

## Influência da Resistência ao Gelo de Rochas Silicatadas Portuguesas na Utilização como Elemento Construtivo Exterior

Maria Isabel Borges<sup>1</sup>, Joaquim Simão<sup>2</sup>, Cristina Carvalho<sup>3</sup> e Vera Pires<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professora Adjunta ESTG/IPP (Portalegre), membro CICEGe/DCT/FCT/UNL (Caparica), [m.i.borges@estgp.pt](mailto:m.i.borges@estgp.pt)

<sup>2</sup>Professor Auxiliar DCT/FCT/UNL (Caparica), membro CICEGe/DCT/FCT/UNL (Caparica), [jars@fct.unl.pt](mailto:jars@fct.unl.pt)

<sup>3</sup>Responsável Técnica Sector Rochas LNEG (Porto), doutoranda DCT/FCT/UNL (Caparica), [cristina.carvalho@lneg.pt](mailto:cristina.carvalho@lneg.pt)

<sup>4</sup>Doutoranda IST/UTL (Lisboa), [vera.pires@ist.utl.pt](mailto:vera.pires@ist.utl.pt)

### RESUMO

A utilização da pedra natural em arquitetura requer uma avaliação prévia do seu desempenho em obra e da sua durabilidade, de modo a selecionar-se um litótipo adequado e a dimensionar-se corretamente os diferentes elementos construtivos face às condições de utilização a que os mesmos vão estar sujeitos. Portugal tem uma longa tradição na extração, comercialização e utilização de rochas silicatadas como material de construção, sendo também um país exportador para países com características climáticas distintas. Quando se pretende aplicar a pedra natural em exteriores (pavimentos e revestimentos) de zonas cujas condições atmosféricas sejam caracterizadas por períodos regulares de temperaturas negativas, uma das características que adquire particular relevância é a sua resistência ao gelo. Foram selecionadas dez diferentes tipologias de rochas silicatadas (usualmente utilizadas em exterior) representativas das principais regiões produtoras de Portugal, para as quais foi efetuado o ensaio tecnológico de resistência ao gelo. O objetivo foi avaliar a sua conformidade com os requisitos normativos europeus em vigor para produtos de pedra natural aplicada em exterior. Os resultados obtidos revelaram distintas respostas das rochas (relacionadas com a diferente composição mineralógica, textural e estrutural das mesmas) e permitiram aferir, com base nas especificações requeridas para os diferentes produtos, a adequabilidade de cada rocha estudada face às diferentes aplicações possíveis. Considerando que são vários, e de natureza diversa, os fatores que intervêm na seleção de uma determinada pedra natural para aplicação como material de construção, uma abordagem integrada do comportamento destes materiais contribuirá para a sua adequada utilização.

Palavras-chave: pedra natural, resistência ao gelo, elementos construtivos.



## I. INTRODUÇÃO

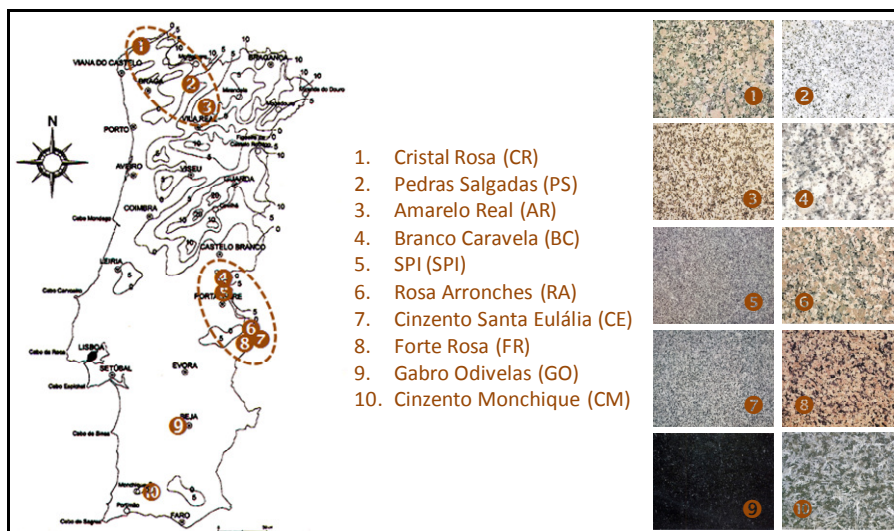
Os fatores que intervêm na seleção de uma pedra natural para aplicação como elemento construtivo são de natureza vária, sendo contudo o fator estético frequentemente decisivo nessa seleção. A escolha de uma pedra natural, tendo por base a avaliação do seu desempenho em obra e a sua utilização adequada, permite mitigar a ocorrência de patologias e as consequentes medidas corretivas que venham a ser necessárias efetuar *a posteriori*.

