



19th from november 26 to novembre 30, 2018
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER



DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MATERIAL BASEADO EM DESPERDÍCIOS DE ROCHA NATURAL

Filipe Moreira¹, Joaquim Góis^{2,5}, Cristina Carvalho³, Bárbara Rangel², Santiago D. Castellanos², Jorge Lino Alves^{2,4}

¹MDIP, University of Porto, Portugal, ²FEUP, Faculty of Engineering of University of Porto, Portugal, ³LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., S. Mamede de Infesta, Portugal, ⁴INEGI, University of Porto, Portugal, ⁵CERENA/FEUP, Centro de Recursos Naturais e Ambiente,
e-mail: jgois@fe.up.pt

RESUMEN

Os grandes eventos na história da civilização humana costumam ser rotulados com termos como Idade da Pedra, Idade do Ferro, Idade do Bronze, Revolução Industrial, Era da Informação, etc... Estes eventos tão marcantes para o ser humano possuem uma característica comum: a descoberta, extração, processamento e utilização de materiais naturais da Terra, muitos deles dando nome à respetiva era. A indústria de extração de recursos naturais tem um papel crucial no desenvolvimento atual da nossa sociedade, facultando matérias-primas fundamentais para a indústria. No entanto os impactos associados a esta atividade são cada vez mais notórios com o aumento da procura derivado do crescimento populacional e da quantidade gerada de desperdícios, que impede a renovação destes recursos. Este trabalho explora a possibilidade de reutilização de desperdícios gerados pela indústria de extração de materiais rochosos através da produção de um material compósito constituído por partículas de pedra de diferentes granulometrias ligadas por uma resina epoxídica. Através do fabrico de amostras foi possível observar o comportamento dos componentes da mistura a nível estético e através do fabrico de provetes normalizados foram analisadas algumas propriedades físicas e mecânicas do material compósito. Os resultados obtidos permitiram concluir que o material desenvolvido não apresenta resistência mecânica adequada para ser aplicado em peças estruturais. No entanto representa uma grande oportunidade para a sua utilização em peças decorativas.

PALABRAS CLAVES: Desperdício, rocha natural, compósito, design, resina epoxy.

DEVELOPMENT OF NEW MATERIAL BASED ON NATURAL ROCK WASTE

ABSTRACT

Major events in the history of human civilization are often labeled with terms such as Stone Age, Iron Age, Bronze Age, Industrial Revolution, Information Age, etc... These events, so remarkable for the human being have a common characteristic: the discovery, extraction, processing and use of natural materials of the Earth, many of them giving name to its era. The natural resource extraction industry plays a crucial role in the current development of our society, providing key raw materials for the industry. However, the impacts associated with this activity are increasingly evident with the increasing demand derived from population growth and of the generated amount of waste, which prevents the renewal of these resources. This work explores the possibility of reuse of waste generated by the rocky materials extraction industry through the production of a composite material composed of particles of stone of different granulometries bound by an epoxy resin. Through the manufacture of samples, it was possible to observe the behaviour of the components of the mixture concerning aesthetic appearance and through the manufacture of standard test samples, some physical and mechanical properties of the composite material were analysed. The results allowed concluding that the developed material does not present adequate mechanical resistance to be applied in structural pieces. However, it represents a great opportunity for its use in decorative artefacts.

KEY WORDS: Waste, natural rock, composite, design, epoxy resin.



1. INTRODUÇÃO

As atividades de extração de recursos naturais rochosos podem dividir-se em minas e pedreiras, conforme o produto a explorar e a forma como é extraído. Uma mina pode ser subterrânea ou a céu aberto, dependendo, entre outros fatores, da profundidade a que se encontra o recurso mineral de interesse. Uma pedreira, por outro lado, é normalmente uma escavação a céu aberto cujo objeto de extração é a própria rocha, que pode ser removida sob a forma de blocos únicos (de grandes dimensões) ou material particulado (gravilhas ou areias) [1].

A produção de desperdícios varia conforme o recursos mineral explorado e tecnologia utilizada. No caso da indústria mineira, por exemplo, na Austrália os desperdícios sólidos do setor mineiro perfazem 80% do total anual de todos os desperdícios sólidos gerados pelo país [2], na África do Sul todas as minas contribuem com 72,3% do total anual [3] e na China este valor representa 70% [4]. No caso das pedreiras de rochas ornamentais, a quantidade de material rochoso desperdiçado ronda os 75%. As diáclases e falhas existentes nos maciços rochosos, limitam não só a dimensão dos blocos extraídos como contribuem para a alteração substancial das suas propriedades físico-mecânicas, aumentando os desperdícios produzidos. As ferramentas utilizadas e o próprio processo de extração/tratamento, contribuem igualmente para o aumento dos resíduos de material rochoso [5].

A geração de desperdícios provoca problemas a nível económico, pois a extração implica gastos que não terão retorno e a contínua acumulação no solo, de subproduto sem utilização direta, levanta potenciais problemas ambientais [6] e [7]. Mesmo após a reabilitação ambiental da área explorada, a vegetação demora a apoderar-se do terreno fazendo com que processos naturais de erosão do vento e da chuva, por exemplo, tenham um impacto maior agravando os problemas mencionados [8].

