

Avaliação da integridade estrutural do quartzito itacolomi empregado em monumentos históricos de Ouro Preto sem e com colagem usando diferentes resinas

Evaluation of the structural integrity of Itacolomi quartzite employed in historical monuments of Ouro Preto/MG that was either non-glued or glued using different types of resins

José Henrique Neves

Engenheiro Mecânico; M.Sc.;
Professor do IFMG, Campus de Ouro Preto.
jhneves106@gmail.com

Leonardo Barbosa Godefroid

Engenheiro Metalúrgico; M.Sc.; D.S.;
Professor Associado III;
Grupo de Estudo sobre Fratura de Materiais,
Departamento de Eng. Metalúrgica e de
Materiais – Escola de Minas/UFOP
leonardo@demet.em.ufop.br

Luiz Cláudio Cândido

Engenheiro Metalúrgico, M.Sc.; D.Sc.;
Professor Associado III;
Grupo de Estudo sobre Fratura de Materiais,
Departamento de Eng. Metalúrgica e de
Materiais – Escola de Minas/UFOP
candido@em.ufop.br

Resumo

A arte da Cantaria usando o quartzito foi utilizada na construção dos monumentos históricos de Ouro Preto/MG. Após mais de 300 anos de existência, parte de algum desses monumentos encontra-se em avançado estágio de deterioração. Na restauração desses monumentos, alguns restauradores empregam a resina poliéster ortoftálica. Nesse trabalho, o quartzito itacolomi não colado e colado com diversas resinas foi submetido a ensaio de resistência em flexão e constatou-se que a resina suportou carga maior que o quartzito. Todos os corpos-de-prova romperam fora da região da aplicação da resina, confirmando a eficácia das resinas para colar a rocha.

Palavras-chave: Quartzito, resinas, comportamento mecânico, monumentos históricos.

Abstract

The art of carving stone using itacolomi quartzite was employed in the monuments of Ouro Preto city in Minas Gerais. More than 350 years after being built, some of these monuments are in an advanced stage of deterioration. In the restoration of these buildings, some restaurateurs employ orthophthalic polyester resin. In the present study, both non-glued and glued (using different types of resins) itacolomi quartzite were submitted to a flexion strength test. After some trials, it was verified that the resins supported greater loads than the quartzite. All specimens broke outside the resin's application area, thus confirming the effectiveness of resin adherence to rock.

Keywords: Quartzite, resins, mechanical behavior, historical monuments.

1. Introdução

O quartzito Itacolomi foi largamente utilizado na construção de casas, monumentos civis e religiosos na cidade de Ouro Preto/MG, no século XVIII (Linguanotto, 1972).

O quartzito micáceo ou itacolomi é formado de grãos de quartzo ligados por um cimento de mica (Sericitita), produzido pela alteração de vários aluminossilicatos. É ocasionalmente flexível em alto grau, em virtude da lixiviação parcial da mica, permitindo o entrelaçamento dos cristais, como se fossem articulados entre si. O referido quartzito é, também, conhecido como *quartzito flexível do Brasil* (Villela, 2003).

Por apresentar uma textura fanerítica de média a fina, possuir granulação visível, textura áspera e apresentar des-

prendimento dos grãos, durante o polimento, torna-se muito difícil a obtenção de superfícies lisas e polidas, como ocorre, por exemplo, com a rocha esteatito, denominada “pedra sabão”. A sua utilização se deve à característica geológica de não soltar placas e ser formado por grãos que são liberados à medida que são trabalhados por uma ferramenta cortante. Apesar de ser poroso, possui contornos de grãos entrelaçados, fato que lhe confere grande resistência mecânica. Nas cidades históricas, algumas preciosidades artísticas encontram-se deterioradas, por estarem expostas aos agentes de intemperismo e a outros tipos de ambientes agressivos. Faz-se, então, necessária a intervenção para a preservação e recuperação de acervos. Sabe-se que o

