

Utilização da esclerometria para a determinação da resistência de alvenarias antigas

Using sclerometry to determine the strength of old masonry

Gláucia Nolasco de Almeida Mello^{1*}, Cynara Fiedler Bremer²

RESUMO

A esclerometria é uma técnica não destrutiva usada para estimar a resistência mecânica de uma superfície. Embora inicialmente desenvolvido para materiais cimentícios e concretos, estudos mostram que esse tipo de ensaio também pode ser aplicado com boa precisão em alvenarias compostas por outros materiais. Assim, este trabalho apresenta uma avaliação da aplicação da esclerometria como método não destrutivo para determinação da resistência da alvenaria da igreja Igreja de Nossa Senhora do Rosário, em Caeté/MG, Brasil. Os testes de esclerometria foram realizados em sete áreas da alvenaria externa e interna da igreja. Os índices esclerométricos foram determinados e utilizados para estimar a resistência à compressão da alvenaria. Na igreja avaliada, a alvenaria externa foi construída com material rochoso e a alvenaria interna com adobe. Para a alvenaria composta por material rochoso a resistência à compressão estimada variou entre 22,0 MPa e 27,0 MPa. Para alvenaria de adobe a resistência não pôde ser estimada por este procedimento devido à falta de embasamento teórico. Os resultados preliminares indicam que a alvenaria apresenta resistências compatíveis com as resistências esperadas para uma alvenaria de pedra.

Palavras-chave: Patrimônio construído; Caracterização mecânica da alvenaria; Ensaio não destrutivo; Esclerometria;

ABSTRACT

Sclerometry is a non-destructive technique used to estimate the mechanical resistance of a surface. Although initially developed for cementitious and concrete materials, studies show that this type of test can also be applied with good accuracy in masonry composed of other materials. Thus, this paper presents an evaluation of the application of sclerometry as a non-destructive method for determining the strength of the masonry of the Church of Nossa Senhora do Rosário, in Caeté/MG, Brazil. The sclerometry tests were performed in seven areas of the external and internal church's masonry. The average effective sclerometric indexes were obtained and used to estimate the compressive strength of the masonry. In the church evaluated, the external masonry was built with rock material and the internal masonry with adobe. For the masonry composed of rock material the estimated compressive strength ranged between 27.5 MPa and 31.0 MPa. For adobe masonry the strength could not be estimated by this procedure due to lack of theoretical basis. The preliminary results indicate that the masonry has strengths compatible with the expected strengths for old stone masonry.

Keywords: Heritage building; Mechanical characterization of masonry; Non-destructive test; Sclerometry.

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
*E-mail: gnamello@pucminas.br

² Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

INTRODUÇÃO

O Patrimônio Cultural é uma testemunha viva da história e da cultura, que permite o conhecimento de uma sociedade que viveu em outras épocas; sendo assim, os bens culturais tornam-se produto e testemunho das diferentes culturas e realizações intelectuais do passado. Reconhecida sua importância, constata-se a necessidade de preservar esse patrimônio às gerações futuras, inserindo-se os conceitos de conservação, recuperação e restauração e, mais recentemente, sustentabilidade (BARBOSA *et al.*, 2018). A preservação é um legítimo ato de respeito pelo passado, que, alicerçado no reconhecimento da obra de arte e de seu transformar no decorrer do tempo, insere-se no tempo presente (KÜHL, 2006).

