POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Un nuovo approccio scientifico per determinare la lavorabilità della pietra

Original
Un nuovo approccio scientifico per determinare la lavorabilità della pietra / Zichella, L., Bellopede, R., Baudana, F., Marini, P.. - In: DIAMANTE. - ISSN 1824-5765. - ELETTRONICO. - 93:(2018), pp. 28-33.

Availability:
This version is available at: 11583/2711449 since: 2018-07-27T09:13:14Z

Publisher:
Editorial and Advertising Office G&M Associated Spa

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

28 November 2026

GLOBALSTONE CONGRESS2018
ILHEUS (BAHIA) BRAZIL
April 26-29, 2018
CONNECTING MINDS IN THE WORLD OF STONE

Un nuovo approccio scientifico per determinare la lavorabilità della pietra

di Lorena Zichella, Rossana Bellopede, Fiorenza Baudana, Paola Marini
Politecnico di Torino, DIATI, Torino

ABSTRACT
La previsione dell'interazione pietra-filo diamantato è importante per il settore estrattivo, sia per migliorare la produttività e l'efficienza del lavoro in cava, che per evitare pericolosi e costosi tentativi di taglio, quando un nuovo materiale lapideo viene introdotto nell'impianto di lavorazione. Combinando due semplici test, come le misure di propagazione degli ultrasuoni nella pietra e la microdurezza Knoop, è stata ottenuta una classificazione scientifica della lavorabilità.
In particolare, nel presente lavoro è stata studiata l'applicazione di questa metodologia di classificazione scientifica agli impianti di lavorazione della pietra, eseguendo le misure di UPV su blocchi, prima del taglio.
La correlazione delle misure ultrasoniche e indice HK25 ha permesso di ordinare le pietre in classi di lavorabilità che corrispondono a quelle solitamente assegnate a tali materiali dai produttori.
Inoltre, la corrispondenza con i parametri di taglio in situ ha confermato l'affidabilità di detta metodologia scientifica.

Parole chiave: lavorabilità della pietra, filo diamantato, velocità di impulso ultrasonico (UPV), tecnica di taglio.

1. INTRODUZIONE

Il concetto di lavorabilità e di lavorazione con macchinari della pietra è stato, negli ultimi trent'anni, una delle principali aree di indagine nelle ricerche nazionali e internazionali. Attualmente, questo argomento ha non solo grande importanza per l'economia convenzionale, ma anche un'importanza strategica per l'economia circolare.
Quando viene introdotto nell'impianto di lavorazione un nuovo materiale lapideo, la previsione dell'interazione di questo con gli utensili da taglio è fondamentale per ottimiz-

A new scientific approach to determine the stone workability

by Lorena Zichella, Rossana Bellopede, Fiorenza Baudana, Paola Marini
Politecnico di Torino, DIATI, Turin, Italy

ABSTRACT
The prediction of stone-diamond wire interaction is important for the extractive sector, both to improve the productivity and efficiency of quarry work and to avoid dangerous and expensive endeavours of cutting when an unknown stone has to be introduced in the plant.
Combining two simple test as the measurement of ultrasonic pulse velocity of the stone and the Knoop micro hardness, a scientific classification of workability have been found.
In particular, in this work the application of this scientific classification methodology to the stone plant has been studied, performing UPV measurements on stone block before their cutting. The correlation of ultrasonic measurements by indirect method with the index HK25 allowed to order the stones in classes of workability that correspond to what the owners of the plant used to give to such stones.
Moreover the correspondence with the in situ cutting parameters has confirmed the reliability of this scientific methodology.

Keywords: stone workability, diamond wires, ultrasonic pulse velocity, cutting technique.

1. INTRODUCTION

The concept of workability and stone machining has been, for the past thirty years, one of the main area of investigation in national and international researches.
Moreover, nowadays this topic has not only a great importance for the conventional economy but also a strategic importance for the Circular Economy.
The prediction of stone-diamond wire interaction is crucial for the extractive sector, both to improve the productivity

