nos seis pontos utilizados para a argamassa de controle e para argamassa com os demais teores de adição. Observa-se que os valores obtidos com até 10 % de adição estão abaixo do limite especificado pela NBR 13749 (ABNT, 1996) que é de 0,2 MPa, mas não

houve redução na média da argamassa que recebeu os teores de pó de borracha em relação à argamassa de controle. A argamassa contendo 12% de pó de borracha apresentou uma média acima da especificação da norma, mesmo esta argamassa tendo apresentado o maior teor de ar incorporado e a mais baixa resistência mecânica, o comportamento do pó de borracha para essa percentagem de adição parece ter contribuído com a resistência de aderência à tração.

TABELA 6: Ensaio de resistência de aderência à tração.

Pontos/Rupturas	Tensão da resistência de aderência à tração em (MPa)				
	Argamassa				
	As0	As6	As8	As10	As12
1	>0,21	0,17	0,23	>0,17	>0,19
Ruptura	D	a	a	d	D
2	0,17	>0,23	>0,13	>0,21	>0,27
Ruptura	a	b	d	d	D
3	>0,17	>0,21	>0,19	>0,21	>0,27
Ruptura	D	d	d	d	D
4	>0,19	>0,17	0,23	>0,17	>0,17
Ruptura	D	d	a	d	B
5	>0,19	>0,17	0,21	0,23	>0,21
Ruptura	D	d	d	a	B
6	>0,19	>0,19	>0,19	>0,19	>0,23
Ruptura	D	d	d	d	D
Média	0,19	0,19	0,19	0,19	0,22

d – corresponde à ruptura na interface revestimento/cola, **b** - corresponde à ruptura da argamassa de revestimento; **a** – corresponde à ruptura na interface revestimento/substrato. O sinal de maior (>) indica que o valor é maior que o obtido no ensaio.

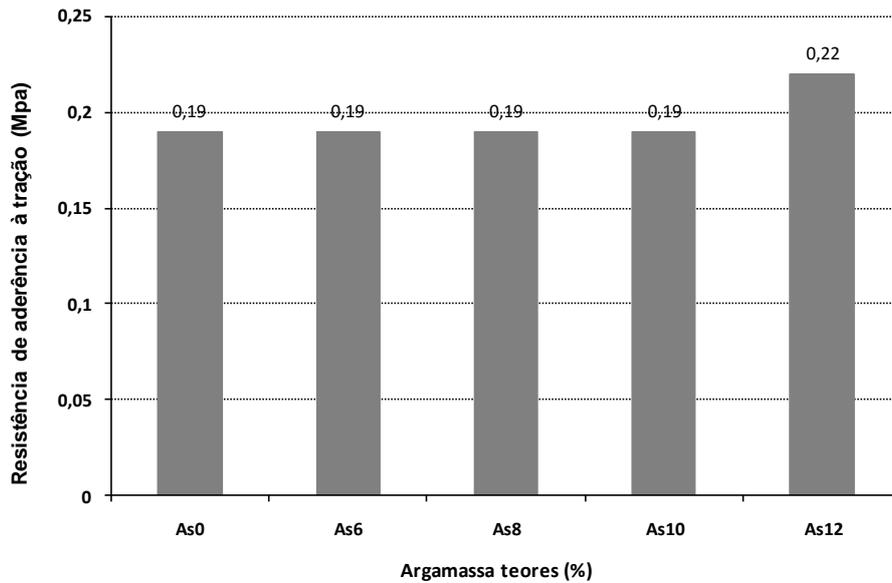


FIGURA – 9: - Gráfico da resistência de aderência à tração das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

4.2.6 Fissuração

O comprimento das fissuras visíveis observadas no revestimento pela retração durante a secagem e pela execução ao fazer o sarrafeamento consta da Figura 10. A primeira medida das fissuras foi realizada com 24 horas após o sarrafeamento e desempenho do revestimento e a segunda com 90 dias de idade.

Ao analisar a Figura 10 verifica-se que ocorreu uma queda no comprimento das fissuras visíveis com o aumento do teor de pó de borracha. A argamassa com 8% de pó de borracha foi a que apresentou os menores comprimentos aos 90 dias. A redução no número de fissuras visíveis comprova o comportamento mais tenaz da borracha, conforme pode se deduzir pela redução no módulo de deformação.

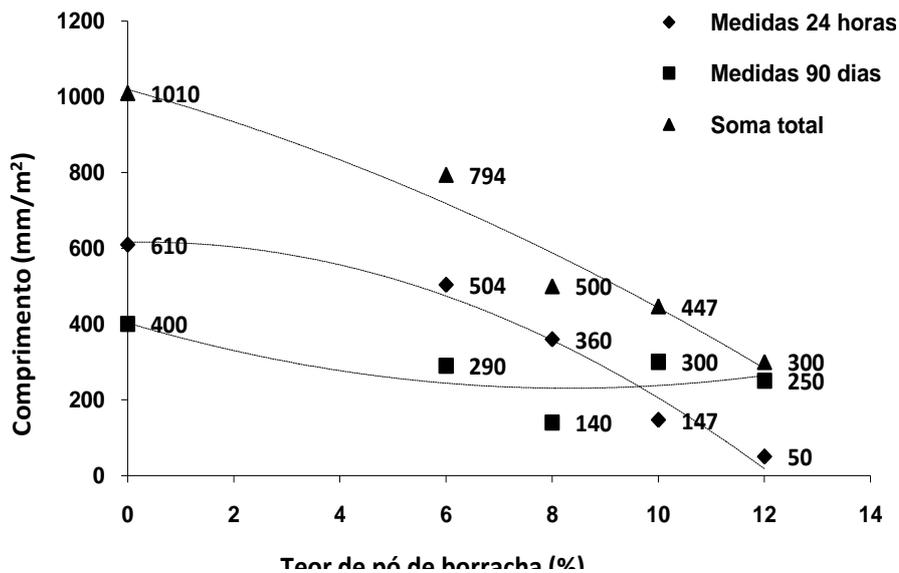


FIGURA – 10: - Gráfico do comprimento das fissuras das argamassas As0 e Asx. FONTE: Próprio autor (2015).