emprego de resinas em restaurações de monumentos rochosos tem sido efetuado de maneira empírica. As resinas misturadas com pó de rocha são utilizadas para enchimento de discontinuidades e união por colagem de peças degradadas. Entre outros, o restaurador Jair Afonso Inácio e o mestre da Cantaria José Raimundo Pereira (“mestre Juca”) empregaram a resina poliéster. A resina epóxi foi sugestão do vendedor da casa das resinas por ser também empregada em restaurações. Assim, o objetivo desse trabalho, devido à escassa bibliografia existente sobre o quartzito itacolomi, foi avaliar as propriedades mecânicas dessa rocha, empregando-se ensaios de flexão em amostras sem e com diferentes tipos de resinas.

2. Materiais e métodos

O bloco de rocha, utilizado na confecção de corpos-de-prova (CPs), foi retirado da encosta a noroeste da serra do Itacolomi. A preparação de CPs prismáticos retangulares, com dimensões de 20x10x5cm, para ensaios de flexão, obedeceu à Norma ABNT/NBR 12763-1992.

Para a descrição mineralógica, via microscopia óptica, utilizaram-se seis lâminas delgadas de acordo com a Norma ABNT/NBR 12768-1992. A Figura 1 apresenta a seqüência de cortes para a confecção das lâminas analisadas, no CP número 1. As lâminas foram cortadas nas faces A, B e C, no sentido longitudinal paralelo, longitudinal perpendicular e transversal, respectivamente ao plano de foliação (Neves, 2006).

A Figura 2(a-c) apresenta as fotografias das lâminas, sendo que a Figura 2(a, b) corresponde à lâmina A. Nota-se, na Figura 2(a) que os grãos do quartzito são ligados com cimento (sericitita), de cores cinza-claro com manchas ou veios marrons, acinzentados, esverdeados e róseos. Na Figura 2(b), destacam-se os contatos relativamente retilíneos dos contornos de grãos, empregando-se polarização cruzada. Na Figura 2(c), vê-se a lâmina B com os grãos de quartzo e grãos opacos (escuros), geralmente de hematita ou de magnetita, empregando-se luz polarizada descruzada.

Para os ensaios de flexão, utilizou-se uma máquina servo-hidráulica MTS-810 de 10 toneladas. A taxa de varredura do êmbolo foi de 4500 N/min.

Para aplicação de esforços nos CPs, foram usinados três cilindros de aço do tipo AISI 4340, conforme Norma ASTM E399/90. O sistema usado para o ensaio é constituído por dois cilindros fixados na parte inferior, onde são apoiados os CPs e um cilindro superior (cutelo) móvel (Figura 3 a e b). De acordo com a norma, o diâmetro do cilindro usado no dispositivo, para a execução dos ensaios de flexão, deve obedecer à relação

$$W/2 < D < W$$

onde: “W” é a espessura do corpo de prova e “D” é o diâmetro do cilindro.

Para avaliar a resistência do quartzito, após colagem dos CPs, eles foram colados com resinas do tipo poliéster insaturada ortoftálica PA-154, isoftálica 33411e epoxídica CRM 029.

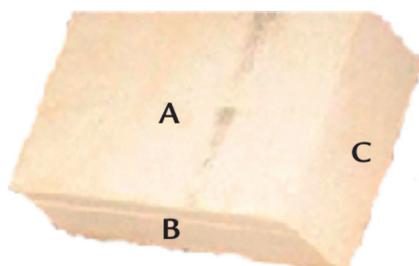


Figura 1
Regiões de um corpo-de-prova onde foram retiradas lâminas para análise mineralógica.

