

# ESTUDO EXPERIMENTAL DA TELAGEM DE CHAPAS DE ROCHAS "GRANÍTICAS" COM FIBRA DE SISAL

EXPERIMENTAL STUDY OF GRANITIC SLABS NETTING WITH SISAL FIBERS

ABILIANE DE ANDRADE PAZETO

*Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia,  
Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo  
E-mail: abiandrade@usp.br*

ANTENOR BRAGA PARAGUASSÚ

*Professor Titular do Departamento de Geotecnia,  
Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo  
E-mail: nonus@sc.usp.br*

## RESUMO ABSTRACT

A telagem é uma prática industrial que se dá após a serragem das chapas e previamente à etapa do polimento, consistindo basicamente da aplicação de um sistema epóxi e tela de fibra de vidro na superfície da chapa, contrária à que receberá o polimento. Sua principal finalidade é atenuar as descontinuidades físicas de algumas rochas, aumentando a resistência mecânica principalmente em relação aos esforços fletores. Esta técnica tem viabilizado a comercialização dos chamados materiais exóticos, que apesar de mecanicamente frágeis, possuem grande potencial estético, sendo então inseridos no mercado com alto valor agregado. Sabe-se que a telagem confere às rochas certo ganho de resistência mecânica, no entanto, esta percepção é relatada pela própria Indústria da Pedra, sem nenhum embasamento científico. O objetivo do presente trabalho foi quantificar o ganho efetivo desta resistência e compará-lo com os obtidos nas técnicas de reforço propostas, efetuadas por meio da aplicação de um sistema de canaletas preenchidas com resina epóxi e fibras de sisal. Os resultados parciais obtidos foram promissores e mostraram que uma das técnicas de reforço propostas, quando comparada com a industrial, permite no mínimo dobrar a resistência à flexão das amostras ensaiadas.

**Palavras-chave:** rochas ornamentais, telagem, resistência à tração na flexão, sistema de canaletas, sisal.

Netting is an industrial practice which occurs after the sawing of the slabs and before polishing step, consisting essentially of applying an epoxy system and a glass fiber net in the opposite surface which receives the polishing. Its main purpose is attenuating physical discontinuities of some rocks, increasing the mechanical strength especially regarding to flexural efforts. This technique has enabled the marketing of so-called exotic materials, which although mechanically fragile, have great aesthetic potential, and then entered the market with high added value. It is known that netting confers certain strength gain to the rocks, however, that perception is reported by Stone Industry itself, without any scientific basis. The aim of this study was to quantify the effective mechanical strength gain provided by netting practiced in industry, and compare it with other reinforcement techniques proposals, carried out through applying a channels system filled with epoxy resin and sisal fibers. The partial results were promising and showed that one of the proposed reinforcement techniques allowed double the flexural strength of the tested samples, when compared with the industrial process.