VERONAFIERE

MARMOMAC™



WITH STONE YOU CAN

THE BIGGEST
STONE +
DESIGN +
TECHNOLOGY +
TRADE FAIR

26/29
SEPT 2018

VERONA, Italy

MARMOMAC.COM

DRAP by Silvestri Marmi
Design Paolo Ulian
2017 ICON AWARD WINNER

DDMADVERTISING.COM

zare il taglio e migliorare la produttività.
Gli stessi utilizzatori di fili diamantati hanno definito una classificazione empirica della pietra (Industrial Workability Classification, IWC), prendendo principalmente in considerazione la maggiore o minore facilità di taglio.
Nel 2014 Bellopede et al. propongono una nuova classificazione ottenuta per mezzo di un approccio scientifico basato su metodi di prova facili e rapidi.
In particolare, mentre la IWC è caratterizzata da 9 classi, con la nuova classificazione tecnica le classi scendono a 7, riducendo così i casi di sovrapposizione e incertezza dovuti alla variabilità intrinseca dei materiali.
Le operazioni di taglio con filo diamantato sono influenzate essenzialmente da due diversi tipi di parametri: parzialmente controllabili e non controllabili.
Quelli parzialmente controllabili si riferiscono ai parametri delle macchine di taglio, come la velocità di taglio (velocità periferica del filo diamantato - m/s), la velocità di cala (cm/h) e l'assorbimento di energia della macchina (ampere/m).
Invece, i parametri non controllabili si riferiscono alle proprietà della pietra, come la composizione petrografica e mineralogica, la granulometria, il contenuto di acqua, gli agenti atmosferici, le discontinuità, l'anisotropia e la durezza.
Studi precedenti (Bellopede et al. 2014, Amaral et al. 2000, Ersoy et al. 2005, Gokhan et al. 2013) hanno dimostrato che i parametri non controllabili possono essere misurati indirettamente con diverse tecniche, ma le misure di microdurezza Knoop e di Ultrasuoni (UPV - Ultrasound Pulse Velocity) hanno una migliore correlazione con la lavorabilità e, quindi, sono più significative.
Nel 1982 Mancini e Morandini e, più recentemente, nel 2003 Beste e Jacobson hanno sottolineato l'importanza delle misure di microdurezza per studiare l'usura degli utensili.
Tuttavia, in letteratura, come sottolineato da Ribeiro et al. (2007), la relazione tra le caratteristiche petrografiche e il processo industriale coinvolto nel taglio e finitura delle pietre è poco conosciuta.
Le misure di UPV possono essere considerate un test rapido e affidabile per definire le proprietà meccaniche di una roccia (fronte o blocco di cava) e forniscono informazioni anche sulla qualità delle lastre (Bellopede et al. 2005, Vasconcelos et al. 2008).
Lo scopo del presente lavoro è valutare l'applicabilità di questa metodologia di classificazione scientifica agli impianti di lavorazione lapidea.

2. METODI E MATERIALI

Sono state testate le seguenti pietre silicee con indice di lavorabilità industriale (IWC) tra 3 e 4:

- DIORITE (DIO), con IWC 3, composta da 65% di plagioclasio, 30% di orneblenda e biotite e 5% di minerali opachi; la dimensione dei grani varia da 0,01 a 2 mm;
- SIENITE (SIE), con IWC 3, composta da 55% di feldspato, 30% di biotite e orneblenda, 15% di quarzo; la dimensione dei grani varia da 0,03 a 2 mm;

and efficiency of quarry work and to avoid dangerous and expensive endeavours of cutting when an unknown stone has to be introduced in the plant.
The diamond wire users themselves determined an empirical classification of the stone (Industrial Workability Classification) mainly taking into account the greater or lesser ease of cutting.
However the new classification suggested by Bellopede et al. (2014) has been obtained by means of a scientific approach with easy and expeditious test methods.
In particular, while the IWC is characterized by 9 classes, with the new technical classification the classes decrease to 7, thus reducing the case of overlapping and uncertainty due to the intrinsic variability of the materials.
Diamond-wire cutting operations are affected essentially by two different kinds of parameters: partially controlled and non-controlled. The partially controlled ones refer to the properties of the cutting tools and equipment, such as the cutting speed (peripheral speed of the diamond-wire - m/s), the feed rate (cm/h), and the machine absorption (ampere/m). Instead, the non-controlled parameters refer to the stone properties, such as the petrographic and mineralogical composition, grain size, water content, weathering, discontinuities/ anisotropy and hardness.
Previous studies (Bellopede et al. 2014, Amaral et al. 2000, Ersoy et al. 2005, Gokhan at al. 2013) demonstrated that the uncontrolled parameters can be measured indirectly by different techniques but the Knoop micro-hardness and the Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) measures best correlate with workability and are therefore more significant.
From 1982 Mancini and Morandini and more recently, in 2003, Beste and Jacobson have underlined the importance of the micro-hardness measurement to study the tool wear.
However, in literature, the relationship between petrographic characteristics and the industrial process involved in cutting and finishing stones is noticeably unknown, as pointed out by Ribeiro et al. (2007).
UPV measures can be considered an expedite and reliable testing of the mechanical properties of a rock (quarry face or block), and gives also available information on the stone slab quality (Bellopede et al. 2005, Vasconcelos et al. 2008).
The aim of the present work is to evaluate the applicability of this scientific classification methodology to the stone plant.

