

## **Suscetibilidade á fissuração das argamassas produzidas com agregados de cerâmica vermelha**

Raquel Nazario da Rosa Prado<sup>1</sup>,

Valéria Costa de Oliveira<sup>2</sup>,

**Resumo:** No decorrer dos últimos anos, inúmeros materiais vêm sendo pesquisados com o intuito de melhorar as propriedades da argamassa de revestimento, bem como contribuir para a redução dos impactos ambientais. Esta pesquisa tem como objetivo o conhecimento do comportamento das argamassas quanto a tendência à fissuração quando se emprega agregados reciclados de cerâmica vermelha em substituição ao agregado natural. Para tal foram produzidas três argamassas, uma de referência e duas com substituições da areia natural pelo RCV nos percentuais de 10% e 20%. As caracterizações das argamassas seguiram os ensaios normatizados no estado fresco, quanto a consistência, teor de ar incorporado, retração plástica e no estado endurecido; resistências mecânicas, módulo de elasticidade e variação dimensional. As argamassas apresentaram quanto a tendência à fissuração, baixa e média suscetibilidade no critério retração por secagem, média suscetibilidade quando se avaliou o módulo de elasticidade e alta suscetibilidade quando se relacionou o módulo de elasticidade a resistência à tração na flexão.

**Palavras-chave:** Fissuração; Resíduos da cerâmica vermelha; Revestimentos

### **Susceptibility to the fissuration of mortars produced with red ceramic aggregates**

**Abstract:** Over the last few years, numerous materials have been researched in order to improve the properties of rendering mortar, as well as contribute to the reduction of environmental impacts. The objective of this research is to understand the behavior of mortars as to the tendency to cracking when using recycled aggregates of red ceramics to replace the natural aggregate. For this, three mortars were produced, one of reference and two with substitutions of the natural sand by RCV in the percentages of 10% and 20%. The characterization of the mortars followed the tests normalized in the fresh state, as for the consistency, content of incorporated air, plastic retraction and in the hardened state; mechanical strength, modulus of elasticity and dimensional variation. Mortars presented a tendency for cracking, low and medium susceptibility in the drying retraction criterion, medium susceptibility when the modulus of elasticity was evaluated and high susceptibility when the modulus of elasticity was related to tensile strength in flexion.

---

1 Engenheira Civil, Mestranda em Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. kel\_rnr@hotmail.com.

2 Engenheira Civil, Doutoranda em Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, kel\_rnr@hotmail.com.

**Key-words:** Cracking. Waste of red ceramics. Coating.

## Introdução

Flores (2009) cita que a utilização das argamassas como material de construção data da época dos Etruscos (1100-501 a.C.). No entanto, os materiais constituintes e a tecnologia de produção têm sofrido alterações ao longo do tempo, como por exemplo, a autora comenta sobre a introdução do conceito de hidráulidade após a Revolução Industrial; a introdução do cimento Portland em Portugal no início do século XX; o aparecimento na Europa de produtos industrializados entre 1950 e 1960; ou o retorno da introdução da cal aérea na composição das argamassas.

As argamassas apresentam várias utilizações, podendo estar associadas a tecnologias tradicionais ou industriais competitivas que procuram dar resposta às atuais exigências dos canteiros de obra, interligadas a supressão de operações de dosagem e ao o ritmo cada vez mais rápido exigido à construção, o que origina muitas vezes manifestações patológicas, o que ocorre com a aplicação de novos materiais de suporte com características de resistência mecânica, de estabilidade dimensional muito diferentes, ou outras, que tornam os sistemas de revestimentos inadequados (FLORES, 2009).

Para se especificar adequadamente traços de argamassas, é necessário levar em consideração fatores como: estabilidade global da edificação, exigências arquitetônicas, tipo de substrato (absorção de água, rigidez, resistência mecânica e resistência superficial), variação térmica: condições climáticas a curto e médio prazos, insolação das fachadas, temperatura à época do assentamento (JUNGINGER, 2014).

A ABNT NBR 13281:2005 especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento, revestimento de paredes e tetos se aplica igualmente à argamassa industrializada, dosada em central e preparada em obra, porém não normatiza por requisitos de aplicação quanto aos tipos de substratos, revestimentos internos ou externos das construções, zonas bioclimáticas ou orientações de fachadas, de maneira que não orienta especificidades para os projetos de edificações (OLIVEIRA, 2017). Observa-se ainda que a ABNT NBR

13749:2013 define que os materiais e as respectivas proporções de dosagem das argamassas devem ser compatíveis com o acabamento e as condições de exposição previstas e ter resistência mecânica compatível com o acabamento decorativo selecionado, porém menciona traços de argamassas mistas. Em vista disso, no decorrer dos últimos anos, inúmeros materiais vêm sendo pesquisados com o intuito de melhorar as propriedades da argamassa de revestimento, tanto no estado fluido como no estado endurecido, bem como contribuir para a redução dos impactos ambientais. (TEMP, 2014, p. 23).

