

Proc. 133 - II

SEGUNDO SERVIÇO

SECÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Estudo de cimentos para barragens

Relatório Preliminar

Julho de 1951

ÍNDICE

	Pag.
1 - Introdução	1
2 - Orientação seguida no estudo	1
3 - Trabalhos realizados	4
a) - Composição química .	
b) - Finura .	
c) - Calor de hidratação .	
d) - Resistência em argamassa normal (segundo o regulamento português).	
e) - Resistência em betões, com duas granulometrias, uma continua, outra descontínua, duas dosagens 200 e 275 Kg m^{-3} , e com e sem a utilização de agentes introdutores de ar .	
f) - Contracção em pasta pura e sem betão, em três estados higrométricos, 50%, 80% e 100%, e sem ganho nem perda de humidade .	
g) - Deformação de argamassas e betões a carga constante (fluêncioia) .	
h) - Propriedades elásticas dos betões.	
i) - Fissurabilidade de pastas e betões .	

4 - Resultados mais importantes já obtidos	5
a) - Composição química.	
b) - Finura.	
c) - Calor de hidratação.	
d) - Resistências em argamassa normal.	
e) - Resistência de betões com a dosegem de 200 Kgm^{-3} e com uma granulometria contínua.	
f) - Contracção comparada dos diversos cimentos.	
g) - Ensaios de fluência.	
h) - Propriedades elásticas dos betões.	
i) - Ensaios de fissurabilidade.	
5 - Características propostas para o cimento portland normal a usar na construção de barragens ...	9
6 - Características das pozolanas a adicionar aos cimentos portland	12

ÍNDICE DAS FIGURAS

Fig.

- 1 - Calores de hidratação.
- 2a - Variação da resistência à compressão com a idade.
Argamassas normais de cimento portland.
- 2b - Variação da resistência à compressão com a idade.
- 2c - Variação da resistência à compressão com a idade.
Argamassas normais com posolana.
- 3a - Variação da resistência à compressão com a idade, até
28 dias - Betões de cimento portland - Sem agente introdutor de ar.
- 3b - Variação da resistência à compressão com a idade, até
28 dias - Influência da adição de posolana - Sem agente introdutor de ar.
- 3c - Variação da resistência à compressão com a idade, até
28 dias - Betões com posolana - Sem agente introdutor de ar.
- 3d - Variação da resistência à compressão com a idade, após
7 dias - Betões de cimento portland - Sem agente introdutor de ar.
- 3e - Variação da resistência à compressão com a idade, após
7 dias - Betões de cimento portland - Com agente introdutor de ar.
- 3f - Variação da resistência à compressão com a idade, após
7 dias - Influência da adição de posolana - Sem agente introdutor de ar.

32 - Variação da resistência à compressão com a idade,
após 7 dias - Influência da adição de pozolana -
Com agente introdutor de ar.

33 - Variação da resistência à compressão com a idade,
após 7 dias - Betões com pozolana - Sem agente in-
trodutor de ar.

34 - Variação da resistência à compressão com a idade,
após 7 dias - Betões com pozolana - Com agente in-
trodutor de ar.

4 - Curvas de influência.

ESTUDO DE CIMENTOS PARA BARRAGENS

Relatório Preliminar

1 - Introdução - A Comissão de Fiscalização dos Grandes Aproveitamentos Hidro-Electricos (ofício nº. 236/7/49) e a Hidro-Electrica do Zêzere (ofício nº. 1426 de 30/6/49) solicitaram ao L.E.C. um estudo sistemático das propriedades de cimentos destinados à construção de barragens, com o fim de serem colhidos elementos que permitissem alterar o actual "Caderno de Encargos para o fornecimento e recepção de cimentos especiais".

O L.E.C. elaborou então um programa de trabalhos que, após a aprovação de Sua Exceléncia o Senhor Ministro das Obras Públicas, por despacho de 20/7/50, começou imediatamente em execução, estando a sua conclusão prevista para meados do próximo ano.

A Hidro-Electrica do Zêzere, na sua carta de 5 de Janeiro do ano corrente, pediu para que lhe fossem fornecidas as conclusões a que o estudo já tivesse conduzido, a fim de lhe permitirem fazer consultas para o fornecimento do cimento a ser utilizado na barragem do Cabril. Foi, por isso, preparado o presente relatório preliminar, no qual são expostos, resumidamente, os resultados que nos permitem propor condições a que deverão satisfazer os cimentos a utilizar nas barragens a construir proximamente.

