

tigo 30.º do Estatuto Judiciário, aplicável por força do § 3.º do artigo 32.º do mesmo diploma, seja aumentado o quadro do pessoal da Repartição Judicial da Relação de Coimbra com um escriturário de 1.ª classe.

Ministério da Justiça, 11 de Maio de 1961. — O Ministro da Justiça, *João de Matos Antunes Varela*.

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

Gabinete do Ministro

Decreto n.º 43 683

Sendo necessário rever as disposições do caderno de encargos provisório para o fornecimento e recepção de cimentos especiais, aprovado por despacho do Ministro das Obras Públicas em 1946 e publicado no *Diário do Governo* n.º 236, 2.ª série, de 10 de Outubro de 1946, em virtude não só das alterações introduzidas pelo Decreto n.º 40 870, de 22 de Novembro de 1956, no caderno de encargos para o fornecimento e recepção de cimento *portland* normal, como também do que se dispõe no caderno de encargos para o fornecimento e recepção de pozolanas, recentemente aprovado pelo Decreto n.º 42 999, de 1 de Junho de 1960;

Tendo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil apresentado à comissão permanente de revisão e instituição de regulamentos técnicos, criada no Conselho Superior de Obras Públicas por portaria de 23 de Maio de 1951, um projecto das bases a estabelecer no caderno de encargos para o fornecimento e recepção de cimento pozolânico normal;

Ouvida sobre esta proposta a subcomissão encarregada do estado dos regulamentos de cimentos e betões, que funciona dentro daquela comissão, a qual, feito o estudo das bases propostas, aprovou e apresentou as disposições a adoptar no referido caderno de encargos;

Usando da faculdade conferida pelo n.º 3.º do artigo 109.º da Constituição, o Governo decreta e eu promulgo o seguinte:

Artigo 1.º É aprovado o caderno de encargos para o fornecimento e recepção de cimento pozolânico normal, que faz parte integrante do presente decreto e com ele baixa assinado pelo Ministro das Obras Públicas.

Art. 2.º É autorizado o Ministro das Obras Públicas a introduzir no referido caderno de encargos, por simples portaria, mediante parecer da respectiva subcomissão da comissão permanente de revisão e instituição de regulamentos técnicos, criada no Conselho Superior de Obras Públicas por portaria de 23 de Maio de 1951, as alterações que forem julgadas convenientes, desde que não incidam sobre as qualidades do cimento.

Art. 3.º São revogadas as especificações relativas ao cimento *portland* pozolânico, constantes do capítulo II do caderno de encargos provisório para o fornecimento e recepção de cimentos especiais, aprovado por despacho do Ministro das Obras Públicas e publicado no *Diário do Governo* n.º 236, 2.ª série, de 10 de Outubro de 1946.

Publique-se e cumpra-se como nele se contém.

Paços do Governo da República, 11 de Maio de 1961. — AMÉRICO DEUS RODRIGUES THOMAZ — *António de Oliveira Salazar* — *Eduardo de Arantes e Oliveira*.

Relatório da subcomissão encarregada do estudo dos regulamentos de cimentos e betões justificativo do caderno de encargos para o fornecimento e recepção de cimento pozolânico normal.

1) Introdução

O presente caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento pozolânico normal resultou da revisão das disposições contidas no capítulo II do caderno de encargos provisório para o fornecimento e recepção de cimentos especiais, aprovado por despacho do Ministro das Obras Públicas e publicado no *Diário do Governo*, 2.ª série, de 10 de Outubro de 1946.

Esta revisão, motivada pelas alterações introduzidas em 1956 no caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento *portland* normal e pela recente publicação do caderno de encargos para o fornecimento e recepção de pozolanas, foi feita com base nos resultados dos estudos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no que se encontra estabelecido nas normas oficiais dos diferentes países, e reflecte ainda a preocupação de seguir, sempre que possível, o actual caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento *portland* normal, aprovado pelo Decreto n.º 40 870, de 22 de Novembro de 1956.

Do trabalho realizado resultou a modificação de algumas das características consideradas para definir a qualidade do cimento pozolânico, a fixação de novos limites para determinadas características e a introdução de algumas alterações nas técnicas de ensaio e nas especificações relativas ao fornecimento e amostragem do cimento.

2) Estudo comparativo das normas existentes e justificação das soluções adoptadas

De acordo com os elementos colhidos na consulta de algumas normas e na publicação *Review of Standards for Cements Other than Portland*, editada em 1958 por The Cement Statistical and Technical Association (Cembureau), sabe-se da existência de normas sobre cimento pozolânico nos países estrangeiros, cujos nomes se referem a seguir, acompanhados da indicação, entre parêntesis, da data da homologação dos documentos em vigor em 1958 e do número de tipos de cimento considerados em cada um: Bulgária (1956 — quatro tipos), China (1953 — quatro tipos), Checoslováquia (1956 e 1957 — quatro tipos), França (1958 — seis tipos), Alemanha Ocidental (1940 e 1958 — seis tipos), Grécia (1954 — dois tipos), Hungria (1956 — três tipos), Itália (1939 — dois tipos), Japão (1956 — um tipo), México (1953 — um tipo), Holanda (1950 — dois tipos), Roménia (1955 — dois tipos), Espanha (1930, 1936 e 1943 — um tipo), Estados Unidos da América — A. S. T. M. (1955 — dois tipos) e Federal (1954 — dois tipos), Rússia (1941 — cinco tipos) e Jugoslávia (1954 — três tipos).

Verifica-se que num total de dezasseis países apenas em três os documentos em vigor são anteriores a 1950.

Da análise das principais disposições de cada uma das normas atrás referidas resultam as conclusões que se apresentam a seguir, acompanhadas da justificação da solução que em cada caso se adoptou no caderno de encargos que agora se propõe.

a) Tipos de cimento

Apenas em três países se considera a existência de um só tipo de cimento pozolânico. Nos restantes a distinção entre os vários tipos considerados é feita pelos

valores da tensão de rotura, excepto nos Estados Unidos da América, em que a distinção se baseia na existência ou não de um agente introdutor de ar misturado com o cimento.

No nosso país não se reconhece, por enquanto, necessidade de considerar mais do que um tipo de cimento, sobretudo porque a produção industrial é ainda relativamente pequena. Mantém-se, por isso, o critério do caderno de encargos em vigor.

b) Natureza do clínquer

A natureza do clínquer só é fixada em sete normas: em seis adopta-se o clínquer do cimento *portland* e na norma checoslovaca o clínquer é caracterizado pelos valores do teor em magnésia e do resíduo insolúvel.

O clínquer a utilizar no fabrico do cimento pozolânico deverá ser o que melhor se adapte à pozolana que o fabricante tenciona empregar. Tal clínquer deve, porém, satisfazer ao caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento *portland* normal, aprovado pelo Decreto n.º 40 870, de 22 de Novembro de 1956. Considera-se, contudo, que o clínquer correntemente fabricado no nosso país e que tem sido utilizado nos estudos dos cimentos pozolânicos realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil é satisfatório para a obtenção destes cimentos.

c) Natureza da pozolana

Em seis normas impõem-se à pozolana características particulares. Noutras cinco apenas se exige que a pozolana seja natural, referindo-se, em especial, na norma grega a origem do produto. A norma federal americana impõe que o fabricante do cimento declare a origem, a quantidade e a composição da pozolana empregada.

Como no nosso país se dispõe já de um caderno de encargos para o fornecimento e recepção de pozolana, apenas se impõe à que for utilizada no fabrico do cimento pozolânico a condição de satisfazer às prescrições daquele caderno de encargos. Tal como se refere no seu relatório justificativo, dos dois tipos de pozolana considerados é a do tipo I a que tem apresentado melhor comportamento quando associada com o cimento *portland*.

d) Teor em pozolana

Em catorze normas limita-se o teor em pozolana, embora em muitas os limites sejam extremamente largos; chega a admitir-se o limite superior de 50 por cento em cinco países e de 55 por cento num outro. Nota-se também que, em geral, a tensão de rotura exigida ao cimento pozolânico está relacionada com o seu teor em pozolana.

Julga-se, entretanto, não ser conveniente fixar o teor em pozolana nem relacioná-lo com as tensões de rotura fixadas para o cimento, porque a percentagem de pozolana mais adequada para cada caso depende fundamentalmente das naturezas do clínquer e da pozolana utilizados. O que interessa é que o cimento pozolânico satisfaça às condições que lhe são impostas, e como este objectivo pode ser atingido com percentagens de pozolana diferentes, consoante o clínquer e a pozolana utilizados, é preferível não fazer qualquer limitação ao teor em pozolana, mantendo-se, portanto, o critério adoptado no caderno de encargos em vigor.

e) Aditivos

A mistura de aditivos é permitida em dez normas, três das quais especificam que essa mistura se destina

a facilitar a moedura. Exceptuando as normas alemãs e gregas, a percentagem de aditivos admitida não excede 1 por cento.

No nosso país parece não ser aconselhável por enquanto permitir que se adicionem ao clínquer e à pozolana outros materiais além do gesso e da água já permitidos para o fabrico do cimento *portland* normal. Sabe-se de facto que é possível adicionar a um bom cimento pozolânico uma certa quantidade de substâncias quimicamente inertes, continuando ainda a verificar-se a observância às condições expressas no caderno de encargos. É também para contrariar esta possibilidade que se exige a indicação da origem e da percentagem da pozolana utilizada, o que permitirá detectar mais facilmente materiais estranhos existentes no cimento pozolânico.

f) Massa específica

Apenas a norma japonesa fixa um limite inferior para a massa específica, aliás com carácter facultativo.

Pensa-se, entretanto, de acordo com o caderno de encargos em vigor, que esta característica não deve ser fixada. De facto, enquanto que no caso do cimento *portland* a massa específica é uma característica de certa importância, por permitir detectar a existência de materiais estranhos adicionados, no caso do cimento pozolânico não é possível fixar valores para a massa específica do cimento, em virtude da variabilidade da massa específica de pozolana para pozolana.

g) Finura

A finura do cimento é definida em geral pelo resíduo de peneiração, excepto em cinco normas nas quais se impõe também o valor da superfície específica medida com o permeabilímetro de Blaine e na norma francesa, que fixa apenas este valor.

As normas mais exigentes são as norte-americanas, que fixam um resíduo igual ou inferior a 12 por cento no peneiro com malhas de 44 μ de abertura. Seguem-se a alemã, a japonesa e a holandesa, que fixam o resíduo máximo de 8 por cento no peneiro com malhas de 88 μ de abertura. As menores exigências são feitas pela Grécia e pela Hungria, que impõem 20 por cento de resíduo máximo neste último peneiro, e pela Itália, que fixa o valor máximo de 2 por cento para o resíduo no peneiro com malhas de 200 μ .

O menor valor da superfície específica é fixado pela norma jugoslava em 2400 cm² g⁻¹ e o maior valor é de 3500 cm² g⁻¹, fixado na norma francesa e na norma búlgara para um dos tipos de cimento pozolânico.

No nosso país considera-se prudente não impor limites à superfície específica, visto não haver experiência suficiente dos valores tomados por esta característica em cimentos pozolânicos portugueses fabricados industrialmente. Os cimentos pozolânicos a que se refere a experiência existente têm sido preparados em laboratório e, portanto, em condições de moedura muito diferentes das industriais.

Optou-se, por isso, por fixar apenas um limite para o resíduo de peneiração, tendo-se mantido o valor de 10 por cento já adoptado para o cimento *portland*, o que nos coloca em posição média relativamente às normas estrangeiras.

h) Expansibilidade

Em nove normas a expansibilidade é medida pelo processo de Michaélis (ensaios de bolachas de pasta de cimento) e, em dois países, pelo ensaio em autoclave.

Nos restantes países a expansibilidade é medida pelo processo de Le Châtelier, admitindo-se como valor máximo 10 mm.

No nosso país não se vê razão para alterar o processo de determinação da expansibilidade e o valor máximo dessa característica fixados para o cimento *portland* normal e para o cimento pozolânico nos cadernos de encargos em vigor.

i) Tempos de presa

Apenas a norma espanhola não fixa os tempos de presa. Nas restantes normas os tempos de presa são, em geral, definidos pelo ensaio com a agulha de Vicat. O menor valor fixado para o princípio de presa é de 45 minutos. O fim de presa não é fixado nas normas holandesa e francesa e nas restantes toma valores variados: 4 horas numa norma, 10 horas em cinco normas e 12 horas em oito normas.

No caderno de encargos que se apresenta mantiveram-se os limites fixados para o princípio de presa do cimento *portland* normal. Quanto ao fim de presa, estabeleceu-se um limite cujo cumprimento apenas é exigível em casos especiais, por se admitir que haja aplicações em que tal característica tenha interesse e por não se ter considerado prudente fixar um limite para a tensão de rotura aos três dias de idade.

j) Tensões de rotura

Em nove países a determinação das tensões de rotura é feita em argamassas secas, monogranulares e batidas e nos restantes sete empregam-se argamassas de consistência plástica com areia de granulometria mais extensa; em quatro destes o ensaio é feito sobre prismas de 4 cm x 4 cm x 16 cm.

As técnicas de ensaio preconizadas no presente caderno de encargos são iguais às adoptadas para o cimento *portland* normal e foram preferidas às seguidas anteriormente pelas razões expostas no relatório justificativo do caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento *portland* normal.

A experiência adquirida nos estudos feitos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil leva à conclusão de que as tensões de rotura dos betões com pozolana, adicionada na betoneira ou moída em conjunto, são, em média e relativamente às do betão sem pozolana, as que se indicam no quadro A.

QUADRO A

Tensões de rotura de betões com pozolana expressas em percentagem das tensões correspondentes de betão sem pozolana

Modo de emprego da pozolana	Tipo de ensaio	Idade	
		7 dias	28 dias
Adicionada na betoneira	Compressão	75 0/0	76 0/0
	Flexão	85 0/0	96 0/0
Moída conjuntamente.	Compressão	91 0/0	100 0/0
	Flexão	93 0/0	104 0/0

A aplicação destes resultados para a definição dos limites de resistência do cimento pozolânico (pozolana moída conjuntamente com o clínquer) equivale aproximadamente a baixar de 10 por cento o limite estabelecido no caso do cimento *portland* normal para a tensão de rotura a 7 dias e a manter o limite estabelecido para a tensão de rotura a 28 dias.

Nos países em que a determinação das tensões de rotura é feita sobre argamassas plásticas ensaiadas em prismas de 4 cm x 4 cm x 16 cm as tensões de rotura para o cimento pozolânico são, em geral, iguais às fixadas para o cimento *portland*. Exceptua-se, na Alemanha, o cimento pozolânico «275», cujas tensões de rotura por flexão aos 7 dias e por compressão aos 28 dias são ligeiramente superiores às tensões correspondentes do cimento *portland*, e os cimentos pozolânicos húngaros, a que se exigem tensões de rotura inferiores às do cimento *portland*, mas em relação aos quais não se possuem informações precisas sobre a composição das argamassas empregadas nos ensaios, a qual poderá ser diferente para os dois cimentos.