Através de uma abordagem centrada no *design* e com o aproveitamento dos desperdícios gerados, o fabrico de novos produtos pode contribuir para reduzir a sua quantidade. Desta forma os subprodutos poderão ser valorizados pela indústria extrativa, minimizando o impacto ambiental deste subproduto industrial [9].

2. REUTILIZAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

A atividade mineira, de uma forma geral e em particular a exploração de minerais metálicos pode ser dividida nas seguintes fases (Fig. 1): a mineração (extração de qualquer material de interesse do subsolo); o processamento mineral (separação física/química entre os minérios e a rocha que os envolvem); e a extração metalúrgica, que passa pela fusão do minério deixando de parte a rocha envolvente. Seja qual for o caso, trata-se de uma atividade que envolve sempre desperdícios não só na separação entre o minério a rocha encaixante, mas também na remoção de todo o solo que é necessário para ter acesso aos recursos de interesse [10].

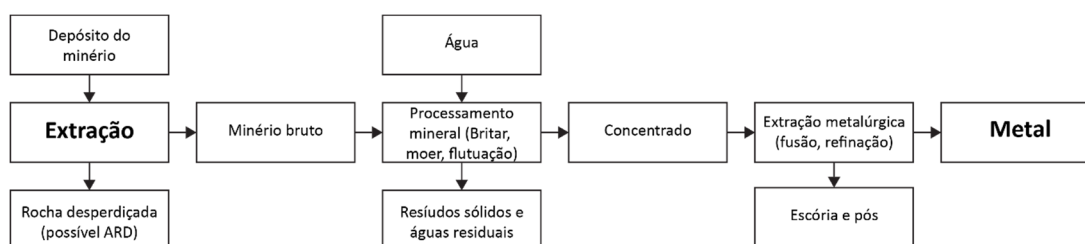


Figura 1: Diagrama do processo de extração de minérios metálicos, adaptado de [11].

A extração de rocha natural começa com a remoção de blocos de rocha com o recurso a explosivos, desmonte mecânico, serras com fio de diamante sintético, etc. Estes blocos que podem chegar a pesar cerca de 18000 kg, após desmontados são, por vezes, transportados, em camiões, até às oficinas de tratamento. Algumas pedreiras encontram-se em locais remotos, longe das fábricas de processamento, por isso o transporte pode-se tornar complicado em estradas pouco desenvolvidas. Já na fábrica, os blocos são cortados com as dimensões requeridas para o produto final e, sempre que pretendido, é aplicado um acabamento superficial [11] (Fig. 2).

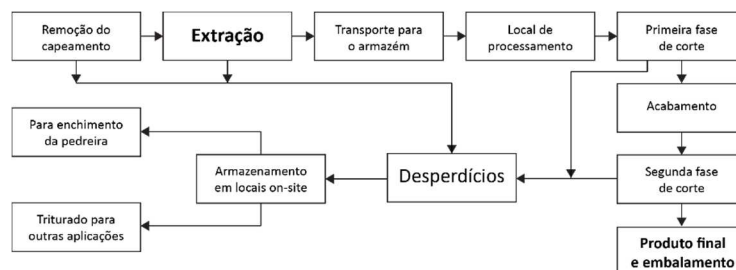


Figura 2: Diagrama do processo de extração de rocha natural, adaptado de [13].

Para além das estratégias de gestão e otimização dos processos de extração que tende a ser cada vez mais eficazes por forma a reduzir o desperdício, a introdução destes resíduos no fabrico de outros produtos, em utilizações convencionais e com mercados bem definidos é já uma realidade. Por exemplo, o fabrico de betão e argamassas usa agregados e a escória resultante da fundição de minérios metálicos, que são também empregues no asfalto e na lã de rocha para isolamento térmico e acústico.

Existem ainda outras aplicações em que se utilizam desperdícios e agregados de rocha em produtos de rocha artificial (Fig. 3), cujo fabrico envolve uma mistura de agregados naturais e cimento, com efeitos estéticos semelhantes a produtos esculpidos em rocha natural [14]. Há também exemplos de revestimentos de superfícies para cozinhas e casas de banho, pavimentação de áreas exteriores com efeitos de drenagem (Fig. 3), e filamentos para impressão 3D em que se utilizam ligantes (resinas) ou processos que envolvem pressões e temperaturas elevadas [15-17]. Em todos os exemplos referidos utiliza-se rochas que são reduzidas a partículas de baixa granulometria, sendo as mesmas agregadas através de diferentes tipos de ligantes que endurecem e dão forma à mistura após a sua moldação.



Figura 3: Exemplos de aplicação de um pavimento drenante Marmo Drain (esquerda) [16] e de uma fonte feita com rocha artificial (direita) [14].

Verifica-se assim que há uma grande oportunidade na utilização dos desperdícios de material rochoso para as mais variadas aplicações.

