

ANÁLISE DA REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE NA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO D'ÁGUA DE ROCHA AGLOMERADA

REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY ANALYSIS ON WATER ABSORPTION DETERMINATION OF AGGLOMERATED STONE

Alan Dutra Pedruzzi

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 8º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: agosto de 2019 a julho de 2020
alanpedruzzi722@gmail.com

Abiliane de Andrade Pazeto

Orientadora, Tecnóloga em Rochas Ornamentais, D.Sc.
apazeto@cetem.gov.br

RESUMO

Desde 2018, o Núcleo Regional do Espírito Santo (CETEM/NRES) vem desenvolvendo um estudo pré-normativo para ensaios de caracterização tecnológica de rochas aglomeradas, a fim de submeter futuramente à ABNT normas específicas para esses materiais. Um importante aspecto a ser considerado nesse estudo é a confiança do sistema de medição empregado nos ensaios, visto que a validade dos dados experimentais obtidos depende de sua adequação. O sistema de medição pode ser avaliado por meio do índice de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R). A repetibilidade corresponde à variação do dispositivo, enquanto a reprodutibilidade refere-se a diferenças que podem existir entre as medidas de diferentes operadores. O objetivo deste trabalho foi calcular o parâmetro R&R das massas seca e saturada de uma rocha aglomerada pelo método estatístico da Média e Amplitude, a fim de contribuir com o estudo pré-normativo brasileiro. Os resultados mostraram valores do índice R&R abaixo de 10% e estabilidade no controle estatístico das cartas de controle geradas, indicando capacitação do sistema de medição e confiabilidade na metodologia utilizada.

Palavras-chave: repetibilidade, reprodutibilidade, rocha aglomerada.

ABSTRACT

Since 2018, the Espírito Santo Branch (CETEM / NRES) has been developing a pre-normative study for technological characterization testing of agglomerated stones, in order to submit specific standards for these materials to ABNT in the future. An important aspect to be considered in this study is the confidence in the measurement system of testing, since the validity of the obtained experimental data depends on its adequacy. The measurement system can be evaluated through the repeatability and reproducibility gauge (R&R). Repeatability corresponds to the device variation, while reproducibility refers to differences which may exist between measurements taken by different operators. The objective of this work was to calculate the R&R gauge of dried and soaked weight of an agglomerated stone by the Average and Range method, in order to contribute to the Brazilian pre-normative study. The results obtained show values of the R&R gauge below 10% and stability in the statistical control of the generated control charts, indicating suitability of the measurement system and reliability of the methodology used.

Keywords: repeatability, reproducibility, agglomerated stone.

1. INTRODUÇÃO

As rochas aglomeradas são produtos industrializados que ano a ano vem ganhando o mercado das rochas naturais no acabamento de obras civis (CHIODI FILHO, 2019). Dado a ampliação de seu uso, e a inexistência de metodologias de ensaios de caracterização tecnológica específicas para esses materiais no Brasil, o Núcleo Regional do Espírito Santo (NRES/CETEM) vem elaborando um estudo pré-normativo com base no pacote de normas europeu EN 14617, no intuito de futuramente apresentar à ABNT propostas de normas de ensaios para as rochas aglomeradas.

Um importante aspecto a se considerar em um estudo pré-normativo é a confiança do sistema de medição (SM) utilizado nos ensaios, visto que a validação dos dados obtidos depende de sua adequação (RIBEIRO & CATEN, 2012). Uma das formas de se analisar o SM é através do parâmetro de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R). Segundo o VIM (2012), a repetibilidade é definida como a variação das medições obtidas por um mesmo equipamento de medição, utilizado inúmeras vezes por um mesmo operador, medindo uma mesma peça. Já a reprodutibilidade é definida como a variação das médias obtidas por diferentes operadores, utilizando o mesmo equipamento de medição para medir uma mesma peça.

2. OBJETIVOS

Realizar ensaio de absorção d'água de uma rocha aglomerada e calcular o parâmetro R&R das massas seca e saturada, a fim de contribuir com o estudo pré-normativo brasileiro.