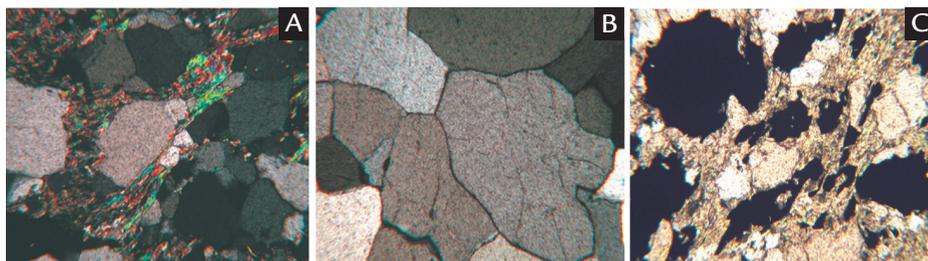


Figura 2
Fotomicrografias de lâminas de um quartzito itacolomi; a) ligação de grãos com cimento, lâmina A (Figura 1); b) destaca-se o contato praticamente retilíneo dos grãos; polarização cruzada, lâmina A; c) grãos de quartzo e grãos opacos com uso de polarização descruzada, lâmina B.

Um aspecto importante considerado nesse trabalho foi a análise da integridade estrutural dos mesmos CPs, previamente rompidos e posteriormente colados na temperatura ambiente, uma

vez que o material quartzítico, por ser cerâmico, apresenta comportamento mecânico elástico na temperatura ambiente.

As resinas poliéster e epóxi foram misturadas manualmente com o pó de

quartzito, na razão de um terço do volume de pó para dois terços do volume de resina, visando à adequada viscosidade do material compósito obtido. O tempo de cura das resinas foi de três dias.



Figura 3

Máquina servo-hidráulica MTS-810 (10 ton) para ensaios de flexão;

- a) disposição de CP na garra para aplicação de carregamento em três pontos; b) detalhe de um CP sendo ensaiado.

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 mostra a composição mineralógica volumétrica microscópica das amostras. Nota-se que o quartzito apresenta uma composição relativamente heterogênea (Campos, 2005). Ferreira (1991) observou resultados semelhantes, porém com grau de dispersão ainda maior, encontrando, além do quartzo e da sericita, a limonita. Silva (2007) executou os ensaios em flexão obtendo uma dispersão semelhante e determinou, também, a porosidade aparente, a absorção de água e o desgaste abrasivo.

A dispersão da composição mineralógica dos materiais que constituem a rocha, analisada por microscopia óptica

em lâminas, se deve à grande variação da composição química do bloco de quartzito. A referida dispersão está apresentada na Tabela 1.

A Tabela 2 e a Figura 4 apresentam os valores dos resultados encontrados nos ensaios de flexão em CPs colados com resina ortoftálica e não-colados. Nota-se a variação nos resultados em função da composição química do material e da região onde foram retirados os CPs. Alguns CPs (CP₂ e CP₇) colados sofreram ruptura com cargas maiores em relação à condição não-colada.

As Figuras 5(a-c) e 6(a-d) mostram corpos-de-prova ensaiados sob flexão,

sem e com colagem, respectivamente.

Todos os CPs colados, com exceção do CP₄ e CP₇ (Figura 6), romperam próximo à região central e paralelamente à direção de avanço do esforço aplicado. O plano de ruptura do CP₄ ocorreu a aproximadamente 30° em relação ao plano da superfície (Figura 6-b). Já o CP₇ rompeu a aproximadamente dois terços de uma das extremidades e fazendo um ângulo em torno de 45° em relação à direção de avanço do cutelo (Figura 6-c e Figura 6-d).

No caso do emprego das resinas poliéster isoftálica e epoxídica os corpos-de-prova romperam-se de maneira seme-

Tabela 1
Composição mineralógica volumétrica microscópica das lâminas retiradas dos corpos-de-prova 1 e 2, lâminas A, B e C, da Figura 1.

Composição (%) /Lâmina	CP ₁			CP ₂			Variação (%)	
	A	B	C	A	B	C	CP ₁	CP ₂
Quartzo	90	85	85	87	80	85	85-90	80-87
Sericita	10	13	15	13	17	10	10-15	10-17
Opacos	-	2	-	-	3	5	0-2	0-5

Tabela 2
Valores obtidos nos ensaios de flexão do quartzito, não-colados (NC) e colados (C) com resina ortoftálica PA-154.