Segundo Cardoso *et al.* (2005), a adequação das características reológicas favorece as propriedades finais da argamassa. Logo, se alterarmos os materiais constituintes das argamassas, as suas propriedades, e conseqüentemente, o seu desempenho, irá variar.

A fissuração nos revestimentos é um fenômeno complexo, pois pode ter origem nos procedimentos de projeto e/ou de execução, na seleção dos materiais constituintes e até mesmo no proporcionamento dos materiais (SILVA, 2006). Quanto ao tipo de materiais utilizados na produção de argamassas, diversos estudos avaliaram o potencial pozolânico do RCV (Resíduo da cerâmica vermelha), assim substituindo o material pelo cimento ou até pela cal. Contudo, não se pode confirmar se o RCV apresenta potencial pozolânico sem os devidos ensaios de caracterização, uma vez que os resultados dependem de fatores tais como a temperatura de calcinação, o tempo de residência e a uniformidade da temperatura no interior dos fornos podem afetar significativamente as características dos resíduos (HANSEN *et al.*, 2015).

Esta pesquisa tem como objetivo geral o conhecimento do comportamento das argamassas quanto a tendência à fissuração quando se emprega agregados reciclados de cerâmica vermelha em substituição ao agregado natural.

A justificativa de emprego do RCV enquanto substituição do agregado miúdo e não pelo cimento parte de resultados de pesquisas já realizadas por diversos autores. Por exemplo, Alcântara e Nóbrega (2011) verificaram que temperatura de queima de 750°C não produz uma cerâmica com pozolanicidade suficiente para substituir o cimento Portland e assim as autoras optaram por produzir uma argamassa com substituição à carga (agregados). Fastofski *et al.* (2014), por exemplo não conseguiu concluir a potencialidade pozolânica do resíduo, assim



como os resultados de Hansen (2015), nas argamassas moldadas com cimento, o RCV não atingiu o índice de atividade pozolânica exigido na NBR 12653:2014, impedindo sua classificação como material pozolânico.

No caso da indústria de cerâmica vermelha os resíduos de argila calcinada são fragmentos de blocos, tijolos, telhas e lajotas, gerados pela quebra dessas peças, seja na etapa da queima ou no transporte. Ou ainda, peças inteiras que não atenderam as especificações de qualidade (SALES; ALFERES FILHO, 2014; Hansen *et al*, 2015). A atividade pozolânica de um material geralmente está atribuída à sua estrutura amorfa ou desordenada dos aluminossilicatos da argila (MEHTA; MONTEIRO, 2008; LAVAT *et al*. 2009; HANSEN *et al*, 2015). A argila não se apresenta como um material pozolânico, é necessário aplicar-lhe um tratamento térmico para que a estrutura cristalina dos argilominerais seja transformada em uma estrutura amorfa, desordenada e instável (DAL MOLIN, 2011, HANSEN *et al*, 2015).

Os estudos de Zampiron *et al* (2009) mostraram redução de consumo de cimento e diminuição significativa no módulo de elasticidade quando empregou o agregado de reciclagem de cerâmica vermelha em substituição total da cal e do agregado miúdo.

## **Material e Métodos**

O surgimento de fissuras num revestimento de argamassa resulta da combinação inadequada da elasticidade e da resistência à tração e pode ser causado por fenômenos diversos como a retração ou ainda ações externas ao revestimento (SILVA *et. al*, 2015). Nos revestimentos endurecidos a resistência à tração, sendo elevada, diminui sua capacidade de deformação, assim quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações. (SILVA, 2006).

Conforme Veiga (1998), a relação entre a retração e o campo de tensões resultantes não depende apenas da lei que rege a evolução do módulo de elasticidade na camada de revestimento, pois as causas da fissuração e os fatores que influenciam o fenômeno são tão numerosos e complexos que é difícil avaliar com base num critério único e tendo apenas em

conta as características do revestimento, a sua maior ou menor tendência para fissurar sob as ações a que está sujeito durante a sua vida útil.

Um critério utilizado para avaliar a tendência a fissuração dos revestimentos argamassados é do ductilidade, que relaciona a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão -  $R_t/R_c$ , utilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal. A resistência à tração é muito inferior à resistência à compressão para argamassas de revestimento, portanto quanto mais próximo de 1 esta relação, mais dúctil é a argamassa.

Muitas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos correlacionam as propriedades de módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão e com a retração, utilizando o método desenvolvido pelo CSTB (1993). Dentre os autores destes estudos pode-se citar Oliveira (2017), Rodrigues Filho (2013), Silva (2011), Carvalho Jr. (2005), Bastos (2001) e Veiga (1998). O CSTB (1993) desenvolveu um método que se fundamenta no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem, com o aumento do módulo de elasticidade e no quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Conforme Siva (2011), este método baseia-se no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem e quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Concluindo assim, quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, maior será a resistência de tração induzida e quanto maior for a resistência à tração, maior será a capacidade do revestimento se deformar sem fissurar.