3. TRABALHO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental surgiu do interesse em encontrar uma forma de dar utilidade a um recurso mineral natural, extremamente abundante, e cujos desperdícios não são valorizados economicamente. Descreve-se o processo de obtenção de um material compósito de rocha aglomerada, constituído por partículas de pequena granulometria que são misturadas com uma resina que tem a função de agente ligante. Foram fabricadas amostras e provetes para caracterização física e mecânica do compósito.

Apesar das propriedades mecânicas dependerem das características da rocha original, quando se reduz o material a granulometrias na ordem dos 2 mm ou inferior, essas propriedades deixam de ser características das partículas e passam a vigorar as propriedades do aglomerado após a introdução do agente ligante. A tipologia das rochas utilizadas nesta fase terá influência maioritariamente nos aspetos físicos de cor e textura, que é uma vertente importante de explorar no intuito de incutir um valor de *design* ao projeto.

Materiais e Métodos

Foi utilizado como agente ligante uma resina epoxídica de baixa viscosidade, Biresin CR83, com uma relação mássica de 100 para 30 do respetivo catalisador (Biresin CR83-6). Pretendeu-se maximizar a % de resíduos, no entanto o seu aumento leva a uma maior dificuldade de processamento da mistura e agregação do compósito. As quantidades de resina utilizada variaram consoante o que se pretendia testar com cada amostra produzida, tendo-se definido a gama de processabilidade entre 5% e 15% da massa total de cada amostra.

Selecionaram-se resíduos de granito, mármore, xisto, calcário e ardósia, que foram pesados numa balança digital Kern (resolução de décima de grama). Os resíduos foram misturados com a resina num recipiente de plástico com uma vara de metal, até se obter uma mistura homogénea. Após esta fase procedeu-se ao vazamento em moldes de silicone produzidos com dimensões adequadas para o fabrico das amostras e dos provetes. A desmoldação ocorreu após 24h de endurecimento. A Fig. 4 apresenta as etapas descritas.

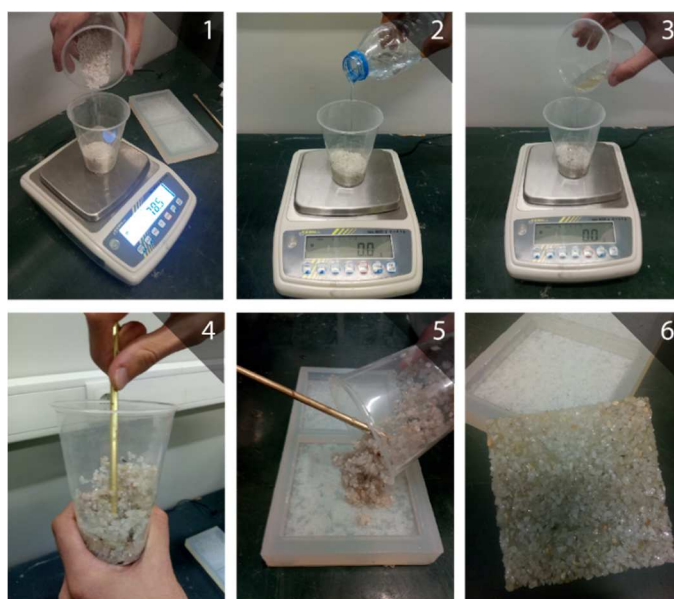


Figura 4: Etapas do processo de fabrico das amostras e dos provetes; 1) Pesagem dos resíduos, 2) pesagem da resina, 3) adição do catalisador, 4) mistura, 5) vazamento em molde de silicone, 6) amostra obtida.

Numa 1ª fase, ainda sem propósito de grande rigor e sistematização científica, pretendeu-se dominar a técnica de processamento destes materiais. Esta etapa permitiu especificar as quantidades adequadas dos diferentes materiais e entender a relevância da granulometria das partículas no fabrico do compósito. Esta etapa revelou-se crucial na melhor compreensão dos processos envolvidos e na interação entre os diferentes tipos de rochas, as diferentes granulometrias e as quantidades de resinas.

O conhecimento adquirido na 1ª fase permitiu iniciar uma 2ª fase de experimentação com valores quantificados e produção de provetes em mármore, tal como se indica na Tabela 1.

As partículas foram classificadas em termos granulométricos utilizando um agitador de peneiros AS200 da Retsch (Alemanha).

Tabela 1: Granulometria dos resíduos de rocha utilizados.

	Granito (G)	Mármore (M)	Xisto (X)	Calcário em pó (C)	Ardósia em pó (A)
1ª fase Amostras 1 a 12	Não especificado	Não usado	Não usado	Não especificado	Não especificado
2ª fase Amostras 13 a 24	< 1,18 mm	< 1,18 mm; 1,18 - 2,36 mm; 3,36 - 4,76 mm	< 1,18 mm; 1,18-1,70 mm	Não especificado	Não usado
Provetes	Não usado	0,84 - 2,38 mm	Não usado	Não usado	Não usado

Os provetes foram produzidos (Fig. 5) para serem ensaiados segundo as seguintes normas:

- NP EN 14617-15 2010 - Resistência à compressão;
- NP EN 14617-2_2010 - Resistência à flexão (tração por flexão) (Revogada);
- NP EN 14617-1_2010 - Massa volúmica aparente e absorção de água (Revogada).

