

Grado de meteorización y formas de alteración de las rocas de construcción de megalitos gallegos

T. RIVAS, B. PRIETO, O. LANTES, B. SILVA

*Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia
15782 Santiago de Compostela. España*

(Recibido, mayo de 2002. Aceptado, agosto de 2002)

Resumen

RIVAS, T., PRIETO, B., LANTES, O. & SILVA, B. (2002). Grado de meteorización y formas de alteración de las rocas de construcción de megalitos gallegos. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **12**: 203-217

En este trabajo se analiza el estado general de conservación de treinta y tres dólmenes gallegos haciendo especial hincapié en el grado de alteración que presentan los materiales rocosos que los conforman. En veintinueve de estos monumentos, seleccionados por su interés arqueológico, por poseer restos pictóricos o por presentar alteraciones más o menos graves, se analizaron más profundamente las causas del deterioro de los materiales y se realizó la caracterización físico-mecánica de las rocas, aspecto que resulta esencial a la hora de establecer medidas de conservación de los monumentos. Se encuentra que, en la mayoría de los dólmenes, las rocas presentan unas morfologías de alteración cuya gravedad compromete en algunos casos su pervivencia y la conservación de las pinturas cuando éstas existen. El origen de estas morfologías no está relacionado con una mayor velocidad de meteorización en las rocas de los dólmenes, ya que se comprueba que los procesos de meteorización presentan la misma tendencia en aquellos que en los afloramientos naturales. Se encuentra, sin embargo, que el desarrollo de estas alteraciones es fruto de la conjunción del comportamiento físico-mecánico particular de estas rocas, muy influido por la anisotropía fisural de las mismas, y de ciertas circunstancias desfavorables para la correcta conservación integral del monumento como el desplazamiento de las losas que conforman los dólmenes.

Palabras clave: Monumentos megalíticos, rocas graníticas, meteorización.

Abstract

RIVAS, T., PRIETO, B., LANTES, O. & SILVA, B. (2002). Weathering degree and decay forms of the rocks used on Galician megalithic monuments. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **12**: 203-217

We analyse the general state of conservation of thirty-three Galician dolmens, paying special attention to the alteration degree of their rocky materials. The causes of deterioration of materials from twenty-one of these monuments, selected by their archaeological interest, pictorial remains or alteration degree, were analysed more deeply, and the physical-mechanical characterization of the rocks was carried out. This aspect is essential in order to establish measures of conservation of the monuments. It was found that, in most of the dolmens, the rocks present some severe alteration morphologies committing in some cases its integrity and the conservation of the existing paintings. The origin of these morphologies is not related to a faster weathering rate in dolmens, since it was proven that weathering processes in dolmens follow the same pattern as in the rock outcrops. It was found that the development of these alterations is the result of the conjunction of the physic and mechanical properties which characterise these rocks and which are influenced by the mineral orientation, and some other unfavourable circumstances for a proper global conservation of the monument.

Key words: Granitic rocks, weathering, megalithic monuments.

INTRODUCCIÓN

Galicia es una región extraordinariamente rica en monumentos megalíticos, sobre todo dólmenes. Muchas de estas estructuras, que originalmente se encontraban enterradas, han quedado expuestas a la intemperie o visto modificadas las condiciones ambientales a las que estaban sometidas debido a efectos erosivos o a la acción del hombre. Este cambio de condiciones más o menos brusco ocasionó una serie de degradaciones en las rocas que conforman los monumentos que, en casos concretos, pueden llegar a comprometer su pervivencia (SILVA *et al.*, 1992).

La relevancia de estas degradaciones es mayor en aquellos dólmenes que poseen pinturas; entre los numerosos dólmenes gallegos existen algunos que todavía conservan motivos pictóricos en su interior y, aunque su estado de conservación es en general muy deficiente (en algunos de ellos se limitan a escasos restos de pintura o de soporte pictórico), su interés arqueológico es indudable. Las rocas que conforman los monumentos constituyen al mismo tiempo el soporte de las pinturas, de manera que cualquier proceso que provoque una alteración de sus propiedades físico-mecánicas puede ocasionar un perjuicio sobre las preparaciones pictóricas. En este sentido, el conocimiento de las propiedades y del estado de alteración del soporte pétreo es esencial puesto que las características de las rocas van a condicionar en gran medida el tipo de actuación a realizar para la conservación de las pinturas.

En este trabajo, que se enmarca en un estudio más amplio en el que se realizó una catalogación de pinturas megalíticas y de sus características con vistas a establecer medidas para su conservación, se presentan los resultados de un estudio en el que se analizaron los materiales pétreos de treinta y tres dólmenes de los cuales quince poseen restos pictóricos (CARRERA, 1997). Tras una caracterización del estado de conservación general de los monumentos, se realizó una selección de un número más limitado de ellos en los cuales se profundizó el estudio en lo que se refiere a las propiedades de las rocas, su estado

de alteración y los factores que desencadenan las alteraciones; dicha selección se realizó en función de la existencia o no de pinturas, del interés del monumento y de la existencia de alteraciones más o menos graves que pudieran amenazar la conservación de las pinturas o la pervivencia del propio megalito.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron treinta y tres monumentos megalíticos distribuidos en las cuatro provincias gallegas. Su relación se presenta en la Tabla I y su situación en la comunidad autónoma en la Fig. 1.

Se realizó, en primer lugar, una serie de visitas y observaciones con el objetivo de situarlos en la cartografía topográfica y geológica (IGME, 1981) y para cada uno de los monumentos, se cubrió una ficha descriptiva indicando la situación topográfica, uso del suelo, naturaleza del sustrato geológico, estructura del monumento, estado de conservación general, materiales rocosos de construcción, formas de alteración que presentan y grado de colonización biológica.

Esta información previa se utilizó para realizar una segunda selección de 21 dólmenes (Tabla I) que por presentar alteraciones del soporte pétreo merecían un análisis más profundo. Así, en estos monumentos se cogió muestra de pequeñas lascas de roca en áreas carentes de pinturas. Sobre estas muestras se realizaron los siguientes análisis:

Caracterización petrográfica de las rocas mediante el estudio de láminas delgadas con microscopía petrográfica.

Caracterización mineralógica de las rocas mediante análisis por difracción de rayos X para determinar su grado de meteorización. Para ello, las muestras se molieron hasta un tamaño de partícula de 50µ y se prepararon para el análisis por los métodos del polvo cristalino y del agregado orientado; éste último permite, a través de la concentración de las partículas de tamaño arcilla, la identificación de minerales secundarios presentes en baja cantidad.