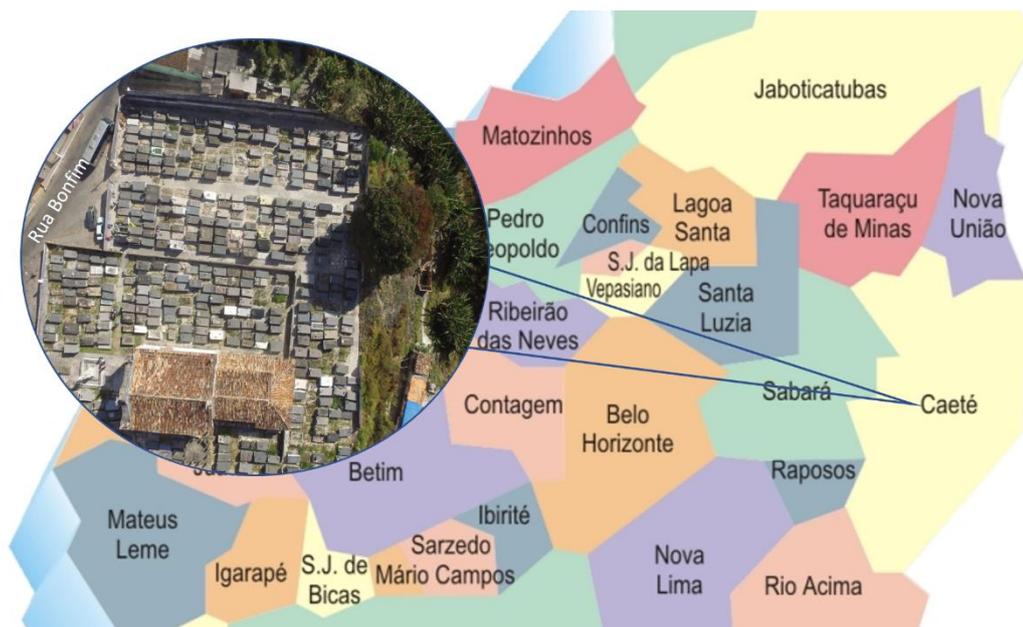
A esclerometria, considerada um ensaio não destrutivo, é uma técnica que pode ser utilizada para estimar a resistência mecânica de elementos estruturais em concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012; MALHOTRA, 2004). Estudos mostram que este tipo de ensaio também pode ser aplicado com boa precisão em alvenaria de material cerâmico (VIEIRA DE MELO, 2016) e, também, em rochas (LOPES, 2019). Neste contexto, este trabalho teve como objetivo apresentar a aplicação da esclerometria como método não destrutivo para determinação da resistência das alvenarias de uma igreja tombada pelo patrimônio, a igreja de Nossa Senhora do Rosário, em Caeté/MG, Brasil.

A partir das recomendações da norma NBR 7584:2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) e do referencial teórico consultado, procurou-se avaliar os índices esclerométricos obtidos nos ensaios realizados nas alvenarias de pedra da igreja investigada, com o objetivo de estimar a resistência a compressão destas. Foi escolhida pelo menos uma área das alvenarias que compõem as fachadas frontal, de fundo e laterais da igreja e algumas áreas de alvenarias internas. Embora existam alguns trabalhos relatando estudos sobre a utilização do ensaio de esclerometria para materiais diferentes dos compostos por cimentos (LOPES, 2019; VIEIRA DE MELO, 2016;), não há muitas avaliações desse procedimento em alvenarias de pedra de edificações antigas. Assim, este trabalho teve como objetivo principal, responder à seguinte questão: *Quais as implicações da utilização do esclerômetro de reflexão para estimar a resistência de alvenarias de edificações antigas?*

IGREJA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO

A igreja Nossa Senhora do Rosário é um Patrimônio Histórico e Artístico Cultural protegida pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e está localizada na Ladeira do Rosário na cidade de Caeté, região metropolitana de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, ver Figura 1.

Figura 1 – Localização da Igreja Nossa Senhora do Rosário



Fonte: Adaptada da imagem retirada do site da UFMG,

<https://www.ufmg.br/boletim/bol1702/4.shtml>

O registro do Inventário Nacional de Bens Móveis e Integrados da Capela do Rosário, realizado pelo IPHAN em 1987, diz que a capela que originou a atual igreja teria sido construída em 1704. O documento afirma ter a mesma dois estilos de construção: o Barroco e o Colonial, sendo o segundo implementado depois de 1714 (MEMORIAL DA ARQUIDIOCESE DE BELO HORIZONTE, 2017).

