

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO BRASILEIRO PARA MEDIDA DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRACÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

COSTA, Eliane

Mestranda, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – Brasil.

elianebetania@hotmail.com

CARASEK, Helena

Doutora, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – Brasil.

hcarasek@eec.com.br

CASCUDO, Oswaldo

Doutor, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – Brasil.

ocascudo@eec.com.br

ALMEIDA, Sylvia

Doutora, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – Brasil.

sylviaalm@gmail.com

Resumo: São muitos os factores intervenientes no fenómeno da aderência de revestimentos de argamassas em substratos porosos. Como se não bastasse a complexidade intrínseca desse fenómeno, o método de ensaio normalizado no Brasil para se determinar a resistência de aderência à tracção de revestimentos de argamassa (ABNT NBR 13528/1995) introduz variabilidade no resultado. Assim, o objectivo deste trabalho é verificar a influência de alguns factores nos resultados de resistência de aderência à tracção, tais como: a geometria e a dimensão dos corpos-de-prova, a espessura e a tipo de cola e a excentricidade da carga. Para tanto, o estudo foi elaborado em duas etapas distintas: a primeira, uma modelação computacional, utilizando o método dos elementos finitos (programa ANSYS®), e a segunda, experimental, desenvolvida em laboratório. Os resultados obtidos permitiram distinguir os factores que mais influenciam os valores de resistência de aderência à tracção, detectando as principais fontes de variabilidade.

Palavras-chave: Aderência, Revestimentos, Argamassa, Método de Ensaio.

1. INTRODUÇÃO

A aderência entre o revestimento de argamassa e o substrato é uma propriedade bastante complexa, pois depende de um grande número de factores, tais como: as características dos materiais envolvidos (tanto da argamassa como do substrato), as técnicas de execução e as condições de exposição dos revestimentos ao ambiente [1].

De acordo com Weiss [2], as propriedades mecânicas e a aderência determinam o desempenho das camadas de revestimento. Durante a realização dos ensaios, surgem tensões devidas às propriedades diferentes dos elementos envolvidos; logo, torna-se importante compreender os mecanismos envolvidos e ajustar os métodos de ensaio para medir a resistência de aderência.

A resistência de aderência comumente definida e testada com base na resistência de aderência à tracção, segundo a NBR 13528 [3], é a tensão máxima suportada por um corpo-de-prova de revestimento quando submetido a um esforço normal de tracção.

Cincotto, Silva e Carasek [1] relatam que o ensaio de resistência de aderência à tracção é bastante variável, podendo apresentar coeficientes de variação da ordem de 10% a 35% devidos a factores inerentes ao procedimento de ensaio, os quais podem interferir no resultado obtido. Dentre esses factores, podem ser destacados o ângulo e o equipamento utilizado no corte do revestimento, além da forma e da velocidade de aplicação da carga de arrancamento.

Nessa mesma linha, Gonçalves [4] constatou em sua pesquisa que a resistência de aderência à tracção apresentou uma variabilidade intrínseca de 52%, enquanto o método de ensaio, por si só, apresentou uma variação interna de 19%.

Os ensaios realizados por laboratórios e institutos de pesquisas, no Brasil, mesmo padronizados pela norma, ainda diferem entre si nos seguintes aspectos: forma, dimensão e corte dos corpos-de-prova, bem como o tipo de equipamento utilizado, que certamente contribuem para ocasionar alterações nos valores de resistência de aderência.

Recentemente têm sido relatados inúmeros casos em que os resultados de ensaios de aderência obtidos em laboratório, quando confrontados com os obtidos em obra, não podem ser comparados. Além disso, construtores têm se queixado de resultados divergentes realizados para uma mesma situação por mais de um laboratório.

Diante de tais considerações, torna-se relevante o estudo da influência dos parâmetros e da metodologia do ensaio de resistência de aderência à tracção dos revestimentos de argamassa.