O principal parâmetro que condiciona a utilização da pedra natural, em exteriores de regiões com climas de temperaturas negativas regulares, está relacionado com o seu comportamento sob condições de gelividade. Este resulta da combinação de três variáveis: características inerentes à pedra natural selecionada (petrografia e propriedades físicas), tipo de aplicação e parâmetros climáticos.

Este trabalho avalia a combinação destas três variáveis, para dez tipos de rochas silicatadas representativas das principais regiões produtoras de Portugal, tendo em consideração as normas europeias para pedra natural, em vigor, assim como as recomendações constantes no relatório do projeto NMP2-CT-2005-515762 [I-Stone 2008].

## II. ROCHAS ESTUDADAS

As rochas silicatadas selecionadas para este estudo consistem em oito litótipos graníticos, um gabro olivínico e um sienito nefelínico. Na figura 1 apresenta-se a localização geográfica, a denominação comercial (e respetiva abreviatura) e o aspeto macroscópico destas rochas. Os granitos podem agrupar-se geograficamente em duas zonas de extração: NW de Portugal (1 a 3) e NE do Alentejo (4 a 8). O gabro olivínico é extraído em Odivelas, Alentejo (9) e o sienito nefelínico em Monchique, Algarve (10).



**Figura 1** - Localização geográfica, denominação comercial/abreviatura, aspeto macroscópico das rochas e zonas de índice de gelo (Ig) para Portugal Continental (adaptado de Moura et al. 2006)

As rochas estudadas são vulgarmente comercializadas no sector das rochas ornamentais portuguesas sob a designação de “granito”, embora em termos petrográficos correspondam a outros litótipos. Para além de se distinguirem quanto ao padrão

ornamental que apresentam, estas também diferem no que concerne às suas características petrográficas, composição mineralógica e porosidade aberta (Tabela 1).

**Tabela 1** - Caracterização petrográfica e mineralógica das rochas estudadas (Borges 1994; Borges 2011; Moura & Leite 2011; Simão 2003)

Design. Comerc.	Litologia	Descrição Petrográfica	Mineralogia	Poros. aberta
CR	Granito	Granito biotítico de grão grosseiro a médio, porfiroide, de cor rosada homogénea determinada pelos fenocristais de Fk	Mc (35%); Pl (27%); Qz (25%); Bt (10%); Ms, Spn, Zrn, Ap, Aln, Hbl e Opq (3%)	0,8%
PS	Granito	Granito de duas micas de grão médio, de cor cinzenta, com fenocristais de feldspato dispersos na matriz	Mc (36%); Pl (32%); Qz (25%); Bt (6%); Ms, Zrn, Ap e Spn (1%)	0,6%
AR	Granito	Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com tendência porfiroide, de cor amarelada	Mc (30%); Qz (27%); Pl (26%); Ms (10%); Bt (6%); Zrn, Ap, Sil e Opq (1%)	1,9%
BC	Granito	Granito de duas micas de grão médio a grosseiro, porfiroide, de cor branca, com fenocristais de Fk	Mc (36%); Qz (32%); Pl (16%); Bt (12%); Ms (2%); Ap, Spn, Zrn, Tur, Rt e Py (2%)	0,6%
SPI	Granito	Granito biotítico monzonítico de grão fino, de cor cinzenta-azulada homogénea	Pl (33%); Qz (33%); Mc (25%); Bt (6%); Ms, Zrn, Ap, Spn e Opq (3%)	0,8%
RA	Granito	Granito de grão grosseiro, porfiroide, de cor levemente rosada determinada pelos fenocristais de Fk numa matriz branca-acinzentada	Mc (40%); Pl (30%); Qz (20%); Bt (8%); Ap, Zrn e Opq (2%)	0,4%
CE	Granito	Granito bitotítico de grão médio a fino, de cor cinzenta homogénea	Qz (35%); Pl (30%); Mc (25%); Bt (9%); Ms, Zrn, Ap, Spn e Opq (1%)	0,5%
FR	Granito	Granito biotítico hornblêndico de grão médio, de cor rósea-avermelhada forte	Mc (42%); Qz (22%); Pl (18%); Bt (13%); Am, Spn, Zrn, Aln, Ms e Opq (5%)	0,5%
GO	Gabro Olivínico	Gabro olivínico de grão médio, de cor negra-acinzentada	Pl (66%); Agt (24%); Ol (8%); Bt, Hbl, Opx, Cpx e Opq (2%)	0,0%
CM	Sienito Nefelínico	Sienito nefelínico de grão médio a grosseiro, de cor cinzenta e grãos castanho-avermelhados de nefelina	Or e Mc (47%); Ne (22%); Agt (10%); Spn (8%); Bt (6%); Sdl, Hbl, Ap, Rt, Zrn e Opq (7%)	0,9%