**Keywords:** ornamental stones, netting, flexural strength, channels system, sisal.

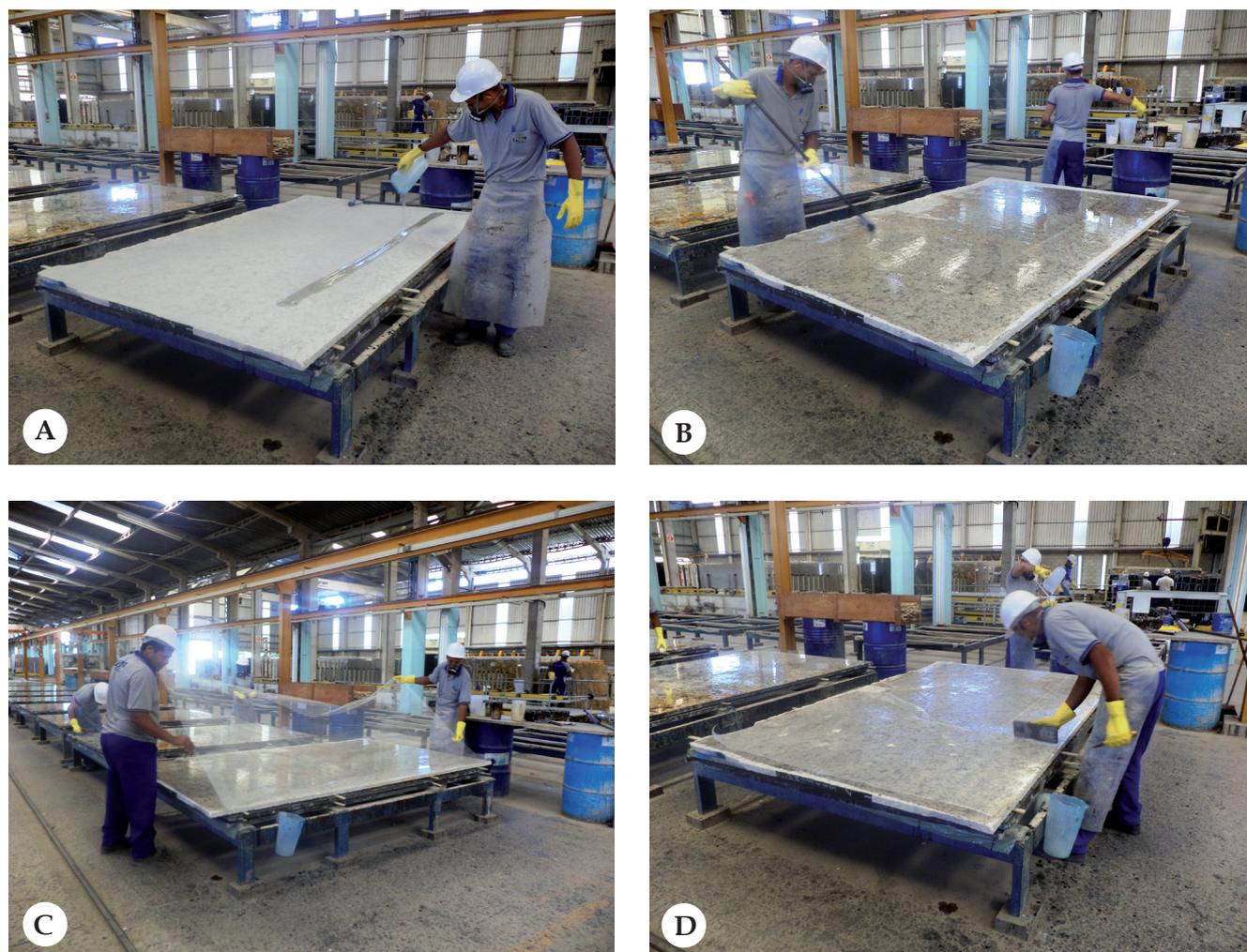
## 1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Pedra possui importante expressão econômica, dada sua estreita relação com o macrossetor da construção civil, o qual responde por quase 20% do PIB no país. Em 2012, a produção brasileira de rochas ornamentais alcançou um patamar de 9 milhões de toneladas, o que corresponde a 70 milhões de m<sup>2</sup> de chapas (CHIODI FILHO, 2013).

O comércio de rochas é movido por tendências, e nesse contexto o Brasil é reconhecido no mercado externo por sua grande geodiversidade, principalmente pelo fornecimento das denominadas “rochas exóticas”, como os pegmatitos e quartzitos. Destaca-se que apesar do potencial

estético, até a década de 90 essas rochas eram consideradas como material de refugo, em função da sua fragilidade mecânica. No entanto, o surgimento da técnica de telagem (reforço) permitiu sua inserção no mercado com alto valor agregado.

A telagem é uma prática industrial que se dá após a serragem das chapas e previamente à etapa do polimento, consistindo basicamente da aplicação de um sistema epóxi e uma tela de fibra de vidro no tardo da chapa (superfície contrária à que receberá o polimento), conforme ilustra a Figura 1. Esse procedimento diminui a fragilidade mecânica do material, evitando que ocorram quebras ou trincas durante o acabamento e o transporte, possibilitando também a própria comercialização.



**Figura 1** - Processo de telagem de chapas de rochas em uma grande indústria de Cachoeiro de Itapemirim - ES: (A) aplicação do sistema epóxi sobre a chapa a ser telada; (B) distribuição por toda extensão da chapa; (C) aplicação da tela de fibra de vidro e (D) fixação da tela sobre a resina

Sabe-se que a telagem confere às rochas certo ganho de resistência mecânica, principalmente em relação aos esforços fletores. No entanto, esse processo vem sendo realizado de forma empírica, assim como a maioria dos adotados na industrialização de rochas, o que implica na necessidade de abordagens técnicas aprofundadas e quantitativas que poderão proporcionar melhorias e ampliar as modalidades de uso das rochas exóticas.

