# ESTABILIZAÇÃO DE AREIA COM ADIÇÃO DE CAL E CINZA VOLANTE

SALOMÃO PINTO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:

Presidente

RIO DE JANEIRO
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL
JANEIRO DE 1971

A meus pais, espôsa e filhos
com profunda amizade e sincero reconhecimento.

# A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Jacques de Medina, orientador desta Tese, meus sinceros agradecimentos pela sua dedicada atenção e incentivo durante a preparação dêste trabalho.

Ao Engº. Eliseu Resende, Diretor Geral do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, e ao Engº. Cloraldino Soares Severo Diretor de Planejamento dêsse Departamento, fico grato por terem sido sensíveis às nossas pretenções junto à COPPE.

Ao Engº. Galileo Antenor de Araujo, chefe da Divisão de Pesquisas e Normas Técnicas do DNER, e ao atual chefe do Serviço de Solos e Fundações dessa Divisão, Engº. Henrique Alexis E. Sanna, fico grato pelo apoio que me deram concedendo-me as facilidades para trabalho nas dependências do Laboratório de Solos e Fundações.

À Termoelétrica de Charqueadas por ceder as amostras de cinzas volantes.

Aos 10º e 16º DRF do DNER por nos facilitar entendimentos com as Termoelétricas daqueles Estados, como também o transporte das cinzas para o Laboratório Central na Guanabara.

Ao IPR pelo auxílio financeiro.

Aos laboratoristas Horly Avila Guerson, José Passidonio e Lenine Fernandes pela ajuda na realização dos ensaios.

À escrevente-datilógrafa Maria Josefina Araujo, pelos cuidados na datilografia do trabalho.

# ÍNDICE

DEDICATÓRIA ..... i.
AGRADECIMENTOS ..... ii.
ÍNDICE ..... iii.
SUMÁRIO ..... v.
ABSTRACT ..... vii.

CAPÍTULOS

I - INTRODUÇÃO ..... 1.

II - REVISÃO DA LITERATURA ..... 5.
2.1 - Histórico do uso de cinzas pozolânicas... 5.
2.2 - Trabalhos de estabilização de solos com cinza e cal ..... 6.
2.2.1 - Tipos de cales ..... 7.
2.2.2 - Tipos de cinzas volantes ..... 7.
2.2.3 - Tipos de solos ..... 8.
2.2.4 - Efeito de diferentes proporções de cinza e cal ..... 8.
2.2.5 - Relações entre umidade, densidade e resistência ..... 8.
2.2.6 - Efeito dos esforços de compactação ..... 8.
2.2.7 - Efeito da temperatura de cura ..... 9.

III - PROGRAMA DA PESQUISA ..... 10.

IV - MATERIAL E MÉTODOS ..... 12.
4.1 - Materiais empregados ..... 12.
4.1.1 - Solo ..... 12.
4.1.2 - Cal ..... 12.
4.1.3 - Cinza Volante ..... 12.

4.2 - Métodos adotados ..... 18.
4.2.1 - Proporções das misturas ..... 18.
4.2.2 - Moldagem dos corpos de prova ..... 19.
4.2.3 - Cura dos corpos de prova ..... 22.
4.2.4 - Resistência à compressão simples ..... 22.

V - RESULTADOS ..... 23.
TABELAS E GRÁFICOS ..... 24.

VI - DISCUSSÕES 118.
6.1 - Relações densidade-umidade e resistência-umidade ..... 118.
6.2 - Teores de cinza volante ..... 119.
6.3 - Efeito dos esforços de compactação ..... 120.
6.4 - Influência do período de cura ..... 121.
6.5 - Efeito da temperatura de cura ..... 122.

VII -CONCLUSÕES ..... 124.

VIII - SUGESTÕES ..... 126.

BIBLIOGRAFIA ..... 127.

APÊNDICES ..... 128.
Apêndice A - Fotografias das aparelhagens e dos corpos de prova ..... 129.
Apêndice B - Fotomicrografia da mistura areia-cal-cinza volante ..... 140.

# SUMÁRIO

O objetivo dêste trabalho foi o de verificar o comportamento de uma cinza volante ("fly ash") nacional como agente estabilizador de uma areia pura e uniforme.

Procurando destacar a ação da cinza volante, escolheu-se um solo não coesivo, desprovido de fração coloidal e, portanto, não se prestando às estabilizações comumente realizadas com cimento portland e cal.

A cinza volante - material de refugo da queima de carvão pulverizado nas termoelétricas - e a cal, umedecidas, apresentam reação pozolânica e cimentam os grãos de areia.

Procurou-se comprovar pesquisas feitas no exterior, utilizando uma cinza volante produzida em termoelétrica do sul do país. Teve-se também, em vista a utilização de areia de duna que ocorre em tôda a região costeira.

Os resultados experimentais de laboratório são apresentados em tabelas e gráficos, e discutidos. Foram estudadas três (3) misturas com 10%, 17,5% e 25% de cinzas volantes, e tôdas com 6% de cal hidratada. Foram adotadas duas (2) energias de compactação, e três (3) idades de cura: 7, 14 e 28 dias. Pesquisou-se, também, a influência da tamperatura de cura: 7°C, 23°C, 40°C e 60°C, para a mistura com 17,5% de cinzas.

Observaram-se resistências à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos comparáveis às do solo-cimento; a 28 dias valores de 37 kg/cm$^2$ e 54 kg/cm$^2$ para a mistura com a maior porcentagem de cinzas, nas duas energias de compactação.

Verificou-se a influência do período de cura e da temperatura de cura na resistência, ou seja na reação pozolânica.

Além disso, os resultados propiciaram informações -

quanto aos parâmetros de compactação das misturas, com vistas à utilização no campo.

Em suma, ficou evidenciada, em escala de laboratório, a possibilidade dêste tipo de estabilização de solos, confirmando estudos feitos no estrangeiro, e, principalmente, o valor de uma cinza volante produzida em central termoelétrica do sul do país quanto à aplicação na utilização de solo arenoso típico de dunas costeiras.

## ABSTRACT

The purpose of this research work was to verify the behavior of a Brazilian fly ash as a stabilizing agent of a pure uniform sand.

Timing at the action of fly ash, a soil with no cohesion, lacking of colloidal fraction, was chosen. This soil is not suitable for the usual processes of stabilization with portlant cement or lime.

The fly ash - a residual material from the burning of pulverized coal - and lime, when wetted, presents a pozzolanic reaction and cements the sand grains.

It was intended to confirm research work made abroad, by using a fly ash produced in a thermo - electric plant from the southern part of Brazil. It was taken into account the possibilities that this process might have, in the coastal region where sand dunes are present.

The experimental results from laboratory are presented in tables and graphs, and are thereafter discussed. Three (3) mixtures were studied having: 10%, 17,5% and 25% fly ash, all of them with 6% hydrated lime. Two (2) different compaction energies were applied, and three (3) curing ages adopted: 7, 14 and 28 days. It was also investigated the temperature - effect on curing at: 7°C, 23°C, 40°C and 60°C for mixture having 17,5% fly ash.

The unconfined compressive strengths obtained with the cylindrical specimens are comparable to those of soil-cement; at 28 days values were 37 kg/cm$^2$ and 54 kg/cm$^2$ for mixture with higher proportion of fly ash, at two compaction energies. It was observed the effect of curing time and temperature on the strength or on pozzolanic reaction.

Furthermore, the results furnished information about the compaction parameters of mixtures with views to field use.

Summing up these consideration it was put into evidence in laboratory the possibilities of this type of soil stabilization as it had already been done abroad. Above all it was shown the value of the fly ash produced in a thermo-electric plant of the southern part of Brazil in stabilizing sands which are typical of coastal dunes.

# ÍNDICE


I - INTRODUÇÃO ..... 1.

II - REVISÃO DA LITERATURA ..... 5.

2.1 - Histórico do uso de cinzas pozolânicas ..... 5.
2.2 - Trabalhos de estabilização de solos com cinza e cal ..... 6.
2.2.1 - Tipos de cales ..... 7.
2.2.2 - Tipos de cinzas volantes ..... 7.
2.2.3 - Tipos de solos ..... 8.
2.2.4 - Efeito de diferentes proporções de cinza e cal ..... 8.
2.2.5 - Relações entre umidade, densidade e resistência ..... 8.
2.2.6 - Efeito dos esforços de compactação ..... 8.
2.2.7 - Efeito da temperatura de cura ..... 9.

III - PROGRAMA DA PESQUISA ..... 10.

IV - MATERIAL E MÉTODOS ..... 12.

4.2 - Métodos adotados ..... 18.
4.2.1 - Proporções das misturas ..... 18.
4.2.2 - Moldagem dos corpos de prova ..... 22.
4.2.3 - Cura dos corpos de prova ..... 22.
4.2.4 - Resistência à compressão simples ..... 22.

V - RESULTADOS ..... 23.

VI - DISCUSSÕES ..... 51.

6.1 - Relações densidade-umidade e resistência-umidade ..... 51
6.2 - Teores de cinza volante ..... 52
6.3 - Efeito dos esforços de compactação ..... 53

6.4 - Influência do período de cura ..... 54.
6.5 - Efeito da temperatura de cura ..... 55.

VII - CONCLUSÕES ..... 57.
VIII - SUGESTÕES ..... 59.

BIBLIOGRAFIA ..... 60.

APÊNDICE - Fotomicrografias da mistura areia-cal-cinza volante ..... 61.

# I - INTRODUÇÃO

A necessidade de estabilizar um solo em serviço de pavimentação ocorre freqüentemente quando não se dispõe de agregado pétreo ou quando a melhoria de suas propriedades permite utilizá-lo numa das camadas da estrutura do pavimento, com vantagens técnicas e econômicas definitivas. Assim é que a Estabilização de Solos constitue um dos tópicos de maior interêsse para os engenheiros dedicados à construção rodoviária e aeroportuária, e é um dos assuntos estudados nos cursos de Mecânica dos Solos da COPPE-UFRJ.

Um dos centros de pesquisa mais atuantes no estudo da estabilização dos solos é a Estação Experimental de Engenharia, da Universidade Estadual de IOWA, nos E.U.A. A tese de doutoramento de MATEOS (2)* realizada nessa Universidade foi uma valiosa fonte de sugestões para o nosso trabalho. Tem merecido a atenção dos pesquisadores de IOWA o emprêgo de aditivos baratos, fàcilmente disponíveis, e até mesmo materiais de refugo.

Na presente pesquisa procuramos verificar alguns comportamentos de um material considerado refugo no Brasil, que é a "fly ash", no sentido de utilizá-lo na estabilização de solos constituídos de areias puras e uniformes. Talvez seja êste um dos casos mais significativos para verificação do comportamento do aditivo, pois a uniformidade das partículas do solo dificulta a cimentação, visto a grande quantidade de vazios, e menos superfícies de contacto entre os grãos do solo.

A Cinza Volante ("fly ash"), é uma pozolana artificial, produzida nas usinas termoelétricas que queimam carvão em pó.

As definições da "American Society for Testing and Materials" para a "fly ash" e a pozolana são as seguintes (2).

---

* O número entre parênteses refere-se à Bibliografia.

"Fly Ash" - resíduo fino que resulta da combustão de carvão pulverizado ou moído sendo transportada da caldeira por um conduto de gases.

Pozolana - é definido como um material sílico ou sílico - aluminoso, que por si só possue pouca ou nenhuma capacidade de cimentação, porém em forma finamente dividida e na presença de umidade reage quìmicamente com hidróxidos alcalinos e alcalinos terrosos à temperatura ambiente para formar ou ajudar a formação de compostos possuindo propriedades cimentantes.

Nos E.U.A e em alguns países da Europa é a cinza volante a pozolana artificial mais comumente empregada. Dentre as inúmeras utilizações dadas às cinzas volantes podemos destacar como as mais importantes, a adição ao cimento portland e ao clinquer visando a obtenção de cimento pozolânico.

Por se tratar de um resíduo industrial, a cinza constitui matéria prima de baixo custo, de cujo emprêgo podem resultar vantagens de ordem econômica.

Além disso, em certas aplicações, esta matéria prima tem sido utilizada inclusive com vantagens de ordem técnica. Tal é o caso de seu emprêgo como "filler", ou então como pozolana com objetivo de reduzir os efeitos nocivos da reação álcali-agregado ou, ainda, como aditivo nos concretos visando reduzir o calor de hidratação.

De um modo geral, há concordância no que se refere às vantagens de ordem técnica decorrentes da utilização da cinza nos casos citados. Já no tocante à influência de sua adição sôbre a resistência mecânica das argamassas, não existe tal concordância. Esta propriedade depende do tipo de cinza, sendo sensìvelmente afetada pela composição química, granulométrica ou melhor pela camada geológica de onde é extraído o carvão (7, 8).

A reatividade da cinza volante varia de fonte para fonte existindo ensaios que indicam de maneira aproximada o

seu índice de atividade com a cal e com o cimento (10).

Uma das grandes questões a ser respondida no uso da Cinza Volante na estabilização de solos é: "Quando é necessário o seu uso?".

No caso da mistura solo - cal ainda não se conhecem ensaios que indiquem com precisão a conciliação do solo com a cal. Nem o pH do solo, nem as características de plasticidade ou a capacidade de troca de base parecem ser indicadores satisfatórios (10). O método mais preciso que indica se a cal melhora um solo é testar a mistura solo-cal. Se nestes ensaios os resultados forem satisfatórios conclue-se que não há necessidade de se adicionar um material pozolânico ao solo; caso contrário existe a necessidade de sua adição, e ensaios deverão ser realizados para determinar se o material pozolânico auxiliará a ação cimentante.

Se o solo natural já contém material pozolânico a mistura solo-cal é semelhante a mistura solo-cal-pozolana (10). Se o solo não fôr reativo com a cal, poderá, contudo, ser estabilizado satisfatòriamente com a mesma se adicionarmos um material pozolânico ao solo. Quando uma pozolana tal como a cinza volante é adicionada ao solo apresentar-se-á aí uma grande quantidade de pozolana e a cimentação com a cal será assim garantida, verificando-se ràpidamente a reação (10).

Ainda não se verificou interêsse pelo uso de cinzas volantes na estabilização de solos neste país, como evidencia a falta de trabalhos publicados a respeito. A insuficiência de "Know - how" quanto a um método ou processo pode levar-nos a avaliações errôneas de suas possibilidades.

Tentaremos neste trabalho verificar o comportamento de uma cinza volante nacional como agente estabilizador de um solo que não contém material pozolânico reativo.

Esta investigação foi conduzida no sentido de se obter informações nos seguintes aspectos da estabilização de so-

lo-cal-cinza volante.

1 - Efeito de diferentes proporções de cinza volante e cal.

2 - Relações entre umidade, densidade e resistência.

3 - Efeito dos esforços de compactação.

4 - Influência do período de cura.

5 - Efeito da temperatura de cura.

# II - REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão, procuramos ver o que há de mais objetivo relacionado com o trabalho que nos propusemos realizar. Para isto fizemos uma ampla busca na literatura existente sôbre cinzas volantes.

## 2.1. - Histórico do uso de cinzas pozolânicas

A denominação de pozolana vem da cidade de Pozzouli na Itália onde os romanos exploravam as chamadas cinzas vulcânicas. Há cêrca de 2.000 anos, já esta civilização utilizava a cinza como aditivo às argamassas de cal, sendo êsse material coletado no sopé do Vesúvio em Pozzouli. Fizeram, assim, os romanos grande uso de argamassas pozolânicas e, quando havia falta de pozolana, serviam-se de pedra moída.

Os trabalhos desenvolvidos por Vicat sôbre as cales hidráulicas deram continuidade ao uso da pozolana nas obras de engenharia.

Com o grande desenvolvimento das termoelétricas nos E.U.A., por volta de 1930 surgiram inúmeras pesquisas com objetivo de empregar a cinza com fins comerciais.

Uma das primeiras tentativas de emprêgo da mistura solo-cal-cinza volante com fins rodoviários foi adotada na auto estrada de New Jersey nos E.U.A. (2).

Em 1960 na França por ocasião do Congresso Internacional de Materiais de Construção foi montado um stand relativo às utilizações de cinzas volantes como aditivo aos cimentos e em obras rodoviárias (5, 6, 7). Como consequência dêsse congresso a "Revue de l' Industrie Minérale" publicou os trabalhos dos técnicos H. Lafuma, Cambournac e Jarrige onde constam os estudos do emprêgo das cinzas em obras rodoviárias e sua adição aos cimentos manufaturados.

Um recenceamento feito em 1959 estimou que a produção mundial de cinzas volantes era da ordem de 100 milhões de toneladas por ano, contribuindo os E.U.A com 10 milhões, Inglaterra com 4 milhões e a França com 3 milhões de toneladas.

De nossa viagem ao Sul do Brasil verificamos que a produção diária nas termoelétricas existentes é:

1 - Termoelétrica de Figueira na região norte do Paraná; não atinge 100 toneladas por dia.

2 - Sociedade Termoelétrica de Capivari, sediada em Tubarão, Stª Catarina, nas margens da rodovia BR-101: a produção é de 800 toneladas por dia.

3 - Termoelétrica de Charqueada, no Rio Grande do Sul, a cêrca de 20 Km da rodovia BR-290, próxima a cidade de P. Alegre; a produção diária é de 800 toneladas.

4 - Termoelétrica de Candiota no Rio Grande do Sul; cêrca de 140 toneladas por dia.

Estas talvez sejam as de maior porte e que têm atualmente atingido grandes cifras de produção de cinzas volantes.

Apesar de algumas utilizações esporádicas de carácter pioneiro, o aproveitamento das cinzas em mosso meio tem sido entravado, principalmente pela falta de dados seguros sôbre o seu emprêgo e sôbre as particularidades do seu comportamento.

## 2.2 - Trabalhos de estabilização de solos com cinzas e cal.

Um dos trabalhos mais significativos já realizados foi o de MATEOS (2) na Universidade Estadual de IOWA, nos E.U.A. O autor ensaiou e descreveu fatores que afetam a estabilização dos solos representativos do Estado de IOWA, com cinzas volantes obtidas das centrais elétricas daquela região dos E.U.A . Êstes fatores foram: tipo de cal, tipo de cinza, tipo de solo, efeito de diferentes proporções de cal e cinza, relações entre umidade, densidade e resistência, efeito de energia de compac-

tação, efeito da temperatura de cura, a influência da adição de aditivos químicos, influência da demora na compactação depois da mistura ser umedecida, testes de congelamento e dêgelo etc ...

2.2.1. - Tipos de cales

Pesquisas no sentido de escolha da melhor cal para ser usada na estabilização de solos já foram realizadas; entretando nenhuma conclusão definitiva foi obtida. Nos estudos realizados verificou-se que a cal dolomítica produzia, em geral, resistência de 30% maior do que a cal calcítica; porém, com certas cinzas volantes, a cal calcítica produzia resistências maiores.

A conclusão que se pode tirar das pesquisas já realizadas é de que as cinzas a serem adicionadas à cal devem ser ensaiadas "a priori" com as cales calcíticas e dolomíticas que se encontrarem na região. Convém ressaltar que a temperatura de cura é um fator importante para a escolha da cal.

2.2.2. - Tipos de cinzas volantes

Um dos mais importantes estudos no sentido de determinar as características de uma cinza volante de boa qualidade foi feito por MATEOS e DAVIDSON (1961). Os resultados obtidos indicaram que:

1 - A superfície específica da cinza volante é função de sua finura e do teor de resíduos, e por conseguinte não é bom critério de qualidade cinzas com baixas superfícies específicas.

2 - As cinzas produzidas em central térmica pelos processos de precipitação são mais finas e contém menos resíduos do que as produzidas pelos processo mecânicos.

3 - A procentagem de cinza qua passa na peneira nº 325 dá uma indicação do teor de resíduo e da qualidade do mate

rial reativo.

4 - A concentração molecular do teor de $Si\ O_2$ + $Al_2O_3$ + $Fe_2\ O_3$ está em relação direta com a resistência, e não se encontram relações significativas entre a composição química ou física das cinzas e sua reação com a cal.

2.2.3. - Tipos de solos

MATEOS observou que os solos arenosos são os que mais se beneficiam com a adição de cal e cinza volante, isto desde que a cinza seja de boa qualidade.

2.2.4. - Efeito de diferentes proporções de cinza e cal

MATEOS não encontrou relação geral entre o teor de cal mais cinza e a resistência do solo estabilizado. Utilizou teores de cinza variando de 10 a 30%, e cal de 3 a 9%.

Verificou êle que as proporções dependem do tipo de solo a ser estabilizado, como também da qualidade da cinza produzida na termoelétrica.

2.2.5. - Relações entre umidade, densidade e resistência.

A resistência máxima da mistura solo-cal-cinza é produzida por um teor de umidade durante a compactação que não é necessàriamente o teor ótimo de umidade (2). Nos solos que têm grandes teores de argila, a umidade correspondente à resistência máxima está do lado úmido da curva de compactação.

2.2.6. - Efeito dos esforços de compactação.

Nas pesquisas feitas em IOWA os corpos de prova foram moldados num aparêlho desenvolvido no Soil Research Laboratory da Iowa State University (2). Êstes tinham 2 polegadas (50,8 mm) de diâmetro e 2 polegadas (50,8 mm) de altura, e eram moldados com as energias dos ensaios ditos Proctor Nor-

mal e Proctor Modificado. Observou MATEOS que o aumento da resistência variava de 50 à 160% com a variação de energia de compactação e que o período de cura é um fator importante para o bom desenvolvimento das reações pozolânicas.

2.2.7. - Efeito da temperatura de cura

A reação entre a cal e a cinza volante é sensível a temperatura de tratamento.

Nas pesquisas feitas em IOWA verificou-se que com a cal dolomítica se obtém, em geral, resistências maiores do que com a cal calcítica no sistema areia-cal-cinza a temperaturas que vão até 30°C; porém, entre 60 e 120°C a cal calcítica é mais eficaz. Cinzas volantes com altos teores de carbono retardam a reação pozolânica para temperaturas acima de 60°C. Outras observações interessantes foram feitas por MATEOS durante a sua tese Ph.D na Universidade de IOWA, nos E.U.A.

## III - PROGRAMA DA PESQUISA

Embora a viabilidade técnica da estabilização de solo com cinzas volantes e cal fôsse matéria comprovada, a inexistência de experiência brasileira no assunto estava a sugerir um trabalho experimental com as cinzas volantes produzidas nas termoelétricas do sul do país. A primeira etapa seria observar, em laboratório, o comportamento da cinza na estabilização, ou seja, na melhoria das propriedades mecânicas de um solo.

As informações contidas em trabalhos estrangeiros serviram de guia para nossa pesquisa de Mestrado.

A natureza do trabalho exigia facilidades especiais para a preparação de amostras, cura úmida, etc, mais condizentes com um laboratório rodoviário.

Tendo o D.N.E.R., através da DPNT, se interessado pelo tema da tese proposta, e dada a nossa condição de engenheiro dessa Divisão, estabeleceu-se logo a conjugação de esforços entre a COPPE - UFRJ e o DNER - MT.

As diferenças principais entre os trabalhos realizados em IOWA, e os nossos, são:

1º) A cal utilizada nesta pesquisa foi do tipo dolomítica e comercial, encontrada em todo o território nacional

2º) Estudamos um único solo: areia pura e uniforme que julgamos representativa do litoral brasileiro; já a areia de IOWA continha cêrca de 3% de matéria coloidal, onde predominava a argila Montmorilonita.

3º) As dimensões de nossos corpos de prova foram de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, guardando uma relação altura diâmetro de 2:1, ao passo que os cilin - adotados em IOWA eram de 1:1.

4º) As energias de compactação foram as usualmente utilizadas entre nós, conforme às especificações do DNER.

5º) A cinza volante utilizada é típica da que se produz do carvão nacional.

6º) Períodos de cura diferentes: 7, 14 e 28 dias na nossa investigação, e 7, 28 e 90 dias na de Mateos.

7º) Estudamos misturas com teores de cinza de 10%, 17,5% e 25%, enquanto que Mateos adotava ora êstes valores ora valores diferentes.

Salientamos que o âmbito de nosso trabalho embora mais limitado, constitue porém, um primeiro passo para uma gama de pesquisas em laboratório.

Resumindo o escôpo de nossa pesquisa, temos:

| Parâmetro estudado | nº de valores | Observações |
|---|---|---|
| % de cinza volante (C) | 3 | 10, 17,5 e 25% |
| energia de compactação (E) | 2 | Normal e Intermediária |
| idade de cura (I) | 3 | 7, 14 e 28 dias |
| umidade inicial de compactação. (U) | 5 ou mais | é o nº de pontos da curva de compactação. |
| temperatura de cura (T) | 4 | estudado para uma das misturas apenas (II) a: $7^o$, $23^o$, $40^o$ e $60^o$ C. |

Grandezas observadas:

Resistência à compressão : $R = f_1$ (C, E, U, I, T)

Massa específica aparente sêca . : $J_s = f_2$ (C, E, U)

# IV - MATERIAL E MÉTODOS

## 4.1. - Materiais empregados.

### 4.1.1 - Solo:

Areia de duna que se supõe representativa do litoral brasileiro. A areia é uma sílica natural que se presume não reativa com a cal e a água nas temperaturas de cura usadas. Uma descrição da amostra é dada na tabela nº 1.

### 4.1.2 - Cal:

A cal utilizada no presente trabalho é do tipo dolomítica, prèviamente hidratada e pulverizada. Uma análise da cal é apresentada na tabela 2.

### 4.1.3 - Cinza Volante ("fly ash"):

Foi coletada da chaminé da Usina Termoelétrica de Charqueadas sediada no Estado do Rio Grande do Sul. As características desta cinza estão indicadas nas tabelas 3 a 5.

Tabela 1. Propriedades do solo natural

| | |
|---|---|
| Solo | areia de duna |
| Localização ..... | Km 8, rodovia Rio-Santos, Baixada de Jacarepaguá, Guanabara. |
| Granulometria, % | |
| Pedregulho (acima de 2 mm) ..... | 0,0 |
| Areia grossa (2,00 - 0,42 mm ) ..... | 47,1 |
| Areia fina ( 0,42 - 0,074 mm ) ..... | 52,9 |
| Silte + Argila (abaixo de 0,074 mm) ..... | 0,0 |
| Propriedades Físicas | |
| Índice de plasticidade ..... | não plástica |
| Classificação: | |
| Textural ..... | areia fina |
| Unificada ..... | SP |
| Propriedades Químicas: | |
| pH em água ..... | 6,4 |
| pH em KCl (N) ..... | 5,5 |
| Carbonatos, % ..... | ausentes |
| Matéria ogânica, % ..... | traços |
| Cloreto de Sódio, % ..... | 0,73 |

Tabela 2. Propriedades da cal hidratada

| | |
|---|---|
| Espécie da cal: | |
| Tipo | comercial, dolomítica hidratada |
| Origem | São Paulo |
| Companhia | Luiz Benine Ind. e Comércio |
| Análise química | |
| Perda ao fogo, % | 23,7 |
| Resíduo insolúvel, % | 0,2 |
| Óxido de Ferro ($Fe_2O_3$), % | Traços |
| Óxido de Alumínio ($Al_2O_3$), % | 0,35 |
| Dióxido de Silicio ($SiO_2$), % | 0,2 |
| Óxido de Cálcio (Ca O), % | 47,5 |
| Óxido de Magnésio (Mg O), % | 27,3 |
| Anidrido Sulfúrico ($SO_3$), % | 0,1 |
| Finura | |
| Passando na peneira nº 200, % | 95,5 |

Tabela 3. Resultados dos ensaios, físicos da cinza volante

| Requisitos Físicos | | | |
|---|---|---|---|
| CARACTERÍSTICAS | Limites | | "Fly ash" Charqueadas |
| | ASTM C 350-65 T | ASTM C 402-65T | |
| Finura: | | | |
| Diâmetro médio das partícu - las, mícrons, máximo ..... | 9,0 | 9,0 | 9,4 |
| % retida na peneira nº 325 , máxima ..... | - | 12,0 | 17,0 |
| Índice de atividade pozolânica: | | | |
| Com cimento Portland, aos 28 dias, mínima porcentagem de contrôle ..... | 85 | 75 | 80,2 |
| Com cal, aos 7 dias, mínimo, $Kg/cm^2$ ..... | 56 | 56 | 42 |
| Superfície específica - (Blaine), $cm^2/g$ ..... | - | - | 3004 |
| Massa específica aparente, $g/cm^3$ ..... | - | - | 0,60 |
| Massa específica real dos grãos, $g/cm^3$ ..... | - | - | 2,19 |

Tabela 4. Resultados dos ensaios químicos da cinza volante

A composição química da cinza volante utilizada na realização dos ensaios foi a seguinte:

| | |
|---|---|
| Perda ao fogo, % ..... | 1,24 |
| Dioxido de Silicio ($Si\ O_2$), % ..... | 63,14 |
| Óxido de Magnésio (MgO), % ..... | 0,31 |
| Óxido de Cálcio (Ca O), % ..... | 1,57 |
| Óxido de Alumínio ($Al_2O_3$), % ..... | 29,42 |
| Óxido de Ferro ($Fe_2\ O_3$), % ..... | 1,92 |
| Anidrido Sulfúrico ($SO_3$), % ..... | 0,09 |
| Óxido de Sódio ($Na_2O$), % ..... | 0,68 |
| Óxido de Potássio ($K_2\ O$), % ..... | 1,34 |
| Carbono (C), % ..... | 0,77 |

Tabela 5. Requisitos químicos

| Componentes | Limites | | "Fly ash" |
|---|---|---|---|
| | ASTM C 350-65 T | ASTM C 402-65 T | Charqueadas |
| $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, % mín. | 70 | 70 | 94,48 |
| Óxido de magnésio (MgO), % máxima . | 5 | 5 | 0,31 |
| Perda ao fogo, % máx. | 12 | 10 | 1,24 |
| Anidrido sulfúrico ($SO_3$),% máx. | 3 | 3 | 0,09 |
| Teor de umidade, % máx. | 3 | 3 | 0,47 |
| Equivalente alcalino ($Na_2O$) , % máxima . | 1,5 | - | 0,68 |

C 350-65 T - Especificação para uso de "fly ash" como aditivo em concreto de cimento Portland.
C 402-65 T - Especificação para uso de pozolanas cruas ou calcinadas em concreto de cimento Portland.

Os ensaios foram realizados na DPNT-DNER de acôrdo com os métodos da ASTM (American Society For Testing and Materials), visto a inexistência de normalização de especificações e métodos de ensaio pela ABNT.

Analisando os resultados verificamos que o material não satisfaz a especificação para uso em concreto de cimento Portland na parte referente aos seguintes ensaios: Diâmetro médio das partículas, porcentagem retida na peneira nº 325, índi-

ce de atividade pozolânica com cimento aos 28 dias de idade, índice de atividade pozolânica com a cal aos 7 dias de idade. A superfície específica "Blaine" deveria ser da ordem de 5.000 $cm^2/g$ e a porcentagem retida na peneira nº 325 no máximo de 12%. Verifica-se que êste "fly ash" é relativamente grosso se comparado com a especificação da ASTM (para uso em concreto de cimento Portland).

Observamos que todos os resultados das Análises Químicas satisfizeram à especificação.

## 4.2. - Métodos adotados

### 4.2.1 - Proporções das misturas.

Uma das mais importantes questões para responder na estabilização de solos com adição de cal e "fly ash" é a quantidade ideal dêsses aditivos a serem incorporados ao solo.

Acreditamos que êsses teores são regidos pela resistência que se deseja obter no solo estabilizado, pela econômia e pelo tipo de solo estudado.

Sendo a cinza volante um resíduo industrial de baixíssimo custo competirá, sem dúvida, com outros aditivos, desde - que ela seja de boa qualidade; ou melhor, em contacto com a cal e água propicie uma reação pozolânica.

Na presente pesquisa primeiramente nos preocupamos em estabelecer os teores limites da cal hidratada. O teor mínimo é de 3 %, levando-se em conta que pesquisas já realizadas, indicam que, teores inferiores àquele valor normalmente proporcionam baixa reatividade com a cinza volante.

O teor máximo da cal é de 9 % considerando-se como teto de aplicabilidade econômica.

Como o nosso objetivo era o de verificar o comportamento da cinza volante nacional como agente estabilizador no caso de um solo arenoso, fixamos, então, para a cal hidratada , um teor intermediário de 6 %.

Os teores de "fly ash" foram tomados com maior liberdade e o valor máximo admitido como de 25 %, muito superior ao atribuído para a cal, tendo em vista tratar-se de um resíduo industrial de baixo custo.

Adotamos, então, para a cinza volante, os seguintes teores: 10, 17,5 e 25 %.

Todos os percentuais a que fazemos referência, são considerados em relação ao pêso do solo sêco.

As misturas escolhidas foram então constituídas conforme a tabela 6.

Tabela 6.

| Mistura | Areia % | Cal % | Cinza Volante % |
|---|---|---|---|
| I | 84 | 6 | 10 |
| II | 76,5 | 6 | 17,5 |
| III | 69 | 6 | 25 |

4.2.2. - Moldagem dos corpos de prova

Uma quantidade de solo sêco (3 kg) ao ar, era pesado com precisão de 0,1 grama e colocado numa caçamba de mistura.

Os aditivos sêcos, de acôrdo com os teores estabelecidos, eram pesados separadamente e misturados ao solo manualmente até completa uniformização da mistura. Em seguida, enquanto se procedia à mistura, adicionava-se água nas quantidades desejadas.

A mistura prolongava-se por mais dois minutos, aproximadamente. Logo após cobria-se a caçamba com um pano úmido a fim de evitar a evaporação e iniciava-se a moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A compactação era realizada por meio de um compactador mecânico,

modêlo SOILTEST, com acionamento elétrico.

Com cada mistura realizaram-se os ensaios de compactação e a moldagem dos corpos de prova nas energias aproximadamente correspondentes às dos ensaios Normal e Intermediário de compactação, ou sejam, 59.412 Kg m/m$^3$ e 132.026 Kg m/m$^3$, respectivamente.

A energia aproximadamente correspondente ao ensaio Normal de compactação (DNER-DPT M 47-64) foi o obtida compactando-se o material em 5 camadas iguais, cada camada recebendo 9 golpes de um soquete de pêso 4,54 Kg e caindo de 45,7 cm de altura, distribuidos uniformemente sôbre a superfície da camada.

A energia correspondente ao ensaio Intermediário de compactação (DNER-DPT M 48-64), foi obtida de modo idêntico ao procedimento acima, porém com 20 golpes por camada.

Depois de moldados, os corpos de prova eram extraídos e pesados com precisão de 1 grama e medidos de maneira que tivessem 20 $\pm$ 0,2 cm de altura e 10 $\pm$ 0,1 cm de diâmetro, sendo eliminados os que não satisfaziam essas condições. Moldavam-se sempre 9 corpos de prova para cada ponto de cada uma das curvas de compactação. Êsses 9 corpos de prova, em 3 grupos de 3 eram curados à idades diferentes. Na moldagem dêsses corpos de prova o teor de umidade não poderia afastar-se de $\pm$ 0,5 % das umidades pré-estabelecidas e, a massa específica aparente sêca de $\pm$ 30 g/dm$^3$.

Para cada grupo de nove corpos de prova, moldados com a mesma umidade, determinava-se a umidade média e a massa específica aparente sêca, média, valores êstes marcados na curva de compactação final (figuras 1 à 3).

Determinamos as curvas de igual grau de saturação para as 3 misturas através da seguinte expressão:

$$Js = \frac{S \cdot J'm}{S + J'm \cdot h} \times Ja,$$

sendo:

$$J'm = \frac{J\,m}{Ja}$$

Js - massa específica aparente sêca

S - gráu de saturação

Ja - massa específica da água, à $4^{o}C$

h - teor de umidade

J'm - massa específica das partículas constituintes das misturas.

O valor de Jm para cada mistura foi determinado através da média ponderada, da seguinte maneira:

Areia: massa específica real dos grãos... 2,67 $g/cm^3$

Cal : massa específica real dos grãos... 2,38 $g/cm^3$

Cinza: massa específica real dos grãos... 2,19 $g/cm^3$

Mistura I:

$$Jm_1 = 0,84 \times 2,67 + 0,06 \times 2,38 + 0,10 \times 2,19$$

$$Jm_1 = 2,61\ g/cm^3$$

Mistura II:

$$Jm_2 = 0,765 \times 2,67 + 0,06 \times 2,38 + 0,175 \times 2,19$$

$$Jm_2 = 2,57\ g/cm^3$$

Mistura III:

$$Jm_3 = 0,69 \times 2,67 + 0,06 \times 2,38 + 0,25 \times 2,19$$

$$Jm_3 = 2,53\ g/cm^3$$

Fixamos 3 valores para S % ou sejam: S = 80%, S = 90%

e S = 100% e calculamos os valores Js, correspondentes.

4.2.3. - Cura dos corpos de prova.

Uma vez medidos e pesados, os corpos de prova eram numerados e envoltos em sacos plásticos de maneira a evitar perda de umidade e carbonatação da cal pelo gás carbônico do ar. Os corpos de prova eram então colocados numa câmara úmida onde a umidade relativa era mantida a 90 ± 5%, à temperatura de 21 ± 3°C, durante os períodos de cura desejados.

Os corpos de prova curados à temperaturas elevadas foram colocados em estufas a 40°C e 60°C. Os curados à baixa temperatura (7°C) foram guardados num refrigerador.

4.2.4. - Resistência à compressão simples.

Depois de cada período de cura os corpos de prova - eram retirados dos sacos plásticos e imersos em água potável durante 24 ± 1 hora. A seguir determinava-se sua resistência à compressão simples numa máquina onde a carga era aplicada a razão de aproximadamente 1,5 $kg/cm^2/seg$.

Os ensaios foram feitos em triplicata e as tensões foram calculadas em $kg/cm^2$, de acôrdo com as normas da ASTM (C-109-58) que requerem um mínimo de 3 corpos de prova para cada conjunto de condições de cura. Três observações são geralmente suficientes para detectar quaisquer valores que se desviarem excessivamente; assim sendo, tomava-se a média das resistências à compressão obtidas para 3 corpos de prova moldados, idênticamente. Se um dos valores da resistência deferia da média de ± 10%, êle era eliminado, e, tomava-se a média dos dois restantes. Se dois valores se afastavam de ± 10% da média, abandonavam-se os três resultados, e, procedia-se a nova moldagem de três corpos de prova.