TABLA I. Relación de los monumentos megalíticos seleccionados (se señalan subrayados los que poseen restos pictóricos según CARRERA, 1997) y grado de estudio de los mismos. **A:** Visita y descripción del estado general de conservación; **B:** Descripción del estado de conservación; análisis del grado de meteorización de la roca, descripción de las formas de alteración y análisis de sales solubles; **C:** Determinación de propiedades hídras y mecánicas de la roca (en gris oscuro, se señalan los ocho dólmenes seleccionados; el resto de los monumentos señalados para el estudio tipo C lo son debido a que poseen los mismos materiales rocosos). Se indica el tipo de roca usada en la construcción de los monumentos, si ésta coincide con el sustrato geológico (S), y la referencia a la hoja del Mapa Geológico del IGME (1981) correspondiente

Monumento	A	B	C	material rocoso	IGME
1. <u>Cabaleiros</u>				Granodiorita biotítica con megacrístales (S)	69
2. Pedra Vixía				Granito de dos micas tipo Dumbría	68/43
3. Fornela dos Mouros				Granito de dos micas tipo Dumbría (S)	68/43
4. Casota de Berdoias				Granito de dos micas tipo Dumbría (S)	68
5. <u>Pedra Moura Monte Cárneo</u>				Granodiorita precoz/Ortoneis biotítico (S)	68
6. <u>Anta do Serramo</u>				Granodiorita precoz/Ortoneis biotítico (S)	68
7. <u>Dombate</u>				Granito de dos micas tipo Dumbría	43
8. <u>Arca da Piosa</u>				Neis félsico (S)/ortoneis con biotita y cuarzo azulado	68
9. <u>Casa dos Mouros</u>				Ortoneis glandular/ortoneis con anfíbol/granodiorita precoz	68
10. <u>Anta da Parxubeira</u>				Granitoide migmatítico	93
11. <u>Cova da Moura-Argalo</u>				Ortoneis biotítico (S)	119
12. <u>Casota do Páramo</u>				Granito tipo Barbanza	119
13. <u>Arca do Barbanza</u>				Granito tipo Barbanza (S)	119
14. <u>Pedra Cuberta</u>				Granito tipo Dumbría (S)/ortoneis biotítico/granodiorita precoz	68/43
15. Forno dos Mouros-Ortigueira.				Cuarcitas Ordovícico Superior (S)	8
16. Anta do Raposo				Rocas ultrabásicas serpentinizadas	96
17. <u>Forno dos Mouros-Toques</u>				Ortoneis de Sobrado	71
18. Roza das Modias				Neis granatífero/Esquisto cianítico	47
19. San Cibrao 1 y 2				Granito de dos micas (S)	263
20. Casa das Mouras -Queguas				Granito de anatexia (S)	301
21. Serra das Motas				Granito con fenocristales orientados (S)	263
22. <u>Mota Grande*</u>				Granito de dos micas	263
23. Mámoa da Cruz				Granito de dos micas grano medio (S)	122
24. Casiña Moura-Meis				Granito de feldespatos alcalinos (S)	185
25. Castiñeiras				Granito de feldespatos alcalinos (S)	185
26. Chan Armada				Granito de feldespatos alcalinos (S)/neis de biotita	223
27. <u>Chan Arquiña</u>				Granito de feldespatos alcalinos/neis de biotita (S)	223
28. Casa dos Mouros-Candeán				Neis de biotita (S)	223
29. Madroa 1				Neis de biotita (S)	223
30. Madroa 2				Neis de biotita (S)	223
31. Costa Freiría				Granito feldespatos alcalinos/neis de biotita (S)	223
32. <u>Meixoeiro</u>				Paraneis con plagioclasa y biotita (S)/Neis de biotita	223
33. Mámoa do Rei				Neis de biotita (S)	223

*: Dolmen enterrado tras excavación. Sólo se presenta la caracterización de la roca usada en su construcción.

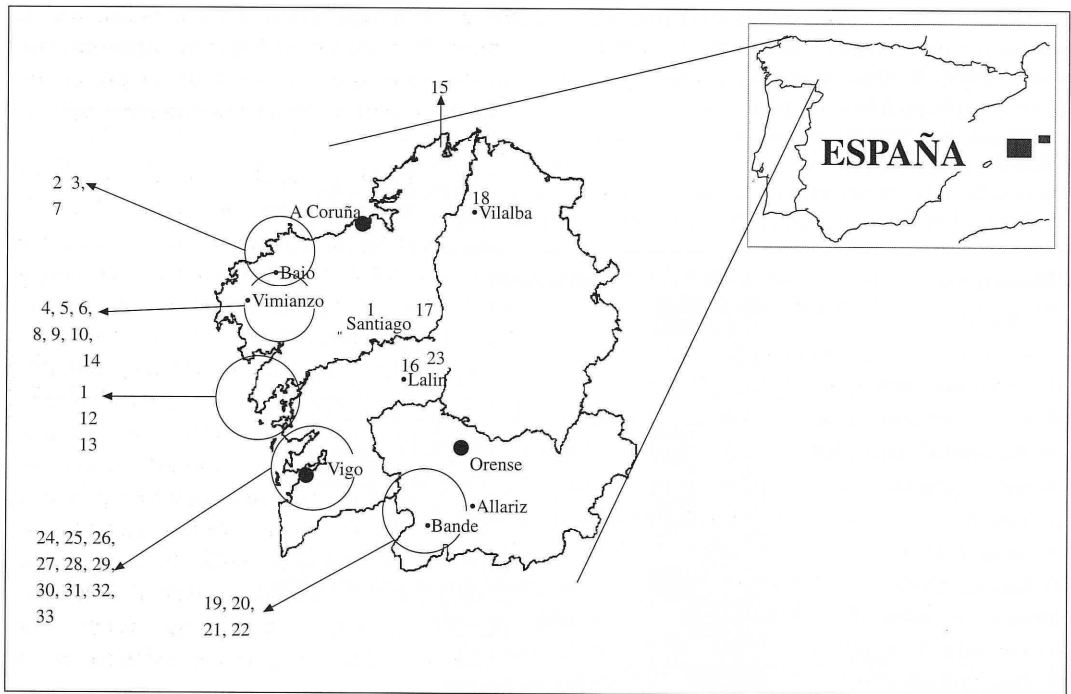


Fig. 1. Situación de los dólmenes seleccionados para el estudio. La numeración corresponde a la presentada en la Tabla I para cada dolmen.

Determinación del contenido de sales solubles en agua. Para ello, las muestras fueron tomadas en una o varias losas verticales en su cara interior a distintas alturas desde el suelo. La extracción de las sales solubles se realizó por agitación en agua desionizada de una cantidad de muestra molida. En el extracto, se determinan los aniones por electroforesis capilar y los cationes por espectrometría de absorción y emisión atómica.

Por último, se realizó un muestreo de las rocas de 8 de estos 21 monumentos (ver Tabla I) en afloramientos rocosos con el objetivo de determinar ciertas propiedades físico-mecánicas que tienen relevancia en la conservación de las pinturas y del monumento en general. Dado que muchos dólmenes tienen en común materiales rocosos, esta caracterización se hace extensiva a un total de 21 monumentos de la lista (Tabla I).

Las propiedades físico-mecánicas determinadas son las siguientes:

Porosidad accesible, densidad aparente y real. Para su determinación se sigue la Norma RILEM (1980) utilizando cinco probetas de dimensiones específicas de cada roca.

Cinéticas de absorción y desorción de agua, siguiendo la Norma RILEM (1980), utilizando las mismas probetas usadas en el ensayo anterior.

Cinética de absorción capilar, siguiendo la Norma RILEM (1980), utilizando las probetas del ensayo anterior y estableciendo el ascenso de agua paralelamente a la orientación o foliación de las rocas.