Dado que as tensões de rotura das argamassas de cimento pozolânico poderão ainda aumentar um pouco, devido à adição dos elementos finos da pozolana em percentagens até cerca de 20 por cento do peso de cimento, em virtude do aumento de compacidade que tais elementos podem provocar na areia normal portuguesa, não parecem demasiado elevados os limites que se preconizam: iguais aos do cimento *portland* para os ensaios a 28 dias e inferiores em cerca de 10 por cento para os ensaios a 7 dias.

k) Especificações de natureza química

Exceptuando a norma alemã, todas as outras contêm especificações de natureza química. As normas grega e francesa fixam os valores da perda ao fogo, do teor em óxido de magnésio, do teor em sulfatos e do resíduo insolúvel; as normas búlgara, mexicana, romena, americanas, russa e jugoslava fixam apenas os três primeiros valores; as normas chinesa e japonesa fixam o teor em óxido de magnésio e o teor em sulfatos, e a norma checoslovaca apenas este. Seis normas apresentam ainda especificações particulares: na holandesa fixa-se o teor em óxido de cálcio do cimento; na espanhola exige-se que o teor em óxido de cálcio livre da argamassa diminua de 30 por cento ao fim de um mês; na jugoslava impõe-se o limite superior de 2 por cento para o teor em óxido de cálcio livre; na mexicana fixa-se o limite de 12 por cento para o teor em alcalis; na norma federal americana impõe-se o limite superior de 3 por cento para a humidade do cimento; na norma italiana fixa-se o limite inferior de 1 por cento para o inverso do módulo hidráulico e o limite superior de 5 por cento para o teor em carbonato de cálcio, este para impedir a adição de tal substância ao cimento, mas sabe-se que numa norma em preparação se tenciona substituir as condições relativas ao índice de hidráulidade e ao resíduo insolúvel por outra com base no ensaio de pozolanicidade, referido mais adiante.

Verifica-se, portanto, grande diversidade nos critérios de fixação das condições de natureza química, o que se justifica por em cada país se adoptarem as condições que mais interessam às características dos seus materiais.

No caderno de encargos que se apresenta as especificações de natureza química foram fixadas com base nas estabelecidas para o cimento *portland* normal, alterando-as, quando necessário, para ter em conta os condicionamentos impostos pela presença da pozolana. No que respeita ao óxido de magnésio, sabe-se que a sua existência no cimento *portland* condiciona a estabilidade e a expansibilidade do cimento por o óxido de magnésio aparecer mais ou menos livre e a sua hidratação, que se dá a longo prazo, poder ser preju-

dicial; no caso do cimento pozolânico tal componente pode provir do clínquer do cimento e é inconveniente pelas razões expostas ou da própria pozolana, e neste caso está geralmente combinado com os silicatos e aluminatos, não sendo, por isso, prejudicial.

Como o clínquer base do cimento pozolânico deve obedecer às condições fixadas para o clínquer do cimento *portland*, considera-se conveniente manter o limite de 4 por cento para o teor em óxido de magnésio. Se num cimento pozolânico aquele valor for excedido, deverá determinar-se o teor em óxido de magnésio do cimento *portland* utilizado no seu fabrico e, se se verificar que o alto teor em óxido de magnésio provém da pozolana, não se vê inconveniente em considerar aceitável o cimento pozolânico. Aliás, não é de esperar que esta situação se apresente com frequência, dado o baixo teor em óxido de magnésio que correntemente se verifica no cimento *portland* português e o facto de entre as pozolanas estudadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil apenas a de Pedras Pretas, na ilha de Porto Santo, apresentar para aquele teor valores superiores a 4 por cento, mas que não ultrapassam, em geral, 4,1 por cento.

As normas estrangeiras que se referem ao teor em óxido de magnésio limitam-no: uma em 3 por cento, outra em 4 por cento, três em 4,5 por cento e seis em 5 por cento.

No que respeita ao teor em anidrido sulfúrico não se vê razão para alterar o limite de 3 por cento fixado para o cimento *portland* normal. Acompanha-se, assim, a maioria das normas estrangeiras, visto uma fixar o limite de 3,5 por cento, sete o de 3 por cento e cinco o de 2,5 por cento.

A perda ao fogo, limitada em 4 por cento para o cimento *portland*, não deve ser agora fixada. De facto, enquanto no clínquer um baixo valor daquela grandeza indica boa qualidade no que se refere à cozedura e estado de conservação, no caso das pozolanas naturais verifica-se que quanto maior for a perda ao fogo mais reactiva será a pozolana por mais alterada estar a rocha originária. Como se impõe ao clínquer a condição de satisfazer às condições impostas para o cimento *portland*, fica salvaguardada a hipótese de ele se apresentar com elevada perda ao fogo e não se prejudica o emprego de pozolanas de boa qualidade.

A limitação do resíduo insolúvel do cimento pozolânico também não parece necessária. Efectivamente, no cimento *portland* tal limitação contraria a adição ao cimento de substâncias estranhas; nas pozolanas o resíduo insolúvel é muito variável com a origem da pozolana, e nem sequer está relacionado com a sua reactividade.

Para a determinação da reactividade da pozolana no cimento pozolânico optou-se pelo ensaio de pozolanicidade. Como a função desempenhada pela pozolana consiste essencialmente na fixação do hidróxido de cálcio libertado durante a hidratação do cimento, o critério que se afigura mais lógico para averiguar a reactividade da pozolana consiste na determinação da quantidade de cal livre que é eliminada por ela. Apenas na norma espanhola se encontra uma condição que exprime esta ideia: o teor em cal livre na argamassa de cimento pozolânico deve baixar progressivamente de tal modo que ao fim de um mês tenha diminuído de 30 por cento.

Os processos conhecidos até há pouco tempo para determinar o teor em óxido de cálcio de pastas de cimento hidratado caracterizavam-se por certa dificuldade de execução que tornava difícil a sua normaliza-

ção. Recentemente, porém, foi estudado por Fratini, no Instituto de Química Aplicada da Universidade de Roma, um processo mais simples de fazer aquela determinação. O seu interesse, confirmado na ampla experimentação a que foi submetido em Itália, conduziu à sua adopção na nova norma italiana em via de homologação.

Neste processo a determinação da presença da cal livre que resulta da hidrólise dos componentes do cimento é feita a partir do equilíbrio que se estabelece entre a cal e os alcalis presentes na fase líquida da pasta de cimento. Essa fase líquida, isto é, a água que preenche os poros do cimento *portland* após a sua amassadura, presa e endurecimento, é um soluto sobressaturado de cal, em virtude das hidrólises do silicato tricálcico e do aluminato tricálcico. No caso do cimento com uma quantidade conveniente de pozolana, a água que preenche os poros da pasta de cimento já não é saturada de cal, e é evidente que a pozolana é tanto mais eficaz e o cimento pozolânico tanto melhor, do ponto de vista de resistência aos agentes agressivos, quanto menor for a concentração de tal soluto.

Na gravura 14 está indicada a curva de solubilidade do hidróxido de cálcio em função da alcalinidade do soluto a 40°C, que é a temperatura do ensaio. Se o ponto representativo do soluto se situa acima desta linha, isso significa que o soluto está sobressaturado de hidróxido de cálcio; é o que acontece com o cimento *portland*. Se o ponto se situa abaixo da linha, o soluto não está saturado de hidróxido de cálcio; é o que acontece com o cimento pozolânico.

Enquanto no projecto de norma italiano se refere que o ensaio pode ser repetido ao fim de quinze dias se não for positivo aos sete dias, no caderno de encargos que se apresenta tal condição não foi considerada por o estudo feito com várias pozolanas portuguesas não a ter revelado necessária.

Finalmente, inclui-se ainda no caderno de encargos, com carácter facultativo, uma cláusula relativa ao calor de hidratação.

Esta cláusula é devida ao facto de o calor de hidratação e o ritmo a que se faz a libertação do calor nos primeiros dias após a aplicação serem de especial interesse quando o cimento é aplicado em betão em grandes massas.

Os valores especificados foram fixados a partir dos valores máximos característicos do cimento *portland* normal, aplicando-se-lhes factores de redução determinados experimentalmente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A experiência futura mostrará se se poderão baixar mais tais limites, o que deverá ser possível por os cimentos pozolânicos preparados em laboratórios os satisfazerem com certa facilidade. O desconhecimento do comportamento de cimentos pozolânicos fabricados industrialmente é que conduziu a fixar os limites propostos, que, embora ligeiramente mais apertados que os do caderno de encargos em vigor, são consideravelmente menos exigentes do que, por exemplo, os limites fixados para o calor de hidratação do cimento pozolânico que tem sido utilizado nas barragens italianas, e que oscilam entre 55 e 68 cal. g⁻¹ aos 28 dias de idade.

Lisboa, 30 de Novembro de 1960. — *Viriato Cannas* — *Manuel Coelho Mendes da Rocha* — *Carlos Martins de Oliveira* — *Luis Moreira Lobo* — *António Beja Neves* — *Edgar de Mesquita Cardoso* — *José da Rocha e Melo* — *Joaquim Augusto Ribeiro Sarmento* — *António de Sousa Coutinho* — *Armando Fragoso de Matos*.

Caderno de encargos para o fornecimento e recepção
de cimento pozolânico normal

CAPÍTULO I

Especificações de qualidade

1 — Definição

O cimento pozolânico normal é o produto obtido por moedura conjunta de clínquer de cimento *portland* e pozolana, e que obedece a todas as prescrições do presente caderno de encargos.

O clínquer utilizado no fabrico de cimento pozolânico, quando moído, deve dar origem a cimento que obedeça às prescrições do caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento *portland* normal (Decreto n.º 40 870, de 22 de Novembro de 1956). A pozolana deve obedecer às prescrições do caderno de encargos para o fornecimento e recepção de pozolanas (Decreto n.º 42 999, de 1 de Junho de 1960).

Não é permitida a adição de quaisquer materiais à pozolana e ao clínquer durante ou após a moedura, excepto gesso ou água.

2 — Embalagem

Salvo se nas condições de fornecimento for estabelecido doutro modo, o cimento pozolânico será entregue em sacos de papel perfeitamente conservados e sem indícios de violação.

O peso de cada saco com cimento pozolânico deve ser de 50 kg, com a tolerância de 2 por cento, e o peso do saco vazio deve ser inferior a 1 kg.

3 — Identificação

Os sacos deverão ser da cor do saco do cimento *portland* normal, com uma lista de cor azul-viva, de 0,10 m de largura, em diagonal na face impressa, contornando os cantos e terão impressa a designação «cimento pozolânico normal», o nome comercial do fabricante, a marca do produto e a da pozolana utilizada.

4 — Ensaio

4.1 — Ensaio de amostras de lotes separados

Com cada amostra do cimento pozolânico a ensaiar, colhida como se especifica em 6, fazem-se os ensaios para determinação de: finura pelo resíduo de peneiração, expansibilidade, princípio de presa, tensão de rotura por flexão aos 7 e aos 28 dias de idade, tensão de rotura por compressão aos 7 e aos 28 dias de idade, teor em óxido de magnésio, teor em anidrido sulfúrico e pozolanicidade.

Para certas utilizações e mediante condição expressa nesse sentido, poderá o comprador exigir, além dos anteriores, os ensaios para determinação do fim de presa e do calor de hidratação aos 3, aos 7 e aos 28 dias de idade.

4.2 — Ensaio de amostras de lotes a granel não separados

Quando dois ou mais lotes de cimento pozolânico a granel sejam presentes conjuntamente à recepção e não estejam separados (veja-se 6.2), poderá proceder-se como em 4.1 ou, por acordo prévio, como a seguir se indica, atribuindo, neste caso, os resultados das determinações feitas sobre uma mistura de amostras a cada uma das amostras da mistura.

Com cada amostra, colhida como se especifica em 6, determina-se o princípio de presa; com a mistura de cada duas amostras e com a restante em excesso, se existir, determina-se a finura pelo resíduo de peneiração, a tensão de rotura por flexão aos 7 e aos 28 dias de idade, a tensão de rotura por compressão aos 7 e aos 28 dias de idade, o teor em anidrido sulfúrico e a pozolanicidade; com a mistura de cada 6 amostras e com a das restantes em excesso, ou com a mistura de todas as amostras se forem menos de 6, determina-se a expansibilidade; com a mistura do cimento de cada 10 amostras e com a das restantes em excesso, ou com a mistura de todas as amostras se forem menos de 10, determina-se o teor em óxido de magnésio.

Quando o comprador o entenda poderá, mediante condição expressa nesse sentido, exigir, além dos anteriores, os ensaios para determinação do fim de presa e do calor de hidratação aos 3, aos 7 e aos 28 dias de idade, com a mistura do cimento de cada duas amostras e com a restante em excesso, se existir.

As misturas das amostras devem ser feitas no laboratório que procede aos ensaios, tendo em atenção a posição relativa de cada um dos lotes no armazenamento, isto é, misturando duas a duas as amostras de lotes consecutivos e assim sucessivamente.

5 — Valores especificados

Os valores especificados para os resultados dos ensaios realizados como se determina no capítulo II do presente caderno de encargos são os seguintes:

Determinação	Valor especificado
Finura:	
Resíduo de peneiração (máximo)	10 %
Expansibilidade (máximo)	4 mm
Tempo de presa:	
Princípio	1 h a 8 h
Fim (máximo) (a)	12 h
Tensão de rotura por flexão (mínimo):	
Aos 7 dias	32 kgf cm ⁻²
Aos 28 dias	50 kgf cm ⁻²
Tensão de rotura por compressão (mínimo):	
Aos 7 dias	160 kgf cm ⁻²
Aos 28 dias	275 kgf cm ⁻²
Teor em óxido de magnésio (máximo)	4 % (b)
Teor em anidrido sulfúrico (máximo)	3 %
Pozolanicidade	Positivo
Calor de hidratação (máximo) (a):	
Aos 3 dias	55 cal g ⁻¹
Aos 7 dias	65 cal g ⁻¹
Aos 28 dias	80 cal g ⁻¹

(a) Os laboratórios oficiais só farão esta determinação mediante pedido expresso.

(b) Se o teor em óxido de magnésio exceder o valor especificado, poderá ainda considerar-se satisfatória esta característica do cimento pozolânico desde que se determine o teor em óxido de magnésio do cimento *portland* normal utilizado no seu fabrico e o valor obtido não exceda 4 por cento.

6 — Colheita de amostras

O fornecedor do cimento pozolânico deverá dar todas as facilidades e fornecer o pessoal e material para a colheita e embalagem das amostras para ensaio e para a subsequente identificação do cimento amostrado; será também de sua conta o custo do cimento gasto nas amostras.

Excepto quando nas condições de fornecimento for estabelecido de modo diferente, a colheita de amostras será feita da maneira seguinte:

6.1 — Responsável pela colheita

As amostras para ensaio serão colhidas pelo comprador ou pelo seu representante para esse fim ou pela fiscalização da obra em que vai ser aplicado o cimento, na presença do fornecedor ou do seu representante para isso por ele designado.

6.2 — Divisão em lotes

O cimento pozolânico da mesma marca apresentado conjuntamente pelo fornecedor à recepção deve considerar-se repartido por lotes de 100 t. Considera-se igualmente como um lote todo o fornecimento de peso inferior a 125 t. Qualquer fracção de peso superior a 25 t que reste no fornecimento após a formação dos lotes de 100 t será também considerada como um lote.

Os lotes podem apresentar-se separados ou a granel contidos num mesmo reservatório.

6.3 — Quantidade de cimento pozolânico a colher

Por cada lote colhem-se 30 kg de cimento, obtidos de dez tomas sensivelmente do mesmo peso.

No caso de o cimento se encontrar embalado, será feita uma toma de cada uma de dez embalagens separadas ao acaso; no caso de o cimento se encontrar a granel, será feita uma toma de cada uma de dez diferentes zonas uniformemente repartidas.

6.4 — Reparação e embalagem das amostras

As dez tomas de cada um dos lotes devem ser intimamente misturadas, para o que se amontoam em forma de cone, se remexem e se tornam a amontoar e finalmente se arrasam e dividem em três partes aproximadamente iguais. Cada uma destas partes constituirá uma amostra, que deve ser conservada, até ser ensaiada, em recipiente metálico fechado, identificado e selado na presença dos interessados.