A elasticidade ou resiliência é a propriedade da argamassa relacionada com a capacidade de suportar tensões sem romper, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder a aderência, ou seja, a capacidade de deformação de um revestimento está relacionada com o módulo de elasticidade (Baía e Sabbatini, 2008). Quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, maior é a tensão de tração induzida. Por outro lado, quanto maior for a resistência à tração, maior é a capacidade de resistir, sem fissurar, às tensões geradas. No Quadro 1 estão dispostos os critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de argamassas de reboco.

Quadro 1 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de revestimento de argamassa.

<b>Critérios de classificação quanto à fissuração</b>			
<b>Característica (28 dias)</b>	<b>Baixa suscetibilidade</b>	<b>Média suscetibilidade</b>	<b>Alta suscetibilidade</b>
Retração por secagem - mm/m	$DI/I \leq 0,7$	$0,7 < DI/I < 1,2$	$DI/I \geq 1,2$
Módulo de elasticidade - (mpa)	$E \leq 7000$	$7000 < e < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão – e/rt	$E/rt \leq 2500$	$2500 < e/rt < 3500$	$E/rt \geq 3500$

Fonte: Adaptada do CSTB (1993).

É significativo a quantidade de resíduos que são descartados indiscriminadamente no meio ambiente por indústrias cerâmicas. Segundo Garcia *et al.* (2015) cerca de 5% da produção mundial da indústria de cerâmica vermelha se tornam resíduos em razão das falhas do processo de produção e até mesmo devido a fragilidade do produto. Em vista disso, no decorrer dos últimos anos, pesquisas vem sendo realizadas com o intuito de reaproveitar e reciclar os resíduos da cerâmica vermelha em argamassas, gerando benefício ambientais resultantes da redução do decarte de resíduos no meio ambiente.

Estudos recentes sugerem que os resíduos da cerâmica vermelha apresentam grande potencial na construção civil, principalmente para a restauração de edifícios históricos em função da sua compatibilidade química e mecânica com os materiais utilizados no passado (CORINALDESI, 2012).

Nesta pesquisa foram realizados os ensaios de resistências à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico, retração plástica e retração por secagem. Desta forma foram estudados os critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de revestimento de argamassa adaptada do CSTB (1993).

Esta etapa pode ser resumida, conforme suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes descritas na sequência:

- Variáveis independentes: Agregado miúdo reciclado da cerâmica vermelha e Agregado

miúdo natural (areia lavada de rio)

- Condições fixas: Consistência inicial: Espalhamento inicial utilizando a mesa de consistência de  $260\pm 5$ mm e consumo de cimento: será utilizado um consumo fixo de cimento, aproximadamente 357 g;
- Variáveis dependentes:
  - Substituição parcial da areia natural por areia reciclada de cerâmica vermelha nos percentuais de 10% e 20%;
  - As propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam as argamassas no estado fresco: Consistência avaliada pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014), teor de ar incorporado e retração plástica;
  - No estado endurecido retração, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom.

Os materiais empregados foram cimento CP IV, areia lavada fina e resíduo da cerâmica vermelha. O preparo dos materiais se deu inicialmente com a moagem do RCV. Posteriormente realizou-se o peneiramento tanto da areia como do RCV na peneira de malha 16 ABNT de abertura de 1,2mm, para a retirada de folhagens, grumos e grãos superiores a 1,2mm.

Foi realizada a análise granulométrica por difração a laser nas amostras de RCV e areia fina. Para realizar a análise de granulometria a laser houve a necessidade de se fazer um peneiramento dos materiais na malha 200 ABNT de abertura  $75\mu\text{m}$  para evitar um espalhamento muito alto no espectro de difração. A técnica de análise de tamanho de partículas por difração de laser é um método pelo qual as partículas são dispersas num fluido em movimento causando discontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente e correlacionadas com o tamanho de partícula. A análise granulométrica da areia foi realizada pela técnica de difração de laser no equipamento Microtrac Inc. S3500. Considerou-se que a amostra possui partícula transparente e irregular. Utilizou-se a água deionizada como fluido de transporte com um fluxo de 25% e um índice de refração de 1,54, em seguida aplicou-se 3 ultrassons interno de 40 W com duração de 60s cada, totalizando 180s de ultrassom interno.