Resistencia a la flexotracción y a la compresión, siguiendo la norma UNE-80-101-88 y usando probetas de dimensiones 4x4x16 cm para flexotracción y de 4x4x4 cm para compresión. En el caso de la resistencia a compresión, el

esfuerzo se aplicó paralelamente a la foliación o orientación de las rocas y en el caso de la resistencia a flexotracción, el esfuerzo se aplicó perpendicularmente a la foliación.

RESULTADOS

Descripción general de los monumentos: situación y estado de conservación

Muchos de los monumentos seleccionados, concretamente la mayoría de los de la provincia de Pontevedra, están situados en áreas dedicadas a uso forestal; en todos los casos se trata de repoblaciones mixtas de *Eucaliptus* sp y *Quercus* sp de explotación vecinal, salvo en uno (Arca da Piosa), que se sitúa en una finca de explotación privada. Algunos están situados en zonas de matorral en áreas altas (Fornela dos Mouros, Arca do Barbanza, Casota do Páramo, Forno dos Mouros–Toques, Forno dos Mouros-Ortigueira, Casa dos Mouros–Queguas y Serra das Motas) siendo en estos casos en los que el entorno está mejor conservado. Cinco monumentos están situados en áreas recreativas: cuatro en áreas públicas y uno de ellos (Meixoeiro) en una zona privada. Pocos dólmenes están situados en áreas dedicadas a uso agrícola, si bien es el caso de la mayoría de los de la Provincia de A Coruña; estos monumentos se encuentran dentro de fincas o en los límites entre ellas: es el caso de Casota de Berdoias (desde el que arranca un muro que sirve de linde entre fincas), Anta de Serramo (que sirve también de linde), Casa dos Mouros y Casa Moura do Monte Carneio.

Algunos monumentos de los seleccionados presentan una estructura en cámara poligonal con corredor, conservando la mayoría de las losas: es el caso de Pedra Moura de Monte Carneio, Arca da Piosa, Dombate, Casa dos Mouros y Chan de Arquíña. Otros dólmenes presentan cámara pero no corredor; la cámara puede ser cuadrada (como Casota de Berdoias o Fornela das Mouras, de tres losas verticales), o poligonal con cubierta o sin cubierta (como el caso de los dólmenes Madroa 1, 2 y Freiría).

Entre los monumentos seleccionados, los de Anta de Serramo y Castiñeirás muestran un claro desplazamiento de las losas de sus posiciones originales de manera que difícilmente se adivina la estructura.

En general, el estado de conservación de estos monumentos es muy deficiente. El caso de Dombate es especial, ya que se encuentra actualmente en fase de restauración. Con respecto al resto de los monumentos, la ausencia de algunas losas o el desplazamiento de las mismas de su posición original son hechos bastante comunes, sobre todo en monumentos situados en lindes de fincas; los monumentos situados en áreas recreativas no son precisamente los mejor conservados (salvo el que se encuentra en una zona privada); presentan un aspecto muy sucio y, generalmente, pérdida de suelo y degradación de la mámoa. Es muy común el abandono general de manera que muchos dólmenes son difíciles de encontrar debido a la densa vegetación existente en su entorno.

En todos los casos, la información acerca de la situación e interés del monumento es inexistente o muy escasa.

En cuanto a la colonización biológica, se ha comprobado que, en general, los dólmenes son sistemas muy propicios para la colonización biológica, probablemente debido a su situación en lugares aislados, no contaminados y a su propia estructura de losas hincadas en el suelo. Todos los monumentos estudiados aparecen profusamente colonizados en su exterior, siendo los organismos más evidentes los líquenes, pero también presentan musgos y algas. El grado de cobertura es del 70% por término medio, siendo además muy importante el número de especies líquénicas presentes: así, el número de especies diferentes presentes en únicamente cinco dólmenes (Casa dos Mouros, Axeitos, Argalo, Meixoeiro y Candeán) es de 65 (PRIETO *et al.*, 1994).

Por el contrario, la colonización líquénica es escasa en el interior de los megalitos, predominando aquí las algas y cianobacterias. Aunque esta colonización es muy llamativa, desde el punto de vista de la conservación del monumen-

to no tiene mayor trascendencia, sobre todo si se compara con, por ejemplo, las propiedades físicas de la roca, ya que en trabajos anteriores (PRIETO, 1997) se comprobó que la acción alterante de los líquenes en rocas graníticas únicamente afecta a los primeros milímetros superficiales, por lo que su presencia sólo habrá de ser tenida en cuenta en el caso de existencia de grabados.

Caracterización de los materiales rocosos de los dólmenes: grado de meteorización

En general, los materiales que conforman los dólmenes corresponden al sustrato geológico del lugar en el que se sitúa el monumento (Tabla I). Se trata en todos los casos de rocas de naturaleza granítica salvo en Forno dos Mouros-Ortigueira, en el que la roca es una cuarcita.

Las rocas graníticas más comunes en los dólmenes son granitos ligeramente tectonizados con cierta orientación de sus minerales, y neises, que muestran una fuerte tendencia a la foliación. Entre los granitos, el más orientado es el Granito tipo Dumbría en su facies situada más al Norte (Hoja 43 -Laxe; IGME, 1981) usado en Fornela Moura, Dombate y Pedra Vixía. El granito de anatexia (Casa da Moura-Queguas), el granito de dos micas de la zona de Pontevedra-Vigo y el de Barbanza, no muestran, en muestra de mano, una orientación mineral tan marcada, pero sus afloramientos tienden igualmente a romper en grandes lajas.

Los neises (paraneises y ortoneises) son menos abundantes; existen variedades de tamaño de grano fino (paraneis de biotita, en Dolmen de Meixoeiro), de grano medio (neis de biotita en los dólmenes del Morrazo y ortoneis biotítico en muchos de la Provincia de La Coruña) y de grano grueso (ortoneis glandular en Casa dos Mouros-Regoelle y ortoneis de Sobrado, ambos con grandes ojos de feldespato o cuarzo); en todos los casos, la orientación mineral es muy marcada, presentando texturas planares o glandulares. Otras rocas presentes en menos casos son las

granodioritas de tamaño de grano medio-grueso con fenocristales de feldespato potásico.

En la mayor parte de los monumentos todas las losas son de un único tipo de roca (Axeitos, Dombate, Pedra Cuberta, Pedra Vixía, Casa dos Mouros-Candeán) y en estos casos, son los granitos o los ortoneises las rocas más usadas. Otros dólmenes tienen dos o incluso tres rocas diferentes en su conformación (Arca da Piosa, Casa dos Mouros -Regoelle) (Tabla I).

A partir de la prospección de los afloramientos rocosos en los alrededores de los monumentos y del estudio petrográfico de todas las rocas, se desprende que los criterios que han prevalecido en la elección de los materiales son al menos dos: la cercanía de afloramientos y la tendencia de los materiales a romper en grandes lajas. Las rocas utilizadas en todos los dólmenes se caracterizan por presentar en mayor (neises) o menor medida (granitos y granodioritas) una tendencia a la disyunción en lajas, característica que facilita la extracción y el transporte de la roca al lugar elegido para levantar el monumento (SILVA *et al.*, 1992).

