

# AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO EM ARGAMASSAS À BASE DE CIMENTO

Renata Silva de Almeida\*  
Francisco Gabriel Santos Silva\*\*  
Vanessa Silveira Silva\*\*\*  
Jardel Pereira Gonçalves\*\*\*\*

**RESUMO:** A interação entre carregamentos atuantes nas estruturas de concretos e alvenaria geram esforços de compressão que, associados às deformações no sistema de revestimento, podem gerar tensões secundárias de cisalhamento no próprio revestimento. No Brasil não existem métodos de ensaios normalizados para avaliação do cisalhamento. O objetivo deste trabalho é avaliar as tensões de cisalhamento em argamassas utilizando um método proposto pela Escola Politécnica da UFBA, utilizando corpos de prova em formato de prisma de 7,5 x 7,5 x 10 cm. Os resultados mostram que o método utilizado apresenta fácil aplicabilidade na obtenção da resistência de cisalhamento. Na argamassa estudada foi possível determinar a resistência ao cisalhamento ao longo das idades avaliadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cisalhamento; Argamassa; Método de Ensaio.

## EVALUATION OF SHEARING RESISTANCE IN CEMENT MORTAR

**ABSTRACT:** Interactions between loadings in concrete structures and masonry produces compression forces that, associated with deformations in the covering system, may cause secondary shearing tensions. There are no regulated assays for shearing evaluation in Brazil. Current analysis evaluates shearing tensions in masonry by a method suggested by the UFBA Technical School with 7.5 x 7.5 x 10 cm prism-type assays. Results show that the method is applicable for obtaining shearing resistance and that shearing resistance in the masonry could be determined throughout the evaluated ages.

**KEYWORDS:** Shearing; Masonry; Assay Method.

### INTRODUÇÃO

A tensão de cisalhamento é a intensidade da força, ou força por unidade de área que age tangente a uma variação de área (HIBBELER, 2010).

Quando duas forças  $P$  e  $p'$  são aplicadas a uma barra AB na direção transversal à barra, ocorre um tipo de tensão muito diferente (BEER, 1995). Essa resultante de intensidade  $P$  é chamada de força

cortante; ao dividirmos essa força cortante  $P$  pela área da seção e obtemos a tensão média de cisalhamento que é indicada pela letra grega ( $\tau$ ). Logo podemos escrever a Equação A:

$$\tau(\text{med}) = \frac{P}{A} \quad (1)$$

\* Discente de Engenharia Civil na Universidade Federal da Bahia – UFBA pela Escola Politécnica no Departamento de Construção e Estruturas; E-mail:renatasdealmeida@gmail.com

\*\* Docente Assistente do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; E-mail: fgabriel@ufrb.edu.br

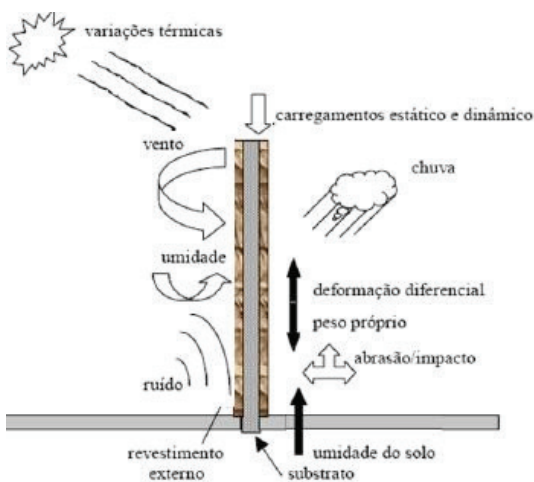
\*\*\* Docente Adjunto do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais da Escola Politécnica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; E-mail: vanessass@ufba.br

\*\*\*\* Docente Adjunto do Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; E-mail: jardelpg@gmail.com

1.1 CISALHAMENTO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

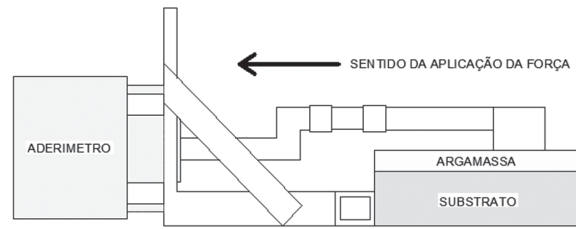
O sistema de revestimento é constituído de várias camadas de materiais distintos ligados entre si (JUNGINGER, 2003). Cada elemento do sistema possui um comportamento mecânico diferente quando sujeito às mesmas condições de carregamentos, mas pelo fato de estarem solidarizados, eles tendem a se deformar em conjunto, gerando tensões nas zonas de contato, que quando não suportadas provocam fissuras e descolamento entre camadas.