Uma das amostras ficará na posse do comprador, outra na posse do fornecedor e a terceira será enviada a um laboratório oficial para ensaio.

Quando as amostras forem colhidas de cimento a granel deverão ser identificadas com números consecutivos correspondentes à posição relativa de cada um dos lotes no armazenamento.

7 — Despesas com os ensaios

Salvo se nas condições de fornecimento for estabelecido de outro modo, no caso de o lote ser aceite o custo dos ensaios da primeira amostra fica a cargo do comprador e o das outras duas a cargo do fornecedor e no caso de o lote ser rejeitado o custo dos ensaios das três amostras fica a cargo do fornecedor.

8 — Condições de aceitação e rejeição

A aceitação e rejeição nas condições a seguir especificadas só têm valor legal para ensaios efectuados em laboratório oficial.

8.1 — Condições gerais

Sempre que um ou mais dos resultados dos ensaios efectuados sobre a primeira amostra não satisfaçam aos valores especificados, o lote correspondente será rejeitado provisoriamente; no caso contrário será aceite.

A rejeição provisória tornar-se-á definitiva:

1.º Quando o fornecedor não mandar ensaiar a amostra do mesmo lote que ficou em seu poder;

2.º Quando, tendo-o feito, um ou mais dos resultados dos ensaios sobre ela efectuados não satisfizerem aos valores especificados ou, no caso de satisfizerem, quando a amostra que ficou em poder do comprador der origem a um ou mais resultados que não satisfaçam aos valores especificados.

A rejeição provisória será levantada e o lote aceite quando todos os resultados dos ensaios efectuados sobre as amostras na posse do fornecedor e do comprador satisfizerem aos valores especificados.

8.2 — Cimento pozolânico em sacos

Um lote fornecido em sacos pode ser rejeitado se o peso médio destes, determinado a partir da pesagem de um grupo de, pelo menos, 50 sacos tirados ao acaso desse lote, for inferior ao valor nominal.

8.3 — Cimento pozolânico a granel

Quando dois ou mais lotes não separados de cimento pozolânico a granel sejam presentes conjuntamente à recepção, se não for possível identificar cada um dos lotes considerados para o efeito de colheita das amostras, o fornecimento deve ser aceite ou rejeitado conjuntamente, de acordo com as condições estabelecidas em 8.1, considerando como representativa do fornecimento a amostra dele colhida que tenha apresentado resultados menos favoráveis. Se for possível identificar cada um dos lotes considerados para efeito de colheita das amostras, poderá fazer-se a sua rejeição ou aceitação separadamente, de acordo com 8.1, atribuindo-se a cada lote os resultados dos ensaios obtidos sobre a amostra respectiva.

CAPÍTULO II

Especificações de ensaio

9 — Determinação do resíduo de peneiração

9.1 — Aparelhos e utensílios

a) Balança para pesar até 100 g com erro inferior a 0,005 g.

b) Peneiro, com 15 cm a 20 cm de diâmetro interior, de tela de arame de latão ou de bronze fosforoso com malhas quadradas de $0,088 \pm 0,0065$ mm de abertura média. A abertura máxima não deve exceder a abertura média em mais de 40 por cento e não deve haver mais de 6 por cento de malhas com aberturas que excedam em mais de 20 por cento a abertura média. O diâmetro do arame deve ser de $0,061 \pm 0,012$ mm.

Logo que a tela apresente malhas desigualmente abertas ou não esteja perfeitamente esticada, o peneiro deve ser substituído.

c) Duas peças metálicas: uma destinada a servir de fundo e outra de tampa do peneiro.

9.2 — Técnica

Coloca-se o fundo no peneiro, deitam-se-lhe 50 g da amostra do cimento e cobre-se com a tampa.

Faz-se em seguida a peneiração, manual ou mecanicamente, que termina quando passam menos de 5 cg de material num minuto.

Pesa-se o resíduo e repete-se o ensaio duas vezes sobre novas quantidades da amostra.

9.3 — Resultado

O resultado do ensaio, em percentagem, é dado pela média das quantidades de cimento retidas nos três ensaios multiplicada por dois.

O resultado apresenta-se arredondado às décimas.

Quando o resultado obtido for superior ao valor especificado, repete-se o ensaio com cimento da mesma amostra previamente submetido à temperatura de 120°C durante uma hora.

10 — Determinação da quantidade de água de amassadura da pasta normal

10.1 — Definição

Pasta normal. — Pasta de cimento amassada em condições especificadas com uma quantidade de água tal que a sonda de consistência do aparelho de Vicat quando deixa de se afundar sob a acção do seu próprio peso, fica a $6 \pm 0,5$ mm do fundo.

10.2 — Aparelhos e utensílios

a) Balança para pesar até 1 kg, com erro inferior a 1 g.

b) Proveta graduada em mililitros, com 300 ml de capacidade, pelo menos.

c) Aparelho de Vicat, cujo suporte tenha uma base de nível para apoio do molde, um braço com escala graduada em milímetros e um dispositivo de guiamento da haste para movimentos verticais (fig. 1).

A escala deve permitir pequenos deslocamentos para indicar directamente, com erro inferior a 0,5 mm, a espessura da camada de pasta de cimento entre o fundo do molde e a extremidade da sonda de consistência.

O molde, troncocónico, tem fundo plano ligado à parede lateral ou constituído por uma placa de vidro de cerca de 10 cm de lado sobre a qual aquela se apoia. As suas dimensões interiores são as seguintes:

Diâmetro da base menor	80 ± 3 mm
Diâmetro da base maior	90 ± 3 mm
Altura	40 ± 1 mm

A sonda de consistência deve ser um cilindro recto, de acabamento perfeito e com $10 \pm 0,05$ mm de diâmetro (fig. 2).

O peso do conjunto haste-sonda de consistência deve ser $300 \pm 0,5$ gf.

As peças em contacto com o cimento devem ser lisas e constituídas por material não absorvente e não atacável pelo cimento pozolânico.

d) Colher de pedreiro e chapa ou superfície lisa, para amassadura, não absorvente nem atacável pelo cimento pozolânico.

10.3 — Preparação dos provetes

A preparação dos provetes deve ser feita numa sala à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, temperatura a que deverão estar os materiais e utensílios a empregar.

Amontoam-se 1000 g de cimento sobre uma superfície lisa, não absorvente e não atacável pelo cimento, e abre-se uma cratera, para onde se deita de uma só vez determinada quantidade de água.

Vai-se virando o cimento do exterior para o interior até que toda a água seja absorvida; esta operação não deve exceder um minuto. Amassa-se com a colher, enèrgicamente, acumulando e espalhando a pasta até terem passado cinco a quinze minutos após a adição da água.

Amontoa-se a pasta e divide-se à colher em duas partes iguais; enche-se com uma delas o molde, sem trepidação nem compactação e rasa-se com o cutelo da colher num movimento de vaivém.

10.4 — Técnica

Preparado o provete, coloca-se debaixo da sonda de consistência, centrado com esta; desce-se a sonda de consistência lentamente, sem aceleração, e, logo que ela deixe de se afundar por acção do seu próprio peso, lê-se na escala a distância entre a extremidade da sonda e o fundo do molde.

Repete-se o ensaio com novas pastas amassadas com outras quantidades de água até que a espessura da camada de pasta abaixo da sonda de consistência seja de $6 \pm 0,5$ mm.

10.5 — Resultado

Sendo V o volume, em mililitros, de água de amassadura da pasta em cujo ensaio se obteve a espessura de camada desejada, a quantidade de água de amassadura da pasta normal, em percentagem da massa de cimento pozolânico, é

$$\frac{V}{10}$$

O resultado apresenta-se arredondado às décimas.

11 — Determinação da expansibilidade

11.1 — Aparelhos e utensílios

a) Três aparelhos de Le Châtelier, cujos moldes devem ser anéis cilíndricos de latão com 0,5 mm de espessura, 30 mm de diâmetro interior e 30 mm de altura, fendidos segundo uma geratriz. As agulhas devem ter 150 mm de comprimento e estar soldadas a meia altura do molde (fig. 3).

As pontas das agulhas e os bordos das fendas não devem exercer pressão entre si e a largura da fenda não deve ser superior a 0,5 mm.

Estes aparelhos devem satisfazer à seguinte condição: fixada uma das agulhas o mais perto possível da soldadura, por exemplo por meio de um torno, e de tal maneira que a outra fique sensivelmente horizontal e situada sobre a primeira, suspende-se por um fio uma massa de 300 g na zona onde a agulha livre se liga ao molde. O deslocamento da ponta desta agulha deve estar compreendido entre 15 mm e 20 mm.

b) Placas de vidro para servirem de base e de tampa aos moldes.

c) Três massas de 150 g.

d) Recipiente para ferver os provetes dentro dos respectivos moldes colocados sobre uma rede a cerca de 5 cm do fundo.

e) Régua graduada em milímetros.

11.2 — Preparação do provete

Prepara-se uma pasta normal de cimento pozolânico (ver 10) e enchem-se com ela os moldes dos três aparelhos de Le Châtelier colocados sobre placas de vidro, tendo o cuidado de os apertar, de forma que os bordos das fendas fiquem em contacto durante esta operação. Em seguida cobrem-se com outras placas de vidro sobre as quais se colocam as massas de 150 g e mergulham-se em água potável a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (fig. 4).

11.3 — Técnica

Decorridas 24 horas após a imersão dos provetes mede-se o afastamento entre as pontas das agulhas.

Colocam-se em seguida os aparelhos com as agulhas para cima no recipiente com água à temperatura ambiente. Aquece-se gradualmente durante uma hora até à ebulição, que se mantém durante três horas. Deixa-se arrefecer lentamente até $20 \pm 1^\circ\text{C}$; depois lê-se o afastamento entre as pontas das agulhas.

11.4 — Resultado

Sendo

- 1₁ a média, em milímetros, dos afastamentos entre as pontas das agulhas, após 24 horas de imersão;
- 1₂ a média, em milímetros, dos afastamentos entre as pontas das agulhas logo após o arrefecimento;

a expansibilidade do cimento pozolânico, em milímetros, é $1_2 - 1_1$.

O resultado apresenta-se arredondado às unidades.

Quando o resultado for superior ao valor especificado repete-se o ensaio com cimento da mesma amostra, depois de ter estado sete dias espalhado em camada, com cerca de 5 cm de espessura e mantido a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

12 — Determinação do princípio de presa

12.1 — Definição

Princípio de presa. — Intervalo de tempo entre o instante em que se adiciona a água ao cimento para fabrico da pasta normal e o momento em que no ensaio com o aparelho de Vicat, segundo a técnica especificada, a agulha deixa de penetrar até ao fundo do molde.

12.2 — Aparelhos e utensílios

Aparelhos e utensílios indicados em 10.2, excepto a sonda de consistência, que é substituída por uma agulha com a forma de um cilindro recto de $1,13 \pm 0,05$ mm de diâmetro (secção de 1 mm^2), e com acabamento perfeito (fig. 5).

O peso do conjunto haste-agulha deve ser $300 \pm 0,5$ gf.

12.3 — Preparação do provete

Com os materiais à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, prepara-se uma pasta normal de cimento, tomando nota da hora a que se faz a adição da água ao cimento; enche-se o molde sem trepidação nem compactação, rasa-se com o cutelo da colher em movimento de vaivém e mergulha-se em seguida o molde em água potável a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

12.4 — Técnica

Decorridos 30 minutos após a adição da água de amassadura, retira-se o molde da água, coloca-se no prato do aparelho e desce-se a agulha de Vicat, lentamente e sem aceleração. Sobe-se a agulha e retira-se o molde, que se mergulha de novo na água.

Repete-se sucessivamente esta operação a intervalos de tempo tais que seja possível determinar, com erro inferior a dois minutos, o momento em que a agulha deixa de penetrar até ao fundo do molde.

12.5 — Resultado

O princípio de presa apresenta-se expresso em horas e minutos.

13 — Determinação do fim de presa

13.1 — Definição

Fim de presa. — Intervalo de tempo entre o instante em que se adiciona a água ao cimento para fabrico da pasta normal e o momento em que no ensaio com o

aparelho de Vicat, segundo a técnica especificada, o acessório anelar da agulha, definido em 13.2, começa a não deixar marca na superfície da pasta ao ser retirado do contacto com ela, mas a extremidade da agulha ainda deixa.

13.2 — Aparelhos e utensílios

Os aparelhos e utensílios a utilizar são os indicados em 12.2, excepto a agulha do aparelho de Vicat, que é substituída por outra com a forma e as dimensões que se mostram na fig. 6.

O peso do conjunto haste-agulha deve ser $300 \pm 0,5$ gf.

13.3 — Provete

O ensaio é realizado com o provete utilizado na determinação do princípio de presa, o qual, após este ensaio, se mantém mergulhado em água potável a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

13.4 — Técnica

Decorridos 60 minutos após a determinação do princípio de presa retira-se o molde da água, coloca-se no prato do aparelho e desce-se a agulha até o acessório anelar se apoiar na superfície da pasta. Sobe-se a agulha, observa-se a superfície da pasta e retira-se o molde que se mergulha de novo na água. Se a superfície superior do provete estiver com espuma que dificulte a sua observação, pode realizar-se o ensaio na superfície inferior do provete.

Repete-se sucessivamente a operação descrita a intervalos de tempo tais que seja possível determinar, com erro inferior a dois minutos, o momento em que o acessório anelar da agulha começa a não deixar marca na superfície da pasta, mas a extremidade da agulha ainda deixa.

13.5 — Resultado

O fim de presa apresenta-se expresso em horas e minutos.

14 — Determinação da resistência mecânica

14.1 — Definições

Argamassa normal. — Argamassa com o traço, em peso, de 1:3:0,5 (cimento: areia normal: água), amassada nas condições especificadas.

Areia normal. — Areia proveniente do areeiro do Alfeite, seleccionada e composta de forma a apresentar as características especificadas.

14.2 — Materiais

a) Água potável para amassadura e conservação dos provetes.

b) *Areia normal.* — A areia a utilizar na confecção dos provetes é uma areia siliciosa, bem lavada, seca e com uma composição granulométrica contida dentro dos limites indicados no quadro seguinte ou na fig. 7:

Abertura do peneiro — Milímetros	Material que passa — Porcentagens
1,68	100
1,00	67 ± 2
0,50	34 ± 2
0,297	23 ± 2
0,149	9 ± 2
0,074	2 ± 1

Nota. — O material de dimensões inferiores a 0,297 mm pode ser obtido por moagem.

Esta areia deverá ser preparada para cada amassadura por mistura bem homogeneizada das seis classes a seguir definidas:

- Classe I — Elementos entre 1,68 mm e 1,00 mm.
- Classe II — Elementos entre 1,00 mm e 0,50 mm.
- Classe III — Elementos entre 0,50 mm e 0,297 mm.
- Classe IV — Elementos entre 0,297 mm e 0,149 mm.
- Classe V — Elementos entre 0,149 mm e 0,074 mm.
- Classe VI — Elementos inferiores a 0,074 mm.

14.3 — Aparelhos e utensílios

a) Balança para pesar até 2 kg, com erro inferior a 2 g.

b) Proveta com 250 ml de capacidade, pelo menos, e graduada de modo a permitir medições com erro inferior a 2 ml.

c) Seis moldes, cada um deles com uma boca retangular de 4 cm × 16 cm, de aço, ferro fundido ou bronze, com dureza igual ou superior a HRB 55, que permitam uma boa vedação por forma que os provetes não apresentem rebarbas (fig. 8).

Os moldes devem ser tais que os provetes fiquem com as dimensões nominais de 40 mm × 40 mm × 160 mm.