A Igreja Nossa Senhora do Rosário é a igreja mais antiga de Caeté. Foi construída em linhas simples, em cantaria e com algumas alvenarias internas de adobe com esteios de madeira. Ela possui altares da primeira fase do barroco mineiro, com seus pelicanos eucarísticos e cachos de uvas. O seu adro murado que contorna toda a edificação, abriga um cemitério, inclusive com túmulos à porta principal. Sem torres, possui planta em partido simples composta por nave, capela-mor, corredores laterais e sacristia transversal ao fundo. A nave, que se trata de reconstrução, foi edificada em cantaria, com cunhais,

enquadramento dos vãos e guarnição do frontão também em cantaria. O forro da nave, em abóbada facetada, tem pintura que remonta provavelmente ao período final do ciclo rococó. A composição é feita por muro-parapeito sinuoso ao longo das paredes laterais, incluindo varandas nos eixos transversais e figuras dos santos dominicanos. A pintura do forro da nave traz a representação de Nossa Senhora do Rosário acompanhada de São Vicente Ferrer, São Tomás de Aquino e santos bispos da Igreja. Ao longo do tempo, a igreja passou por algumas intervenções: 1942, 1944/46, 1957 e 1969. Em 1987 alguns bens passaram por restauração (MEMORIAL DA ARQUIDIOCESE DE BELO HORIZONTE, 2017).

ESCLEROMETRIA

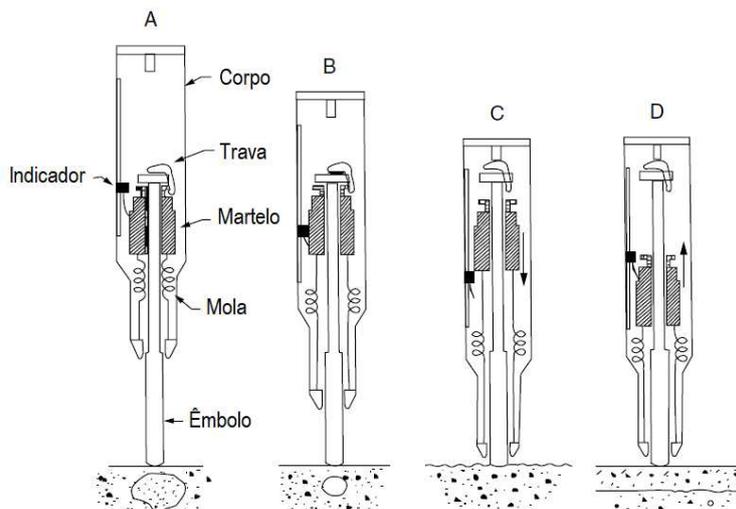
O método baseia-se na medição da dureza superficial do concreto e possui como variável de resposta um índice de reflexão que pode ser usado para a estimativa da resistência a partir da construção de curvas de correlação. O esclerômetro é um aparelho portátil, simples, de baixo custo e que pode viabilizar uma grande quantidade de dados rapidamente.

O aparelho é constituído por um tubo cilíndrico em cujo interior há uma mola, um êmbolo e uma massa. O êmbolo é colocado em contato com a superfície do material, de modo a deslocar a massa metálica por dentro do tubo cilíndrico e a mola padrão é estendida. Quando a massa metálica chega ao final do tubo, um dispositivo do aparelho a libera de modo que, pela ação da mola, ela se choca no êmbolo e rebota em certo grau. A Figura 2 mostra o corte esquemático do esclerômetro Schmidt. Pelo efeito do choque, a massa retorna em certa magnitude gerando um índice indicado por um cursor que se move ao longo de uma escala graduada. O índice esclerométrico é proporcional à distância percorrida pela massa no rebote e a resistência do material é diretamente proporcional à distância a que a massa é refletida no interior do aparelho após o choque (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012; MALHOTRA, 2004).

A norma estadunidense ACI 228.1R (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2013) recomenda a utilização de ensaios não destrutivos (END) *in situ*, para determinação de resistência mecânica do concreto, associada a curvas de correlação determinadas por ensaios executados em laboratório. Nos ensaios em laboratório os corpos de prova podem ser cilíndricos ou cúbicos e devem ser confeccionados com o mesmo material da estrutura avaliada. As medições com o esclerômetro devem ser realizadas nos corpos de prova

antes de serem submetidos ao ensaio de rompimento à compressão. Essa recomendação possibilita maior grau de confiabilidade dos resultados.