As tensões que ocorrem nos revestimentos são geralmente de compressão, tração e cisalhamento, sendo oriundas das mais diversas solicitações que o sistema de revestimento está submetido (ver Figura 1). Deste conjunto, as tensões de cisalhantes são pouco estudadas, e há poucos trabalhos na literatura que abordem de maneira mais profunda a sua ocorrência, dos quais se destacam Stolz (2011), Santana (2010), Rilem (1994a) e Rilem (1994b).

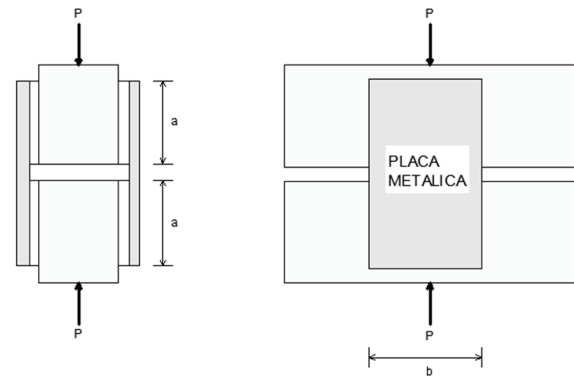


**Figura 1.** Solicitações impostas às superfícies externas da edificação  
Fonte: Araújo Jr (2004)

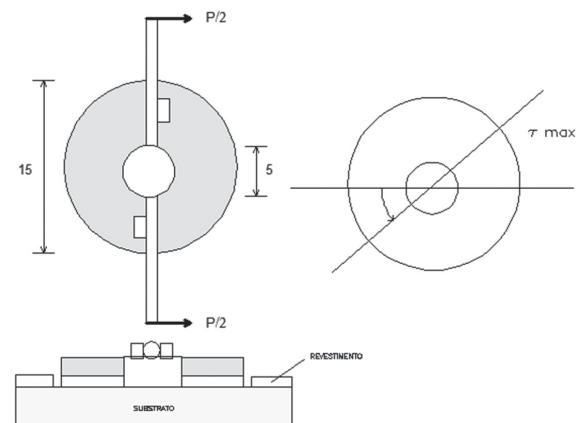
Na Figura 2 são mostrados alguns modelos de ensaio de cisalhamento encontrados na literatura.



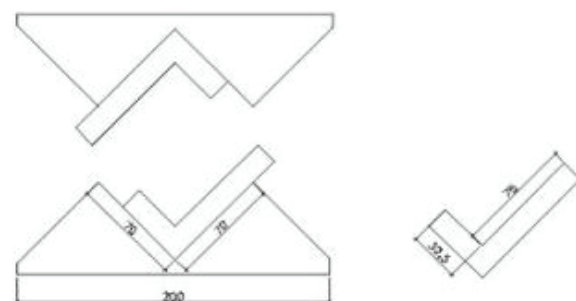
**Figura 2a.** Cisalhamento direto  
Fonte: Stolz, (2011)



**Figura 2b.** Resistência de aderência ao cisalhamento  
Fonte: Santana, (2010); Rilem, (1994a).



**Figura 2c.** Resistência de aderência ao cisalhamento por torção  
Fonte: Santana, (2010); Rilem, (1994a).



**Figura 2d.** Resistência ao cisalhamento por compressão  
Fonte: Gonçalves et al., (2013)

**Figura 2.** Ensaio de cisalhamento encontrados na literatura

O ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento preconizado por Stolz (2010) não possui normalização no Brasil, sendo pouco utilizado. No entanto, alguns trabalhos que utilizam o referido ensaio baseiam-se nas normas RILEM, que propõe dois métodos para avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento, sendo eles a MR-14 “*Determination of the Bond of renderings by shear tests*” e a MR20-20: “*Determination of the Bond strenght of rendering by torsion test*”. No Brasil o controle tecnológico é limitado ao ensaio de resistência de aderência à tração NBR 13528:2010, não sendo levadas em consideração as tensões de cisalhamento.

O ensaio de resistência ao cisalhamento por compressão preconizado por Gonçalves *et. al.* (2013) também não possui normalização no Brasil, ele foi desenvolvido na Escola Politécnica da UFBA, adaptado de modelo utilizado para ensaios em rochas, preconizado por Andreev (1995), para ensaios em argamassa utilizando a geometria corpos de prova de 7,5 x 7,5 x 10 cm.