O presente trabalho visa apresentar e discutir os resultados de uma avaliação respeitante ao método brasileiro para medida da resistência de aderência à tracção de revestimentos de argamassa. Os objectivos, por meio de análise computacional empregando elementos finitos, assim como por avaliação experimental, consistem em investigar a influência de algumas variáveis consideradas, por hipótese, relevantes no contexto do método de ensaio em questão, em virtude de sua interferência significativa nos resultados finais obtidos. Avalia-se, portanto, a influência das seguintes variáveis: geometria e dimensão dos corpos-de-prova, camada de cola entre a pastilha e a superfície do revestimento (analisando a espessura da camada e as propriedades desta camada endurecida) e a forma de aplicação da carga de arrancamento.

Convém mencionar que este trabalho faz parte de um estudo mais abrangente, cuja intenção geral é a de fornecer subsídios suficientes para a revisão da norma brasileira actual, a ABNT NBR 13528/1995. De entre os aspectos de estudo do método de arrancamento encontram-se em andamento por esta equipa de pesquisadores, além dos abordados no presente trabalho, as avaliações referentes ao tipo de equipamento, ao procedimento de corte, à taxa de carregamento e à influência do operador do ensaio. Outros factores já estudados, com resultados publicados no VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, são aqueles concernentes à análise da influência da espessura do revestimento de argamassa e do módulo de elasticidade desse revestimento sobre os resultados de resistência de aderência à tracção.

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas distintas, modelação computacional e programa experimental em laboratório. A seguir, estão descritas as variáveis adotadas, as condições fixas e a metodologia utilizada em cada etapa.

2.1 Variáveis Estudadas

As variáveis foram estabelecidas segundo a metodologia prescrita pela NBR 13528 [3], para o ensaio de resistência de aderência à tracção. Nas duas etapas realizadas foram analisadas as seguintes variáveis:

- Geometria e dimensão dos corpos-de-prova: circular 50 mm e quadrado 100 mm.
- Camada de cola:
Na etapa de modelação computacional foi avaliada a espessura (0 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm e 12 mm) e três tipos de cola, cujas propriedades estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades dos tipos de cola analisados.

Cola	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
1	0,35	0,35
2	0,50	0,35
3	0,35	0,40

Na etapa experimental, avaliaram-se dois tipos de cola, uma de base poliéster e outra epoxídica, cujas propriedades se enquadram nos valores mencionados na Tabela 1.

- Forma de aplicação da carga: com e sem excentricidade.

2.2 Condições Fixas

2.2.1 Modelação computacional

Foram considerados constantes em todos os modelos construídos, as dimensões do substrato (1,00 m x 1,00 m x 0,15 m), a espessura do revestimento (25 mm), bem como as propriedades dos materiais constituintes do sistema, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades atribuídas aos elementos.

Materiais	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
<i>Betão (substrato)</i>	21	0,20
<i>Argamassa de revestimento</i>	1	0,20
<i>Alumínio (pastilha)</i>	70	0,33

Outras constantes foram adoptadas conforme as variáveis estudadas, para a análise da geometria e dimensão dos corpos-de-prova e não se utilizou a camada de cola; para os modelos construídos para estudo da camada de cola e forma de aplicação empregou-se corpo-de-prova circular com diâmetro 50 mm. Para a forma de aplicação da carga, estabeleceu-se cola tipo 1 e espessura equivalente a 5 mm.

2.2.1 Programa experimental

- Base de aplicação do revestimento: placas de substrato-padrão.
- Argamassa industrializada para uso em revestimentos externos e internos;
- Processo de aplicação da argamassa: mecânico, por meio de um projector por spray a ar comprimido;
- Espessura do revestimento: $25\text{mm} \pm 2\text{ mm}$.
- Procedimento de cura: cura húmida.
- Idade de avaliação dos revestimentos: 82 ± 3 dias.
- Corte do revestimento: realizado com água.

2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Modelação computacional

Os modelos foram construídos utilizando o programa ANSYS®, versão 6.1, discretizados por uma malha bem refinada composta por elementos tridimensionais isoparamétricos (tipo SOLID 65). Este elemento possui oito nós com três graus de liberdade cada um, translações em x, y e z. Os modelos construídos envolvem uma camada de betão, argamassa, pastilha de alumínio e em alguns modelos a camada de cola. A Figura 1 exibe uma representação esquemática do sistema adoptado, bem como o detalhe da malha utilizada.