Tendo em vista que o material RCV é considerado um material que tende a aglomerar muito, foi necessário preparar a amostra antes de colocá-la no equipamento, a fim de dispersar as partículas. O preparo se deu através da mistura de uma alíquota da amostra moída em um béquer com uma solução de água e três gotas de hexametáfosfato de sódio (10%). Em seguida foi aplicado ultrassom externo de 100W durante 5min. Posteriormente foi colocado o material já preparado no equipamento de difração de laser - Microtrac Inc. S3500 e utilizando um fluxo de 10% e um índice de refração de 1,81, aplicou-se o ultrassom interno de 40W por 60s. Com base nos dados gerados pelo software observou-se que o tamanho médio das partículas da amostra de areia foi de 51,23 $\mu$ m e de RCV foi de 14,61  $\mu$ m. A partir desses dados definiu-se a curva de distribuição granulométrica cumulativa, a curva em forma de S demonstrada na figura 1 para a amostra de areia e Figura 2 para amostra de RCV e corresponde ao resultado acumulado dos diâmetros encontrados nas amostras.

A partir da derivação da curva de distribuição granulométrica cumulativa obtém-se a curva de distribuição granulométrica de frequência e é representada no gráfico pela curva com um ou mais picos. Cada pico corresponde a uma população de tamanhos de partículas diferentes. Como demonstrado na figura 1, essa amostra de areia pode ser classificada como unimodal, pois apresentou apenas um pico, ou seja, apenas uma população de partículas. Nota-se que o pico ocorreu no diâmetro 49,22 $\mu$ m, ou seja, o pico encontra-se mais a direita do gráfico indicando que a amostra possui uma população de partículas de tamanhos maiores. Já amostra de RCV, demonstrado na Figura 2, pode ser classificada como bimodal, pois apresentou dois picos, ou seja, duas populações de tamanhos de partículas diferentes. Nota-se que os picos ocorreram nos diâmetros 4,26 $\mu$ m e 19,93 $\mu$ m indicando uma população com tamanhos de partículas menores e uma população com tamanho de partículas maiores.

Quadro 2 – Distribuição granulométrica acumulada da areia

<b>% Acumulada</b>	<b>Tamanhos (<math>\mu</math>m)</b>
10%	9,42
50%	49,22
90%	108,8

Quadro 3 - Distribuição granulométrica acumulada do RCV

<b>% Acumulada</b>	<b>Tamanhos (<math>\mu</math>m)</b>
--------------------	-------------------------------------

10%	3,06
50%	11,40
90%	34,67

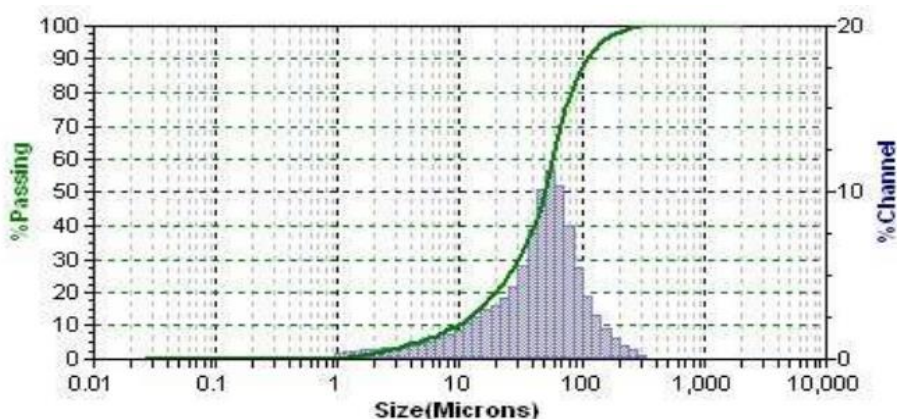


Figura 1. Curva de distribuição granulométrica cumulativa da areia

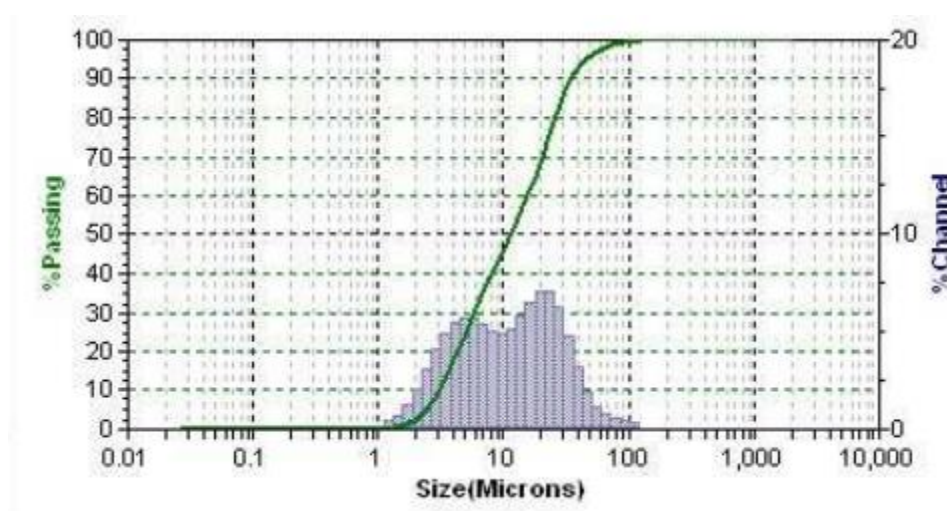


Figura 2. Curva de distribuição granulométrica cumulativa do RCV

O quadro 4 mostra os parâmetros de mistura conforme as séries de argamassas estudadas.