En cuanto al grado de meteorización de las rocas, en la Tabla II se presentan los resultados del análisis por difracción de rayos X de algunas de las muestras de los monumentos y de los afloramientos rocosos de procedencia. En términos generales, no existen diferencias resaltables entre la composición mineralógica de ambos tipos de muestras.

En algunas muestras, además de los minerales primarios componentes de las rocas, se detectan minerales secundarios, producto de la meteorización. El más común y abundante es la caolinita, mineral neoforado a partir de la meteorización de los feldespatos, que se detecta tanto en muestras de afloramiento como de monumentos; las cantidades son pequeñas aunque en algunos casos alcanzan porcentajes entre 3-10%. Otros minerales secundarios son la vermiculita y el interestratificado mica-vermiculita, que derivan de la meteorización de las micas. Se detectan en cantidades traza en varias muestras procedentes de monumentos

TABLA II. Resultados semicuantitativos de la difracción de rayos X de algunas muestras de los dólmenes y de los afloramientos rocosos

	Q	F	M	Cl	V	M-V	K	A
Provincia de Pontevedra								
C. Armada Cubierta (granito)	+++	+++	+	-	-	-	-	-
C. Armada Losa 7 (granito)	+++	+++	tr	-	-	-	+	-
C. Arquiña cubierta (neis)	+++	+++	++	-	-	-	-	-
C. Arquiña cubierta 3-(granito)	+++	+++	+++	-	tr	-	-	-
Candeán Losa 3 (neis)	+++	+++	+	-	-	-	-	-
Candeán Losa 3 (neis)	+++	+++	+	-	tr	-	-	-
Madroa 1 Losa 1 (neis)	+++	+++	+	-	-	-	-	-
Madroa 2 Losa 1 (neis)	+++	+++	++	-	-	+	+	-
Madroa 2 Losa 2 (neis)	+++	+++	+	-	-	tr	tr	-
Madroa 3 Losa 1 (neis)	+++	+++	+	-	-	-	+	tr
Meixoeiro Losa 1 corredor (paraneis)	+++	++	+++	-	-	-	-	-
Meixoeiro Losa 4 corredor (paraneis)	++	++	++	tr	-	-	tr	tr
Granito de feldespatos, afloramiento	+++	+++	++	+	-	-	+	-
Neis de biotita, afloramiento	+++	+++	++	-	-	-	-	-
Paraneis con plagioclasa, afloramiento	++	+++	+++	++	-	+	-	-
Provincia A Coruña								
	Q	F	M	Cl	V	M-V	K	A
Dombate Losa 4	+++	+++	++	+	-	-	tr	-
Pedra Vixía Losa 4	+++	+++	++	+	-	-	+	-
Casota Berdoias, Losa 1	+++	+++	++	tr	tr	-	tr	-
Granito Tipo Dumbría, afloramiento	+++	+++	+	tr	-	tr	tr	-
Monte Cárneo Losa 7 (ortoneis)	+++	+++	+	tr	-	-	-	-
Monte Cárneo Losa 4 (granodiorita)	+++	+++	++	-	-	-	tr	-
Serramo Losa 1 (neis)	+++	+++	++	tr	-	-	tr	-
Serramo Losa 8 (granodiorita)	+++	+++	++	tr	-	-	-	-
Pedra Cuberta Cubierta (granodiorita)	+++	+++	++	tr	-	-	tr	-
Pedra Cuberta, losa 4 (ortoneis)	+++	+++	+	-	-	-	-	-
Granodiorita Afloramiento	+++	+++	++	-	-	-	-	-
Ortoneis biotítico afloramiento	+++	+++	Tr	tr	-	-	tr	-
Arca Piosa Losa 1 (neis félsico)	+++	+++	+	-	-	-	-	+
Arca da Piosa, depósito cubierta	+++	++	+	+	-	-	-	-
Ortoneis cuarzo azulado, afloramiento	+++	+++	++	-	-	-	tr	tr
Neis félsico, afloramiento	+++	+++	+	-	+	-	tr	+
Casa dos Mouros cubierta	+++	+++	++	+	-	-	-	-
Ortoneis glandular, afloramiento	+++	+++	++	tr	-	-	-	-
Casa dos Mouros-Toques, Losa 7	+++	+++	++	-	-	++	tr	-
Casa dos Mouros-Toques, Losa CC4	+++	+++	++	-	-	tr	-	-
Casa dos Mouros-Toques, Losa CC4	+++	+++	+++	-	-	+	-	-
Toques-afloramiento	+++	+++	++	-	-	tr	-	-
Provincia de Lugo								
Roza das Modias, Losa 5	+++	++	+++	tr	-	-	+	-
Provincia de Ourense								
	Q	F	M	Cl	V	M-V	K	A
Serra da Mota, Losa 4	+++	+++	++	-	-	-	tr	-
Granito de dos micas, afloramiento	+++	+++	++	-	-	-	tr	-

Q: Cuarzo; F: feldespatos; M: Micas; Cl: Clorita; V: Vermiculita; M-V: Interestratificados Mica-Vermiculita; K: Caolinita; A: Anfíbol. ++++: más del 50%; +++: entre 50-30%; ++: entre 10-30%; +: entre 10-3%; tr: menor del 3%; -: no identificado.

(Chan de Arquiña, Candeán, Madroa, Casota de Berdoias) y sólo en una muestra de afloramiento (granito tipo Dumbría). La génesis de este mineral se ha asociado a la presencia de compuestos orgánicos en los medios de alteración (ROBERT & BERTHELIN, 1986; PRIETO *et al.*, 1997), por lo que su presencia puede quizás relacionarse con la elevada colonización biológica que presenta las rocas de estos monumentos (PRIETO *et al.*, 1994).

En términos generales, estos resultados indican que los procesos de meteorización han progresado de igual manera y a la misma velocidad en las rocas de los monumentos y en los afloramientos rocosos.

El estudio de las rocas de los monumentos comparativamente a las de los afloramientos de origen mediante microscopía petrográfica revela, sin embargo, diferencias en lo que se refiere al sistema poroso: así, se detecta, en general, un mayor grado de fisuración en las muestras de los dólmenes; esta fisuración puede ser intragranular (dentro de los granos minerales), intergranular (entre granos) y transgranular (atravesando varios granos). En los dólmenes construidos con granitos tectonizados este incremento afecta más a la fisuración intergranular, mientras que en los neises, el incremento de la fisuración es mayoritariamente de tipo transgranular.

Un mayor grado de fisuración se ha encontrado en muestras del granito tipo Dumbría del dolmen Casota de Berdoias, en muestras del granito del Barbanza en Arca do Barbanza, en muestras de neis de Chan de Arquiña y Chan de Armada, en muestras de ortoneis biotítico de Monte Carne, en muestras de neis félsico de Arca da Piosa y en muestras de neis de biotita de Candeán, Madroa 1 y 2. En las muestras de neises y ortoneises que han sido arriba citadas se encuentra, además, que la fisuración es mayoritariamente transgranular y está patente hasta una profundidad de 5-10 mm; así mismo, se observa que es paralela a la superficie y, al mismo tiempo, paralela al sistema de fisuras intrínsecas que este tipo de rocas poseen y que está asociado a la orientación mineral. En este

sentido, está clara la relación entre esta fisuración superficial y la estructura de la roca. Las fisuras más cercanas a la superficie están abiertas, es decir, son fracturas; sin embargo, están mineralizadas (es decir, rellenas con oxihidróxidos de hierro), lo que indica que son muy antiguas y su progreso es muy lento.