Além disso, a fibra de vidro utilizada na telagem é prejudicial à saúde do trabalhador (ATSDR, 2004), o que incentiva a pesquisa para substituí-la por materiais naturais, como fibras vegetais, que atualmente vêm sendo utilizadas em diversos ramos da Engenharia com resultados muito promissores (MONTEIRO et al. 2011; 2010; 2009; SATYANARAYANA et al., 2007; ZAH et al., 2007).

O sisal é uma fibra natural que apresenta muitas vantagens em relação à fibra sintética, destacando-se seu custo relativamente baixo, grande disponibilidade, caráter atóxico e biodegradável. Além disso, a grande resistência mecânica dessa fibra é um fato promissor quanto à sua aplicação no reforço das placas de rocha. Dados de Pazeto et al. (2012) mostraram uma excelente interação destas fibras com o sistema epóxi.

Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar experimentalmente o ganho efetivo de resistência mecânica proporcionado pela telagem praticada na indústria, e compará-lo com outras técnicas de reforço propostas, como a aplicação de um sistema de canaletas na placa de rocha preenchidas com resina epóxi e fibras de sisal.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Rocha

Por se tratar de um estudo em caráter piloto, a rocha utilizada nesse trabalho foi um sienito de nome comercial Ocre Itabira, cujas propriedades são bem conhecidas, eliminando assim a variável "rocha". Encontra-se em desenvolvimento um estudo mais aprofundado com rochas pegmatoides, as quais recebem rotineiramente o processo de telagem.

Segundo Pazeto (2011), o Ocre Itabira corresponde petrograficamente a um hornblenda sienito com quartzo, de coloração acastanhada denotada pelos megacristais de feldspato potássico, textura inequigranular e granulação média a grossa. Seu microfissuramento é moderado, majoritariamente do tipo intragrão. A composição mineralógica é dada por ortoclásio (66%), oligoclásio (14%), hornblenda (7%), biotita (4%), quartzo (2,5%), apatita (1,5%), titanita (2%), opacos (2,5%) e carbonatos (0,5%).

A Figura 2 ilustra o padrão estético da rocha estudada, enquanto a Tabela 1 apresenta os dados básicos de caracterização tecnológica.

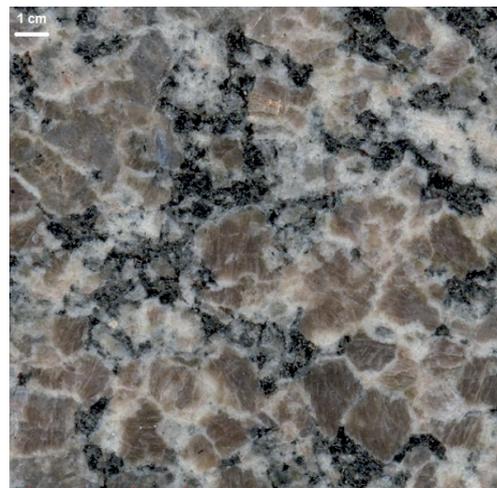


Figura 2 - Amostra polida do sienito de nome comercial Ocre Itabira

Tabela 1 - Dados básicos de caracterização tecnológica do sienito Ocre Itabira (PAZETO, 2011).

Ensaio	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Massa Específica Seca Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2.705	0,01	3,70E-03
Massa Específica Saturada Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2.712	0,01	2,95E-03
Porosidade Aparente (%)	0,73	0,24	3,25E-01
Absorção d'água (%)	0,27	0,09	3,26E-01
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	137	11,56	8,44E-02

#### 2.1.2 Sistema epóxi

O sistema epóxi caracteriza-se pela mistura de uma resina do tipo epóxi (à base de epicloriglicina e bisfenol-A) e um endurecedor. Utilizou-se um sistema comumente empregado na indústria, de média viscosidade e cura prolongada (24 horas), na proporção de 25% em peso.

### 2.1.3 Tela de fibra de vidro

A tela de fibra de vidro utilizada é idêntica à empregada no processo industrial, sendo composta por uma malha quadrada de 5 mm com fios de 1 mm de espessura.