CPs	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	CP ₅	CP ₆	CP ₇	CP ₈	
NC	$\delta_{m\acute{a}x.}$ (mm)	0,951	0,299	0,741	0,952	0,720	0,879	0,727	0,834
	$F_{rupt.}$ (N)	1245	1912	2167	2903	5188	5031	1334	1981
	$\sigma_{rupt.}$ (MPa)	2,120	2,170	2,300	3,190	4,610	4,420	1,220	1,840
C	$\delta_{m\acute{a}x.}$ (mm)	1,055	0,707	0,634	0,827	0,693	0,669	0,707	0,775
	$F_{rupt.}$ (N)	1235	2912	1765	2393	4511	3746	1696	1657
	$\sigma_{rupt.}$ (MPa)	2,110	3,310	1,870	2,420	4,01	3,300	1,550	1,540

Onde: $\delta_{m\acute{a}x.}$ - deslocamento máximo do cutelo; $F_{rupt.}$ - carga máxima (ruptura); $\sigma_{rupt.}$ - tensão de ruptura.

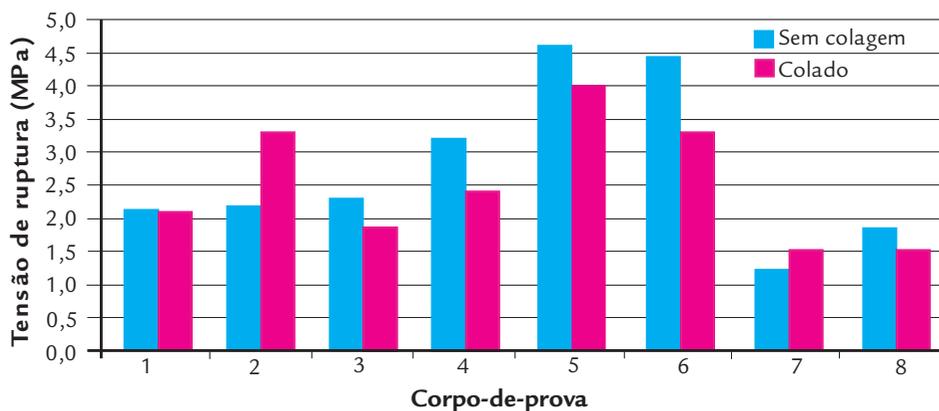


Figura 4
Valores comparativos entre as cargas máximas obtidas nos ensaios em flexão para os corpos-de-prova não-colados e colados com a resina ortoftálica (PA-154).



Figura 5
Corpos-de-prova de quartzito rompidos em ensaio de flexão.

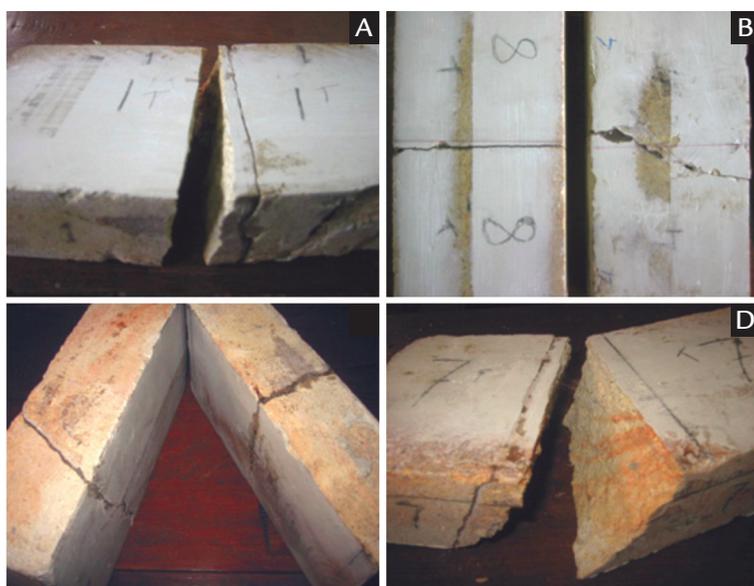


Figura 6
Corpos-de-prova de quartzito itacolomi colados e ensaiados em flexão;
a) CP₁; b) CP₈ e CP₄;
c) CP₁ e CP₇; d) CP₇.

lhante à resina poliéster ortoftálica.