Figura 2 – Vista esquemática do martelo de ricochete Schmidt



Fonte: Adaptada de Malhotra (2004)

Neste contexto, diversos autores têm investigado a confiabilidade do método de associação de END para a determinação da resistência à compressão do concreto composto por materiais diferentes, como os agregados graúdos, mas, também, de outros materiais. Camargo e Ferrari (2021) empregaram três END, o ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica (VPU), índice esclerométrico (IE) e o ensaio de resposta acústica (RA) para estabelecerem as curvas de correlação para a estimativa da resistência nominal à compressão de concreto de classes C20 a C50.

Vieira de Melo (2016) utilizou ensaios de ultrassonografia e esclerometria em alvenarias blocos cerâmicos e de concreto e estabeleceu a correlação com a resistência à compressão obtida nos ensaios de bloco e prisma em laboratório. Os resultados obtidos pelo autor mostraram que é possível estimar a resistência à compressão de alvenarias de blocos de cerâmica e concreto, por meio dos END aplicados, com uma incerteza de aproximadamente 20%.

Lopes (2019) empregou o esclerômetro Schmidt em seu estudo para verificar o comportamento mecânico das juntas rochosas dos maciços de gnaiss que compõem o circuito hidráulico do Aproveitamento Hidrelétrico Simplício. A autora realizou ensaios com o esclerômetro Schmidt em campo e em laboratório. Os ensaios em campo foram empregados nos maciços rochosos do local e os ensaios em laboratório foram realizados em testemunhos coletados ao longo dos anos em Simplício. Segundo Lopes (2019), os

resultados obtidos com os ensaios foram satisfatórios. Além disso, o emprego desse procedimento se mostrou vantajoso por ser rápido, de fácil execução, com custos reduzidos e sem restrições significativas de área de impacto.

Grazzini e Lacidogna (2021) empregaram dois END, a ultrassonografia e a esclerometria, para estimar a resistência à compressão de blocos de rocha sedimentar, arenito, provenientes de Amatrice, na Itália. Os resultados obtidos nos dois ensaios foram correlacionados aos obtidos nos ensaios de resistência à compressão utilizando corpos de prova em laboratório. O propósito dos autores foi estimar a resistência das alvenarias de pedra das construções dessa cidade, que foi quase totalmente destruída por um terremoto em 2016, para melhor projetar os reforços estruturais necessários para a reabilitação das edificações do local.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste estudo foram realizadas duas visitas à Igreja para a coleta de dados e execução dos ensaios. Na primeira visita foi realizado o END de esclerometria para determinação da dureza superficial da alvenaria com o uso do esclerômetro de reflexão. Os ensaios foram executados segundo a norma NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Há alguns tipos de esclerômetros disponíveis no mercado que diferem entre si de acordo com o maior ou menor grau de precisão desejado. Para esta avaliação o aparelho utilizado foi com energia de percussão de 2,25 N.m com ou sem fita registradora automática, que pode ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e elementos estruturais; esclerômetro da marca PROCEQ, fabricado na Suíça, modelo Silver Schmidt Type N SH01-002-0705, ver Figura 3. Antes de iniciar os ensaios foi verificado se o aparelho foi devidamente configurado para as unidades de interesse e verificada a data de sua última aferição.

Figura 3 – Esclerômetro PROCEQ utilizado para os ensaios.