2. MATERIALS AND METHODS

The following siliceous stones with industrial index of workability (IWC) between 3-4 have been tested:
- DIORITE (DIO), with IWC 3 composed by 65% of plagioclase, 30% of hornblende and biotite and 5% of opaque minerals; the grain size distribution is from 0.01 to 2 mm;
- SIENITE (SIE), with IWC 3 composed by 55% of feldspar, 30% of biotite and hornblenda, 15% of quartz; the grain size distribution is from 0.03 to 2 mm;
- GRANITE (RBE), with IWC 3-4 composed by 60% of plagioclase and K- feldspar, and 30% of quartz; 10% of biotite; the grain size distribution is from 0.05 to 12 mm;
- GRANITE (GRP), with IWC 4 composed by 65% of K-feldspar and plagioclase, 30% of quartz, 5% of biotite and pyroxene; the grain size distribution is from 0.1 to 12 mm.

- GRANITO (RBE), con IWC 3-4, composto da 60% di plagioclasio e feldspato potassico, 30% di quarzo, 10% di biotite; la dimensione dei grani varia da 0,05 a 12 mm;
- GRANITO (GRP), con IWC 4, composto da 65% di K- feldspato e plagioclasio, 30% di quarzo, 5% di biotite e pirosseni; la dimensione dei grani varia da 0,1 a 12 mm.

Le misure di UPV indirette e dirette sono state eseguite su blocchi.
Le lastre delle stesse pietre sono state ulteriormente testate in laboratorio con il metodo indiretto di UPV e misure di durezza Knoop.
Le misure di durezza Knoop sono state condotte con un carico di 1,96 [N], con uno stendimento di 40 punti.
L'HK25 è stato scelto come indice di correlazione con i valori di UPV, poiché rappresenta i minerali meno duri e le microfratture o vuoti.
UPV è stata determinata utilizzando come strumentazione il PUNDIT-CRO collegato a un software per oscilloscopi con trasduttori a fascio conico di frequenza 33 kHz.
Le misure sono state effettuate con metodo indiretto, posizionando il trasmettitore in un punto fisso e il ricevitore a distanze progressive (ogni 25 mm: da 25 mm a 175 mm) sulla stessa superficie del campione (dimensioni del provino: 200 x 200 x 20 mm).
Per il metodo diretto il ricevitore viene posizionato sulla superficie opposta rispetto al trasmettitore.

3. RISULTATI

Nella Tabella 1 sono riportati i risultati delle misure di ultrasuoni e microdurezza delle quattro diverse rocce testate.
Nella stessa tabella sono riportati i dati della velocità di

Tab.1 Rocce testate, parametri di taglio, misurazioni ultrasoniche (valore medio di 10 misurazioni) e di micro durezza (HK25)
Rock tested, cutting parameters, ultrasonic (mean value of 10 measurements) and micro hardness (HK25) measurements

Rock type	Acronym	Feed rate (cm/h)	Machine absorption (A/wire)	UPV indirect method on block, perpendicular direction (m/s)	UPV indirect method on block, parallel direction (m/s)	UPV indirect method on slab, perpendicular direction (m/s)	UPV indirect method on slab, parallel direction (m/s)	UPV direct method on block (m/s)	HK25 - MPa -
Diorite	DIOs	16.5	1.43	2287	2352	2708	2443	5450	2789
Sienite	SIE	24.4	1.65	2482	2172	2449	2299	4730	3602
Granite	RGB	25.0	2.78	2387	2310	2754	2430	3530	4049
Granite	GRP	23.8	2.83	2601	2510	2785	2780	4500	5234