As Tabelas 3 e 4 e a Figura 7 apresentam os valores obtidos nos ensaios de flexão com resinas poliéster isoftálica e epoxídica. Observa-se que o valor médio da tensão de ruptura é significativamente, mais elevado em relação à resina ortoftálica. E ainda, nota-se que os resultados foram mais uniformes. Esse aspecto, provavelmente, é devido ao fato de que os CPs foram extraídos mais internamente na rocha, região mais homogênea,

portanto sofreu menor ação do intemperismo. Em decorrência desse fenômeno, a superfície do bloco de rocha sofreu o processo de decomposição. Assim, os grãos de quartzo, no interior do referido bloco, estavam mais coesos do que os da superfície que apresentavam um alto grau de desagregação, soltando, inclusive, com o contato das mãos. De acordo com *Ideas Project* (1992) uma rocha de quartzito é considerada inalterada, pelo intemperismo, quando, em geral, apre-

senta uma porosidade total em torno de 5-10% do volume.

Apesar da eficiência do sistema de colagem do quartzito itacolomi, os resultados dos ensaios de resistência à flexão não atingiram o valor mínimo estabelecido pela Norma ASTM C-615/92, de 10MPa, para aplicação de rochas ornamentais, segundo Frazão e Farjallat (2003 e 2005), pois os valores encontrados, nesse trabalho, variaram de 1,22MPa a 5,22MPa.

CPs	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	CP ₅	CP ₆
$\delta_{m\acute{a}x.}$ (mm)	0,937	0,806	0,851	0,841	0,782	0,896
F _{rupt.} (N)	4589	4786	3148	4668	4511	2795
$\sigma_{rupt.}$ (MPa)	4,910	5,100	3,510	4,920	4,900	3,000

Tabela 3
Valores obtidos dos ensaios de flexão do quartzito não-colado.

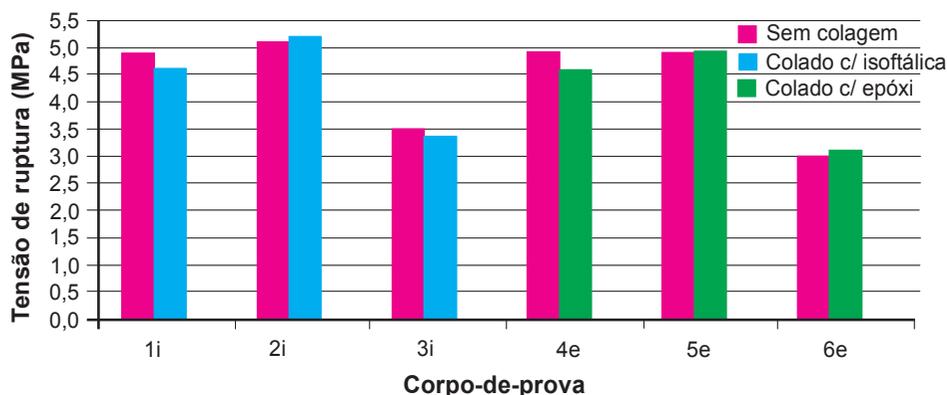
CPs	CP _{1i}	CP _{2i}	CP _{3i}	CP _{4e}	CP _{5e}	CP _e
$\delta_{\text{máx.}}$ (mm)	0,820	0,703	0,717	0,713	0,813	0,882
$F_{\text{rupt.}}$ (N)	4305	4903	3020	4364	4521	2893
$\sigma_{\text{rupt.}}$ (MPa)	4,610	5,220	3,360	4,590	4,910	3,180

Tabela 4

Valores obtidos dos ensaios de flexão do quartzito colado.