# V - RESULTADOS

Apresentamos neste capítulo os resultados dos ensaios realizados com as misturas areia-cal-cinza volante, condensados sob a forma de tabelas e gráficos ou figuras.

As figuras 1 a 3 foram traçadas com os dados encontrados nas tabelas 7 a 60.

As figuras 4 a 6A se originaram dos resultados das tabelas 61 a 66. As figuras 7 a 11 foram traçadas com os valores obtidos dos gráficos já desenhados.

A figura 11A se originou de cálculos através da expressão:

$$n = 1 - \frac{Js}{J'm \cdot Ja}$$

n - porosidade

Js - massa específica aparente sêca

J'm - massa específica das partículas constituíntes das misturas

Ja - massa específica da água, à $4^{o}C$.

A figura 12 foi resultante da ruptura de 24 corpos de prova moldados igualmente e curados à temperaturas diferentes. Neste ensaio devido a uma queda da resistência entre às temperaturas de $40^{o}$ e $60^{o}C$, repetimos os pontos duvidosos cêrca de 6 vêzes cada um e chegamos às confirmações encontradas na tabela 67.

O total de corpos de provas ensaiados foi de aproximadamente 390, sendo que cada corpo de prova era moldado com 3 kg da mistura (areia-cal-cinza volante), o que representa a manipulação de cêrca de 1.200 kg de material.

# T A B E L A S

# E

# G R Á F I C O S

Tabelas de 7 à 24 - Resultados dos ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova, relativos à Mistura I (84% de areia, 6% de cal e 10% de cinza volante), com as energias Normal e Intermediária, para os períodos de cura de 7, 14 e 28 dias.

TABELA . 7 . . .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO . DNER-DPT - M 47-64

MISTURA . . I . . . .

PERÍODO DE CURA . . 07 dias . . . . . .

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9261 | 2855 | 1,817 | 44 | 94,4 | 91,8 | 40,4 | 2,6 | 51,4 | 5,1 | 1,728 |
| 9350 | 2944 | 1,874 | 25R | 83,5 | 80,0 | 30,2 | 3,5 | 49,8 | 7,0 | 1,752 |
| 9450 | 3044 | 1,938 | 11 | 86,3 | 81,5 | 28,6 | 4,8 | 52,9 | 9,1 | 1,777 |
| 9565 | 3159 | 2,011 | 25R | 93,6 | 87,5 | 30,2 | 6,1 | 57,3 | 10,6 | 1,818 |
| 9596 | 3190 | 2,031 | 7 | 104,0 | 96,7 | 37,1 | 7,3 | 59,6 | 12,2 | 1,810 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

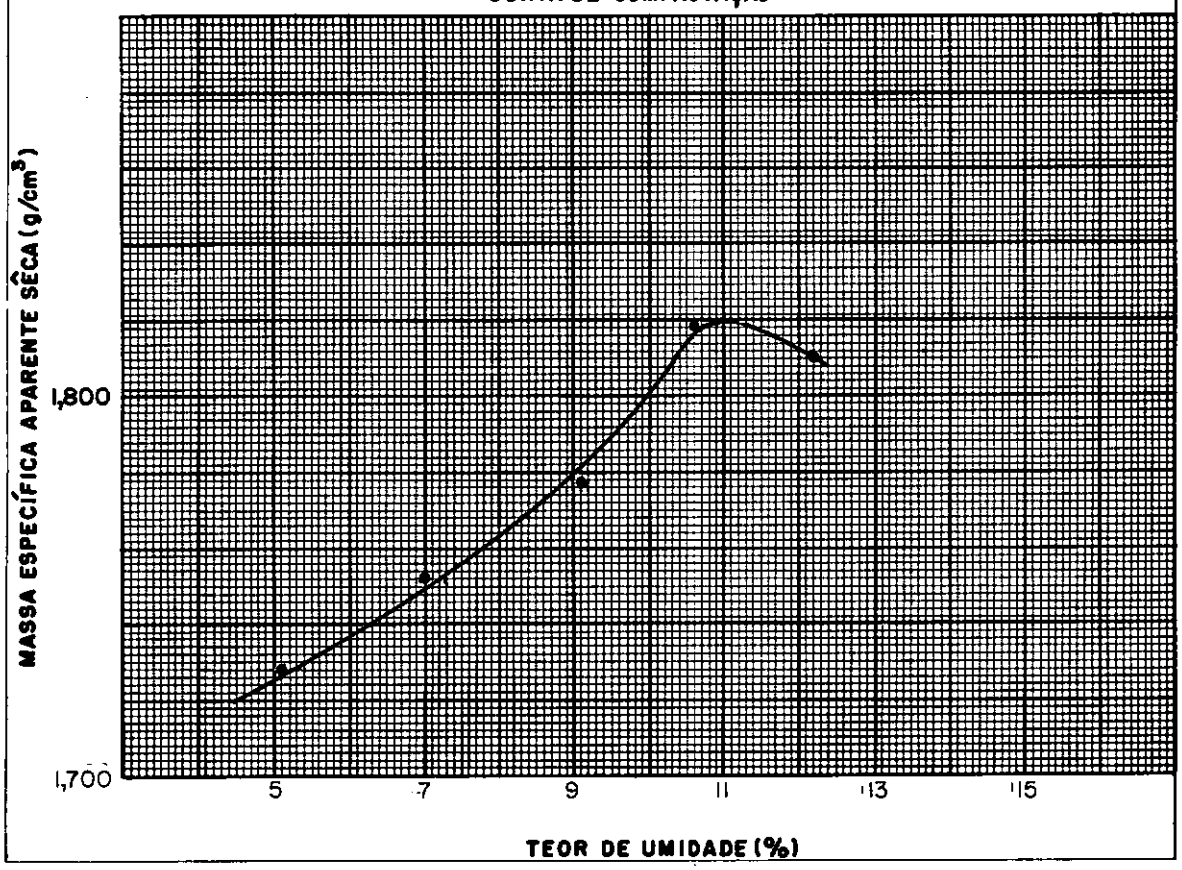


TABELA ...8.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO . DNER-DPT. - M. 47-64

MISTURA..I....

PERÍODO DE CURA..07. dias.....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9247 | 2841 | 1,809 | 116 | 99,1 | 96,2 | 41,0 | 2,9 | 55,2 | 5,2 | 1,720 |
| 9360 | 2954 | 1,881 | 10 | 89,6 | 86,3 | 38,7 | 3,3 | 47,6 | 6,9 | 1,759 |
| 9450 | 3044 | 1,938 | 37 | 80,1 | 76,0 | 28,6 | 4,1 | 47,4 | 8,6 | 1,785 |
| 9546 | 3140 | 1,999 | 39R | 103,4 | 96,6 | 32,0 | 6,8 | 64,6 | 10,5 | 1,809 |
| 9595 | 3189 | 2,030 | 51 | 97,4 | 90,6 | 35,2 | 6,8 | 55,4 | 12,3 | 1,807 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

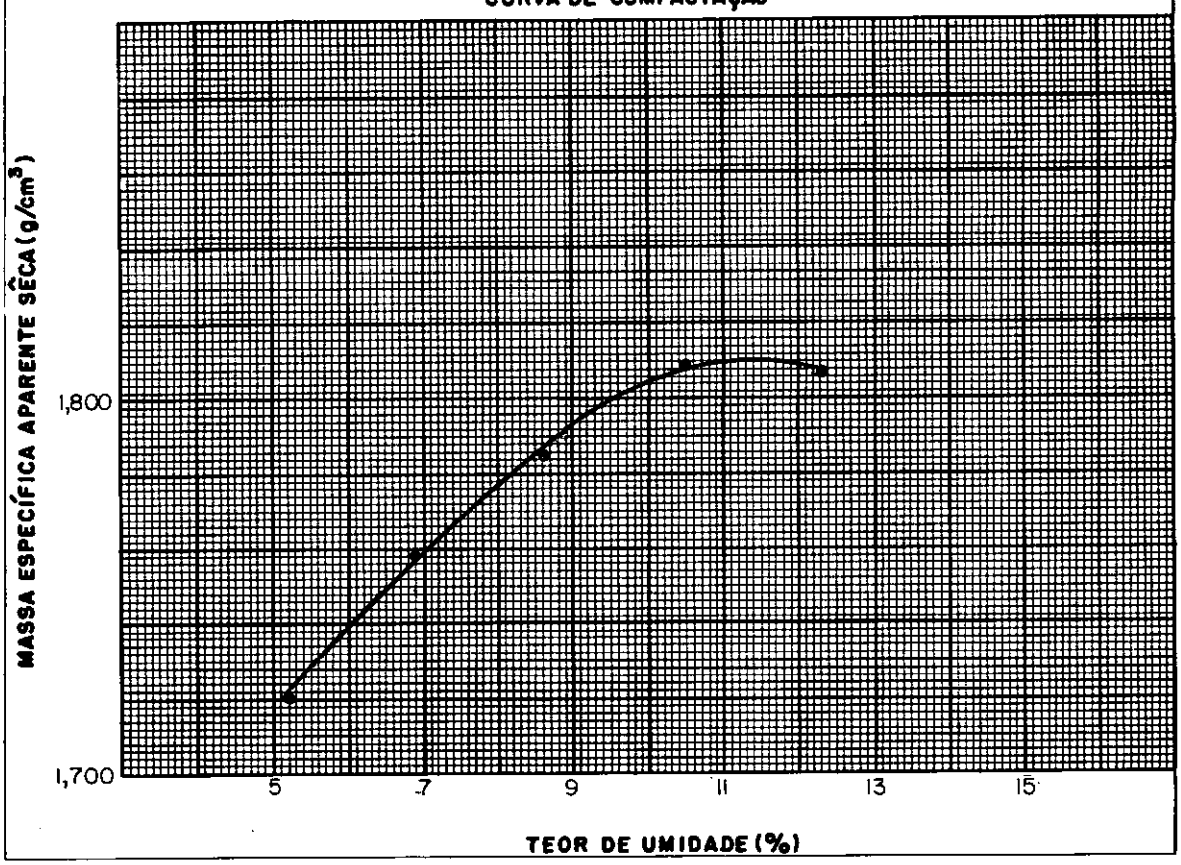


TABELA ..9..

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO ..DNER-DPT - M 47-64

MISTURA...I..

PERÍODO DE CURA..07 dias.....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9245 | 2839 | 1,807 | 10 | 87,0 | 84,8 | 38,7 | 2,2 | 46,1 | 4,8 | 1,724 |
| 9382 | 2976 | 1,895 | 116 | 92,1 | 88,6 | 41,0 | 3,5 | 47,6 | 7,3 | 1,766 |
| 9429 | 3023 | 1,924 | 36 | 77,3 | 73,6 | 30,8 | 3,7 | 42,8 | 8,6 | 1,772 |
| 9530 | 3124 | 1,989 | 20 | 92,6 | 86,4 | 27,3 | 6,2 | 59,1 | 10,5 | 1,800 |
| 9586 | 3180 | 2,024 | 30 | 99,8 | 92,4 | 30,6 | 7,4 | 61,8 | 12,0 | 1,807 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

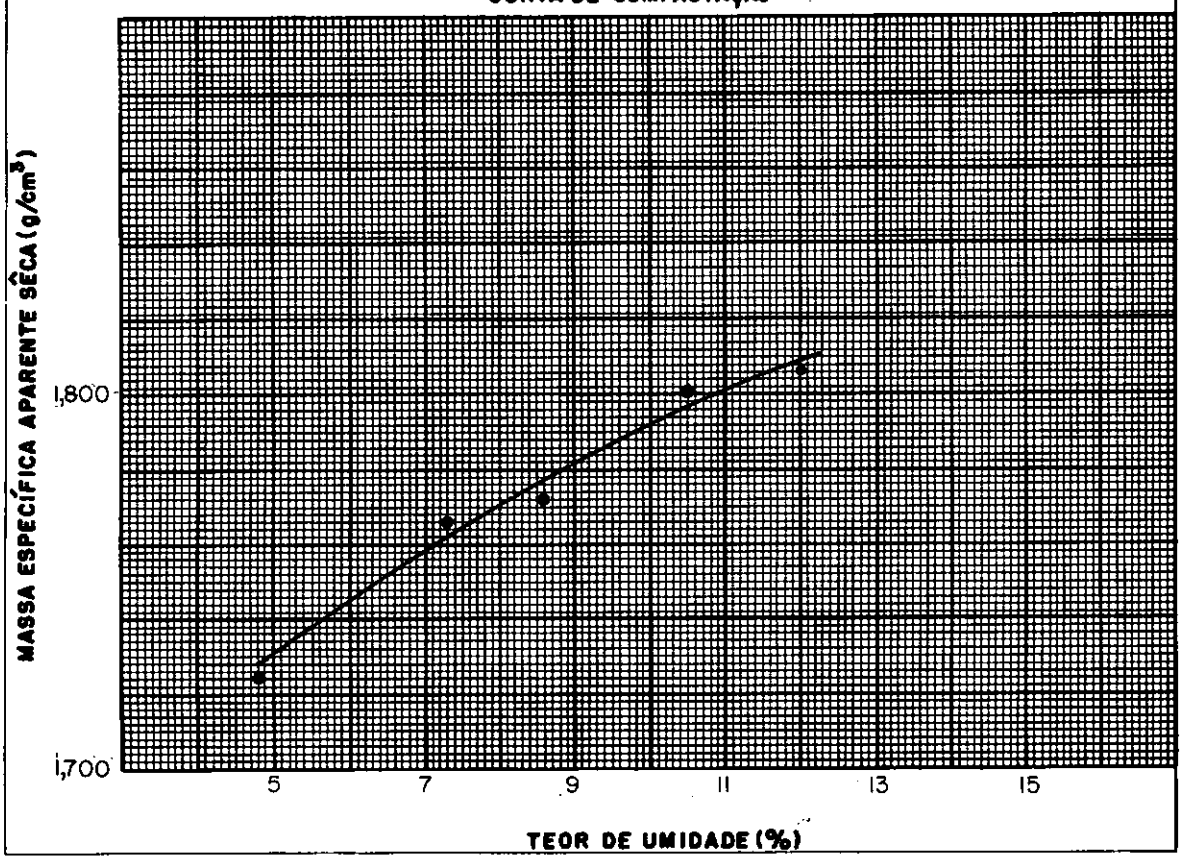


TABELA 10..

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA..I....

PERÍODO DE CURA..14 dias.....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9277 | 2871 | 1,828 | E | 83,5 | 81,3 | 33,1 | 2,2 | 48,2 | 4,6 | 1,748 |
| 9369 | 2963 | 1,886 | 51 | 91,0 | 87,3 | 35,2 | 3,7 | 52,1 | 7,1 | 1,761 |
| 9455 | 3049 | 1,941 | 23 | 101,6 | 96,5 | 37,2 | 5,1 | 59,3 | 8,6 | 1,788 |
| 9539 | 3133 | 1,994 | C | 99,3 | 92,7 | 31,5 | 6,6 | 61,2 | 10,8 | 1,799 |
| 9597 | 3191 | 2,031 | 36 | 106,4 | 97,7 | 30,8 | 8,7 | 66,9 | 13,0 | 1,797 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

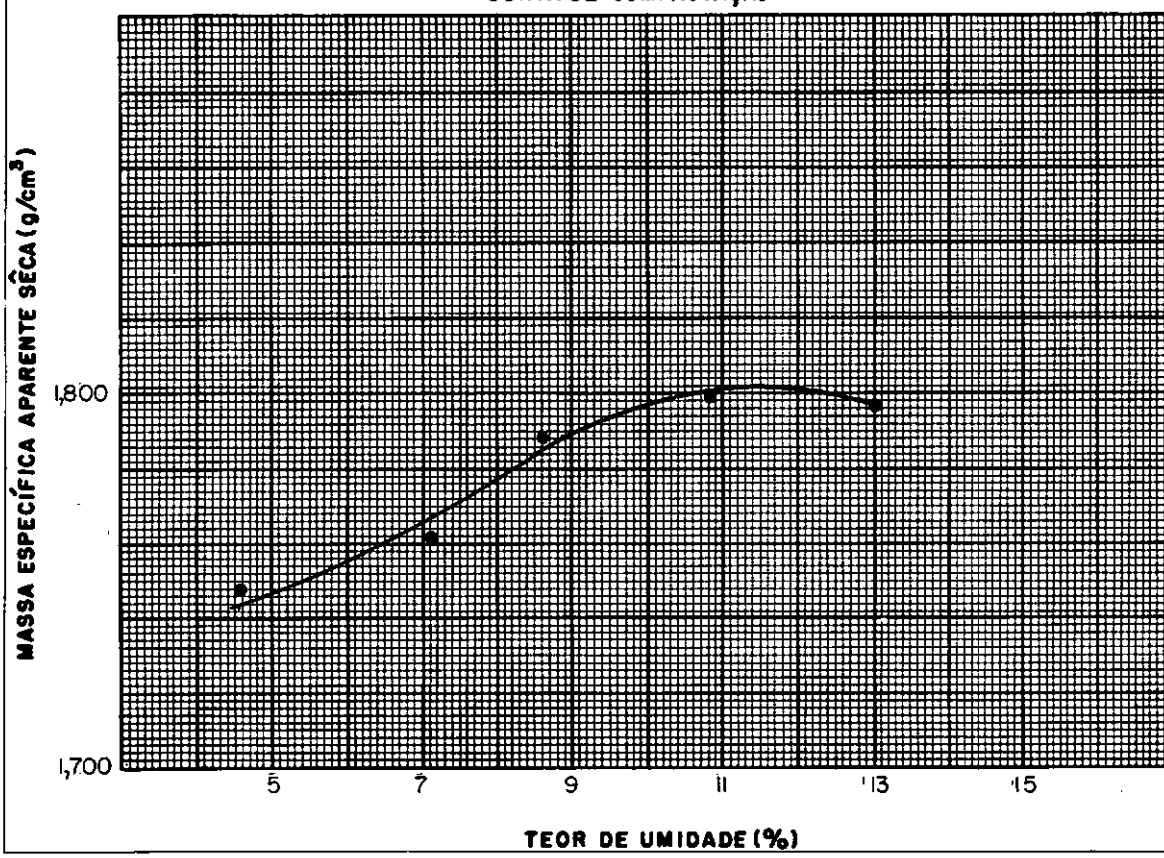


TABELA 11.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9267 | 2861 | 1,821 | 36R | 82,8 | 80,6 | 34,3 | 2,2 | 46,3 | 4,7 | 1,739 |
| 9360 | 2954 | 1,881 | 1 | 100,0 | 96,7 | 49,1 | 3,3 | 47,6 | 6,9 | 1,759 |
| 9450 | 3044 | 1,938 | 48 | 79,8 | 75,4 | 27,3 | 4,4 | 48,1 | 9,1 | 1,777 |
| 9543 | 3137 | 1,997 | 10 | 108,8 | 102,1 | 38,7 | 6,7 | 63,4 | 10,6 | 1,805 |
| 9595 | 3189 | 2,030 | 29 | 89,3 | 82,4 | 26,5 | 6,9 | 55,9 | 12,3 | 1,807 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

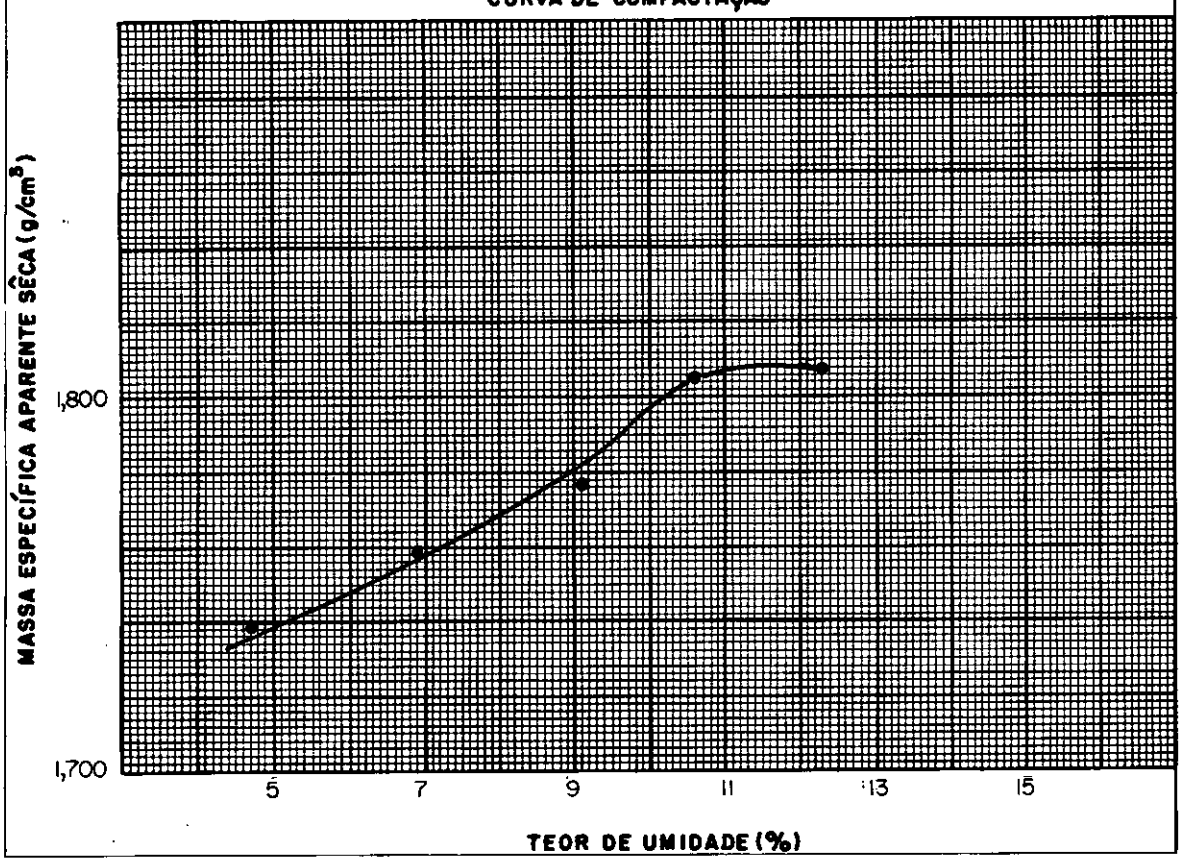


TABELA 12

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9267 | 2861 | 1,821 | 20R | 77,0 | 74,9 | 31,8 | 2,1 | 43,1 | 4,9 | 1,735 |
| 9350 | 2944 | 1,874 | 30 | 89,3 | 85,6 | 30,6 | 3,7 | 55,0 | 6,7 | 1,756 |
| 9450 | 3044 | 1,938 | 5R | 83,5 | 79,0 | 26,8 | 4,5 | 52,2 | 8,6 | 1,785 |
| 9523 | 3117 | 1,984 | 116 | 109,1 | 102,5 | 41,0 | 6,6 | 61,5 | 10,7 | 1,792 |
| 9596 | 3190 | 2,031 | 20R | 93,0 | 86,2 | 31,8 | 6,8 | 54,4 | 12,5 | 1,806 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

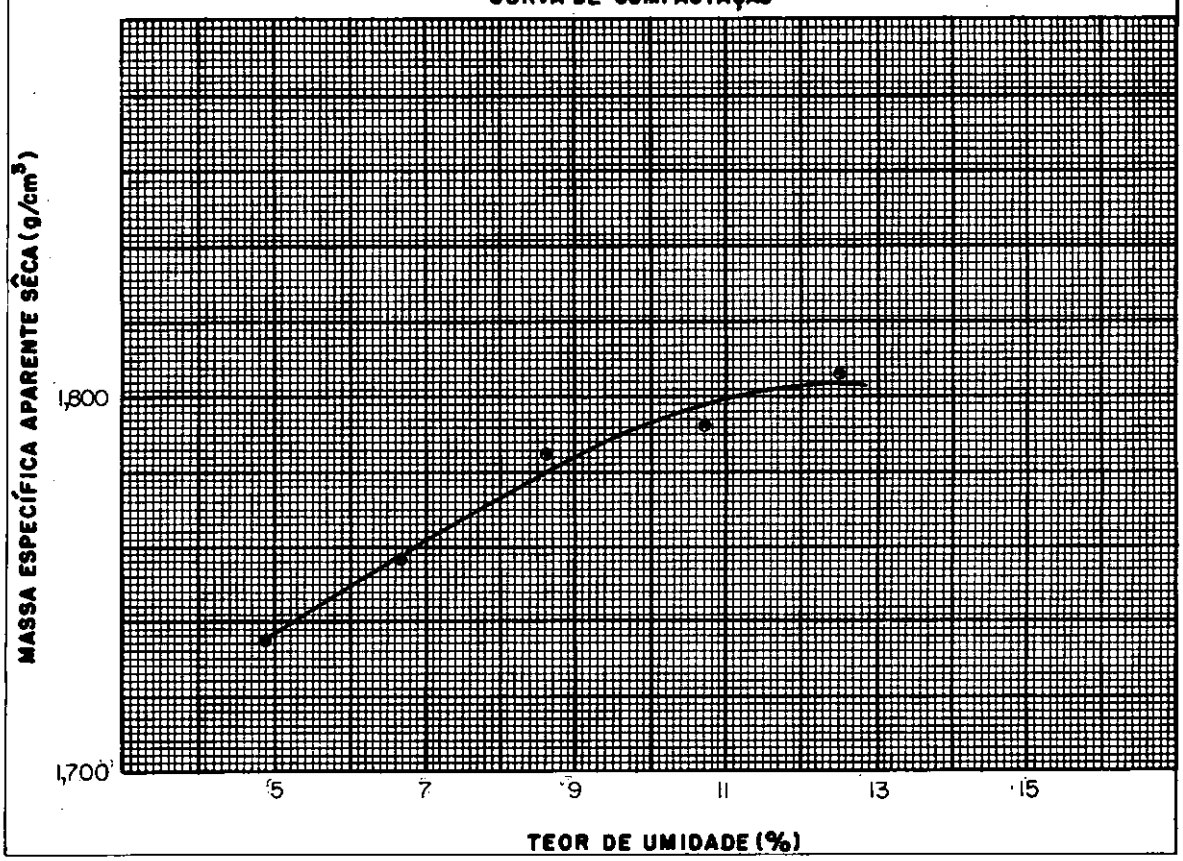


TABELA . 13 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. sêco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. sêco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9268 | 2862 | 1,822 | 16 | 76,0 | 73,9 | 29,5 | 2,1 | 44,4 | 4,7 | 1,740 |
| 9355 | 2949 | 1,877 | C | 86,3 | 82,7 | 31,5 | 3,6 | 51,2 | 7,0 | 1,755 |
| 9448 | 3042 | 1,937 | 20R | 79,4 | 75,4 | 31,8 | 4,0 | 43,6 | 9,2 | 1,774 |
| 9531 | 3125 | 1,989 | 6 | 82,8 | 77,5 | 29,5 | 5,3 | 48,0 | 11,0 | 1,792 |
| 9588 | 3182 | 2,026 | 3R | 97,2 | 90,1 | 32,9 | 7,1 | 57,2 | 12,4 | 1,802 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

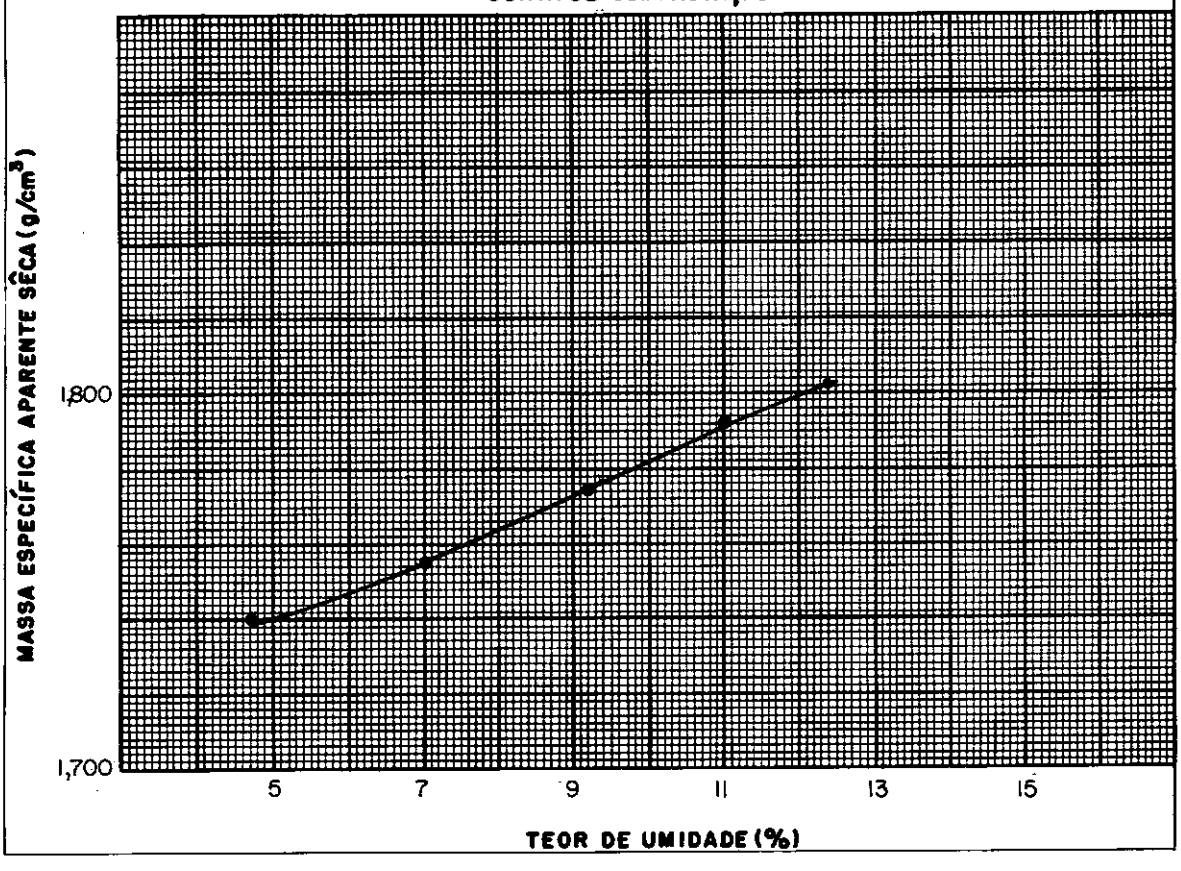


TABELA . 14 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA... I ....

PERÍODO DE CURA.. 28 dias .....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9279 | 2873 | 1,829 | 7 | 74,7 | 72,2 | 22,1 | 2,5 | 50,1 | 5,0 | 1,741 |
| 9373 | 2967 | 1,889 | 6 | 86,3 | 82,6 | 29,5 | 3,7 | 53,1 | 7,0 | 1,766 |
| 9440 | 3034 | 1,931 | 28 | 76,6 | 72,5 | 24,7 | 4,1 | 47,8 | 8,6 | 1,778 |
| 9524 | 3118 | 1,985 | 41 | 95,3 | 89,7 | 36,9 | 5,6 | 52,8 | 10,6 | 1,794 |
| 9585 | 3179 | 2,024 | 44 | 119,2 | 110,5 | 40,4 | 8,7 | 70,1 | 12,4 | 1,801 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

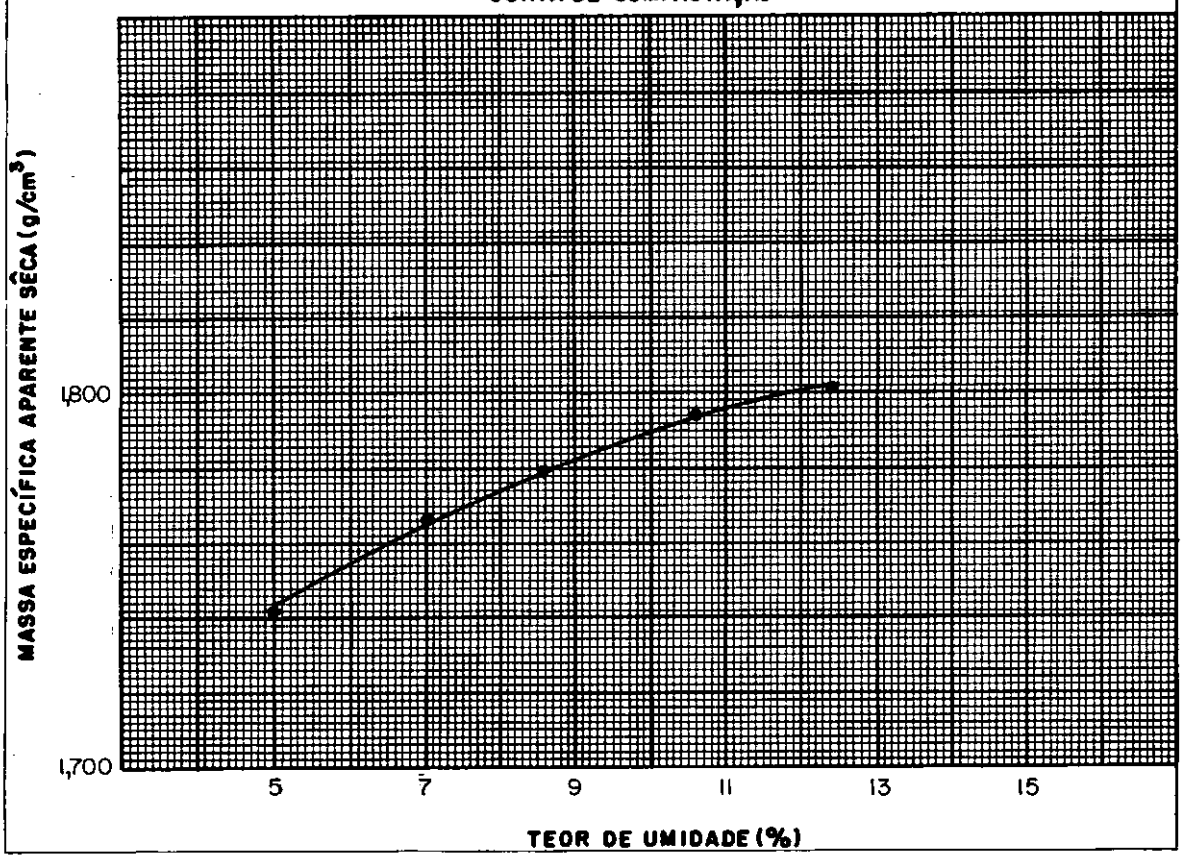


TABELA . 15 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA . . I . . .