Fabricaram-se provetes em mármore com os mesmos intervalos granulométricos (0,84 - 2,38 mm), com os valores mínimos e máximos registados em termos de quantidade de resina, 5% e 15%, respetivamente.

Para determinação da resistência à compressão, massa volúmica aparente e absorção de água, as Normas indicam que se deve utilizar provetes com a forma de cubos de 50 mm de lado ou cilindros de 50 mm de diâmetro e altura. Devido à facilidade de produção dos provetes cilíndricos, utilizaram-se tubos de PVC com comprimento suficiente para obter seis provetes em cada tubo. A cura do compósito foi dinâmica, ou seja, com um contínuo movimento de rotação dos tubos num tambor de rolos a 200 rpm durante 24h.

Para o ensaio de resistência à flexão fabricaram-se num molde de silicone placas com 200 mm de comprimento, 50 mm de largura e 10 mm de altura (este valor varia consoante a aplicação final).

Após desmoldação os provetes foram secados a 55°C durante 48h.



Figura 5: Fabrico dos provetes; (1-3) preparação da mistura e vazamento nos tubos de PVC, (4) obtenção dos varões compósitos cilíndricos, (5) corte dos provetes, (6) provete final, (7) fabrico de placas, (8) provete plano, (9) provetes cilíndricos, e (10) secagem em mufla a 55°C.



Os provetes deveriam ter sido secos a 70°C durante 48h, no entanto, devido à possibilidade de degradação das propriedades da resina a esta temperatura, a secagem foi realizada a 55°C, que é a temperatura de pós-cura da resina [18].

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

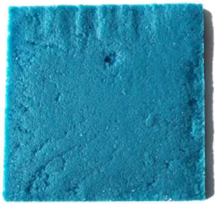
A Tabela 2 apresenta as imagens de todas as amostras obtidas assim como o tipo de rocha utilizado, o seu peso, granulometria e percentagem de resina.

Tabela 2: Amostras produzidas

1		15% Resina 85% Granito (60g)	13		10% Resina 90% Mármore < 1,18 mm (100g)
2		10% Resina 90% Granito (70g)	14		10% Resina 90%, 1,18 < Mármore < 2,36 mm (100g)
3		15% Resina 85% Ardósia (70g)	15		10% Resina 90% Granito < 1,18 mm (100g)
4		10% Resina 90% Granito (100g)	16		5% Resina 95% Granito < 1,18 mm (100g)
5		20% Resina 80% Ardósia (100g)	17		10% Resina 90% 3,36 < Mármore < 4,76 mm (100g)



6		15% Resina 85% Calcário (80g)	18		5% Resina 95% 1,18 < Xisto < 1,70 mm (100g)
7		10% Resina 90% Granito (100g)	19		10% Resina 90% 1,18 < Xisto < 1,70 mm (50g) + 10% Resina 90% 1,18 < Mármore < 2,36 mm (50g)
8		10% Resina 90% Calcário (100g)	20		7% Resina 93% Calcário (50g) + 7% Resina 93% Mármore < 1,18 mm (50g)
9		15% Resina 85% Ardósia (80g)	21		5% Resina / 95% Mármore < 1,18 mm (25g) 5% Resina / 95% Calcário (25g) 5% Resina / 95% Granito < 1,18 mm (25g) 5% Resina / 95% Xisto < 1,18 mm (25g)
10		15% Resina 42,5% Granito + 42,5% Ardósia (100g)	22		5% Resina / 95% 3,36 < Mármore < 4,76 mm (33,3g) 5% Resina / 95% 1,18 < Mármore < 2,36 mm (33,3g) 5% Resina / 95% Mármore < 1,18 mm (33,3g)
11		15% Resina 42,5% Granito + 42,5 Calcário (100g)	23		10% Resina 90% Mármore < 1,18 mm (100g) Com corante alimentar

12		24	
	15% Resina 42,5% Ardósia + 42,5% Calcário (80g)		10% Resina 90% Mármore < 1,18 mm (100g) Com corante alimentar

Na 2ª fase de ensaios e após se terem efetuado os ensaios físicos-mecânicos a cada conjunto de 6 provetes (Fig. 6), foram calculados os parâmetros indicados na Tabela 3 relativos aos compósitos em mármore testados para 5% e 15% de resina. Na mesma tabela, para efeitos comparativos, indica-se o valor médio desses mesmos parâmetros para cada um dos três diferentes tipos de rochas (sedimentares, metamórficas e ígneas) em que habitualmente se divide as rochas; [19].



Figura 6: Ensaios realizados; (1) de absorção de água e massa volúmica aparente, (2) resistência à flexão, e (3) ensaio de compressão.