### 2.1.4 Fibra de sisal

As fibras de sisal foram utilizadas de duas formas distintas: fibras curtas (10 mm) e feixes longos (380 mm) compostos por três fios amarrados entre si com a própria fibra. No primeiro caso, as fibras curtas descontínuas foram utilizadas na formulação de um compósito com o sistema epóxi na proporção de 3% em peso em relação à matriz; já no segundo, os feixes foram dispostos longitudinalmente sobre os corpos de prova, e no interior das canaletas.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Construção do sistema de canaletas

O sistema de canaletas foi aplicado nos corpos de prova (380 x 100 x 30 mm) a serem submetidos ao ensaio de resistência à flexão em quatro pontos, baseando-se na solução usada comumente em lajes.

O sistema foi aberto com serra diamantada na superfície não polida dos corpos de prova das placas, sendo composto por quatro canaletas paralelas de 2 mm de largura por 5 mm de profundidade e equidistância de 20 mm (Figura 3). Essas canaletas foram preenchidas com fios de fibra de vidro e com fibras ou compósito de sisal.

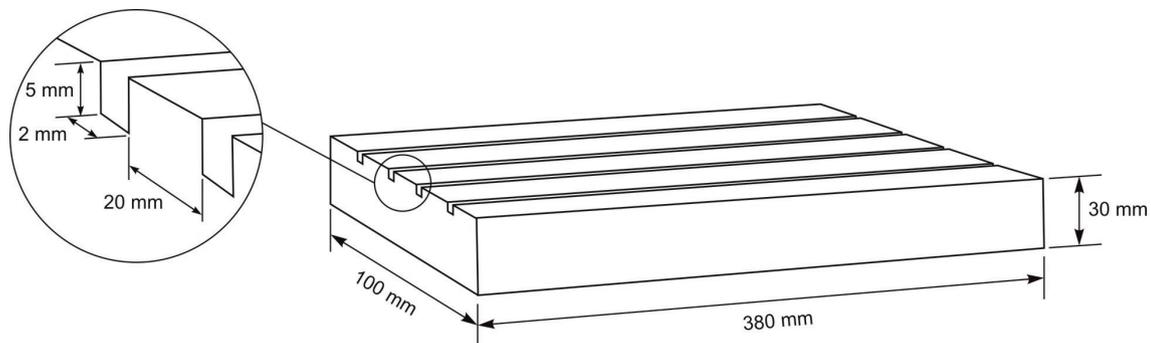


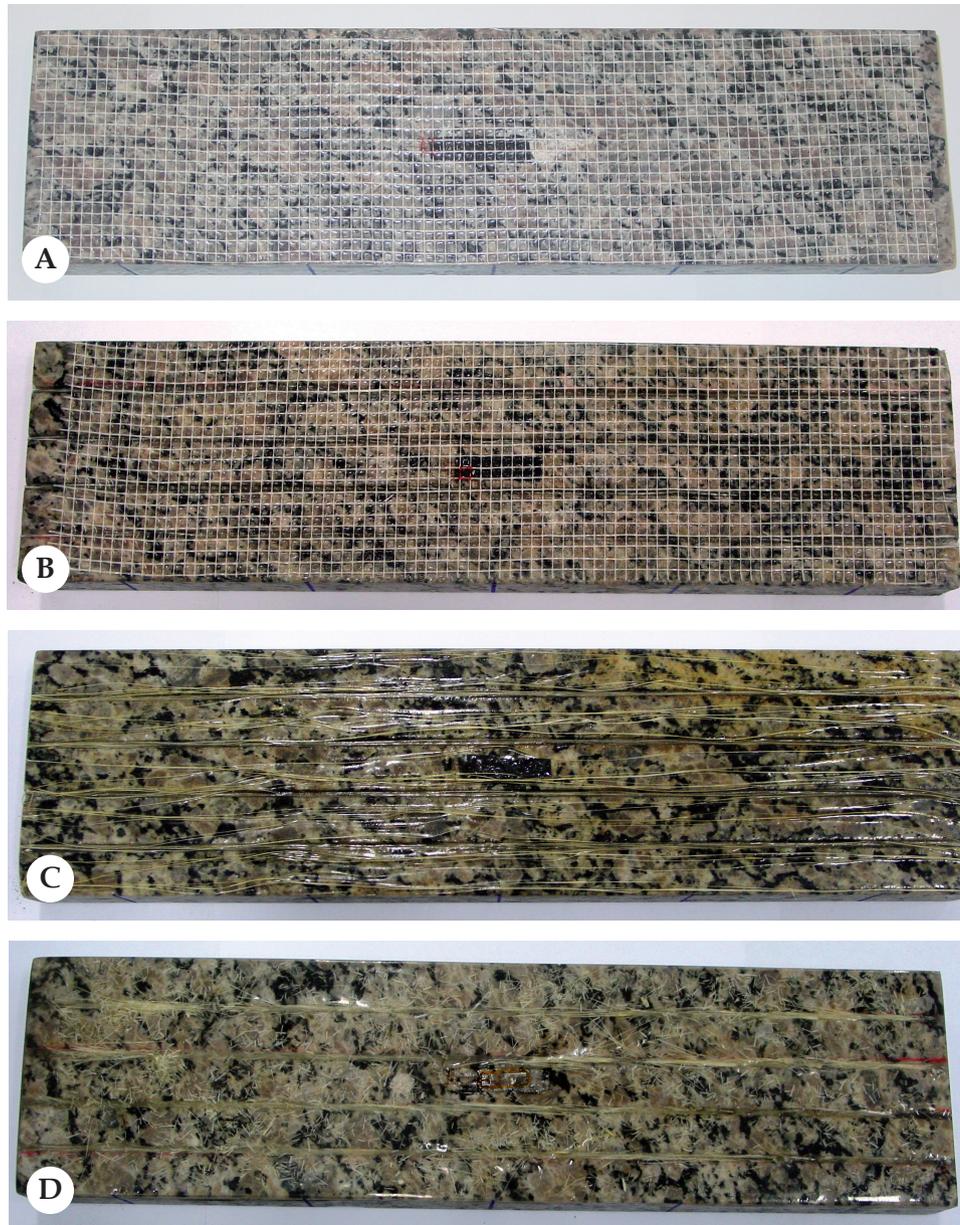
Figura 3 - Ilustração esquemática do sistema de canaletas