As suas características e tolerâncias são as indicadas no quadro seguinte:

Características	Valores e tolerâncias
Largura interior	40 ± 0,1 mm
Altura interior	40 ± 0,2 mm
Ângulos entre faces interiores	90 ± 0,5°
Desempeno das faces interiores de 40 mm × × 160 mm	± 0,02 mm

Os moldes poderão ser agrupados de modo a permitir o fabrico simultâneo de três provetes.

A espessura das paredes dos moldes não deve ser inferior a 10 mm e, em moldes triplos, a espessura da base não deve ser inferior a 15 mm.

d) Pilão de cobre com o peso de 1000 ± 20 gf, com uma altura total de 170 mm, tendo uma base rectangular de 35 mm de aresta e um cabo cilíndrico (fig. 8).

e) Funil ajustável à boca dos moldes, com uma altura de 40 mm e uma secção livre de 158 mm × 38 mm, para impedir que o pilão danifique as arestas dos moldes.

No caso de se utilizarem moldes triplos, o funil deve igualmente ser triplo, aconselhando-se o do tipo representado na fig. 8.

f) Máquina para ensaios de flexão, por exemplo uma balança de Michaëlis adaptada à realização destes ensaios, em que a flexão seja provocada pelo deslocamento de um par de roletes cilíndricos, com 10 mm de diâmetro e afastados de 100 mm entre eixos, relativamente a um terceiro de igual diâmetro e centrado com os primeiros (fig. 9).

As forças devem poder ser aplicadas gradualmente, sem choques, e a sua intensidade deve poder ser determinada com erro inferior a 1 por cento.

A máquina deve, para este efeito, ser aferida frequentemente, e nunca com intervalos superiores a seis meses.

g) Máquina para ensaios de compressão com um dos pratos provido de rótula esférica e que permita determinar a intensidade das forças com erro inferior a 1 por cento. Deve, para este efeito, ser aferida fre-

quentemente, e nunca com intervalos superiores a seis meses.

A compressão deve ser provocada por intermédio de duas placas de aço de, pelo menos, 15 mm de espessura e com uma superfície quadrada de 40 ± 0,1 mm de lado (fig. 10). O desempenho das faces interiores das placas deve ser de ± 0,02 mm. Um dos pratos deve ser susceptível de movimentos de rotação em torno de eixos horizontais.

h) Colher de pedreiro, uma superfície lisa não absorvente nem atacável pelo cimento pozolânico, sobre a qual se fará a amassadura dos materiais, uma tampa metálica para cobertura da argamassa, uma régua metálica e um tanque para conservação dos provetes, com água potável à temperatura de 20 ± 1°C.

14.4 — Preparação dos provetes

A preparação dos provetes deve ser feita numa sala à temperatura de 20 ± 1°C, temperatura a que deverão estar os materiais e utensílios a empregar.

a) Número de provetes. — Para o ensaio a realizar ao fim de cada um dos intervalos de tempo referidos na especificação de qualidade moldam-se, pelo menos, três provetes.

b) Preparação dos moldes. — Os moldes devem ser convenientemente montados e depois oleados com um pincel por forma a ficarem cobertos com uma camada de óleo contínua e pouco espessa. O óleo deve ser mineral e ter uma viscosidade média, por exemplo SAE 50.

c) Amassadura. — A amassadura é feita simultaneamente para três provetes pela forma seguinte:

1.º Humedece-se a superfície onde se fará a amassadura e amontoam-se sobre ela 495 g de areia da classe I, 495 g de areia da classe II, 165 g de areia da classe III, 210 g de areia da classe IV, 105 g de areia da classe V, 30 g de areia da classe VI e 500 g de cimento, que se misturam à colher até se obter cor uniforme;

2.º Forma-se uma cratera, na qual se deitam 250 ml de água, e vão-se virando cuidadosamente os materiais secos, do exterior para o interior, até que toda a água seja absorvida; esta operação não deve exceder um minuto;

3.º Amassa-se com uma colher, enérgicamente, até terem passado cinco a quinze minutos após a adição da água, acumulando e espalhando alternadamente a argamassa, que no final se amontoa.

d) Moldagem dos provetes. — Com a argamassa obtida pela forma indicada, imediatamente a seguir à sua confecção moldam-se simultaneamente três provetes, como segue (fig. 11):

1.º Coloca-se o funil sobre o molde oleado e lançam-se em cada compartimento cerca de 200 g de argamassa, cobrindo-se entretanto a restante argamassa com a tampa metálica;

2.º Compactam-se estas primeiras camadas com o pilão, dando por provete quatro séries de cinco pancadas uniformemente distribuídas; as pancadas devem ser dadas elevando-se o pilão até ficar com a face inferior ao nível da face superior do funil (4 cm acima da face superior do molde) e deixando-o cair livremente, na vertical;

3.º Repetem-se as operações 1.º e 2.º com uma segunda camada e posteriormente com uma terceira;

4.º Retira-se o funil, rasa-se a argamassa com uma régua mantida vertical e que se desloca com movi-

mento de vaivém e aplanam-se a superfície com uma colher, sem exercer pressão.

c) *Conservação dos provetes.* — Durante as primeiras 20 a 28 horas os provetes são conservados nos moldes, cobertos com uma chapa metálica, e ao ar numa câmara à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e humidade relativa não inferior a 95 por cento.

A desmoldagem deve efectuar-se à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e não deve demorar mais de quinze minutos.

Os provetes são em seguida conservados em água à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, até à data do ensaio, e a água deve ter livre acesso a todas as suas faces.

14.5 — Técnica

Os ensaios devem ser realizados à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e com um ritmo tal que cada provete não fique exposto ao ar mais de quinze minutos até se efectuar o ensaio de compressão. Com este objectivo podem emergir-se os provetes, antes do ensaio de flexão e depois de retirados do tanque de conservação, num recipiente com água à temperatura da água de conservação.

a) *Ensaio de flexão.* — Colocado o provete na máquina de ensaio, centrado em relação aos roletes e com a face de enchimento voltada para o operador (fig. 12), realiza-se o ensaio pela aplicação de forças progressivamente crescentes e sem choques até à rotura do provete. A velocidade de aplicação das forças deve ser de cerca de $5 \pm 1,5 \text{ kgf s}^{-1}$.

A força de rotura por flexão é a força máxima registada pela máquina de ensaio.

b) *Ensaio de compressão.* — Os provetes para o ensaio de compressão são constituídos pelas metades dos prismas ensaiados à flexão.

Colocado o provete na máquina de ensaio, centrado em relação aos pratos e com a face de enchimento voltada para o operador (fig. 13), realiza-se o ensaio pela aplicação de forças progressivamente crescentes e sem choques até à rotura do provete. A velocidade de aplicação das forças deve ser tal que a variação de tensões seja de cerca de $20 \pm 5 \text{ kgf cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

A força de rotura por compressão é a força máxima registada pela máquina de ensaio.

14.6 — Resultados

Sendo

F_1 a força de rotura por flexão, em quilogramas-força;

F_2 a força de rotura por compressão, em quilogramas-força;

a tensão de rotura por flexão de cada provete, em quilogramas-força por centímetro quadrado, é $0,2343 F_1 (a)$ e a tensão de rotura por compressão de cada provete, em quilogramas-força por centímetro quadrado, é $0,0625 F_2$.

O resultado do ensaio de cada amostra é dado pela média dos resultados dos ensaios dos respectivos provetes e apresenta-se arredondado às unidades.

Se os desvios das tensões individuais máxima e mínima de cada série de provetes em relação à média dos valores obtidos nessa série excederem em qualquer

dos casos 20 por cento desse valor médio, desprezam-se os resultados e repete-se o ensaio.

15 — Determinação do teor em óxido de magnésio

15.1 — Reagentes e auxiliares

a) Cloreto de amónio.

b) Pirossulfato de sódio ou de potássio — Para que não crepitem ao ser aquecido durante o ensaio, funde-se previamente numa cápsula de platina, deixa-se arrefecer e mói-se a massa fundida resultante; deve notar-se que um aquecimento demasiadamente prolongado ou uma temperatura excessivamente elevada podem originar o ataque da platina da cápsula pelo pirossulfato fundido.

c) Ácido clorídrico de 1,18 de densidade.

d) Ácido nítrico de 1,42 de densidade.

e) Ácido sulfúrico de 1,84 de densidade.

f) Hidróxido de amónio de 0,90 de densidade.

g) Ácido clorídrico (1:1).

h) Ácido clorídrico (1:3).

i) Ácido clorídrico (1:4).

j) Ácido clorídrico (1:99).

k) Ácido sulfúrico (1:1).

l) Ácido fluorídrico com a concentração de 48 por cento.

m) Hidróxido de amónio (1:1).

n) Hidróxido de amónio (1:20).

o) Sóluto de cloreto de amónio (20 g l⁻¹).

p) Sóluto de oxalato de amónio (50 g l⁻¹).

q) Sóluto de oxalato de amónio (1 g l⁻¹).

r) Sóluto de fosfato monoácido de amónio (250 g l⁻¹).

s) Água de bromo saturada.

t) Sóluto de nitrato de amónio para lavagem — Dissolvem-se 100 g de nitrato de amónio em água, juntam-se 200 ml de hidróxido de amónio ($d=0,90$) e perfaz-se com água o volume de 1 l.

u) Sóluto indicador de vermelho de metilo (2 g por litro de etanol).

15.2 — Aparelhos e utensílios

a) Balança para pesar até 100 g com erro inferior a 0,0001 g.

b) Banho de vapor ou placa de aquecimento.

c) Estufa regulável entre 105°C e 110°C .

d) Mufla regulável até 1200°C com erro inferior a 50°C .

e) Cronómetro.

f) Exsiccador.

g) Papel de filtro de poros largos, de poros médios e de poros apertados.

h) Cadinho de platina de 25 ml a 30 ml de capacidade.

i) Copos de precipitação, de vidro resistente ao fogo, com 50 ml, 250 ml, 400 ml, 500 ml e 600 ml de capacidade.

j) Gálheta graduada, não automática, para medições com erro inferior a 0,05 ml.

k) Pipetas graduadas para medições com erro inferior a 0,05 ml.

l) Cápsulas de porcelana ou, de preferência, de platina, com 50 ml e 200 ml de capacidade.

m) Provetas graduadas, funis de vidro, balões de esguicho, vidros de relógio com cerca de 10 cm de diâmetro, vareta de vidro com uma ponta plana e polívia de borracha.

15.3 — Técnica

a) Pesa-se 0,5 g da amostra de cimento e mistura-se no copo de 50 ml com cerca de 0,5 g de cloreto

(a) Se se utilizar uma balança de Michaëlis com uma multiplicação de K vezes, a tensão de rotura por flexão de cada provete é $0,2343 K G$, sendo G o peso do balde e da grenalha de chumbo, em quilogramas-força.

de amónio. Tapa-se o copo com o vidro de relógio e, com ele coberto, deixam-se escorrer pela sua parede 5 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$).

Terminada a reacção destapa-se o copo, deitam-se uma ou duas gotas de ácido nítrico ($d=1,42$), agita-se a mistura com a vareta e tapa-se novamente.

Coloca-se o copo no banho de vapor durante 30 minutos, agita-se o soluto de vez em quando e esmagam-se os grumos com a ponta plana da vareta.

Filtra-se por papel de filtro de poros médios para o copo de 250 ml e transfere-se o resíduo para o filtro, tão completamente quanto possível, sem o diluir. Deixa-se escorrer bem e lava-se o copo com o auxílio do pólcia de borracha. Lava-se o filtro e o resíduo, duas a três vezes, com ácido clorídrico (1:99) e, em seguida, dez a doze vezes, com pequenas porções de água quente, que, de cada vez, se deixa escorrer bem.

b) Ao filtrado obtido adiciona-se água destilada até se perfazerem cerca de 200 ml, juntam-se cerca de 10 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$), algumas gotas de indicador vermelho de metilo e leva-se à ebulição. Suspende-se o aquecimento, adiciona-se, gota a gota, hidróxido de amónio (1:1) isento de anidrido carbónico até a cor do soluto ficar amarela e ainda uma gota em excesso.

Ferve-se durante 50 a 60 segundos e aguarda-se, não mais de 5 minutos, que o precipitado assente.

Filtra-se por papel de filtro de poros largos para o copo de 600 ml e lava-se o precipitado com soluto de cloreto de amónio (20 g l⁻¹) quente, duas a quatro vezes conforme o seu volume. Para garantir a alcalinidade do soluto de cloreto de amónio, juntam-se-lhe, no balão de esguicho, duas gotas de indicador vermelho de metilo e adiciona-se hidróxido de amónio (1:1), gota a gota, até o soluto tomar uma tonalidade amarela; se, em qualquer altura, devido ao aquecimento, voltar a avermelhar, torna-se a alcalinizar o soluto.

c) Passa-se o filtro com o precipitado para o copo onde se acabou de fazer a precipitação, dissolve-se o precipitado com 15 ml de ácido clorídrico (1:3) quente, aquece-se moderadamente, desfaz-se o filtro com a vareta e repetem-se as operações descritas em (b) com a diferença de se ajustar o volume a cerca de 100 ml.

d) Acidifica-se com ácido clorídrico ($d=1,18$) o conteúdo do copo e, se necessário, evapora-se até reduzir o seu volume a cerca de 200 ml. Juntam-se 5 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$), algumas gotas de indicador vermelho de metilo e 30 ml de soluto de oxalato de amónio (50 g l⁻¹) quente.

Aquece-se até 70°C a 80°C e adiciona-se, gota a gota, hidróxido de amónio (1:1) ao mesmo tempo que se agita, até o soluto ficar amarelo.

Aguarda-se, não mais de uma hora, que o precipitado assente, mas durante a primeira meia hora agita-se de vez em quando.

Filtra-se, por filtro de poros médios, para o copo de 500 ml e lava-se o precipitado oito a dez vezes com água quente, de modo que o volume total de água utilizada não exceda 75 ml.

e) Acidifica-se o filtrado com algumas gotas de ácido clorídrico ($d=1,18$) e evapora-se até reduzir o seu volume a cerca de 250 ml. Arrefece-se até à temperatura ambiente e juntam-se 10 ml de soluto de fosfato monoácido de amónio (250 g l⁻¹). Adicionam-se 30 ml de hidróxido de amónio ($d=0,90$), ao mesmo tempo que se agita vigorosamente, e prolonga-se a agitação por mais 10 a 15 minutos.

Deixa-se assentar o precipitado em ambiente fresco, durante 8 horas pelo menos. Filtra-se por filtro de poros apertados, lava-se cinco a seis vezes com hidróxido de amónio (1:20) e despreza-se o filtrado.

Passa-se o filtro com o precipitado para o cadinho tarado, seca-se, incinera-se com cuidado, para não inflamar o papel de filtro, e, em seguida, calcina-se entre 1050°C e 1100°C durante 30 a 45 minutos.

Deixa-se arrefecer no exsiccador e pesa-se o resíduo.

Se a massa do resíduo da calcinação for inferior a 0,0559 g dá-se por terminado o ensaio. No caso contrário repete-se o ensaio com cimento da mesma amostra, em duplicado, acompanhado de um ensaio em branco, e segundo a técnica que a seguir se descreve.

f) Pesa-se 0,5 g da amostra, transfere-se para a cápsula de 50 ml, humedece-se com 10 ml de água, agita-se para evitar a formação de grumos e juntam-se 5 ml a 10 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$). Aquece-se moderadamente e agita-se até decomposição completa do cimento, para o que se esmagam suavemente os grumos com a ponta plana da vareta de vidro.

Leva-se o soluto até à secura no banho de vapor.

Suspende-se o aquecimento e ao resíduo juntam-se 5 ml a 10 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$) e igual volume de água.

Cobre-se a cápsula e aquece-se durante dez minutos no banho de vapor.