Para as sequências de misturas das argamassas e determinação do teor de água, de forma atender a consistência, pré-definida, aferida pelo ensaio da mesa de consistência conforme a ABNT NBR 13276:2016. A homogeneização das argamassas foi obtida em um misturador

mecânico (argamassadeira). Para cada traço, foram moldados três corpos de provas prismáticos com dimensões de 4 x 4 x 16(cm) para realizar os ensaios de resistência à tração na flexão e para os ensaios de módulo de elasticidade. Para o ensaio de retração linear foram moldados três corpos de provas prismáticos para cada traço com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28(cm). Foram moldadas um corpo de prova prismático para cada traço com dimensões de 7,5 x 7,5 x 30,5 (cm) para realizar o ensaio de retração plástica.

Quadro 4 - Parâmetros de mistura

Amostras	Cimento CP	Areia Lavada	RCV (g)	Água (g)	Teor de água	a/c
	IV (g)	Fina (g)				
REFERENCIA	357	2143	0	520,00	21%	1,46
RCV 10%	357	1929	214	530,00	21%	1,48
RCV 20%	357	1714	429	556,00	22%	1,56

A relação água/cimento foi determinada através do índice de consistência de 260mm ( $\pm$  5mm) sugerido pela norma ABNT NBR 13276:2016. Neste ensaio, buscou-se obter trabalhabilidade aproximada entre todos os traços de argamassa utilizados. Os ensaios foram realizados a fim de se determinar a consistência da argamassa a partir do espalhamento da argamassa sobre uma mesa padronizada.

A consistência trata da condição de aplicação adequada da argamassa ao substrato. A plasticidade exerce influência, principalmente para a trabalhabilidade, bem como no desenvolvimento das operações iniciais de manuseio, transporte, aplicação (SOUSA, 2005).

Para fins comparativos e avaliação da consistência empregou-se também o ensaio de penetração de cone realizado de acordo com a norma internacional ASTM C780:2014, com o objetivo de se avaliar a consistência da argamassa através da resistência de penetração de um cone de metálico. A trabalhabilidade depende da consistência e da plasticidade adequadas ao processo de execução. Estas três propriedades influenciam uma na outra, bem como na retenção de água e no teor de ar-incorporados (CARASEK, 2010). O teor de ar gravimétrico foi aferido conforme a norma brasileira ABNT NBR 13278: 2005.

No estado fresco também foram realizados ensaios de retração plástica. A análise de retração foi realizada a partir do modelo proposto por Turcry (2004) adaptado por Giroto,

Barbosa e Maciel (2014), também utilizado por Koppe (2016). O método consiste em verificar, de forma constante, as deformações horizontais causadas pelo efeito da retração plástica nas primeiras horas de moldagem da matriz cimentícia.

O equipamento utilizado é caracterizado pelas seguintes peças:

- a) molde retangular de aço com dimensões 7,5 x 7,5 x 30,5cm, com perfurações nas extremidades onde serão inseridos os sensores de deformações horizontais;
- b) sensor LVDT, com precisão de deformação inferior a 2mm e resolução inferior a 5  $\mu$ m;
- c) base de aço para fixar o molde e o sensor, afim de impedir que o equipamento se movimente;
- d) 2 placas de PVC, com dimensões de 7 x 7cm e 0,2cm de espessura, colocadas nas extremidades, pela parte interna do molde, utilizadas como base de apoio aos sensores;
- e) película de plástico autocolante para cobertura interna do molde;
- f) sensor e temperatura, para monitorar a temperatura da argamassa durante a realização do ensaio.

Um sistema de dados de computador armazena as leituras dos sensores de deformação e temperatura de minuto em minuto, durante o período do ensaio.

O resultado do ensaio é dado pela equação:

$$\varepsilon = \Delta l_t \div l_i \times 10^6$$

Onde:  $\varepsilon$ = deslocamento linear (adimensional);  $\Delta l_t$ = soma dos deslocamentos horizontais;  $l_i$ = comprimento inicial da amostra

O método de ensaio de tração na flexão foi realizado conforme procedimentos da ABNT NBR 13279:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão). O ensaio foi realizado em uma em uma prensa com velocidade de carregamento de 50 + 10 N/s. O dispositivo de carga possui dois suportes de aço em forma de roletes distantes entre si 100mm e um terceiro rolete, na parte superior, centralizado entre os roletes do suporte. Para efeitos dos cálculos, o desvio absoluto máximo da série de corpos de prova é a diferença entre a resistência média e a

resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou menos. Logo, os resultados foram obtidos conforme a equação recomendada na ABNT NBR 13279:2005, considerando o conceito de desvio absoluto máximo e descartando os valores superiores a 0,30 MPa.