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9277 | 2871 | 1,828 | 39R | 82,1 | 79,5 | 32,0 | 2,6 | 47,5 | 5,5 | 1,733 |
| 9352 | 2946 | 1,875 | 35 | 83,7 | 80,4 | 29,5 | 3,3 | 50,9 | 6,5 | 1,761 |
| 9429 | 3023 | 1,924 | 16 | 83,3 | 79,0 | 29,5 | 4,3 | 49,5 | 8,7 | 1,770 |
| 9540 | 3134 | 1,995 | 35 | 94,7 | 88,5 | 29,5 | 6,2 | 59,0 | 10,5 | 1,805 |
| 9578 | 3172 | 2,019 | E | 97,8 | 90,8 | 33,1 | 7,0 | 57,7 | 12,1 | 1,801 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

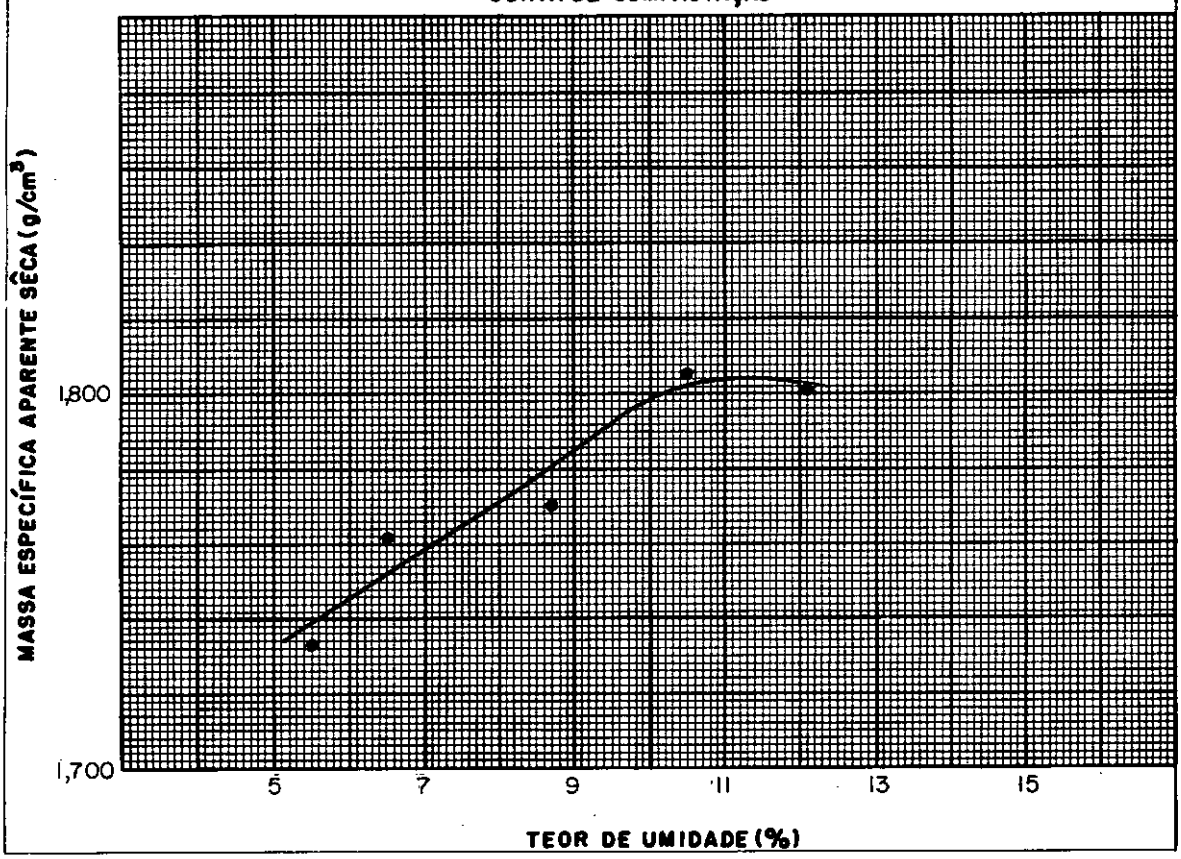


TABELA 16

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9383 | 2977 | 1,895 | 20 | 80,8 | 78,3 | 27,3 | 2,5 | 51,0 | 4,9 | 1,806 |
| 9485 | 3079 | 1,960 | 30 | 78,8 | 75,7 | 30,6 | 3,1 | 45,1 | 6,9 | 1,833 |
| 9573 | 3167 | 2,016 | VR | 79,3 | 75,0 | 26,8 | 4,3 | 48,2 | 8,9 | 1,851 |
| 9630 | 3224 | 2,052 | 11 | 84,5 | 79,0 | 28,6 | 5,5 | 50,4 | 10,9 | 1,851 |
| 9660 | 3254 | 2,072 | 36 | 84,9 | 79,0 | 30,8 | 5,9 | 48,2 | 12,2 | 1,846 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

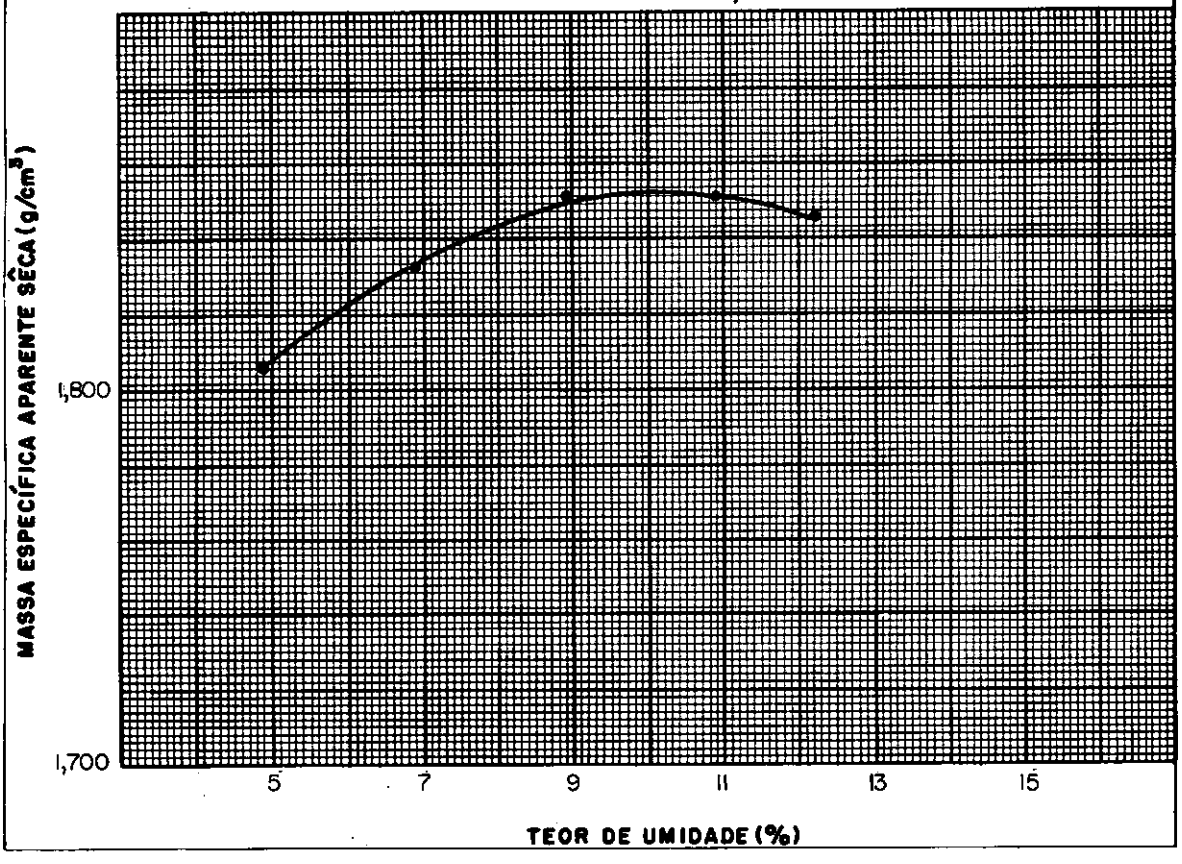


TABELA 17.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9363 | 2957 | 1,882 | 48 | 71,8 | 69,6 | 27,3 | 2,2 | 42,3 | 5,2 | 1,790 |
| 9480 | 3074 | 1,957 | 36 | 73,6 | 71,0 | 30,8 | 2,6 | 40,2 | 6,5 | 1,838 |
| 9570 | 3164 | 2,014 | 29 | 79,8 | 75,4 | 26,5 | 4,4 | 48,9 | 9,0 | 1,847 |
| 9635 | 3229 | 2,056 | 16 | 92,5 | 86,3 | 29,5 | 6,2 | 56,8 | 10,9 | 1,854 |
| 9651 | 3245 | 2,066 | 6 | 115,4 | 105,9 | 29,5 | 9,5 | 76,4 | 12,4 | 1,839 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

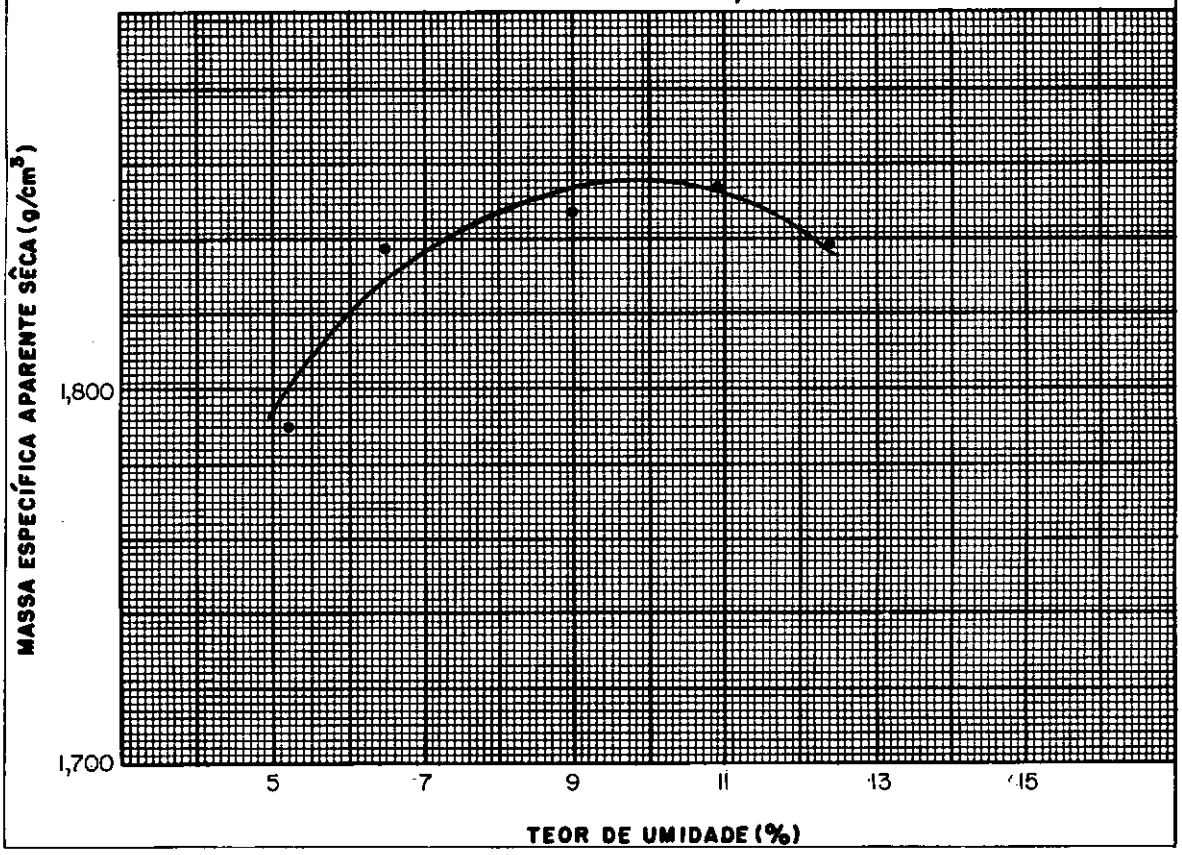


TABELA 18

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. sêco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. sêco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9383 | 2977 | 1,895 | 51 | 87,7 | 85,3 | 35,2 | 2,4 | 50,1 | 4,8 | 1,808 |
| 9460 | 3054 | 1,944 | 22 | 80,9 | 77,9 | 32,2 | 3,0 | 45,7 | 6,6 | 1,823 |
| 9565 | 3159 | 2,011 | 40R | 89,4 | 85,1 | 37,8 | 4,3 | 47,3 | 9,1 | 1,844 |
| 9630 | 3224 | 2,052 | 23 | 95,3 | 89,5 | 37,2 | 5,8 | 52,3 | 11,1 | 1,847 |
| 9639 | 3233 | 2,058 | 30 | 79,4 | 74,0 | 30,6 | 5,4 | 43,4 | 12,4 | 1,832 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

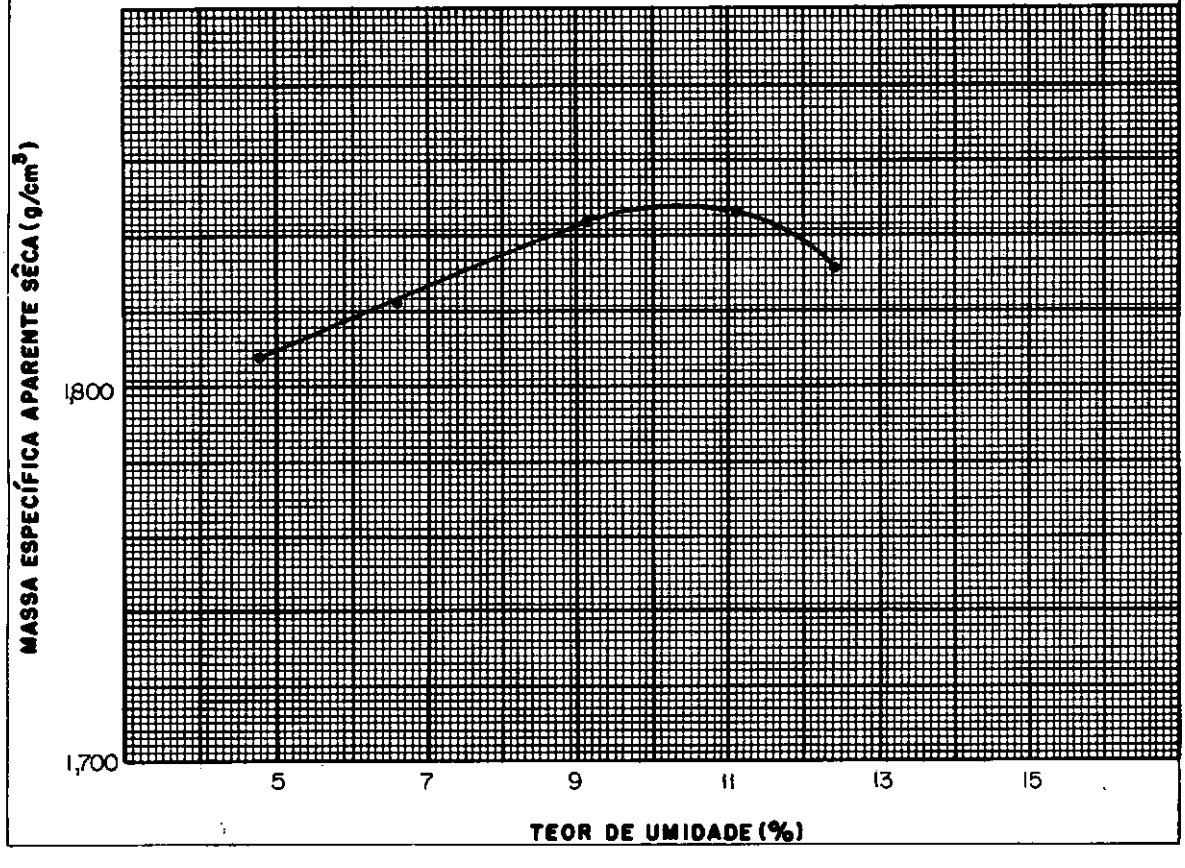


TABELA . 19 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO . DNER-DPT - M 48-64

MISTURA . . I . . .

PERÍODO DE CURA . . 14 . dias . . . . . .

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9387 | 2981 | 1,898 | 11 | 89,2 | 86,4 | 28,6 | 2,8 | 57,8 | 4,8 | 1,811 |
| 9470 | 3064 | 1,951 | 35 | 78,7 | 75,6 | 29,5 | 3,1 | 46,1 | 6,7 | 1,828 |
| 9590 | 3184 | 2,027 | I | 90,1 | 85,3 | 32,1 | 4,8 | 53,2 | 9,0 | 1,859 |
| 9627 | 3221 | 2,050 | 36 | 100,6 | 93,8 | 30,8 | 6,8 | 63,0 | 10,8 | 1,849 |
| 9639 | 3233 | 2,058 | 17 | 99,3 | 92,9 | 41,2 | 6,4 | 51,7 | 12,4 | 1,832 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

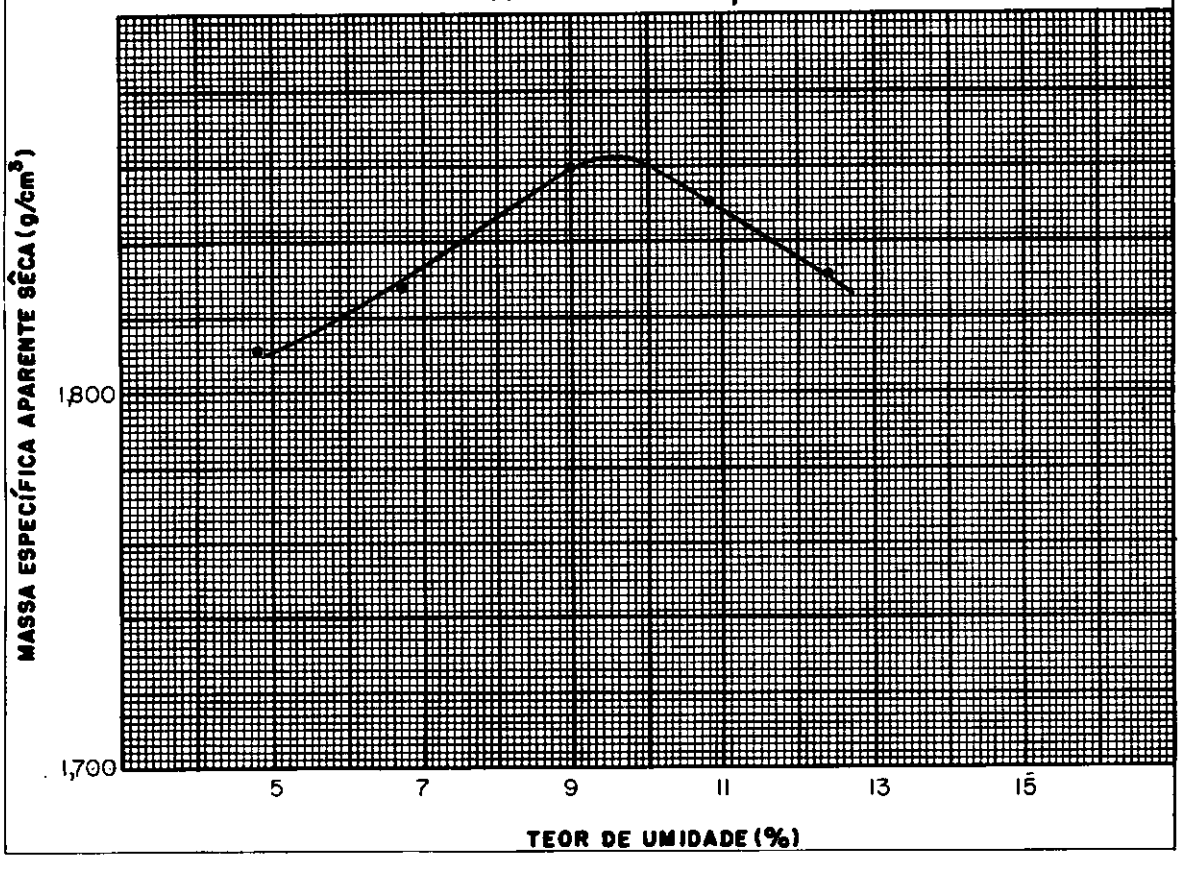


TABELA 20

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9373 | 2967 | 1,889 | 116 | 92,1 | 89,9 | 41,0 | 2,3 | 48,8 | 4,7 | 1,804 |
| 9462 | 3056 | 1,945 | E | 86,6 | 83,1 | 33,1 | 3,5 | 50,0 | 7,0 | 1,819 |
| 9586 | 3180 | 2,024 | 25R | 84,0 | 79,5 | 30,2 | 4,5 | 49,3 | 9,1 | 1,856 |
| 9632 | 3226 | 2,054 | F29 | 81,3 | 76,2 | 29,2 | 5,1 | 47,0 | 10,8 | 1,853 |
| 9643 | 3237 | 2,061 | 10 | 93,7 | 87,6 | 38,7 | 6,1 | 48,9 | 12,5 | 1,832 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

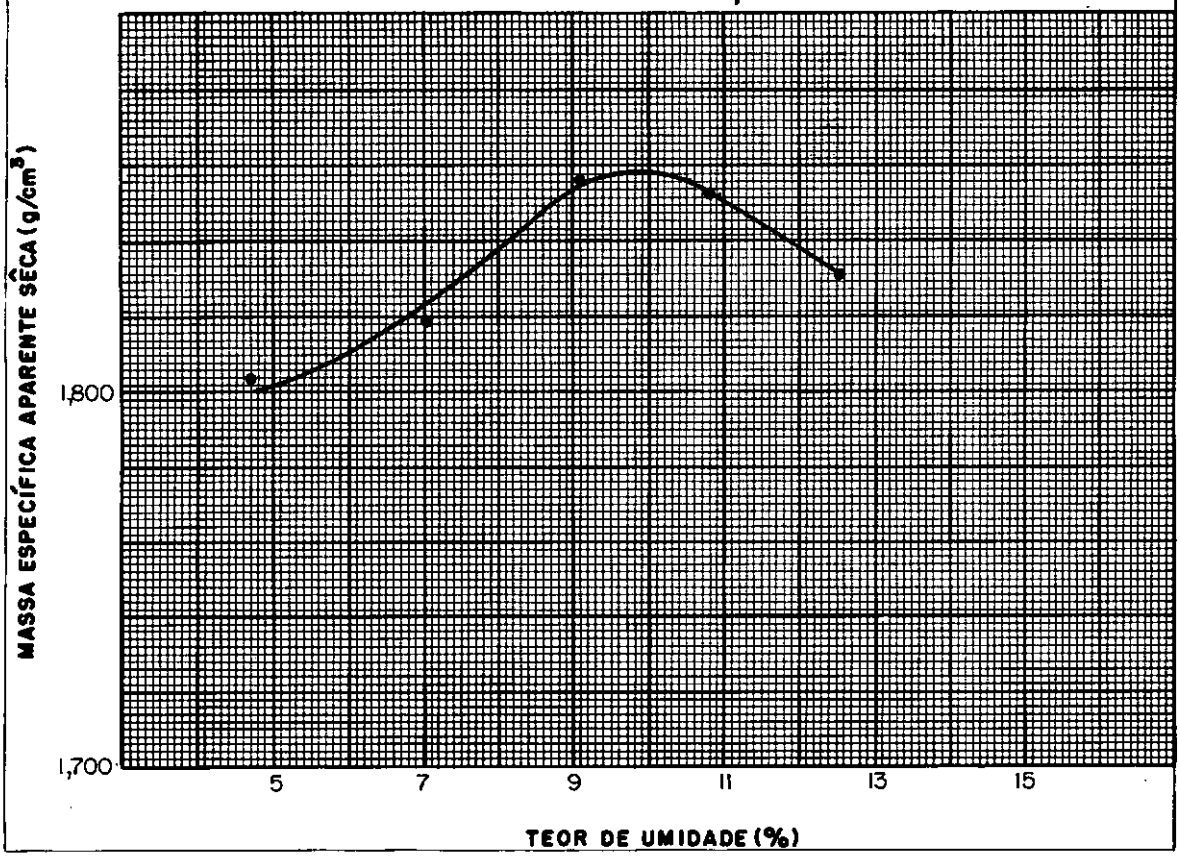


TABELA 21

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9378 | 2972 | 1,892 | 37 | 77,1 | 74,9 | 28,6 | 2,2 | 46,3 | 4,7 | 1,807 |
| 9467 | 3061 | 1,949 | 20R | 83,0 | 79,8 | 31,8 | 3,2 | 48,0 | 6,7 | 1,826 |
| 9590 | 3184 | 2,027 | 20 | 68,7 | 65,2 | 27,3 | 3,5 | 37,9 | 9,2 | 1,857 |
| 9638 | 3232 | 2,058 | 6 | 87,5 | 81,8 | 29,5 | 5,7 | 52,3 | 10,9 | 1,856 |
| 9647 | 3241 | 2,063 | 20R | 87,9 | 81,7 | 31,8 | 6,2 | 49,9 | 12,4 | 1,836 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

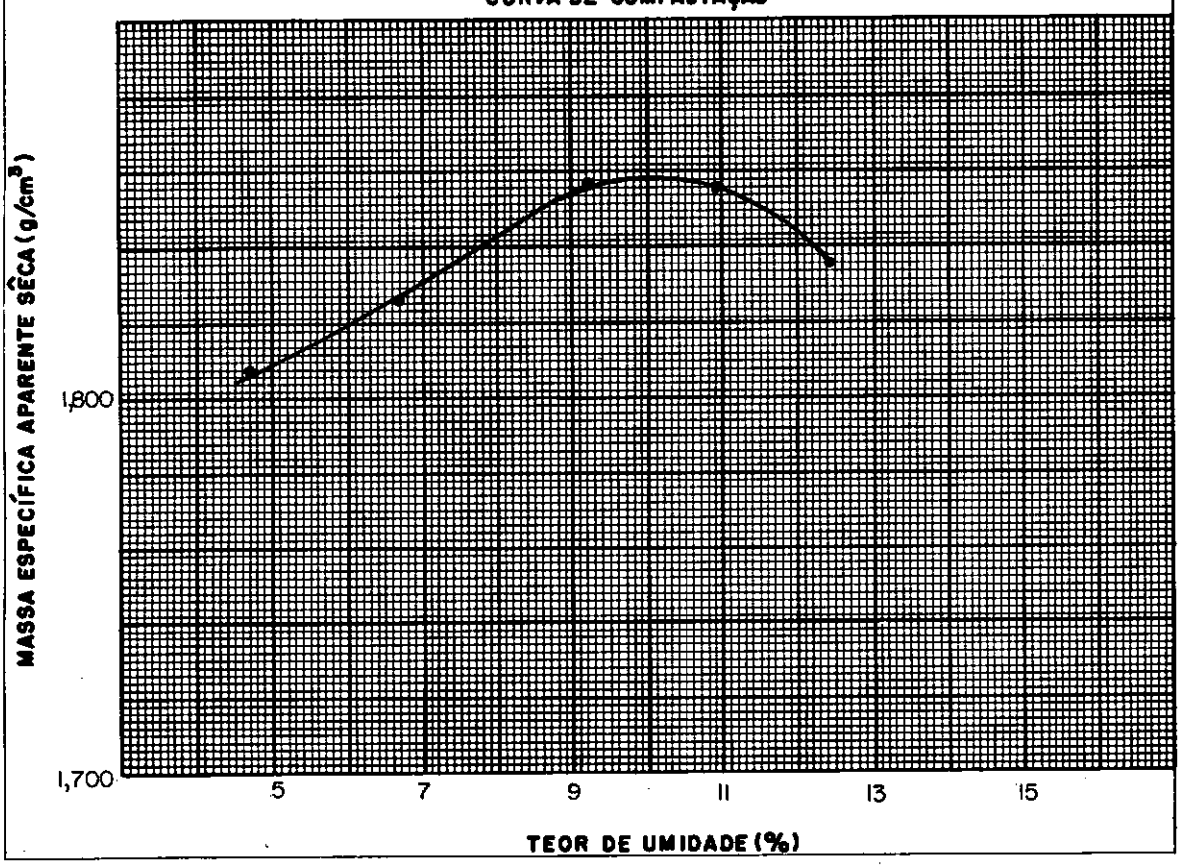


TABELA 22

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9384 | 2978 | 1,896 | 16 | 80,8 | 78,5 | 29,5 | 2,3 | 49,0 | 4,7 | 1,811 |
| 9490 | 3084 | 1,963 | C | 81,8 | 78,5 | 31,5 | 3,3 | 47,0 | 7,0 | 1,835 |
| 9565 | 3159 | 2,011 | 48 | 80,5 | 76,1 | 27,3 | 4,4 | 48,8 | 9,0 | 1,844 |
| 9627 | 3221 | 2,050 | E | 107,6 | 100,4 | 33,1 | 7,2 | 67,3 | 10,7 | 1,851 |
| 9660 | 3254 | 2,072 | 22 | 99,0 | 91,7 | 32,2 | 7,3 | 59,5 | 12,3 | 1,844 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

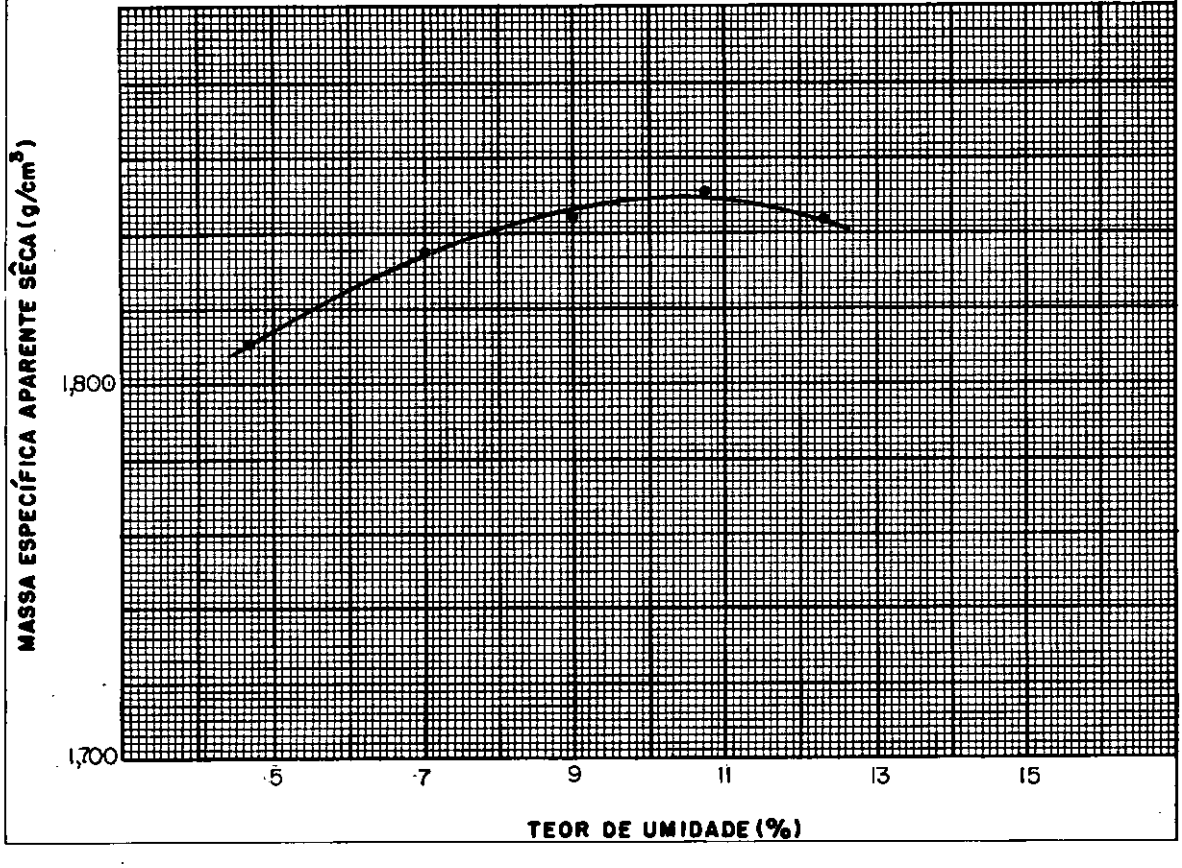


TABELA 23

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9376 | 2970 | 1,891 | 6 | 73,7 | 71,8 | 29,5 | 1,9 | 42,3 | 4,5 | 1,810 |
| 9476 | 3070 | 1,954 | 44 | 90,6 | 87,3 | 40,4 | 3,3 | 46,9 | 7,0 | 1,827 |
| 9545 | 3139 | 1,998 | 37 | 86,8 | 82,2 | 28,6 | 4,6 | 53,6 | 8,6 | 1,840 |
| 9640 | 3234 | 2,059 | 116 | 101,3 | 95,3 | 41,0 | 6,0 | 54,3 | 11,0 | 1,855 |
| 9661 | 3255 | 2,072 | F86 | 90,5 | 83,6 | 29,5 | 6,9 | 54,1 | 12,7 | 1,838 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

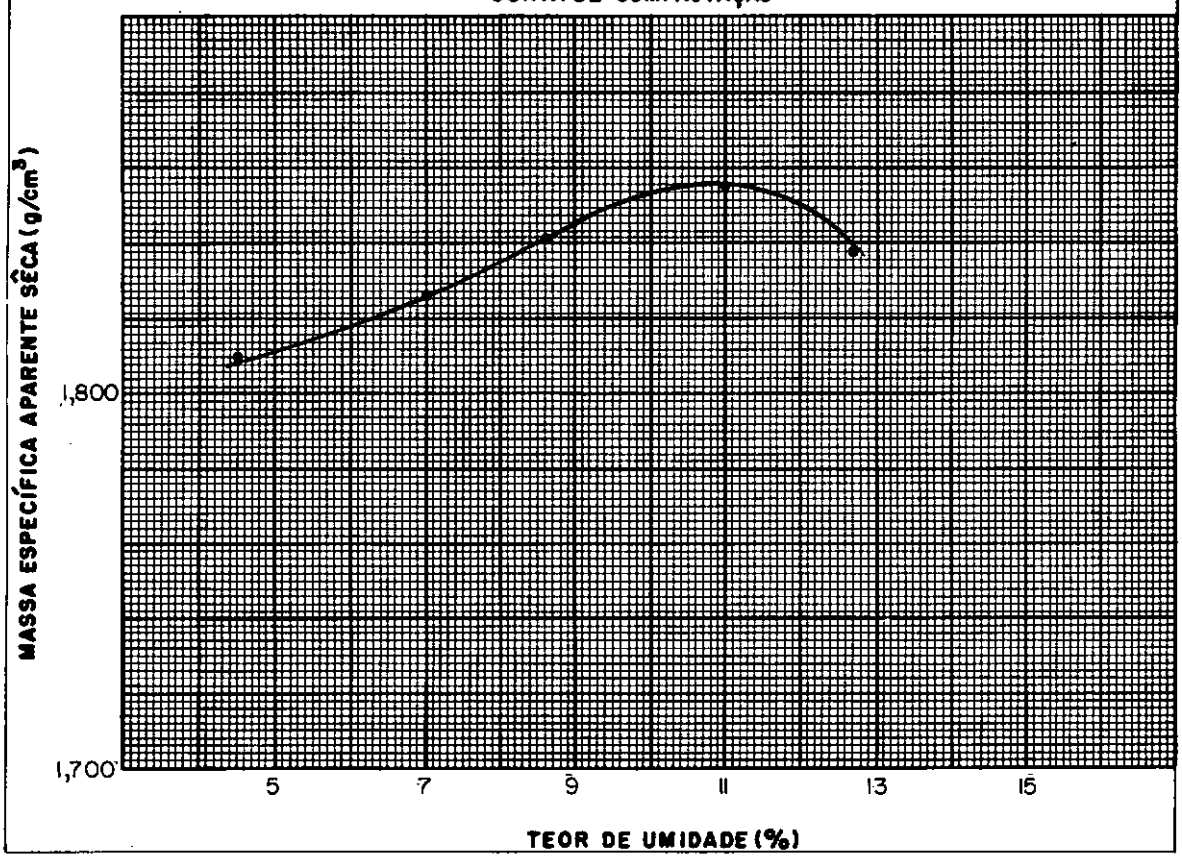


TABELA. 24.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

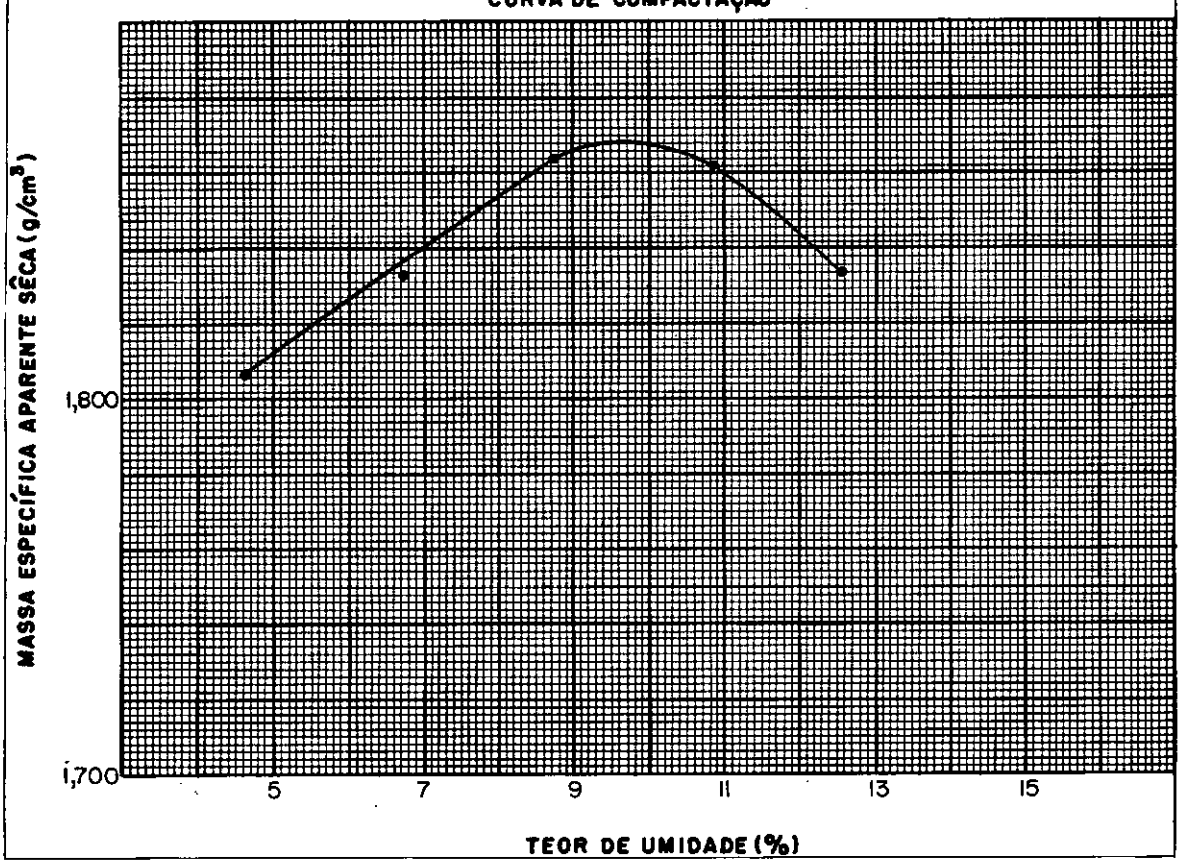
MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA. I

PERÍODO DE CURA. 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. sêco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. sêco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9374 | 2968 | 1,889 | 23 | 80,0 | 78,1 | 37,2 | 1,9 | 40,9 | 4,6 | 1,806 |
| 9478 | 3072 | 1,956 | 38R | 85,1 | 81,9 | 34,0 | 3,2 | 47,9 | 6,7 | 1,833 |
| 9590 | 3184 | 2,027 | 51 | 89,5 | 85,1 | 35,2 | 4,4 | 49,9 | 8,8 | 1,863 |
| 9645 | 3239 | 2,062 | 30 | 118,9 | 110,3 | 30,6 | 8,6 | 79,7 | 10,8 | 1,860 |
| 9647 | 3241 | 2,063 | 16 | 101,6 | 93,6 | 29,5 | 8,0 | 64,1 | 12,5 | 1,834 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO



Tabelas de 25 à 42 - Resultados dos ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova, relativos à Mistura II ( 76,5% de areia , 6% de cal e 17,5% de cinza volante) , com as energias Normal e Intermediária, para os períodos de cura de 7 , 14 e 28 dias.

TABELA . 25 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO ... DNER-DPT - M 47-64

MISTURA . II ...

PERÍODO DE CURA ... 07 dias ...