Indirect and direct UPV measurements have been performed in situ on stone block. The same slabs has been additionally tested in laboratory by means UPV in indirect method and Knoop hardness measurements.
Knoop hardness measurements are conducted with a load of 1.96 [N], with a sequence of number of identifications per sample of 40 points. The HK25 has been chosen as the index of correlation with the UPVs, as it represents the least hard minerals and the micro-fractures or voids, therefore HK25 better represents the anisotropy and the weaknesses of the stone investigated.
The ultrasonic pulse velocity (UPV) was determined using a PUNDIT-CRO instrumentation connected to oscilloscope software for a lap-top, with conic 33 kHz frequency transducers.
Measurements were made indirectly by placing the transmitter transducer on a fixed point and the receiver at progressive distances (each 25 mm: from 25 mm to 175 mm) on the same specimen surface (specimen dimensions 200 x 200 x 20 mm). For the direct methods the receiver was placed on the opposite surface respect the transmitter.

3. RESULTS

In the Tab.1 the results of ultrasonic and microhardness measurements of the different 4 rock tested are reported. In the same table with the data of feed rate and machine absorption [A] taken during the cutting process are shown. As it is possible to note from Fig.1, where also other rocks

cala e dell'assorbimento di energia della macchina di taglio [A] rilevati durante il processo di taglio.
Come è possibile notare dalla Fig.1, dove sono riportate in rosso anche altre rocce di diversa natura petrografica, la classificazione scientifica basata sulle misure indirette UPV e HK25 corrisponde all'IWC delle quattro pietre testate.
Nella Fig.2 viene mostrata la correlazione tra l'assorbimento di energia della macchina di taglio e il contenuto di quarzo. Tuttavia, i parametri di taglio non sono stati misurati per tutte le pietre, di conseguenza, non è possibile dimostrare la piena correlazione con il contenuto di quarzo.
Viene riportata la correlazione tra assorbimento della macchina [A] e HK25/UPVind (come valori medi di UPV eseguiti mediante metodo indiretto sul blocco).
La regressione esponenziale ha un coefficiente di correlazione di 0,91.
La correlazione tra HK25, UPV e la classe di lavorabilità, dimostrata nella precedente ricerca (Bellopede et al, 2014), è stata qui confermata.