La única alteración mineralógica que se detecta mediante microscopía petrográfica y que aparecen exclusivamente en las rocas de los monumentos es una mayor segregación de óxidos de hierro los cuales, en muchos casos, aparecen de un color fuertemente rojizo. Esto se ha encontrado en Chan de Armada (en una muestra recogida en el interior de la cámara, en un área de color fuertemente rojizo), en Casota de Berdoias y Roza das Modias. En las muestras de este último, además, el estudio petrográfico revela un grado de meteorización muy importante apoyando los resultados de la difracción de rayos X. Desde la superficie hasta 3 mm de profundidad algunos minerales, especialmente las plagioclasas y los granates, aparecen fuertemente corroídos y transformados favoreciendo la pérdida de coherencia que muestra la roca.

Formas de alteración y análisis de los factores de deterioro

Las rocas de los dólmenes presentan ciertas morfologías de alteración que no se observan en los afloramientos. Esto indica que, además del proceso de meteorización que afecta a las rocas sea cual sea su asentamiento, en las construcciones intervienen otros mecanismos que dan lugar a unas formas de alteración particulares. Son las siguientes:

Exfoliaciones

La apertura de las piezas rocosas siguiendo planos de debilidad estructural (exfoliación) es la forma de alteración más común y generalmente más grave. Este fenómeno se presenta en un grado notable en Roza das Modias, Cova da Moura, Chan de Armada, Forno dos Mouros –

Ortigueira- y Casa dos Mouros-Regoelle. Es tanto más marcado cuanto más anisótropa sea la roca pero también se da en las rocas menos orientadas. La apertura de los planos propicia la entrada y circulación de agua a su través, favoreciendo la meteorización de la roca y por tanto disminuyendo su resistencia mecánica.

Los bordes superiores de los ortostatos, que soportan el peso de las losas de cubierta, son especialmente susceptibles a la apertura y a la formación de fisuras a favor de dichos planos (Dombate, Pedra Cuberta, Toques, Chan de Armada). Las rocas más orientadas tienen una fuerte tendencia a exfoliar ya en los afloramientos naturales, pero al colocarlas en las construcciones, esta tendencia se acentúa: las lajas situadas en posición vertical y sometidas a un esfuerzo de compresión tienden a abrir por los planos de debilidad estructural.

Fracturas y fisuras

Todas las rocas graníticas que conforman los dólmenes presentan una red de fisuración caracterizada por fisuras inter-, intra- y transgranulares. A nivel microscópico se observa, en las más orientadas, una tendencia de las fisuras (sobre todo trans- e intergranulares) a orientarse paralelamente a los planos de orientación mineral. Además de esta red de fisuración, en la mayoría de los dólmenes existen fisuras a mayor escala o fracturas (esto es fisuras que prácticamente dividen en dos alguna pieza) que pueden llegar a plantear problemas de estabilidad estructural (Dolmen de Cabaleiros, Fornela das Mouras, Casota de Berdoias, Monte Cárneo, Pedra Cuberta, Cova da Moura, Forno dos Mouros). Probablemente la fisuración intrínseca de las rocas favorece la aparición de esta fracturación pero indudablemente son los problemas constructivos relacionados con una errónea distribución de cargas los responsables de su desarrollo.

Separaciones superficiales y desagregación arenosa

Estas dos formas de alteración son las más comunes en los edificios graníticos y se considera que son provocadas por procesos alternantes de cristalización y disolución de sales (SILVA *et al.*, 1996 a, b). Las separaciones superficiales son separaciones de la capa más superficial de la piedra paralelamente a las superficies expuestas y sin relación aparente con la estructura de la roca (no son exfoliaciones). La desagregación arenosa consiste en una pérdida de material grano a grano. Las separaciones superficiales reciben diferentes nombres en función de su grosor (placas, más gruesas, plaquetas y escamas, más finas); generalmente están asociadas con la presencia, en las rocas, de cantidades importantes de sales de baja solubilidad como los sulfatos. La desagregación arenosa está asociada, sin embargo, con sales de elevada solubilidad, como los cloruros y los nitratos (SILVA *et al.*, 1996 a, b).

Las separaciones superficiales abundan en Dombate, Roza das Modias, Cova da Moura, Forno dos Mouros-Toques, Arca da Piosa y Casa dos Mouros-Regoelle, siempre en el interior de los megalitos. La desagregación arenosa aparece en pocos dólmenes y siempre en el interior. Es el caso de Casota de Berdoias, Arca da Piosa, Casota do Páramo y Arca do Barbanza. En Forno dos Mouros y Roza das Modias también existe, y es muy intensa, aunque en ambos casos se atribuye claramente a una fuerte caolinitización de los feldespatos que provoca una pérdida de la coherencia de las rocas y la caída de los granos minerales más resistentes.

Para determinar si en el origen de estas dos formas de alteración está implicada la acción de las sales, se realizó un análisis del contenido de iones solubilizados en muestras recogidas a distintas alturas en el interior de las cámaras de algunos monumentos. Los resultados se presentan en la Tabla III.

Los contenidos obtenidos de iones solubilizados son demasiado bajos para ser

TABLA III. Resultados de la extracción de iones de muestras recogidas en los dólmenes donde se describieron separaciones superficiales y arenización

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
Arca da Piosa								
0.30	4.59	3.22	4.00	0.49	4.06	7.32	-	107.74
0.70	2.39	2.39	1.66	0.22	1.31	3.73	-	90.21
1.50	2.98	2.59	1.83	0.10	-	3.77	-	92.20
Casota Berdoias								
0.18	2.90	2.73	2.40	0.41	3.87	11.08	-	57.78
0.30	1.47	2.03	2.12	0.28	2.68	7.24	-	55.11
0.58	3.60	4.97	2.45	0.46	4.49	17.53	-	15.27
1.10	3.14	3.73	2.36	0.72	5.10	17.70	-	52.28
Bajo cubierta	2.22	3.59	2.56	0.43	4.26	7.22	-	39.78
Cova da Moura-Argalo								
0.35	3.90	2.34	2.14	0.39	-	2.62	-	58.29
0.60	1.94	2.14	2.23	0.29	-	-	-	38.78
0.90	1.00	1.99	1.89	0.20	-	-	-	46.33
1.05	0.98	2.36	3.05	0.49	-	5.82	-	36.02
Forno dos Mouros-Toques								
L7 0.15	35.68	5.65	24.38	1.51	35.52	30.20	45.14	27.35
L7 0.25	33.17	11.12	18.63	1.28	35.02	35.10	41.43	-
L7 0.35	33.43	7.21	17.03	1.13	29.26	25.67	21.49	21.54
CC4 0.25	1.49	1.21	6.43	0.21	3.57	6.28	0.75	40.50
CC4 0.50	0.79	1.18	5.40	0.20	3.09	6.21	0.79	12.77
C4 0.10	15.27	7.14	33.02	1.61	27.45	30.59	56.88	-
C4 0.35	7.99	2.76	13.41	0.84	15.19	16.17	26.24	-
C4 0.7	6.28	3.93	28.95	1.16	18.64	41.49	23.31	12.14
Bajo cubierta	0.98	1.76	5.67	0.21	8.28	11.89	0.79	<0.1
Casota do Páramo								
0.80	15.07	5.31	7.58	0.36	17.19	9.11	8.80	90.82
1.30	11.58	4.39	7.42	0.33	15.47	14.15	7.21	57.14
Arca do Barbanza								
0.70	18.48	4.67	4.39	0.13	19.36	7.84	3.87	31.08
1.10	13.50	4.18	6.37	0.30	16.03	6.65	6.59	-
Bajo cubierta	15.94	3.77	7.73	0.50	24.15	11.98	9.89	64.35
Roza das Modias								
0.30	56.79	4.88	19.53	1.39	94.54	10.66	19.13	143.02
0.60	47.79	3.98	14.04	1.03	76.71	13.47	17.96	17.37
1.20	16.75	4.24	48.48	1.21	26.17	73.18	19.25	52.14
Dombate								
L4 0.24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.78	13.32	4.53	-
L4 0.51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.13	6.92	5.30	-
L4 1.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8.78	11.95	1.17	-
L6 0.14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.70	9.65	3.74	-
L6 0.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38.83	37.51	74.58	-
L6 1.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.41	9.24	4.94	-
Suelo cámara	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10.80	22.56	12.17	-