No caso do ensaio à compressão utilizou-se para cada traço, seis corpos-de-prova provenientes do ensaio de resistência à tração na flexão, de acordo com os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 13279:2005. O ensaio foi realizado adotando-se uma velocidade de carregamento de  $500 + 50$  N/s. Os ensaios para obtenção do módulo de elasticidade foram realizados utilizando o equipamento de Ultrassom “Pundit” (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester). O método é normatizado pela ABNT NBR 15630:2009. O ensaio é não destrutivo e consiste em encontrar a velocidade em que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova.

As medidas da retração por secagem, de argamassas no estado endurecido, foram realizadas de acordo com os procedimentos da NBR 15261:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)). A medida da variação dimensional dos corpos de prova é realizada utilizando o aparelho comparador. Os equipamentos e acessórios utilizados no ensaio de variação dimensional foram aparelho comparador de comprimento com relógio comparador com precisão de  $1 \mu\text{m}$ ; balança digital com precisão de  $0,01 \text{ g}$ ; paquímetro digital (curso  $400 \text{ mm}$ ) e armazenamento dos corpos de prova nas condições padronizadas temperatura  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa  $50 \pm 5\%$ ).

As moldagens seguiram os seguintes procedimentos:

- Moldou-se a argamassa em cada forma com 2 camadas de 25 golpes utilizando um soquete de plástico com  $150 \text{ mm}$  de comprimento e faces de  $13 \text{ mm}$  e  $25 \text{ mm}$ ;
- Rasou-se após o adensamento da 2ª camada para retirar o excesso da argamassa;
- Acondicionou-se o conjunto em saco plástico hermético por 48 horas e após, desformou-se os corpos de prova.

O ensaio de retração por secagem das argamassas seguiu as seguintes etapas:

- Realizou-se a 1ª leitura com 96 horas utilizando o aparelho comparador de comprimento, em seguida registrou-se a massa do prisma e seu comprimento inicial;
- Após as medições colocaram-se os prismas em um recipiente de plástico para manutenção da umidade relativa e temperatura definidas;
- Realizou-se as leituras 3 vezes por semana, respeitando as datas de 7 e 28 dias.

## Resultados e discussões

O quadro 5 mostra os resultados das propriedades no estado fresco: consistência (penetração de cone), espalhamento, densidade de massa, teor de ar incorporado e retração plástica encontrados conforme as séries de argamassas estudadas. As densidades de massa apresentaram diferenças não significativas, assim como o teor de ar incorporado. A penetração de cone e o espalhamento mostraram que a substituição de 10% RCV e argamassa de referência são semelhantes, apresentou –se plástica enquanto a de referência áspera.

A substituição de 20% RCV acarretou a argamassa um espalhamento menor, bem como uma penetração de cone reduzida, verificando-se uma argamassa com pouca trabalhabilidade. O menor espalhamento se deve a necessidade de maior teor de água para lubrificar as partículas e maior área específica, o que acarretaria um melhoramento na fluidez da argamassa, porém, redução das propriedades mecânicas. Os grãos de cerâmica vermelha apresentam estrutura densa e fechada, com aspecto de material sinterizado e dessa forma, poderá resultar em argamassas com trabalhabilidade reduzida.

Alcântara e Nóbrega (2011) afirmam que para adições menores (10 e 15%) houve uma tendência ao aumento do índice de consistência da argamassa devido ao aspecto morfológico da superfície do grão de cerâmica vermelha queimada e moída, denso e sinterizado da superfície do resíduo, absorvendo pouca água e facilitando o deslizamento e rolamento da pasta de cimento em estado fresco com os grãos do agregado e do resíduo.

As autoras também verificaram que ao aumentar para 30% a adição do resíduo, leva à redução da consistência, devido ao aumento da superfície específica dos componentes da

argamassa, por ser um resíduo extremamente fino. Consequentemente, há uma maior absorção da água e uma diminuição da consistência normal. Além disso, a grande quantidade de resíduo dificulta o fenômeno do rolamento.

Quadro 5 – Resultados das propriedades do estado fresco

Argamassas	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar (%)	Penetração de Cone (mm)	Flow table (mm)	Retração plástica (mm/m)
REFERENCIA	2,11	2%	40	265	-0,03
RCV 10%	2,13	6%	43	265	-0,53
RCV 20%	2,11	6%	32	255	-0,13/0,30

Silva (2006) comenta que a fissuração em revestimento de argamassa está diretamente associada à retração da argamassa que ocorre já nas primeiras horas (retração plástica) após a adição da água na mistura. Os resultados deste estudo mostraram que o RCV apresenta uma tendência a aumentar a retração plástica das argamassas quando comparadas a de referência. (figura 3).