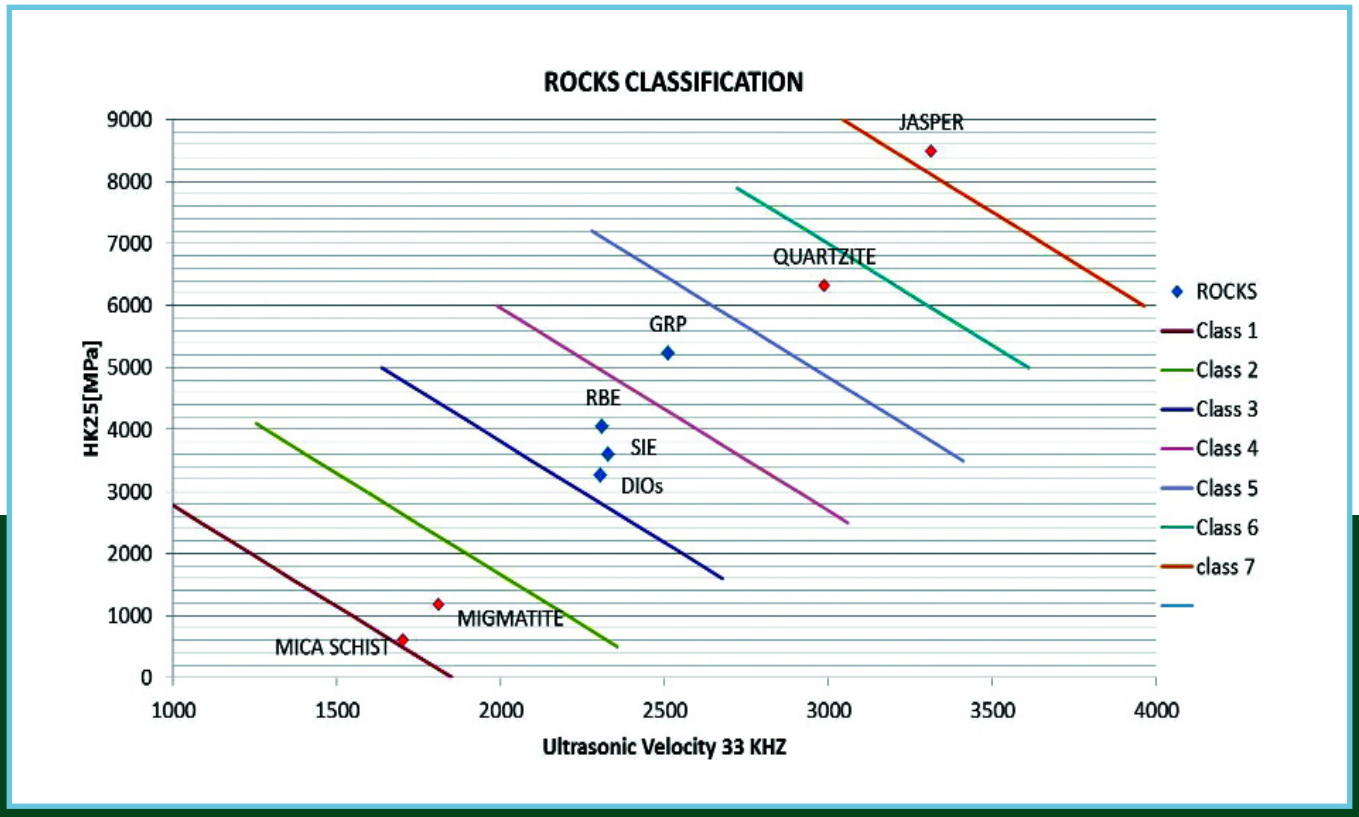


Fig.1 Classificazione scientifica delle pietre testate / *Scientific classification of tested stones*

of different petrographic nature are reported in red, the scientific classification based on the indirect UPV and HK25 measurements match with the IWC of the four stone tested.
In Fig.2 the well correlation between the machine absorption and the quartz content is shown.
However, the cutting parameters weren't measured for all the stones, consequently it not possible to demonstrate the full correlation with quartz content.
The correlation among machine absorption [A] and HK25/UPVind (as mean values of UPV performed by indirect method on the block) is reported. The exponential regression has a correlation coefficient of 0.91.
The correlation between HK25, UPV and workability class demonstrated in the previous research (Bellopede et al., 2014) has been confirmed here.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The in situ measurements on blocks on different types of siliceous stone allowed to verify the reliability of the different measurement techniques used and to validate a new scientific classification for the workability of natural stones.
The ultrasonic measurements on blocks are well correlated with those performed on the slabs on the same stone.
Moreover indirect UPV measurements can be considered reliable as they match with data resulting from direct method.
The correlation of ultrasonic measurements by indirect method with the index HK25 allowed to order the stones in classes of workability that correspond to what the owners of the plant used to give to such stones.
The correspondence with the in situ cutting parameters has confirmed the reliability of this scientific methodology.
This proposed scientific classification help the choice of the cutting parameter (feed rate, cutting speed) to achieve technical and economic enhancement in plant.

5. REFERENCES / BIBLIOGRAFIA

[1] Amaral P., Cruz Fernandes, J., Frisa A., Guerra Rosa J., Manfredotti L., Marini P. - Evaluation of the workability by means

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le misurazioni in situ su blocchi di diversi tipi di pietra silicea hanno consentito di verificare l'affidabilità delle diverse tecniche utilizzate e di convalidare una nuova classificazione scientifica per la lavorabilità delle pietre naturali.
Le misure ultrasoniche sui blocchi sono ben correlate a quelle eseguite sulle lastre della stessa pietra.
Le misure indirette UPV possono essere considerate affidabili poiché corrispondono ai dati derivanti dal metodo diretto.
La correlazione delle misure ultrasoniche con il metodo indiretto con l'indice HK25 ha permesso di ordinare le pietre in classi di lavorabilità che corrispondono a quelle solitamente date a tali pietre dai produttori.
La corrispondenza con i parametri di taglio in situ ha confermato l'affidabilità di questa metodologia scientifica.
La classificazione scientifica proposta aiuta nella scelta del parametro di taglio (velocità di cala, velocità di taglio) per ottenere un miglioramento tecnico ed economico durante la lavorazione.