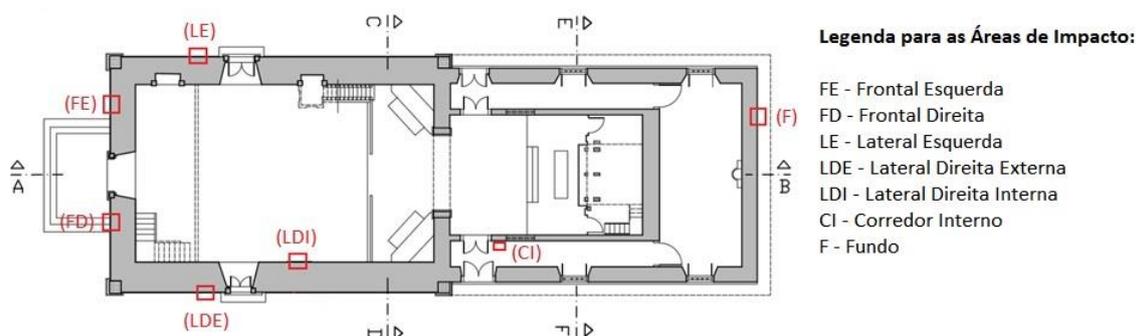


Fonte: Acervo das autoras

A Igreja Nossa Senhora do Rosário foi inspecionada e foram selecionadas, pelo menos, uma área externa em cada uma das fachadas, e duas áreas internas da fachada direita. Estas áreas estão demarcadas na Figura 4. As áreas ensaiadas foram identificadas e numeradas como apresentado no Quadro 1.

Após a coleta dos dados, em cada área demarcada na Figura 4, foram calculados os índices esclerométricos médios e médios efetivos (IE_a) de acordo com a recomendação da norma NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Figura 4 – Localização e identificação das áreas de impacto



Fonte: Adaptado de Nunes (2012).

Quadro 1 – Numeração das áreas de impacto

Núm.	1	2	3	4	5	6	7
Área de Impacto	Alvenaria Frontal Direita (FD)	Alvenaria Frontal Esquerda (FE)	Alvenaria Lateral Direita (LDE)	Alvenaria Lateral Esquerda (LE)	Alvenaria do Fundo (F)	Alvenaria Lateral Direita Interna (LDI)	Alvenaria do Corredor Interno (CI)

A NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) determina que, em cada área de ensaio, devem ser efetuados 16 impactos. Não é permitido mais de um impacto sobre o mesmo ponto; se isto ocorrer, o segundo valor lido não pode ser considerado no cálculo dos resultados. Os impactos devem estar uniformemente distribuídos na área de ensaio e ortogonalmente a esta área.

Após realizar os impactos nos 16 pontos, calculou-se a média aritmética e desprezou-se os valores que divergiram em mais de 10% do valor médio alcançado. Esse procedimento deve ser repetido até que não haja mais nenhum valor fora do intervalo recomendado pela NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Para a determinação do índice esclerométrico médio efetivo (IE_a)

para uma determinada área do ensaio, devem ser considerados, no mínimo, cinco índices, caso contrário a área de ensaio deve ser desprezada.

As correlações empíricas entre os valores de rebote obtidos nos ensaios de esclerometria e a resistência à compressão uniaxial para materiais cimentícios e de concreto podem ser obtidos nos gráficos fornecidos pelo fabricante do equipamento. Para outros tipos de materiais, por exemplo, tijolos de cerâmica ou concreto, rochas etc. estes índices podem ser obtidos por meio dos estudos apresentados por diversos autores que obtiveram bons resultados por este método. No caso da igreja em questão, o material da alvenaria do corredor interno (CI), ver Figura 4, é de adobe. Como não foi encontrado no referencial teórico nenhum estudo para relacionar os valores de rebote do esclerômetro e a resistência à compressão para este material, a resistência para esta alvenaria não foi estimada neste estudo.

Para as demais áreas identificadas na Figura 4, cujas alvenarias foram construídas com material rochoso, a correlação entre os valores de rebote obtidos nos ensaios de esclerometria e a resistência a compressão para materiais rochosos foram obtidas por meio do ábaco da Figura 5, proposto por Deere e Miller (apud LOPES, 2019) em 1966 e adaptado para as unidades internacionais de medida por Hoek e Bray (apud LOPES, 2019) em 1981.

