

## RELAÇÕES ENTRE A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE PLACAS DE GRANITOS E A ADERÊNCIA COM ARGAMASSAS COLANTES

Rogério Pinto Ribeiro <sup>1</sup>; Sérgio Trajano Franco Moreiras <sup>2</sup>; Victor José dos Santos Baldan<sup>3</sup>; João Paulo Monticelli <sup>4</sup>

**Resumo** – As relações entre a rugosidade superficial de placas de rochas e suas aderências com argamassas colantes foram dimensionadas por 54 ensaios de resistência de aderência à tração por arrancamento. Placas com diferentes rugosidades da rocha comercialmente conhecida como "Jacarandá Rosado" foram fixadas com dois tipos de argamassas colantes, uma comercial e outra produzida em laboratório. Os valores médios obtidos de aderência foram maiores para as placas mais rugosas, como esperado, uma vez que nesta condição tem-se maior superfície exposta dos minerais, resultando em maior número de cargas eletroquímicas expostas para interagirem com as argamassas colantes. A avaliação detalhada dos tipos de ruptura nos ensaios de aderência foi importante para corroborar os resultados melhores de resistência à tração por arrancamento para a argamassa preparada em laboratório com cimento CPV-ARI.

**Abstract** – The relationships between surface roughness of rock slabs and their adherences with adhesive mortars were measured by 54 pullout traction tests. Slabs with different roughness of the rock commercially known as Jacarandá Rosado were fixed with two types of adhesive mortars, one commercial and the other produced in the laboratory. The average values obtained for adhesion were higher for the rougher slabs, as expected, since in this condition there is a larger exposed surface of the minerals, resulting in a greater number of electrochemical charges to interact with the adhesive mortars. The detailed evaluation of failures in adhesion tests was important to confirm the better results of bond tensile strength for the mortar prepared in the laboratory with CPV-ARI cement.

**Palavras-Chave** – Rochas de revestimento; serragem de blocos; tear multifios diamantados; rugosidade de placas; sistemas aderentes

---

<sup>1</sup> Geól., PhD, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, (16) 33739491, rogerioprx@sc.usp.br

<sup>2</sup> Eng., PhD, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá (Umuarama), (44) 36219658, strajano@gmail.com

<sup>3</sup> Eng., Prof. Dr., Faculdades Integradas Einstein de Limeira, (19) 34049594, coord.civil@einsteinlimeira.com.br

<sup>4</sup> Geól., Pós-Graduando em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, (16) 33739502, jpmonticeli@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

É conhecido que a fixação de placas de rochas em sistemas aderentes e não aderentes de pisos e revestimentos de paredes é um assunto aberto uma vez que o empirismo é vigente. No sistema aderente, o dorso das placas de rochas entra em contato direto com as argamassas (adesão física) que as fixam à edificação. No sistema não aderente, a fixação das placas é feita com componentes metálicos (inserts).

O assentamento de placas em paredes com argamassas convencionais, compostas de cimento, areia e cal, feitas em canteiros de obras foi substituído por argamassas colantes que oferecem maior rapidez e melhores flexibilidade e aderência na fixação. Para materiais cerâmicos existem várias pesquisas, normas e especificações, o que não ocorre quando se trata de placas de rochas, sendo necessário melhor conhecimento sobre as suas relações com as argamassas de modo a qualificá-las frente à grande variedade de diferentes tipos de rocha hoje existentes no mercado, notadamente as graníticas que apresentam porosidades baixas (<1%), similares a dos porcelanatos.

Este cenário motivou o Grupo de Tecnologia de Rochas (GTR) da Área de Pós-graduação em Geotecnia da EESC/USP a estudar a aplicação de placas e ladrilhos nas edificações dentro de um contexto geotécnico relacionando as propriedades físico-químicas, químico-mineralógicas e texturais das rochas e seu desempenho nas obras de engenharia.

Tomando como base uma argamassa desenvolvida para porcelanato nos laboratórios do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP/São Carlos (ALMEIDA & SICHIERI, 2006), estudos realizados pelo GTR demonstraram a excelente aderência desta argamassa para fixação de placas de diversos tipos de granitos, atingindo valores superiores a três vezes o exigido pela normatização. Também mostram que os conhecimentos teórico-práticos até agora obtidos devem ser ampliados, principalmente no campo laboratorial.

Com base nestas premissas, o presente trabalho constitui parte de pesquisas mais amplas e tem por objetivo estabelecer relações entre a rugosidade superficial de placas de granito e a aderência quando fixadas com argamassas colantes.