A lista de abreviaturas utilizada na tabela 1 teve por base Siivola & Schmid 2007.

### III. RESISTÊNCIA AO GELO E UTILIZAÇÃO COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO EM EXTERIOR

#### 1. Considerações prévias

A resistência ao gelo é uma característica de durabilidade, de determinação fundamental quando se pretende utilizar a pedra natural em exteriores de regiões ciclicamente sujeitas a ações de gelo-degelo, uma vez que a congelação da água nos seus poros e fissuras desenvolve tensões internas que podem conduzir a um mau desempenho em obra.

Portugal é um país pouco afetado pelo processo de gelividade, uma vez que as temperaturas mínimas inferiores a -5°C ocorrem apenas em cerca de 15% do território, correspondendo a valores de índice de gelo - Ig - superior a 5, conforme representado na figura 1. No entanto, como país exportador para regiões de latitudes mais elevadas, torna-se fundamental a avaliação da resistência ao gelo das rochas ornamentais que são



comercializadas para esses países, assim como o seu grau de conformidade com os diferentes requisitos normativos.

De acordo com a classificação EOTA (European Organization for Technical Approvals) e num contexto de utilização da pedra natural como material de construção, a Europa pode dividir-se em três zonas climáticas: A, B e C. Apenas nos países cujo clima se pode classificar como pertencendo à zona C (invernos quentes, formação de gelo não frequente, temperatura média diária superior a 5°C nos meses de Dezembro a Fevereiro; temperatura máxima frequentemente acima de 30°C e, ocasionalmente, superior a 40°C, nos meses de Junho a Agosto) não é pertinente a análise desta característica.

Os parâmetros relevantes para definir a severidade de um clima, relativamente à ação do gelo, são a intensidade da pluviosidade (durante o período de inverno) e o número de ciclos de gelo-degelo durante um inverno. Entende-se por evento climático crítico (CCE - Critical Climatic Event) um período de gelo precedido por determinada pluviosidade que pode afetar a durabilidade do material quando aplicado exteriormente [I-Stone 2008]. De acordo com esta designação, um clima será considerado severo quando o número de CCE (no decurso de um ano) for superior a 20, moderado quando estiver compreendido entre 10 e 20 e ligeiro quando inferior a 10 [I-Stone 2008].

## 2. Ensaio de resistência ao gelo e requisitos normativos para aplicação de pedra natural em exterior

O ensaio de resistência ao gelo foi realizado de acordo com a norma europeia EN 12371, edições de 2010 e de 2001 (Ensaio A). A medição de controlo para determinação da resistência ao gelo-degelo foi efetuada através da alteração no valor da resistência à flexão, de acordo com a norma europeia EN 12372, edições de 2006 e de 1999.

