

ENROCAMENTO ARGAMASSADO UM MATERIAL ENTRE O ENROCAMENTO E O BETÃO*

Grouted Rockfill A Material Between Rockfill and Concrete

por
ÚLPPIO NASCIMENTO**

RESUMO – Define-se enrocamento argamassado e compara-se a sua composição, características e processo de execução com outros materiais afins, tais como o simples enrocamento, o betão injectado, o betão cilindrado, o betão ciclópico, o seixo-cimento, o solo-cimento e o macadame.

Perspectivam-se numerosas aplicações, sublinhando porém a necessidade, em cada caso, de estudos adequados, principalmente em maciços experimentais executados nas condições específicas da própria obra.

Apresenta-se um exemplo de aplicação numa obra, junto à barragem do Carrapatelo, no rio Douro, de estabilização duma encosta rochosa que apresentava grandes reentrâncias devidas a anteriores escorregamentos.

O enrocamento argamassado foi utilizado no preenchimento de tais reentrâncias e na regularização do talude com a inclinação de 2,5 : 1 (V : H) e com cerca de 20 m de altura.

Como agregado grosso, com pedras até 80 cm, aproveitou-se parte dos escombros dos referidos escorregamentos. Na argamassa, que se fez penetrar nos vazios do agregado grosso, utilizou-se um agregado sem areia com o fim de obter um material altamente drenante.

A comparação de preços com alguns tipos de betão foi favorável ao enrocamento argamassado.

SYNOPSIS – A definition is given for grouted rockfill whose composition, characteristics and execution procedure are compared with such materials as plain rockfill, prepacked concrete, rolled concrete, cyclopean concrete, gravel-cement, soil-cement and macadam.

A number of applications are focussed, the need being stressed to carry out appropriate studies in each case, mainly in test fills constructed in conditions similar to those of the work concerned.

An instance of application is described, which consisted of the stabilization of a rocky slope presenting large recesses due to earlier rockslides, in a work near Carrapatelo dam on river Douro.

Grouted rockfill was used to fill those recesses and to dress the slope inclined at 2.5 : 1 (V : H) and about 20 m high.

As coars aggregate, with stones up 80 cm, part of rockfill wastes were used. Grout which was forced into the voids of the coars aggregate was made up of an aggregate without sand to ensure high capacity of drainage.

Comparison of costs with some types of concrete favoured grouted rockfill.

* Manuscrito recebido em Outubro de 1984. A discussão do trabalho está aberta por um período de três meses.

** Investigador do LNEC

INTRODUÇÃO

Fazendo penetrar uma argamassa de cimento nos vazios de um enrocamento, à medida que se executam as respectivas camadas, obtém-se o que se poderá designar por enrocamento argamassado (EA).

A introdução da argamassa no enrocamento é feita espalhando-a sobre este e forçando a sua entrada nos respectivos vazios por meio de apiloamento ou vibração, vibração esta que pode ser realizada por meio de cilindros vibradores.

Trata-se pois dum material com composição e características intermédias entre as do simples enrocamento e as do betão, conforme se esquematiza nas Fig. 1 e 2.

Relativamente a alguns tipos de betão, como sejam o betão injectado («prepacked concrete») e o betão cilindrado («rolled concrete»), o EA apresenta certas afinidades. Com o betão injectado, porque também neste material uma argamassa é forçada a penetrar nos vazios do agregado grosso previamente colocado em obra. Com o betão cilindrado, porque também nele há um espalhamento em camadas as quais são depois cilindradas.

Aliás, esta mesma afinidade existe em relação ao seixo-cimento («gravel-cement» ou «grave-cement»), que também é espalhado em camadas e depois cilindrado, apenas diferindo na menor dosagem de cimento e em especificações menos exigentes para o agregado. Enquanto o betão cilindrado se equipara ao betão normal, o seixo-cimento equipara-se ao betão magro («lean concrete»).

Há também alguma afinidade entre o EA e o betão ciclópico: em ambos os materiais existem pedras de grandes dimensões que não foram previamente misturadas com o restante material. No EA essas pedras foram previamente espalhadas em conjunto com o restante agregado grosso; no betão ciclópico tais pedras são incorporadas no momento da betonagem.