## 2. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Resultados experimentais de Nogami *et al.* (2012, 2015) mostraram que a adesão das argamassas colantes está relacionada com a rugosidade, mineralogia e a textura das rochas estudadas. Estudos da microestrutura dos conjuntos substrato padrão/argamassa/rocha foram realizados, mostrando que a ancoragem se processou apenas no contato substrato padrão/argamassa.

Como devidamente contextualizado por Paraguassú *et al.* (2017), é conhecido que a rugosidade final das placas obtidas nos teares multifios é bem menor que a dos teares convencionais. Na prática, a melhor qualidade superficial (menor rugosidade) das placas implica em menores custos de polimento e de quantidade de resíduos do beneficiamento.

Esta evolução positiva quanto ao polimento industrial de placas implica em problema quando da fixação das placas com argamassas colantes, principalmente em granitos e rochas de porosidade similar (<1%) onde não ocorre aderência por penetração da argamassa (ancoragem), ficando restrita às ligações físico-químicas entre a argamassa e os minerais constituintes da rocha.

Este assunto ganha importância pela crescente e irreversível participação dos teares com multifios diamantados no parque industrial brasileiro de beneficiamento, aliada à variedade significativa de rochas disponíveis no mercado, bem como a inexistência de normas técnicas. Quanto a este moderno tipo de equipamento, Rodrigues & Chiodi Filho (2020) comentam que, com cerca de 360 teares multifios operantes, o Brasil possui atualmente o maior parque mundial

de serragem de blocos, sendo referência internacional na produção de grandes chapas de rochas duras e/ou estruturalmente complexas, como ilustrado na Figura 1. Maiores detalhes sobre esta etapa de beneficiamento, podem ser consultados em Careddu *et al.* (2019), Egramphonte *et al.* (2019), Souza *et al.* (2012) e Cai *et al.* (2007), entre outros trabalhos.



Figura 1. (A) Tear multifios diamantados em operação;(B) Detalhe mostrando, na parte superior, os fios diamantados e, abaixo, as chapas obtidas pelo corte de bloco de granito. Fontes: [http://www.cimef.com.br/pt/prod\\_teares\\_multifio\\_vb\\_42.php#prettyPhoto;](http://www.cimef.com.br/pt/prod_teares_multifio_vb_42.php#prettyPhoto;) [http://inventory.granibras.com.br/AboutUs.aspx.](http://inventory.granibras.com.br/AboutUs.aspx)

### 3. MATERIAIS

Os principais materiais necessários para a realização da presente pesquisa foram: placas de rochas, usadas para confecção dos corpos de prova; argamassas, utilizadas para fixar os corpos de prova; e substratos padrão, utilizados como base para a fixação dos corpos de prova e ensaios de aderência. Utilizou-se materiais disponíveis no acervo do Grupo de Tecnologia de Rochas (GTR) e/ou foram adquiridos no delineamento deste trabalho.

#### 3.1. Rocha

O tipo de rocha escolhido para amostragem foi o migmatito “Jacarandá Rosado”. Este material foi selecionado com base nos seguintes critérios: apresenta boas qualidades tecnológicas e aceitação nos mercados interno e externo, foi utilizada em pesquisas prévias utilizadas em pesquisas que tratam especialmente da fixação de placas de rochas com sistemas aderentes (NOGAMI, 2013) e, finalmente, pela disponibilidade de placas com diferentes faixas de rugosidade existente no acervo de materiais de pesquisa do GTR.

De acordo com a autora acima referida, o migmatito sienogranítico Jacarandá Rosado “JR” é lavrado na região de Extrema (MG). Apresenta coloração rósea acastanhada a acinzentada contendo esparsas pontuações pretas e padrão estético variável, entre o homogêneo e o movimentado (Figura 2), definido por típica estrutura migmatítica nebulítica. A textura é fanerítica, inequigranular com granulação predominantemente média, com gradações localizadas para termos com granulação fina ou para média-grossa. Quanto à mineralogia principal, apresenta a seguinte composição modal média: feldspato potássico (38,5%), plagioclásio (22%), quartzo (30,5%), biotita (8,6%) e minerais opacos (0,4%).

Com base nas normas NBR 15845-2 (ABNT, 2015a), NBR 15845-5 (ABNT, 2015b) e NBR 12042 (ABNT, 2012a), algumas de suas propriedades físico-mecânicas são, respectivamente: densidade aparente- 2.653 kg/m<sup>3</sup>, porosidade aparente- 0,65 % e absorção de água- 0,26%; resistências à compressão uniaxial- 156,4 Mpa e ao desgaste abrasivo- 0,55 mm/1.000m.