3. METODOLOGIA

A determinação da absorção d'água foi realizada no Laboratório de Rochas Ornamentais - LABRO/NRES, utilizando a rocha aglomerada de nome comercial Branco Aldan, e seguiu a norma EN 14617-1 (AENOR, 2013). O instrumento de medição empregado foi uma balança Marte Científica, modelo AD 2000 ($\pm 0,01g$). A absorção d'água (C) é calculada pela relação entre as massas seca (M_o) e saturada (M_t) (Equação 1):

$$C = \frac{100.(M_t - M_o)}{M_o} \quad (1)$$

Após realização do ensaio, o parâmetro R&R das massas foi calculado pelo método da Média e Amplitude conforme o Manual de Análise do Sistema de Medição - MSA (2010), selecionando-se 10 corpos de prova aleatórios, que foram medidos 3 vezes cada, por 2 operadores distintos.

O cálculo inicia-se obtendo o desvio padrão do instrumento de medição (σ_e), que corresponde à razão entre a amplitude média (\bar{R}) das medições efetuadas pelos operadores e d_2 , constante tabelada para o número de peças (n), operadores e medições (r) em estudo (neste caso, 1,693). Por sua vez, a repetibilidade (VE), ou variação do instrumento, é obtida multiplicando-se σ_e pelo fator 5,15, intervalo que abrange 99% da variação esperada para uma distribuição normal (Equação 2).

$$\sigma_e = \frac{\bar{R}}{d_2} \rightarrow VE = \sigma_e \cdot 5,15 \quad (2)$$

Para a reprodutibilidade (VO), deve-se calcular a amplitude entre as médias das medições obtidas por cada operador (R_o), e aplicá-la na equação compensando-se a contaminante VE. Em seguida obtém-se o desvio-padrão ajustado entre operadores (σ_o) (Equação 3):

$$VO = \sqrt{\left(5,15 \cdot \frac{R_o}{d_2}\right)^2 - \frac{(\sigma_e \cdot 5,15)^2}{nr}} \rightarrow \sigma_o = \frac{VO}{5,15} \quad (3)$$

Conhecida a variabilidade devido a VE (equipamento) e VO (operadores), a variabilidade do sistema de medição R&R e seu desvio padrão (σ_m) são calculados (Equação 4):

$$R\&R = \sqrt{(VE)^2 + (VO)^2} \rightarrow \sigma_m = \sqrt{(\sigma_e)^2 + (\sigma_o)^2} \quad (4)$$

A variabilidade das peças (σ_p) é obtida pela razão entre a amplitude das médias das peças (R_p) e a constante d_2 , para em seguida obter-se a variação total das peças (VP) (Equação 5):

$$\sigma_p = \frac{R_p}{d_2} \rightarrow VP = \sigma_p \cdot 5,15 \quad (5)$$

Por fim, a variabilidade total (VT), e a variação em termos de desvio padrão (σ_t) são obtidas somando-se a variabilidade do sistema de medição com a variabilidade das peças (Equação 6):

$$VT = \sqrt{(R\&R)^2 + (VP)^2} \rightarrow \sigma_t = \sqrt{(\sigma_m)^2 + (\sigma_p)^2} \quad (6)$$

A adequação do sistema de medição (SM) é avaliada em termos percentuais, quantificando-se o percentual da variabilidade total do processo que é devida ao sistema de medição (Equação 7). A contribuição (%) de VE, VO e VP é calculada pela mesma equação, substituindo-se %R&R.

$$\%R\&R = 100 \cdot \frac{R\&R}{VT} \quad (7)$$

Foram geradas ainda cartas de controle para monitorar o SM analisando as médias (X) e amplitudes (R) das medições de cada massa. Os cálculos dos limites centrais, superiores (LSC) e inferiores (LIC) seguiram o preconizado pelo MSA (2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 contêm as médias e amplitudes resultantes das três medições realizadas por cada operador, bem como a média entre operadores para as massas envolvidas no ensaio de determinação da absorção d'água do Branco Aldan.