A afinidade do EA com o solo-cimento surgirá quando, em vez de uma argamassa corrente para enchimento dos vazios, for utilizado solo-cimento plástico. A tecnologia do solo-cimento permite, com efeito, a execução não só do solo-cimento compactado, que é aplicado com a consistência de terra húmida, mas também do solo-cimento plástico, que é aplicado com a fluidez de uma argamassa. A noção de argamassa relativa ao EA envolve pois não só a usual argamassa de cimento e areia mas também a argamassa constituída por solo-cimento plástico.

No quadro junto localiza-se o enrocamento argamassado relativamente aos referidos materiais afins. Trata-se pois dum material com pré-mistura parcial, tal como o betão injectado e o betão ciclópico, e não com pré-mistura total, como o betão normal, o betão cilindrado ou o seixo-cimento. A dimensão do agregado grosso pode atingir alguns decímetros, e a sua dosagem em cimento pode ir desde a de um betão magro até à de um betão normal.

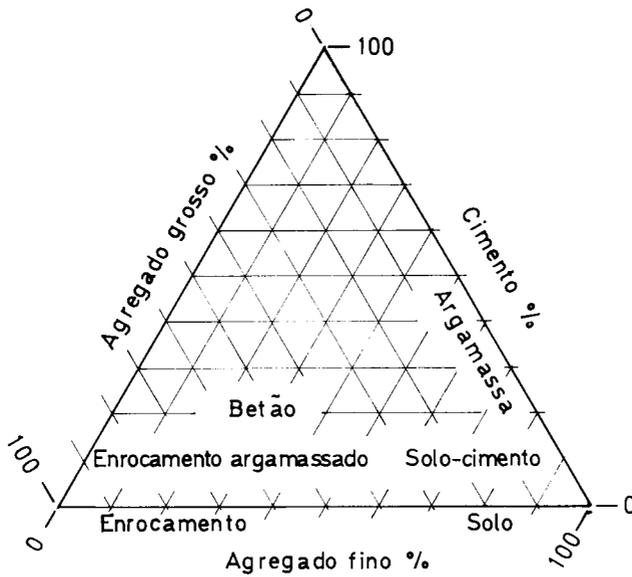


Fig. 1 — Composição do enrocamento argamassado e de materiais afins

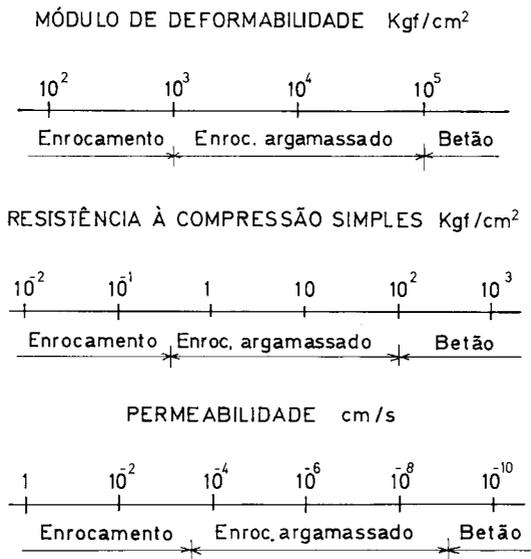


Fig. 2 — Características do enrocamento argamassado e de materiais afins

Com o macadame, que é um tipo especial de enrocamento, também o EA tem a afinidade de a fracção mais fina, o saibro ou o pó de pedra («screenings»), ser introduzida nos vazios da brita depois de esta ser espalhada no pavimento.

Dada a larga gama de valores coberta pelas características do EA, são, em princípio, relativamente vastas as perspectivas para a sua aplicação em vários tipos de obras: barragens, aterros, pavimentos de estradas e aeródromos, fundações, estabilização de taludes, etc. Tratando-se porém de material sobre o qual é pequena a experiência de comportamento em obra, a sua aplicação deve revestir-se de certa prudência e ser precedida de estudos adequados.

Nota-se no entanto que as dificuldades de obter em laboratório amostras suficientemente representativas do material em obra, aconselham a que se dê especial importância a estudos conduzidos no campo, em maciços experimentais realizados nas condições reais das obras.

Parecendo que o EA é um material que, nalguns casos, pode ser mais adequado e económico do que outros materiais de uso corrente, pretende-se com este trabalho estimular a sua utilização.

O exemplo que se apresenta é um caso em que essa adequação e economia parecem demonstradas.