### 2.2.2 Determinação da resistência à flexão em quatro pontos

O ensaio foi executado segundo as diretrizes da NBR 15844 - Anexo G (ABNT, 2010) em uma prensa servo controlada (MTS, modelo 815), com 2.700 kN de capacidade pertencente ao Laboratório de Mecânica das Rochas da EESC/USP. A taxa de carregamento utilizada foi de 12 kN/min. Para determinação do comportamento tensão-deformação, foram fixados extensômetros de resistência elétrica (modelo PA-06-500BA-120-L) no centro da face inferior dos corpos de prova, de acordo com a norma C 1352 (ASTM, 2009). Esta instrumentação

forneceu como resultados a curva de tensão-deformação e o módulo de elasticidade do material.

Foram realizados ensaios de resistência à flexão na rocha sem nenhum tipo de reforço (R) e reforçadas de quatro formas distintas: rocha reforçada com tela de fibra de vidro, conforme prática da indústria (RTV); rocha com canaletas, reforçada com fios e tela de fibra de vidro (RFTV); rocha com canaletas, reforçada com feixes de sisal (RFS) e rocha com canaletas, reforçada com compósito de sisal (RCS). A Figura 4 ilustra os corpos de prova preparados.



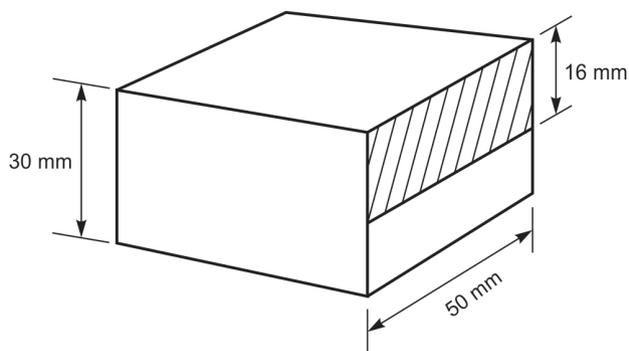
**Figura 4** - Tipos de reforço realizados. **A**- rocha reforçada com tela de fibra de vidro (RTV); **B**- rocha com canaletas, reforçada com fios e tela de fibra de vidro (RFTV); **C**- rocha com canaletas, reforçada com feixes de sisal (RFS); **D**- rocha com canaletas, reforçada com compósito de sisal (RCS) e S- extensômetro.

### 2.2.3 Determinação da resistência de adesão

Para que a telagem traga benefícios efetivos, é de fundamental importância que o sistema epóxi tenha boa adesão com a rocha. No entanto, como este parâmetro é desconhecido na Indústria da Pedra, uma maneira de quantificá-lo foi determinar a tensão necessária para separar o filme do substrato (rocha).