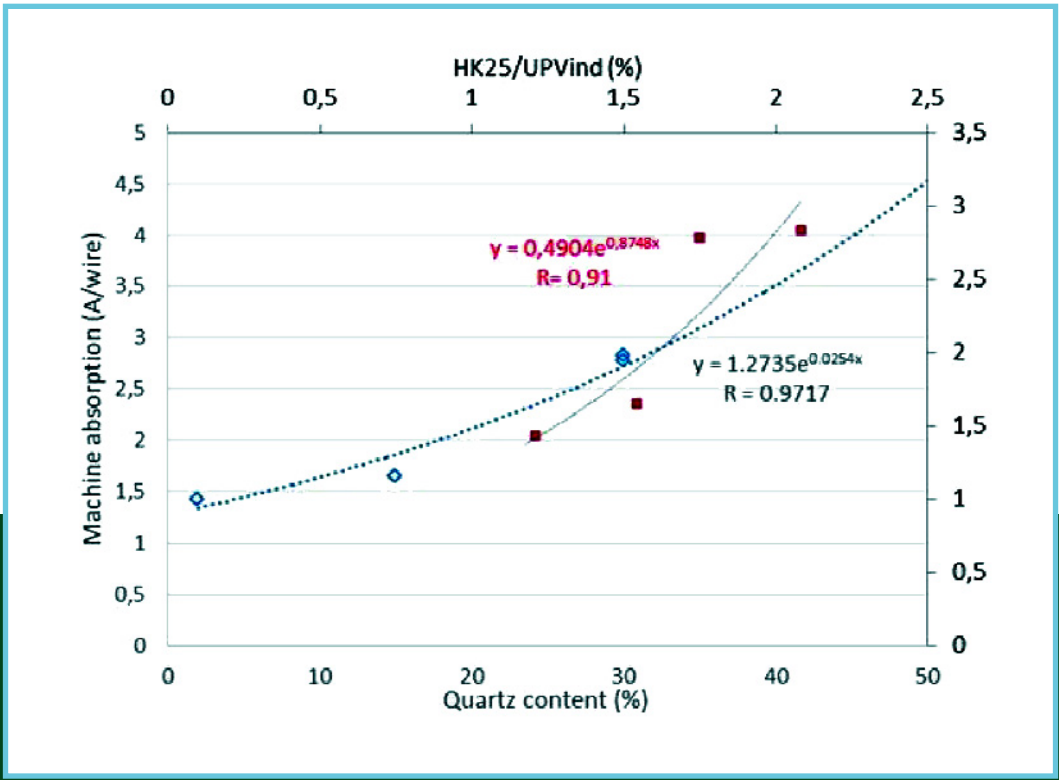


Fig.2 Assorbimento macchina vs H25/UPVind e vs contenuto di quarzo per RBE, SIE, DIO e GRP
Machine absorption vs H25/UPVind and vs quartz content for RBE, SIE, DIOs and GRP

of diamond tools of a series of portuguese commercial granites, 2000, pp. 323-329.
[2] Bellopede R., De Regibus C., Manfredotti L., Marini P. - Natural stone diagnosis with the means of non-destructive tests: case studies in MPES05, Canada, CD-ROM, 2005.
[3] Bellopede R., Marini P., Tori A., Zichella L. - Proposal of a new methodology for stone classification in diamond wire cutting technology (EASE R3), Diamante A & T, ed. 79, anno XX, december 2014, pp. 19-26.
[4] Beste U., Jacobson S. - Micro scale hardness distribution of rock types related to rock drill wear, WEAR 254: 1147:1154, 2003.
[5] Ersoy A., Buyuksagic S., Atici U. - Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, Wear, 258 (9) 1422-1436, DOI:10.1016/j.wear.2004.09.060.
[6] Gokhan A., Izzet K., Kerim A. - Wear Performance of Saw Blades in Processing of Granitic Rocks and Development of Models for Wear Estimation, Rock Mech Rock Eng, 46:1559-1575. DOI 10.1007/s00603-013-0382-y, 2013.
[7] Mancini R., Frisa Morandini A. - Applications of micro-hardness tests to the technical evaluation of dimension stones, Fourth Congress International Association of Engineering Geology, New Delhi, 1982, pp 321-331.
[8] Ribeiro R. P., Paraguassú A. B., Rodrigues J. E. - Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy, Bull Eng Geol Env 66:101:107, 2007.
[9] Vasconcelos G., Lourenço P. B., Alves C. A. S., Pamplona J. - Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. Ultrasonics, 48(5), 453-466, DOI:10.1016/j.ultras.2008.03.008.

This article is based on a paper presented at Global Stone Congress 2018 held in Ilheus, Bahia, Brasil in April 2018 and is printed with kind permission of the Organizing Committee and Authors.