Dimensão máxima do agregado (mm)	Dosagem de cimento	Pré-mistura total		Pré-mistura parcial	Enrocamento argamassado
		Consistência plástica	Consistência de terra húmida		
300	Normal			Betão ciclópico	
	Baixa				
50	Normal	Betão normal	Betão cilindrado	Betão injectado	
	Baixa	Betão magro	Seixo-cimento		
5	Normal	Argamassa			
	Baixa	Solo-cimento plástico	Solo-cimento compactado		

ENROCAMENTO ARGAMASSADO E MATERIAIS AFINS

Em relação ao simples enrocamento, o EA, para a mesma porosidade, apresenta maior resistência, dado que nessa resistência, além da parcela friccional, há também uma parcela coesiva devida ao cimento. Em certas aplicações onde a compactação do enrocamento seja difícil, essa maior resistência permitirá obter um material com o comportamento pretendido mesmo sem esforço de compactação significativo; ou então, onde interesse diminuir o volume de aterro, conseguir esse objectivo com uma compactação normal.

Como consequência da maior rigidez que lhe é conferida pelas ligações entre partículas estabelecidas pelo cimento, a deformabilidade do EA será menor do que a dum simples enrocamento; e essa característica pode ser muito importante em obras onde se temam assentamentos.

A escolha da permeabilidade a conferir ao EA por via da argamassa, pode também ser característica de muito interesse nalgumas obras.

Na comparação entre o EA e o betão injectado, ambos materiais fabricados a partir de um agregado grosso previamente colocado em obra sendo depois os seus vazios preenchidos com uma argamassa, as diferenças entre eles resultam principalmente das respectivas tecnologias de base: a dos enrocamentos para o EA, a dos betões para o betão injectado. Assim, o agregado grosso do betão injectado deve obedecer a todos os requisitos relativos ao betão corrente. Deve pois ser bem graduado desde a dimensão mínima de 20 mm a 30 mm até um máximo que em geral não excede 40 mm a 50 mm, mas que pode ser a maior que for praticável. A sua porosidade é da ordem de 35% a 50%.

A argamassa é introduzida por bombagem nos vazios do agregado grosso, devendo, para esse efeito, a máxima dimensão da respectiva areia não exceder 1/8 a 1/10 da mínima dimensão do agregado. Por vezes melhora-se a compactação do betão por meio de vibração externa.

O betão assim obtido apresenta a mesma resistência à compressão que um betão idêntico tradicional, embora com menor retracção. Isto devido à circunstância de as partículas do agregado grosso contactarem entre si formando um esqueleto.

Num EA a penetração da argamassa nos vazios do agregado faz-se por gravidade a partir da superfície num percurso que não excede a espessura da camada. Deste modo é dispensado o sistema de bombagem bem como a respectiva rede de tubos de distribuição e de injeção. A composição e fluidez da argamassa não carecem assim de ser condicionadas pela necessidade de escoar facilmente nas tubagens.

Esta possibilidade de adoptar argamassas menos fluidas conjugada com a faculdade de não se preencher completamente os vazios do agregado grosso permitem o fabrico de uma larga gama de materiais cujas resistências, consoante as aplicações, podem ir desde as do simples enrocamento até às de um betão injectado, e cuja

permeabilidade, por conveniente escolha da argamassa, pode também situar-se entre as dos referidos materiais (Fig. 2).

Relativamente ao agregado grosso, no EA pode ser maior a liberdade no estabelecimento das respectivas especificações com o fim de aproveitar ao máximo os materiais disponíveis em depósitos naturais, em pedreiras, em escavações de terraplenagens, em escombreliras, etc. As operações de britagem e crivagem de tais materiais podem assim ser reduzidas ou mesmo suprimidas, dado que a respectiva dimensão máxima apenas é limitada pelos meios de espalhamento das camadas e, também, porque a dimensão mínima pode ser bastante reduzida, desde que nos vazios possa penetrar a argamassa.

O agregado grosso, que constitui mais de metade do EA, pode deste modo ser formado por material que não carece nem de britagem ou crivagem, nem de mistura em betoneira; somente a argamassa, menos de metade do conjunto, tem que ser submetida a tais operações.

A compactação do EA pode ser melhorada forçando a penetração da argamassa por apiloamento ou vibração externa. No caso de camadas relativamente extensas, esta compactação poderá ser feita por cilindros vibradores.