Onde: CP_{1i}, CP_{2i} e CP_{3i} - colados com a resina poliéster isoftálica; CP_{4e}, CP_{5e} e - colados com a resina epoxídica.

Figura 7
Gráfico comparativo dos valores das cargas de ruptura sob flexão dos corpos-de-prova não-colados e colados com resina isoftálica (i) e epoxídica (e).



4. Conclusões

A partir dos ensaios e análises realizadas, concluiu-se que:

- Todos os corpos-de-prova romperam sob esforços de flexão próxima à região onde foram colados com as três resinas utilizadas, indicando um bom desempenho das mesmas em colagem do quartzito itacolomi.
- De modo geral, a ruptura dos corpos-de-prova ocorreu próxima à linha central dos mesmos, região de concentração de carga.
- Em todos os casos, o plano de rompimento dos corpos-de-prova colados

ficou relativamente paralelo aos planos de aplicação das resinas.

- As dispersões de resultados ocorreram, provavelmente, porque o quartzito itacolomi apresenta um comportamento heterogêneo, composição química variada e decomposição por intemperismo que não acontece uniformemente.
- Os valores obtidos de resistência à flexão para o quartzito itacolomi foram inferiores aos sugeridos pela literatura para aplicação industrial de uma rocha.

- Observou-se maior homogeneidade estrutural na região interna do bloco em decorrência da menor ação de agentes que promovem intemperismo no quartzito.
- As resinas empregadas em recuperações de monumentos históricos apresentam certa eficiência temporariamente. No entanto, é necessário pesquisar outro tipo de resina, o qual possa resistir, por mais tempo aos agentes de intemperismo.

5. Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E.399/90: Standard test Method for plane-strain fracture toughness of metallic materials, in: Annual book of ASTM standards. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 1995. v. 03.01, p. 412-442.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C615/92 – 10, Standard specification for granite dimension stone, in: Annual book of ASTM standards. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 1992. v. 04.07.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12763: *Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão*. Rio de Janeiro, 1992, 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12768: *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro, 1992, 2p.
- CAMPOS, J. C. S. *Análise da composição mineralógica do quartzito itacolomi*. Ouro Preto: Área de Mineração. CODAMIN/IFMG, 2005. 3p. (Relatório).
- FERREIRA, C. M. *Estudo da iteração dos efluentes da fábrica da ALCAN com as rochas utilizadas nos monumentos de Ouro Preto*. Ouro Preto: DEGEO/EM/UFOP, 1991. (Relatório).
- FRAZÃO E. B. Valorização das rochas de revestimento: selo de qualidade ou marca de conformidade. *Revista Rocha de Qualidade*, São Paulo, n. 168, p.140-146, jan./fev. 2003.

- FRAZÃO, FARJALLAT apud CARRISSO, R. C. C., COSTA, M. S. V., CARVALHO, M. R. S., VIDAL, F. W. H. Avaliação de granitos ornamentais do sudeste através de suas características tecnológicas. *Revista Rocha de Qualidade*, São Paulo, n. 184, p.129, 130, set./out. 2005.
- FITZNER, B., HEINRICH, K., VOLKER, M., PEREZ, R. C., RIVAS, S. N. *Investigations into petrographical properties*. In: IDEAS project. Investigations into Devices Environmental Attack on Stones. Belo Horizonte: CETEC, 1992.
- LINGUANOTTO, D. *Descubra Ouro Preto*. São Paulo: Cultrix, 1972. 47p.
- NEVES, J. H. *Análise da integridade estrutural do quartzito itacolomi colado com diferentes resinas*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, 2006. 70f. (Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais).
- SILVA, M. E. *Avaliação da susceptibilidade das rochas ornamentais e de revestimento à deterioração - um enfoque a partir do estudo em monumentos do Barroco Mineiro*. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências/UFMG, 2007. 125p. (Tese de Doutorado).
- VILLELA, C. M. *Crerios para seleção de rochas da cantaria*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. 73f. (Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais).

Artigo recebido em 15 de novembro de 2010. Aprovado em 20 de junho de 2011.