O método testado nesse trabalho consistiu em quantificar a força de adesão através de ensaio

de cisalhamento. Para isso foram confeccionados prismas retangulares, com base quadrada de 2.500 mm<sup>2</sup>. Os corpos de prova foram montados utilizando três destes prismas, colando-os por uma de suas partes laterais com o sistema epóxi. A área colada correspondeu a aproximadamente 800 mm<sup>2</sup> (Figura 5). A Figura 6 ilustra um dos corpos de prova montados.



**Figura 5** - Esquema de colagem dos corpos de prova (área hachurada)



**Figura 6** - Corpo de prova montado sobre a prensa

O ensaio foi conduzido na prensa já descrita, com o auxílio do dispositivo empregado para determinação da compressão uniaxial. A taxa de carregamento foi de 0,001 kN/min.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

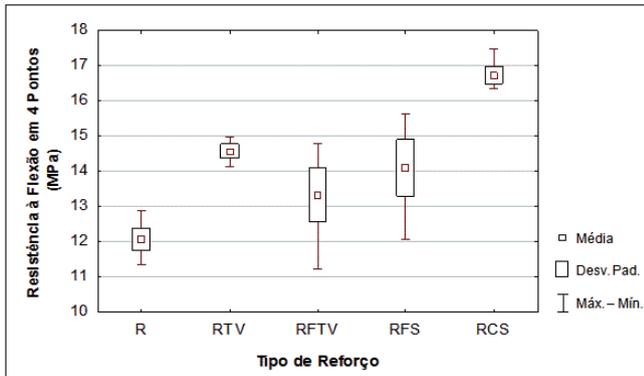
#### 3.1 Determinação da resistência à flexão em quatro pontos

A Tabela 2 apresentam os resultados da determinação de resistência à flexão em quatro pontos para a rocha natural e reforçada com os quatro tipos estudados. Os resultados estão representados graficamente na Figura 7.

Observa-se que em relação à rocha sem reforço (R), os corpos de prova reforçados com a tela de fibra de vidro (RTV) apresentaram um aumento de resistência de apenas 15%, enquanto que os reforçados com o sistema de canaletas preenchidas com compósito de sisal (RCS) apresentaram um ganho de 26%. Esses resultados permitem afirmar que é tecnicamente viável a substituição da fibra de vidro pela fibra natural, até mesmo para o reforço com os fios de sisal (RFS) que apresentaram ganho de resistência equivalente à prática industrial de telagem com fibra de vidro.

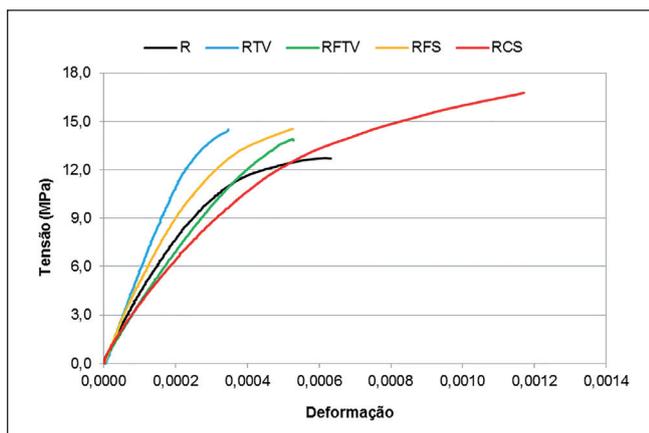
**Tabela 2** - Resistência à flexão em quatro pontos (MPa). Legenda: (R) rocha sem reforço; (RTV) rocha reforçada com tela de fibra de vidro; (RFTV) rocha com canaletas, reforçada com fios e tela de fibra de vidro; (RFS) rocha com canaletas, reforçada com feixes de sisal e (RCS) rocha com canaletas, reforçada com compósito de sisal.