A Tabela 3 apresenta as contribuições encontradas através da aplicação do método da Média e Amplitude utilizando os dados das Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Médias (X) e amplitudes (R) das medições por operador e média geral das peças (X_p) para a massa seca (g).

| | | Peças | | | | | | | | | |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3 | 10 | 14 | 15 | 23 | 25 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| X | Op 1 | 257,43 | 255,42 | 259,36 | 259,91 | 256,33 | 254,50 | 254,77 | 254,53 | 255,30 | 258,85 |
| | Op 2 | 257,43 | 255,40 | 259,35 | 259,91 | 256,33 | 254,49 | 254,77 | 254,52 | 255,30 | 258,84 |
| R | Op 1 | 0,02 | 0 | 0 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,2 | 0 | 0 |
| | Op 2 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0 | 0,03 |
| X_p | | 257,43 | 255,41 | 259,36 | 259,91 | 256,33 | 254,50 | 254,77 | 254,33 | 255,30 | 258,85 |

Tabela 2: Médias (X) e amplitudes (R) das medições por operador e média geral das peças (X_p) para a massa saturada (g).

| | | Peças | | | | | | | | | |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3 | 10 | 14 | 15 | 23 | 25 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| X | Op 1 | 257,53 | 255,51 | 259,44 | 260,02 | 256,42 | 254,6 | 254,88 | 254,63 | 255,39 | 258,95 |
| | Op 2 | 257,51 | 255,49 | 259,42 | 259,98 | 256,41 | 254,57 | 254,84 | 254,60 | 255,37 | 258,90 |
| R | Op 1 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,07 |
| | Op 2 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,04 |
| X_p | | 257,52 | 255,5 | 259,43 | 260,00 | 256,42 | 254,59 | 254,86 | 254,62 | 255,38 | 258,93 |

Tabela 3: Resultado do estudo R&R para as massas seca e saturada.

| | Massa seca | Massa saturada |
|-------------------------|------------|----------------|
| Varição Total (VT) | 8,77 | 8,77 |
| Repetitividade (VE%) | 0,42% | 0,97% |
| Reprodutibilidade (VO%) | 0,10% | 1,21% |
| R&R (R&R%) | 0,43% | 1,55% |
| Peças (VP%) | 100% | 99,99% |

De acordo com MSA (2010), um sistema de medição é considerado aceitável quando a variação do índice R&R% for menor que 10%, o que foi alcançado pelas duas massas analisadas. Os parâmetros VE% e VO% das duas massas também apresentaram porcentagens bastante baixas, estabelecendo que as contribuições dos operadores e do equipamento não são significativas neste estudo.

As cartas de controle das médias da massa seca (Figura 1) e saturada (Figura 3) corroboram os resultados da Tabela 3, pois demonstram uniformidade com relação às medições dos operadores 1 e 2. O fato de que todos os pontos ficaram fora dos limites de controle, indica a qualidade do SM, pois a variabilidade intrínseca aos corpos de prova (pontos) é maior do que a repetitividade do SM (limites de controle).

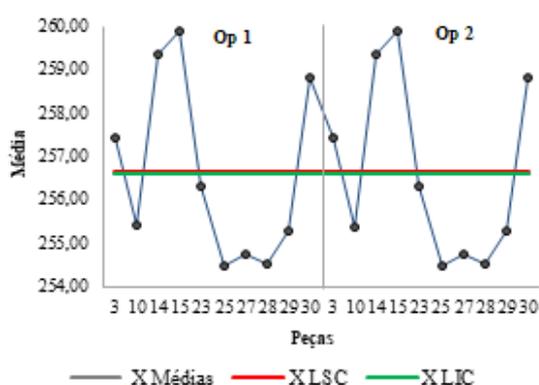


Figura 1: Carta de controle das médias da massa seca.