Para representar a carga aplicada no ensaio, aplicou-se uma carga uniformemente distribuída igual a $0,20\text{ MPa}$ no corpo-de-prova. Entretanto, para verificação da forma de aplicação da carga (com e sem excentricidade), o carregamento foi distribuído em uma região circular de diâmetro 10 mm , representando o parafuso usado no ensaio para a aplicação da carga (Figura 2). Nestes casos, a carga distribuída aplicada foi proporcional à área do parafuso, ou seja, 5 MPa , para que ao ser transmitida à pastilha se pudesse obter um valor igual a $0,20\text{ MPa}$, semelhante aos demais modelos estudados.

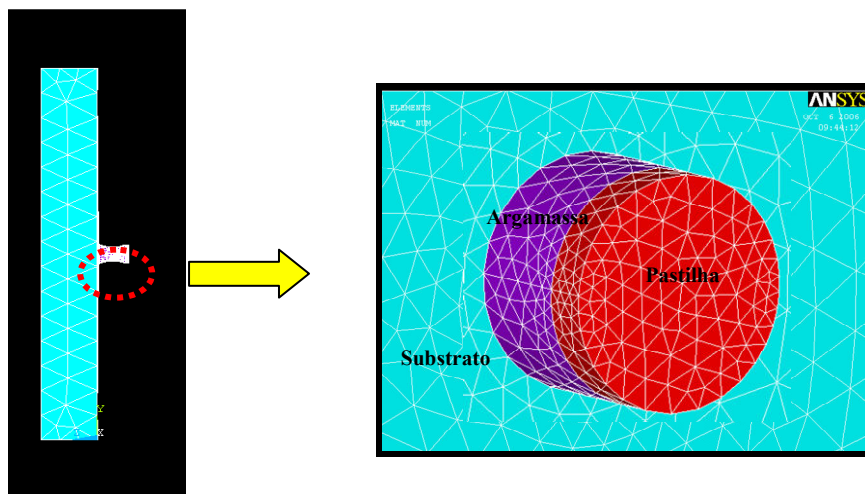


Figura 1 – Detalhe da composição de um dos sistemas de revestimento estudados (a) condições de contorno; (b) detalhe da malha e camadas constituintes para análise da geometria e dimensão dos corpos-de-prova.

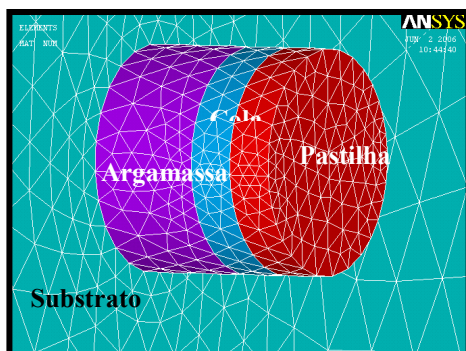


Figura 2 – Detalhe do modelo construído para análise da influência da cola.

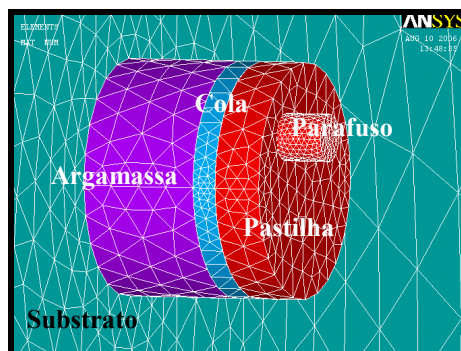


Figura 3 – Detalhe do modelo construído para análise da excentricidade de carga.

2.3.2 Programa experimental

✓ Preparação dos revestimentos de argamassa:

As argamassas foram preparadas em betoneira de eixo inclinado, pré-humedecida, com capacidade de 120 litros, sendo cada mistura efectuada com dois sacos de argamassa empregando-se 15,2 litros de água, com tempo de mistura entre 8 min e 10 min.