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão da massa volúmica aparente, absorção de água, resistência à flexão e compressão, para o compósito de mármore produzido e comparação com os valores médios da bibliografia [19] para rochas sedimentares, metamórficas e ígneas.

	Compósito 5%	Compósito 15%	Rochas sedimentares	Rochas metamórficas	Rochas ígneas
Massa volúmica aparente (kg/m³)	1706,3 ± 13,8	1993,2 ± 23,4	2601,4	2721,7	2665,7
Absorção de água (%)	13,9 ± 0,9	0,1 ± 0,0	1,3	0,1	0,3
Resistência à flexão (MPa)	3,9 ± 0,4	15,4 ± 0,9	16,8	23,2	17,7
Resistência à compressão (MPa)	9,5 ± 0,8	42,6 ± 1,4 *	104,3	86,9	137,5

*média calculada apenas com valores de quatro provetes devido a problemas com os restantes.

A análise da tabela permite facilmente perceber que os dois compósitos têm propriedades inferiores às das rochas naturais. O compósito com 15% de resina tem valores mais elevados do que o que contem 5% de resina, o que já era expectável, uma vez que a maior quantidade de resina, que sendo de baixa viscosidade, preenche melhor os vazios existentes, contribuindo para uma maior ligação entre partículas. Este facto é perceptível quando se analisa a % de absorção de água, em que os provetes com 5% de resina absorveram muito mais água.

A massa volúmica da resina, que é 1150 kg/m³ [18] e a % de poros do compósito são responsáveis pelo seu peso mais baixo relativamente às rochas naturais, o que pode constituir uma vantagem quando se pretende desenvolver produtos decorativos.

5. PROPOSTA DE APLICAÇÃO

As propostas de *design* de novos produtos com o compósito desenvolvido tiveram em conta uma metodologia desenvolvida pelo departamento de Engenharia do Design da Universidade Tecnológica de Delft, Holanda, e pelo departamento de Design do Politécnico de Milão, Itália – Material Driven Design (MDD), que apresenta 4 passos para atingir conclusões com base no material disponível e nas suas características técnicas e experimentais.

Esta metodologia foi feita especificamente para guiar todo o processo de *design* com novos materiais, baseando-se em resultados obtidos na fase experimental e questionários feitos a estudantes de design. O resultado foi um conjunto de imagens e escalas sensoriais relativas aos termos pretendidos para o produto final, moderno e tentador, assim como visualizações desses mesmos termos (Fig. 8), que ajudaram a concluir sobre que características poderiam ser incorporadas nas propostas.