A aplicação da pedra natural em exterior é regulamentada, no espaço europeu, de acordo com um conjunto de normas. Na tabela 2 seguinte encontram-se explicitadas as normas utilizadas neste estudo, as quais envolvem a determinação do ensaio de resistência ao gelo como requisito tecnológico.

**Tabela 2** - Normas Europeias para produtos em pedra natural e requisitos de resistência ao gelo

Norma Europeia	Objetivo e campo de aplicação		Requisitos de resistência ao gelo	
			Ciclos de gelo-degelo	Alteração do valor da resistência à flexão
EN 1341:2000	Lajes		48	≤ 20%
EN 1343:2000	Guias			
EN 1469:2004	Placas para paredes (par.)		12	
EN 12057:2004	Ladrilhos modulares	i) Revestimento paredes (par.)	48	
		ii) Pavimentos (pav.)		
EN 12058:2004	Placas para pavimentos (pav.) e degraus (deg.)			
EN 12059:2008	Cantarias	iii) Com superfícies verticais	12	
		iv) Com superfícies horizontais	48	

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no ensaio tecnológico de resistência ao gelo, assim como a verificação da adequação para aplicação em exterior (em diferentes elementos construtivos) das rochas estudadas, apresentam-se na tabela 3. Da sua análise, pode verificar-se que os valores médios da resistência à flexão apresentados por cada litologia



são representativos da mesma, uma vez que o valor do desvio padrão é inferior a 10% do valor médio obtido para a característica em análise.

**Tabela 3** - Resultados do ensaio de resistência ao gelo (variação do valor médio da resistência à flexão após [Rtfa] e antes [Rtfb] do ensaio de gelo-degelo, sendo (a), (b) e (c) respetivamente 25, 48 e 56 ciclos; s - desvio padrão; [x] - número de provetes ensaiados) e adequação para aplicação em exterior (C - Cumpre; NC - Não Cumpre; n.a. - não aplicável)

Design. Comerc.	B = Rtfb (MPa)	A = Rtfa (MPa)	Delta Rtf (%) (A-B)	Lajes	Guias	Placas par.	Ladrilhos modulares		Placas pav. e deg.	Cantarias	
							i)	ii)		iii)	iv)
CR	16,5 [6] s=0,5	15,7 [6] s=0,6 (a)	-4,8%	n.a.	n.a.	C	C	n.a.	n.a.	C	n.a.
PS	12,7 [10] s=0,3	13,2 [10] s=0,9 (b)	3,9%	C	C	C	C	C	C	C	C
AR	6,3 [6] s=0,4	4,6 [6] s=0,3 (a)	-27,0%	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
BC	15,0 [6] s=0,7	13,4 [6] s=0,6 (a)	-10,7%	n.a.	n.a.	C	C	n.a.	n.a.	C	n.a.
SPI	17,3 [10] s=1,2	16,8 [10] s=1,5 (c)	-2,9%	C	C	C	C	C	C	C	C
RA	14,5 [10] s=0,8	12,8 [10] s=0,6 (c)	-11,7%	C	C	C	C	C	C	C	C
CE	17,0 [10] s=0,8	17,1 [10] s=0,6 (c)	0,6%	C	C	C	C	C	C	C	C
FR	18,1 [6] s=0,9	17,2 [6] s=0,9 (a)	-5,0%	n.a.	n.a.	C	C	n.a.	n.a.	C	n.a.
GO	28,4 [6] s=1,5	26,7 [6] s=2,4 (a)	-6,0%	n.a.	n.a.	C	C	n.a.	n.a.	C	n.a.
CM	15,0 [6] s=0,3	14,0 [6] s=0,3 (a)	-6,7%	n.a.	n.a.	C	C	n.a.	n.a.	C	n.a.

Todas as rochas que foram objeto de estudo, com exceção do granito AR, apresentam um decréscimo no valor da resistência à flexão sob carga centrada após ensaio de gelo-degelo inferior a 20%. A que apresenta menor variação no valor de resistência à flexão é o granito CE, embora em valor absoluto seja o GO a que apresenta maior valor de resistência à flexão sob carga centrada, antes e após o ensaio de resistência ao gelo.