✓ Caracterização das argamassas:

Foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido; os métodos de ensaio e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Previamente à aplicação da argamassa, era feita uma limpeza superficial nos substratos para retirar poeira e outros materiais que pudessem prejudicar a aderência argamassa-substrato. Após este procedimento, os substratos eram colocados na vertical e procedia-se ao lançamento das argamassas.

Tabela 3 – Caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido.

	<i>Característica determinada</i>		<i>Método de ensaio</i>	<i>n</i>	<i>Resultados médios</i>
<i>Estado fresco</i>	Densidade de massa		NBR 13278/1995	15	1,69 g/cm³
	Consistência – penetração do cone		ASTM C-780/1996	15	40 mm
	Teor de ar método pressométrico		NBR 11686/1990	12	20%
<i>Estado endurecido</i>	Resistência à compressão	7 dias	NBR 13279/1995	4	3,0 MPa
		28 dias			3,6 MPa
		90 dias			4,4 MPa

✓ Aplicação da argamassa:

Para minimizar esta variabilidade, optou-se pela utilização de um sistema de projecção mecânico. A projecção foi feita com pressão igual a 100 psi, na forma de filetes contínuos de baixo para cima, guardando uma distância de 30 cm das placas a serem revestidas.

A espessura do revestimento foi fixada em 25 ± 2 mm e controlada com auxílio de uma guia metálica fixada sobre o painel. Após a aplicação da argamassa, aguardava-se o ponto de sarrafeamento do revestimento. Decorrido este tempo de espera, o pedreiro cortava a argamassa excedente por meio de uma régua de alumínio. Posteriormente, executava-se o desempenho da superfície com uma desempenadeira de madeira, o acabamento final era realizado com uma espuma humedecida e então, com cuidado, as placas eram separadas por meio de um corte superficial com espátula.

Após 24 horas da aplicação da argamassa, as placas revestidas foram cuidadosamente transportadas para um tanque de água, onde permaneceram imersas durante o período de cura.

✓ *Cura dos revestimentos:*

As placas revestidas foram curadas em tanque de água, durante catorze dias. Ao serem retiradas do tanque, as placas eram mantidas em ambiente de laboratório até a data de realização do ensaio.

✓ *Determinação da resistência de aderência à tracção:*

Para cada variável analisada foram preparados trinta corpos-de-prova, sendo distribuídos seis em cada painel de forma aleatória, mantendo-se um espaço de 50 mm entre si e pelo menos 20 mm do bordo.

Os cortes foram realizados previamente à colagem das pastilhas, independentemente da geometria e dimensão dos corpos-de-prova. Para evitar vibrações durante o corte, os corpos-de-prova circulares foram efectuados por um serra-copo acoplado a uma furadeira de coluna e os quadrados foram realizados com serra mármore com disco de corte de 110 mm e potência de 1300 watts, ambos executados com água.

Após o corte, as placas permaneciam ao ar por 24 horas para posterior colagem das pastilhas.

A excentricidade de carga foi examinada por meio do deslocamento da pastilha, do centro do furo feito anteriormente com o serra-copo. As Figuras 4 e 5 ilustram os corpos-de-prova excêntricos e sem excentricidade.



Figura 4 – Corpo-de-prova com excentricidade.



Figura 5 – Corpo-de-prova sem excentricidade.

O tempo aguardado para a secagem da cola era, no mínimo, de 1h para o adesivo de base poliéster e 12 h para a resina epóxi.

O ensaio de resistência de aderência à tracção foi executado com dois tipos de equipamentos, ambos dinamómetros de tracção, conforme mostram as Figuras 6 e 7.

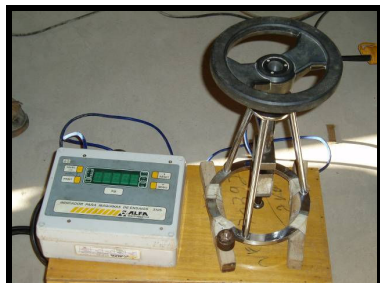


Figura 6 – Equipamento utilizado para análise da geometria e dimensão dos corpos-de-prova e o tipo de cola.