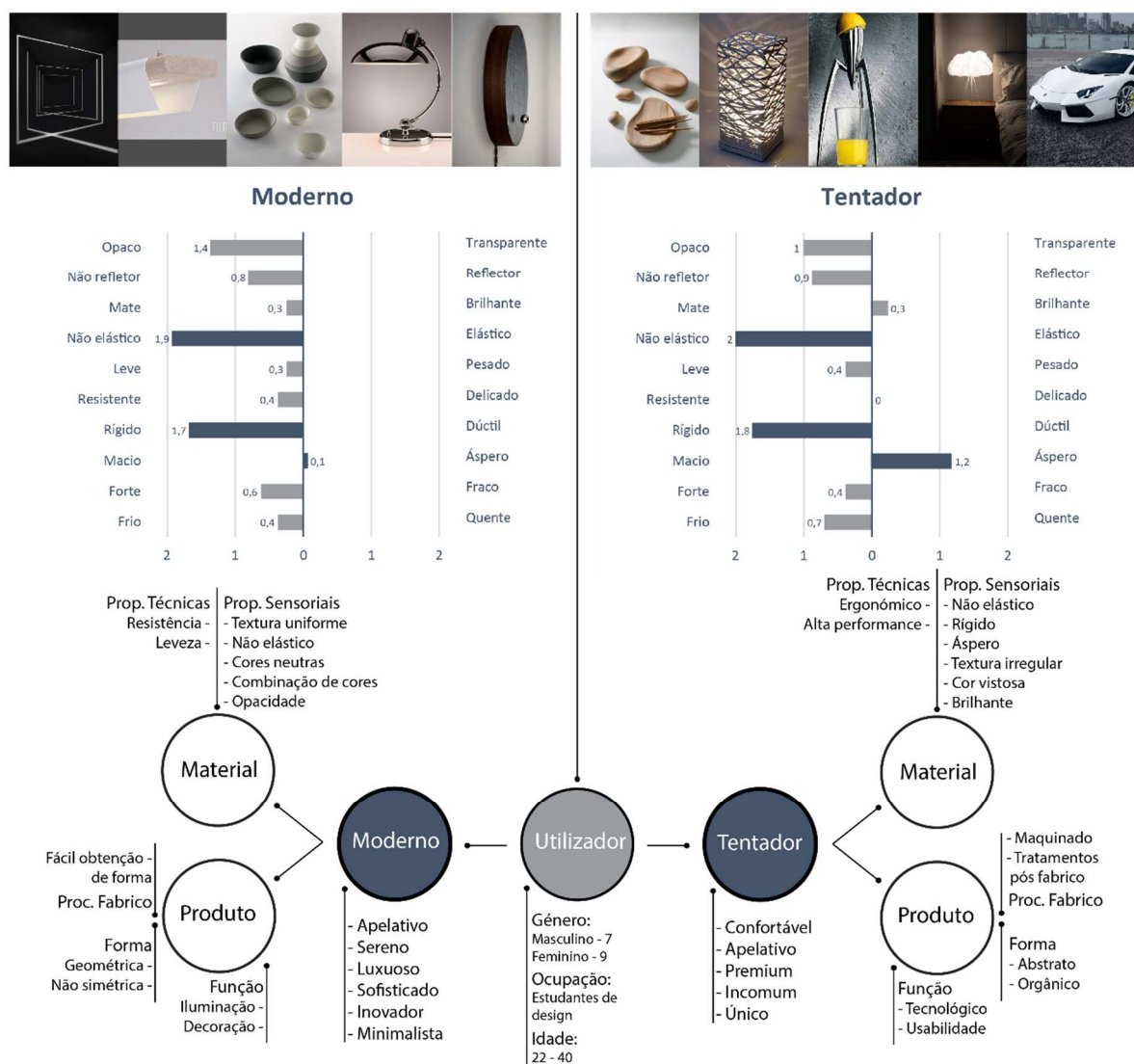


Figura 8: Algumas imagens (cima), escalas sensoriais (meio) e visualizações para os termos “moderno” e “tentador” (baixo) segundo os participantes do questionário.

Um vez que as propriedades mecânicas do material não permitem o fabrico de componentes estruturais, as propostas apresentadas são de carácter decorativo e, tendo em conta as características de transparência que as amostras de mármore demonstram e ainda de acordo com as sugestões dos participantes, a aplicação do material visará objetos de iluminação.

Com inspiração na forma cônica do vulcão, um fenómeno da Natureza que dá origem ao recurso natural objeto deste estudo, uma das propostas é um candeeiro de mesa feito inteiramente com a mistura de grãos de mármore e resina. Este reúne características resultantes da metodologia acima descrita, apresentando um aspeto minimalista com a cor única e serena do mármore e uma geometria simétrica para facilitar o processo de fabrico e desmoldação (Fig. 9). O candeeiro sai do molde completamente acabado sem necessitar de processos adicionais. Este facto é relevante para este estudo em concreto, que tenta aproveitar desperdícios sem criar mais.

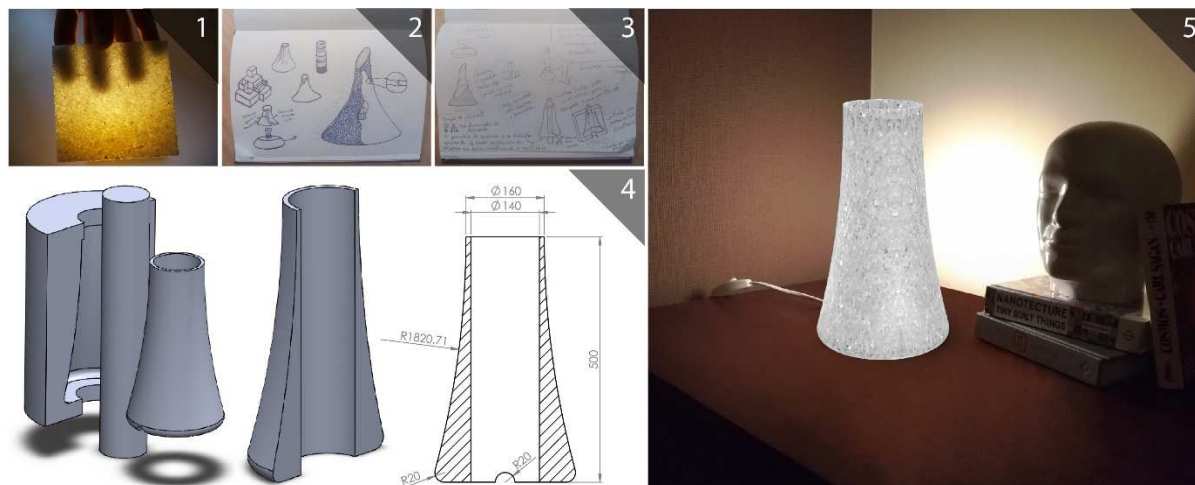


Figura 9: Efeito de luz numa amostra de mármore (1), esboços de algumas ideias (2-3), vistas da modelação e medidas (4) e proposta de aplicação de um candeeiro de mesa usando resíduos de mármore (5).

A outra proposta parte do conceito de junção de diferentes rochas presente nas amostras 19 e 20 e tira partido do contraste observado entre grãos escuros e opacos de xisto com grãos translúcidos e claros do mármore (Fig. 10), utilizando na parte traseira uma fonte luminosa que realça apenas a área de mármore. Este conceito foi testado com as letras da FEUP, combinando xisto e mármore com 10% de resina para verificar que a luz só se revela através do mármore, dando assim o efeito pretendido. Esta proposta pode ser ainda mais complexa com o design de um mapa mundi (ver Fig. 10).