Se indica la altura (en metros) donde se recogió la muestra. En Forno dos Mouros-Toques, se recogió muestra en tres losas verticales (losa 7, losa corredor 4 y losa 4).; en Dombate, en dos losas verticales (L4 y L6) y en el suelo de la cámara. Resultados expresados en mg/100gr. -: no detectado; n.d.: no determinado.

considerados la causa del desarrollo de ambas formas de alteración. No se encuentra, además, relación entre formas de alteración-tipo de ión, es decir, no se detectan sulfatos en mayores cantidades en aquellos casos en los que existe desarrollo de separaciones superficiales, ni tampoco mayores cantidades de cloruros o nitratos en donde existe desagregación arenosa.

Por otra parte, no se detecta la existencia de pautas de distribución de los iones con la altura, lo que, de existir, sería revelador de que se produce una movilización de sales que es imprescindible para que se desencadene el deterioro.

En ningún dolmen se da la circunstancia de que exista un ión mayoritario en todas las muestras recogidas, lo cual imposibilita poder establecer el origen de los distintos iones analizados y establecer relaciones entre éstos y factores de sitio, como la cercanía al mar (que podría explicar altos contenidos de cloruros, sodio y magnesio) o el uso en áreas cercanas al monumento de fertilizantes orgánicos naturales (posible origen de los nitratos). La ausencia de nitratos en la mayoría de los dólmenes y las bajas cantidades de cloruros en aquellos situados cerca del mar (Fornela das Mouras, Arca do Barbanza), puede indicar que los iones que han podido depositarse a partir de la atmósfera se lavan en zonas sometidas a percolación que, en los dólmenes y debido a sus particular diseño, son difíciles muchas veces de definir.

Ante estos resultados y sin menospreciar el papel de las sales que aun en pequeñísimas cantidades podrían ser muy activas, pensamos que en el caso de las separaciones superficiales encontradas en los dólmenes, el calentamiento producido por hogueras (práctica que desgraciadamente sigue siendo frecuente) puede ser el desencadenante: las rocas graníticas, debido a su carácter polimineral, son especialmente susceptibles a las altas temperaturas. La dilatación mineral por incremento de temperatura no es la misma para el cuarzo que para los feldspatos, lo que provoca tensiones en el seno de la roca que originan la formación de fisuras. Este hecho, junto con la deshidratación de los oxihidróxidos de hierro de la roca que producen las altas tem-

peraturas lleva a una modificación del sistema fisural de la capa expuesta al fuego que puede provocar un desprendimiento tras procesos alternantes de humectación-secado o fuegos sucesivos. Así, en Cova da Moura, Forno dos Mouros-Toques y Casa dos Mouros-Regoelle, donde existen separaciones superficiales más o menos gruesas, se han constatado evidencias de calentamiento por fuego.

Otra forma de deterioro descrita es la *alteración cromática*, muy frecuente en el interior de los dólmenes; se trata de enrojecimientos localizados que son provocados por la acción de fuegos y altas temperaturas: el calentamiento produce deshidratación de los oxihidróxidos de hierro liberados en la meteorización de las biotitas y esta deshidratación le confiere un fuerte color rojizo. Esta alteración se observa en Cabaleiros, Casota de Berdoias, Cova da Moura, Forno dos Mouros-Toques, Casa dos Mouros-Regoelle y Chan de Armada.

Por último, en algunos dólmenes (Meixoeiro, Arca da Piosa) se observan *depósitos superficiales* de aspecto amorfo, duros, de coloración parda. El análisis de dichos depósitos revela que están constituidos por silicatos (cuarzo, compuestos no cristalinos y, en algunos casos, caolinita y montmorillonita). Son muy comunes también las *pátinas negras* de origen biológico.

Análisis de la influencia de las propiedades físico-mecánicas en la conservación de los dólmenes

En la Tabla IV se presentan los resultados de los parámetros físico-mecánicos determinados en las rocas usadas en la construcción de 21 dólmenes. Los valores de porosidad accesible obtenidos oscilan entre 2-4% (las rocas más orientadas y de granulometría más fina) y 4-6% (las menos orientadas, generalmente las granodioritas y granitos neósicos). Destaca el valor de la granodiorita biotítica de Cabaleiros, roca que presenta un tamaño de grano muy grueso y un grado de meteorización, en afloramiento, bastante acentuado.

TABLA IV. Parámetros físico-mecánicos de las rocas usadas en los dólmenes seleccionados (ver pie de tabla y TABLA I)

	DR Kg/m ³	DA Kg/m ³	PA %	WS a.l. %	C.C. Kg/m ² .sg ^{0,5}	WS a.c. %	S. a.c. %	R.C. kg/cm ²	R.F. kg/cm ²
Granito tipo Dumbría (facies orientada) ¹	2650	2540	4,13	1,63	0,0082	1,144	70,18	835	97
Ortoneis glandular ²	2640	2580	2,33	0,9	0,004	0,611	67,89	960	70
Granodiorita biotítica ³	2679	2490	6,99	2,53					
Granodiorita precoz ⁴	2707	2563	5,29	1,85	0,0123	1,74	94,05		
Ortoneis biotítico ⁵	2679	2554	2,85	1,09	0,0069	0,98	89,91	1744	136
Granito feldespato alcalino ⁶	2664	2603	2,28	0,81	0,0048	0,72	88,89		
Neis de Biotita ⁷	2652	2575	2,90	1,01	0,0081	0,941	93,17		
Paraneis con plagioclasa ⁸	2754	2667	3,14	1,11					
Granito de dos micas ⁹	2668	2570	3,65	1,42	0,0106	1,29	90,85	855	184
Ortoneis de Sobrado ¹⁰	2684	2599	3,18	1,59	0,0102	1,08	67,92	856	112

1: Dombate, Fornela Moura, Pedra Vixía; 2: Casa dos Mouros (Regoelle); 3: Dolmen de Cabaleiros; 4: Pedra Cuberta, Pedra Moura Monte Cárneo, Anta de Serramo y Casa dos Mouros (Regoelle); 5: en Pedra Cuberta, Pedra Moura Monte Cárneo y Anta de Serramo; 6: Dolmen de Castiñeiras; en Chan de Arquíña, Chan de Armada y Freiría. 7: Casa dos Mouros (Candeán, Vigo), Madroa 1 y 2 y losas de Freiría, Chan de Arquila, Chan de Armada y Dolmen do Meixoeiro. 8: en Dolmen de Meixoeiro; 9: Mota Grande; 10: Forno dos Mouros (Toques).