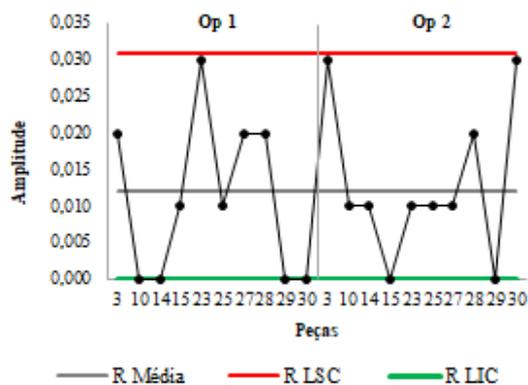


Figura 2: Carta de controle das amplitudes da massa seca.

Legendas: X Médias: limite central das médias; X LSC: limite superior de controle das médias; X LIC: limite inferior de controle das médias; R Média: limite central da amplitude; R LSC: limite superior de controle da amplitude; R LIC: limite inferior de controle da amplitude.

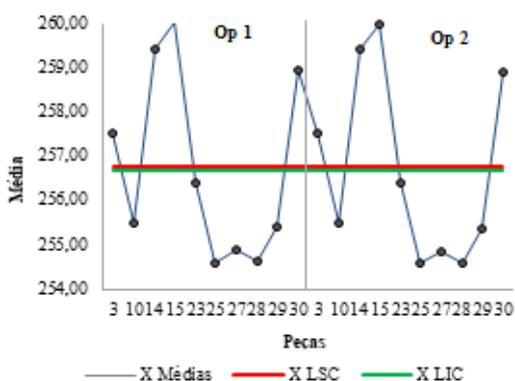


Figura 3: Carta de controle das médias da massa saturada.

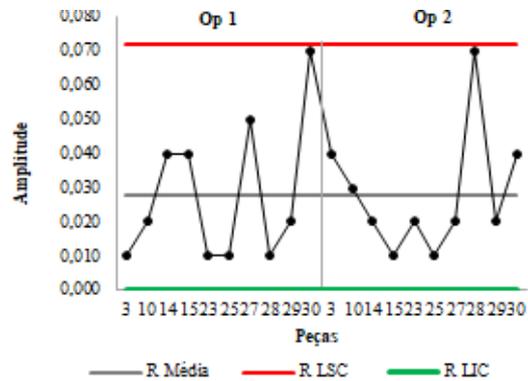


Figura 4: Carta de controle das amplitudes da massa saturada.

Analisando-se as cartas de controle das amplitudes (Figuras 2 e 4), observa-se que as medições da massa seca e saturada se encontram sob controle estatístico, conforme recomenda o MSA (2010). Para a massa seca (Figura 2), no entanto, identifica-se uma pequena falta de discriminação do instrumento de medição pelo fato de mais de 1/4 do total de pontos serem nulos. Mesmo assim, o índice %VE obtido indica que o instrumento é adequado.

5. CONCLUSÕES

O conhecimento do parâmetro R&R de um SM confere maior confiabilidade aos resultados de um novo ensaio, e por consequência ao estudo pré-normativo em si. O índice R&R calculado pelo método da Média e Amplitude apresentou valor bem abaixo de 10%, demonstrando a adequação do sistema de medição para a determinação da absorção d'água de rochas aglomeradas e a confiabilidade da metodologia de ensaio europeia utilizada.

As cartas de controle para as médias e amplitudes das massas demonstraram que as medições situaram-se sob controle estatístico, e que os operadores são capazes de reproduzir o método. Como esperado, a maior contribuição foi devido à variabilidade dos corpos de prova da rocha estudada.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida (processo n.134565/2019-3) e aos técnicos do LABRO/NRES.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR - ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 14617** - Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua, 2013.

MSA. **Análise dos sistemas de medição. Manual de referência**. 4ª. ed. São Paulo: IQA, 2010. 232 p.

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia. **Conceitos fundamentais e gerais e termos associados**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 48p.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. S.T. **Série Monográfica Qualidade - Controle Estatístico do Processo**. FEENG/UFRGS, Porto Alegre - RS, 2012.