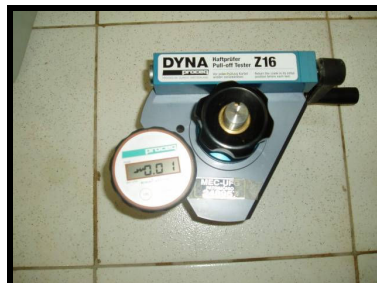


Figura 7 – Equipamento empregado para avaliação da forma de aplicação da carga.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos individualmente para cada variável estudada. A análise da modelação computacional foi feita por meio de cortes realizados na interface argamassa-substrato e verificada a distribuição de tensões nesta interface e os resultados experimentais foram submetidos a análise de variâncias.

3.1 Influência da Geometria e Dimensão dos Corpos-de-prova

Conforme pode ser visto na Figura 8, a geometria e dimensão dos corpos-de-prova altera a distribuição de tensões na interface argamassa-substrato. Nota-se a concentração de tensões nas extremidades do corpo-de-prova quadrado.

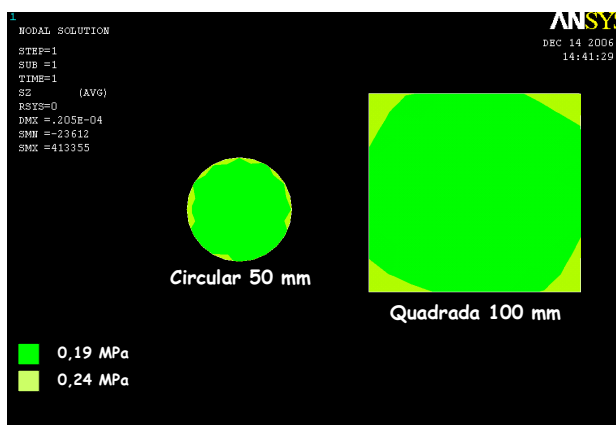


Figura 8 – Distribuição de tensões na interface argamassa-substrato para corpos-de-prova com geometria e dimensões distintas.

Essa concentração de tensões nos cantos dos corpos-de-prova quadrados pode ser explicada de forma similar ao que ocorre com uma barra quadrada submetida à torção. De acordo com Beer e Johnston Jr. [5], as secções transversais deste tipo de barra não se mantêm planas. Ao serem submetidas a momento de torção, perdem a sua forma inicial, o que provoca um enrijecimento nos cantos e consequente elevação das tensões. Já nas

barras circulares, todas as secções transversais se mantêm planas e conservam a sua forma devido à axissimetria

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variâncias para os corpos-de-prova empregados.

Tabela 4 – Resultados da análise de variância realizada com os valores de resistência de aderência à tracção, para corpos-de-prova com geometria diferente.

<i>Efeito</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>F_{cal}</i>	<i>F_{tab}</i>	<i>Resultado</i>
(1) Geometria e dimensão	0,78	1	0,78	73,76	4,06	Significativo
Erro (resíduo)	0,48	45	0,01	-	-	-
Total	1,26	46	-	-	-	-

$R_{\text{mod}} = 0,79$ e $R^2_{\text{mod}} = 0,62$

Legenda:

SQ= soma dos quadrados;

GL= grau de liberdade;

MQ= média dos quadrados;

F= parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos;

R^2_{mod} = coeficiente de determinação do modelo ($1 - SQ_{\text{erro}}/SQ_{\text{total}}$);

R_{mod} = coeficiente de correlação do modelo;

Submetendo os resultados experimentais da Tabela 4 ao teste de Duncan, observa-se a formação de dois grupos distintos, como exposto na Figura 9.

Os resultados confirmam a tendência dos corpos-de-prova circulares apresentarem maiores valores de resistência de aderência em relação aos quadrados. Isto ocorre porque eles apresentam menores valores de tensão na argamassa e não possuem concentração destas nos bordos, na região de interface, conforme mostrado na Figura 8.