O betão cilindrado, surgido recentemente nos anos setenta, em reparações na barragem de Tarbela (Johnson e Chao, 1979), nos Estados Unidos da América, e na construção da barragem de Milton Brook, em Inglaterra (Gray, 1981), consiste essencialmente num betão aplicado e cilindrado em camadas em todo o comprimento da obra, numa série contínua de operações, sem juntas transversais. A respectiva composição, com agregado até 40 mm, pouco cimento, pouquíssima água e muita cinza volante, proporciona um betão com maior resistência e menores efeitos térmicos e de retracção do que um betão corrente (Gray, 1981).

Na sua essência trata-se pois de um betão em massa que, em vez de ser betonado em blocos separados por juntas, como é corrente em barragens, é aplicado em camadas, sem juntas, compactadas com os equipamentos correntes em terraplenagens e pavimentações de estradas. Tem de comum com o EA a aplicação em camadas; e, se o EA for cilindrado, será essa também uma característica comum a ambos os materiais. No que se refere às restantes características, designadamente ao agregado grosso, a diferença entre o betão cilindrado e o EA é sensivelmente a que já se referiu quanto ao betão injectado.

O betão ciclópico resulta da incorporação de pedras de grandes dimensões na massa de um betão corrente, durante a respectiva betonagem. A quantidade de pedras, com dimensões máximas de alguns decímetros, não ultrapassa geralmente mais que 30% do volume de betão.

O conjunto assim formado é pois constituído por uma matriz de betão, cujo agregado tem dimensões máximas de alguns centímetros, na qual as pedras incorporadas não contactam necessariamente entre si. Por isso, essas pedras não formam um

esqueleto cujos vazios são preenchidos pelo betão, contrariamente ao que sucede no EA em que o agregado grosso forma um esqueleto cujos vazios são preenchidos pela argamassa. Como consequência disso, as propriedades do betão ciclópico são essencialmente as mesmas do respectivo betão considerado isoladamente. Pelo contrário, no EA, as propriedades do conjunto são diferentes das propriedades dos respectivos componentes: o enrocamento e a argamassa.

O seixo-cimento, de larga aplicação na pavimentação de estradas e aeródromos, mais não é, como se disse, do que uma espécie de betão cilindrado em que é menor a dosagem de cimento (3 a 5% em peso; 50 a 100 kg/m³) e é menos exigente a especificação do respectivo agregado (Rocci, S. 1982).

Relativamente ao macadame, a principal diferença do EA reside na composição dos finos que se introduzem nos vazios do agregado grosso. Enquanto que no EA tais finos constituem uma argamassa, no macadame elas resumem-se a um agregado fino, cuja penetração nos vazios é auxiliada por regra seguida de cilindramento.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para estabilização duma encosta na margem direita do rio Douro, junto à eclusa de navegação da barragem do Carrapatelo, tornou-se necessário preencher grandes reentrâncias no talude rochoso, provocadas por anteriores escorregamentos (Fig. 3). Com tais preenchimentos reconstituiu-se o talude originalmente projectado, com a inclinação de 2,5 : 1 (V : H), reforçando-se depois a respectiva estabilidade, numa certa zona, com um muro ancorado.

Para preenchimento das referidas reentrâncias, projectou-se a utilização de EA, aproveitando para o efeito, quanto possível, escombros existentes na base da encosta provenientes dos escorregamentos havidos (Fig. 3).

Os volumes a preencher apresentavam dimensões horizontais que chegavam a atingir cerca de 40 m de comprimento e quase 10 m de largura; mas que por vezes se reduziām a poucos metros. Na vertical alguns desses volumes atingiram cerca de 20 m. O volume total de EA utilizado foi aproximadamente de 5000 m³.

As características de resistência requeridas no EA eram apenas as necessárias para suportar o peso próprio, em taludes de 2,5 : 1, e as solicitações resultantes do muro ancorado. O maciço formado pelo EA teria porém que ser suficientemente rígido para que a transmissão de esforços entre o maciço rochoso *in situ* e o muro se fizesse sem grandes deformações, para que a eficácia da sua função de suporte não fosse diminuída. Outra condição exigida ao EA foi uma grande permeabilidade, para poder drenar facilmente as águas vindas do maciço *in situ*.

Para atender a estes condicionamentos adoptou-se, após a realização de um aterro experimental (Fig. 4), o EA que seguidamente se descreve.