O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicabilidade do método desenvolvido por Gonçalves *et. al.* (2013), para avaliação da resistência ao cisalhamento em argamassas à base de cimento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para a realização do estudo de laboratório foram empregados: Cimento CPV-ARI, Cal CH-I, areia quartzosa fina e aditivo superplastificante, cujas características estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

**Tabela 1.** Características físicas e mecânicas do cimento

Finura				Expansibilidade	Pega		Consistência
Massa específica(g/cm³)	Blaine (cm²/g)	# 325 (%)	# 200 (%)		Início (min)	Fim (min)	
3,11	4.200	3,10	0,15	0,50	145	210	28,80

**Tabela 2.** Características físicas da areia

Característica determinada	Método	Unidade	Valor
Materiais Pulverulentos	NBR NM 46	%	4,38
Massa Específica	NBR NM 52	kg/dm³	2,62
Impurezas Orgânicas		–	Dentro do aceitável
Módulo de Finura	NBR 7211	–	1,52
Dmax		mm	2,36 mm

**Tabela 3.** Características da cal/pasta

Composição da pasta em massa	1:1,833
Massa específica da cal	2,36 kg/dm³
Massa específica da pasta	1,2892,36 kg/dm³
Índice de fluidez	15±2 s/l.

### 2.2 COMPOSIÇÃO UNITÁRIA E PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS DO ESTUDO DE LABORATÓRIO

No estudo de laboratório foi produzida uma argamassa mista com proporção em massa de 1:0,6:6,57:1,37:0,008 (cimento: cal: areia: água: aditivo). A cal utilizada passou por um processo de maturação de 24 horas. A mistura foi realizada na betoneira de 80l; em seguida foi realizada a moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 (cm) para a realização dos ensaios de resistência à compressão axial (12 cp's) e tração por compressão diametral (12 cp's), foram moldados 6 corpos de prova no formato de prisma, com dimensões 7,5 x 7,5 x 30 (cm) para a realização do ensaio de cisalhamento. Após a

moldagem os corpos de prova foram submetidos à cura ao ar. As propriedades da argamassa no estado fresco estão contidas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Propriedades da argamassa

Característica determinada	Método	Unidade	Valor
Índice de retenção de água	NBR 13277	%	81%
Índice de ar incorporado	NBR 13278	%	12%
Densidade de massa	NBR 13278	Kg/m <sup>3</sup>	1860

### 2.2.1 Preparação dos Corpos de Prova do Ensaio de Cisalhamento

Para a realização do ensaio de cisalhamento, os corpos de prova foram obtidos dos prismas moldados (7,5 x 7,5 x 30 cm); para isso foi realizado o corte do mesmo num equipamento de retífica, eliminando os bordos, com comprimento aproximado de 5 cm e assim foi obtido o corpo de prova de 7,5 x 7,5 x 10 (cm).

### 2.2.2 Ensaios Realizados

Os ensaios de resistência à compressão axial (NBR 5739) com cp's de 5x10 cm, e resistência ao cisalhamento com cp's de 7,5 x 7,5 x 10 cm, foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias para resistência à compressão axial e 3, 7, 28 e 45 dias para resistência ao cisalhamento. Para ambos os ensaios foram utilizados 4 cp's por idade.

### 2.2.3 Metodologia do Ensaio de Cisalhamento

A avaliação do cisalhamento foi feito de acordo com o método de Gonçalves et al.(2013), em corpos de prova de 7,5 x 7,5 x 10 cm, conforme mostrado na Figura 3.



**Figura 3.** Vista do dispositivo

As peças foram colocadas na prensa, e os corpos de prova ajustados no dispositivo em formato de L, acoplados na base metálica para orientar a carga a 45°, de forma a obter o cisalhamento do corpo de prova. Deve-se ter muito cuidado na colocação dos dispositivos L, de forma que eles estejam invertidos, para garantir que a distribuição da carga promova um cisalhamento a 45°, a inversão na colocação dos dispositivos promoverá no corpo de prova apenas tensão de compressão.

Após a acoplagem dos elementos, é aplicada uma carga no dispositivo (Figura 3) com carregamento constante de 0,1 mm/s, que promove um cisalhamento na peça, essa taxa de carregamento garante que haja fluxo homogêneo de carga.

O cálculo do cisalhamento é feito considerando o pico de carga, cisalhante, na qual se obtém a tensão por meio da equação (2):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde:

= Tensão cisalhante (MPa);

F = Força aplicada (N);

A = Área da seção cisalhada (m<sup>2</sup>).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 são apresentados os dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência ao cisalhamento das misturas.

deve ser dada na montagem do dispositivo em L, que deve ser colocado em formato invertido, partes de cima e de baixo, pois quando não atendido promove no corpo de prova o efeito de compressão ao invés de cisalhamento. As peças metálicas são pesadas, o que dificulta o seu manuseio com facilidade, assim