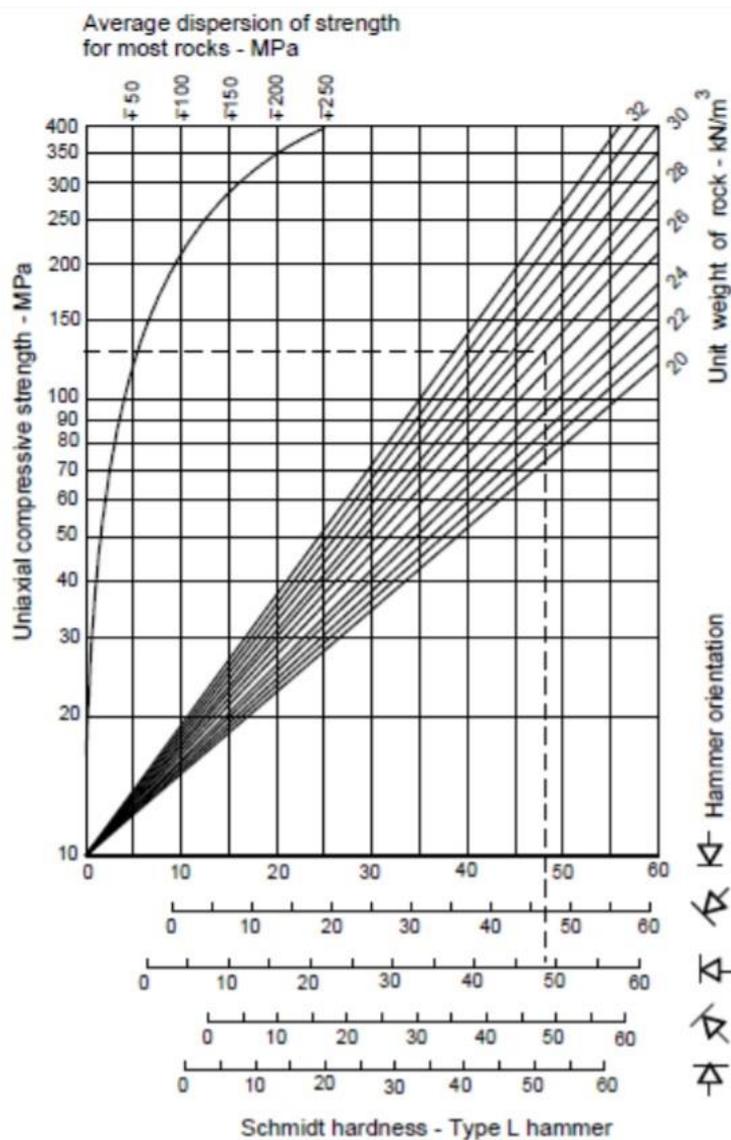
RESULTADOS

O esclerômetro utilizado encontrava-se devidamente aferido, sendo assim, o valor para o índice esclerométrico nominal do aparelho (IE_{nom}) foi considerado igual a 80. E, obteve-se o índice esclerométrico k igual a 1,00.

Os valores dos índices individuais, levantados para cada ponto de cada uma das áreas de ensaio, encontram-se na Tabela 1. Foram desprezados todos os índices individuais que se encontravam afastados em mais de 10% do valor médio. Esse procedimento foi repetido duas vezes para os pontos das áreas 2, 3, 5, 6 e 7 (Tabela 1), e repetido três vezes para os pontos das áreas 1 e 4 (Tabela 1). Na Tabela 2 tem-se os valores finais para os índices esclerométricos médios das áreas 1 a 7. Para todas as áreas foram obtidos mais de cinco pontos válidos, conforme recomendação da norma NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), assim, o ensaio de esclerometria de todas as áreas foi validado. Após o cálculo do índice esclerométrico médio efetivo (IE_a), para cada área de impacto, ver Tabela 2, utilizou-se o ábaco

apresentado na Figura 5 para estimar-se a resistência à compressão das alvenarias da igreja. Os resultados para a resistência encontram-se na Tabela 3. Para obtenção dos dados na tabela foi considerada a posição horizontal do esclerômetro, ou seja, perpendicular à alvenaria. O peso específico da rocha foi estimado em 24 kN/m³, valor médio indicado pela NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) para as rochas calcárias e arenito.