Dilui-se o soluto com igual volume de água quente, filtra-se imediatamente, por filtro de poros médios, para o copo de 250 ml e lava-se o resíduo duas a três vezes com ácido clorídrico (1:99) quente e depois com água quente.

g) Passa-se o filtrado para a cápsula de 200 ml, leva-se até à secura no banho de vapor e seca-se o resíduo assim obtido, na estufa, entre 105°C e 110°C, durante uma hora.

Deixa-se arrefecer no exsiccador, juntam-se 10 ml a 15 ml de ácido clorídrico (1:1), aquece-se no banho de vapor e dilui-se o soluto com igual volume de água quente.

Filtra-se imediatamente por novo filtro de poros médios para o copo de 400 ml e lava-se o pequeno resíduo obtido com água quente.

Guarda-se o filtrado e as águas de lavagem.

h) Os filtros com os resíduos obtidos em f) e g) secam-se e incineram-se no cadinho, com cuidado, para não os inflamar, e, em seguida, calcinam-se a $1150 \pm 50^\circ\text{C}$ durante cerca de uma hora.

i) Deixa-se arrefecer no exsiccador, adicionam-se algumas gotas de água, cerca de 10 ml de ácido fluorídrico (48 por cento) e uma gota de ácido sulfúrico ($d=1,84$).

Leva-se até à secura, com precaução, na chaminé, calcina-se a $1050 \pm 50^\circ\text{C}$ durante um a dois minutos e deixa-se arrefecer no exsiccador.

j) Junta-se ao conteúdo do cadinho 0,5 g de piro-sulfato de sódio ou de potássio e aquece-se abaixo do rubro, com precaução, para evitar projecções, até o resíduo se dissolver na fase fundida tendo em conta que um aquecimento excessivamente prolongado ou uma temperatura demasiadamente elevada pode originar o ataque do cadinho de platina pelo piro-sulfato fundido.

Deixa-se arrefecer no exsiccador, dissolve-se a massa fundida em água e o soluto resultante junta-se ao filtrado e águas de lavagem obtidos em g).

k) Ajusta-se a 200 ml o volume do conteúdo do copo de 400 ml, juntam-se cerca de 5 ml de ácido clorídrico e, se se tiver usado cápsula de platina nas operações

descritas em *f*), adicionam-se 3 ml de água de bromo saturada e ferve-se até eliminar o excesso de bromo.

Juntam-se algumas gotas de indicador vermelho de metilo e leva-se à ebulição.

Suspende-se o aquecimento, adiciona-se gota a gota hidróxido de amónio (1:1) isento de anidrido carbónico até o soluto ficar amarelo e ainda uma gota em excesso.

Ferve-se durante 50 a 60 segundos ou, de preferência, aquece-se em banho de vapor durante 10 minutos. Durante qualquer destas operações o soluto deve manter-se amarelo; se assim não acontecer, adiciona-se novamente hidróxido de amónio (1:1) e prolonga-se o aquecimento.

Deixa-se assentar o precipitado durante não mais de cinco minutos, filtra-se por filtro de poros médios para o copo de 600 ml e lava-se o precipitado com soluto de cloreto de amónio (20 g l⁻¹) quente, duas a quatro vezes, consoante o seu volume. Para garantir a alcalinidade do soluto de cloreto de amónio juntam-se-lhe no balão de esguicho duas gotas de indicador vermelho de metilo e adiciona-se hidróxido de amónio (1:1), gota a gota, até o soluto tomar uma tonalidade amarela; se, em qualquer altura, devido ao aquecimento, voltar a avermelhar, torna-se a alcalinizar o soluto.

l) Passa-se o filtro com o precipitado para o copo onde se acabou de fazer a precipitação, dissolve-se o precipitado com 15 ml de ácido clorídrico (1:3) quente e repetem-se as operações descritas em *k*), com a diferença de se ajustar o volume a cerca de 100 ml.

m) Acidifica-se com ácido clorídrico ($d=1,18$) o conjunto dos filtrados obtidos em *k*) e *l*) e evapora-se até reduzir o seu volume a cerca de 100 ml.

Enquanto quente, adicionam-se 40 ml de água de bromo saturada e hidróxido de amónio ($d=0,90$) até o soluto ficar francamente alcalino.

Ferve-se durante 5 minutos pelo menos, sem permitir que o soluto deixe de ter a cor amarela para o que se voltará a adicionar hidróxido de amónio ($d=0,90$), se for necessário. Deixa-se assentar, filtra-se por filtro de poros médios para o copo de 600 ml, lava-se com água quente e despreza-se o precipitado que eventualmente se tenha formado.

n) Acidifica-se o soluto com ácido clorídrico ($d=1,18$) e ferve-se até eliminar todo o bromo.

Juntam-se 5 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$), dilui-se até se perfazerem cerca de 200 ml, adicionam-se algumas gotas de indicador vermelho de metilo e 30 ml de soluto de oxalato de amónio (50 g l⁻¹) quente.

Aquece-se entre 70°C e 80°C e junta-se, gota a gota, hidróxido de amónio (1:1), ao mesmo tempo que se agita até o filtrado ficar francamente amarelo.

Deixa-se assentar o precipitado, não mais de uma hora, mas durante a primeira meia hora agita-se de vez em quando.

Filtra-se por filtro de poros médios para o copo de 500 ml e lava-se o precipitado moderadamente com soluto de oxalato de amónio (1 g l⁻¹) quente.

Guarda-se o filtrado e as águas de lavagem.

o) Passa-se o filtro com o precipitado para o copo onde se acabou de fazer a precipitação, dissolve-se com 50 ml de ácido clorídrico (1:4) quente e, com a vareta, macera-se o papel de filtro.

Ao soluto obtido junta-se água até se perfazerem cerca de 200 ml, adicionam-se algumas gotas de indicador vermelho de metilo e 20 ml de soluto de oxalato de amónio (50 g l⁻¹).

Aquece-se até próximo da ebulição, ao mesmo tempo que se junta, gota a gota, hidróxido de amónio (1:1) até a cor do soluto ficar amarela.

Deixa-se assentar o precipitado durante uma a duas horas. Filtra-se por filtro de poros médios, para o copo que contém o filtrado obtido em *n*), e lava-se moderadamente com soluto de oxalato de amónio (1 g l⁻¹) quente.

p) Acidifica-se com ácido clorídrico ($d=1,18$) o conjunto dos filtrados obtidos em *n*) e *o*) e evapora-se até reduzir o seu volume a cerca de 250 ml.

Juntam-se cerca de 10 ml de soluto de fosfato monoácido de amónio (250 g l⁻¹) e arrefece-se por imersão do copo em água gelada.

Junta-se hidróxido de amónio ($d=0,90$), gota a gota, e agita-se constantemente até começar a formar-se um precipitado cristalino; nessa altura adiciona-se um volume de hidróxido de amónio ($d=0,90$) de cerca de 5 por cento a 10 por cento do volume do soluto e continua a agitar-se durante mais alguns minutos.

Deixa-se repousar em ambiente fresco durante oito horas pelo menos.

Filtra-se por filtro de poros apertados e despreza-se o filtrado. Retira-se o papel de filtro do funil, desdobra-se, arrasta-se o precipitado com água quente para o copo onde foi feita a precipitação e lava-se com ácido clorídrico (1:4) e novamente com água quente. Se for necessário para dissolver o precipitado, junta-se mais ácido clorídrico (1:4) quente.

Dilui-se o soluto até se perfazerem cerca de 100 ml, junta-se 1 ml de soluto de fosfato monoácido de amónio (250 g l⁻¹), adiciona-se hidróxido de amónio ($d=0,90$), gota a gota, e agita-se constantemente até voltar a formar-se o precipitado cristalino e haver um pequeno excesso de hidróxido de amónio.

Arrefece-se e deixa-se repousar durante cerca de duas horas.

Filtra-se por filtro de poros apertados, lava-se o precipitado com duas porções de soluto de nitrato de amónio para lavagem e despreza-se o filtrado.

Passa-se o filtro com o precipitado para o cadinho tarado, seca-se, incinera-se com cuidado, para não inflamar o papel de filtro, e calcina-se a $1150 \pm 50^\circ\text{C}$ até peso constante, sem deixar fundir o precipitado.

q) Se a diferença entre as duas massas dos novos resíduos exceder 0,0022 g, continua a repetir-se o ensaio até se obterem dois resíduos cujas massas difiram menos do que aquele valor ou três tais que a diferença entre as massas do maior e do menor não exceda 0,0033 g. Toma-se então para massa do resíduo da calcinação a média das massas que obedecem às condições indicadas subtraída da massa do resíduo obtido no ensaio em branco. Se se dispuser simultaneamente de duas e de três massas nas condições atrás referidas, calcula-se a média a partir das segundas.

15.4 — Resultado

Sendo

M a massa, em gramas, do resíduo da calcinação, o teor em óxido de magnésio do cimento ensaiado, em percentagem, é 72,4 *M*.

O resultado apresenta-se arredondado às décimas.

16 — Determinação do teor em anidrido sulfúrico

16.1 — Reagentes e auxiliares

- Ácido clorídrico de 1,18 de densidade.
- Soluto cloreto de bário (100 g l⁻¹).

16.2 — *Aparelhos e utensílios*

- a) Balança para pesar até 100 g com erro inferior a 0,0001 g.
- b) Banho de vapor ou placa de aquecimento.
- c) Estufa regulável entre 105°C e 110°C.
- d) Mufla regulável até 1000°C com erro inferior a 50°C.
- e) Exsiccador.
- f) Papel de filtro de poros largos e de poros apertados.
- g) Cadinho de platina de 25 ml a 30 ml de capacidade.
- h) Copos de precipitação de vidro resistente ao fogo, com 250 ml e 400 ml de capacidade.
- i) Pipetas graduadas para medições com erro inferior a 0,05 ml.
- j) Funis de vidro, balão de esguicho, vidro de relógio com cerca de 10 cm de diâmetro, vareta de vidro com uma ponta plana e polígia de borracha.

16.3 — *Técnica*

a) Pesa-se 1 g da amostra de cimento, transfere-se para o copo de 250 ml, juntam-se-lhe 10 ml de água destilada quente, agita-se vigorosamente e adicionam-se-lhes 5 ml de ácido clorídrico ($d=1,18$). Se for necessário para se obter a decomposição completa do cimento, aquece-se moderadamente durante alguns minutos e esmagam-se os grumos com a ponta plana da vareta de vidro — a presença de um resíduo castanho não é de tomar em consideração.

Perfazem-se 50 ml com água destilada e aquece-se próximo da ebulição durante quinze minutos.

Filtra-se por filtro de poros largos para o copo de 400 ml e lava-se o resíduo seis vezes com água destilada quente.

b) Adiciona-se ao filtrado água destilada até fazer cerca de 250 ml e aquece-se até à ebulição; junta-se-lhe, gota a gota, e, lentamente, 10 ml de soluto de cloreto de bário (100 g l^{-1}) quente e continua-se a fervura até formação completa do precipitado.

Tapa-se com o vidro de relógio e deixa-se no banho de vapor durante três horas, pelo menos, tendo o cuidado de adicionar água destilada, se for necessário para manter o volume de soluto em cerca de 200 ml. Filtra-se por filtro de poros apertados e lava-se o precipitado com água destilada quente.

Passa-se o filtro com o precipitado para o cadinho, seca-se e incinera-se com precaução, para não inflamar o papel de filtro, calcina-se entre 800°C e 900°C, deixa-se arrefecer no exsiccador e pesa-se.

c) Se a massa do resíduo da calcinação for inferior a 0,0889 g dá-se por terminado o ensaio. No caso contrário, repete-se o ensaio com cimento da mesma amostra, em duplicado, acompanhado de um ensaio em branco, segundo a mesma técnica, excepto no que respeita à conservação do soluto no banho de vapor que deve durar doze horas em vez de três horas.

Se a diferença entre as duas massas dos novos resíduos exceder 0,0030 g, continua a repetir-se o ensaio até se obterem dois resíduos cujas massas difiram menos do que aquele valor ou três tais que a diferença entre as massas do maior e do menor não exceda 0,0045 g. Toma-se então para massa do resíduo da calcinação a média das massas que obedecem às condições indicadas subtraída da massa do resíduo obtido no ensaio em branco. Se se dispuser simultaneamente de duas e de três massas nas condições atrás referidas, calcula-se a média a partir das segundas.

16.4 — *Resultado*

Sendo

M a massa, em gramas, do resíduo da calcinação, o teor em anidrido sulfúrico do cimento ensaiado, em percentagem, é 34,3 M .

O resultado apresenta-se arredondado às décimas.

17 — *Determinação da pozolanicidade*17.1 — *Fundamento do método*

A determinação da pozolanicidade baseia-se no facto de os materiais pozolânicos fixarem, em presença da água, hidróxido de cálcio proveniente da hidratação dos cimentos, donde resulta que o teor em óxido de cálcio da fase líquida das pastas de cimento pozolânico, para cada temperatura e teor em alcalis, seja inferior ao correspondente à saturação dessa fase à mesma temperatura e para o mesmo teor em alcalis.

17.2 — *Resumo do processo*

Determinação do teor em óxido de cálcio e do teor em alcalis da fase líquida de uma pasta de cimento pozolânico, mantida a determinada temperatura durante um certo tempo, e comparação do primeiro daqueles teores com o que corresponderia à saturação do líquido para iguais temperaturas e teor em alcalis.

17.3 — *Reagentes e auxiliares*

- a) Ácido clorídrico 0,1 N .
- b) Ácido sulfúrico (1:1).
- c) Hidróxido de amónio (1:1).
- d) Soluto de oxalato de amónio (50 g l^{-1}).
- e) Soluto de permanganato de potássio aproximadamente 0,05 N .
- f) Soluto aquoso de alaranjado de metilo ($0,1 \text{ g l}^{-1}$).

17.4 — *Aparelhos e utensílios*

- a) Balança para pesar até 100 g com erro inferior a 0,01 g.
- b) Estufa capaz de manter a temperatura de $40 \pm 1^\circ\text{C}$.
- c) Pipetas de 50 ml e de 100 ml.
- d) Galheta graduada de 50 ml.
- e) Frascos Erlenmeyer de vidro resistente aos alcalis, com 300 ml de capacidade, um dos quais com rolha esmerilhada.
- f) Copos de precipitação, de vidro resistente ao fogo, com 400 ml e 600 ml de capacidade.
- g) Funis de vidro, um dos quais de boca larga.
- h) Termómetro graduado em graus centígrados.
- i) Balão de esguicho e vareta de vidro.
- j) Cadinho de fundo filtrante de porosidade G_4 .
- k) Papel de filtro de poros médios.

17.5 — *Técnica*

a) Deitam-se num frasco de Erlenmeyer, com uma pipeta, 100 ml de água destilada e coloca-se o frasco na estufa a 40°C durante cerca de uma hora.

Retira-se o frasco da estufa, introduzem-se-lhe, com o auxílio do funil de boca larga, 20 g do cimento pozolânico a ensaiar, tapa-se imediatamente com uma rolha de borracha ou de cortiça parafinada, agita-se enérgicamente durante vinte segundos, para desfazer os grumos de cimento que se tenham formado, e coloca-se de novo o frasco na estufa a 40°C, tendo o cuidado de

assegurar que o fundo fique horizontal para que a camada de cimento nele assente tenha espessura uniforme. O conjunto de operações realizadas com o frasco fora da estufa não deve demorar mais de dois a três minutos para evitar um abaixamento sensível da temperatura do conteúdo do frasco.

b) Ao fim de sete dias filtra-se pelo cadinho de fundo filtrante para o frasco de Erlenmeyer com rolha esmerilhada, o qual se tapa e se deixa arrefecer até à temperatura ambiente. Transferem-se, com a pipeta, 50 ml de soluto para o copo de 400 ml, juntam-se duas gotas de soluto indicador de alaranjado de metilo e titula-se com ácido clorídrico 0,1 *N* até o soluto tomar a cor vermelha.

c) Alcaliniza-se com hidróxido de amónio (1:1), aquece-se até à ebulição, juntam-se cerca de 30 ml de soluto de oxalato de amónio (50 g l⁻¹) quente e deixa-se assentar o precipitado durante cerca de vinte minutos.