2 - Orientação seguida no estudo - As qualidades essenciais que se exigem a um cimento para barragens são as seguintes :

- resistências elevadas
- calor de hidratação baixo
- superfície específica que confira boa trabalhabilidade ao betão e fraca permeabilidade.

A dificuldade em encontrar cimentos satisfazendo simultaneamente a estas condições resulta do facto de as resistências elevadas e superfícies específicas elevadas conduzirem a cimentos com calor de hidratação também elevado. Por isso, há necessidade de estabelecer um compromisso entre os valores destas propriedades.

Em esquema, as soluções até hoje adoptadas nos diversos países são de dois tipos :

- cimentos com composição química especial visando o abaixamento do calor de hidratação sem comprometer apreciavelmente as resistências;
- adição de produtos posolânicos a cimentos portland normais ou ligeiramente modificados, no sentido de moderar o calor de hidratação.

As soluções do primeiro tipo obrigam a empregar matérias primas de composição especial com o fim de diminuir a percentagem de aluminatos, em especial do aluminato tricálcico, e do silicato tricálcico. Estes cimentos são de cozedura mais difícil do que os cimentos portland normais.

Por estas razões os cimentos de composição especial, tais como, o "low-heat" americano e o "férreco" italiano, são de custo mais elevado. Além disso, tais cimentos não podem ser usados na maior parte das aplicações correntes, dados os baixos valores das suas resistências nos primeiros dias.

Esta circunstância tem grande importância no plano industrial, visto obrigar à produção de cimentos destinados quase exclusivamente

te à construção de barragens, para os quais haverá grande flutuação de consumo. O preço mais elevado dos cimentos de composição química especial associado ao inconveniente que acabamos de mencionar, faz com que não se tenha generalizado a sua utilização, verificando-se que, mesmo em países, como E.U.A., com grande consumo de cimentos para barragens, tal solução está a ser abandonada.

A solução para que tendem actualmente muitos países é do segundo tipo atrás referido, variando muito os produtos pozolânicos de país para país conforme as condições naturais e as possibilidades industriais. Assim, nos países com indústria siderúrgica desenvolvida usam-se muitas vezes as escórias dos altos fornos, nos países com pozolanas naturais estas são preferidas, outros são usadas pozolanas artificiais, etc.

Com a substituição de parte do cimento por produtos pozolânicos obtém-se um abaixamento do calor de hidratação libertado nos primeiros dias sem afectar as resistências desenvolvidas ao cabo de alguns meses, para percentagens de pozolanas que vão muitas vezes até 40%. Por outro lado, a adição de produtos pozolânicos, aos quais é geralmente fácil conferir uma superfície específica elevada, corresponde para melhorar a trabalhabilidade dos betões e diminuir a sua permeabilidade.

Além disso, o custo das pozolanas é apreciavelmente mais baixo do que o dos cimentos, donde podem resultar economias muito apreciáveis.

Na maior parte dos casos reconhece-se hoje como uma das vantagens essenciais das adições pozolânicas, a possibilidade de obter cimentos especiais à custa de um cimento portland normal, o que cria condições favoráveis para a existência de cimentos portland normais de elevada qualidade. Esta vantagem é sobretudo de considerar nos

pequenos países.

Pelas razões que temos vindo a adoptar, o estudo empreendido pelo L.E.C. foi orientado no sentido de colher informações sobre a possibilidade de ser utilizado na construção de barragens um cimento portland normal, ligeiramente modificado de modo a diminuir um pouco o calor de hidratação, adicionado de pozolana.

Na fixação das propriedades do cimento portland houve a preocupação de :

- o seu custo não ser superior ao dos cimentos portland normais;
- poder ser aplicado nas utilizações correntes, em especial nas construções de betão armado;
- qualquer das fábricas portuguesas o poder produzir em boas condições.

Quanto às pozolanas, o estudo foi orientado no sentido de serem utilizadas pozolanas artificiais. A título comparativo, está sendo ensaiada uma pozolana natural de Cabo Verde e outra italiana.

Para cotarmos o valor dos cimentos portland normais nacionais e dos cimentos pozolânicos que com eles podem ser obtidos, previu-se o estudo de alguns cimentos estrangeiros, portland normais, pozolânicos e de baixo calor de hidratação.