DR: densidad real; **DA:** densidad aparente; **PA:** Porosidad accesible; **WS a.l.:** Contenido de agua absorbida hasta saturación por absorción libre; **CC:** Coeficiente capilar; **W.S. a.c.:** contenido de agua absorbida hasta saturación por capilaridad; **%S a.c.:** porcentaje de saturación en agua por absorción capilar; **R.C.:** Resistencia a compresión; **R.F.:** Resistencia a flexotracción.

El contenido de agua absorbida en absorción libre (valores WS-%, Fig. 2a) es proporcional a la porosidad de las mismas; también lo es -en estas rocas en particular- la cantidad de agua que absorben por unidad de superficie (que corresponde al coeficiente capilar CC, Fig. 2b).

En la mayoría de las rocas se observa que la cantidad de agua que es absorbida tras saturación en absorción libre (es decir, absorbiendo por todas las caras de la probeta) es muy cercana a la cantidad de agua absorbida tras saturación por ascenso capilar (WS a.c.-%), obteniéndose así valores de S (%) cercanos al 100%; esto indica que la mayor parte de las fisuras de estas rocas (que son mayoritariamente de tipo inter y transgranular) participan en procesos de absorción capilar y que, además, existe una buena comunicación entre ellas. Esta buena permeabilidad a los fluidos implica que el agua que

absorbe la roca (en mayor o menor cantidad en función del porcentaje de fisuras) no permanecerá almacenada en la misma siempre y cuando se permita su salida, facilitando por ejemplo, su evaporación. El rápido secado y el bajo contenido de agua que permanece en las rocas tras la desorción y que se observa en la Fig. 2 son reflejo de esta buena permeabilidad.

El ortoneis glandular y el ortoneis de Sobrado muestran un valor de S (%) algo menor que el resto (alrededor de 60%, es decir, del total del agua que la roca puede absorber a presión atmosférica, sólo un 60% corresponde al agua que penetra por fuerzas capilares). Estas son, de las rocas estudiadas, las de mayor tamaño de grano; exhiben, además, un elevado porcentaje de fisuras intragranulares (presentes en el interior de los fenocristales de feldespato en el ortoneis glandular y en los cuarzos y feldespatos en el ortoneis

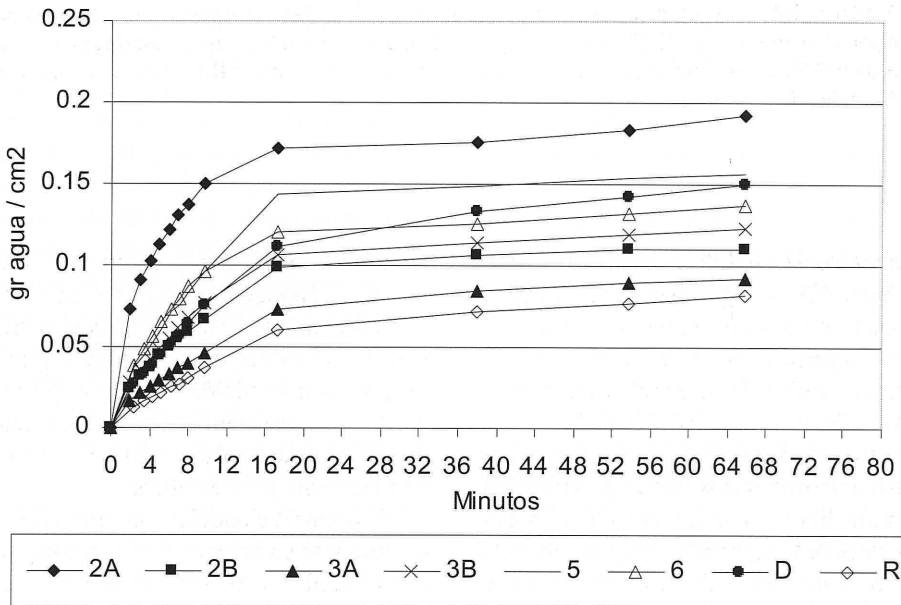
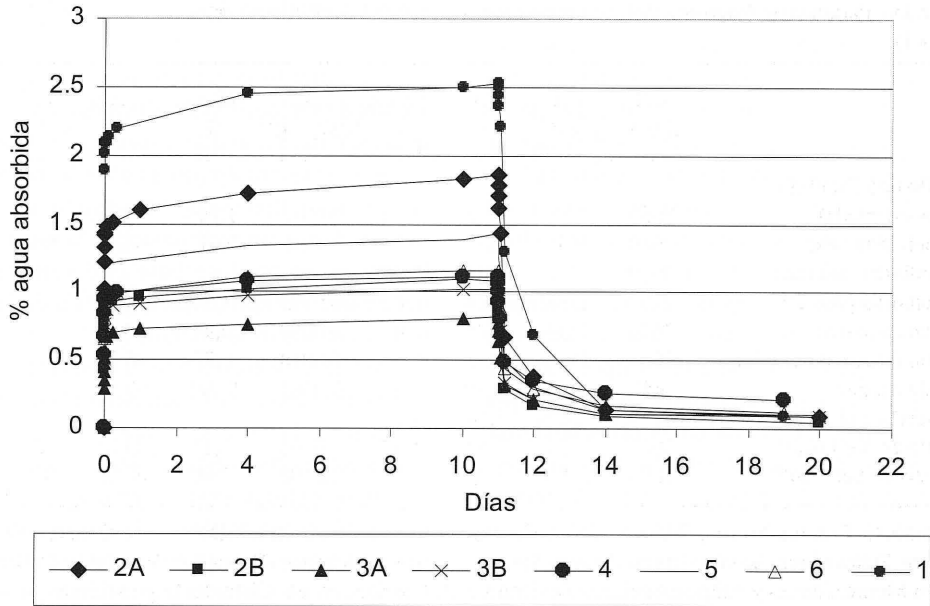


Fig. 2. Superior (a), cinética de absorción libre de agua y desorción de las rocas usadas en la construcción de algunos dólmenes; Inferior (b): cinética de absorción capilar de las mismas rocas. R: Ortoneis glandular; D: Granito tipo Dumbria, facies orientada; 2A: Granodiorita precoz; 2B: Ortoneis biotítico; 3A: Granito de feldespato alcalino; 3B: Neis de biotita; 4: Paraneis con plagioclasa; 5: Granito de dos micas; 6: Ortoneis de Sobrado (ver Tabla I).

de Sobrado), las cuales son más estrechas que las inter y transgranulares y están escasamente comunicadas con el resto del sistema poroso. Este hecho reduce por tanto la permeabilidad de las rocas así como la capacidad de absorber rápidamente gran cantidad de agua por capilaridad; sin embargo, favorece que se produzcan con mayor probabilidad procesos de condensación, debido a la menor anchura de dichas fisuras.