	Máximo	Mínimo	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação
R	13,4	10,5	12,3	1,25	0,10
RTV	15,1	14,1	14,7	0,43	0,03
RFTV	14,7	11,1	13,2	1,53	0,12
RFS	15,5	13,5	14,6	0,86	0,06
RCS	17,2	16,2	16,6	0,45	0,03



**Figura 7** – Resistência à flexão em 4 pontos da rocha natural e dos quatro tipos de reforço estudados. Legenda: (R) rocha sem reforço; (RTV) rocha reforçada com tela de fibra de vidro; (RFTV) rocha com canaletas, reforçada com fios e tela de fibra de vidro; (RFS) rocha com canaletas, reforçada com feixes de sisal e (RCS) rocha com canaletas, reforçada com compósito de sisal

A Figura 8 ilustra o comportamento tensão-deformação dos materiais, enquanto a Tabela 3 apresenta o módulo de elasticidade obtido para a rocha natural e para os quatro tipos de reforços estudados.



**Figura 8** – Comportamento tensão-deformação da rocha natural e dos quatro tipos de reforço estudados

Embora tenha apresentado a maior resistência à flexão (16,6 MPa em média), a rocha reforçada com o compósito de sisal (RCS) apresentou o menor módulo de elasticidade dentre os reforços estudados, abaixo também da rocha sem reforço. Esse comportamento é típico das fibras de sisal em função de seu caráter flexível. Quando agregado à rocha na forma de compósito, esse reforço torna o material mais tenaz, ou seja, em comparação com a fibra de vidro, o material tem capacidade de absorver uma maior quantidade de energia antes da ruptura.

O módulo de elasticidade de compósitos de matriz polimérica reforçados com sisal encontrados nos estudos de Kim & Seo (2006) Dittenber & GangaRao (2012) apresentaram resultados semelhantes.

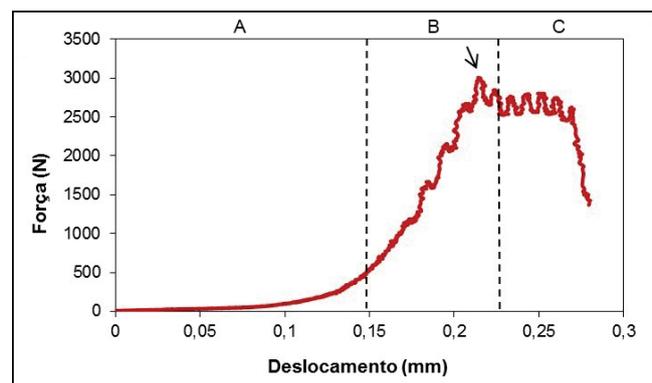
**Tabela 3** – Módulo de elasticidade obtido (GPa) para os materiais estudados.

	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação
R	42,3	9,53	0,23
RTV	46,8	9,07	0,19
RFTV	37,7	4,48	0,12
RFS	43,2	10,75	0,25
RCS	32,4	10,14	0,31

Ressalta-se que os reforços dessa natureza servem não só para possibilitar a comercialização de materiais exóticos, mas também para outros tipos de rocha que necessitam de maior resistência à flexão, como no caso dos trabalhos de Moreiras et al. (2013) e Moreiras e Paraguassú (2012) que estudam a viabilidade do emprego de placas de rocha como laje estrutural. Neste sistema, placas de grandes dimensões são apoiadas pelas extremidades sobre sistemas de vigas de concreto.

### 3.2 Determinação da adesão

O ensaio de determinação de adesão por cisalhamento apresentou como resultado médio 1,83 MPa. A Figura 9 ilustra uma curva típica para o ensaio de adesão.



**Figura 9** – Curva típica força versus deslocamento para o ensaio de adesão. Em A, B e C são diferenciadas as zonas de evolução instável da curva, enquanto a seta indica o pico de força para o descolamento

A evolução da curva apresenta uma instabilidade típica dos ensaios de adesão (SEKULIC & CURNIER, 2010), sendo possível dividi-la em três áreas distintas, A, B e C, conforme ilustradas no gráfico.

A primeira área (A) é caracterizada pelo início da imposição dos esforços cisalhantes sobre a interação molecular que mantém o sistema epóxi e rocha unidos. Em seguida (B), conforme há o aumento da força, o descolamento se dá de forma instável, até atingir o pico. Essa instabilidade pode estar relacionada com o teor de feldspatos presente na composição mineralógica da rocha, já que a clivagem proeminente desse mineral configura planos preferenciais para o descolamento (PAZETO et al., 2012). Ao atingir outros minerais presentes, a força para o descolamento torna a aumentar. Por fim, a terceira área (C) é caracterizada pela queda dos esforços e o descolamento total do corpo de prova.