Figura 4 – Ábaco para correlação entre valores de rebote e resistência a compressão.



Fonte: Lopes, 2019.

Tabela 1 – Determinação do índice esclerométrico médio em cada área de ensaio

Pontos de Impacto	1	2	3	4	5	6	7
1	13,5	11,5	12,0	14,0	12,5	18,5	11,5
2	15,0	12,5	13,0	11,5	10,5	18,5	13,0
3	15,0	13,5	12,0	12,0	11,0	15,0	12,0
4	15,0	13,0	12,0	14,0	10,0	13,0	15,5
5	12,5	12,5	13,5	14,0	15,5	16,5	17,0
6	11,5	12,5	12,5	10,5	14,0	17,0	15,0
7	15,0	13,0	13,5	15,5	11,0	17,5	13,0
8	13,5	13,0	11,5	15,5	12,5	16,0	16,5
9	14,0	14,5	12,0	12,0	16,5	13,0	16,5
10	13,5	14,5	14,0	13,0	13,0	17,0	16,5
11	16,0	13,0	15,0	14,0	10,5	16,0	16,5
12	14,0	13,0	13,5	12,5	10,5	14,0	16,0
13	12,0	12,5	10,5	10,0	14,5	14,0	16,0
14	14,5	12,0	10,0	10,5	13,0	15,0	16,5
15	11,5	13,5	11,0	12,5	13,0	15,5	18,5
16	12,0	13,5	13,5	13,0	13,5	14,0	17,0
1ª Média	13,7	13,0	12,5	12,8	12,6	15,7	15,4
- 10% (Média)	12,3	11,7	11,2	11,5	11,3	14,1	13,9
+ 10% (Média)	15,0	14,3	13,7	14,1	13,9	17,2	17,0

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 2 – Resultado do índice esclerométrico médio em cada área de ensaio, após as interações.

Pontos de Impacto	1	2	3	4	5	6	7
1	13,5	12,5	12,0	14,0	12,5	15,0	15,5
2	15,0	13,5	13,0	12,0	12,5	16,5	17,0
3	15,0	13,0	12,0	14,0	13,0	17,0	15,0
4	15,0	12,5	12,0	14,0	13,0	16,0	16,5
5	15,0	12,5	13,5	12,0	13,0	17,0	16,5
6	13,5	13,0	12,5	13,0	13,5	16,0	16,5
7	14,0	13,0	13,5	14,0		15,0	16,5
8	13,5	13,0	11,5	12,5		15,5	16,0
9	14,0	13,0	12,0	12,5			16,0
10	14,5	12,5	13,5	13,0			16,5
11		12,0	13,5				17,0
12		13,5					
13		13,5					
Índice Esclerométrico Médio Final	14,3	12,9	12,6	13,1	12,9	16,0	16,3

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 3 – Determinação do IE_a para cada área avaliada e resistência a compressão estimada.

	1	2	3	4	5	6	7
Índice Esclerométrico Médio Final (IE_a)	14,3	12,9	12,6	13,1	12,9	16,0	16,3
Resistência Estimada (MPa)	25,0	23,0	22,0	23,0	23,0	27,0	-

Fonte: Elaborada pelas autoras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em sua investigação, Vieira de Melo (2016) indica que a incerteza dos resultados para o ensaio de esclerometria aplicado às alvenarias de blocos de cerâmica e concreto fica em torno de 20%. Brandi et al. (2015) recomendam a utilização do esclerômetro de reflexão para a avaliação da resistência em cavidades naturais, mas não especificam o grau de incerteza dos resultados obtidos para as cavidades rochosas avaliadas. A utilização do esclerômetro de reflexão para a avaliação da resistência a compressão, mesmo com um grau de incerteza que poderia ser considerado elevado, mostra-se viável e indicada, uma vez que facilita o procedimento investigativo, economizando tempo e mantém intactos os elementos estruturais.