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9165 | 2759 | 1,756 | 20 | 68,3 | 66,3 | 27,3 | 2,0 | 39,0 | 5,1 | 1,670 |
| 9238 | 2832 | 1,803 | 38R | 82,3 | 79,0 | 34,0 | 3,3 | 45,0 | 7,3 | 1,680 |
| 9338 | 2932 | 1,867 | 30 | 70,7 | 67,4 | 30,6 | 3,3 | 36,8 | 9,0 | 1,712 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | I | 88,1 | 82,6 | 32,1 | 5,5 | 50,5 | 10,9 | 1,727 |
| 9495 | 3089 | 1,966 | 30 | 78,4 | 72,7 | 30,6 | 5,7 | 42,1 | 13,5 | 1,732 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

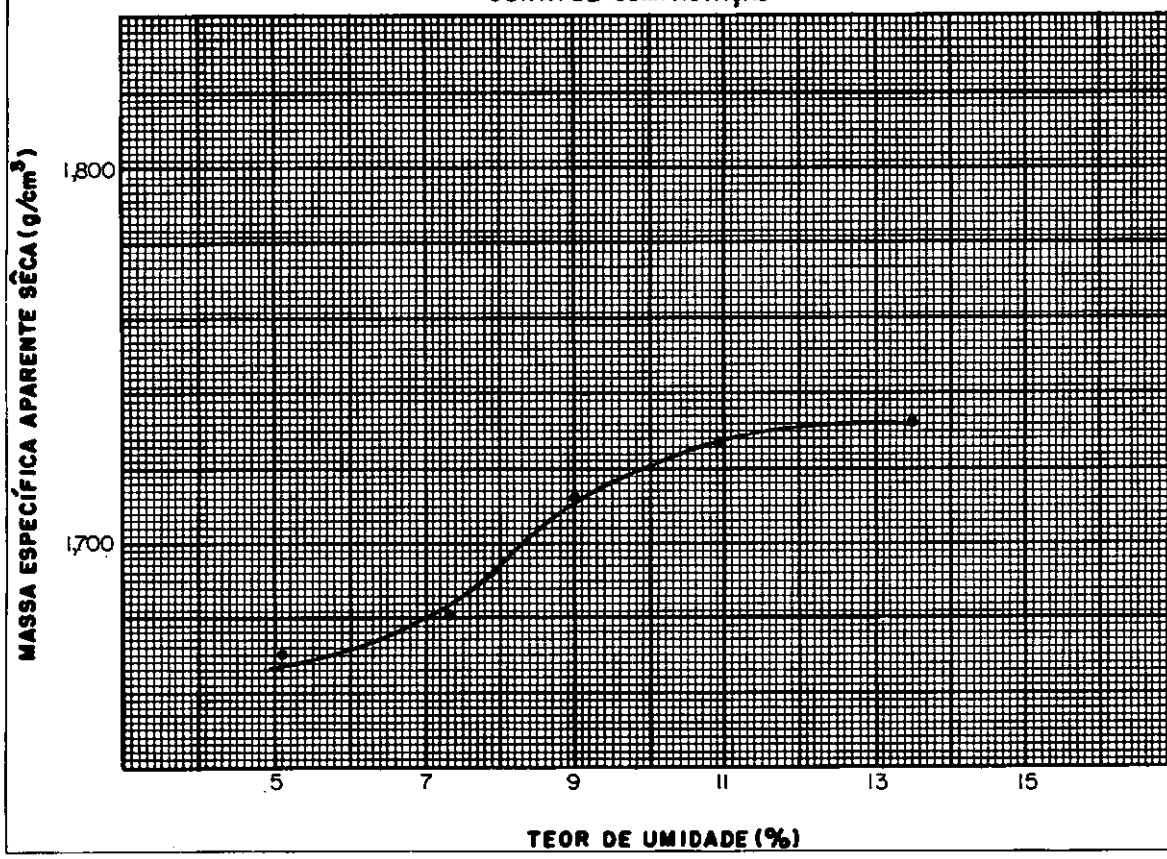


TABELA . 26.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9160 | 2754 | 1,753 | 23 | 75,0 | 73,2 | 37,2 | 1,8 | 36,0 | 5,0 | 1,669 |
| 9250 | 2844 | 1,810 | 37 | 76,6 | 73,4 | 28,6 | 3,2 | 44,8 | 7,1 | 1,690 |
| 9330 | 2924 | 1,861 | 51 | 72,7 | 69,7 | 35,2 | 3,0 | 34,5 | 8,7 | 1,712 |
| 9412 | 3006 | 1,914 | E | 69,4 | 65,7 | 33,1 | 3,7 | 32,6 | 11,3 | 1,719 |
| 9498 | 3092 | 1,968 | 6 | 72,0 | 67,0 | 29,5 | 5,0 | 37,5 | 13,3 | 1,738 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

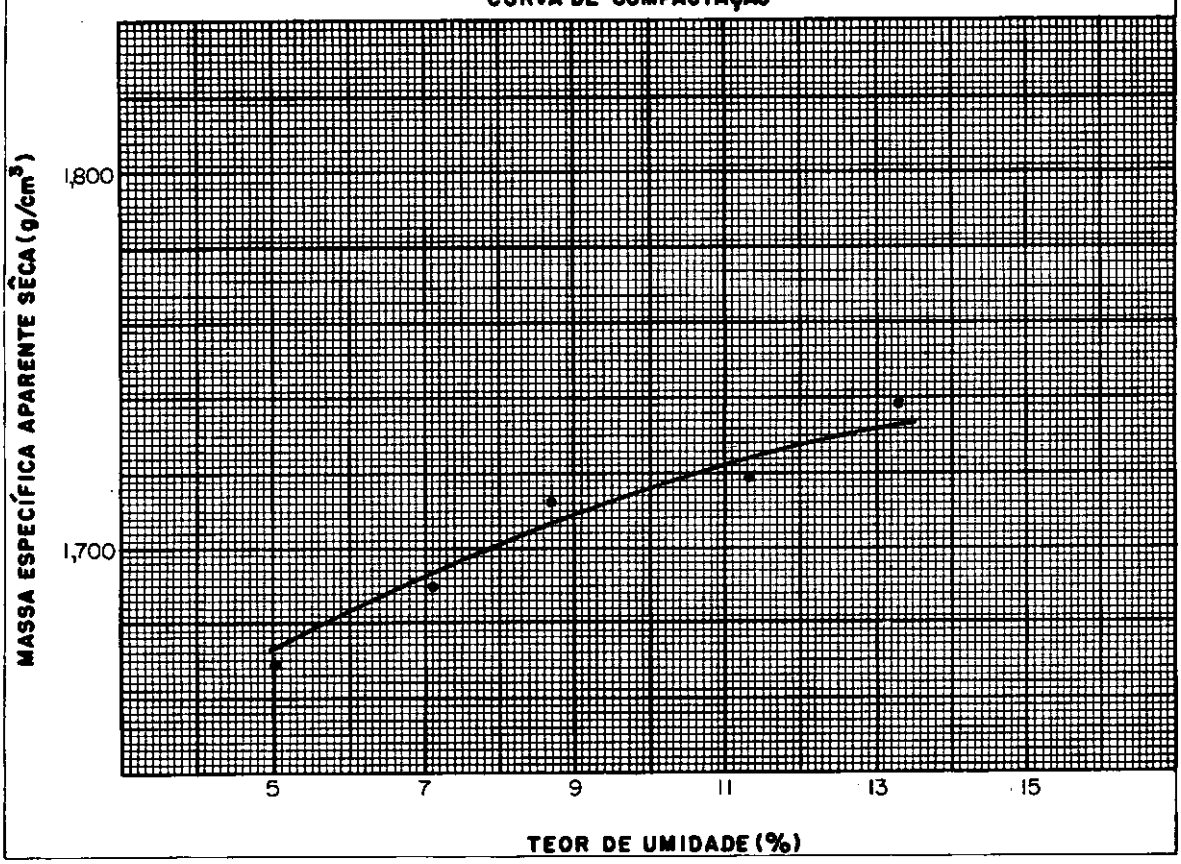


**TABELA..27.**

**ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM**

**MÉTODO** DNER-DPT - M 47-64

**MISTURA**..II..

**PERÍODO DE CURA**...07 dias.....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação de umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9145 | 2739 | 1,744 | 11 | 68,5 | 66,6 | 28,6 | 1,9 | 38,0 | 5,0 | 1,660 |
| 9245 | 2839 | 1,807 | 35 | 76,6 | 73,5 | 29,5 | 3,1 | 44,0 | 7,0 | 1,689 |
| 9323 | 2917 | 1,857 | 11 | 76,2 | 72,4 | 28,6 | 3,8 | 43,8 | 8,7 | 1,708 |
| 9418 | 3012 | 1,917 | 37 | 80,7 | 75,4 | 28,6 | 5,3 | 46,8 | 11,3 | 1,721 |
| 9487 | 3081 | 1,961 | 16 | 81,5 | 75,4 | 29,5 | 6,1 | 45,9 | 13,3 | 1,732 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

**CURVA DE COMPACTAÇÃO**

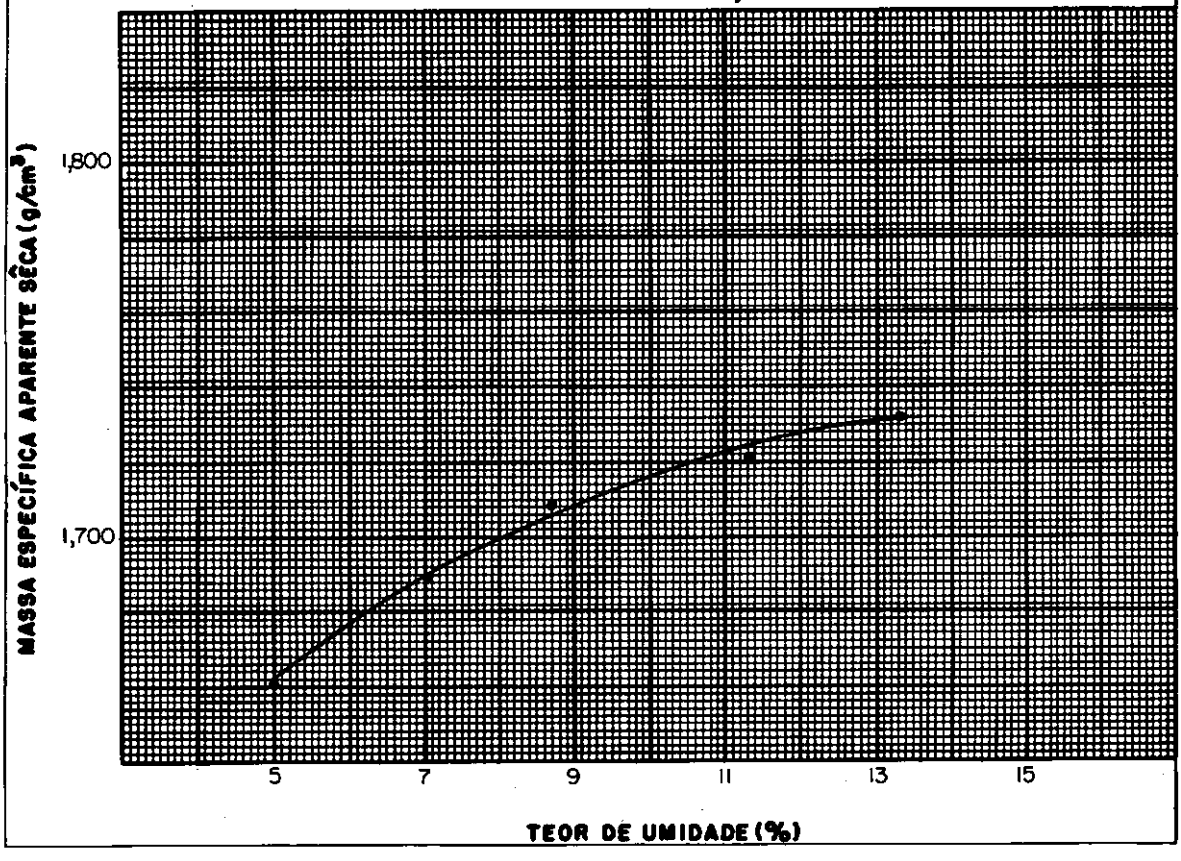


TABELA 28

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9170 | 2764 | 1,760 | E | 76,0 | 74,0 | 33,1 | 2,0 | 40,9 | 4,9 | 1,677 |
| 9245 | 2839 | 1,807 | 20 | 83,0 | 79,4 | 27,3 | 3,6 | 52,1 | 6,9 | 1,689 |
| 9318 | 2912 | 1,854 | 116 | 79,1 | 76,1 | 41,0 | 3,0 | 35,1 | 8,5 | 1,709 |
| 9403 | 2997 | 1,908 | 36 | 74,7 | 70,2 | 30,8 | 4,5 | 39,4 | 11,4 | 1,713 |
| 9476 | 3070 | 1,954 | 48 | 86,2 | 79,6 | 27,3 | 6,6 | 52,3 | 12,6 | 1,735 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

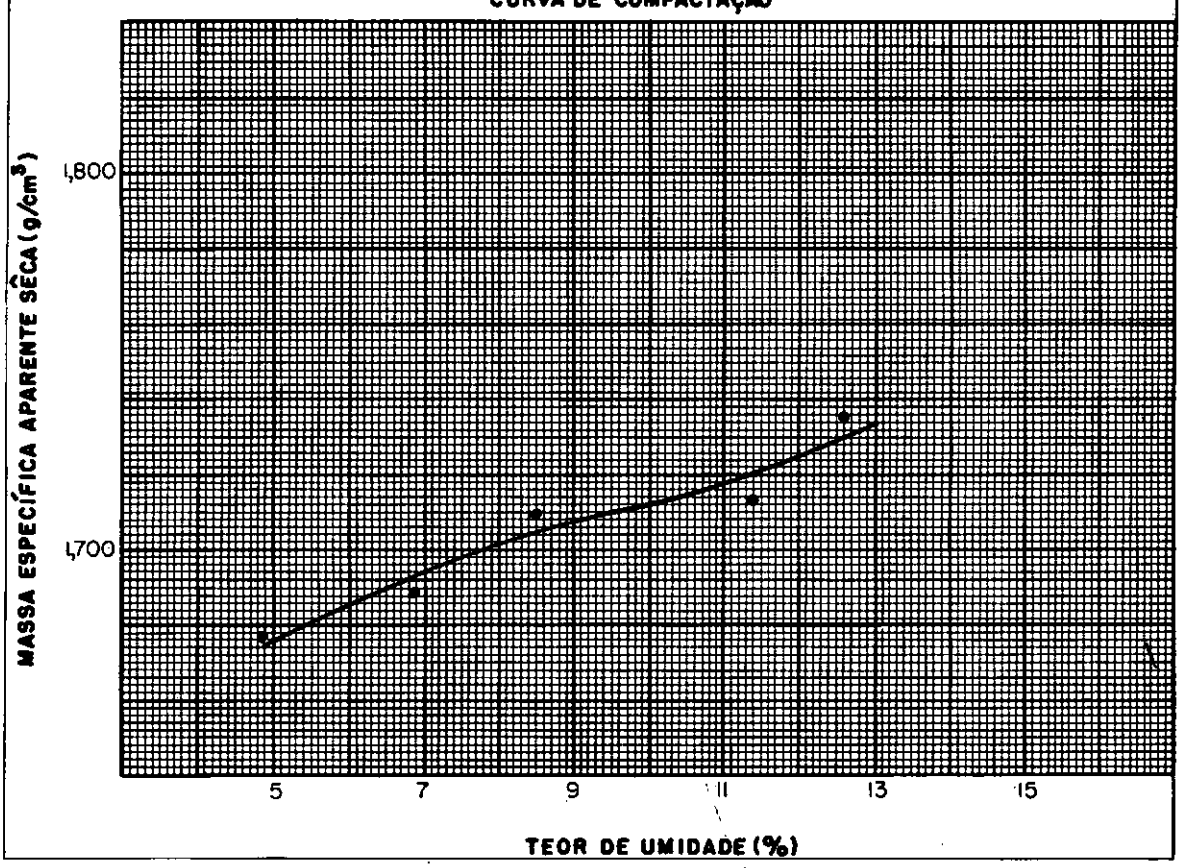


TABELA . 29 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - 47-64

MISTURA ... II ...

PERÍODO DE CURA ... 14 dias .....

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9145 | 2739 | 1,744 | 35 | 64,8 | 63,1 | 29,5 | 1,7 | 33,6 | 5,1 | 1,658 |
| 9250 | 2844 | 1,810 | E | 84,7 | 81,5 | 33,1 | 3,2 | 48,4 | 6,6 | 1,698 |
| 9323 | 2917 | 1,857 | 6 | 71,3 | 68,0 | 29,5 | 3,3 | 38,5 | 8,6 | 1,710 |
| 9411 | 3005 | 1,913 | 35 | 79,8 | 74,9 | 29,5 | 4,9 | 45,4 | 10,8 | 1,725 |
| 9479 | 3073 | 1,956 | 10 | 100,5 | 93,5 | 38,7 | 7,0 | 54,8 | 12,8 | 1,733 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

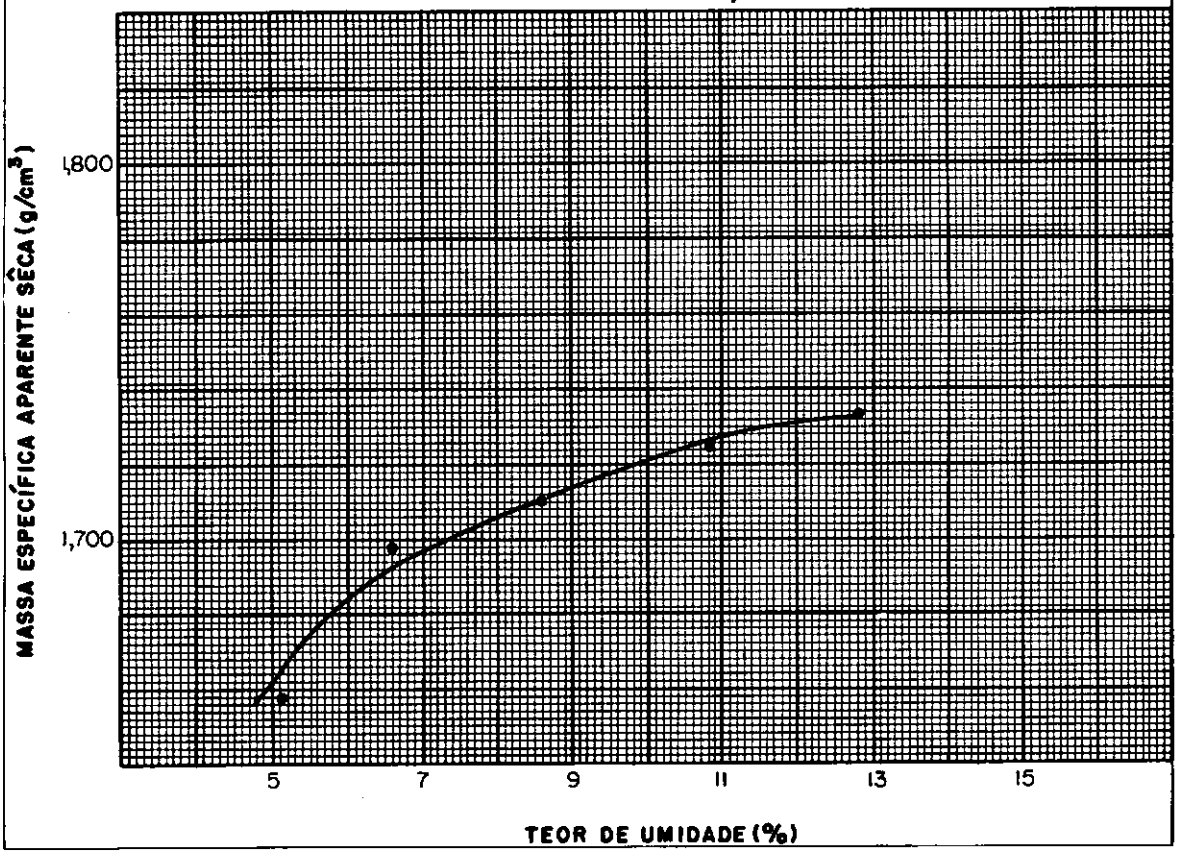


TABELA 30

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9160 | 2754 | 1,753 | 48 | 70,2 | 68,2 | 27,3 | 2,0 | 40,9 | 4,9 | 1,671 |
| 9245 | 2839 | 1,807 | I | 85,2 | 81,8 | 32,1 | 3,4 | 49,7 | 6,8 | 1,691 |
| 9323 | 2917 | 1,857 | 48 | 75,6 | 71,7 | 27,3 | 3,9 | 44,4 | 8,8 | 1,707 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | 23 | 88,9 | 83,9 | 37,2 | 5,0 | 46,7 | 10,7 | 1,729 |
| 9485 | 3079 | 1,960 | 51 | 89,6 | 83,2 | 35,2 | 6,4 | 48,0 | 13,3 | 1,731 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

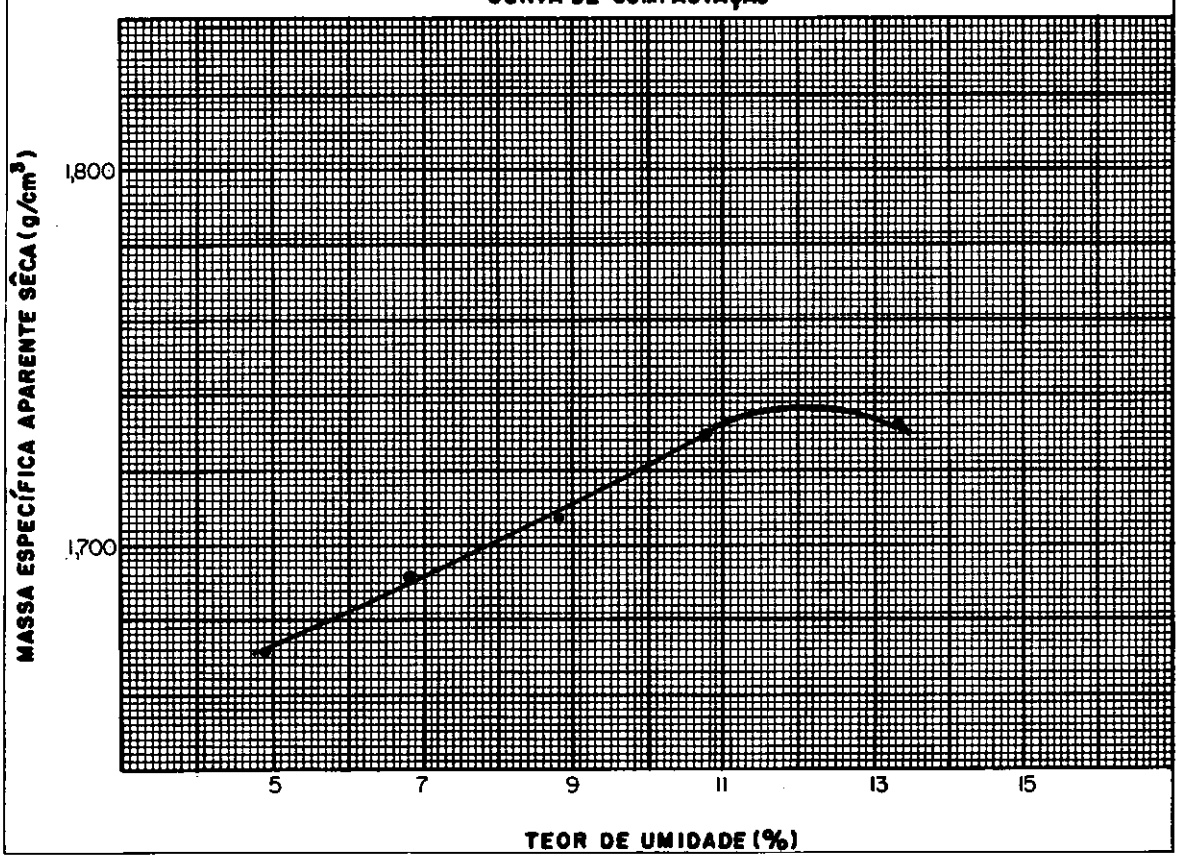


TABELA 31

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9150 | 2744 | 1,747 | 37 | 69,9 | 68,0 | 28,6 | 1,9 | 39,4 | 4,8 | 1,667 |
| 9230 | 2824 | 1,798 | C | 85,5 | 82,1 | 31,5 | 3,4 | 50,6 | 6,7 | 1,685 |
| 9331 | 2925 | 1,862 | 10 | 86,0 | 82,1 | 38,7 | 3,9 | 43,4 | 9,0 | 1,707 |
| 9412 | 3006 | 1,914 | 20 | 83,2 | 77,7 | 27,3 | 5,5 | 50,4 | 10,9 | 1,726 |
| 9482 | 3076 | 1,958 | 116 | 87,2 | 81,9 | 41,0 | 5,3 | 40,9 | 13,0 | 1,733 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

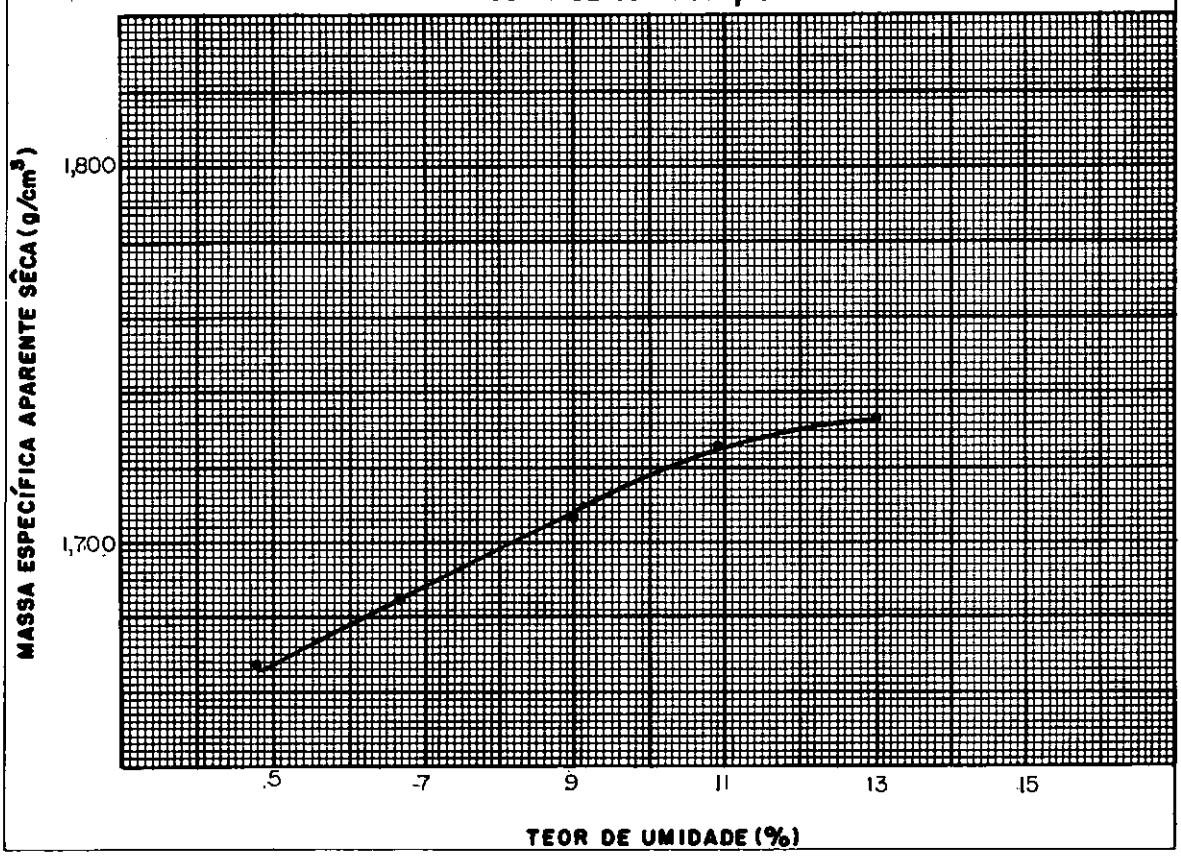


TABELA 32

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. sêco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9148 | 2742 | 1,746 | C | 78,8 | 76,4 | 31,5 | 2,4 | 44,9 | 5,3 | 1,659 |
| 9227 | 2821 | 1,796 | 23 | 85,1 | 82,0 | 37,2 | 3,1 | 44,8 | 6,9 | 1,679 |
| 9321 | 2915 | 1,856 | 20R | 71,2 | 68,0 | 31,8 | 3,2 | 36,2 | 8,8 | 1,706 |
| 9402 | 2996 | 1,907 | F29 | 69,5 | 65,5 | 29,2 | 4,0 | 36,3 | 11,0 | 1,718 |
| 9472 | 3066 | 1,952 | 11 | 91,6 | 84,3 | 28,6 | 7,3 | 55,7 | 13,1 | 1,726 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

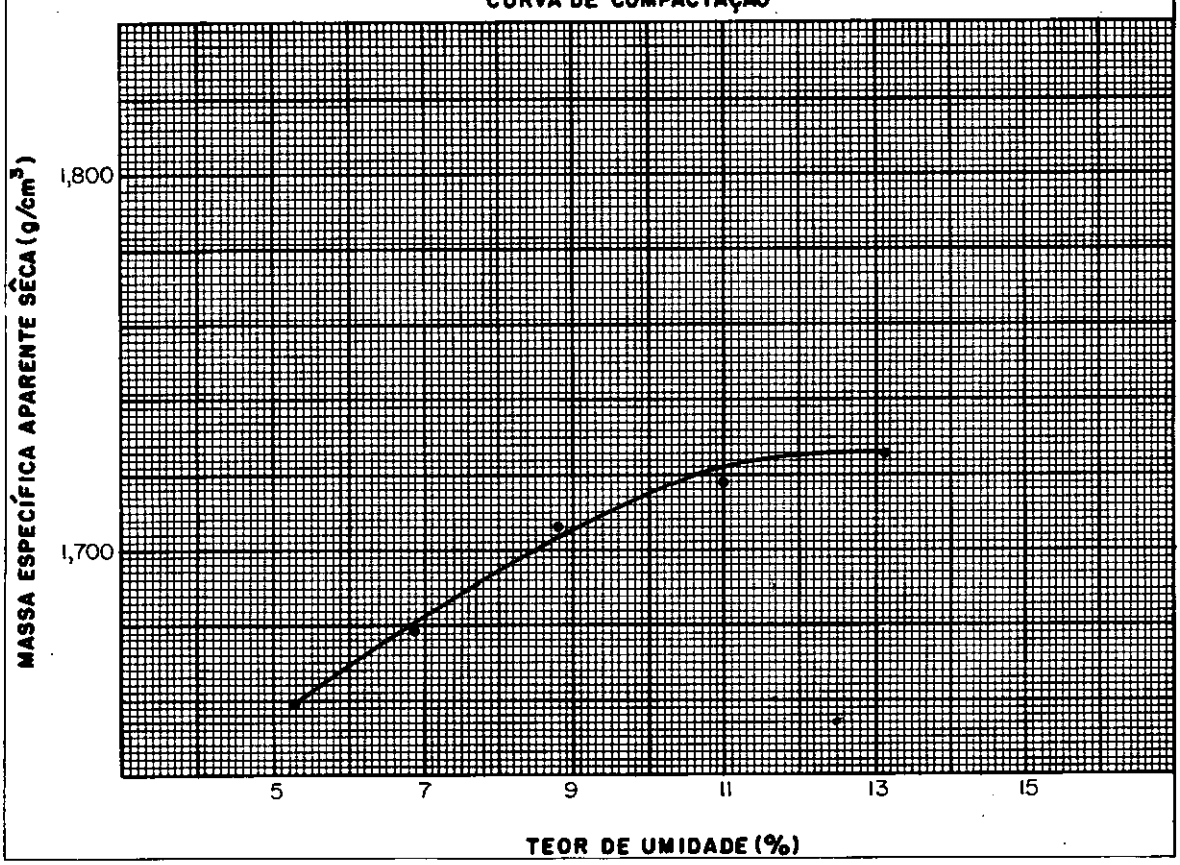


TABELA 33.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9150 | 2744 | 1,747 | 51 | 74,8 | 72,9 | 35,2 | 1,9 | 37,7 | 5,0 | 1,663 |
| 9245 | 2839 | 1,807 | VR | 77,6 | 74,2 | 26,8 | 3,4 | 47,4 | 7,2 | 1,686 |
| 9323 | 2917 | 1,857 | 16 | 83,3 | 78,9 | 29,5 | 4,4 | 49,4 | 8,9 | 1,705 |
| 9406 | 3000 | 1,910 | C | 72,0 | 68,0 | 31,5 | 4,0 | 36,5 | 10,9 | 1,723 |
| 9475 | 3069 | 1,954 | 20R | 103,5 | 95,3 | 31,8 | 8,2 | 63,5 | 12,9 | 1,731 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

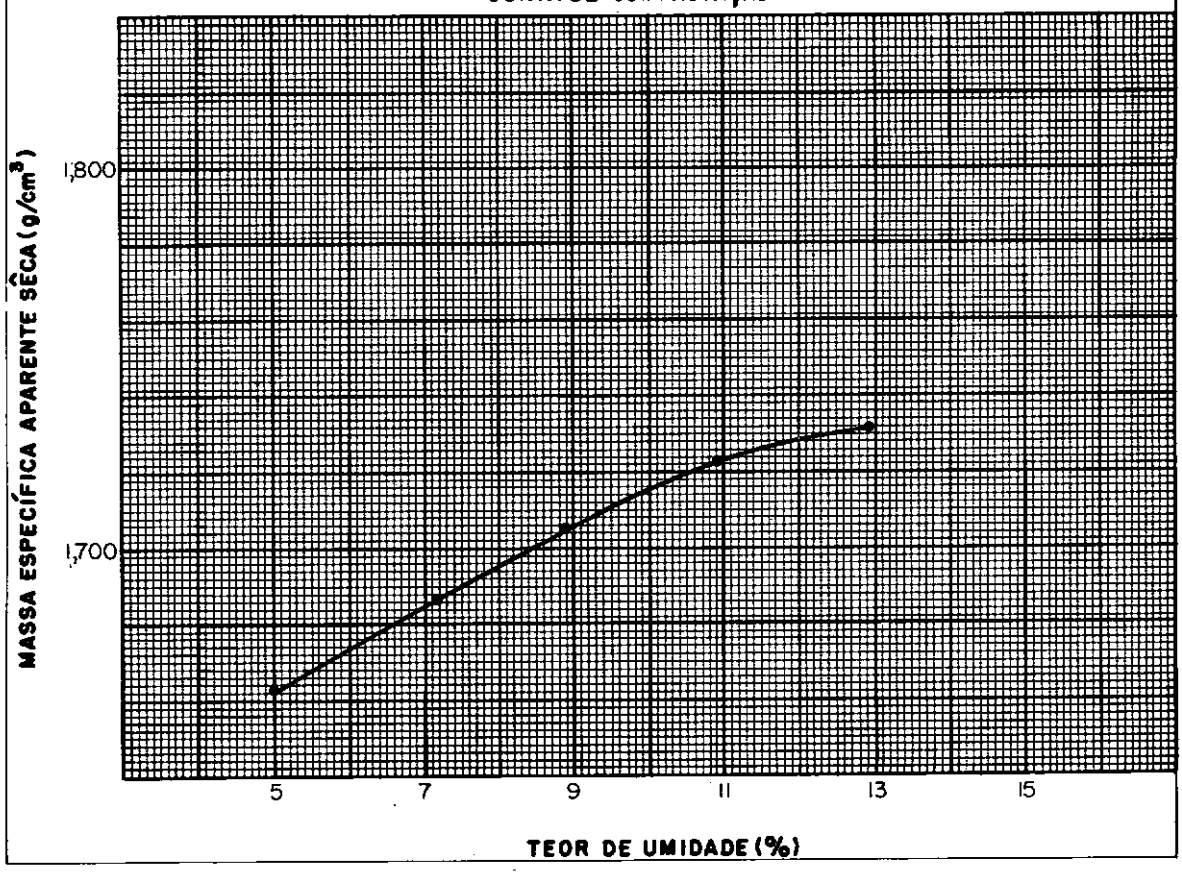


TABELA 34

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9333 | 2927 | 1,863 | E | 87,2 | 84,5 | 33,1 | 2,7 | 51,4 | 5,2 | 1,772 |
| 9415 | 3009 | 1,916 | 11 | 82,7 | 79,2 | 28,6 | 3,5 | 50,6 | 6,9 | 1,791 |
| 9524 | 3118 | 1,985 | 22 | 82,7 | 78,4 | 32,2 | 4,3 | 46,2 | 9,3 | 1,816 |
| 9573 | 3167 | 2,016 | 5R | 91,0 | 84,6 | 26,8 | 6,4 | 57,8 | 11,1 | 1,814 |
| 9565 | 3159 | 2,011 | 25R | 98,8 | 91,1 | 30,2 | 7,7 | 60,9 | 12,6 | 1,786 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

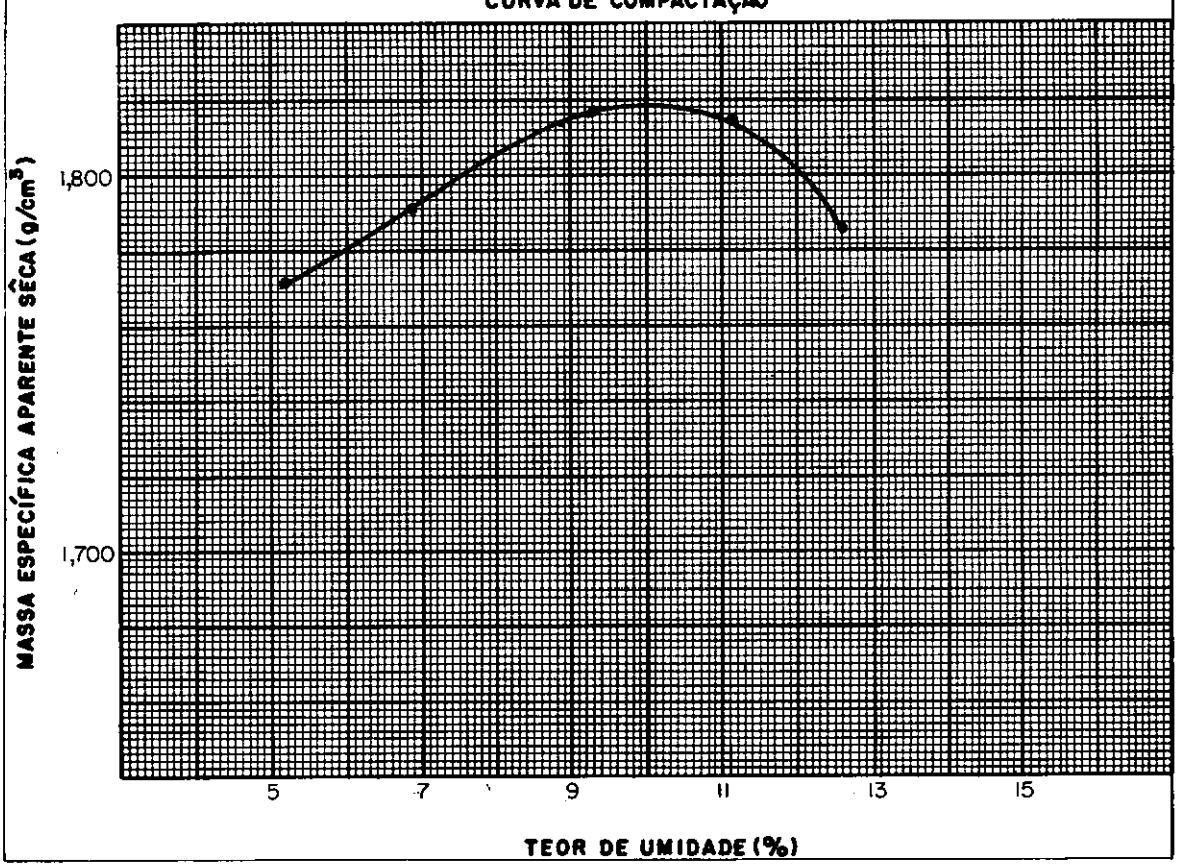


TABELA 35

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9330 | 2924 | 1,861 | 20 | 76,8 | 74,4 | 27,3 | 2,4 | 47,1 | 5,1 | 1,770 |
| 9425 | 3019 | 1,922 | 48 | 79,7 | 76,1 | 27,3 | 3,6 | 48,8 | 7,4 | 1,789 |
| 9510 | 3104 | 1,976 | 25R | 79,1 | 75,0 | 30,2 | 4,1 | 44,8 | 9,1 | 1,812 |
| 9590 | 3184 | 2,027 | 10 | 94,6 | 89,1 | 38,7 | 5,5 | 50,4 | 10,9 | 1,828 |
| 9553 | 3147 | 2,003 | F29 | 100,2 | 92,1 | 29,2 | 8,1 | 62,9 | 12,9 | 1,775 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

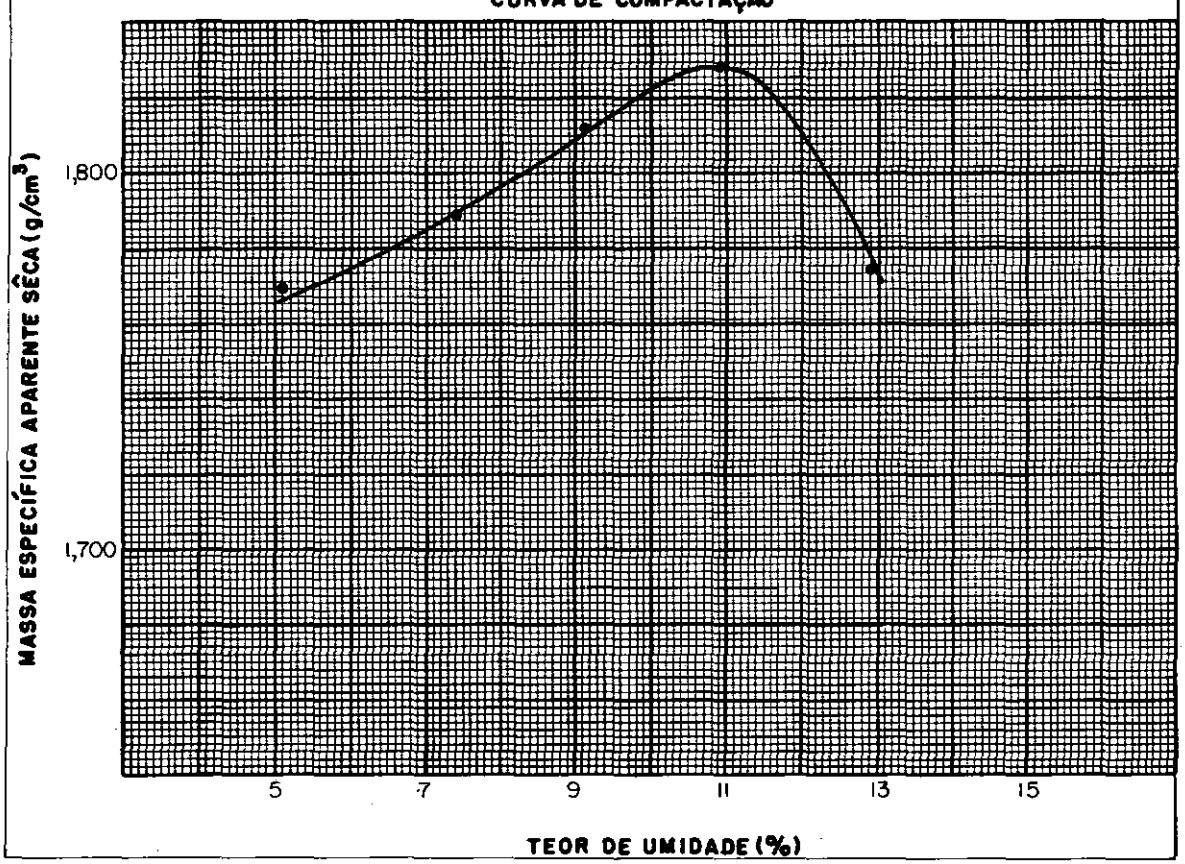


TABELA . 36 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO . DNER-DPT . - . M . 48-64

MISTURA . . . . . II

PERÍODO DE CURA . 07 . dias . . . . . .