5. CONCLUSÕES

A adição do pó de borracha na argamassa contribuiu com aumento no teor de ar incorporado, proporcionou uma ligeira redução na quantidade de água de amassamento, melhorou a trabalhabilidade, diminuiu a massa específica e mostrou uma tendência de queda na retenção de água a partir de 10% de adição.

Quanto às propriedades mecânicas houve queda proporcionalmente ao aumento das adições efetuadas, isto em função das baixas propriedades mecânicas da borracha. Proporcionou também leve queda na absorção de água por imersão.

O limite de aderência à tração ficou abaixo do normalizado, mas não houve redução na média da argamassa que recebeu os teores de pó de borracha em relação à argamassa de referência.

A argamassa que recebeu os teores de pó de borracha apresentou menores índices de fissuras visíveis em relação à argamassa de controle; a argamassa que recebeu 8% de adição foi a que apresentou os menores comprimentos e igualou, em quantidade de fissuras, com a argamassa que recebeu 12% de adição para os 90 dias. As adições utilizadas na argamassa apresentaram interferência em algumas propriedades como a resistência à compressão e à tração, mas contribuíram com outras como o teor de ar incorporado, módulo de deformação, absorção de água e fissuração.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode se verificar que uma utilização de até 6% de adição de pó de borracha na argamassa mista de revestimento é plenamente viável tecnicamente, com destaque para redução na fissuração. Além de contribuir com o passivo ambiental gerado pelos pneus inservíveis dispostos inadequadamente no meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, N. A.; AMOS, A. D. E.; ROBERTS, M. **Use of Ground Rubber Tyres in Portland Cement Concrete**. In: Dhir, R. K. (Ed). PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE 2000, University of Dundee, Scotland, UK, 7 – 9, v. 2, September, 1993, 379 – 390p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e Argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto - Determinação da retenção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão índice de vazios e massa específica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos- Classificação - NBR 10.004 Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregado no estado solto - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento *Portland* - Determinação da massa específica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento *Portland* - Determinação da resistência à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR MB 3432**: Cimento *Portland* - Determinação da finura por meio da peneira nº 200 - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453**: – Cal virgem para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo de deformação estática – Tensão Deformação - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- BALA, A.; SEHGAL, V. K.; SAINI B. Effect of fly ash and waste rubber on properties of concrete composite. **Concrete Research Letters**, vol. 5, nº 3, 2014, 842 – 857p.
- BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, São Paulo, 2001, 172p.
- BIGNOZZI, M. C.; SACCANI, A.; SANDROLINI, F. New polymer mortars containing polymeric wastes. Microstructure and mechanical properties. Composites Part A. **Applied Science and Manufacturing**, vol. 31, nº 2, 2000, 97 – 106p.
- CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; DE ANGELIS NETO, GLEIZE, P. J. P. Comparative analysis of the properties of composite mortar with addition of rubber powder from worm tires. **Ambiente Construído**, vol. 12, nº 1, 2012. 257 – 267p.
- CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; DE ANGELIS NETO, G.; ANDRADE, R. S. Influência da adição de pó de borracha em argamassa mista. In: Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura, 11.. 2005, **Anais...** Maringá: UEM, 2005. CD-ROM.
- CANOVA, J. A. **Estudo e análise das propriedades da argamassa de cal e areia suprimida a água da mistura após maturação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2002, 131p.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, C. H. **Argamassa de revestimento: Características, Propriedades e Métodos de ensaio**. Publicação IPT 2378, 1ª Ed. São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1995, 118p.
- ELDIN, N. N.; SENOUCI, A. B. Rubber Tire Particles as Concrete Aggregate, **Journal of Materials in Civil Engineering**, vol. 5, nº 4, Nov. 1993. 478-496p.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. M. **Concreto: estrutura propriedades e materiais**. 1ª Ed., Tradução Carmona Filho, A. *et al.*, São Paulo, Pini, 1994, 573p.
- MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Campinas 2003. 85p.
- ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. Tese (Doutorado em Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000, 251p.
- RAGHAVAN, D.; HUYNH, H. Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementations composite. **Journal of Materials science**, vol. 33, nº 7, 1998. 1745-1752p.
- SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. Tese (Doutorado em Química), Instituto de Química, Unicamp, Campinas, 1999, 92p.
- SEGRE, N. C.; JOEKES, I.; GALVES, A. D.; RODRIGUES, J. A. Rubber-mortar composites; Effect of composition on properties. **Journal of Materials Science**, vol. 39, nº 10, 2004, 3319 – 3327p.
- TOPÇU, B. I. The properties of rubberized concretes. **Cement and Concrete Research**, vol. 25, nº 2, 1995, 304-310p.
- TOUTANJI, H. A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. **Cement & Concrete Composites**, vol. 18, nº 2, 1996, 135-139p.
- TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. Mechanical characterization of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tires. **Building and Environment**, v. 40, nº 2, Fev. 2005, 221-226p.
- TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1995.