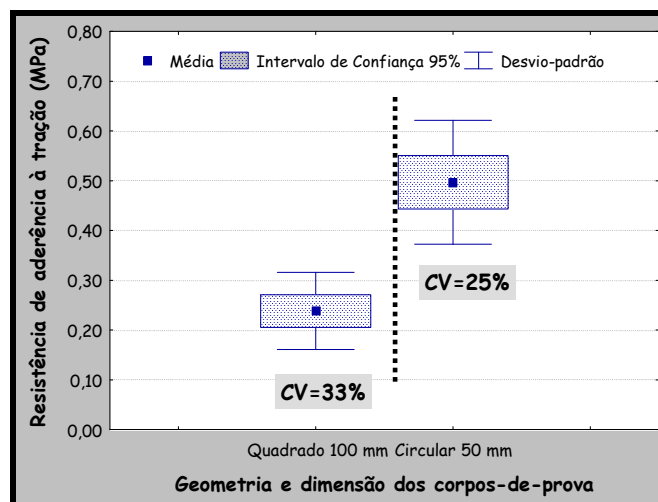


Figura 9 – Valores médios globais de resistência de aderência à tracção (82 ± 3 dias) em função da geometria do corpo-de-prova e separação em grupos pelo teste de Duncan.

Gonçalves (2004) também constatou, por meio de ensaios experimentais, que corpos-de-prova quadrados apresentam valores de aderência inferiores aos circulares, justificando que isso ocorria porque o corte realizado com serra mármore afectava os cantos do corpo-de-prova. Tal resultado é confirmado pelos resultados obtidos da modelação computacional, embora não seja possível atribuir a menor resistência dos corpos de prova quadrados exclusivamente aos problemas no corte, já que existe concentração de tensões inerente à geometria do corpo-de-prova. O procedimento de corte pode ou não intensificar ainda mais essas tensões.

Convém mencionar que Gonçalves (2004) encontrou uma diferença de 58% para os valores de resistência de aderência à tracção quando utilizou corpos-de-prova quadrados. Agora nesta pesquisa essa diferença foi de 52%.

3.2 Influência da Camada de Cola

Para a colagem da pastilha no revestimento, a NBR 13528 (ABNT, 1995) prescreve cola à base de resina epoxídica, sem qualquer menção sobre as propriedades da resina ou sobre a espessura a ser empregada.

Na Figura 10 pode-se verificar que a camada de cola exerce influência na distribuição de tensões. Observa-se a formação de dois grupos, o primeiro constituído pelo sistema sem cola e cola 5 mm, e o segundo formado pelas espessuras de 7 mm, 10 mm e 12 mm.

No primeiro grupo não há a formação de uma envoltória de tensões elevadas, e no outro grupo a zona de tensões elevadas corresponde a uma percentagem de área praticamente constante. Isso ocorre porque o coeficiente de Poisson da cola é superior e o módulo de elasticidade inferior aos das camadas de argamassa e substrato, permitindo maiores deformações (estrangulamento da secção).

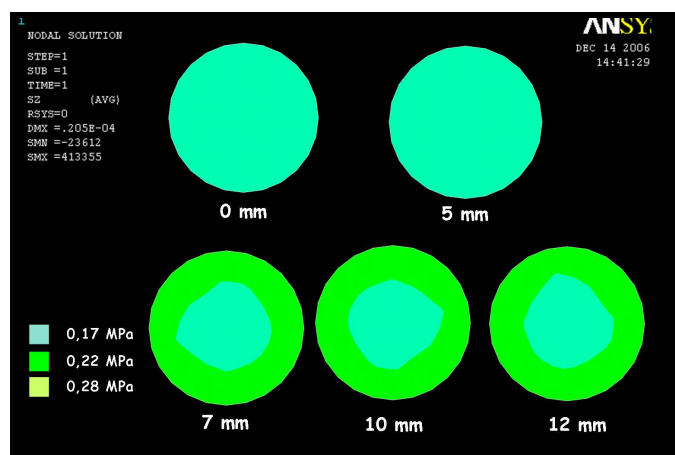


Figura 10 – Distribuição das tensões na interface entre argamassa e substrato para diferentes espessuras da camada de cola.

Em relação ao tipo de cola, nota-se, na Figura 11, que não há diferença de tensões para os três tipos de cola analisados.