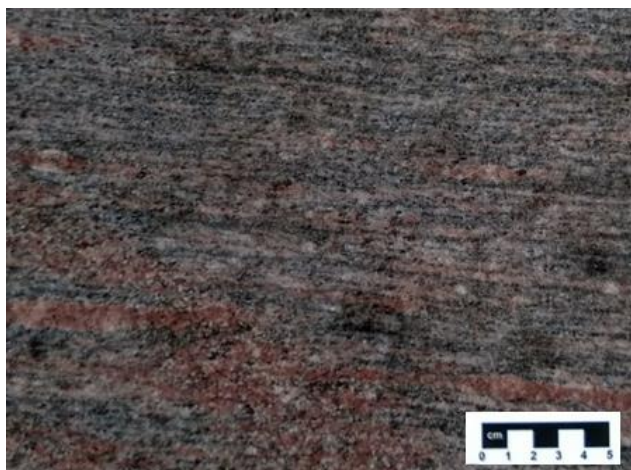


Figura 2. Aspecto visual em observação macroscópica do migmatito “JR”

### 3.2. Argamassas

Foram utilizados dois tipos de argamassas colantes: uma industrializada ACIII para granitos e mármore em ambientes externos, aqui referida como “Argamassa Comercial “AC” e outra desenvolvida no Laboratório de Construção Civil do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Carlos para fixação de porcelanato, aqui referida como argamassa “AP”, atendendo aos requisitos da norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012b).

A razão da escolha da argamassa para porcelanatos “AP” é que este material cerâmico apresenta baixíssima porosidade, semelhante aos “granitos”, o que restringe a aderência mecânica (penetração da argamassa nos poros – ancoragem), sendo ela eletroquímica. Segundo Almeida (2005), o mecanismo de aderência entre os materiais pouco porosos e a argamassa é o resultado de forças entre filme polimérico e compostos hidratados (ligação secundária de van der Waals), aderência por interação física. A melhora da aderência é promovida pela rugosidade da superfície que está em contato (tardoz) com a argamassa.

Esta argamassa é composta de: 5% de sílica ativa, 20% de látex, relação at/c = 0,4 (at – água total, incluindo a água proveniente do látex polimérico; c – cimento); a proporção cimento:areia é 1:1,5 em massa e 1% de superplastificante, em relação à massa do cimento. O cimento utilizado é o CPV-ARI Plus e a areia têm diâmetro máximo característico de 0,6 mm.

### 3.3. Substrato padrão

Os substratos padrão necessários para a realização desta pesquisa foram adquiridos diretamente na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), cuja produção atende as diretrizes e exigências da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015c). Na Tabela 1 são apresentados os ensaios de caracterização dos materiais realizados pela ABCP. Convém mencionar que estas características dizem respeito somente a placas novas, pois os seu reuso não é recomendado na norma acima referida), devido a alteração de suas características iniciais.

Tabela 1. Ensaio de caracterização do Lote L-27 de substratos padrão produzidos pela ABCP.

Parâmetros	Volume de água absorvido em 4 horas (cm <sup>3</sup> )			RAT (MPa)					
	Área 1	Área 2	Área 3	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Valor individual	0,3	0,2	0,3	2,13	2,16	2,22	2,08	2,13	2,16
Média	0,3			2,1					
Especificação da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015c)	< 0,5 cm <sup>3</sup>			≥ 2,0 MPa					

## 4. ROTEIRO EXPERIMENTAL

### 4.1. Obtenção dos corpos de prova de rocha

A extração dos CPs cilíndricos (discos com  $\varnothing$  de 30mm e área de 706,86 mm<sup>2</sup>) foi feita com furadeira de coluna com broca diamantada existente no Laboratório de Geologia de Engenharia do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, principalmente em ladrilhos disponíveis com dimensões de 40cm X 40cm e espessura de 2cm.

Foram utilizadas algumas placas do migmatito "JR" disponíveis no acervo do GTR que apresentavam três faixas de rugosidades: uma muito rugosa (similar a das chapas serradas em tear multilâmina convencional, outrora o mais difundido na indústria), uma média e uma mais lisa, similar à rugosidade superficial de chapas obtidas no corte com tear multifios diamantados.

Considerando a grande resistência ao corte dos granitos e rochas similares, efetuou-se perfuração cuidadosa para se obter máximo rendimento das coroas diamantadas, levando-se em conta velocidade de rotação, torque, vazão de água e, ao mesmo tempo, evitar vibrações que danificassem as dezenas de CPs obtidos.