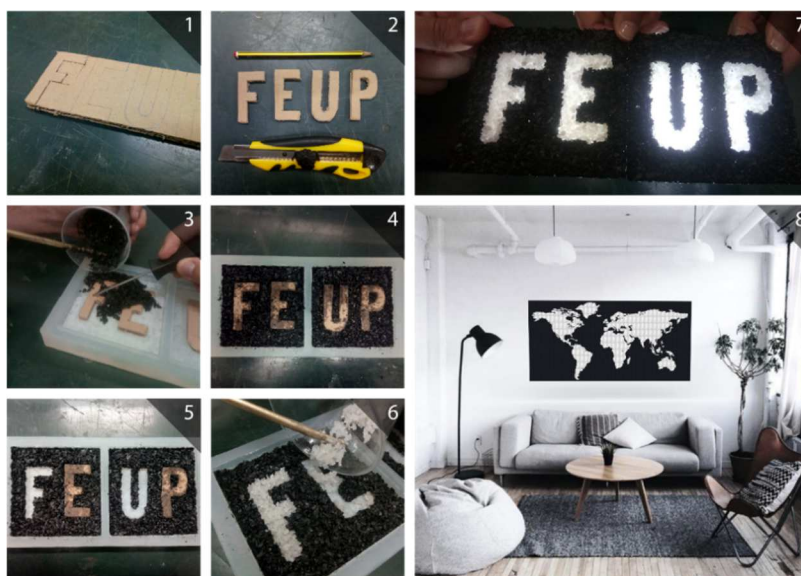


Figura 10: Marcação e corte das letras em cartão (1-2), deposição da mistura em torno das letras (3-4), remoção do cartão e aplicação do mármore após 24h (5-6), resultado final iluminado (7) e render de um outro produto inserido numa sala (8).

É de notar que a resina utilizada na fase experimental não possui características apropriadas para o tipo de aplicações sugeridas uma vez que sofre alterações com a exposição à luz e ao calor. O ideal seria utilizar uma resina resistente à radiação UV e ao calor, por exemplo uma resina acrílica.

6. CONCLUSÕES

A exploração e extração de recursos naturais é uma das indústrias mais importantes para a existência e contínuo desenvolvimento do ser humano e como tal vai continuar a existir, perspetivando-se mesmo um aumento da procura por estes recursos. Consequentemente continuarão a ser geradas elevadas quantidades de desperdícios que, mesmo com uma boa gestão de todo o processo de extração, não é aproveitada.

A utilização dos resíduos para incorporação em diferentes produtos é hoje em dia uma realidade, contudo as percentagens de utilização são ainda extremamente baixas. Com este trabalho pretendeu-se desenvolver compósitos, baseados em diferentes partículas de xisto, mármore, calcário, ardósia, granito e resina epoxídica. Os resultados obtidos em amostras de mármore e em termos de propriedades mecânicas são inferiores aos das rochas natural, o que limita a sua utilização em aplicações estruturais, no entanto, abre a oportunidade para a criação de objetos decorativos. Neste sentido foram apresentadas duas propostas de artefactos em que se joga com a transparência e iluminação.

O trabalho apresentado cria uma oportunidade para o fabrico de peças decorativas, valorizando o círculo económico das rochas ornamentais e estabelece-se como um pequeno contributo para a redução dos impactos ambientais provocados pelos desperdícios gerados na exploração e extração de recursos naturais.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento al financiamiento del Proyecto NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

REFERENCIAS

1. Schrenk S. The original green building material, just how sustainable is natural stone? [Internet]. Blog: From the bedrock. 2016 [citado 21 de Fevereiro de 2018]. Disponível em: <http://blog.polycor.com/the-original-green-building-material-just-how-sustainable-is-natural-stone>
2. Boger D V. Environmental rheology and the mining industry. Em: AusIMM '98, the mining cycle : 19-23 April 1998, Mount Isa, Queensland. Carlton, Vic. : Australasian Institute of Mining and Metallurgy, c1998; 1998.
3. Maboeta MS, van Rensburg L. Bioconversion of Sewage Sludge and Industrially Produced Woodchips. Water Air Soil Pollut [Internet]. Novembro de 2003;150(1):219–33. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1026193110198>
4. LIAO B, Huang LN, Ye ZH, Lan CY, Shu WS. Cut-off Net Acid Generation pH in Predicting Acid-Forming Potential in Mine Spoils. J Environ Qual [Internet]. 2007;36:887–91. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2006.0420>
5. University of Tennessee, Products C for C. Best Practices of the Natural Stone Industry - Solid Waste Management at the Quarry and Fabrication Facility. Nat Stone Coun. 2011;2009:0–11.
6. Larsen E, Olsen KB, Emanouilov V. Depletion of natural resources statistics [Internet]. 2018 [citado 13 de Abril de 2018]. Disponível em: http://www.theworldcounts.com/counters/environmental_effect_of_mining/depletion_of_natural_resources_statistics
7. K. JR, Zengdi (Cindy) Cui, K. DJ. Preface. Em: Jain RK, Cui Z “Cindy”, Domen JK, editores. Environmental Impact of Mining and Mineral Processing [Internet]. Boston: Butterworth-Heinemann; 2016. p. ix–x. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128040409050014>
8. Zoran M, Savastru R, Savastru D, Tautan MNM, Miclos S, Dumitras DC, et al. Optospectral techniques for mining waste characterization in Baia Mare region, Romania. J Optoelectron Adv Mater. 2010;12:159–64.