Como constatado na modelação computacional, a análise estatística dos resultados experimentais também demonstrou que os adesivos empregados nesta pesquisa, não

exercem influência significativa nos valores de resistência de aderência à tracção. Isto porque estes materiais apresentam propriedades mecânicas similares.

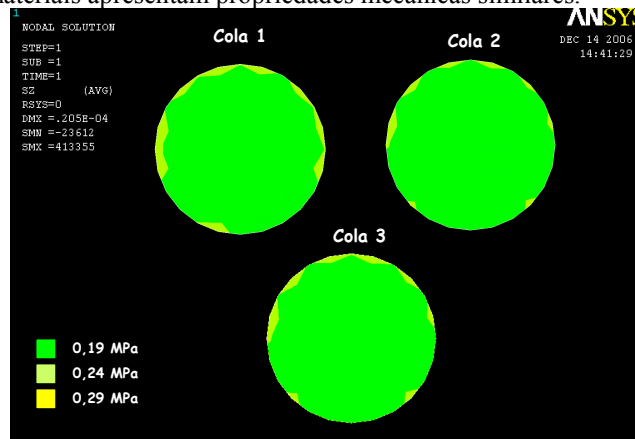


Figura 11 – Distribuição das tensões na interface entre argamassa e substrato para os três tipos de cola estudados com espessura de 5 mm.

No que diz respeito aos valores médios de resistência de aderência à tracção e coeficientes de variação, os resultados foram muito próximos para os dois tipos de cola utilizados, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios de resistência de aderência à tracção e coeficientes de variação, para os dois tipos de cola utilizados.

Cola	n	Média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Poliéster	23	0,31	41
Epóxi	25	0,31	42

Legenda:

n – número de corpos-de-prova

Embora o tipo de cola não se tenha mostrado influente nos valores de resistência de aderência, ao realizar o ensaio deve-se utilizar um material de boa qualidade para evitar rupturas na cola ou na interface argamassa-cola, que constituem problemas de ensaio.

3.3 Influência da Forma de Aplicação da Carga

As Figuras 12 e 13 apresentam os resultados obtidos com o carregamento sem excentricidade, aplicada no centro da pastilha metálica, e com excentricidade, fora do centro respectivamente.

Com base nas figuras supracitadas pode-se depreender que as tensões são distribuídas de maneira uniforme ao longo da camada de argamassa para a carga aplicada sem excentricidade. Na carga aplicada fora do centro da pastilha (Figura 13), verifica-se um efeito de flexão, que tende a elevar as tensões na parte superior do corpo-de-prova. Esse acréscimo de tensão tende a diminuir a resistência de aderência do sistema. Embora esse resultado já fosse esperado, ele reforça a importância dos cuidados que se deve ter na preparação e na execução do ensaio, visto que essas excentricidades, ao introduzir tensões maiores que as previstas inicialmente, podem conduzir a interpretações erradas dos resultados.

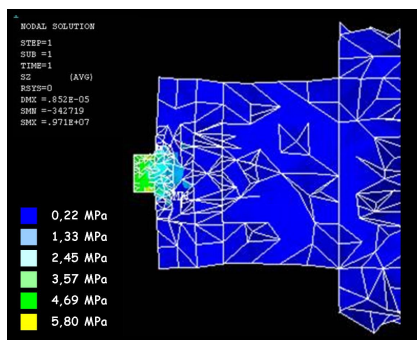


Figura 12 – Carga aplicada sem excentricidade.

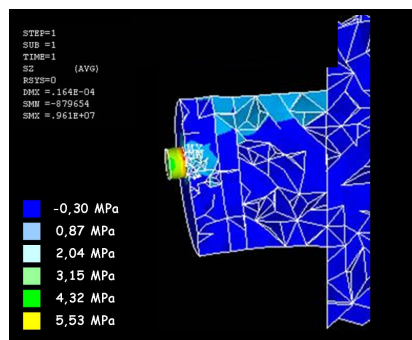


Figura 13 – Carga aplicada com excentricidade.