### 4.2. Preparação da superfície dos CPs que entrará em contato com a argamassa e medição da rugosidade superficial dos CPs

Visando a uniformidade da superfície polida dos CPs, efetuou-se a retirada do polimento e da resina dos materiais, por meio da utilização do "Simulador de Polimento de Rochas" - SPR (SILVEIRA, 2007) com abrasivos de diferentes granulometrias e condições de carga e de tempo previamente estabelecidas para então se obter uma rugosidade média entre 20 e 50  $\mu$ m da face "lisa" dos CPs cilíndricos do migmatito "JR". Destaca-se, novamente, que também foram estudadas as faces com as rugosidades resultantes do processo industrial de serragem.

A determinação da rugosidade dos CPs foi feita com o emprego de dois equipamentos: a) perfilômetro Talysurf disponível no Laboratório de Metrologia do Depto. de Engenharia Mecânica da EESC/USP, selecionando-se os CPs cuja rugosidade situava-se nos limites pré-estabelecidos de até 50  $\mu$ m. Os CPs de rugosidade maior voltaram ao processo de desbaste utilizando-se o SPR; b) perfilômetro portátil, projetado e construído por Ribeiro *et al.* (2004) e aprimorado por Ribeiro *et al.* (2005), específico para placas de rochas serradas em teares, para quantificar a rugosidade dos CPs mais rugosos.

### 4.3. Preparação das argamassas colantes

Primeiramente calculou-se o consumo de materiais a partir do traço e composição de cada uma das argamassas colantes, sabendo-se que, para a Argamassa "AC", deve-se acrescentar 250 ml de água para cada kg de argamassa em pó, conforme especificação do fabricante. A Tabela 2 mostra o consumo de materiais para o preparo da Argamassa "AP" que foi aplicada nos substratos padrão para realização dos ensaios de resistência de aderência à tração por arrancamento "RAT".

De modo conservador, os cálculos foram realizados considerando-se uma quantidade aproximada de 1kg de argamassa para cada substrato padrão. Desta maneira, arbitrou-se uma massa de cimento, de tal forma que as massas dos demais insumos fossem calculadas pelo traço da argamassa. A água total foi calculada pela relação água/cimento. o termo "água real" se refere à diferença entre a água total e 50% da quantidade de látex polimérico, pois ele também contém água.

Esses materiais foram pesados com auxílio de uma balança de precisão de 0,1 g e depois misturados com o auxílio de uma argamassadeira, tomando-se o cuidado de adicioná-los lentamente para evitar a formação de grumos. A massa foi misturada até tornar-se homogênea e com boa trabalhabilidade.

Tabela 2. Consumo de materiais para preparação das Argamassas “AC” e “AP” (por substrato)

Argamassa “AC”		Argamassa “AP”	
Material	Consumo	Material	Consumo
Argamassa em pó	1,0 kg	Cimento ARI	350 g
Água	250 ml	Sílica	17,5 g
		Látex	70 g
		Superplastificante	3,5 g
		Água Total	140 ml
		Água Real	105 ml
		Areia	525 g
		Total	1.071 g

#### 4.4. Assentamento, fixação dos CPs e ensaios “RAT”

Os corpos de prova com forma discóide foram assentados com a superfície (polida ou lisa, medianamente rugosa e rugosa) em contato com as argamassas previamente descritas e mantidos nas condições normais de cura especificadas em norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65% por 28 dias).

Os ensaios “RAT” foram realizados de acordo com a norma NBR 14081- Parte 4 (ABNT, 2012c), que especifica o método de ensaio de laboratório para determinar a resistência de aderência de argamassas colantes para cerâmica, visto que não há uma norma específica para rochas. Utilizou-se, para tanto, um dinamômetro manual disponibilizado no Laboratório de Construção Civil (LCC) do IAU/USP São Carlos (Figura 3).