**Tabela 5.** Resistência à compressão e tração por compressão diametral

	Resistência à compressão – $f_c$ – (MPa)			Tração por compressão diametral – $f_{td}$ – (MPa)			Tensão de cisalhamento – $\tau$ – (MPa)			
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d	45d
Média (Mpa)	4,32	6,33	6,69	0,73	0,77	1,08	3,56	4,47	6,10	6,47
Desv Pad	0,38	0,76	9,75	0,08	0,12	0,16	0,36	0,44	0,48	0,38
CV (%)	8,85	11,97	9,75	11,37	15,24	14,43	10,19	9,79	7,91	5,86
Relação $f_{td}/f_c$	0,17	0,12	0,16							
Relação $\tau / f_c$	0,82	0,71	0,91							

Verifica-se um aumento nos valores das propriedades mecânicas das argamassas com a idade, conforme esperado. Os resultados mostram que a resistência ao cisalhamento evolui percentualmente entre as idades adjacentes em 25,4% aos 7 dias, 36,48% aos 28 dias e 6% aos 45 dias, nota-se que para a idade de 45 dias não houve aumento expressivo.

A resistência ao cisalhamento apresentou magnitude de valores maiores que os valores da resistência à compressão diametral. A relação entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão axial varia de 0,12 a 0,17, conforme esperado. Enquanto que a relação entre a tensão de cisalhamento e a resistência à compressão axial varia de 0,71 a 0,91.

Os coeficientes de variação encontrados ficaram abaixo de 16%, valores considerados baixos em comparação a outros ensaios consagrados tal qual o ensaio de resistência de aderência à tração.

O método utilizado se mostrou de fácil aplicação, e algumas dificuldades experimentais foram encontradas no manuseio das peças e centralização do dispositivo no corpo de prova. Atenção especial

recomenda-se para este método o uso de dispositivos construídos com metais leves que favoreçam a ergonomia do operador do ensaio.

Estudos adicionais podem ser realizados a fim de se verificar o comportamento dos diversos tipos de argamassas ao cisalhamento, como a utilização de telas para reforço de revestimento sujeito ao cisalhamento. Bem como modelagens numéricas para avaliar os formatos de ruptura ocorridos e suas relações com as cargas em que o revestimento está submetido.

#### 3.1 FORMATO DE RUPTURA

O formato de fissura de ruptura dos corpos de prova como mostrado na Figura 4, onde é possível notar que as fissuras de cisalhamento no plano longitudinal interno ao corpo de prova ocorreram a 45°, mas nas faces transversais (aproximadamente 1,5 cm de profundidade), ocorreram de forma cônica.



**Figura 4.** Formato típico das fissuras

A partir dos resultados apresentados verifica-se um grande potencial do uso do método para avaliação da resistência ao cisalhamento em argamassas. Esta será de grande importância para elaboração de projetos de revestimento de forma mais adequada e projetos de reforço de revestimento com telas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados neste trabalho pode-se concluir que:

- a) O método de ensaio proposto se mostrou eficiente e de fácil aplicação na determinação da tensão de cisalhamento da argamassa.
- b) O formato de ruptura no sentido longitudinal foi o mesmo para os corpos de prova estudados, com inclinação de  $45^\circ$  e na seção transversal na face, foi possível identificar uma geometria cônica.
- c) O coeficiente de variação encontrado no ensaio foi inferior a 8% na avaliação aos 28 dias, demonstrando confiabilidade no método proposto.
- d) Algumas dificuldades experimentais foram encontradas devido ao peso das peças metálicas, mas que podem ser facilmente resolvidas na confecção de moldes com metais mais leves.

Novos estudos serão realizados para maior confiabilidade do método para materiais cimentícios.

#### REFERÊNCIAS

ANDREEV, G. E. **Brittle failure of rock materials**. Rotterdam: Brookfield, 1995. Cap. 4, p. 149–198.

ARAÚJO JR., J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2004.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR, E. R. **Resistência dos materiais**. Makron Books, 1995.

GONÇALVES, J. P. et al. Proposta de método de ensaio para avaliação da resistência ao cisalhamento em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 10, 2013, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2013.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo, SP: Pearson Education, 2010.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimento cerâmico: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. 2003, 141f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM. **Recommendations –MR–14. Determination of the bond of renderings by shear test**. [s.l.]: RILEM, 1994.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM. **Recommendations –MR–20. Determination of the bond strength of renderings by torsion test**. [s.l.]: RILEM, 1994.

SANTANA, C. R. B. **Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos argamassados**. 2010. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife, 2010.

**STOLZ, C. M. Influência da interação entre parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos de aderência de argamassas de revestimento.** 2011. 213f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2011.

*Enviado em: 15 de abril de 2013*

*Aceito em: 12 de junho de 2013*