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9336 | 2930 | 1,865 | 41 | 81,2 | 79,0 | 36,9 | 2,2 | 42,1 | 5,2 | 1,774 |
| 9425 | 3019 | 1,922 | 20R | 71,1 | 68,6 | 31,8 | 2,5 | 36,8 | 6,8 | 1,799 |
| 9517 | 3111 | 1,980 | 1R | 90,8 | 85,9 | 32,1 | 4,9 | 53,8 | 9,1 | 1,816 |
| 9575 | 3169 | 2,017 | 20R | 86,4 | 81,0 | 31,8 | 5,4 | 49,2 | 11,0 | 1,817 |
| 9548 | 3142 | 2,000 | 35 | 101,4 | 93,0 | 29,5 | 8,4 | 63,5 | 13,2 | 1,766 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

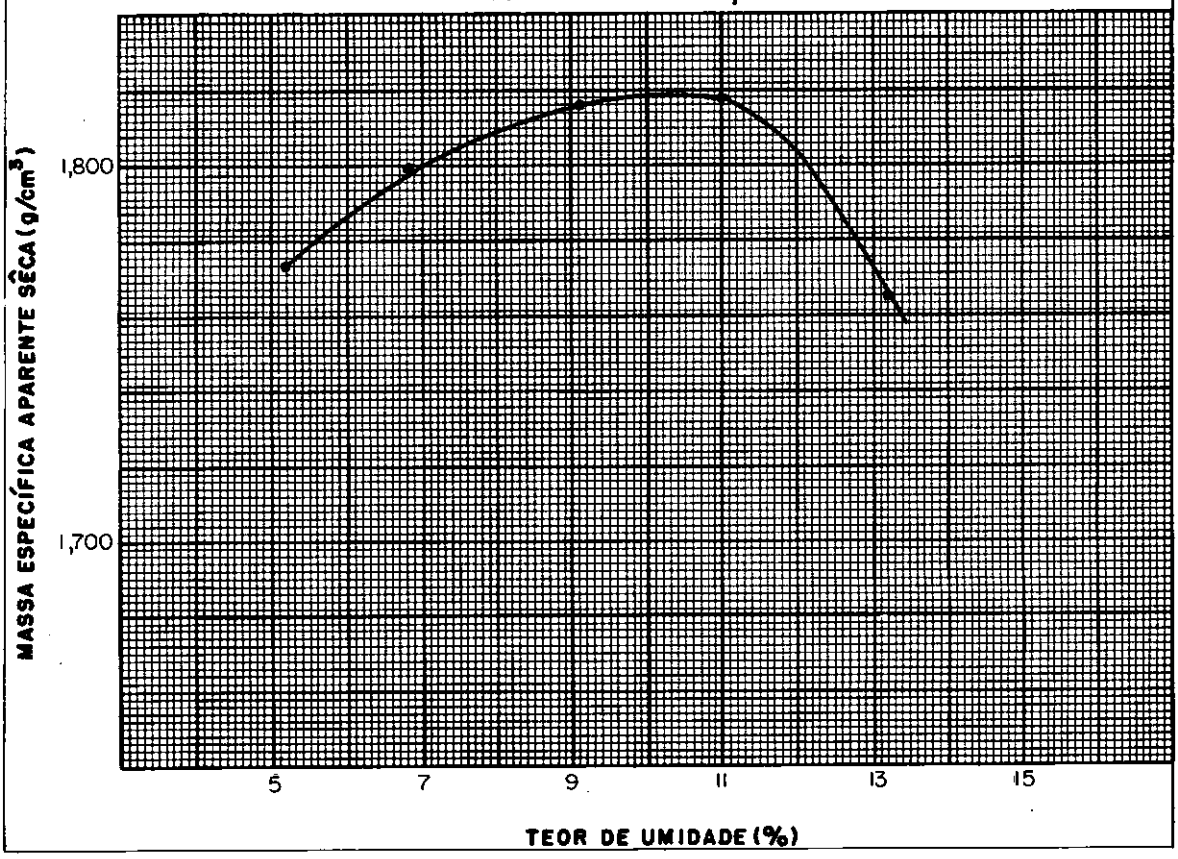


TABELA 37.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9330 | 2924 | 1,861 | 22 | 81,7 | 79,3 | 32,2 | 2,4 | 47,1 | 5,1 | 1,770 |
| 9420 | 3014 | 1,919 | 16 | 81,2 | 77,7 | 29,5 | 3,5 | 48,2 | 7,3 | 1,788 |
| 9513 | 3107 | 1,978 | 23 | 92,0 | 87,5 | 37,2 | 4,5 | 50,3 | 8,9 | 1,816 |
| 9568 | 3162 | 2,013 | 51 | 87,4 | 82,2 | 35,2 | 5,2 | 47,0 | 11,1 | 1,812 |
| 9567 | 3161 | 2,012 | C | 108,8 | 99,9 | 31,5 | 8,9 | 68,4 | 13,0 | 1,781 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

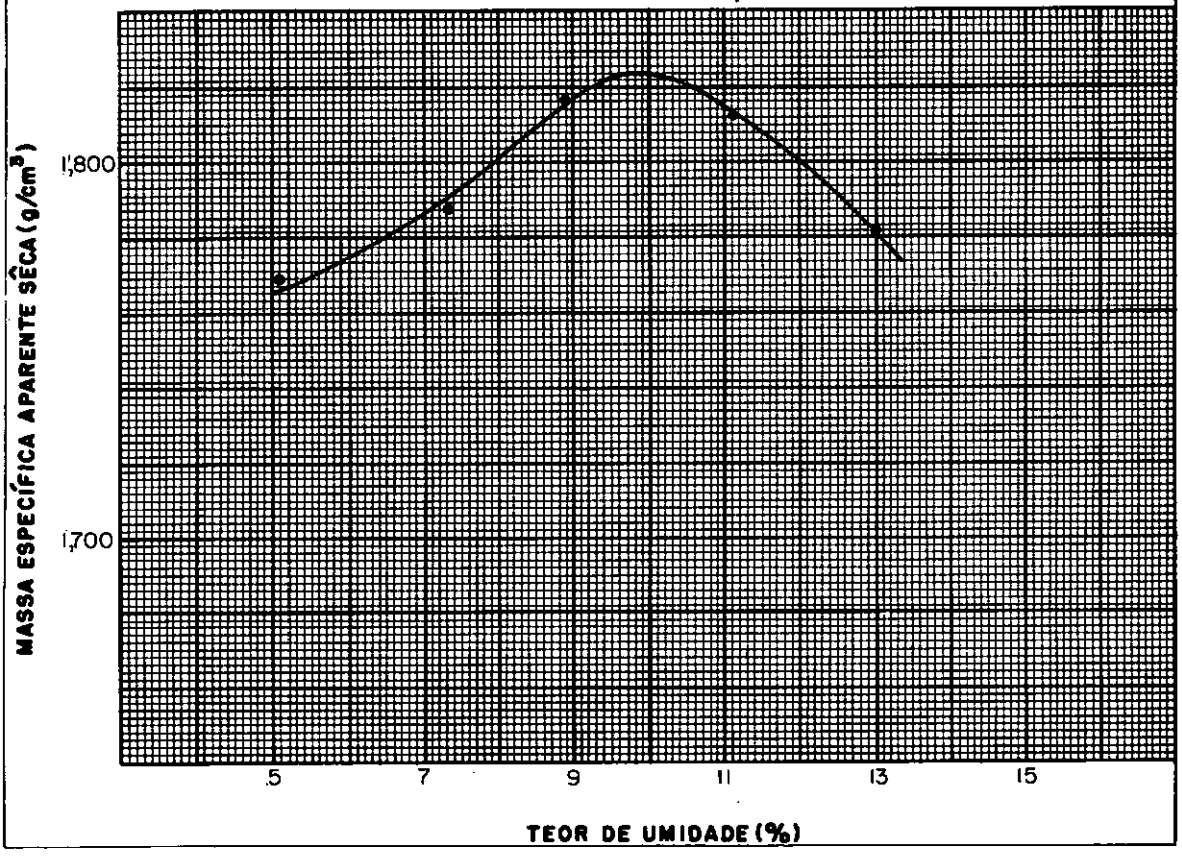


TABELA 38

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9340 | 2934 | 1,868 | 30 | 91,1 | 88,2 | 30,6 | 2,9 | 57,6 | 5,0 | 1,778 |
| 9407 | 3001 | 1,910 | 6 | 82,9 | 79,4 | 29,5 | 3,5 | 49,9 | 7,0 | 1,786 |
| 9510 | 3104 | 1,976 | F29 | 83,0 | 78,6 | 29,2 | 4,4 | 49,4 | 8,9 | 1,814 |
| 9560 | 3154 | 2,008 | 11 | 99,7 | 92,6 | 28,6 | 7,1 | 64,0 | 11,1 | 1,807 |
| 9556 | 3150 | 2,005 | 36 | 107,5 | 98,8 | 30,8 | 8,7 | 68,0 | 12,8 | 1,776 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

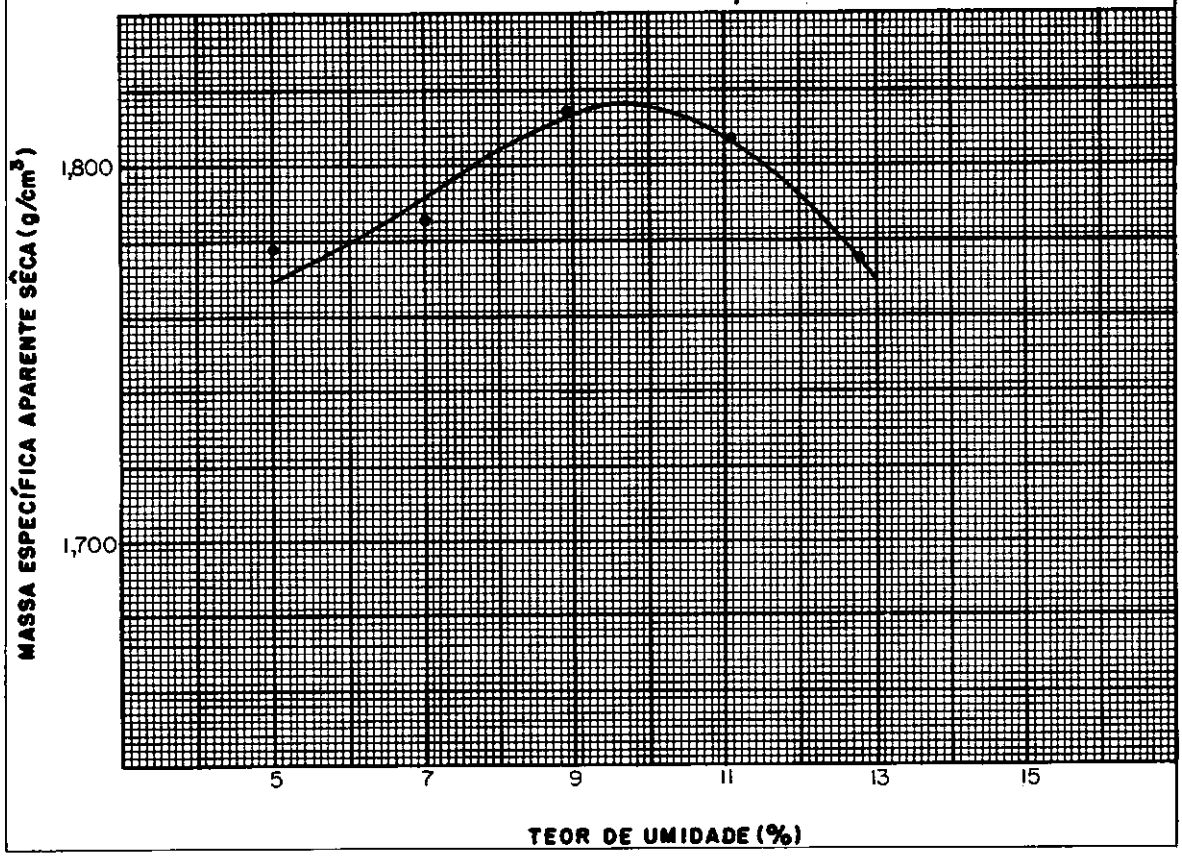


TABELA 39

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9330 | 2924 | 1,861 | 23 | 87,8 | 85,4 | 37,2 | 2,4 | 48,2 | 5,0 | 1,772 |
| 9420 | 3014 | 1,919 | C | 91,8 | 88,0 | 31,5 | 3,8 | 56,5 | 6,7 | 1,798 |
| 9509 | 3103 | 1,975 | 30 | 88,7 | 84,1 | 30,6 | 4,6 | 53,5 | 8,6 | 1,819 |
| 9569 | 3163 | 2,014 | 6 | 92,7 | 86,4 | 29,5 | 6,3 | 56,9 | 11,1 | 1,813 |
| 9560 | 3154 | 2,008 | 1R | 117,7 | 108,0 | 32,1 | 9,7 | 75,9 | 12,8 | 1,779 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

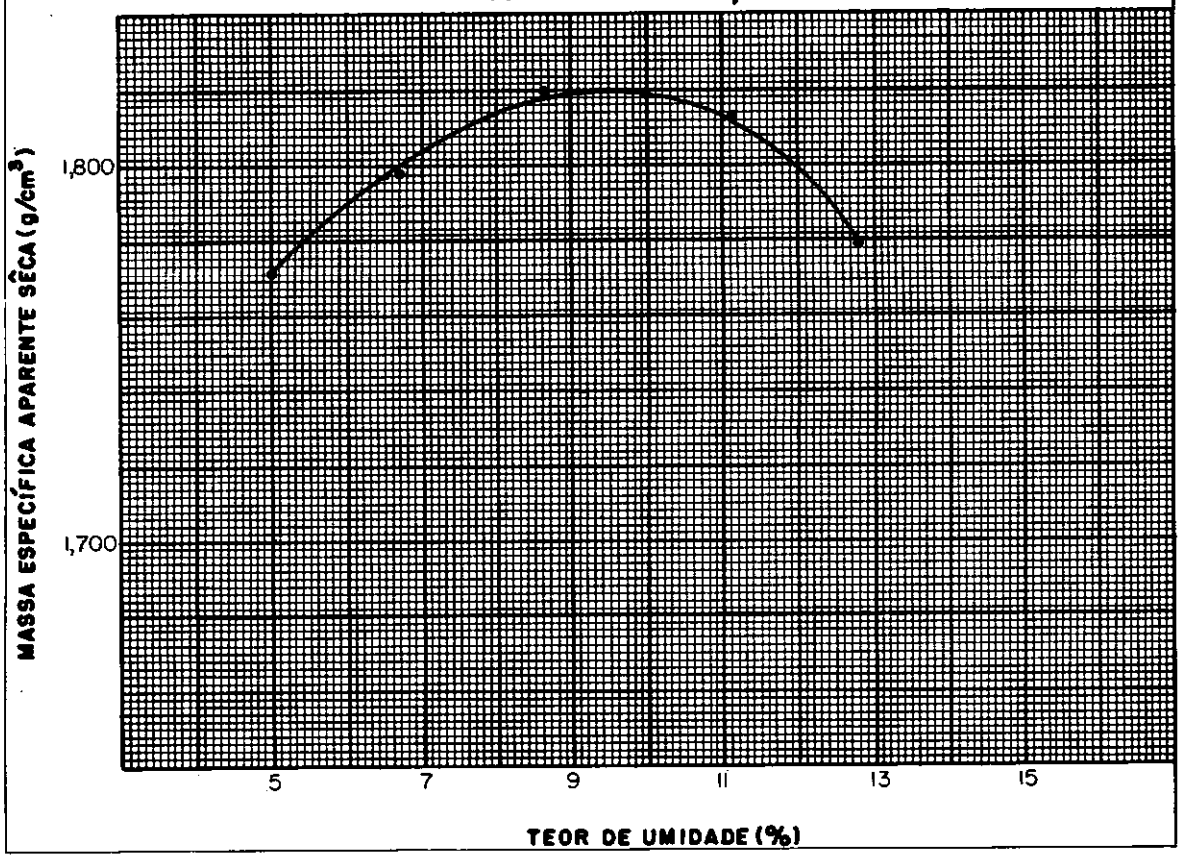


TABELA 40

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9335 | 2929 | 1,865 | 1R | 84,8 | 82,4 | 32,1 | 2,4 | 50,3 | 4,8 | 1,779 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | 35 | 87,3 | 83,6 | 29,5 | 3,7 | 54,1 | 6,8 | 1,792 |
| 9515 | 3109 | 1,979 | 20 | 86,7 | 81,7 | 27,3 | 5,0 | 54,4 | 9,2 | 1,813 |
| 9575 | 3169 | 2,017 | 23 | 101,5 | 95,3 | 37,2 | 6,2 | 58,1 | 10,7 | 1,821 |
| 9570 | 3164 | 2,014 | 30 | 122,0 | 111,3 | 30,6 | 10,7 | 80,7 | 13,3 | 1,778 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

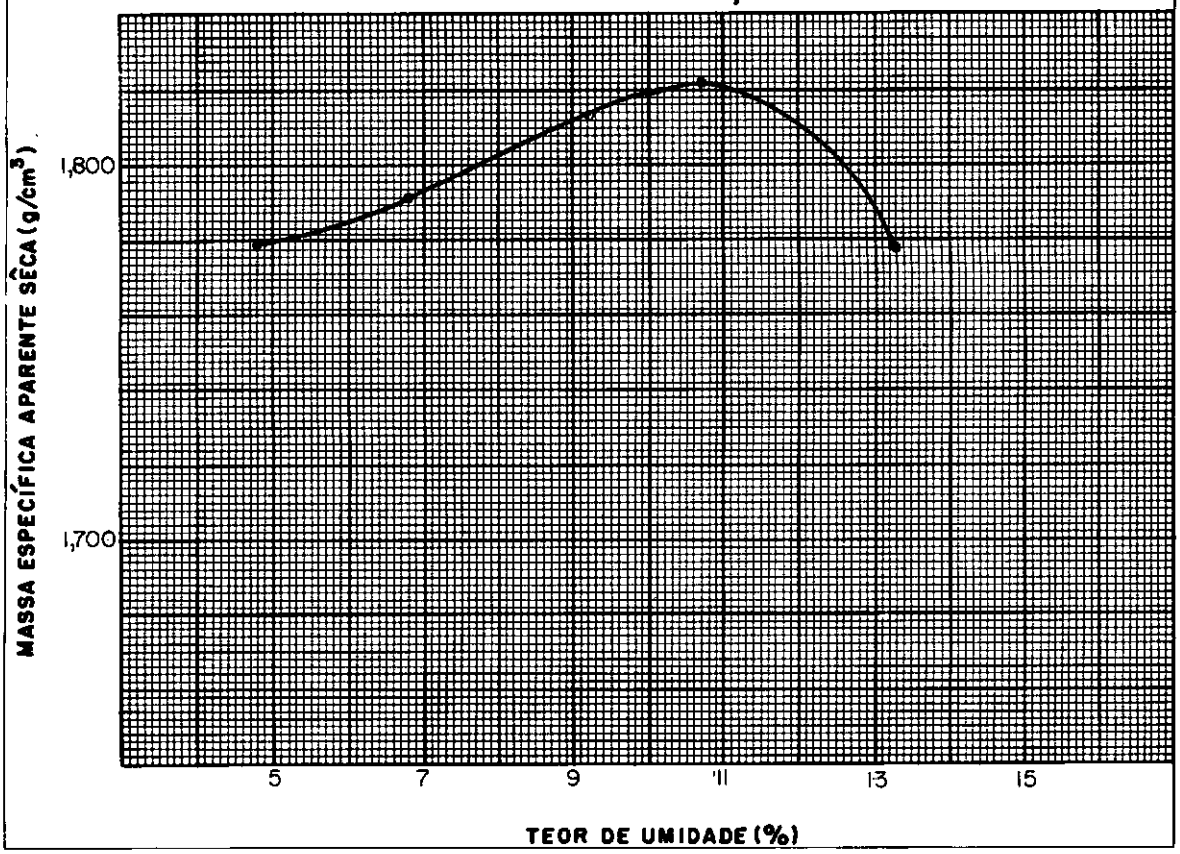


TABELA 41

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9330 | 2924 | 1,861 | 36 | 84,8 | 82,4 | 30,8 | 2,4 | 51,6 | 4,6 | 1,779 |
| 9410 | 3004 | 1,912 | 51 | 88,7 | 85,1 | 35,2 | 3,6 | 49,9 | 7,2 | 1,784 |
| 9512 | 3106 | 1,977 | 36 | 95,5 | 90,3 | 30,8 | 5,2 | 59,5 | 8,7 | 1,819 |
| 9567 | 3161 | 2,012 | 48 | 83,9 | 78,2 | 27,3 | 5,7 | 50,9 | 11,2 | 1,809 |
| 9555 | 3149 | 2,005 | 22 | 122,7 | 112,1 | 32,2 | 10,6 | 79,9 | 13,3 | 1,770 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

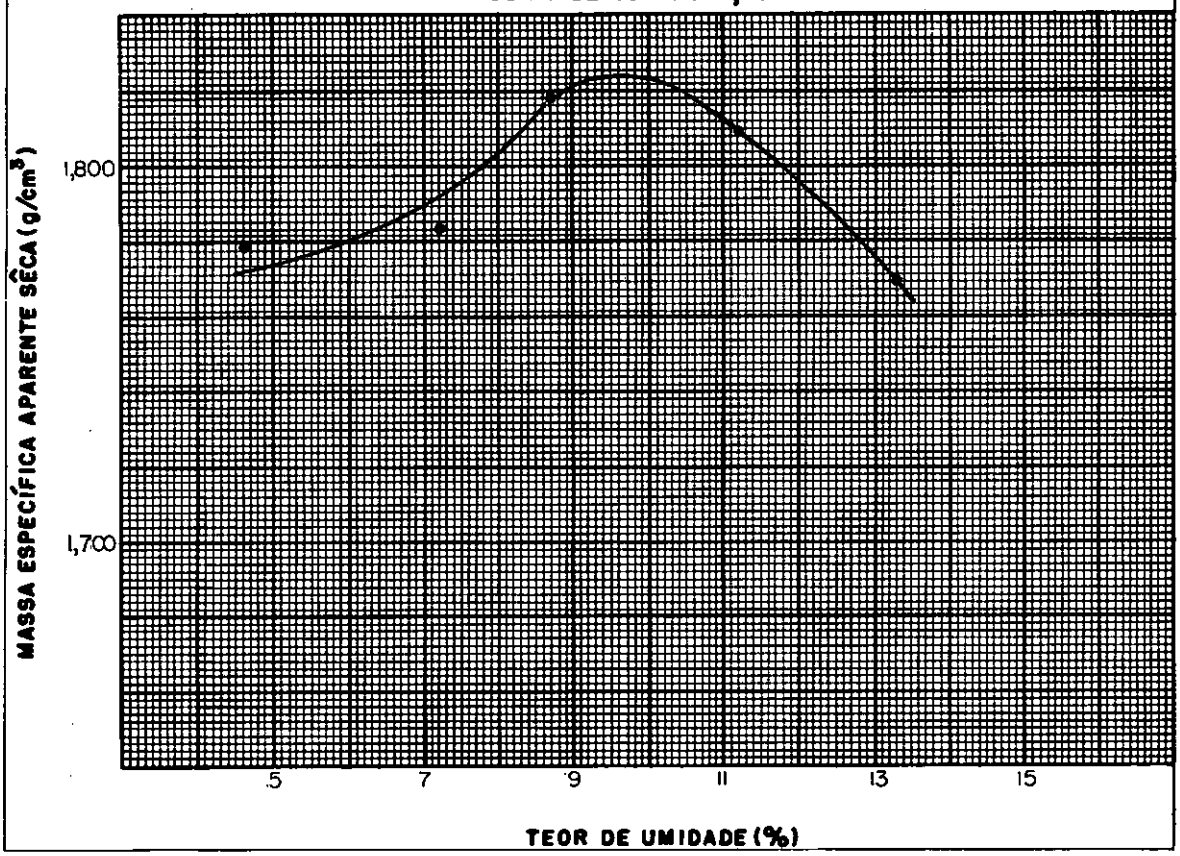


TABELA 42

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

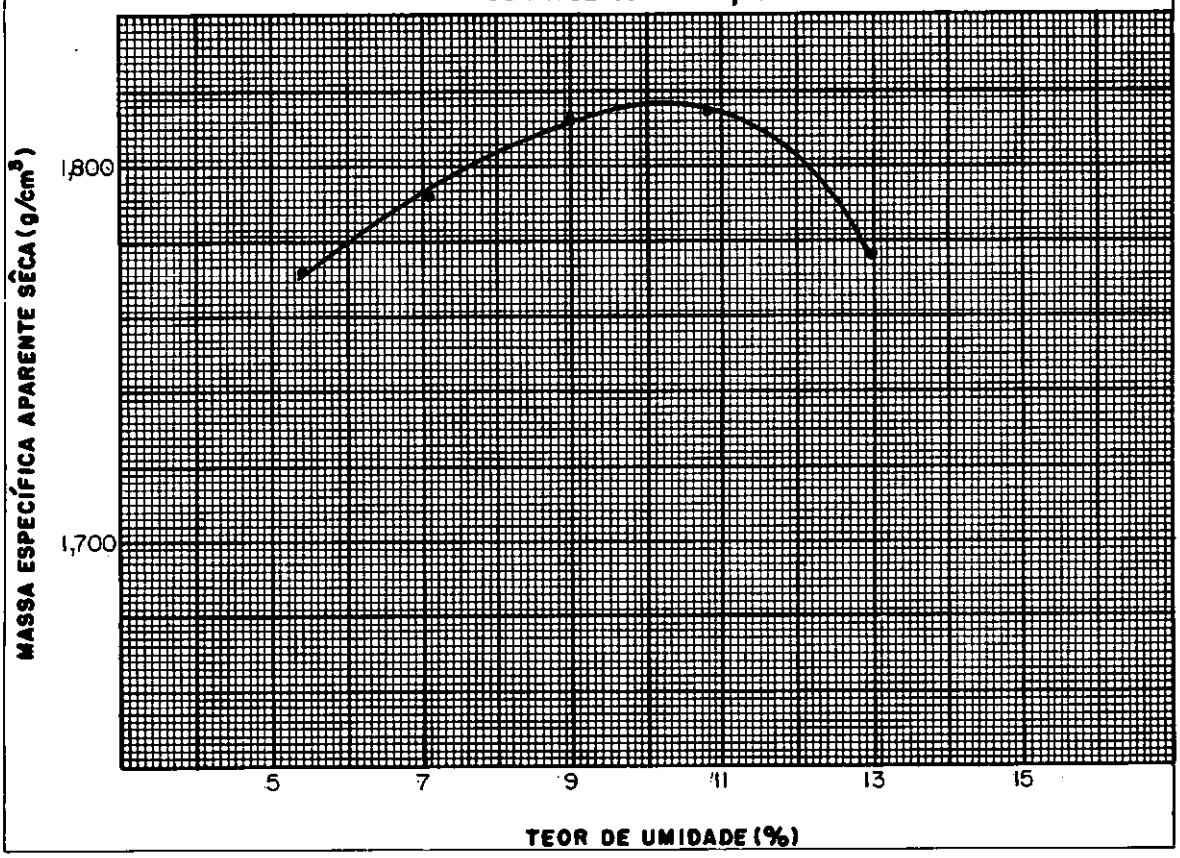
MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptes. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptes. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9340 | 2934 | 1,868 | 37 | 78,9 | 76,3 | 28,6 | 2,6 | 47,7 | 5,4 | 1,773 |
| 9422 | 3016 | 1,920 | 10 | 88,7 | 85,4 | 38,7 | 3,3 | 46,7 | 7,1 | 1,793 |
| 9510 | 3104 | 1,976 | 40R | 102,0 | 96,7 | 37,8 | 5,3 | 58,9 | 9,0 | 1,812 |
| 9566 | 3160 | 2,012 | 20 | 93,8 | 87,3 | 27,3 | 6,5 | 60,0 | 10,8 | 1,815 |
| 9560 | 3154 | 2,008 | 44 | 119,7 | 110,6 | 40,4 | 9,1 | 70,2 | 13,0 | 1,777 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO



Tabelas de 43 à 60 - Resultados dos ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova, relativos à Mistura III (69% de areia, 6% de cal e 25% de cinza volante), com as energias Normal e Intermediária, para os períodos de cura de 7, 14 e 28 dias.