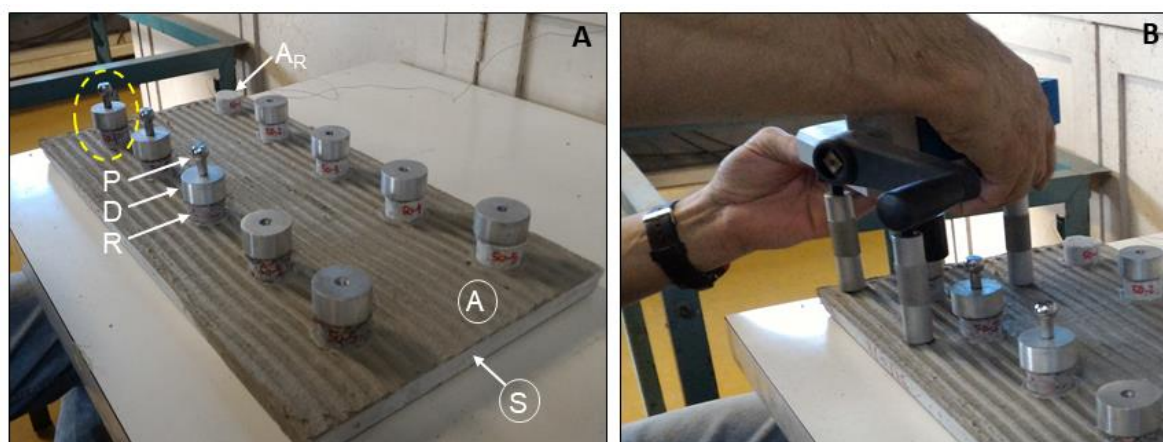


Figura 3. (A) Disposição das amostras para ensaios “RAT”: S- substrato padrão, A- argamassa colante aplicada sobre o substrato; R- corpos de prova das rochas, D- dispositivo metálico para acoplamento e P- parafuso para conectar ao equipamento de tração, AR- amostra referência. Notar no canto superior/esquerdo círculo tracejado em amarelo mostrando, no detalhe em (B), a disposição cuidadosa do dinamômetro para realização dos ensaios.

A referida norma especifica a adoção de valores confiáveis com base no tipo de ruptura e nos dados estatísticos das resistências obtidas. Dos tipos de ruptura que o conjunto rocha+argamassa+substrato pode sofrer nos ensaios “RAT”, é recomendado desconsiderar os resultados referentes à rupturas ocorridas no substrato (S), na placa de cerâmica (P) ou como falha na colagem da peça metálica (F).

Quanto à estatística, a norma NBR 14081-4 (2012c) indica critérios e condições que validação dos resultados dos ensaios “RAT” em produtos cerâmicos (inertes). Todavia, no caso de rochas são materiais naturais sem controle tecnológico em sua gênese, cuja heterogeneidade tem relação entre sua constituição mineralógica e granulação dos granitos, aliada às condições

para obtenção de corpos de prova com coroa diamantada a partir de placas de rochas. Com base nestas premissas, desconsiderou-se os critérios para materiais cerâmicos. Sendo que, para se obter valores mais representativos para a análise dos dados de ensaios “RAT” com o migmatito “JR”, foram ensaiados 9 CPs em cada uma das diferentes condições de ensaio.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos 54 ensaios realizados foram agrupados de acordo com os dois tipos de argamassas utilizadas na fixação dos CPs do migmatito “Jacarandá Rosado” (JR). Quanto à rugosidade das amostras foram estabelecidos os seguintes valores: superfície polida (“lisa”): 20 a 50µm; superfície medianamente rugosa: 297 µm, variando de 267 a 310 µm e superfície rugosa: 492 µm, variando de 463 a 522 µm.

Na Tabela 3 são apresentados as informações dos ensaios “RAT” dos CPs fixados com Argamassa Comercial “AC”. Os resultados válidos indicam valores médios de 1,39 MPa e 1,16 MPa, respectivamente, para as rugosidades maior e menor dos CPs fixados com a Argamassa “AC”, representando um decréscimo de aproximadamente 17 % na RAT com a diminuição da rugosidade, ainda assim com valores de aderência pouco acima do limite de 1 MPa recomendado pela norma NBR 14081-4 (ABNT, 2012c) para utilização de materiais cerâmicos em revestimentos de paredes e fachadas. Nos resultados da rugosidade lisa, notar que 5 dos 9 ensaios foram abaixo da média estipulada na referida norma. Apesar da média estar acima deste limite, os resultados mostram uma maior probabilidade de a média não ser um bom parâmetro a ser avaliado. Isto poderá ser melhor compreendido com continuidade de pesquisas, envolvendo número mais representativo de ensaios e também para outros tipos de rochas de revestimento. Quanto aos tipos de ruptura: nos CPs com faces lisas ou medianamente rugosas as rupturas ocorreram na camada de argamassa (Figura 4A), enquanto que nos CPs com faces rugosas as rupturas ocorreram parte em argamassa e parte em rocha (Figura 4B), 36% e 64% em média, respectivamente.