Filtra-se por filtro de poros médios para o copo de 600 ml e lava-se o precipitado oito a dez vezes com água fria, de modo que o volume total de água utilizada não exceda 75 ml.

d) Passa-se o filtro com o precipitado para o copo onde se acabou de fazer a precipitação, junta-se água quente e dilui-se o precipitado. Com o auxílio da vareta retira-se do líquido o papel de filtro e espalha-se, de modo a ficar aderente à parede interior do copo. Ao mesmo tempo que se segura nessa posição, lava-se o papel de filtro com água, vasa-se no copo água quente até se perfazerem cerca de 200 ml, juntam-se 10 ml de ácido sulfúrico (1:1), aquece-se quase até à ebulição e, depois de o precipitado se dissolver, deixa-se arrefecer até uma temperatura entre 60°C e 80°C e titula-se com soluto de permanganato de potássio 0,05 *N*.

17.6 — Resultado

17.6.1 — Cálculos.

17.6.1.1 — A partir das medições feitas calculam-se, como se indica, os valores das seguintes grandezas:

a) Teor em alcalis:

Sendo

V, o volume, em mililitros, de soluto ensaiado;

V', o volume, em mililitros, de ácido clorídrico gasto na titulação referida em 17.5, b);

f, o factor de normalidade do ácido clorídrico utilizado;

o teor em alcalis do soluto, em milimoles de *OH* por litro, é

$$1000 \frac{V'f}{V}$$

b) Teor em óxido de cálcio:

Sendo

V, o volume, em mililitros, de soluto ensaiado;

V', o volume, em mililitros, de soluto de permanganato de potássio gasto na titulação referida em 17.5 d);

f, o factor de normalidade do soluto de permanganato de potássio utilizado;

o teor em óxido de cálcio do soluto, em milimoles por litro, é

$$500 \frac{V'f}{V}$$

17.6.1.2

Marca-se no sistema de coordenadas oblíquas, apresentado no gráfico da fig. 14, o ponto cujas abcissa e ordenadas são dadas, respectivamente, pelos valores do teor em alcalis e do teor em óxido de cálcio calculados.

17.6.2 — Apresentação:

O resultado do ensaio é expresso pelas palavras «positivo» ou «negativo», conforme o ponto marcado, como se indica em 17.6.1.2, ficar abaixo ou não da curva traçada na fig. 14.

18 — Determinação do calor de hidratação

18.1 — Campo de aplicação

A determinação do calor de hidratação será feita, provisoriamente, pelo processo adoptado para o cimento *portland* e apenas em cimentos pozolânicos cujo resíduo da dissolução, determinado como se indica em 18.6.3, seja inferior a 2 por cento.

18.2 — Resumo do processo

Determinação, num calorímetro apropriado, do calor de dissolução de um provete de cimento seco e do calor de dissolução de um provete do mesmo cimento deixado a hidratar durante um intervalo de tempo especificado; cálculo do calor de hidratação do cimento ao fim desse intervalo de tempo por diferença entre os dois valores obtidos.

18.3 — Reagentes e auxiliares

a) Óxido de zinco. — O óxido de zinco a utilizar como padrão na determinação da capacidade calorífica do calorímetro deve ser preparado como se indica a seguir, para a sua velocidade de dissolução ser análoga à do cimento seco.

Calcina-se o óxido de zinco entre 900°C e 950°C durante uma hora, deixa-se arrefecer no exsiccador, mói-se, passa-se num peneiro de malhas de 0,149 mm de abertura (n.º 100 ASTM) e guarda-se em recipiente fechado.

Pouco antes da determinação da capacidade calorífica do calorímetro calcinam-se novamente entre 900°C e 950°C, durante cinco minutos, cerca de 7 g do óxido de zinco preparado, como se indicou, e deixam-se arrefecer no exsiccador.

b) Ácido fluorídrico com a concentração de 48 por cento.

c) Ácido nítrico 2,00 *N* — Para evitar frequentes determinações da capacidade calorífica do calorímetro, deve preparar-se e titular-se de cada vez cerca de 10 l de ácido.

d) Parafina ou cera análoga.

18.4 — Aparelhos e utensílios

a) Calorímetro (fig. 15) constituído essencialmente por um vaso calorimétrico encerrado num recipiente isolador, um sistema de agitação, um termómetro diferencial e um funil para introdução de materiais no vaso calorimétrico.

O vaso calorimétrico é de vidro, tem boca larga e cerca de 0,5 l de capacidade e deve ser construído de modo que, quando cheio de água quente, rolhado e mantido em repouso durante 30 minutos, não deixe arrefecer a água mais de 0,001°C por minuto e por grau centígrado de diferença de temperatura entre a água e o ambiente. O vaso deve ser revestido interiormente com uma camada de material resistente ao ácido fluorídrico, tal como resina fenólica de estufa, resina vinílica de

estufa ou cera de abelhas. O revestimento deve manter-se permanentemente intacto, pelo que se deve inspeccionar frequentemente e reconstruir quando for necessário. O vaso é provido de uma rolha de cortiça com furos para passagem das hastas do termómetro, do agitador e do funil.

O recipiente isolador tem uma camada de algodão ou material análogo com 2,5 cm de espessura pelo menos e deve envolver o vaso calorimétrico pelos lados e pelo fundo, de modo a mantê-lo na posição conveniente, mas sem dificultar a sua remoção.

O sistema de agitação é constituído por um agitador accionado por um motor eléctrico. O agitador é de vidro, com revestimento resistente ao ácido fluorídrico ou de plástico inerte, e a sua extremidade inferior deve chegar quase ao fundo do vaso calorimétrico. A sua velocidade deverá ser constante para cada calorímetro e ter um valor compreendido entre 350 e 700 rotações por minuto; para o seu accionamento dispor-se-á de um motor, de preferência síncrono, com a potência máxima de 0,5 CV, munido de um redutor de velocidade apropriado.

O termómetro diferencial, do tipo Beckmann, tem um campo de medida de cerca de 6°C, está graduado com divisões de valor igual ou inferior a 0,01°C e deve ser regulável de modo que o limite superior da escala se possa fazer corresponder a uma temperatura próxima da do ambiente. O termómetro deve estar equipado com uma lente que facilite as leituras e a parte que fica dentro do vaso calorimétrico deve ter um revestimento resistente ao ácido fluorídrico. A extremidade inferior do termómetro deve ficar a um nível fixo, cerca de 3 cm abaixo da superfície livre do líquido contido no vaso calorimétrico durante os ensaios. O funil, de vidro ou de plástico, tem a haste com cerca de 8 cm de comprimento e, pelo menos, 0,6 cm de diâmetro interior. A extremidade inferior da haste deve ficar cerca de 0,5 cm abaixo da superfície inferior da rolha e, pelo menos, 1,5 cm acima da superfície livre do líquido contido no vaso calorimétrico.

b) Misturador mecânico capaz de preparar pastas homogéneas de cimento e água.

c) Almofariz de cerca de 20 cm de diâmetro, e respectivo pilão.

d) Tubos de vidro de 10 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro, tapados numa extremidade e com rolha.

e) Estufa com ventilação capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.

f) Mufla capaz de manter a temperatura entre 900°C e 1000°C.

g) Peneiro com malha de 0,590 mm e de 0,149 mm de abertura.

h) Cadinhos de platina, de 30 ml de capacidade, com tampa.

i) Pesa-filtros.

j) Conta-segundos.

k) Câmara para conservação dos provetes à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

l) Balança para pesar até 200 g, com erro inferior a 0,0001 g.

m) Balança, com caixa de vidro, para pesar até 1000 g, com erro inferior a 0,05 g.

18.5 — Determinação da capacidade calorífica do calorímetro

18.5.1 — Generalidades:

A determinação da capacidade calorífica do calorímetro deve fazer-se sempre que as condições do seu funcionamento sejam alteradas, como, por exemplo,

quando se acerta o termómetro diferencial, quando se substitui o termómetro, o agitador, o vaso ou o soluto ácido, ou quando se renova o revestimento protector do termómetro, do agitador ou do vaso.

18.5.2 — Técnica:

a) Tara-se o vaso calorimétrico, vasam-se-lhe cerca de 400 g de ácido nítrico 2,00 N previamente arrefecido até à temperatura correspondente ao menor valor da escala do termómetro (cerca de 5°C abaixo da temperatura ambiente), juntam-se-lhe 8 ml de ácido fluorídrico (48 por cento), coloca-se o vaso na balança e adiciona-se ácido nítrico 2,00 N até a quantidade de líquido perfazer 425 g.

Monta-se o calorímetro, tendo o cuidado de evitar que o agitador, ao girar, toque no termómetro, nas paredes do vaso ou na rolha de cortiça.

Põe-se a funcionar o sistema de agitação e decorridos vinte minutos, pelo menos, para deixar uniformizar a temperatura do conjunto, lê-se a indicação dada pelo termómetro e regista-se a hora a que a leitura é feita.

Um pouco antes de ler a temperatura pesa-se o óxido de zinco contido no exsiccador [ver 18.3 a)] e, logo após a leitura, introduz-se no vaso calorimétrico, através do funil, tendo o cuidado de empurrar para dentro do vaso, com o pincel, todas as partículas que tenham ficado aderentes ao funil. A introdução do óxido de zinco no vaso não deve demorar mais de dois minutos.

Regista-se, como temperatura do óxido de zinco, a temperatura ambiente durante a sua introdução.

b) Decorridos vinte minutos após a leitura da indicação dada pelo termómetro, tempo ao fim do qual o óxido de zinco deve estar completamente dissolvido, faz-se nova leitura.

Faz-se a terceira leitura vinte minutos depois, suspende-se a agitação e abre-se o calorímetro.

Se se notar mais do que simples vestígios de óxido de zinco por dissolver ou aderentes à haste do funil, repete-se a determinação.

18.5.3 — Cálculos.

18.5.3.1 — Elevação de temperatura:

Sendo

θ_0 o resultado da leitura feita antes da introdução do óxido de zinco no calorímetro;

θ_{20} o resultado da leitura feita decorridos 20 minutos;

θ_{40} o resultado da leitura feita decorridos 40 minutos;

a elevação da temperatura do calorímetro e do seu conteúdo (em graus centígrados) devida ao calor desenvolvido pela dissolução do óxido de zinco é

$$R = (\theta_{20} - \theta_0) - (\theta_{40} - \theta_{20})$$

18.5.3.2 — Capacidade calorífica:

Sendo

M a massa (em gramas) de óxido de zinco utilizado;

Q_{30} o calor de dissolução (em calorías por grama) do óxido de zinco a 30°C;

ΔQ a variação do calor de dissolução do óxido de zinco (em calorías por grama e grau centígrado) devida à variação da sua temperatura relativamente a 30°C;

c o calor específico do óxido de zinco (em calorías por grama e grau centígrado);

t_0 a temperatura (em graus centígrados) do óxido de zinco no momento da sua introdução no calorímetro;

t_{20} a temperatura (em graus centígrados) do conteúdo do calorímetro, correspondente à leitura θ_{20} (dada pela soma de θ_{20} com a temperatura, em graus centígrados, a que o termómetro de Beckmann marca zero);

R a elevação de temperatura (em graus centígrados) calculada como se indicou em 18.5.3.1; a capacidade calorífica do calorímetro e do seu conteúdo (em calorías por grau centígrado) é

$$\frac{M [Q_{30} + \Delta Q (30 - t_{20}) + c (t_0 - t_{20})]}{R}$$

em que, geralmente, se toma

$$\begin{aligned} Q_{30} &= 256,1 \text{ cal } g^{-1} \\ \Delta Q &= 0,1 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ c &= 0,12 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

18.6 — Determinação do calor de hidratação do cimento

18.6.1 — Preparação da pasta de cimento:

Tomam-se 150 g de cimento e 60 ml de água destilada, previamente mantidos a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ durante cerca de uma hora, lançam-se no vaso do misturador mecânico, misturam-se com uma espátula até a massa ficar com cor uniforme e completa-se a mistura com agitação mecânica durante cinco minutos.

Enchem-se, pelo menos, quatro tubos de vidro, com a pasta preparada, até cerca de 2,5 cm do topo, tapam-se com rolhas bastante justas, de forma a deixar ainda cerca de 0,5 cm entre a face superior da rolha e o topo do tubo, e enche-se este espaço com cera derretida.

Guardam-se os tubos com pasta, em posição vertical, a $23 \pm 1^\circ\text{C}$, até ao momento do ensaio.

18.6.2 — Determinação do calor de dissolução do cimento não hidratado:

A determinação do calor de dissolução do cimento não hidratado deve fazer-se imediatamente antes da calor de dissolução do primeiro provete de cimento hidratado a ensaiar.

Para fazer esta determinação procede-se como se indica em 18.5.2, com a diferença de que se substitui o óxido de zinco por 3 g de cimento não hidratado.

Logo a seguir à pesagem do provete que vai ser introduzido no calorímetro pesa-se num cadinho de platina uma quantidade aproximadamente igual do mesmo cimento que se calcina entre 900°C e 950°C durante uma hora e meia, pelo menos. Após a calcinação, coloca-se o cadinho no exsiccador, deixa-se arrefecer até à temperatura ambiente e pesa-se rapidamente.

18.6.3 — Determinação do resíduo da dissolução:

Imediatamente a seguir à última leitura da indicação dada pelo termómetro na determinação do calor da dissolução do cimento não hidratado (ver 18.6.2) filtra-se o conteúdo do vaso calorimétrico por um filtro de poros apertados, arrasta-se todo o resíduo para o filtro com um esguicho de água destilada e lava-se o resíduo duas vezes. Passa-se o filtro com um resíduo para o cadinho tarado, seca-se e calcina-se entre 950°C e 1000°C até peso constante.

Sendo

M a massa (em gramas) do resíduo da calcinação;
 M_s a massa (em gramas) de cimento não hidratado, calculada como se indica em 18.6.5.1.1;

o resíduo da dissolução (em percentagem), referido a material calcinado, é

$$100 \frac{M}{M_s}$$

18.6.4 — Determinação do calor de dissolução do cimento hidratado:

Decorrido o período ao fim do qual se pretende determinar o calor de hidratação do cimento retira-se do local de armazenagem um tubo com cimento hidratado (ver 18.6.1) cujo calor de dissolução se determina como se indica em 18.5.2, com a diferença de que se substitui o óxido de zinco por $4,18 \pm 0,05$ g de cimento hidratado preparado como se indica a seguir: durante o período inicial de vinte minutos de agitação da mistura ácida no calorímetro parte-se o tubo, retiram-se todos os pedaços de vidro, esmaga-se a amostra no almofariz até o material passar todo no peneiro com malhas de 0,590 mm de abertura e coloca-se o material peneirado num pesa-filtros bem fechado onde permanece até à pesagem que antecede a sua introdução no calorímetro; todas as operações devem processar-se rapidamente para reduzir tanto quanto possível a secagem da amostra e a acção do anidrido carbónico do ar sobre ela.

Logo a seguir à pesagem do provete que vai ser introduzido no calorímetro pesa-se, num cadinho de platina, uma quantidade aproximadamente igual do mesmo cimento que se seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante cerca de uma hora e a seguir calcina-se entre 900°C e 950°C durante cerca de doze horas.