Salvando las diferencias que se encuentran entre las rocas estudiadas, se puede decir que todas, comparativamente a otros tipos rocosos, absorben una importante cantidad de agua por procesos capilares; pero además, el hecho de que en las losas verticales de los dólmenes la dirección de ascenso de agua se produzca de manera paralela a la orientación mineral (estas losas siempre están colocadas con sus planos de disyunción u orientación mineral perpendicularmente a la superficie del terreno) siempre determinará que la columna de agua alcance mayor altura que si las losas estuvieran colocadas con sus planos de disyunción perpendicularmente a la dirección de ascenso de agua.

En cuanto a la resistencia mecánica, ésta es más elevada cuanto menor es la porosidad (Tabla IV); se detecta lo esperado en rocas con sistema poroso de tipo fisural, que es la obtención de valores de resistencia a flexotracción 10 veces menores que los valores de resistencia a compresión.

La anisotropía fisural que caracteriza a todas estas rocas (es decir, la existencia de planos fisurales paralelos a la orientación mineral) determina que exista una dirección de aplicación de esfuerzo mecánico en la que se obtiene una mayor resistencia (RIVAS *et al.*, 1999): en los dólmenes, la colocación de las piezas es tal que la roca está en la posición más resistente, tanto frente al esfuerzo de flexotracción (el que sufre la cubierta, en este caso, las fisuras se orientan perpendicularmente al esfuerzo) como frente al esfuerzo a compresión (el que sufre las losas verticales en los puntos de apoyo de la cubierta, en este caso, la posición más resistente se alcanza colocando las fisuras paralelamente al esfuerzo).

CONCLUSIONES

En términos generales, el estado de conservación de los monumentos estudiados es bastante deficiente. En lo que respecta a los materiales rocosos, estos presentan una serie de morfologías de alteración típicas cuyo desarrollo, si bien está determinado principalmente por la estructura de las rocas, se produce bajo circunstancias que tienen que ver con un deficiente cuidado y protección de los monumentos.

Así, la anisotropía fisural asociada a la existencia de planos de disyunción o a la orientación mineral de las rocas favorece muchas de las alteraciones observadas: el desarrollo de muchas fracturas, exfoliaciones y separaciones superficiales está relacionado con la apertura de dichos planos a través de la acción de altas temperaturas (fuegos en las cámaras que, además, modifican el color de las superficies rocosas), a través de la modificación en la distribución de cargas (desplazamiento de las losas) y a través de la circulación de agua entre ellos. Estas formas de alteración no sólo afectan a la conservación general del monumento sino que suponen un serio peligro para las pinturas megalíticas en aquellos dólmenes que conservan restos pictóricos.

A mayor escala, la anisotropía fisural determina un comportamiento frente al agua y frente a cargas mecánicas que también tiene incidencia en la conservación de las pinturas. El alto grado de comunicación de los espacios vacíos, y el hecho de que la mayor parte de las fisuras participan en procesos de absorción capilar, determinan una fácil absorción de agua por capilaridad. Esto, unido a que los planos de fisuración son siempre paralelos al ascenso de agua por capilaridad desde el suelo, lo que favorece que ésta alcance mayor altura, puede suponer un grave riesgo para las pinturas; así, en los casos concretos en que pueda darse este hecho, se debe actuar reduciendo la cantidad de agua que la roca tome por absorción capilar, drenando el agua que pueda llegar al suelo de la cámara y a través de un control microclimático orientado a facilitar la evaporación del agua absorbida, proceso que en la mayoría de estas rocas, debido a la buena

comunicación entre espacios vacíos, es muy efectivo.

Con respecto a los esfuerzos mecánicos, si bien las rocas están colocadas en la posición idónea respecto a su anisotropía fisural, este carácter puede también favorecer una disminución de la resistencia mecánica si se produce una modificación en la distribución de cargas (por ejemplo, debido al desplazamiento de las losas) especialmente en los apoyos de la cubierta sobre las losas verticales; en este caso, se produce la apertura de los planos y exfoliaciones, perjudiciales para las pinturas (ya que a través de ellos comienza a circular agua) y para la conservación integral del monumento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y por la Comisión Interdepartamental de Ciencia y Tecnología de Galicia a través de un proyecto de Investigación y Desarrollo Tecnológico (FEDER).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRERA, F. (1997). Recientes aportaciones al catálogo de dólmenes en Galicia. *Brigantium*, **10**: 409-414.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA -IGME (1981). *Mapas geológicos de España, E1:50.000. Segunda Serie, Primera Edición*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- PRIETO, B. (1997). *Biodeterioro de rocas graníticas. Contribución de los líquenes al deterioro del Patrimonio Monumental Construido*. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela.
- PRIETO, B., RIVAS, T., SILVA, B., CARBALLAL, R. & LÓPEZ DE SILANES, M.E. (1994). Colonization by lichens of granitic dolmens in Galicia (N.W. Spain). *International Biodeterioration and Biodegradation*, **34** (1): 47-60.(1994).
- PRIETO, B., SILVA, B., RIVAS, T., WIERZCHOS, J. & ASCASO, C. (1997). Mineralogical transformation and neof ormation in granite caused by the lichens *Tephromela atra* and *Ochrolechia parella*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **40** (2-4): 191-199.
- REUNION INTERNACIONAL DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHE SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS (RILEM). Commission 25 PEM (Protection et Erosion des Monuments) (1980). Porosity accessible to water (Test I.1), Water absorption coefficient (Test II.6); Capillarity (Test VI.3). *Matériaux et constructions*, **13** (75).
- RIVAS, T., PRIETO, B. & SILVA, B. (1999). Influence of rift and bedding planes on the physico-mechanical properties of granitic rocks. Implications for the deterioration of granitic monuments. *Building and Environment*, **35**: 387-396.
- ROBERT, M. & BERTHELIN, J. (1986). Role of biological and biochemical factors in soil mineral weathering. *Interaction of soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. Soil Sci. Soc. of Am. Special Publication: 453-495.
- SILVA, B., RIVAS, T. & PRIETO, B. (1992). Evaluación del estado de alteración de los dólmenes graníticos en Galicia. *Actas de la II Reunión Nacional de Geoarqueología*: 493-505, Madrid.
- SILVA, B., RIVAS, T. & PRIETO, B. (1996a). Relation between type of soluble salt and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain). *Protection and Conservation of the European Cultural Heritage*, European Commission-DGXII Research Report, **4**: 181-190.
- SILVA, B.M., RIVAS, M.T., PRIETO, B. & DELGADO, J. (1996b). A comparison of the mechanisms of plaque formation and sand disintegration in granite in historic buildings. *Degradation and Conservation of granitic rocks in monuments*. European Commission-DG XII Special publication: 269-274.
- UNE (1988). Métodos de ensayos para cementos UNE 80-101-88, Apartado 9.