A carga aplicada no centro de gravidade gera tensões médias de tracção da ordem de 0,22 MPa enquanto que a carga aplicada com excentricidade gera na parte superior tensões de tracção equivalentes a 0,86 MPa. O acréscimo nas tensões de tracção é de 290%. Mas são as tensões de tracção que mais preocupam, visto que os materiais usados na confecção de argamassa, de base cimentícia, apresentam comportamento frágil. Nesse caso, os resultados não são conclusivos do ponto de vista quantitativo, pois possivelmente, haveria ruptura à tracção antes que esses valores fossem atingidos. Mas como resultados qualitativos, esse valor das tensões de tracção mostra como as imperfeições dos ensaios podem modificar e mascarar os resultados, levando a conclusões errôneas.

A análise de variâncias revelou que tanto o modelo factorial adoptado como a forma de aplicação da carga (com e sem excentricidade) são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%, ou seja, o efeito de aplicação da carga influencia a variabilidade da resistência de aderência à tracção.

Na Figura 14 são apresentados os valores médios globais de resistência de aderência em função da forma de aplicação da carga. Analisando essa figura, percebe-se que a carga aplicada sem excentridade origina valores de resistência de aderência 25% superiores aos obtidos com carga excêntrica, formando inclusive um grupo estatístico isolado.

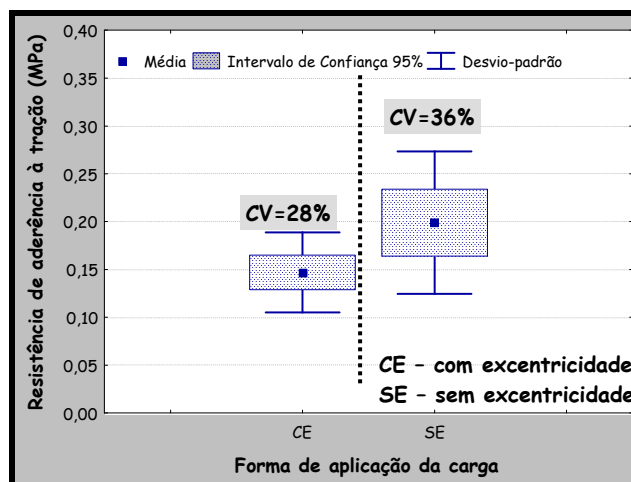


Figura 14 – Valores médios de resistência de aderência à tracção e coeficientes de variação para cargas aplicadas com e sem excentridade, aos 82±3dias.

Conforme foi visto na etapa de modelação computacional, aquele resultado resulta do efeito de flexão que surge nas cargas excêntricas, que aumenta o nível de tensão na parte superior dos corpos-de-prova, reduzindo a resistência de aderência à tracção. Como mencionado anteriormente a ruptura também ocorreu antes que o valor de 0,86 MPa (tensão de tracção obtida na modelação computacional) fosse atingido.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo são as seguintes:

- ✓ A geometria e dimensão do corpo-de-prova, a espessura da camada de cola e a forma de aplicação da carga interferem na distribuição de tensões na interface argamassa-substrato e, conseqüentemente, afectam os valores de resistência de aderência à tracção.
- ✓ Os corpos-de-prova circulares apresentam maiores valores de aderência em relação aos quadrados, pois os últimos concentram tensões nas suas extremidades;
- ✓ O tipo de cola empregado para a realização do ensaio de resistência de aderência à tracção não interfere significativamente nos valores de aderência.
- ✓ As cargas aplicadas sem excentricidade proporcionam maiores valores de aderência quando comparadas a cargas excêntricas, pois estas não originam efeitos de flexão inicial.

5. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13528*. Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.
- [2] CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C; CARASEK, H. *Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT 2378), 1995, 118 p. Boletim Técnico 68 IPT.
- [3] WEISS, H. *Adhesion of advanced overlay coatings: mechanisms and quantitative assessment*. Surface and Coating Technology, n° 71, p. 201-207, 1995.
- [4] GONÇALVES, S. R. C. *Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso*. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 148p.
- [5] BEER, F. B.; JOHNSTON JR., E. R. *Resistência dos Materiais*. São Paulo: McGRAW-HILL, 1996.