Tabela 3. Ensaios “RAT” válidos para o migmatito “JR” fixado com Argamassa Comercial “AC”

Rugosidade superficial	RAT, em MPa (Tipo de ruptura)	N	Estatística RAT (MPa)			
			MED	DP	MIN	MAX
L	0,92; 1,20; 0,71; 1,41; 0,50; 0,99; 0,92; 1,70; 2,05 (A)	9	1,16	0,49	0,50	2,05
MR	1,20 (A/S-20%) - 1,06; 1,24; 1,20; 1,13 (A)	5	1,17	0,07	1,06	1,24
RU	1,41 A/R(35%) - 1,52; 0,92; 1,45; 1,20; 1,41; 1,49; 1,80; 1,34 (R/A 25 a 40%)	9	1,39	0,24	0,92	1,52

LEGENDA: RAT- resistência de aderência à tração por arrancamento; L- lisa, MR- medianamente rugosa, RU- rugosa; Tipos de ruptura: (R: rocha, R-A: interface rocha-argamassa, A: argamassa, A-S: interface argamassa-substrato padrão, S: substrato padrão); N- número de ensaios; MED- média; DP: desvio padrão; MIN: mínimo e MAX: máximo. Alguns ensaios (MR) não foram validados por conta de má colagem ou aderência ineficiente do corpo de prova.

A Tabela 4 apresenta os dados e resultados válidos dos ensaios “RAT” dos CPs fixados com Argamassa para Porcelanato “AP” com algumas informações interessantes. Em referência aos valores de aderência obtidos nos CPs com superfície lisa, com RAT média de 2,06 MPa, são notadamente maiores que os da argamassa “AC”, confirmando tendências já verificadas em ensaios feitos por Nogami (2013) envolvendo oito tipos de “granitos”. Em relação aos tipos de rupturas ocorridas nos experimentos duas delas ocorreram na rocha, mas predominando rupturas mistas parcialmente na camada de argamassa ou até no substrato rochoso, conforme ilustrado na Figura 4C.

Quanto aos outros ensaios de aderência, os valores médios de RAT foram, respectivamente, de 1,42\* MPa e 1,47\*\* MPa nos CPs com superfícies de contato medianamente rugosas e rugosas. Valores igualmente maiores que os da argamassa “AC”. O que deve ser

destacado é que nestas duas últimas condições de ensaios todas as rupturas ocorreram na rocha (Figuras 4D e 4E), indicativo de que a Argamassa “AP” aderiu muito bem nas superfícies mais “ásperas”, ou seja, a rocha e o substrato padrão. Então é plausível considerar que os valores de RAT da Argamassa “AP” devem ser, em termos práticos, maiores do que os medidos nos ensaios, visto que refletiram condições mais da rocha do que a própria argamassa.

Tabela 4. Ensaios “RAT” válidos para o migmatito “JR” fixado com Argamassa para Porcelanato “AP”

Rugosidade superficial	RAT, em Mpa (Tipo de ruptura)	N	Estatística RAT (MPa)			
			MED	DP	MIN	MAX
L	1,70; 0,92; 2,12; 2,51; 2,37 (S/A 25 a 50 %) – 2,23; 1,73 (A/S 10 a 20%) – 1,73; 2,09 (R)	9	2,06	0,31	1,73	2,51
MR	1,91; 1,84; 1,63; 1,38; 0,71; 0,99; 1,49 (R)	7	1,42*	0,44	0,71	1,91
RU	1,56; 1,20; 1,49; 1,56; 1,34; 1,98; 1,10; 1,49 (R)	8	1,47**	0,27	1,10	1,98

LEGENDA: RAT- resistência de aderência à tração por arrancamento; L- lisa, MR- medianamente rugosa, RU- rugosa; Tipos de ruptura (R: rocha, R-A: interface rocha-argamassa, A: argamassa, A-S: interface argamassa-substrato padrão, S: substrato padrão); N- número de ensaios; MED- média; DP: desvio padrão; MIN: mínimo e MAX: máximo. Alguns ensaios (MR e RU) não foram validados por conta de má colagem do corpo de prova