TABELA 43

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8988 | 2582 | 1,644 | F29 | 85,0 | 82,2 | 29,2 | 2,8 | 53,0 | 5,3 | 1,562 |
| 9050 | 2644 | 1,683 | 22 | 87,5 | 83,8 | 32,2 | 3,7 | 51,6 | 7,2 | 1,570 |
| 9147 | 2741 | 1,745 | 25R | 84,1 | 79,6 | 30,2 | 4,5 | 49,4 | 9,1 | 1,600 |
| 9207 | 2801 | 1,783 | 23 | 86,5 | 81,5 | 37,2 | 5,0 | 44,3 | 11,3 | 1,601 |
| 9275 | 2869 | 1,826 | 10 | 90,7 | 84,8 | 38,7 | 5,9 | 46,1 | 12,8 | 1,618 |
| 9380 | 2974 | 1,893 | 20 | 85,6 | 77,9 | 27,3 | 7,7 | 50,6 | 15,2 | 1,643 |
| 9375 | 2969 | 1,890 | 44 | 100,2 | 91,6 | 40,4 | 8,6 | 51,2 | 16,8 | 1,618 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

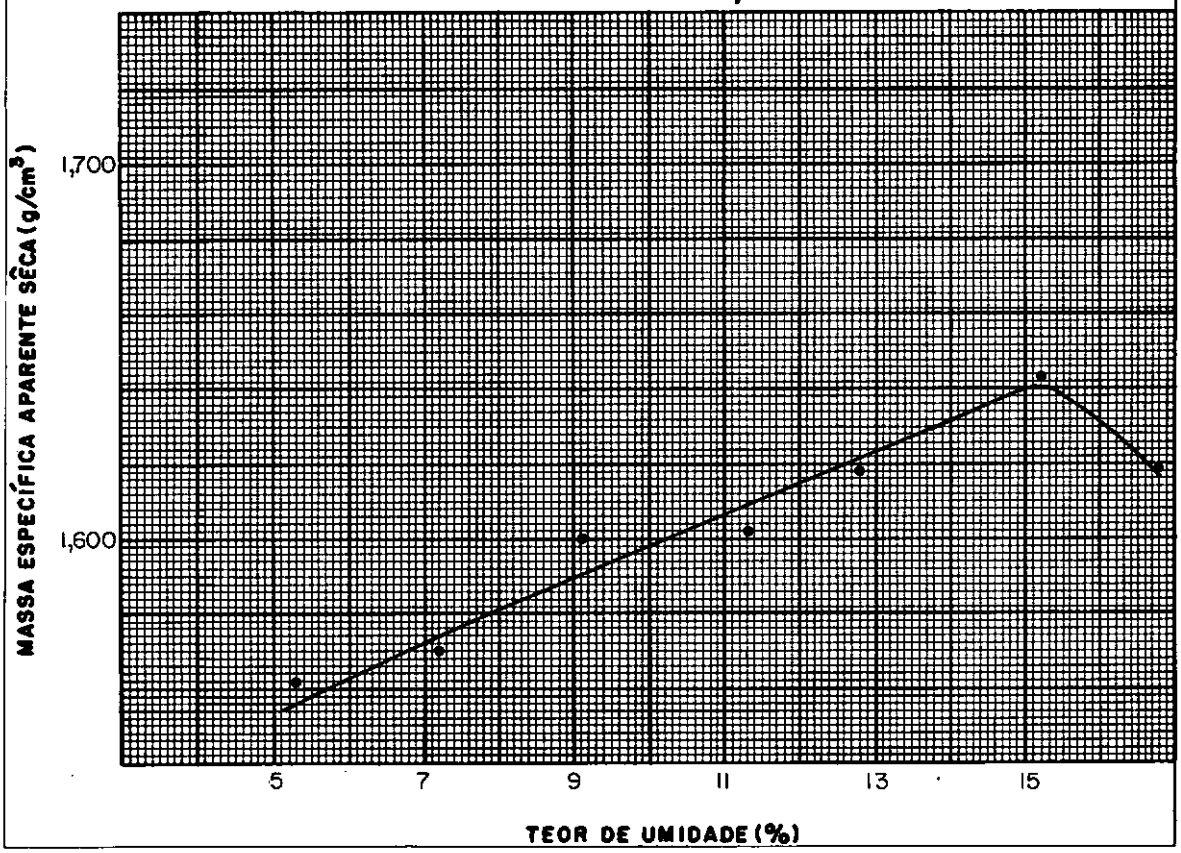


TABELA 44

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8991 | 2585 | 1,646 | 36 | 85,8 | 83,1 | 30,8 | 2,7 | 52,3 | 5,2 | 1,565 |
| 9068 | 2662 | 1,695 | 116 | 95,8 | 92,2 | 41,0 | 3,6 | 51,2 | 7,0 | 1,585 |
| 9154 | 2748 | 1,749 | 5R | 81,4 | 77,0 | 26,8 | 4,4 | 50,2 | 8,8 | 1,607 |
| 9212 | 2806 | 1,786 | C | 79,2 | 74,4 | 31,5 | 4,8 | 42,9 | 11,2 | 1,606 |
| 9270 | 2864 | 1,823 | 11 | 78,8 | 73,0 | 28,6 | 5,8 | 44,4 | 13,1 | 1,611 |
| 9372 | 2966 | 1,888 | 51 | 98,5 | 90,2 | 35,2 | 8,3 | 55,0 | 15,1 | 1,641 |
| 9371 | 2965 | 1,888 | 35 | 99,0 | 89,0 | 29,5 | 10,0 | 59,5 | 16,8 | 1.616 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

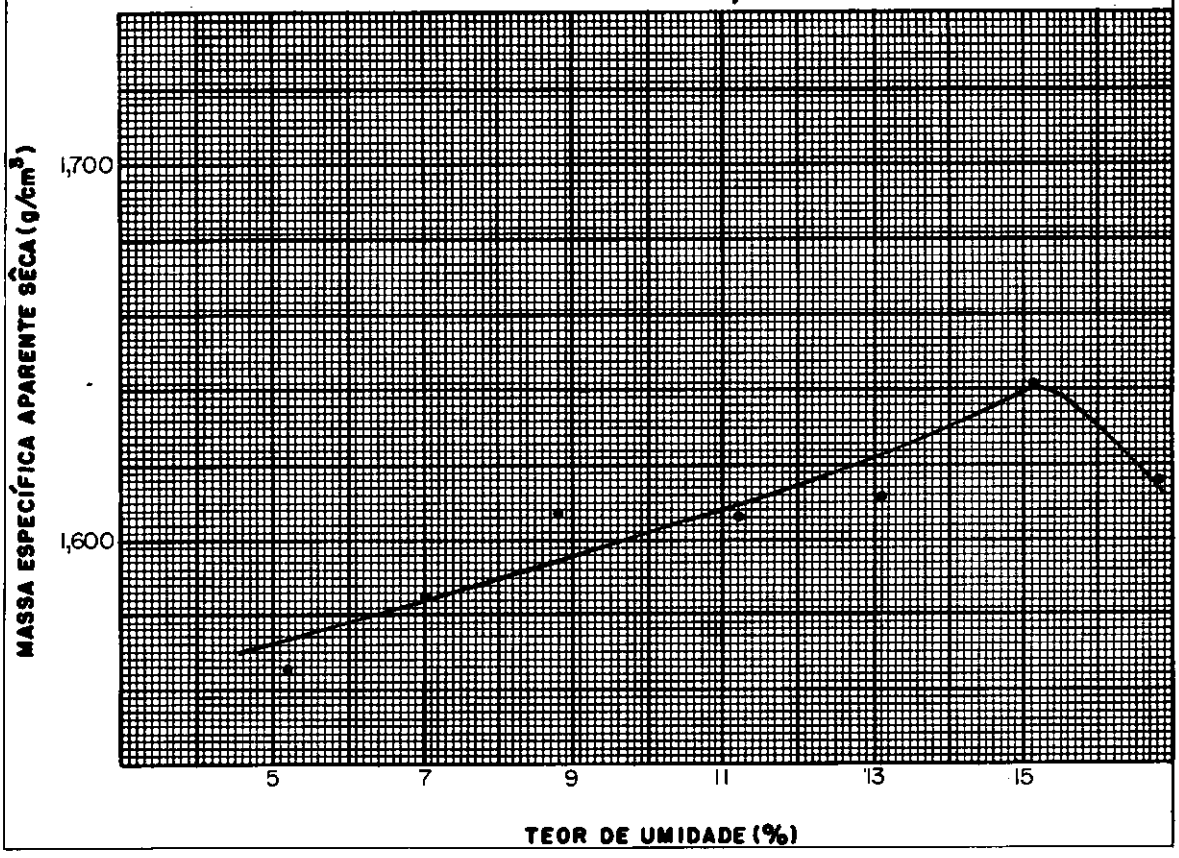


TABELA 45.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9008 | 2602 | 1,656 | 1R | 91,7 | 88,7 | 32,1 | 3,0 | 56,6 | 5,3 | 1,573 |
| 9065 | 2659 | 1,693 | 36 | 83,6 | 80,2 | 30,8 | 3,4 | 49,4 | 6,9 | 1,583 |
| 9146 | 2740 | 1,744 | 20 | 83,3 | 78,7 | 27,3 | 4,6 | 51,4 | 8,9 | 1,601 |
| 9205 | 2799 | 1,782 | 48 | 77,5 | 72,5 | 27,3 | 5,0 | 45,2 | 11,1 | 1,604 |
| 9285 | 2879 | 1,833 | 20R | 81,8 | 76,0 | 31,8 | 5,8 | 44,2 | 13,1 | 1,620 |
| 9370 | 2964 | 1,887 | 35 | 84,6 | 77,4 | 29,5 | 7,2 | 47,9 | 15,0 | 1,642 |
| 9370 | 2964 | 1,887 | C | 97,4 | 87,9 | 31,5 | 9,5 | 56,4 | 16,8 | 1,615 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

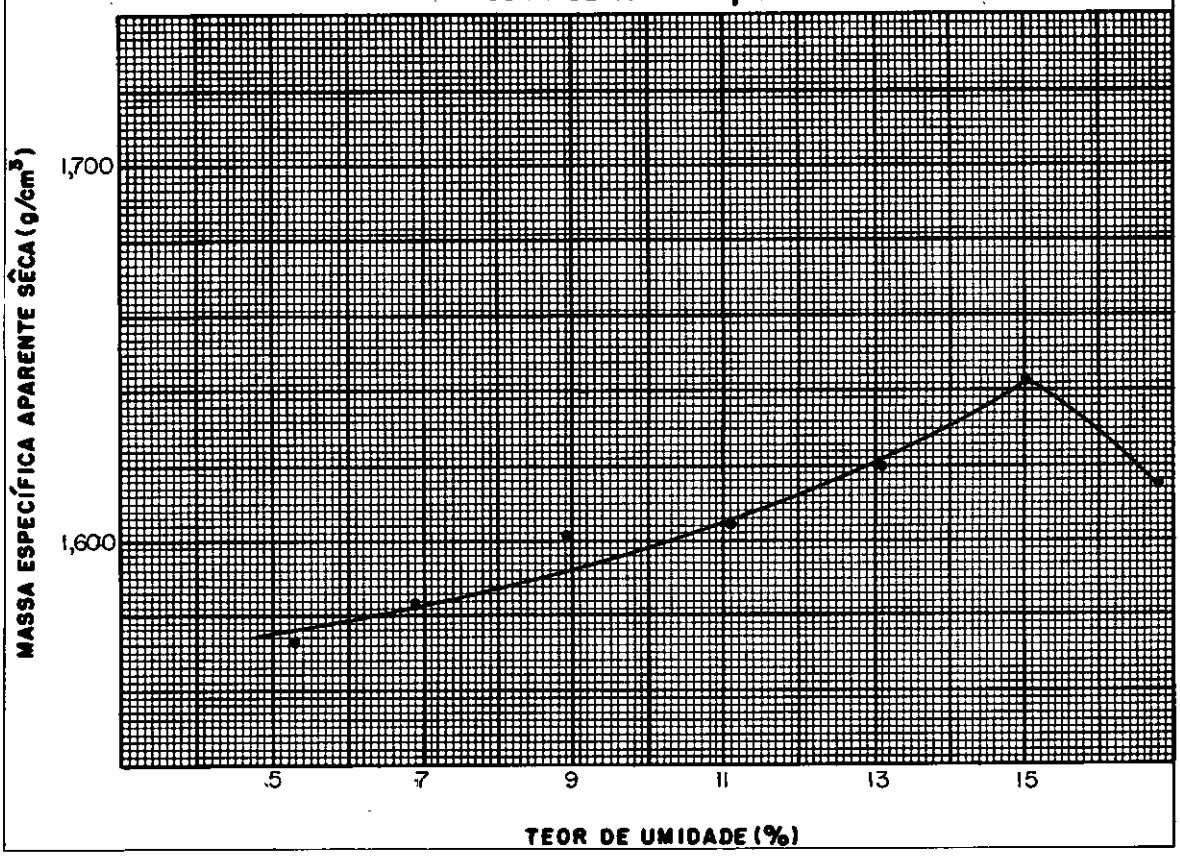


TABELA 46

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9004 | 2598 | 1,654 | 51 | 91,7 | 88,9 | 35,2 | 2,8 | 53,7 | 5,2 | 1,573 |
| 9063 | 2657 | 1,691 | 35 | 81,5 | 78,1 | 29,5 | 3,4 | 48,6 | 7,0 | 1,581 |
| 9143 | 2737 | 1,742 | E | 81,6 | 77,6 | 33,1 | 4,0 | 44,5 | 9,0 | 1,597 |
| 9210 | 2804 | 1,785 | 41 | 93,6 | 88,0 | 36,9 | 5,6 | 51,1 | 11,0 | 1,608 |
| 9280 | 2874 | 1,830 | C | 91,3 | 84,5 | 31,5 | 6,8 | 53,0 | 12,8 | 1,621 |
| 9372 | 2966 | 1,888 | 15 | 86,4 | 78,2 | 23,9 | 8,2 | 54,3 | 15,1 | 1,641 |
| 9370 | 2964 | 1,887 | 16 | 95,6 | 86,1 | 29,5 | 9,5 | 56,6 | 16,8 | 1,615 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

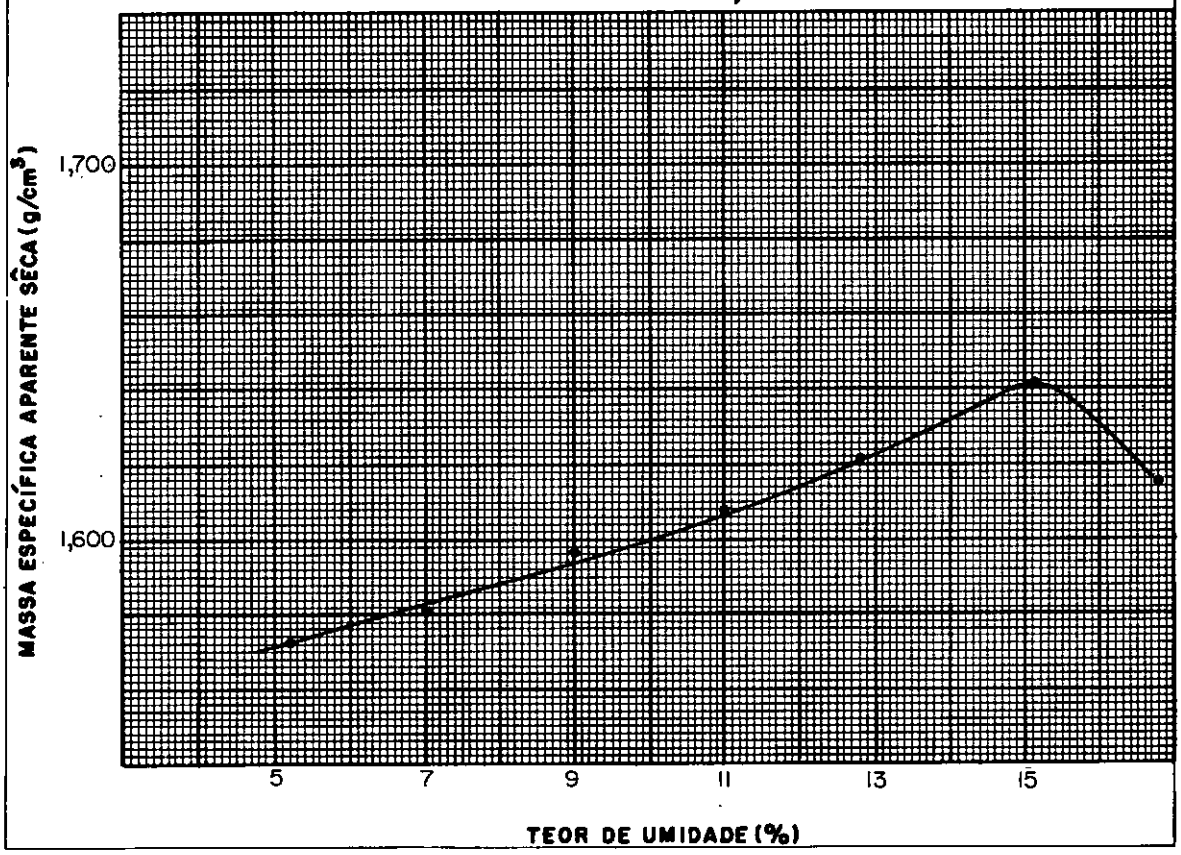


TABELA 47

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8985 | 2579 | 1,642 | 22 | 100,0 | 96,5 | 32,2 | 3,5 | 64,3 | 5,4 | 1,558 |
| 9070 | 2664 | 1,696 | 10 | 97,4 | 93,6 | 38,7 | 3,8 | 54,9 | 6,9 | 1,586 |
| 9137 | 2731 | 1,739 | 6 | 81,5 | 77,2 | 29,5 | 4,3 | 47,7 | 9,0 | 1,595 |
| 9210 | 2804 | 1,785 | F29 | 82,5 | 77,2 | 29,2 | 5,3 | 48,0 | 11,0 | 1,608 |
| 9279 | 2873 | 1,829 | 5R | 88,0 | 81,0 | 26,8 | 7,0 | 54,2 | 12,9 | 1,620 |
| 9370 | 2964 | 1,887 | 30 | 98,4 | 89,6 | 30,6 | 8,8 | 59,0 | 14,9 | 1,642 |
| 9373 | 2967 | 1,889 | 48 | 94,7 | 85,0 | 27,3 | 9,7 | 57,7 | 16,8 | 1,617 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

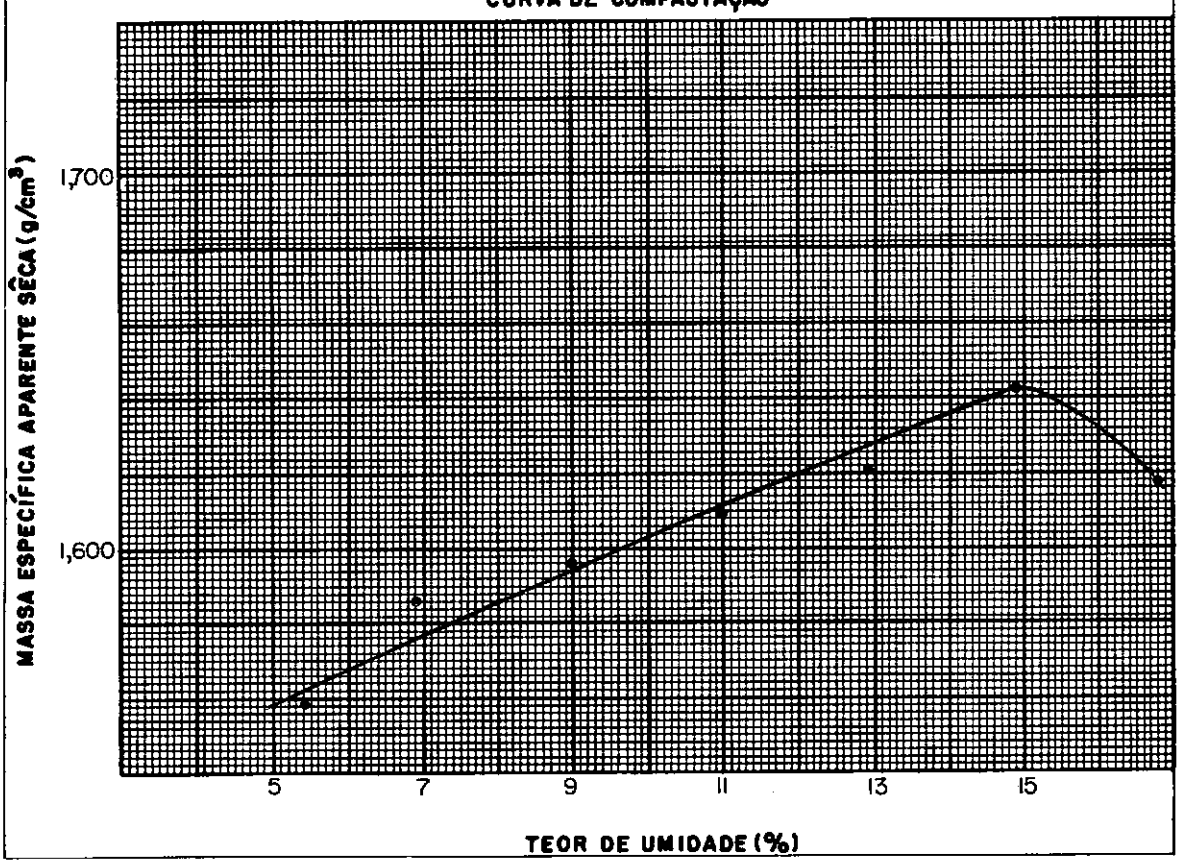


TABELA 48

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específico apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8977 | 2571 | 1,637 | 35 | 77,5 | 75,1 | 29,5 | 2,4 | 45,6 | 5,3 | 1,555 |
| 9045 | 2639 | 1,680 | 11 | 86,5 | 82,8 | 28,6 | 3,7 | 54,2 | 6,8 | 1,572 |
| 9139 | 2733 | 1,740 | 51 | 92,7 | 87,9 | 35,2 | 4,8 | 52,7 | 9,1 | 1,596 |
| 9212 | 2806 | 1,786 | 11 | 92,8 | 86,4 | 28,6 | 6,4 | 57,8 | 11,1 | 1,607 |
| 9280 | 2874 | 1,830 | 1R | 90,8 | 84,0 | 32,1 | 6,8 | 51,9 | 13,1 | 1,618 |
| 9375 | 2969 | 1,890 | 47 | 96,0 | 88,2 | 36,8 | 7,8 | 51,4 | 15,2 | 1,640 |
| 9373 | 2967 | 1,889 | F29 | 92,6 | 83,5 | 29,2 | 9,1 | 54,3 | 16,8 | 1,617 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

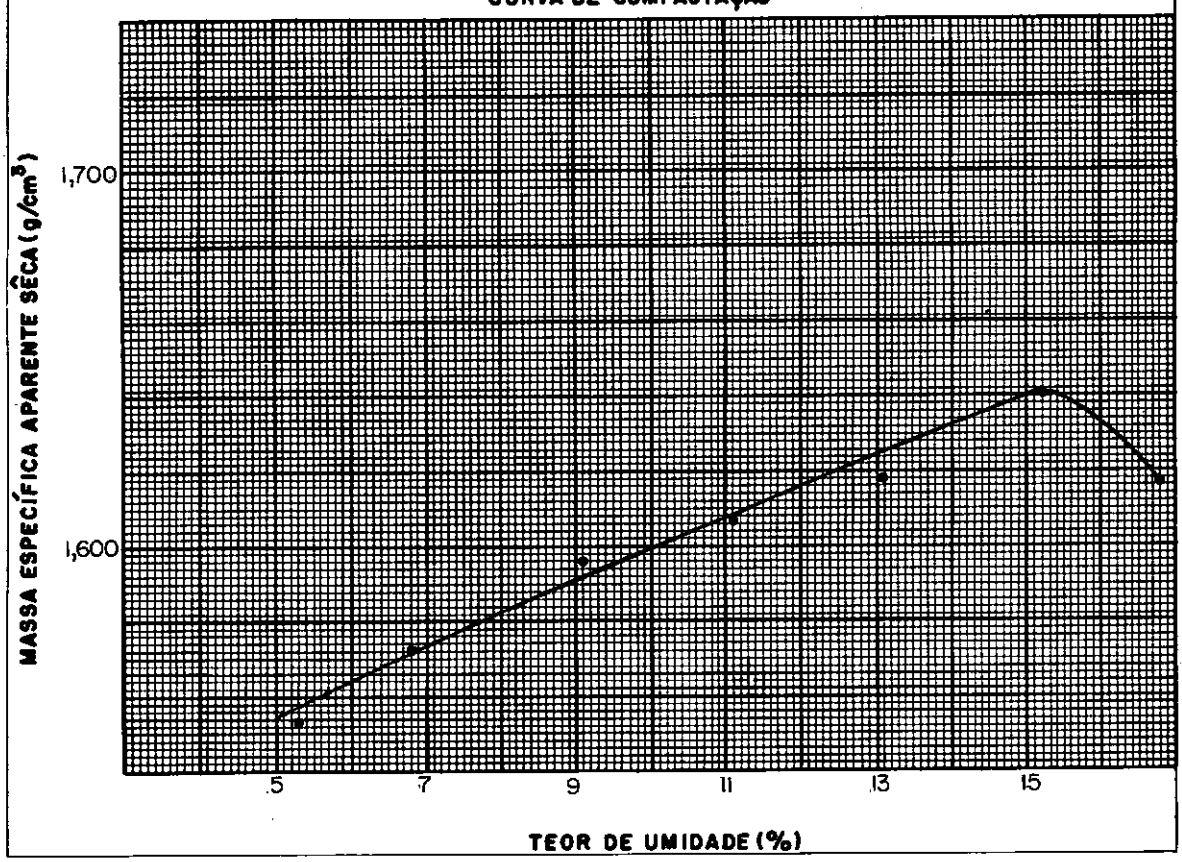


TABELA 49

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8965 | 2559 | 1,629 | 11 | 92,6 | 89,6 | 28,6 | 3,0 | 61,0 | 4,9 | 1,552 |
| 9059 | 2653 | 1,689 | 16 | 83,8 | 80,2 | 29,5 | 3,6 | 50,7 | 7,1 | 1,577 |
| 9135 | 2729 | 1,737 | 1R | 95,4 | 90,1 | 32,1 | 5,3 | 58,0 | 9,1 | 1,593 |
| 9208 | 2802 | 1,784 | 20R | 83,9 | 78,7 | 31,8 | 5,2 | 46,9 | 11,1 | 1,606 |
| 9280 | 2874 | 1,830 | 41 | 85,2 | 79,6 | 36,9 | 5,6 | 42,7 | 13,1 | 1,618 |
| 9380 | 2974 | 1,893 | E | 88,9 | 81,5 | 33,1 | 7,4 | 48,4 | 15,3 | 1,641 |
| 9376 | 2970 | 1,891 | 37 | 99,2 | 88,8 | 28,6 | 10,4 | 60,2 | 17,3 | 1,611 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

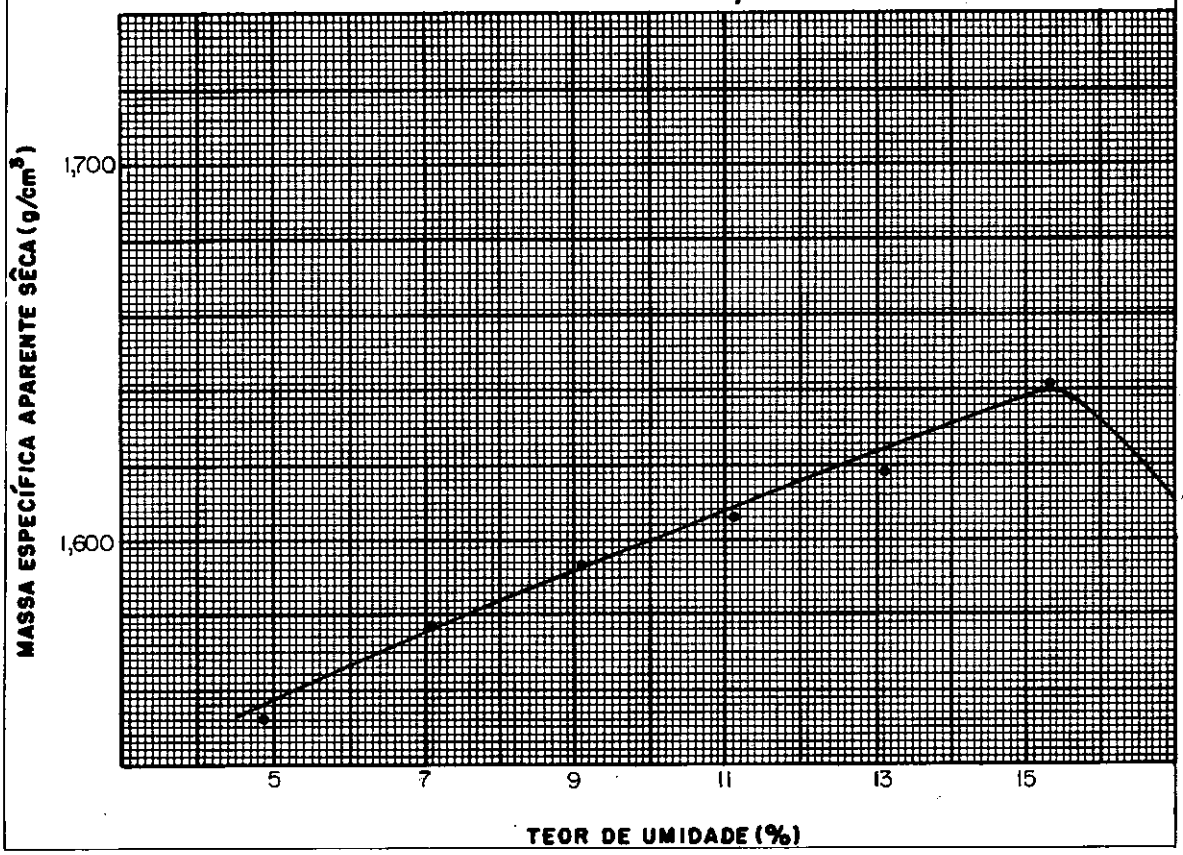


TABELA . 50 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8995 | 2589 | 1,648 | 20R | 80,3 | 77,9 | 31,8 | 2,4 | 46,1 | 5,2 | 1,567 |
| 9070 | 2664 | 1,696 | 37 | 79,8 | 76,4 | 28,6 | 3,4 | 47,8 | 7,1 | 1,584 |
| 9137 | 2731 | 1,739 | 47 | 101,8 | 96,3 | 36,8 | 5,5 | 59,5 | 9,2 | 1,593 |
| 9203 | 2797 | 1,781 | 16 | 87,0 | 81,2 | 29,5 | 5,8 | 51,7 | 11,2 | 1,601 |
| 9271 | 2865 | 1,824 | 16 | 87,9 | 81,1 | 29,5 | 6,8 | 51,6 | 13,2 | 1,611 |
| 9375 | 2969 | 1,890 | 116 | 98,6 | 91,0 | 41,0 | 7,6 | 50,0 | 15,2 | 1,640 |
| 9372 | 2966 | 1,888 | 50 | 98,1 | 88,2 | 29,7 | 9,9 | 58,5 | 16,9 | 1,614 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

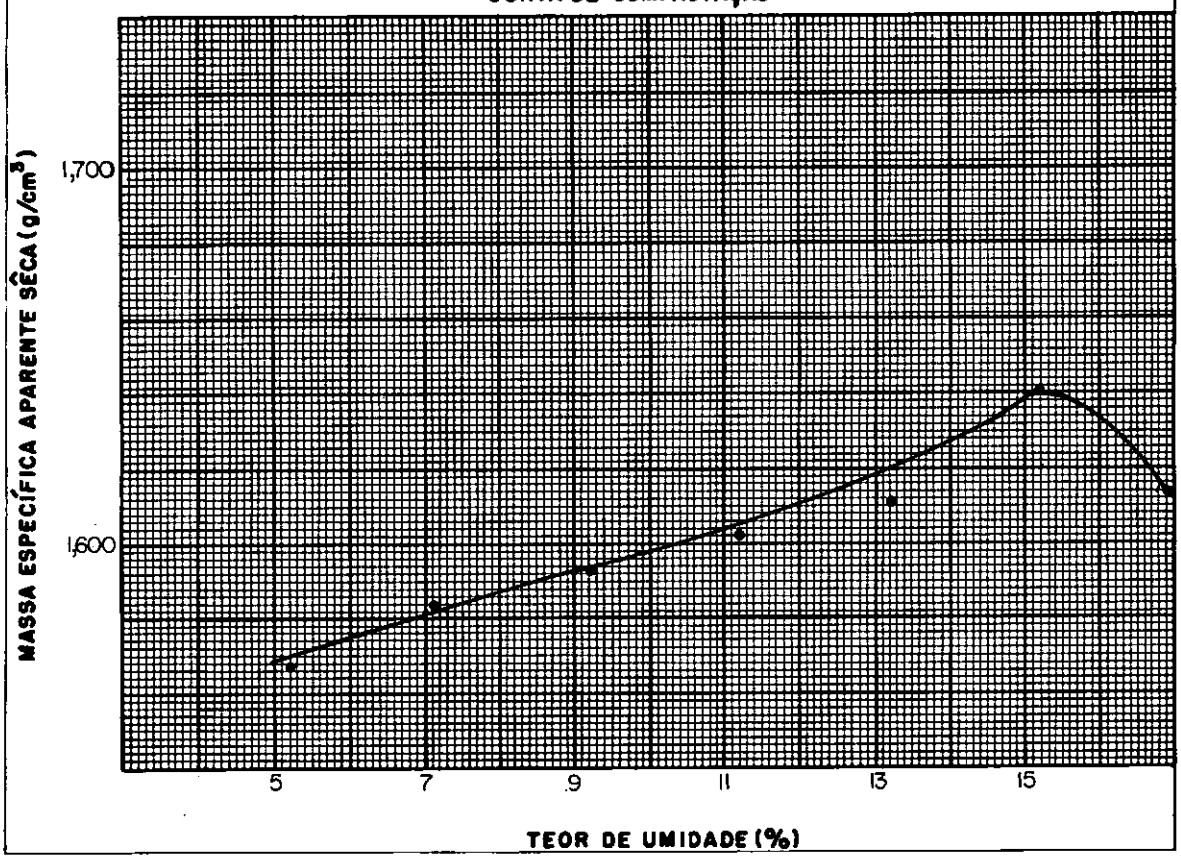


TABELA 51

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 47-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 8964 | 2558 | 1,628 | 20 | 91,2 | 88,2 | 27,3 | 3,0 | 60,9 | 4,9 | 1,551 |
| 9065 | 2659 | 1,693 | 20R | 79,4 | 76,2 | 31,8 | 3,2 | 44,4 | 7,2 | 1,580 |
| 9143 | 2737 | 1,742 | 30 | 92,3 | 87,2 | 30,6 | 5,1 | 56,6 | 9,0 | 1,597 |
| 9203 | 2797 | 1,781 | 10 | 97,0 | 91,2 | 38,7 | 5,8 | 52,5 | 11,0 | 1,605 |
| 9283 | 2877 | 1,832 | 22 | 85,7 | 79,6 | 32,2 | 6,1 | 47,4 | 12,9 | 1,623 |
| 9370 | 2964 | 1,887 | 6 | 89,3 | 81,4 | 29,5 | 7,9 | 51,9 | 15,2 | 1,638 |
| 9376 | 2970 | 1,891 | 23 | 91,2 | 83,3 | 37,2 | 7,9 | 46,1 | 17,1 | 1,615 |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

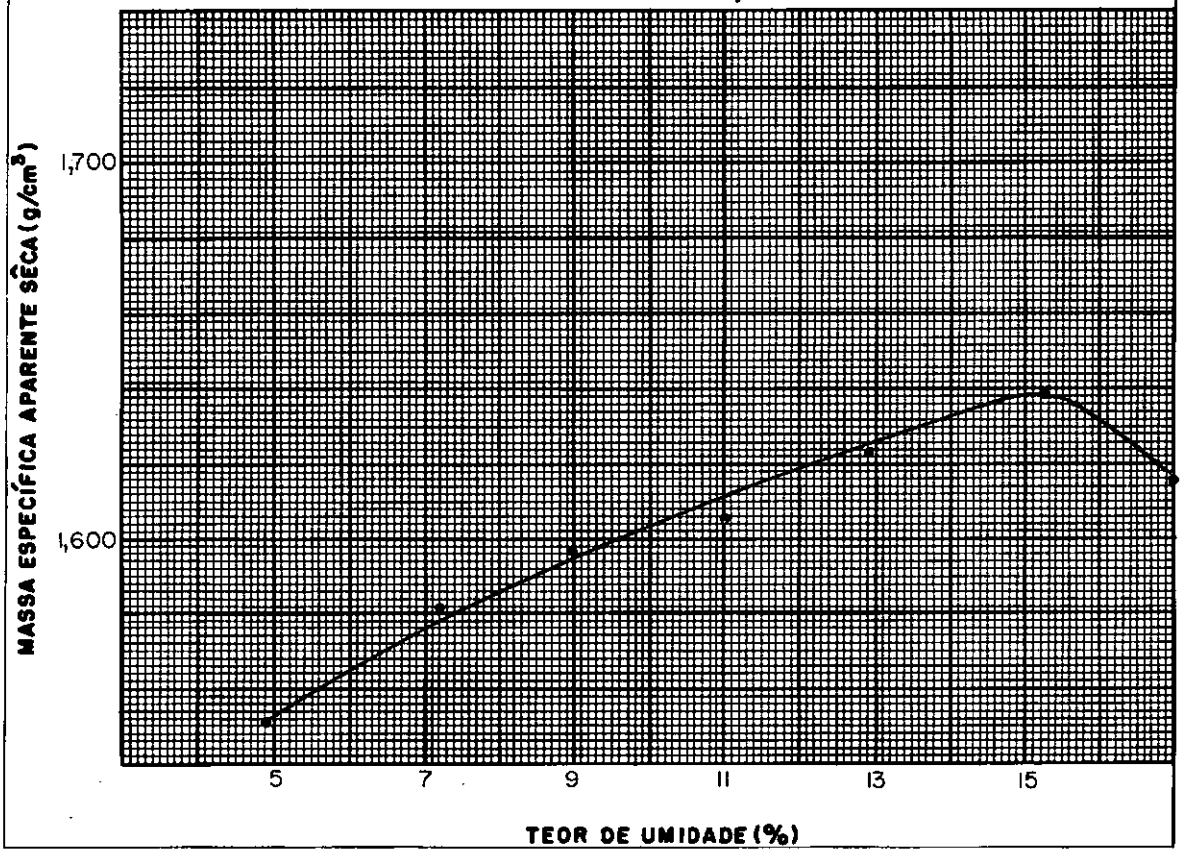


TABELA . 52 .

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA... III.

PERÍODO DE CURA... 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9181 | 2775 | 1,767 | 1R | 83,6 | 81,0 | 32,1 | 2,6 | 48,9 | 5,3 | 1,679 |
| 9264 | 2858 | 1,819 | 5R | 85,4 | 81,7 | 26,8 | 3,7 | 54,9 | 6,7 | 1,704 |
| 9340 | 2934 | 1,868 | 20R | 79,0 | 75,0 | 31,8 | 4,0 | 43,2 | 9,3 | 1,709 |
| 9415 | 3009 | 1,916 | 11 | 91,9 | 85,5 | 28,6 | 6,4 | 56,9 | 11,2 | 1,722 |
| 9470 | 3064 | 1,951 | 35 | 88,0 | 81,1 | 29,5 | 6,9 | 51,6 | 13,4 | 1,721 |
| 9423 | 3017 | 1,921 | C | 79,2 | 73,0 | 31,5 | 6,2 | 41,5 | 14,9 | 1,671 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

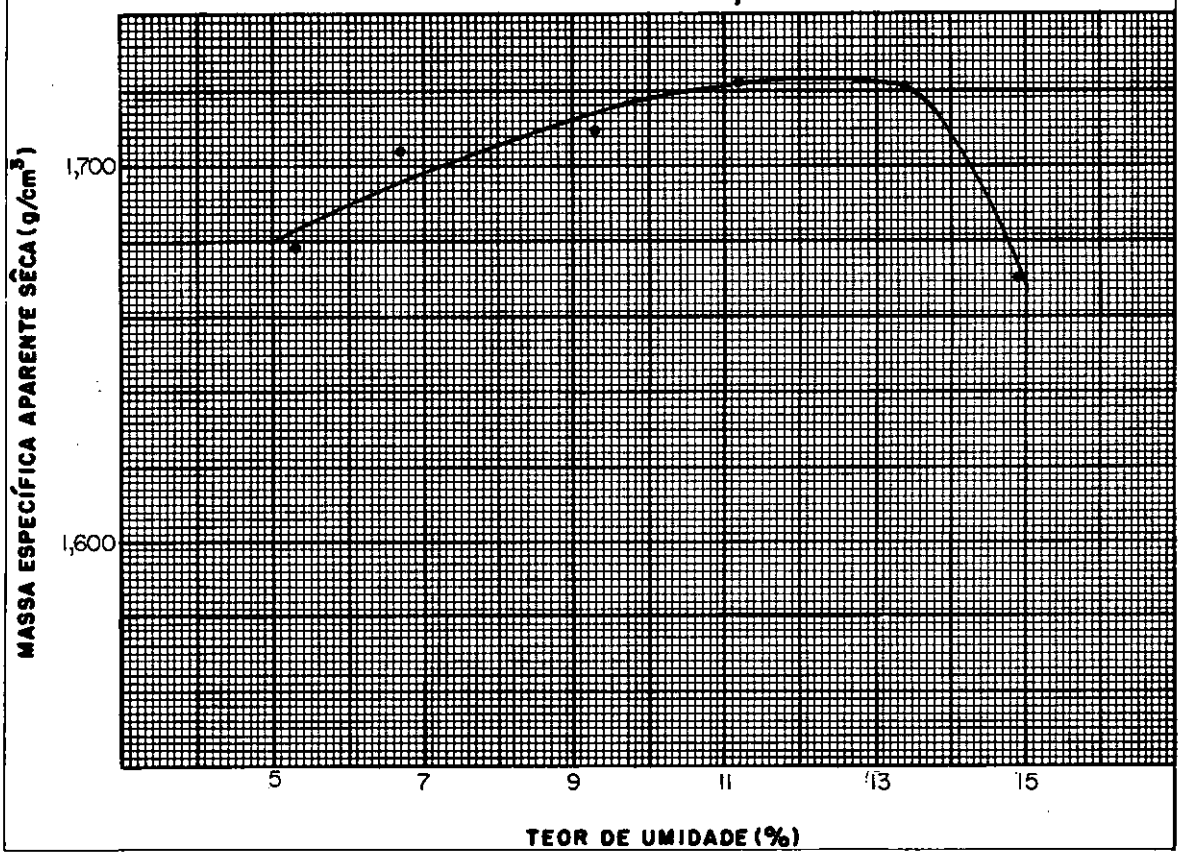


TABELA ...53...