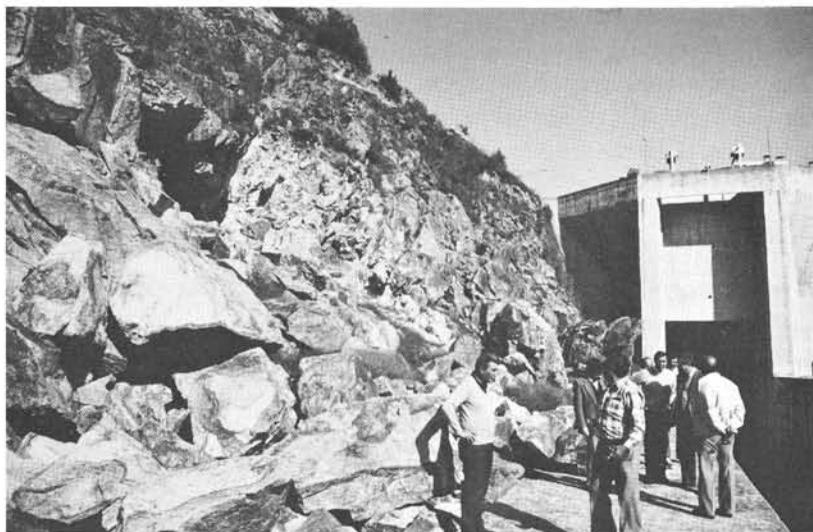


Fig. 3 — O talude antes das obras



Fig. 4 — Aterro experimental com enrocamento argamassado

A maior dimensão do agregado grosso foi condicionada pela necessidade de o espalhar à mão em camadas, dada a impossibilidade de o fazer mecanicamente. Com efeito, no espaço por vezes exíguo em que se desenvolveu o trabalho era inviável o acesso e funcionamento de equipamento de terraplenagem do tipo buldozer ou niveladora. Por isso se utilizou uma escavadora de mandíbulas que colhia o agregado grosso numa plataforma inferior para o descarregar no local da respectiva camada. Depois o espalhamento na camada era feito manualmente. A maior dimensão do agregado foi por isso fixada entre 50 e 80 cm, conforme o local de aplicação era mais ou menos exíguo (Figs. 5, 6 e 7).

A dimensão mínima foi condicionada pela necessidade de fazer penetrar nos seus vazios a argamassa. Adoptou-se para o efeito a regra de que o tamanho D_{15} do agregado grosso deveria de ser igual ou maior que 8 a 10 vezes o tamanho D_{85} do agregado fino. Como este último tamanho foi de 15 mm, como adiante se verá, o mínimo tamanho do agregado grosso foi fixado em 120 mm.

Para a argamassa, o agregado foi constituído por uma mistura de brita fina de 5/15 mm, disponível comercialmente na região, com seixo de 3/5 mm extraído do leito do Douro, na proporção de 5 : 1. Suprimiu-se a areia para se conseguir uma argamassa com elevada permeabilidade. A inclusão de seixo rolado visou conseguir-se maior facilidade na penetração da argamassa nos vazios do agregado grosso.



Fig. 5 — Execução do enrocamento argamassado em reentrâncias afastadas do paramento



Fig. 6 — Execução do enrocamento argamassado junto à cofragem do paramento



Fig. 7 — Na parte superior, preenchimento duma reentrância com enrocamento argamassado. Inferiormente, execução do paramento.

A argamassa, ou mais propriamente o microbetão sem finos, foi feito com a dosagem de 250 kg de cimento por m^3 . A sua resistência aos 7 dias andou por 40 kgf/cm^2 .

A espessura de cada camada foi limitada a 1,0 a 1,5 vezes a máxima dimensão do agregado grosso, isto é, a 0,80 m aproximadamente.

No paramento do talude, a camada era limitada por uma cofragem (Figs. 5, 6, 7 e 8).

A execução de cada camada foi iniciada pelo espalhamento de uma pequena espessura de argamassa, sobre a qual era depois lançado o agregado grosso. De seguida, a argamassa era espalhada e apiloada até cessar a sua penetração no agregado grosso. A superfície final da camada era deixada com pedras salientes para assegurar o seu endentamento na camada seguinte (Figs. 4 e 5).