Após a calcinação coloca-se o cadinho no exsiccador, deixa-se arrefecer até à temperatura ambiente e pesa-se rapidamente.

18.6.5 — Resultado.

18.6.5.1 — Cálculos.

18.6.5.1.1 — Massa de cimento não hidratado (ver 18.6.2):

Sendo

M_1 a massa (em gramas) do provete de cimento não hidratado empregado na determinação do calor de dissolução;

M_2 a massa (em gramas), antes da calcinação, do provete de cimento não hidratado submetido a calcinação;

M_3 a massa (em gramas) do mesmo provete depois de calcinado; a massa (em gramas) de cimento não hidratado empregado na determinação do calor de dissolução, expressa em material calcinado, é

$$M_s = M_1 \frac{M_3}{M_2}$$

18.6.5.1.2 — Massa de cimento hidratado (ver 18.6.4):

Sendo

M'_1 a massa (em gramas) do provete de cimento hidratado empregado na determinação do calor de dissolução;

M'_2 a massa (em grammas), antes da calcinação, do provete de cimento hidratado submetido a calcinação;

M'_3 a massa (em grammas) do mesmo cimento, depois de calcinado, a massa (em grammas) de cimento hidratado empregado na determinação do calor de dissolução, expressa em material calcinado, é

$$M_H = M'_1 \frac{M'_3}{M'_2}$$

18.6.5.1.3 — Calor de dissolução do cimento não hidratado:

Sendo

θ_{S_0} o resultado da leitura feita no termómetro diferencial, antes da introdução do cimento não hidratado no calorímetro;

$\theta_{S_{20}}$ o resultado da leitura feita decorridos 20 minutos;

$\theta_{S_{40}}$ o resultado da leitura feita decorridos 40 minutos;

t_{S_0} a temperatura (em graus centígrados) do cimento no momento da sua introdução no calorímetro;

$t_{S_{20}}$ a temperatura (em graus centígrados) do conteúdo do calorímetro correspondente à leitura θ_{20} ;

M_S a massa (em grammas) do cimento não hidratado empregado na determinação do calor de dissolução expressa em material calcinado;

c_S o calor específico (em calorias por grama e grau centígrado) do cimento não hidratado;

C a capacidade calorífica (em calorias por grau centígrado) do calorímetro e do seu conteúdo determinada como se indica em 18.5.3.2;

a elevação de temperatura do calorímetro e do seu conteúdo (em graus centígrados) devida ao calor desenvolvido pela dissolução do cimento não hidratado é

$$R_S = (\theta_{S_{20}} - \theta_{S_0}) - (\theta_{S_{40}} - \theta_{S_{20}})$$

e o calor de dissolução do cimento não hidratado (em calorias por grama) é

$$Q_S = \frac{C R_S}{M_S} - c_S (t_{S_0} - t_{S_{20}})$$

em que geralmente se toma

$$c_S = 0,2 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

18.6.5.1.4 — Calor de dissolução do cimento hidratado:

Sendo

θ_{H_0} , $\theta_{H_{20}}$, $\theta_{H_{40}}$, t_{H_0} , M_H , c_H as grandezas relativas ao cimento hidratado correspondentes às de símbolo análogo referidas em 18.6.5.1.3 para o cimento não hidratado;

C a capacidade calorífica (em calorias por grau centígrado) do calorímetro e do seu conteúdo determinada como se indica em 18.5.3.2;

ΔQ_H a variação do calor de dissolução do cimento hidratado (em calorias por grama e grau centígrado) devida à variação da sua temperatura;

a elevação de temperatura do calorímetro e do seu conteúdo (em graus centígrados) devida ao calor desenvolvido pela dissolução do cimento hidratado é

$$R_H = (\theta_{H_{20}} - \theta_{H_0}) - (\theta_{H_{40}} - \theta_{H_{20}})$$

e o calor de dissolução do cimento hidratado (em calorias por grama) é

$$Q_H = \frac{C R_H}{M_H} - c_H (t_{H_0} - t_{H_{20}}) - \Delta Q_H (t_{S_{20}} - t_{H_{20}})$$

em que, geralmente, se toma

$$c_H = 0,4 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta Q_H = 0,3 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

18.6.5.1.5 — Calor de hidratação do cimento:

Sendo

Q_S o calor da dissolução do cimento não hidratado (em calorias por grama);

Q_H o calor de dissolução do cimento hidratado (em calorias por grama);

ΔQ a variação do calor de hidratação do cimento (em calorias por grama e grau centígrado) devida à variação da sua temperatura;

o calor de hidratação do cimento (em calorias por grama de cimento calcinado), à temperatura de 25°C, é

$$Q = Q_S - Q_H - \Delta Q (t_{S_{20}} - 25)$$

em que, geralmente, se toma

$$\Delta Q = 0,1 \text{ cal } g^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

18.6.5.2 — Apresentação:

O resultado do ensaio apresenta-se arredondado às unidades, acompanhado da indicação da idade da pasta de cimento hidratado na data do seu ensaio.

18.6.6 — Ensaio fora da data prevista:

Se o ensaio aos 28 dias de idade, com o cimento hidratado, não puder ter lugar na data prevista ou tiver de ser repetido, poderá realizar-se com a pasta de um dos tubos de reserva em qualquer dos 4 dias seguintes, devendo, neste caso, indicar-se a respectiva idade.

Se aquela impossibilidade ou necessidade de repetição se verificar com o ensaio aos três ou aos sete dias de idade, desprezam-se as pastas preparadas e os resultados já obtidos nos ensaios com o cimento hidratado, preparam-se novas pastas e repetem-se as determinações. Apenas se poderá aproveitar, se já tiver sido determinado, o valor do calor de dissolução do cimento não hidratado.

Ministério das Obras Públicas, 11 de Maio de 1961. — O Ministro das Obras Públicas, *Eduardo de Arantes e Oliveira*.

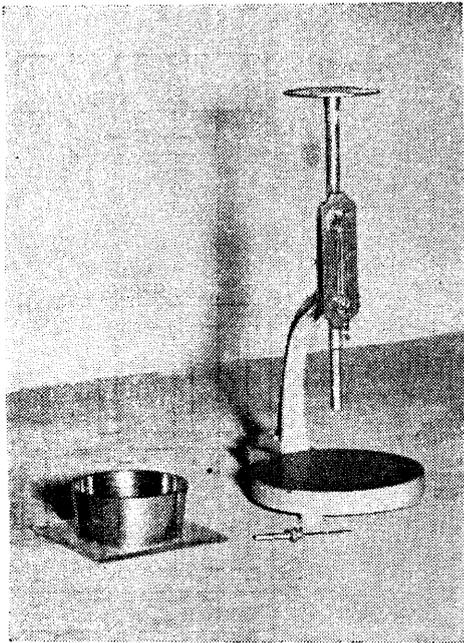


Fig. 1
Aparelho de Vicat



Fig. 2
Sonda de consistência

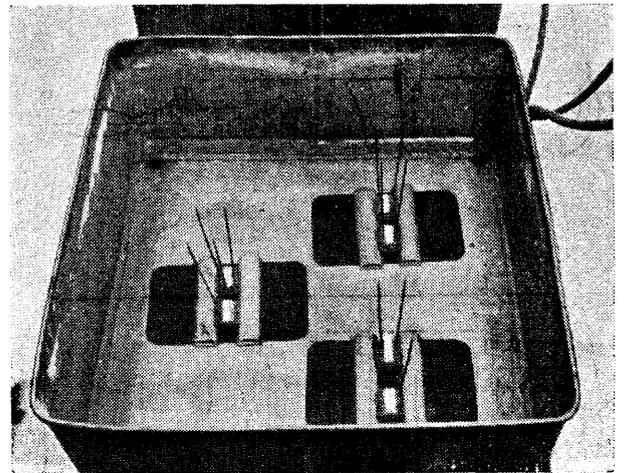
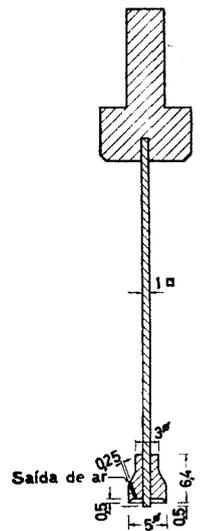