Para se colherem informações seguras sobre os cimentos estudados, foram determinadas as suas propriedades em pastas, argamassas e betões.

3 - Trabalhos realizados - Conforme o plano de trabalhos elaborado no inicio do estudo, as propriedades a estudar dos diferentes cimentos e pozolanas eram :

- a) - Composição química
- b) - Finura
- c) - Calor de hidratação

a) - Resistência em argamassa normal (segundo o regulamento português).

b) - Resistência em betões, com duas granulometrias, uma contínua, outra descontínua, duas dosagens, 200 e 275 Kg m^{-3} , e com e sem utilização de agentes introdutores de ar.

c) - Contracção em pasta pura e em betão, em três estados hidrométricos, 50%, 80% e 100%, e sem ganho nem perda de humidade.

d) - Deformação de argamassas e betões a carga constante (fluência).

e) - Propriedades elásticas dos betões.

f) - Fissurabilidade de pastas e betões.

Todas estas propriedades foram estudadas sobre 7 amostras de cimentos, sendo 5 de fabrico nacional, uma de fabrico suíço e outra italiana. Ainda não foi possível adquirir amostras de cimento de origem americana, esperando-se contudo que brevemente sejam conseguidas.

As amostras de cimento portland de origem nacional são designadas neste relatório, pelas letras A, B, C e D, conforme a origem, sendo um cimento moderado de origem nacional designado pela letra E. O cimento portland normal de origem suíça é designado pela letra F e o cimento férreo pozolânico de origem italiana é referido pela letra G.

Quanto às pozolanas, elas são designadas pelas letras C e D, conforme a sua origem; a pozolana proveniente duma determinada fábrica, apenas foi utilizada com cimento da mesma origem.

4 - Resultados mais importantes já obtidos

a) Composição química - No quadro I estão indicadas as com-

posições químicas dos cimentos e das pozolanas utilizadas neste trabalho.

b) Finura - No mesmo quadro estão também indicadas para os diversos cimentos e pozolanas as finuras determinadas pelo turbidímetro de Wagner, pelo permeabilímetro de Blaine e pelos resíduos nos peneiros.

c) Calor de hidratação - Na fig. 1 estão representados os calores de hidratação dos diversos cimentos, com e sem adição de pozolanas.

Como se vê, das amostras de cimentos nacionais, a de cimento moderado E é a que exibe menor calor de hidratação. A adição de pozolanas faz baixar o calor de hidratação dos cimentos, entre 15 e 30% conforme o tipo de cimento e a idade.

d) Resistências em argamassa normal - Nas fig. 2a a 2c estão representadas as curvas de variação da resistência à compressão com o tempo, das argamassas normais ensaiadas segundo o "Caderno de Encargos para o fornecimento e recepção do cimento portland normal", de 1930.

e) Resistência de betões com a dosagem de 200 Kgm^{-3} e com uma granulometria contínua - Nas fig. 3a a 3i estão representadas as evoluções das resistências dum betão com uma granulometria contínua e com uma dosagem de 200 Kgm^{-3} , fabricado com os diversos tipos de cimento.

No caso da utilização de agentes introdutores de ar no betão, fez-se uma correção da granulometria no que respeita à quantidade de areia, que foi diminuída. A quantidade de água também sofreu uma redução de cerca de 20 %.

As pozolanas referidas naquelas figuras foram adicionadas ao betão na betoneira, não tendo sido portanto juntas ao clinquer na ocasião da sua moedura.

Calor de hidratação - Fixa-se o valor mínimo de 70 cal. $\cdot g^{-1}$ para calor de hidratação aos 7 dias, medido pelo método de dissolução, e de 80 cal. $\cdot g^{-1}$ aos 28 dias. Os ensaios realizados (fig.3) mostram que há necessidade de reduzir o calor de hidratação dos cimentos fabricados no nosso país para satisfazermos a estes limites. De facto, ao valor mínimo de 70 cal. $\cdot g^{-1}$ corresponde um valor médio da ordem de 60 cal. $\cdot g^{-1}$, isto é, inferior de cerca de 10 cal. $\cdot g^{-1}$ aos valores obtidos actualmente com os nossos cimentos.

6 - Características das pozolanas a adicionar aos cimentos portland

Composição química - Tal como para os cimentos, no caso das pozolanas apenas se fixam os elementos considerados indesejáveis.