A porosidade do agregado grosso, determinada pelo volume de uma argamassa muito fluida que encheu os vazios desse agregado contido numa caixa de $1,0 \times 1,0 \times 0,5 \text{ m}$, portanto com o volume de $0,5 \text{ m}^3$, foi de 58%. Repetido o ensaio, mas medindo o volume de argamassa sem finos que penetrou nos vazios do agregado grosso, obteve-se apenas 44%. Feito novo ensaio com argamassa sem finos, mas agora numa caixa de $1,4 \times 1,4 \times 0,5 \text{ (1 m}^3\text{)}$, obteve-se 40%.

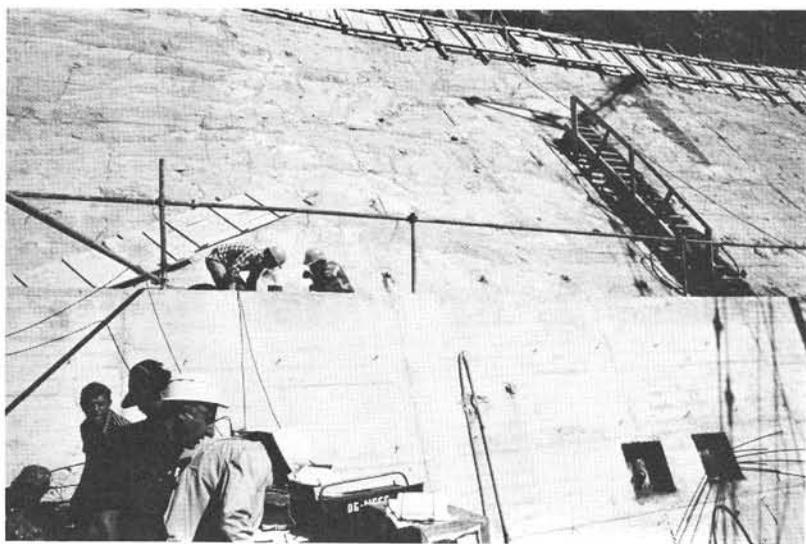


Fig. 8 — Paramento de enrocamento argamassado, acima do muro ancorado. No topo, cofragem da camada em execução

Quer dizer, a argamassa sem finos que foi utilizada encheu apenas cerca de 3/4 da porosidade do agregado grosso.

A permeabilidade do EA foi avaliada regando-o e observando o tempo que levava a infiltrar-se a água retida nas suas depressões. Verificou-se que tal infiltração era imediata.

O preço do metro cúbico de EA, proposto pelo empreiteiro da obra, comparado com os preços propostos pelo mesmo empreiteiro para o betão ciclópico, o betão B-225 e o betão B-180 foi, respectivamente, de 62%, 71% e 77%, bastante menor portanto que qualquer deles.

AGRADECIMENTO

O autor agradece ao Eng.º Tello de Sousa, da ELECTRICIDADE DE PORTUGAL, EP, dona da obra do Carrapatelo, e ao Eng.º Costa Simões, da Empresa de Sondagens e Fundações TEIXEIRA DUARTE, Lda., empreiteiro da mesma obra, a valiosa colaboração prestada na crítica e melhoria do texto, designadamente no que respeita ao exemplo de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- U. S. BUREAU OF RECLAMATION (1979) – *Concrete Manual*. Eight edi. Denver.
- GRAY, G. M. (1981) – *Em empleo del hormigon apistonado en el construccion de presas*. Cemento-Hormigon. Julio, N.º 572.
- JOHNSON, H. & CHAO, P. C. (1979) – *Rollcrete usage at Tarbela Dam*. Concr. Int. Des. Contr. USA: Vol. 1, N.º 11.
- MARANHA DAS NEVES, E. (1978) – *Os aterros de enrocamento. Tendências actuais e seu reflexo em Portugal*. LNEC. Seminário 235. Lisboa.
- NASCIMENTO, U. (1964) – *Dosagem e dimensionamento de pavimentos de solo-cimento*. TÉCNICA N.º 334, Lisboa. LNEC. Mem. N.º 249.
- ROCCI, S. (1982) – *Cement-bound granular materials and lean concrete*. Int. Symp. on concrete roads. London.
- SOUSA COUTINHO, A. (1973) – *Fabrico e propriedades do betão*. LNEC. Lisboa.
- VEIGA PINTO, A. (1978) – *Características de resistência e deformabilidade dos materiais de enrocamento*. LNEC. Seminário 235, Lisboa.