Nesta investigação, as correlações empíricas entre os valores de rebote obtidos nos ensaios de esclerometria e a resistência à compressão uniaxial para as alvenarias de pedras foram obtidas por meio do ábaco (Figura 5) proposto por Deere e Miller (apud LOPES, 2019) em 1966 e adaptado para as unidades internacionais de medida por Hoek e Bray (apud LOPES, 2019) em 1981. As resistências variaram entre 22,0 MPa e 27,0 MPa, o que se mostrou bastante razoável para as alvenarias de pedra. Na Igreja Nossa Senhora do Rosário, a alvenaria do corredor interno (CI), ver Figura 4, foi construída em adobe. E, para esse material, não foi encontrado no referencial teórico nenhum estudo que relacionasse os valores de rebote do esclerômetro à resistência à compressão; assim, a resistência para dessa alvenaria não foi estimada. Neste contexto, uma sugestão para trabalhos futuros seria a realização de estudo e proposta de um ábaco que relacione os valores de rebote do esclerômetro à resistência à compressão do adobe.

Finalmente, o END de esclerometria foi considerado adequado às avaliações de edificações antigas, pois, evita-se a remoção de testemunhos ou qualquer outro tipo de intervenção na edificação. Além disso, ele é propício porque pode ser aplicado em diversas áreas, inclusive tetos e paredes inclinadas, mas nestes casos, há que se considerar um coeficiente de ajuste em função da inclinação adotada para a realização do ensaio. Além disso, o custo do equipamento é razoável, para os fins a que se emprega, e a realização do ensaio não é complexa, mas exige que se tome os devidos cuidados recomendados na norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Memorial da Arquidiocese de Belo Horizonte, na figura de Hebert Gerson Soares Júnior e ao Pároco Marcelo Lacerda.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 228.1R**: In-Place Methods to Estimate Concrete Strength. Detroit: ACI, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 7584**: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BARBOSA, M. T. G.; SILVA, B.; OLIVEIRA, H.; FIDELIS, P.; COURA, C. A. Importância da Sustentabilidade na Restauração do Patrimônio Histórico: Estudo de Caso: Pontes. **Construindo**, Belo Horizonte, Brasil, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2018.

BRANDI, I.; BARBOSA, M.; GUIMARÃES, R. Uso do esclerômetro de Schmidt na avaliação da resistência geomecânica de cavidades naturais subterrâneas em terrenos ferríferos, Carajás- PA. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) **Congresso Brasileiro de Espeleologia**, 33, 2015. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.627-634. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_627-634.pdf. Acesso em: 10/06/2022.

CAMARGO, M. V.; FERRARI, V. J. A Resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto por meio de ensaios não destrutivos (END). **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 26, n. 3, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13047>.

GRAZZINI, A.; LACIDOGNA, G. Mechanical Properties of Historic Masonry Stones Obtained by In Situ Non-Destructive Tests on the St. Agostino Church in Amatrice (Italy). **Applied. Sciences**, v. 11, n.14, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/app11146352>.

KÜHL, B. M. História e ética na conservação e na restauração de monumentos históricos . **Revista CPC**, v.1, p. 16-40, 2006. Doi: <https://doi.org/10.11606/issn.1980-4466.v0i1p16-40>.

LOPES, Patrícia Martins. **Alterabilidade e comportamento geomecânico de rochas no AHE Simplicio**. Orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes. 2019. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2019.

MEMORIAL DA ARQUIDIOCESE DE BELO HORIZONTE. **Inventário do Patrimônio Cultural – Bens e Imóveis**. CA/2010-0101-0002. 10/05/2017.

MALHOTRA, V. M. Surface Hardness Methods. Separata de: MALHOTRA, V.M.; CARINO, N.J. **Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2004. cap. 1, p. 1.1-1.15. ISBN 0-8031-2099-0.

VIEIRA DE MELO, Aroldo. Determinação da resistência à compressão em alvenaria de tijolos cerâmico e cimentício pelos métodos não destrutivos através de ultrassom e esclerometria. Orientador: Luiz Guilherme Meira de Souza. 2016. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, Brasil, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/23312>. Acesso em: 25 jun. 2022.

Recebido em: 03/07/2022

Aprovado em: 05/08/2022

Publicado em: 10/08/2022