Fig. 4
Recipiente para ferver os provetes na determinação da expansibilidade



Fig. 5
Agulha de Vicat para determinação do princípio de presa



Dimensões em milímetros
Fig. 6
Agulha de Vicat para determinação do fim de presa

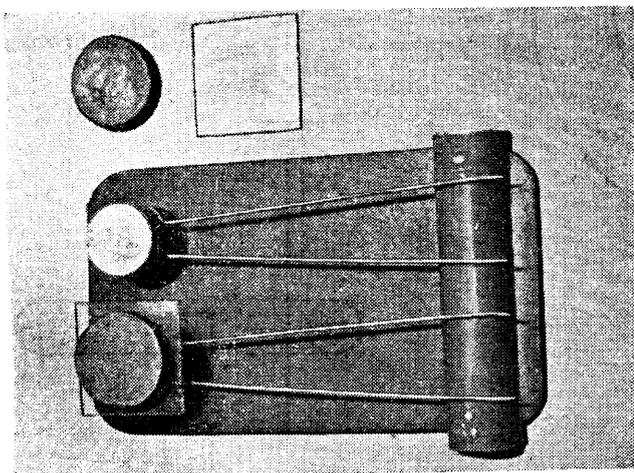


Fig. 3
Aparelhos de Chatelier para determinação da expansibilidade

CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA NORMAL

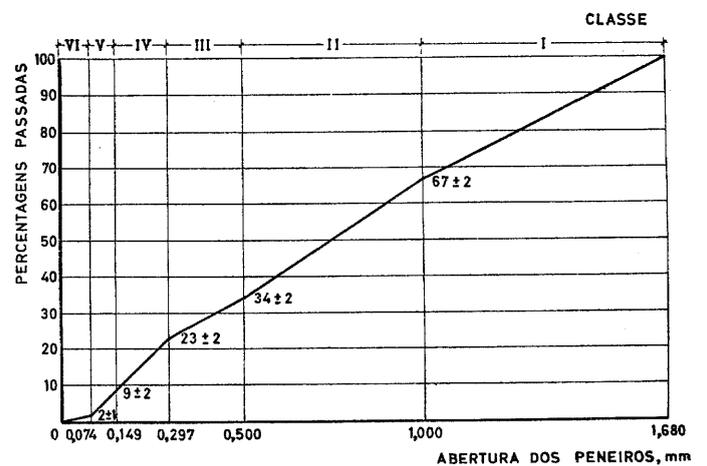


Fig. 7

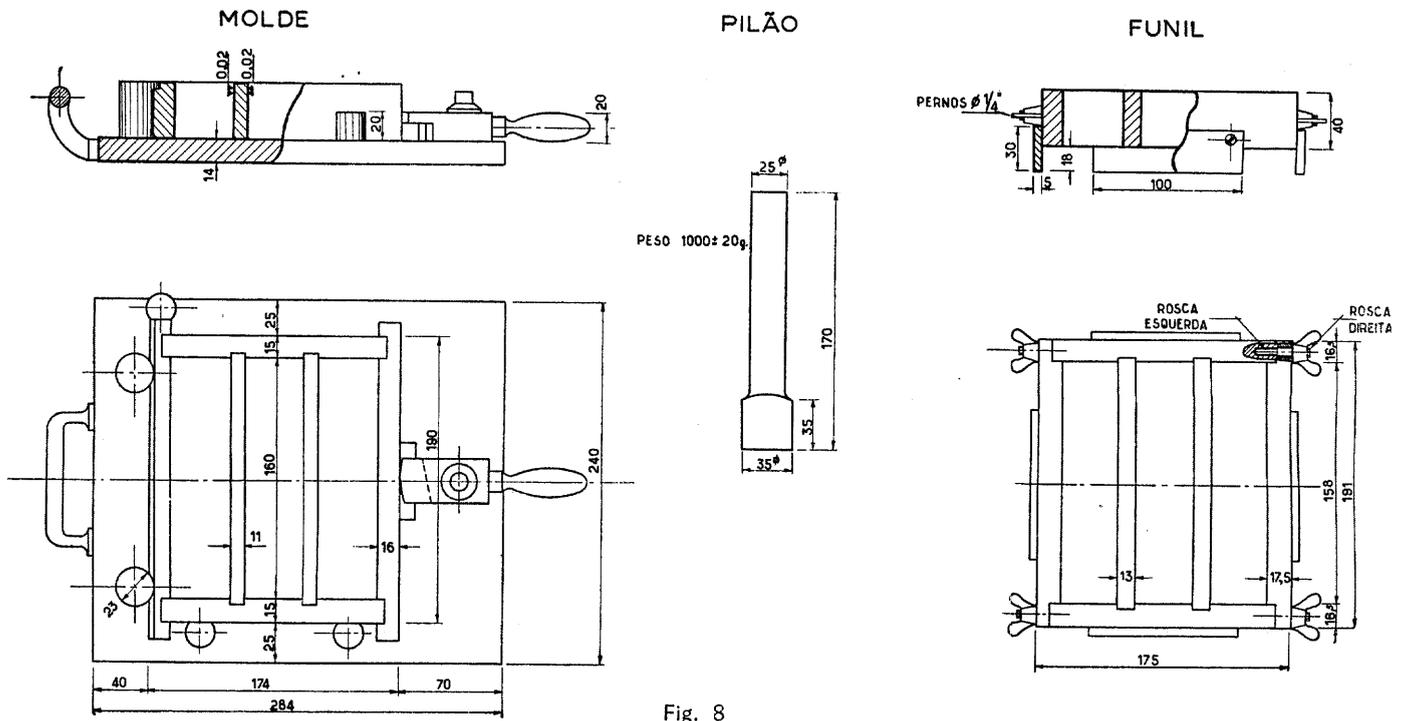


Fig. 8

Aparelhagem para o fabrico de prismas com 4 cm × 4 cm × 16 cm

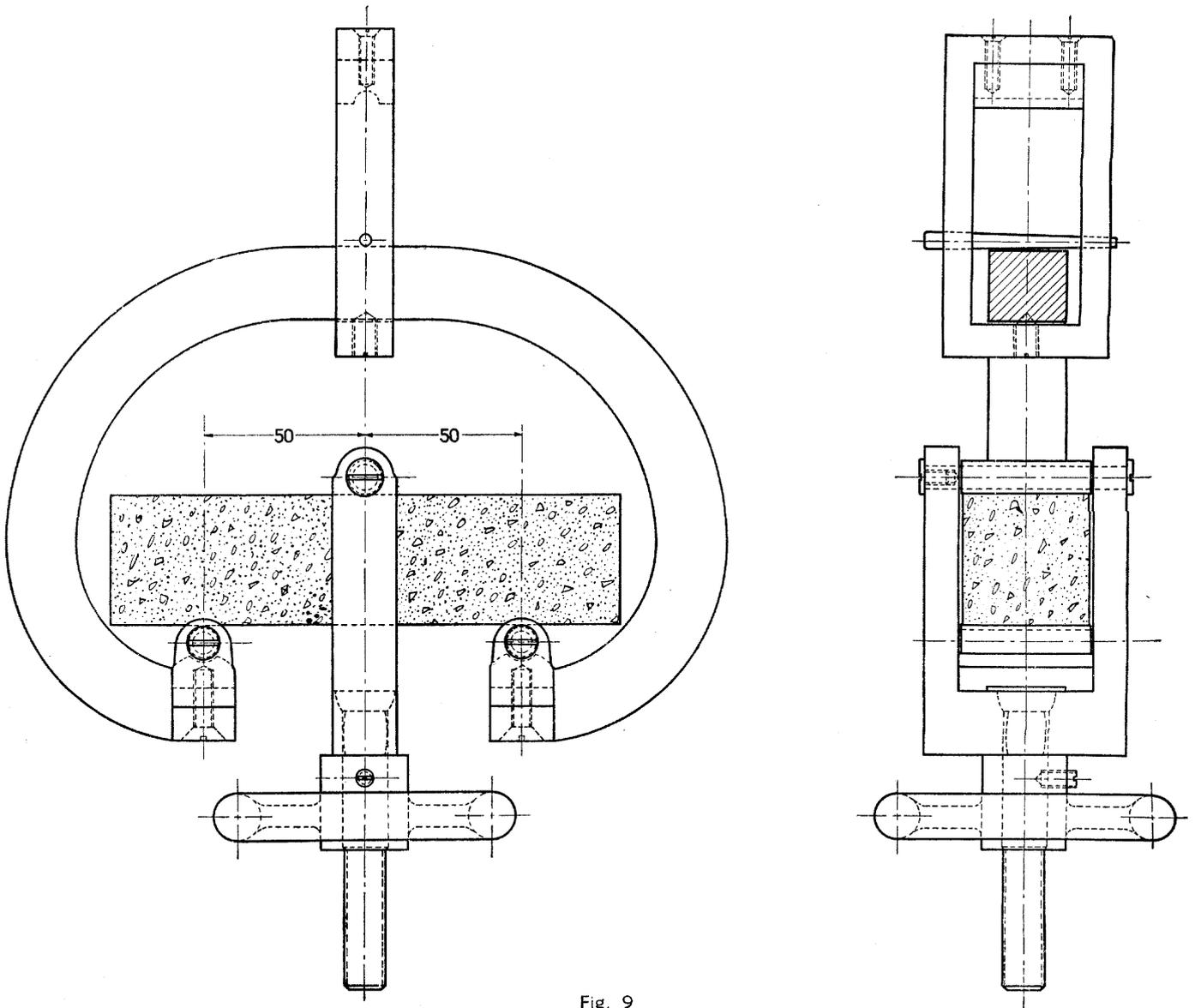
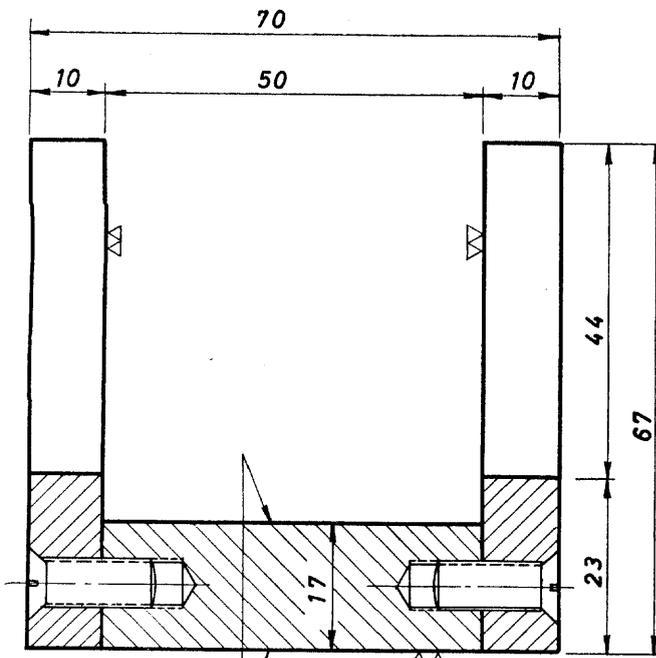
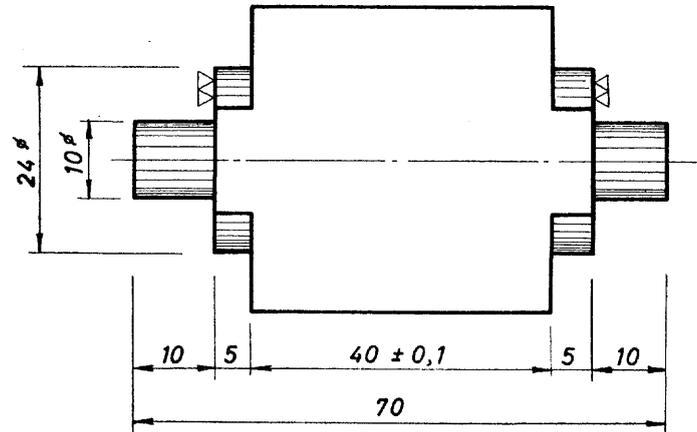
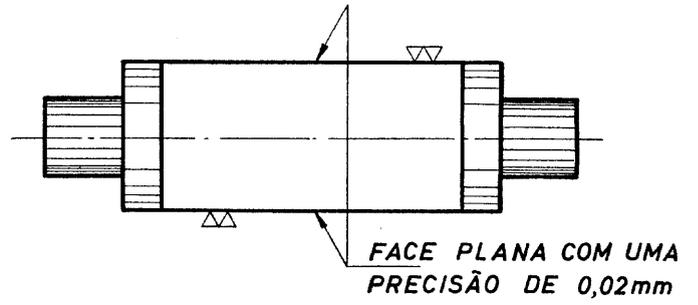
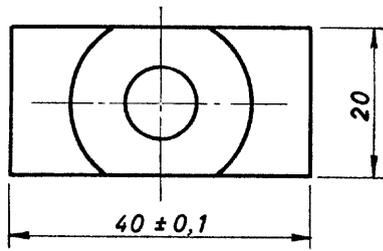


Fig. 9

Acessório para o ensaio de flexão



FACE PLANA COM UMA
PRECISÃO DE 0,02 mm

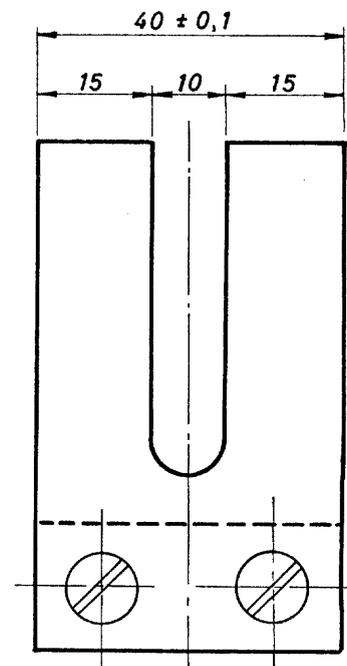


Fig. 10

Acessório para o ensaio de compressão

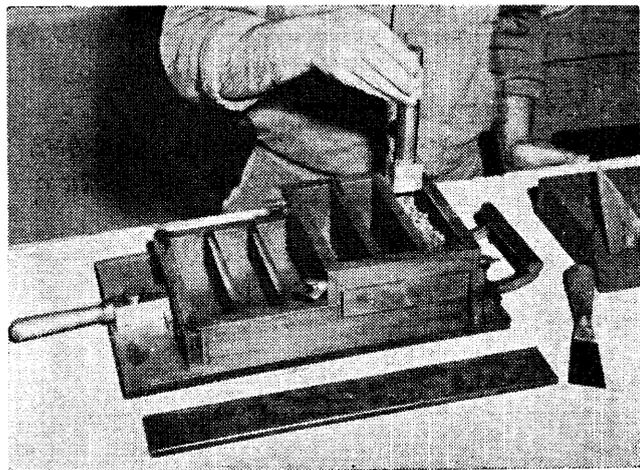


Fig. 11
Moldagem de prismas

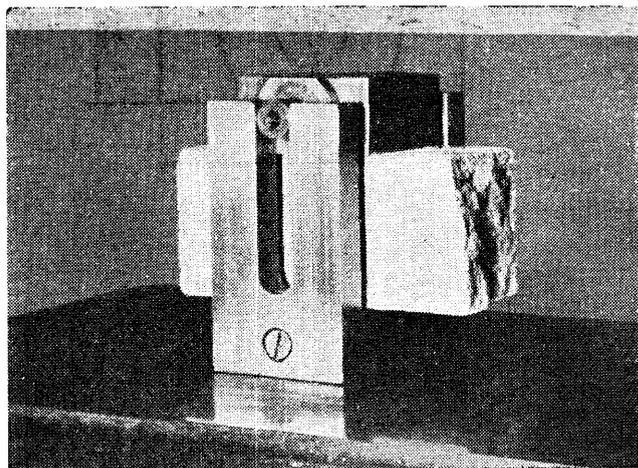


Fig. 13
Ensaio de compressão

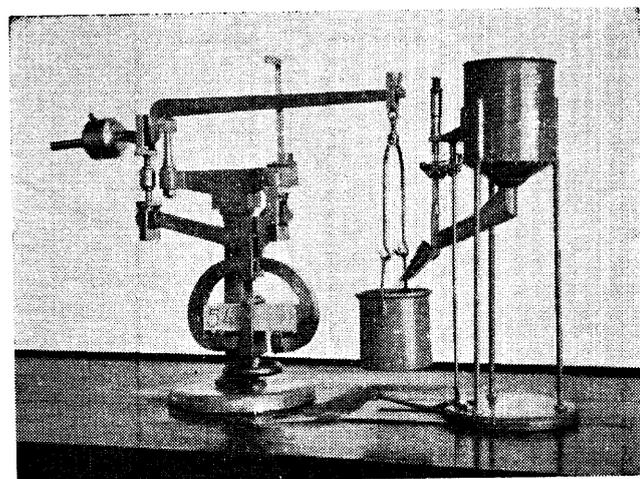


Fig. 12
Ensaio de flexão de prismas

SOLUBILIDADE DO $\text{Ca}(\text{OH})_2$ EM PRESENÇA DOS ALCALIS A 40°C

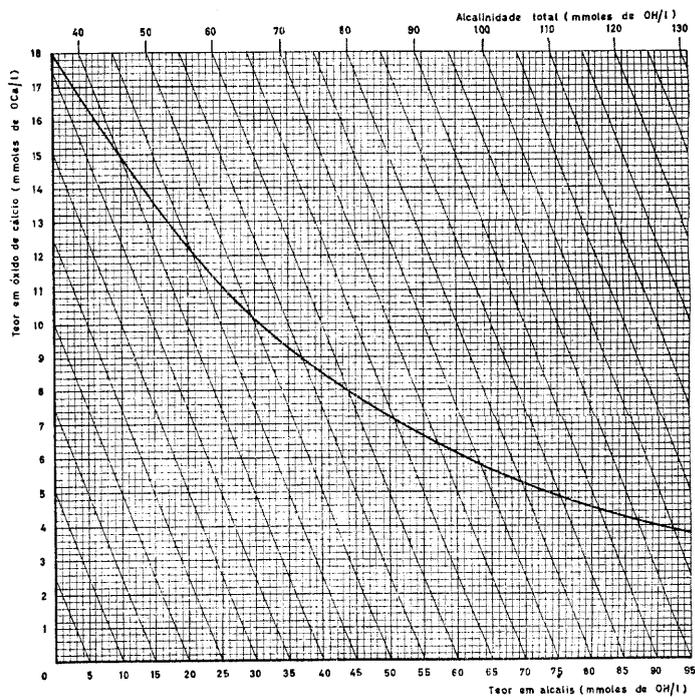


Fig. 14
Ensaio de pozolanicidade

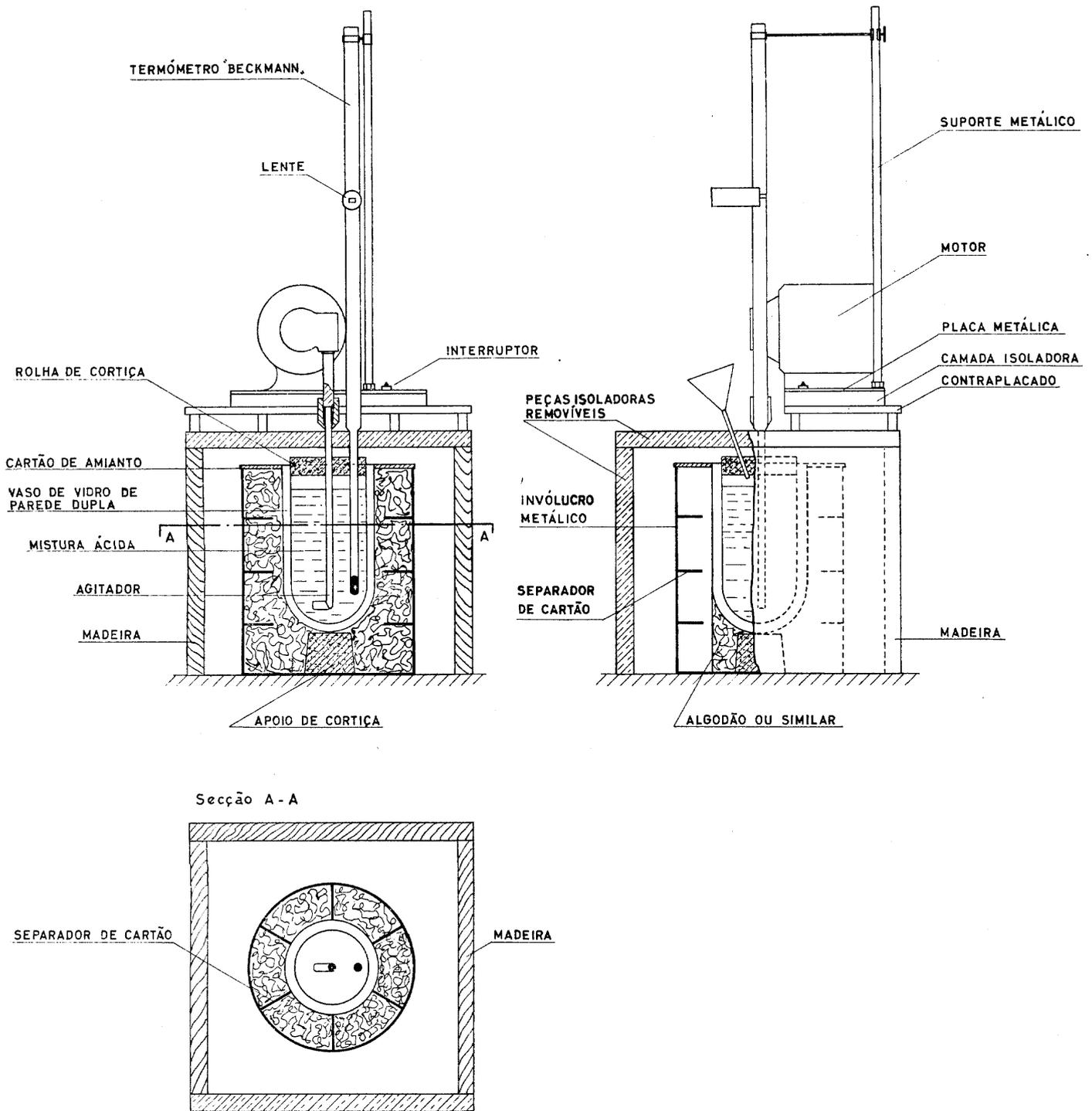


Fig. 15

Aparelho para determinação do calor de hidratação de cimentos

Ministério das Obras Públicas, 11 de Maio de 1961.—O Ministro das Obras Públicas, *Eduardo de Arantes e Oliveira*.

Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais

Decreto n.º 43 684

Considerando que foram adjudicados ao escultor Alvaro de Brée os trabalhos de execução da estátua de

Eça de Queirós destinada ao anfiteatro do edifício da Biblioteca Nacional;

Considerando que para a execução de tais trabalhos está fixado o prazo de 330 dias, que abrange parte do ano económico de 1961 e do de 1962.

Tendo em vista o disposto no artigo 22.º e seu § 1.º do Decreto-Lei n.º 41 375, de 19 de Novembro de 1957;