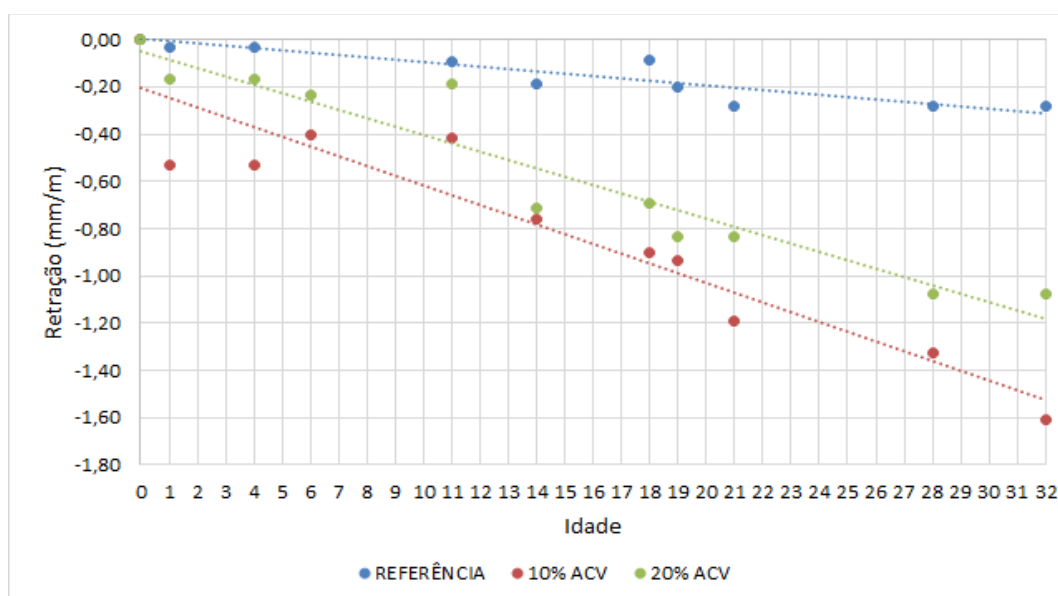


Figura 3. Retração total plástica e por secagem (Fonte: Autoras)

O autor cita que a granulometria do agregado deve ser contínua e com o teor adequado de finos, uma vez que o excesso destes irá aumentar o consumo de água de amassamento e, com isto, induzir a uma maior retração de secagem do revestimento. O quadro 6 mostra os

resultados das propriedades no estado endurecido: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade e variação dimensional. Observa-se que o RCV não alterou significativamente as resistências mecânicas. Costa (2014) concluiu a partir de seus resultados que o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão diminuem com o aumento de finos em substituição ao cimento. Já Silva *et al* (2007) comentaram que o melhor comportamento das argamassas com adições de finos (5 e 10% do total), face à argamassa de referência, tanto à tração por flexão como à compressão pode ser justificado, pelas menores relações água/cimento, pelo efeito “filler” e pela possível integração dos finos de tijolo à pasta de cimento hidratada por ligações químicas (efeito pozolânico). Os resultados de Silva *et al* (2007), mostraram que todas as propriedades testadas na argamassa com 10% RCV, que a incorporação de finos de barro vermelho reciclados em argamassas implica uma melhoria geral de comportamento face à argamassa convencional. Angelim *et al.* (2003) comprovou experimentalmente que a maior resistência à tração influencia positivamente a capacidade da argamassa em não fissurar.

Quadro 6 – Resultados das propriedades do estado endurecido.

Argamas sas	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Resistênci a tração na flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	E/Rt	Resistência à compressão (MPa)	Retração aos 28 dias (mm/m)
REFERE NCIA	1.839,81	1,5	8.269,0	5.353,7	6,2	-0,25
RCV 10%	1.779,19	1,6	8.792,0	5.593,3	7,2	-1,17
RCV 20%	1.796,47	1,3	6.869,0	5.493,5	6,4	-0,67

Quanto a avaliação da suscetibilidade das argamassas à fissuração (quadro 7), os resultados mostraram argamassas com baixa e média suscetibilidade no critério retração por secagem, baixa e média suscetibilidade quando se avalia o módulo de elasticidade e alta suscetibilidade quando se relaciona o módulo de elasticidade a resistência à tração na flexão. A retração por secagem é a que menos retraiu (figura 1). Os resultados de Paes *et al* (1999) indicaram que à medida que se aumenta o teor de finos adicionados à mistura, não ocorre necessariamente o aumento da água unitária para a obtenção da trabalhabilidade ideal,

entretanto maiores quantidades de finos adicionados à argamassa, ocasionam uma maior fissuração. Fato observado quando se substituiu o agregado natural pelo RCV.