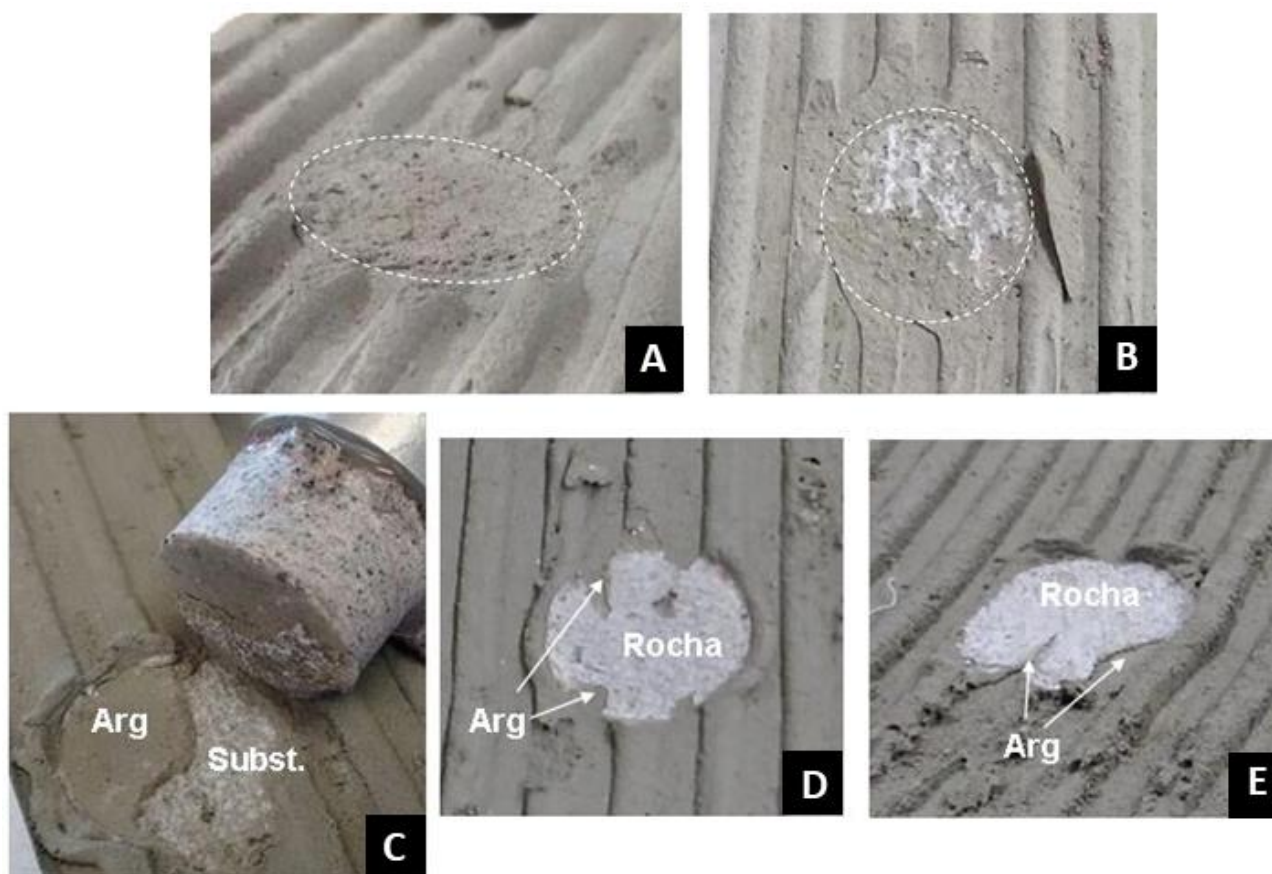


Figura 4. Vista parcial de substratos com aplicação das Argamassas “AC” (acima) e “AP” (abaixo), após ensaios de arrancamento de CPs com diâmetro de 30mm: (A) Detalhe mostrando ruptura na argamassa, comum nos CPs de superfície lisas e medianamente rugosas; (B) Aspecto de ruptura mista (parte na argamassa e parte em rocha) predominante nos CPs de superfície rugosa; (C) Detalhe mostrando ruptura mista (parte em argamassa e parte em substrato) comum nos CPs de superfície lisas; (D e E) Aspecto das rupturas em rocha, típicas nos CPs de superfícies medianamente rugosas a rugosas, respectivamente.

No que diz respeito aos deslocamentos ocorridos na rocha, podem ter sido decorrente do fraturamento induzido na perfuração do ladrilho com coroa diamantada para obtenção dos CPs cilíndricos e, principalmente, pelo microfissuramento provocado pelo processo industrial de corte de blocos nos teares, especialmente na face da placa (dorso) que não é submetida ao polimento



industrial. Estes “danos” dependem das características mineralógicas e texturais (mineralogia, arranjo entre os minerais, granulação, etc.) de determinado tipo rochoso, heterogêneo por natureza, configurando um tema amplo que pode ser mais bem investigado em pesquisas científicas futuras.

## 6. CONCLUSÕES

Foram estabelecidas as relações entre a rugosidade superficial de placas de rocha e suas aderências com argamassas colantes, dimensionadas por ensaios representativos de resistência de aderência à tração por arrancamento pela norma preconizada para materiais cerâmicos. Placas com diferentes rugosidades de uma rocha de grande aceitação comercial foram fixadas com dois tipos de argamassas colantes, uma comercial e outra produzida em laboratório.