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO ...DNER-DPT - M 48-64...

MISTURA ...III...

PERÍODO DE CURA ...07 dias...

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9172 | 2766 | 1,761 | 23 | 86,2 | 83,8 | 37,2 | 2,4 | 46,6 | 5,1 | 1,675 |
| 9265 | 2859 | 1,820 | 116 | 99,9 | 95,9 | 41,0 | 4,0 | 54,9 | 7,3 | 1,696 |
| 9340 | 2934 | 1,868 | E | 88,3 | 83,7 | 33,1 | 4,6 | 50,6 | 9,1 | 1,713 |
| 9412 | 3006 | 1,914 | F29 | 84,3 | 78,7 | 29,2 | 5,6 | 49,5 | 11,3 | 1,719 |
| 9465 | 3059 | 1,947 | 5R | 81,2 | 74,9 | 26,8 | 6,3 | 48,1 | 13,1 | 1,721 |
| 9415 | 3009 | 1,916 | 30 | 88,3 | 80,9 | 30,6 | 7,4 | 50,3 | 14,7 | 1,671 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

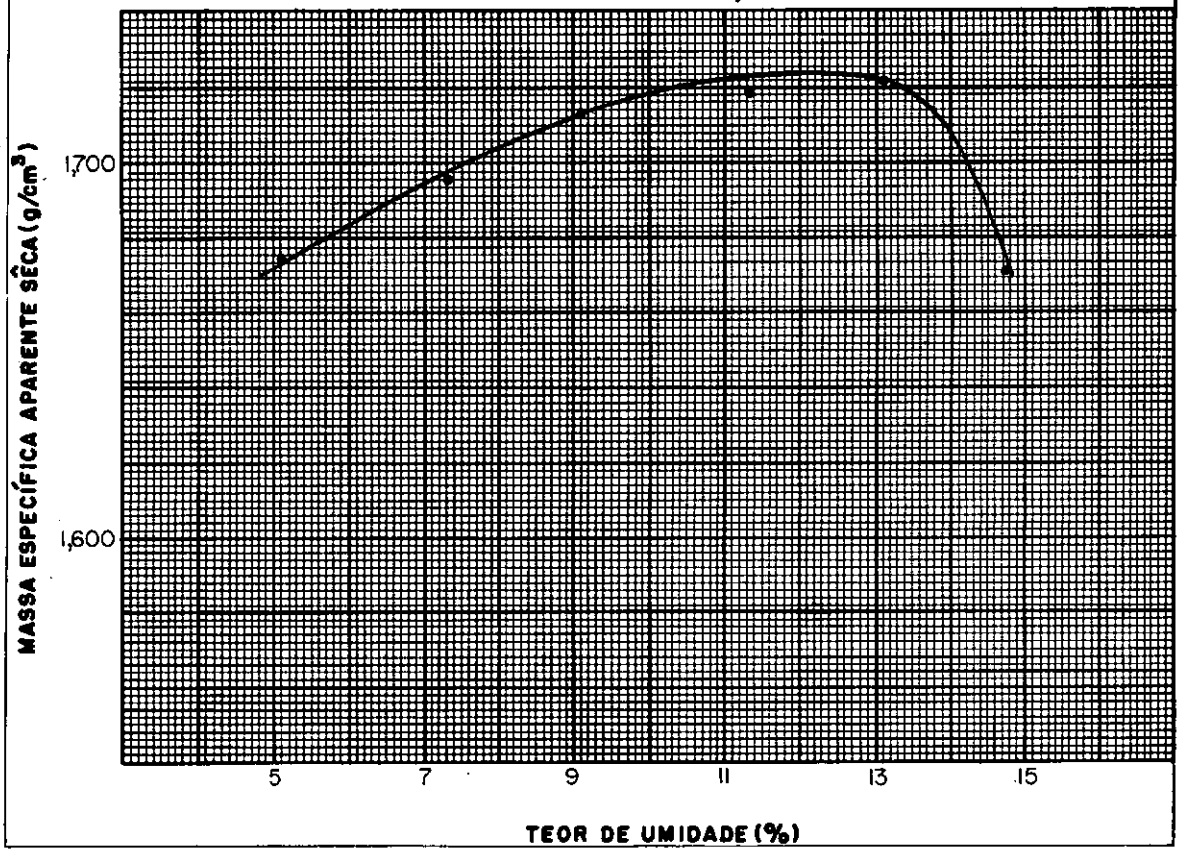


TABELA 54...

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA... III

PERÍODO DE CURA... 07 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9175 | 2769 | 1,763 | 35 | 78,7 | 76,2 | 29,5 | 2,5 | 46,7 | 5,3 | 1,675 |
| 9268 | 2862 | 1,822 | 37 | 90,8 | 86,7 | 28,6 | 4,1 | 58,1 | 7,1 | 1,702 |
| 9335 | 2929 | 1,865 | 23 | 87,6 | 83,3 | 37,2 | 4,3 | 46,1 | 9,3 | 1,706 |
| 9412 | 3006 | 1,914 | 25R | 78,0 | 73,2 | 30,2 | 4,8 | 43,0 | 11,2 | 1,721 |
| 9448 | 3042 | 1,937 | 47 | 101,4 | 93,9 | 36,8 | 7,5 | 57,1 | 13,1 | 1,712 |
| 9418 | 3012 | 1,917 | 1R | 87,8 | 80,5 | 32,1 | 7,3 | 48,4 | 15,1 | 1,666 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

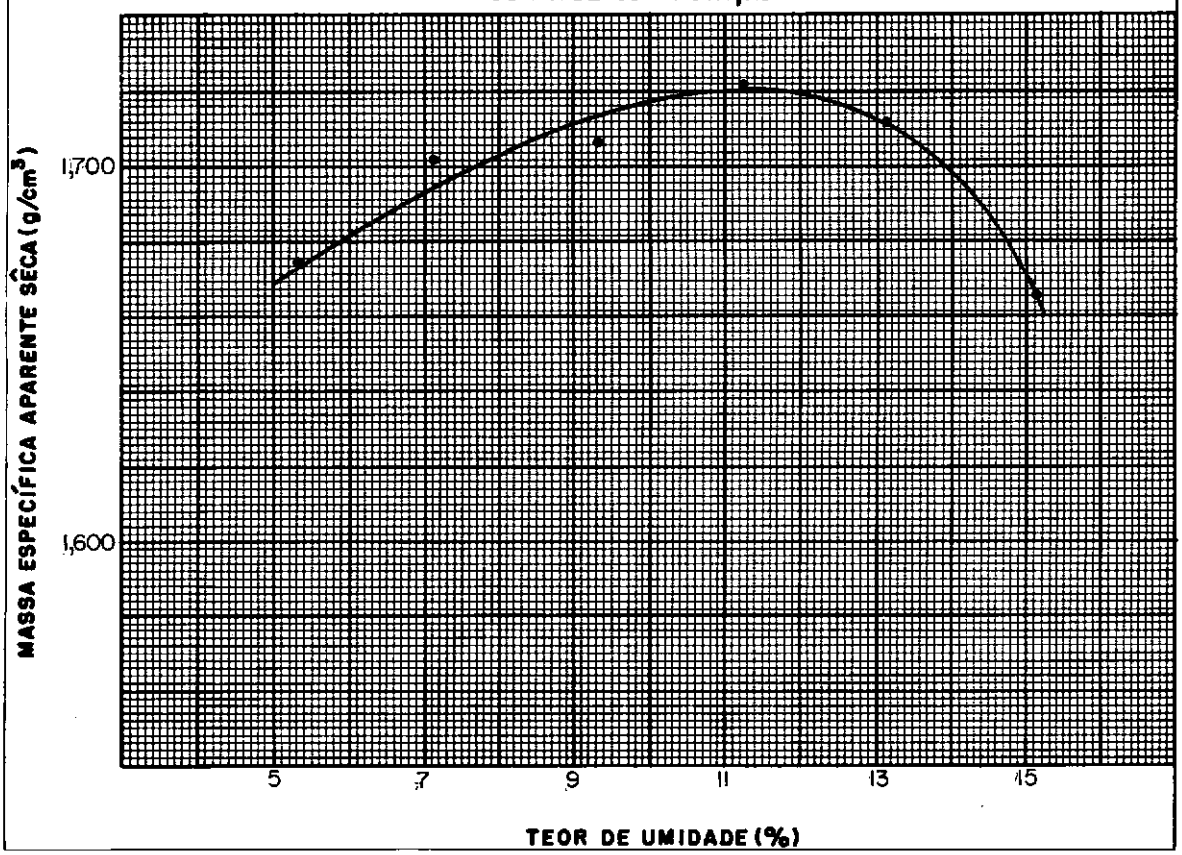


TABELA 55

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9188 | 2782 | 1,771 | 22 | 88,4 | 85,5 | 32,2 | 2,9 | 53,3 | 5,4 | 1,681 |
| 9257 | 2851 | 1,815 | 6 | 91,8 | 87,6 | 29,5 | 4,2 | 58,1 | 7,2 | 1,693 |
| 9326 | 2920 | 1,859 | 36 | 78,4 | 74,6 | 30,8 | 3,8 | 43,8 | 8,7 | 1,710 |
| 9412 | 3006 | 1,914 | 41 | 93,2 | 87,7 | 36,9 | 5,5 | 50,8 | 10,8 | 1,726 |
| 9468 | 3062 | 1,949 | 20 | 89,6 | 82,3 | 27,3 | 7,3 | 55,0 | 13,3 | 1,721 |
| 9421 | 3015 | 1,919 | 48 | 77,5 | 70,9 | 27,3 | 6,6 | 43,6 | 15,1 | 1,668 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

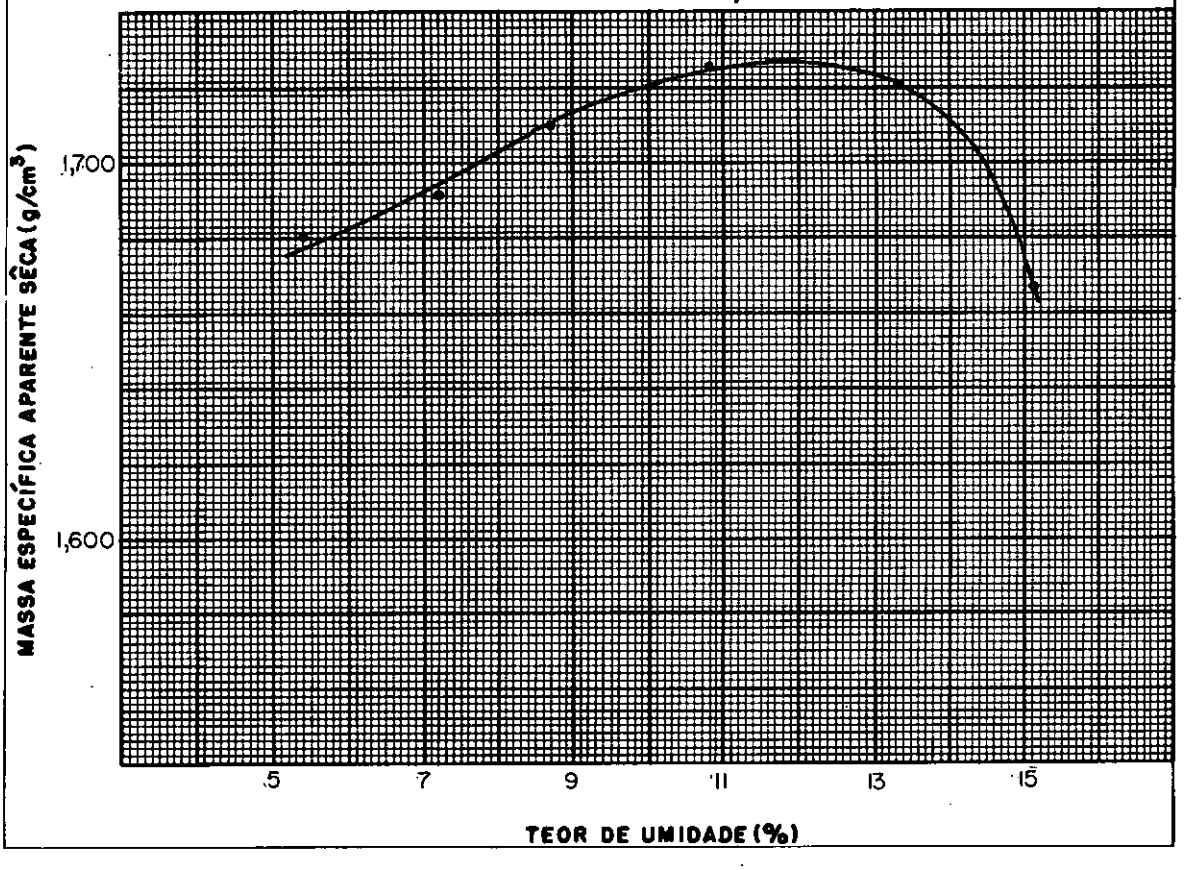


TABELA 56

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9180 | 2774 | 1,766 | C | 88,2 | 85,3 | 31,5 | 2,9 | 53,8 | 5,4 | 1,676 |
| 9268 | 2862 | 1,822 | 51 | 85,4 | 82,2 | 35,2 | 3,2 | 47,0 | 6,8 | 1,705 |
| 9329 | 2923 | 1,861 | 6 | 86,3 | 81,7 | 29,5 | 4,6 | 52,2 | 8,8 | 1,710 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | 30 | 88,4 | 82,6 | 30,6 | 5,8 | 52,0 | 11,1 | 1,723 |
| 9467 | 3061 | 1,949 | 6 | 81,4 | 75,4 | 29,5 | 6,0 | 45,9 | 13,1 | 1,723 |
| 9422 | 3016 | 1,920 | 41 | 100,3 | 91,9 | 36,9 | 8,4 | 55,0 | 15,3 | 1,665 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

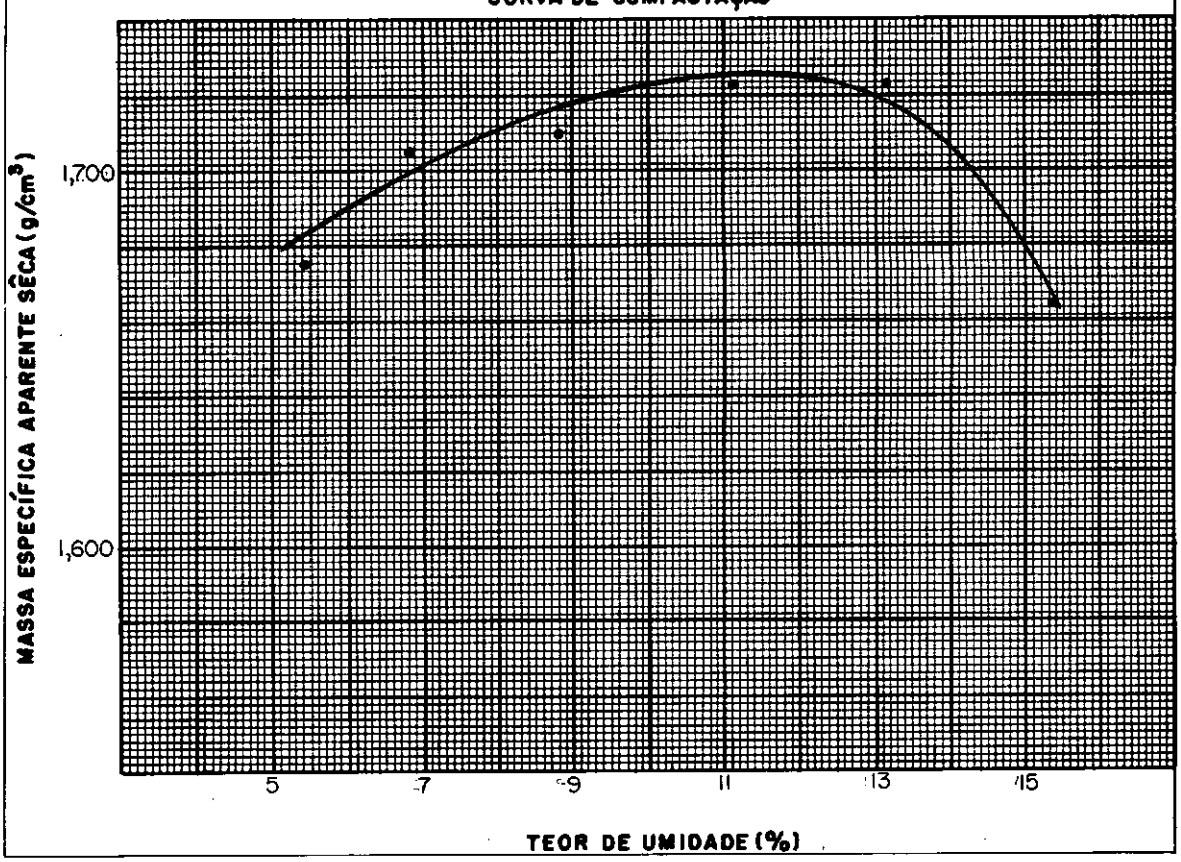


TABELA 57.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 14 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica aptc. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica aptc. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9170 | 2764 | 1,760 | 30 | 87,4 | 84,7 | 30,6 | 2,7 | 54,1 | 5,0 | 1,675 |
| 9263 | 2857 | 1,819 | 48 | 86,7 | 82,9 | 27,3 | 3,8 | 55,6 | 6,8 | 1,703 |
| 9335 | 2929 | 1,865 | C | 93,3 | 88,2 | 31,5 | 5,1 | 56,7 | 9,0 | 1,710 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | 1R | 90,2 | 84,3 | 32,1 | 5,9 | 52,2 | 11,3 | 1,720 |
| 9472 | 3066 | 1,952 | 44 | 92,6 | 86,6 | 40,4 | 6,0 | 46,2 | 13,0 | 1,727 |
| 9424 | 3018 | 1,921 | 44 | 101,3 | 93,3 | 40,4 | 8,0 | 52,9 | 15,1 | 1,669 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

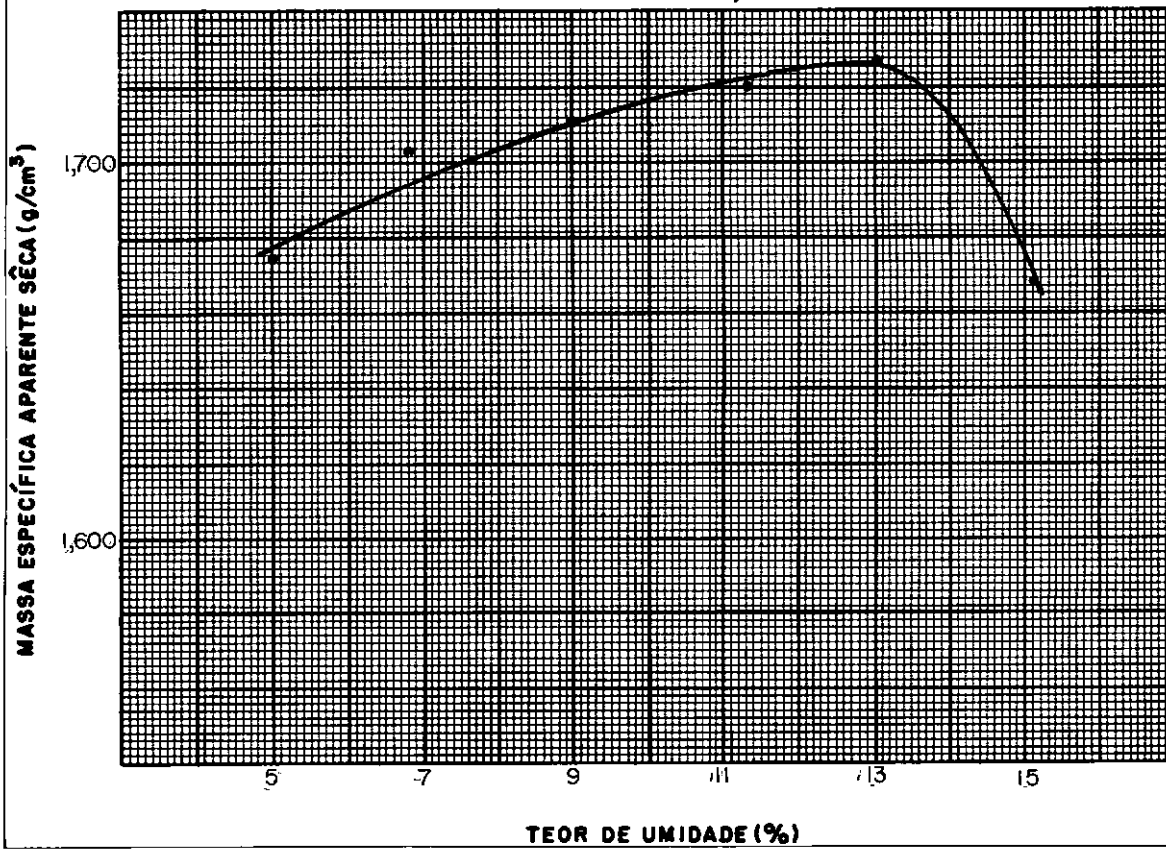


TABELA 58

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9163 | 2757 | 1,755 | 16 | 84,5 | 82,0 | 29,5 | 2,5 | 52,5 | 4,8 | 1,674 |
| 9270 | 2864 | 1,823 | 20 | 88,5 | 84,5 | 27,3 | 4,0 | 57,2 | 7,0 | 1,704 |
| 9322 | 2916 | 1,856 | 51 | 98,8 | 93,5 | 35,2 | 5,3 | 58,3 | 9,1 | 1,702 |
| 9414 | 3008 | 1,915 | 16 | 87,6 | 81,8 | 29,5 | 5,8 | 52,3 | 11,1 | 1,723 |
| 9464 | 3058 | 1,947 | 116 | 93,2 | 87,1 | 41,0 | 6,1 | 46,1 | 13,2 | 1,719 |
| 9430 | 3024 | 1,925 | 23 | 89,7 | 82,7 | 37,2 | 7,0 | 45,5 | 15,4 | 1,669 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

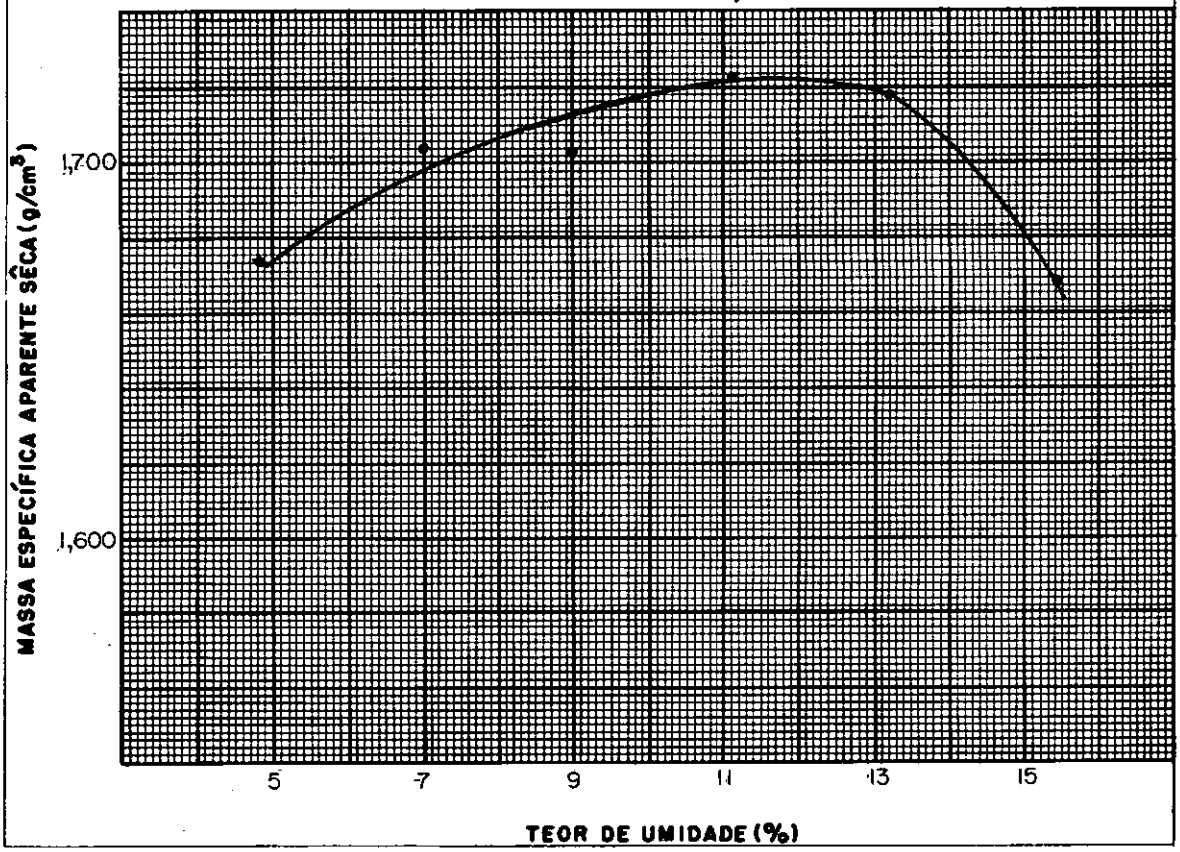


TABELA 59

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9167 | 2761 | 1,758 | 44 | 104,3 | 101,3 | 40,4 | 3,0 | 60,9 | 4,9 | 1,675 |
| 9268 | 2862 | 1,822 | 10 | 99,2 | 95,1 | 38,7 | 4,1 | 56,4 | 7,3 | 1,698 |
| 9315 | 2909 | 1,852 | 10 | 95,1 | 90,6 | 38,7 | 4,5 | 51,9 | 8,7 | 1,704 |
| 9420 | 3014 | 1,919 | 48 | 77,4 | 72,4 | 27,3 | 5,0 | 45,1 | 11,1 | 1,727 |
| 9467 | 3061 | 1,949 | 51 | 94,5 | 87,7 | 35,2 | 6,8 | 52,5 | 12,9 | 1,727 |
| 9421 | 3015 | 1,919 | 47 | 101,2 | 93,0 | 36,8 | 8,2 | 56,2 | 14,6 | 1,675 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO

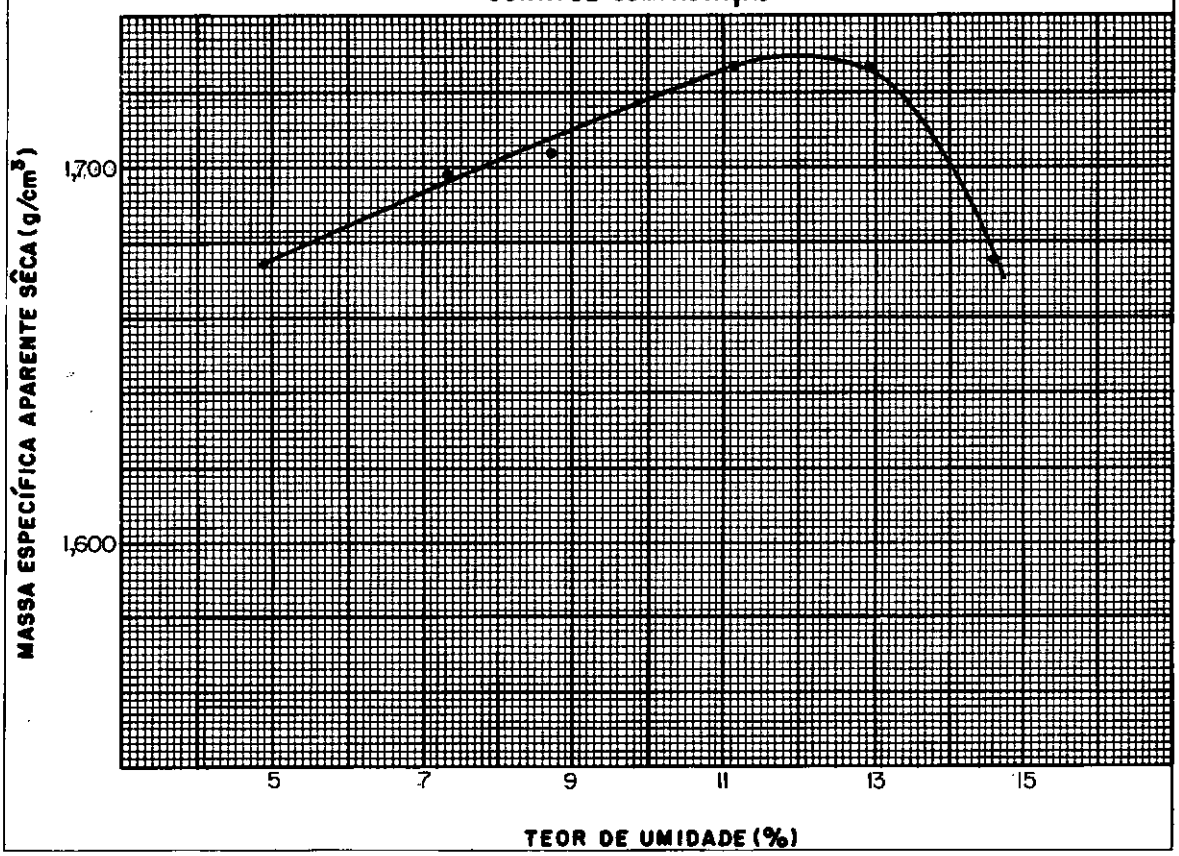


TABELA 60

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM

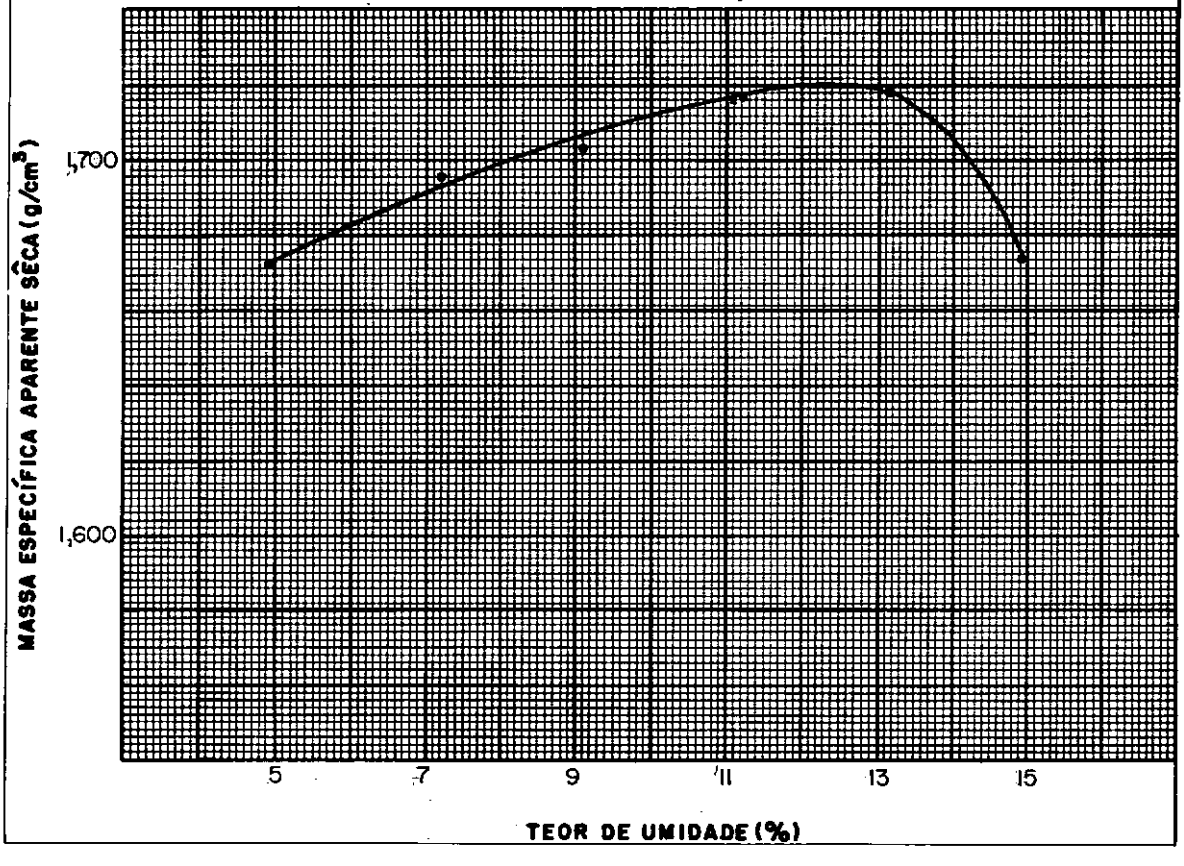
MÉTODO DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

PERÍODO DE CURA 28 dias

| Amostra compactada e molde (g) | Amostra compactada (g) | Massa específica apte. mater. úmido (g/cm³) | Determinação da umidade | | | | | | | Massa específica apte. do material seco (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cápsula nº | Cápsula e mater. úmido (g) | Cápsula e mater. seco (g) | Cápsula (g) | Água (g) | Mater. seco (g) | Teor de umidade (%) | |
| 9165 | 2759 | 1,756 | 36 | 86,0 | 83,4 | 30,8 | 2,6 | 52,6 | 4,9 | 1,673 |
| 9262 | 2856 | 1,818 | E | 91,1 | 87,2 | 33,1 | 3,9 | 54,1 | 7,2 | 1,696 |
| 9325 | 2919 | 1,858 | 22 | 96,0 | 90,7 | 32,2 | 5,3 | 58,5 | 9,1 | 1,704 |
| 9407 | 3001 | 1,910 | 37 | 86,3 | 80,5 | 28,6 | 5,8 | 51,9 | 11,2 | 1,717 |
| 9459 | 3053 | 1,944 | 36 | 87,8 | 81,2 | 30,8 | 6,6 | 50,4 | 13,1 | 1,718 |
| 9428 | 3022 | 1,924 | F29 | 84,7 | 77,5 | 29,2 | 7,2 | 48,3 | 14,9 | 1,674 |
| | | | | | | | | | | |

CURVA DE COMPACTAÇÃO



Tabelas de 61 à 66 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, relativos às misturas I, II e III, obtidos através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias à temperatura de 21 $\pm$ 3°C.

TABELA 61

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM: DNER-DPT - M 47-64

MISTURA I.

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_s$) (g/cm³) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9 C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,734 | 4,9 | 1 | 1,09 | 1,01 | 4 | 4,88 | 4,72 | 7 | 8,34 | 8,59 |
| | | 2 | 0,92 | | 5 | 4,63 | | 8 | 8,76 | |
| | | 3 | 1,02 | | 6 | 4,66 | | 9 | 8,66 | |
| 1,759 | 6,9 | 10 | 1,51 | 1,54 | 13 | 6,37 | 6,34 | 16 | 14,23 | 14,29 |
| | | 11 | 1,47 | | 14 | 6,49 | | 17 | - | |
| | | 12 | 1,65 | | 15 | 6,17 | | 18 | 14,36 | |
| 1,778 | 8,8 | 19 | 1,43 | 1,36 | 22 | 6,17 | 5,88 | 25 | 15,00 | 15,03 |
| | | 20 | 1,35 | | 23 | 5,56 | | 26 | 14,86 | |
| | | 21 | 1,29 | | 24 | 5,92 | | 27 | 15,24 | |
| 1,802 | 10,6 | 28 | 0,95 | 1,00 | 31 | 4,54 | 4,54 | 34 | 12,22 | 12,58 |
| | | 29 | 0,97 | | 32 | 4,97 | | 35 | 11,90 | |
| | | 30 | 1,09 | | 33 | 4,12 | | 36 | 13,62 | |
| 1,804 | 12,4 | 37 | 0,87 | 0,94 | 40 | 2,91 | 2,86 | 43 | 7,77 | 8,08 |
| | | 38 | 0,93 | | 41 | 2,80 | | 44 | 8,08 | |
| | | 39 | 1,02 | | 42 | 2,88 | | 45 | 8,40 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

TABELA 62.

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DNER-DPT - M 48-64

MISTURA I.