Assim, a magnésia, MgO, não deve exceder 4 %, e o SO₃ não deve exceder 2,5 %. Estes são os valores atribuídos aos cimentos, e, ao juntar a pozolana ao cimento, tem-se a certeza que o produto obtido não contém um excesso de elementos perniciosos, sobretudo no que se refere ao SO₃.

Finura - A finura convém elevada, de modo que se obtenha uma boa distribuição da pozolana pela pasta de cimento, contribuindo ainda uma elevada finura para melhorar a trabalhabilidade do betão. A pozolana deverá ser moída até uma finura de 8.000 cm²g⁻¹ determinada pelo permeabilímetro de Blaine, segundo a técnica descrita na norma C 204-46 T da A.S.T.M. .

Resistência mecânica - A reactividade da pozolana com a cal será medida por meio do ensaio tecnológico de reactividade, pois é o ensaio que mede a contribuição da pozolana para a resistência mecânica do betão.

Deverão ser as seguintes as resistências da pasta constituída por 1 de cal hidratada e 3 de pozolana, em peso :

Resistência mínima de compressão aos 7 dias, 5 Kgcm^{-2}

Resistência mínima de compressão aos 28 dias, 50 Kgcm^{-2}

Resistência mínima à flexão aos 28 dias, 15 Kgcm^{-2}

A quantidade de água de amassadura deverá ser tal que a consistência da pasta de cal e poçolana seja normal (definida pela sonda de Vicat).

Este ensaio será efectuado sobre prismas de 4 x 4 x 16 cm. conservados nos moldes, ao ar húmido, durante as primeiras 48 horas e 5 ou 26 dias dentro de água potável. Os ensaios de flexão serão realizados com uma carga concentrada actuando na secção média do prisma, ensaiando com um vão de 10 cm.. Os ensaios de compressão serão efectuados sobre os dois pedaços do prisma obtidos após a rotura por flexão; a força de compressão é aplicada pela interposição entre os pratos da máquina e o espécimen de duas chapas de ferro de 4 x 4 cm., e cuja espessura não deve ser inferior a 5 mm.

A resistência de flexão será a média aritmética de, pelo menos, 3 prismas e a de compressão a dos mesmos 3 prismas, ou seja a média de 6 valores.

A cal hidratada deverá conter, pelo menos, 95 % de $(\text{OH})_2 \text{Ca}$.

.....

Nos quadros seguintes, quadros III e IV, estão resumidas as características impostas ao cimento e à poçolana, bem como os métodos de ensaio preconizados.

Lisboa, Julho de 1951

QUADRO III

PROPRIEDADES EXIGIDAS AO CIMENTO

Propriedades	Valor	Método de ensaio
Propriedades químicas	Perda ao rubro, máx. Resíduo insolúvel, máx. Magnésia MgO , máx. Anidrido sulfúrico SO_3 , máx. Círculo de hidratação 7 dias 28 dias	Dec. 18.782 de 28/8/930 Cederno de encargos provisório para o fornecimento e recepção de cimentos especiais
Propriedades físicas	Resíduo no peneiro de 4,500 milhas cm^{-2} , máx. Superfície específica pelo turbidímetro de Wagner, mín. Princípio de presa, mín. Peso da presa, máx. Expansibilidade, máx.	Dec. 18.782 de 28/8/930 Cederno de encargos provisório para o fornecimento e recepção de cimentos especiais Dec. 18.782 de 28/8/930 Técnica descrita neste relatório (PG.11) Dec. 18.782 de 28/8/930
Tração	(7 dias, mín. (28 dias, mín.	17 Kg cm^{-2} 21 Kg cm^{-2}
Compressão	(7 dias, mín. (28 dias, mín.	200 Kg cm^{-2} 300 Kg cm^{-2}

QUADRO IV

PROPRIEDADES EXIGIDAS À POZOLANA

	Propriedades	Valor	Método de ensaio
Composição química	Magnésio, MgO Anidrido sulfúrico, SO ₃	4,0 % 2,5 %	Dec. 18, 782 de 20/8/920
Propriedades físicas			0 204-46 T (A.S.T.M.)
Propriedades mecânicas	Compressão, aos 7 dias, min. Compressão, aos 28 dias, min. Flexão, aos 28 dias, min.	8.000 kg cm ⁻² 5 Kgon ⁻² 50 Kgon ⁻² 15 Kgon ⁻²	Técnica indicada na pág. 13