19th from november 26 to novembre 30, 2018
SCIENTIFIC CONVENTION
ON ENGINEERING AND ARCHITECTURE
HAVANA INTERNACIONAL CONFERENCE CENTER

54
ANNIVERSARY
cujae

9. Castro-Gomes JP, Silva AP, Cano RP, Durán Suarez J, Albuquerque A. Potential for reuse of tungsten mining waste-rock in technical-artistic value added products. J Clean Prod [Internet]. 2012;25:34–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.064>
10. Lottermoser B. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. 2010.
11. Dhar BB, Thakur DN. Mining Environment. CRC Press; 1996.
12. Bedrosians. How natural stone is made [Internet]. 2017 [citado 5 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.bedrosians.com/en/how-its-made-stone/>
13. University of Tennessee, Center for Clean Products. Granite Dimension stone Quarrying and Processing: A Life-Cycle Inventory. Nat Stone Counc. 2008;(August):1–25; University of Tennessee Center for Clean Pr.
14. UKCSA. Semi-Dry, Wet-Cast or Fibre Reinforced Cast Stone? [Internet]. 2017 [citado 11 de Dezembro de 2017]. Disponible en: <https://ukcsa.co.uk/technical/semi-dry-wet-cast-FRCS.php>
15. Cosentino. Discover Dekton [Internet]. 2017 [citado 15 de Fevereiro de 2018]. Disponible en: <https://www.cosentino.com/dekton/>
16. TH-PAV Pavimentazioni a basso impatto ambientale. Drenagem de mármore: pavimentos decorativos de drenagem - Marmo Drain [Internet]. 2016 [citado 8 de Fevereiro de 2018]. Disponible en: <http://www.th-pav.it/index.php/pavimentazioni-drenanti-decorative>
17. Saunders S. 3D Print with Stone: Formfutura Announces StoneFil Filament [Internet]. 3D Printing, 3D Printing Materials. 2017 [citado 17 de Maio de 2018]. Disponible en: <https://3dprint.com/170788/formfutura-stonefil-filament/>
18. Germanischer Lloyd. Biresin® CR83 Composite resin system. 2014;
19. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas [Internet]. 2002 [citado 2 de Junho de 2018]. Disponible en: <http://rop.lneg.pt/rop/FormProduto.php>

SOBRE LOS AUTORES

Bárbara Rangel, Profesora Auxiliar del Departamento de Ingeniería Civil/FEUP, docente de las asignaturas de Projeto Design, Projeto Design Industrial. Colaboradora del, DESIGNSTUDIOFEUP. Arquitecta, PhD en Ingeniería Civil.

Cristina Carvalho, Investigadora del Laboratorio Nacional de Energía y Geología, Portugal. Engenheira Geóloga, PhD en Geología, especialista en rocas ornamentales y responsable por el desarrollo de proyectos para la caracterización tecnológica de las rocas industriales y ornamentales.

Filipe Moreira, aluno del Maestrado en Diseño Industrial y de Producto (MDIP) en la Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Ingeniero Mecânico pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Joaquim Góis, Profesor Auxiliar del Departamento de Ingeniería de Minas/FEUP-Portugal, Investigador del CERENA. Ingeniero de Minas, PhD en Ciencias de la Ingeniería. Investigación en el área del comportamiento físico y mecánico de las rocas ornamentales artificiales.

Jorge Lino Alves, Profesor Asociado del DEMec/FEUP-Portugal, Investigador del INEGI/LAETA. Ingeniero Mecánico, PhD en Materiales (Lehigh University, USA). Investigación en el área de los materiales cerámicos, comportamiento mecánico y su relación con la microestructura, desenvolvimiento de producto, fabricación aditiva, procesos de transformación y fabricación rápida de herramientas. Director por la FEUP del Maestrado en Diseño Industrial y de Producto (MDIP) además es director del DESIGN STUDIO FEUP y vicepresidente de la Sociedad Portuguesa de los Materiales (SPM).

Santiago D. Castellanos, Profesor del DECEM/ESPE-Ecuador, Investigador del INEGI/LAETA. Ingeniero Mecánico (ESPE-Ecuador), Master en Diseño Producción y Automatización Industrial (EPN-Ecuador) y en la actualidad es estudiante de doctorado en Ingeniería Mecánica (FEUP-Portugal). Investigador en el área de procesos de manufactura aditiva, maquinado, aleaciones de titanio y desenvolvimiento de productos.