Para todas as amostras testadas, o descolamento se deu na rocha, ultrapassando a interface da colagem, o que permite afirmar que a resistência do sistema epóxi aos esforços cisalhantes foi maior que a resistência da própria rocha (Figura 10).



**Figura 10** – Descolamento do corpo de prova na rocha. A linha pontilhada demarca a área colada.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados parciais obtidos são promissores e mostraram que a técnica de reforço proposta, quando comparada com a industrial, permitiu no mínimo dobrar a resistência à flexão das amostras ensaiadas. Já se encontram em

andamento ensaios mais aprofundados para verificar a reprodutibilidade de resultados e o dimensionamento do sistema de canaletas, aplicando-o para as rochas exóticas.

Uma vez eficaz sob o aspecto técnico, o sistema de canaletas com fibra vegetal pode tornar-se futuramente uma prática industrial alternativa à telagem. As próximas etapas dessa pesquisa preveem um estudo de viabilidade econômica para o sistema proposto. Dado o alto valor agregado de uma rocha exótica (preço médio de US\$140,00/m<sup>2</sup>), e considerando-se o ganho de resistência de quase 30% proporcionado pelo sistema de canaletas e o compósito de sisal, um acréscimo no custo do reforço seria justificável.

O ensaio de adesão mostrou-se eficaz e o resultado obtido representa um dado inédito para a Indústria da Pedra. A tensão média encontrada (1,83 MPa) pode servir como um parâmetro de comparação quanto à eficiência de um sistema epóxi para resinar e telar diferentes tipos de rocha.

#### Agradecimentos

*Os autores agradecem a Capes e ao CNPq pelo auxílio financeiro e ao Prof. Dr. Antônio A. Bortolucci (Depto. Geotecnia/EESC-USP) pelas críticas e sugestões.*

#### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 2010. NBR 15845 - Anexo F. Rochas para revestimento - métodos de ensaio. 32p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASEREGISTRY - ATSDR. 2004. Toxicological profile for synthetic vitreous fiber. Department of Health and Human Services. Atlanta, GA. 269 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. 2009. C 1352. Standard test method for flexural modulus of elasticity of dimension stone. 3 p.
- CHIODI FILHO, C. 2013. Balanço das exportações e importações de rochas ornamentais e de revestimento em 2012. São Paulo, ABIROCHAS, Informe 01/2013, 17p.

- DITTENBER D. B. & GANGARAO H. V. S. 2012. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43: 1419-1429.
- KIM H. J. & SEO D. W. 2006. Effect of water absorption fatigue on mechanical properties of sisal textile-reinforced composites. *Int. Journal of Fatigue*, 28: 1307-1314.
- MONTEIRO S.N., LOPES F.P.D., FERREIRA A.S., NASCIMENTO D.C.O. 2009. Natural fiber polymer matrix composites: cheaper, tougher and environmentally friendly. *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 61: 17-22.
- MONTEIRO S.N., SATYANARAYANA K.G., LOPES F.P.D. 2010. High strength natural fibers for improved polymer matrix composites, *Materials Science Forum*, 638: 961-966.
- MONTEIRO, S.N. et al. 2011. Selection of high strength natural fibers. *Revista Matéria*, 15: 488 - 505.
- MOREIRAS S. T. F, PARAGUASSÚ A. B. 2012. Viabilidade do uso de placas de granite como lajes em edificações. *Ambiente Construído*, 12: 25-36.
- MOREIRAS S. T. F, PARAGUASSÚ A. B, RIBEIRO R. P. 2013. Granite plates as slabs in social housing in Brazil. *Construction Materials*, 1:1-7.
- PAZETO A. A. 2011. Correlação entre propriedades petrográficas e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 172 p.
- PAZETO, A. A; PARAGUASSÚ, A. B; RIBEIRO, R. P. 2012. Telagem de rochas graníticas: influência da composição mineralógica na aderência com a resina epóxi. In: IV CBRO, Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais, Atas, pp. 213-220.
- SATYANARAYANA K.G., GUIMARÃES J.L., WYPYCH, F. 2007. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A*, 38: 1694-1709.
- SEKULIC A. & CURNIER A. 2010. Experimentation on adhesion of epoxy. *Intern. Journal of Adhesion and Adhesives*, 30: 89-104.
- ZAH R., HISCHIER R., LEÃO A.L. et al. 2007. Curaua fibers in automobile industry - a sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 15: 1032-1040.