Os valores médios de aderência foram maiores para as placas mais rugosas, como esperado, uma vez que nesta condição tem-se maior superfície exposta dos minerais, resultando em maior número de cargas eletroquímicas expostas para interagirem com as argamassas colantes.

A avaliação minuciosa dos tipos de ruptura em cada ensaio de aderência foi primordial para corroborar os resultados melhores de resistência à tração por arrancamento para a argamassa preparada em laboratório. No caso desta argamassa, a aderência foi tão grande que a ruptura não ocorreu na argamassa, pois a rocha não teve resistência suficiente para suportar a força de tração.

A validação dos resultados experimentais poderá ser útil tendo em vista a normatização (ainda inexistente) do assentamento de placas de rochas com argamassas colantes, além da tendência crescente de obtenção de placas de “granitos” com superfícies mais lisas nos multifios diamantados, que pelas suas vantagens vêm substituindo os teares tradicionais que eram os mais difundidos na Indústria da Pedra.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa (projeto N° 462083/2014-4), ao Prof. Antenor Braga Paraguassú pelas críticas e sugestões e aos técnicos Paulo Vanderlei Pratavieira e Sérgio Aparecido Trevelin pelo suporte na realização dos ensaios no Laboratório de Construção Civil (LCC) do IAU-USP- São Carlos.

## REFERÊNCIAS

ABNT (2012a) *NBR 12042: Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 9p.

\_\_\_\_ (2012b) *NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 9p.

\_\_\_\_ (2012c) *NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 12p.

\_\_\_\_ (2015a) *NBR 15845-2: Rochas para revestimento. Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 8p.

\_\_\_\_ (2015b) *NBR 15845-5: Rochas para revestimento. Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 8p.

\_\_\_\_ (2015c) *NBR 14081-2: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios*. Rio

de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 9p.

ALMEIDA, A.E.F. de S. (2005) “Estudo da Influência das Adições de Sílica Ativa e Copolímero Estireno Acrílico nas Propriedades de Argamassas para o Assentamento de Porcelanato”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais Interunidades, Universidade de São Paulo, 223p.

ALMEIDA, A.E.F. de S.; SICHIERI, E.P. (2006) “*Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato*” in *Cerâmica*, Vol. 52, p. 174-179.

CAI, O.; CAREDDU, M. MEREU, M. MULAS, I. (2007) “The influence of operating parameters on the total productivity of diamond wire in cutting granite” in *Industrial Diamond Review*, Vol. 3, p. 25-30.

CAREDDU, N.; PERRA, E.S.; MASALA, O. (2019) “*Diamond wire sawing in ornamental basalt quarries: technical, economic and environmental considerations*” in *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 78, p. 557–568.

EGRAMPHONTE, G; VIDAL, F.W.H.; SILVEIRA, L.L.L. (2019) “*Análise qualitativa dos diamantes oriundos dos resíduos de teares multifios para fins de reaproveitamento*” in XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, CETEM, p. 75-79.

NOGAMI, L. (2013) “*Investigação da influência das características petrográficas e da rugosidade de placas de “granitos e mármore” fixadas com argamassas*”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, 91p.

NOGAMI, L.; PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E.; RIBEIRO, R.P. (2012) “*Influence of the Mineralogical and Mortar Components on the Adherence of some “Granites”*” in *Global Stones 2012*, Borba, Portugal, 8p.

NOGAMI, L.; PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E.; RIBEIRO, R.P. (2015) “*Adhesive mortars for Stone plate bonding*” in *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 74, p. 1489-1497.

RIBEIRO, R.P.; PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E. (2004) “*Medidas de Rugosidade em Chapas de Granitos Ornamentais Serrados em Teares Multilâminas*” in 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá.

PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E.; RIBEIRO, R.P.; FRAZÃO, E.B. (2017) *Indústria da Pedra: da extração à aplicação final*, EESC-USP, São Carlos, 2ª edição, 143p.

RIBEIRO, R.P.; PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E.; SILVEIRA, L.L.L.; MOREDO, H.C. (2005) “*Quantificação da textura superficial da chapas de granitos serrados em teares multilâminas*” in ICIRO – I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari.

RODRIGUES, E.P.; CHIODI FILHO, C. (2020) *Guia de aplicação de rochas em revestimentos*, Abirochas, Brasília, 232p .

SILVEIRA, L.L.L. (2007) “*Polimento de rochas ornamentais: um enfoque tribológico ao processo*”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, 205p.

SOUZA, D.V.; VIDAL, F.W.H.; CASTRO, N.F. (2012) “Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de granitos comerciais” in IV CBRO- Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais, Campina Grande, p.183-191.