Quando se comparam os oito litótipos graníticos, verifica-se que os granitos de grão médio a fino apresentam tendencialmente uma maior resistência ao gelo do que os granitos de grão grosseiro a médio, com fenocristais ou porfiroides. Por outro lado, como seria expectável, o pior desempenho do granito AR está relacionado com a sua porosidade aberta, consideravelmente superior à de qualquer das outras litologias (Tabela 1).

Tendo por base as disposições regulamentares constantes na tabela 2, constata-se que o granito AR se mostra inadequado para qualquer aplicação em exterior, por oposição aos granitos PS, SPI, RA e CE, que se mostram adequados para todas as aplicações consideradas neste estudo (Tabela 3).

Quanto aos granitos CR, BC, FR, o GO e o CM, pelo facto de terem sido submetidos a 25 ciclos de gelo-degelo, apenas se pode afirmar que são adequados para aplicação em placas para revestimento de paredes, ladrilhos modulares para revestimento de paredes e trabalhos de cantaria com superfícies maioritariamente verticais (Tabela 3). Porém, tratando-se de rochas silicatadas e considerando as baixas porosidades abertas que apresentam, serão provavelmente adequados para todas as aplicações aqui consideradas.

De acordo com a proposta de especificações para Portugal Continental [Moura et al. 2006], todas as rochas estudadas, com exceção do granito AR, se adequam à utilização em

zonas com índice de gelo (Ig) inferior a 10; os granitos PS, SPI, RA e CE adequam-se ainda a situações de aplicação em exteriores de zonas com Ig de 10 a 20, uma vez que o decréscimo no valor da resistência à flexão para estes granitos, no final do número de ciclos a realizar para comprovar a sua adequabilidade, é inferior a 20%.

## V. CONCLUSÕES

Com base nas normas europeias e recomendações do projeto I-Stone 2008, é possível recomendar tipos de aplicação de rochas ornamentais em diferentes condições climáticas, através da avaliação das suas características petrográficas e propriedades físicas.

Do estudo efetuado pode considerar-se que as rochas estudadas, com exceção do granito AR, se mostram adequadas para serem aplicadas em exterior como elemento construtivo. Embora apresentem diferentes valores de decréscimo de resistência à flexão após ensaio de resistência ao gelo, é de esperar uma durabilidade compatível com o tempo de vida útil da obra em países com suscetibilidade à ação do gelo.

Salienta-se ainda que estão a ser equacionadas metodologias para combinar a ação do gelo com a da cristalização de sais. Este ensaio, com condições mais exigentes para as rochas ornamentais, a utilizar sobretudo em climas severos, poderá conduzir a propostas de novas especificações para a resistência ao gelo em função da severidade do clima.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Granitos de Maceira pelo fornecimento de amostras de rochas, assim como ao Dr. Casal Moura, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), pela colaboração técnica prestada na realização dos ensaios laboratoriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, M.I. - *Caracterização geológica e geotécnica dos granitos de Alpalhão (Maciço granítico de Aldeia da Mata-Nisa-Castelo de Vide)*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Caparica, Portugal, 1994.
- BORGES, M.I. et al. - *Proceedings of the Conference on Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures 2011 (SWBSS2011)* [Físico e CD-ROM]. Limassol, Chipre: 2011. ISBN 978-9963-7355-1-8.
- I-STONE - *Handbook for proper selection of stone to each application and climate - Rev. 1*. Atenas, Grécia, 2008.
- MOURA, A. et al. - *Manual da Pedra Natural para a Arquitectura*. Lisboa, Portugal: DGGE, 2006. ISBN 989-95163-0-9.
- MOURA, A. e LEITE, M. - *Rochas Ornamentais Portuguesas*. Disponível em <http://rop.ineti.pt/rop/>. Acesso em 3 de Novembro de 2011.
- SIIVOLA, J. e SCHMID, R. - *List of Mineral Abbreviations*. Disponível em [http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_12.pdf](http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf). Web version 01-02-07.
- SIMÃO, J. - *Rochas ígneas como pedra ornamental. Causas, condicionantes e mecanismos de alteração. Implicações tecnológicas*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Caparica, Portugal, 2003.