Quadro 7 - Resultados da suscetibilidade à fissuração.

Característica (28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa suscetibilidade	Média suscetibilidade	Alta suscetibilidade
Retração por secagem - mm/m	Referencia e rcv 20%	Rcv 10%	
Módulo de elasticidade - (mpa)	Rcv 20%	Referencia e rcv 10%	
Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão - e/rt			Referencia, rcv 10% e 20%

Silva (2006) comenta que para reduzir ou até mesmo eliminar a fissuração nos revestimentos é necessário aumentar as dimensões dos capilares da argamassa e uma das formas de se conseguir isto seria a redução do teor de finos e a incorporação de ar na mistura, reduzindo assim, o consumo de água e melhorando a trabalhabilidade da argamassa.

### Conclusões

- As argamassas apresentaram quanto a tendência à fissuração, argamassas com baixa e média suscetibilidade no critério retração por secagem, baixa e média suscetibilidade quando se avalia o módulo de elasticidade e alta suscetibilidade quando se relaciona o módulo de elasticidade a resistência à tração na flexão.
- É importante a aferição da retração plástica quando se avalia a suscetibilidade à fissuração de uma argamassa.
- O RCV não alterou significativamente as resistências mecânicas, porém aumentou a retração.

### Referências



ALCANTARA, P. S.X, NÓBREGA, A.C.V **Desenvolvimento de argamassas para revestimento utilizando resíduos de cerâmica vermelha de Caruaru/PE como material pozolânico e/ou agregado alternativo.** II SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFPE – CAMPUS CARUARU. Caruaru. PE. 2011.

ALMEIDA, J. L. M. S. L. **Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios.** Porto, Portugal, 2009. 03 p. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. C780: **Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry.** ASTM Internacional, West Conshohocken, 2014.

\_\_\_\_\_. ASTM E1876. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. EUA. 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15630 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2009.

BAÍA, L.L.M; SABBATINI, F.H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa.** 4a edição. Editora O Nome da Rosa, São Paulo, 2008.

BASTOS, P.K.X. **Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARVALHO JR, A.N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation** – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.



CORINALDESI, V.. **Environmentally-friendly bedding mortars for repair of historical buildings. Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 35, p. 778-784, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.131>.

COSTA, E.B.C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2014.156 p.

FASTOFSKI, D. C., SCHAFFER, M.; TELES, R.D. KULAKOWSKI, M.P.; GONZÁLEZ, M.A.T.; KAZMIERCZAK, C.S. **Metodologia de caracterização de resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material pozolânico em pasta de cimento**. 5º Congresso internacional de resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2014.

GARCIA, E., CABRAL JUNIOR, M., QUARCIONI, V. A., CHOTOLI, F. F. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo**. Cerâmica, [s.l.], v. 61, n. 358, p. 25-258, jun. 2015. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-6913205613581847>.

HANSEN, D.M. **Avaliação das propriedades pozolânicas de um resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material cimentício suplementar**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 3ª edição. Ed.: IBRACON. ISBN. 978-85-98576121. Português, p. 674, 2008.

OLIVEIRA, R.P.; GASTALDINI, A.L.G; ANTES, L.H.; RUVIARO, A.S. **Influência do Teor de Finos do Agregado Reciclado na Fissuração e Resistência de Aderência à Tração das Argamassas de Revestimento**. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas, Porto Alegre, 2015.

OLIVEIRA, V.C. **Estudo comportamental da formulação, dos Requisitos, e das propriedades das argamassas Estabilizadas de revestimento**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PAES, I.N.L.; ANDRADE, M.A.S.; ANGELIM, R.R.; HASPARIK, N.P.; OLIVEIRA, R.A; PASSOS, J.S.; THON, D.G; CARASEK, H. **O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento**. III Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas. Fls 335-347. Vitória, ES, 1999.

RODRIGUES FILHO, H.E. **Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, A; SOARES, A; FLORES-COLEN, I; BRITO, J. **Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento através do módulo de elasticidade dinâmico**. Universidade Técnica de Lisboa, PATORREB. Lisboa. 2015.



SILVA, F. G. S. **Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, M. R. **Substituição de cimento por finos cerâmicos em argamassas,** Construção Magazine, Nº 20, 2º trimestre 2007, pp. 76-80.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

TEMP, A.L. **Avaliação de Revestimentos de Argamassa à Permeabilidade ao Vapor de Água.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.** Tese de doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 1998.

ZAMPIRON, L.C., SOUZA, R.A., CASALI, J.M., OLIVEIRA, A.L. **Utilização de areia de reciclagem proveniente de cerâmica vermelha para a confecção de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural.** VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas. Curitiba, PR, 2009.