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_s$) (g/cm3) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9. C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,806 | 4,8 | 46 | 2,67 | 2,72 | 49 | 7,96 | 8,02 | 52 | 14,90 | 15,00 |
| | | 47 | 2,61 | | 50 | 7,89 | | 53 | 15,02 | |
| | | 48 | 2,89 | | 51 | 8,21 | | 54 | 15,09 | |
| 1,829 | 6,8 | 55 | 2,86 | 2,85 | 58 | 8,59 | 8,77 | 61 | 22,92 | 23,30 |
| | | 56 | 2,75 | | 59 | 8,82 | | 62 | 23,24 | |
| | | 57 | 2,95 | | 60 | 8,91 | | 63 | 23,75 | |
| 1,851 | 9,0 | 64 | 2,35 | 2,26 | 67 | 7,70 | 7,64 | 70 | 19,35 | 19,40 |
| | | 65 | 2,15 | | 68 | 7,71 | | 71 | 19,23 | |
| | | 66 | 2,27 | | 69 | 7,51 | | 72 | 19,61 | |
| 1,853 | 10,9 | 73 | 1,81 | 1,65 | 76 | 4,71 | 4,43 | 79 | 11,97 | 11,63 |
| | | 74 | 1,63 | | 77 | 4,29 | | 80 | 11,46 | |
| | | 75 | 1,50 | | 78 | 4,28 | | 81 | 11,46 | |
| 1,837 | 12,4 | 82 | 1,18 | 1,11 | 85 | 2,29 | 2,21 | 88 | 9,29 | 9,08 |
| | | 83 | 1,02 | | 86 | 2,16 | | 89 | 8,78 | |
| | | 84 | 1,13 | | 87 | 2,19 | | 90 | 9,17 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

TABELA 63

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DNER-DPT - M 47-64

MISTURA II

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_0$) (g/cm³) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9 C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,666 | 5,0 | 91 | 3,73 | 3,74 | 94 | 8,24 | 7,63 | 97 | 9,42 | 9,40 |
| | | 92 | 3,76 | | 95 | 7,38 | | 98 | 9,35 | |
| | | 93 | - | | 96 | 7,26 | | 99 | 9,43 | |
| 1,687 | 6,9 | 100 | 5,47 | 5,48 | 103 | 12,18 | 11,75 | 106 | 18,73 | 18,59 |
| | | 101 | 5,67 | | 104 | 12,25 | | 107 | 19,42 | |
| | | 102 | 5,30 | | 105 | 10,82 | | 108 | 17,63 | |
| 1,708 | 8,8 | 109 | 5,40 | 5,68 | 112 | 13,81 | 14,12 | 115 | 26,14 | 26,06 |
| | | 110 | 5,67 | | 113 | 14,23 | | 116 | 26,97 | |
| | | 111 | 5,98 | | 114 | 14,32 | | 117 | 25,08 | |
| 1,722 | 11,0 | 118 | 5,28 | 5,09 | 121 | 14,45 | 14,66 | 124 | 29,16 | 28,64 |
| | | 119 | 5,25 | | 122 | 14,64 | | 125 | 27,37 | |
| | | 120 | 4,75 | | 123 | 14,90 | | 126 | 29,39 | |
| 1,732 | 13,1 | 127 | 4,21 | 4,12 | 130 | 13,30 | 13,04 | 133 | 27,31 | 26,80 |
| | | 128 | 3,97 | | 131 | 12,83 | | 134 | 27,25 | |
| | | 129 | 4,18 | | 132 | 12,99 | | 135 | 25,85 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

TABELA 64

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DNER-DPT - M 48-64

MISTURA II

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_0$) (g/cm3) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9 C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,774 | 5,0 | 136 | 9,52 | 9,55 | 139 | 18,02 | 17,55 | 142 | 26,74 | 25,85 |
| | | 137 | 9,61 | | 140 | 16,62 | | 143 | 26,61 | |
| | | 138 | 9,51 | | 141 | 18,02 | | 144 | 24,19 | |
| 1,791 | 7,0 | 145 | 13,56 | 12,91 | 148 | 24,57 | 24,04 | 151 | 39,34 | 38,96 |
| | | 146 | 12,83 | | 149 | 23,68 | | 152 | 37,31 | |
| | | 147 | 12,35 | | 150 | 23,87 | | 153 | 40,23 | |
| 1,815 | 9,0 | 154 | 13,75 | 13,28 | 157 | 27,50 | 28,51 | 160 | 48,00 | 48,64 |
| | | 155 | 13,24 | | 158 | 29,13 | | 161 | 49,02 | |
| | | 156 | 12,86 | | 159 | 28,90 | | 162 | 48,89 | |
| 1,815 | 11,0 | 163 | 9,68 | 9,76 | 166 | 23,30 | 22,41 | 169 | 46,09 | 46,34 |
| | | 164 | 10,12 | | 167 | 21,33 | | 170 | 46,85 | |
| | | 165 | 9,49 | | 168 | 22,60 | | 171 | 46,09 | |
| 1,776 | 13,0 | 172 | 5,41 | 5,49 | 175 | 10,82 | 10,74 | 178 | 27,37 | 28,43 |
| | | 173 | 5,47 | | 176 | 11,20 | | 179 | 30,56 | |
| | | 174 | 5,60 | | 177 | 10,19 | | 180 | 27,37 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

TABELA 65

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DNER – DPT – M 47-64

MISTURA III

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_s$) (g/cm3) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9 C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERGÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,562 | 5,2 | 181 | 3,56 | 3,72 | 184 | 7,18 | 7,23 | 187 | 10,19 | 10,06 |
| | | 182 | 3,67 | | 185 | 7,13 | | 188 | 9,93 | |
| | | 183 | 3,92 | | 186 | 7,38 | | 189 | – | |
| 1,580 | 7,0 | 190 | 7,26 | 6,76 | 193 | 12,32 | 11,79 | 196 | 20,88 | 19,78 |
| | | 191 | 6,37 | | 194 | 11,33 | | 197 | 19,23 | |
| | | 192 | 6,66 | | 195 | 11,71 | | 198 | 19,23 | |
| 1,598 | 9,0 | 199 | 7,54 | 7,39 | 202 | 13,37 | 13,37 | 205 | 25,59 | 25,74 |
| | | 200 | 7,38 | | 203 | 13,88 | | 206 | 25,66 | |
| | | 201 | 7,26 | | 204 | 12,86 | | 207 | 25,97 | |
| 1,605 | 11,1 | 208 | 7,13 | 7,26 | 211 | 15,66 | 15,53 | 214 | 29,92 | 29,75 |
| | | 209 | 7,00 | | 212 | 15,53 | | 215 | 30,30 | |
| | | 210 | 7,64 | | 213 | 15,41 | | 216 | 29,03 | |
| 1,618 | 13,0 | 217 | 6,62 | 6,30 | 220 | 17,32 | 16,89 | 223 | 32,21 | 33,06 |
| | | 218 | 6,24 | | 221 | 16,93 | | 224 | 33,87 | |
| | | 219 | 6,05 | | 222 | 16,42 | | 225 | 33,10 | |
| 1,641 | 15,1 | 226 | 5,86 | 5,88 | 229 | 15,28 | 15,24 | 232 | 37,43 | 37,18 |
| | | 227 | 5,98 | | 230 | 14,13 | | 233 | 37,18 | |
| | | 228 | 5,81 | | 231 | 16,30 | | 234 | 36,92 | |
| 1,615 | 16,9 | 235 | 4,33 | 4,71 | 238 | 12,99 | 12,48 | 241 | – | 34,95 |
| | | 236 | 4,90 | | 239 | 11,46 | | 242 | 34,50 | |
| | | 237 | 4,90 | | 240 | 12,99 | | 243 | 35,40 | |

TABELA 66

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

COMPACTAÇÃO E MOLDAGEM DNER-DPT - M 48-64

MISTURA III

| MASSA ESP. APT. SÊCA MÉDIA DOS 9 C.P. ($\gamma_0$) (g/cm3) | UMIDADE DE MOLDAGEM MÉDIA DOS 9 C.P. (h) (%) | CURA EM CÂMARA ÚMIDA (DIAS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 | | | 14 | | | 28 | | |
| | | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²) | | | | | | | | |
| | | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO | C.P. Nº | VALORES OBTIDOS | VALOR MÉDIO |
| 1,676 | 5,1 | 244 | 6,75 | 6,68 | 247 | 14,92 | 15,03 | 250 | 22,03 | 22,50 |
| | | 245 | 6,68 | | 248 | 15,41 | | 251 | 22,03 | |
| | | 246 | 6,62 | | 249 | 14,77 | | 252 | 23,43 | |
| 1,700 | 7,0 | 253 | 13,27 | 12,86 | 256 | 22,54 | 22,45 | 259 | 32,02 | 32,15 |
| | | 254 | 12,25 | | 257 | 22,79 | | 260 | 32,09 | |
| | | 255 | 13,05 | | 258 | 22,03 | | 261 | 32,34 | |
| 1,708 | 9,0 | 262 | 13,50 | 13,41 | 265 | 25,08 | 25,46 | 268 | 42,02 | 41,81 |
| | | 263 | 13,50 | | 266 | 25,46 | | 269 | 42,02 | |
| | | 264 | 13,24 | | 267 | 25,85 | | 270 | 41,38 | |
| 1,722 | 11,1 | 271 | 12,73 | 12,86 | 274 | 29,16 | 29,05 | 277 | 46,35 | 50,50 |
| | | 272 | 13,50 | | 275 | 29,03 | | 278 | 53,47 | |
| | | 273 | 12,35 | | 276 | 28,97 | | 279 | 51,69 | |
| 1,721 | 13,1 | 280 | 11,37 | 10,86 | 283 | 24,83 | 25,46 | 286 | 54,88 | 54,64 |
| | | 281 | 10,63 | | 284 | 25,78 | | 287 | 54,49 | |
| | | 282 | 10,57 | | 285 | 25,78 | | 288 | 54,56 | |
| 1,670 | 15,0 | 289 | 6,81 | 6,56 | 292 | 16,23 | 16,05 | 295 | 38,71 | 38,54 |
| | | 290 | 6,37 | | 293 | 15,81 | | 296 | 38,45 | |
| | | 291 | 6,49 | | 294 | 16,11 | | 297 | 38,45 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Tabela 67 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, relativos à Mistura II (76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante), e obtidos através de ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com a energia Normal e curados a 7, e 14 dias, nas temperaturas de 7°C, 23°C, 40°C, e 60°C.

TABELA - 67

| Mistura | Temperatura de cura °C. | Resistência à compressão simples após imersão ( kg/cm$^2$ ) | |
|---|---|---|---|
| | | 7 dias | 14 dias |
| II | 7 | 0 | 1,23 |
| II | 23 | 5,68 | 14,23 |
| II | 40 | 25,80 | 38,66 |
| II | 60 | 30,73 | 36,52 |

Figura 1 - Curvas de compactação final para à Mistura I ( 84% de areia, 6% de cal e 10% de cinza volante ), decorrentes dos ensaios realizados com as energias Normal e Intermediária.
Curvas de saturação para os gráus de 80%, 90% e 100%.

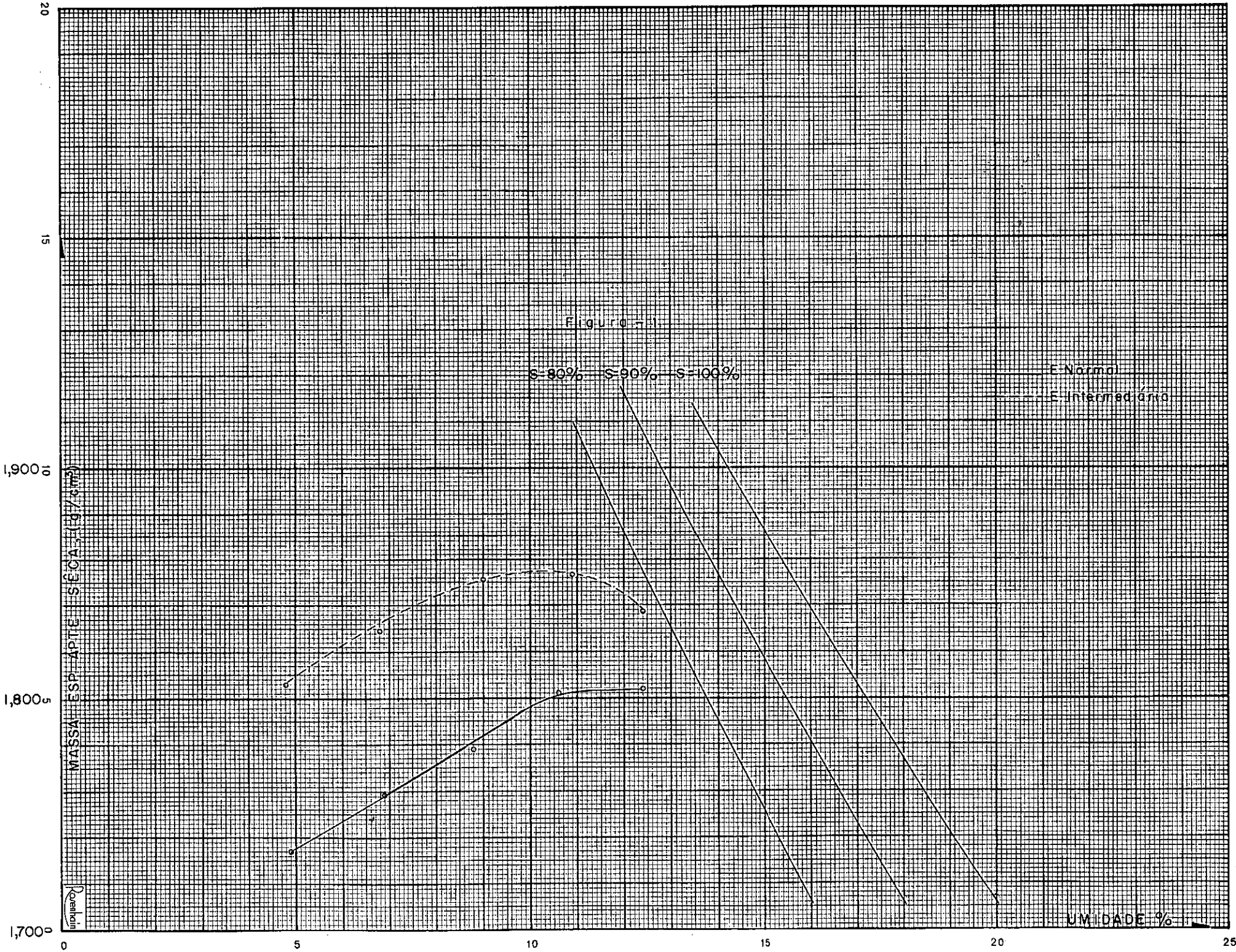


Figura 11
S=80%
S=90%
S=100%
E Normal
E Intermediario
MASSA ESP. APTE SECA (kg/cm³)
UMIDADE %
1,700
1,800
1,900
0
5
10
15
20
25
Rosenkoin

Figura 2 - Curvas de compactação final para à Mistura II ( 76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante ), decorrentes dos ensaios realizados com as energias Normal e Intermediária .
Curvas de saturação para os graus de 80%, 90% e 100%.

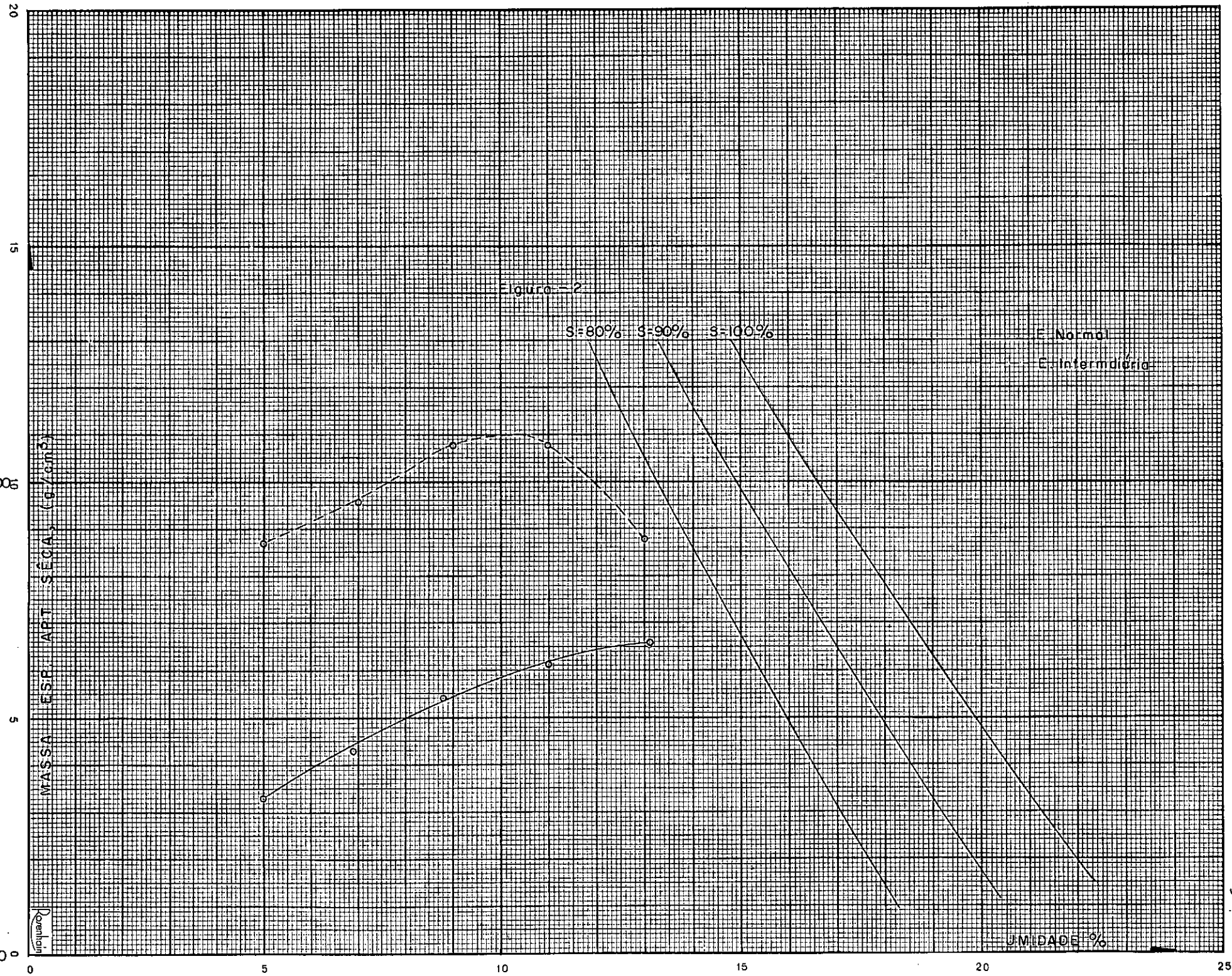


Figura — 2
S=80%
S=90%
S=100%
E. Normal
E. Intermediária
MASSA ESP. APT. SECA (g/cm3)
1,600
1,700
1,800
0
5
10
15
20
25
UMIDADE %
Rosenhain

Figura 3 - Curvas de compactação final para à Mistura III ( 69% de areia, 6% de cal e 25% de cinza - volante ), decorrentes dos ensaios realizados com as energias Normal e Intermediária. Curvas de saturação para os gráus de 80%, 90% e 100%.

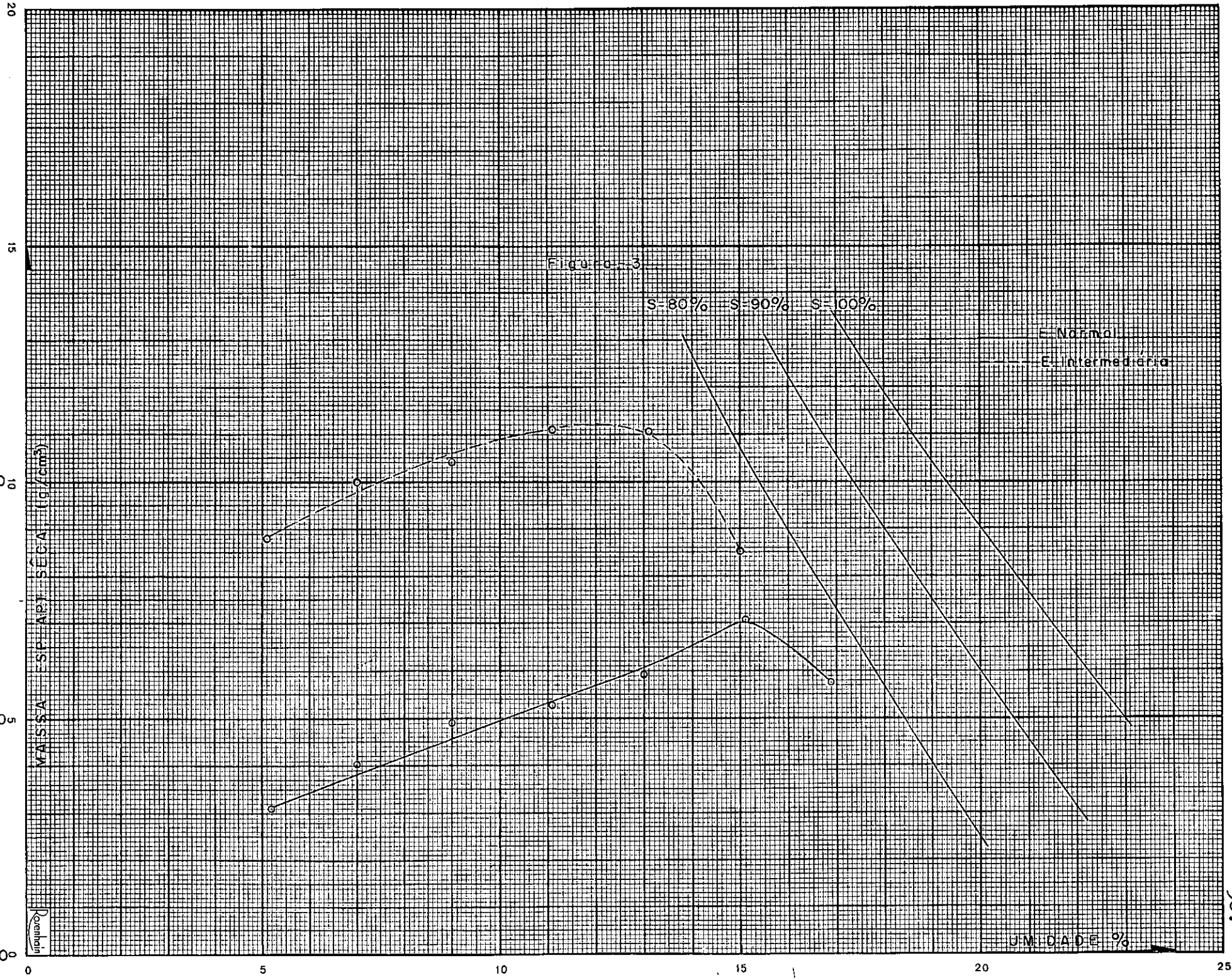


Figura - 3
S-80%
S-90%
S-100%
E. Normal
E. Intermediária
MASSA ESP. ART. SECA (kg/cm3)
1,500
1,600
1,700
UMIDADE %
0
5
10
15
20
25
Rosenhain

Figura 4 - Relação entre a resistência à compressão simples e o teor de umidade, relativa à Mistura I ( 84% de areia, 6% de cal e 10% de cinza volante ), e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

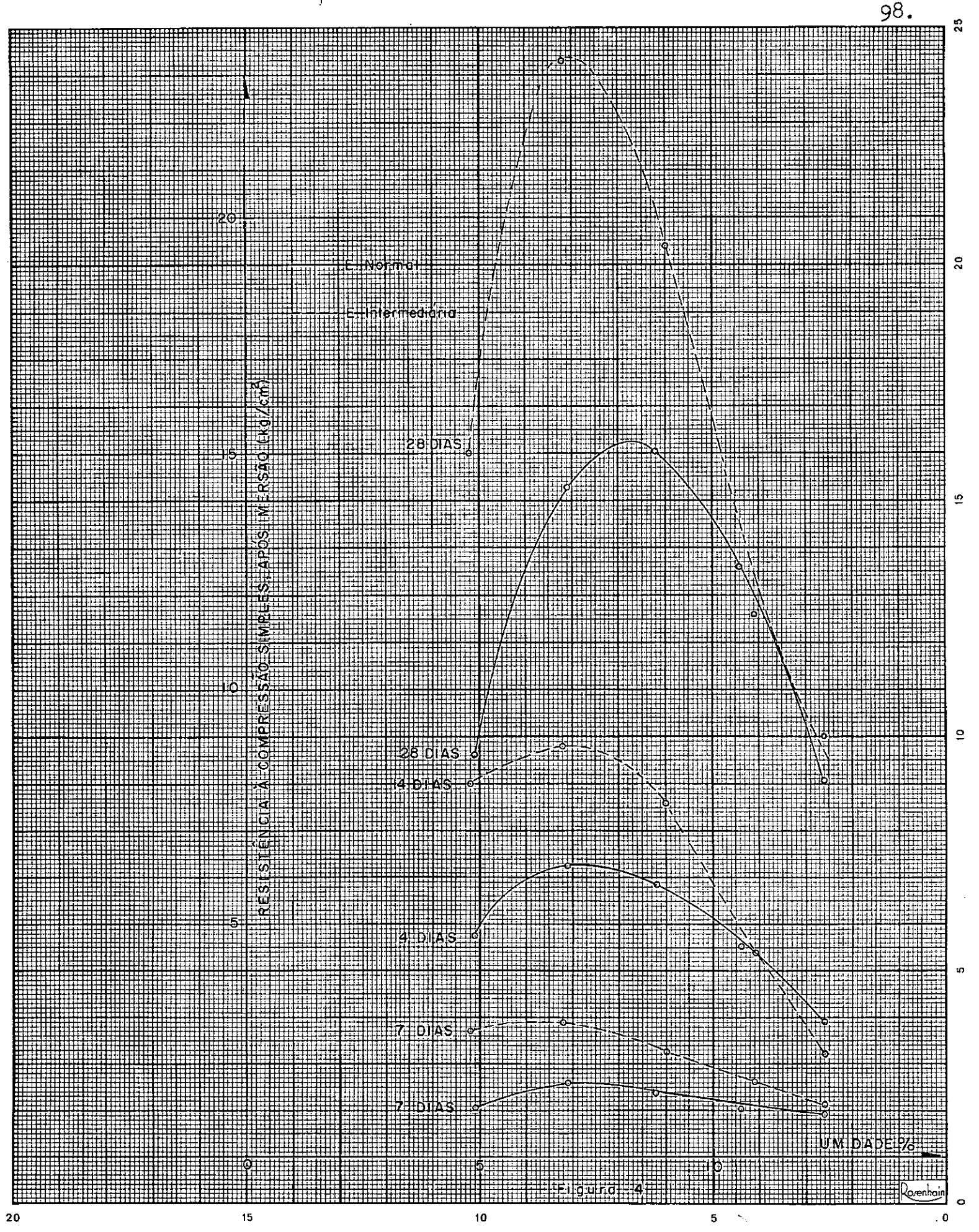

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²)
C. Normal
C. Intermediária
28 DIAS
28 DIAS
14 DIAS
4 DIAS
7 DIAS
7 DIAS
UMIDADE %
0
5
10
15
20
25
Rosenhain

Figura 4

Figura 5 - Relação entre a resistência à compressão simples e o teor de umidade, relativa à Mistura II ( 76,5 % de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante ), obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

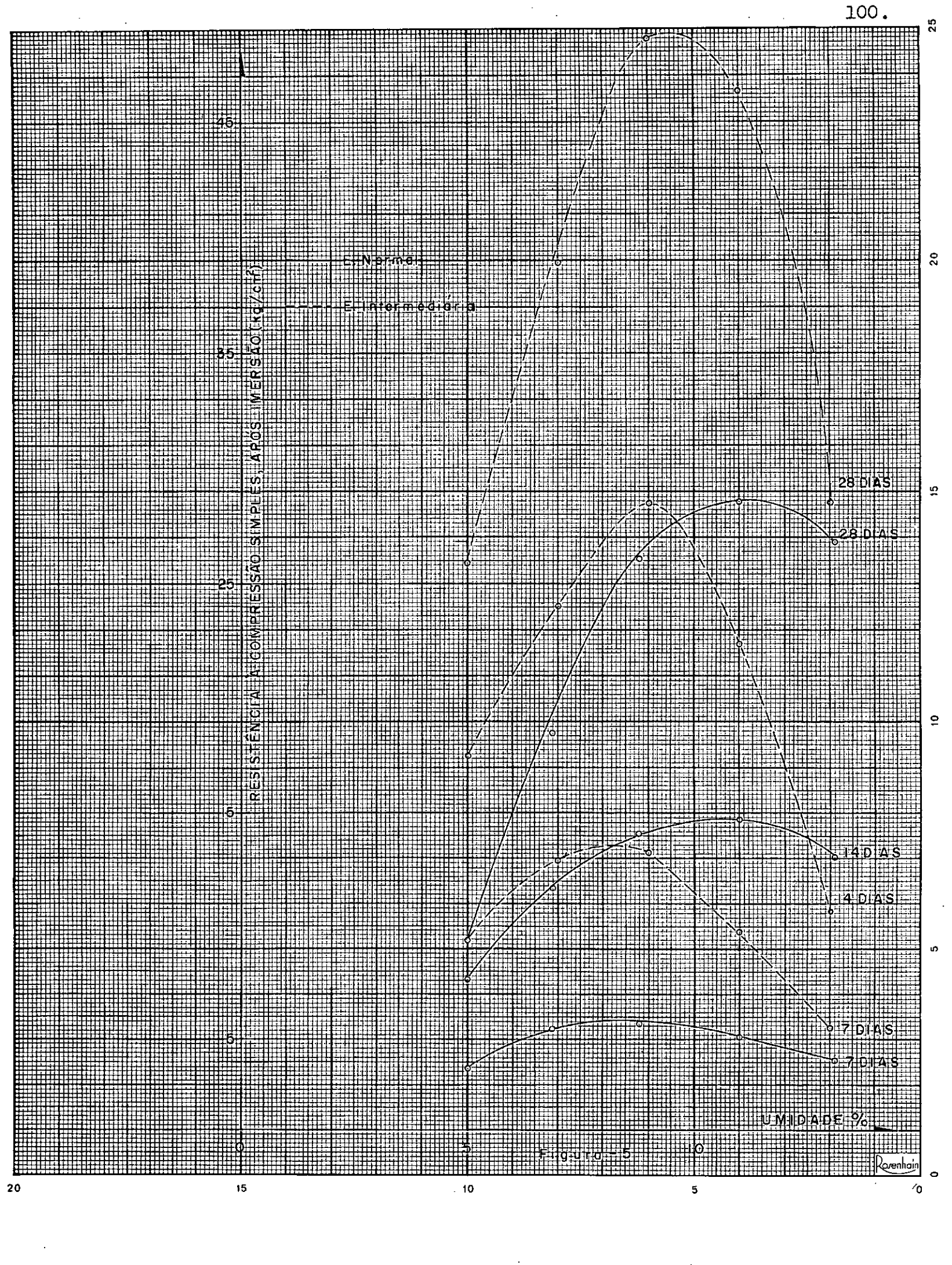

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²)
45
35
25
15
5
0
Normal
Intermediária
28 DIAS
28 DIAS
14 DIAS
14 DIAS
7 DIAS
7 DIAS
UMIDADE %
0
5
10
20
15
10
5
0
25
20
15
10
5
0
Rosenhain

Figura - 5

Figura 6 e 6A - Relação entre a resistência à compressão simples e o teor de umidade, relativa à Mistura III ( 69% de areia, 6% de cal e 25% de cinza volante )e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

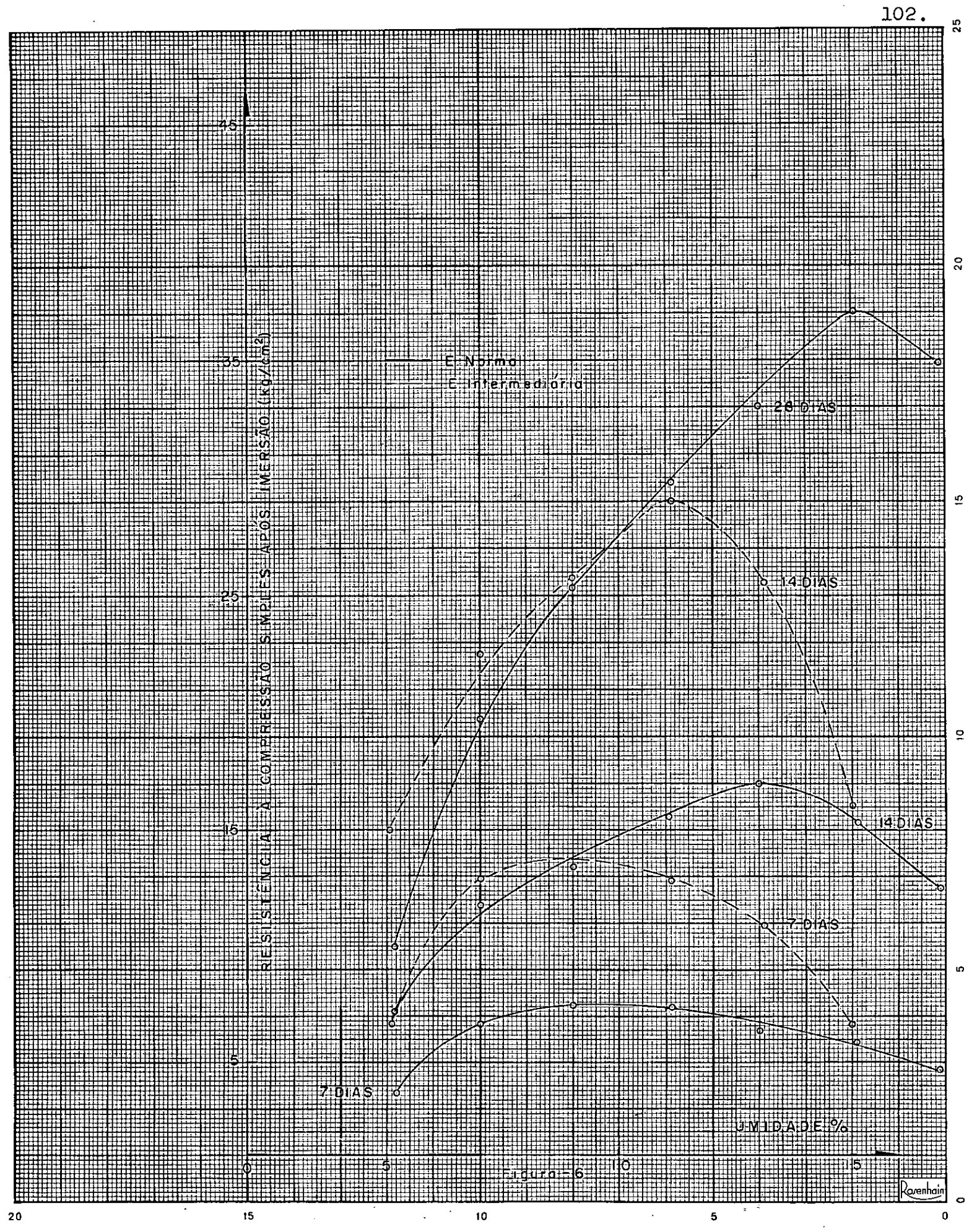

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²)
45
35
25
15
5
0
E. Normal
E. Intermediária
28 DIAS
14 DIAS
14 DIAS
7 DIAS
7 DIAS
UMIDADE %
0
5
10
15
20
25
20
15
10
5
0
Rosenhain

figura-6

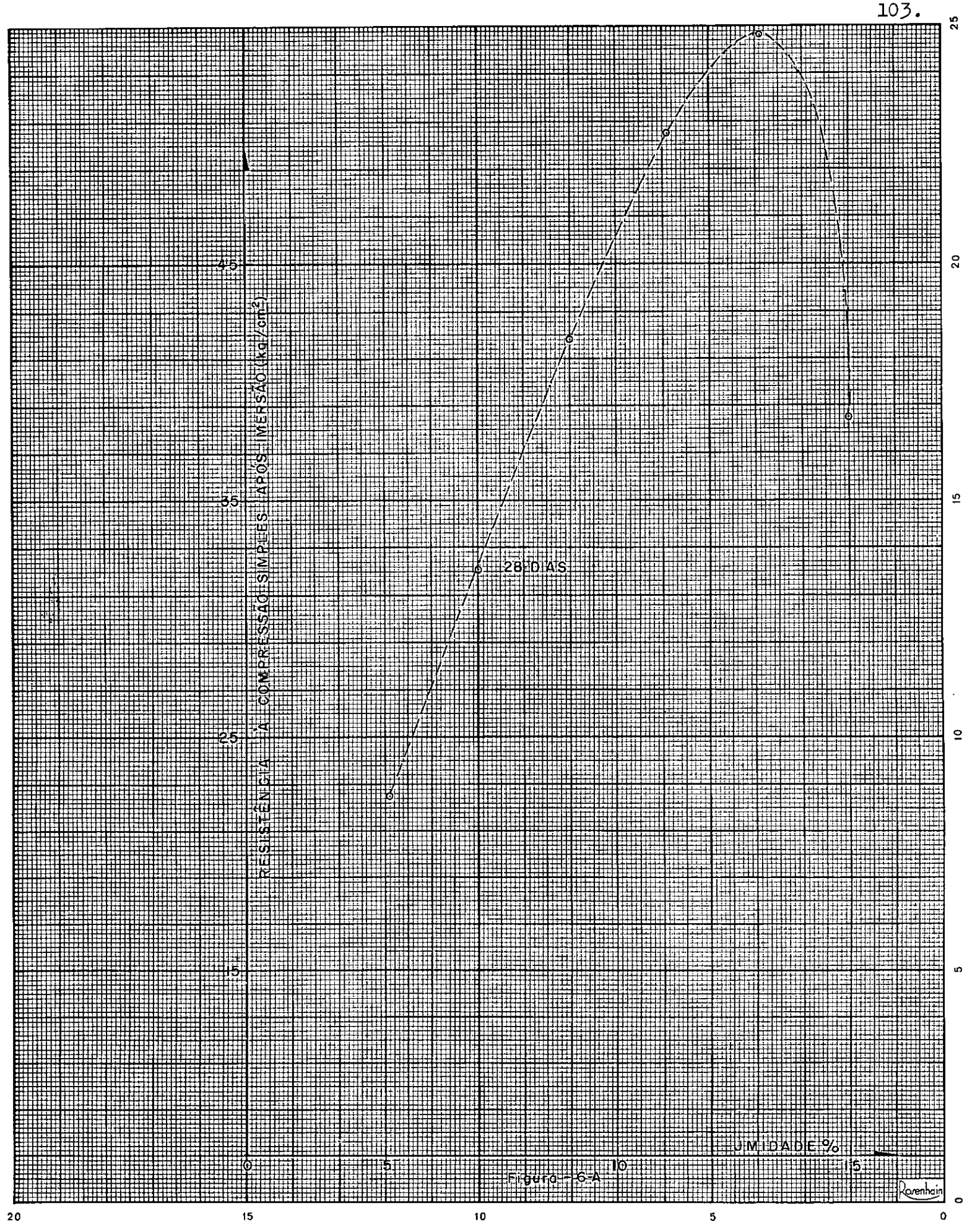

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm²)
45
35
25
15
28 DIAS
UMIDADE %
0
5
10
15
20
25
Rorenhain

Figura - 6-A

Figura 7 e 7A - Relação entre a resistência à compressão simples e o teor de cinza volante, relativa às misturas I, II e III, e obtida através da ruptura de corpos de prova(após imersão em água), moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

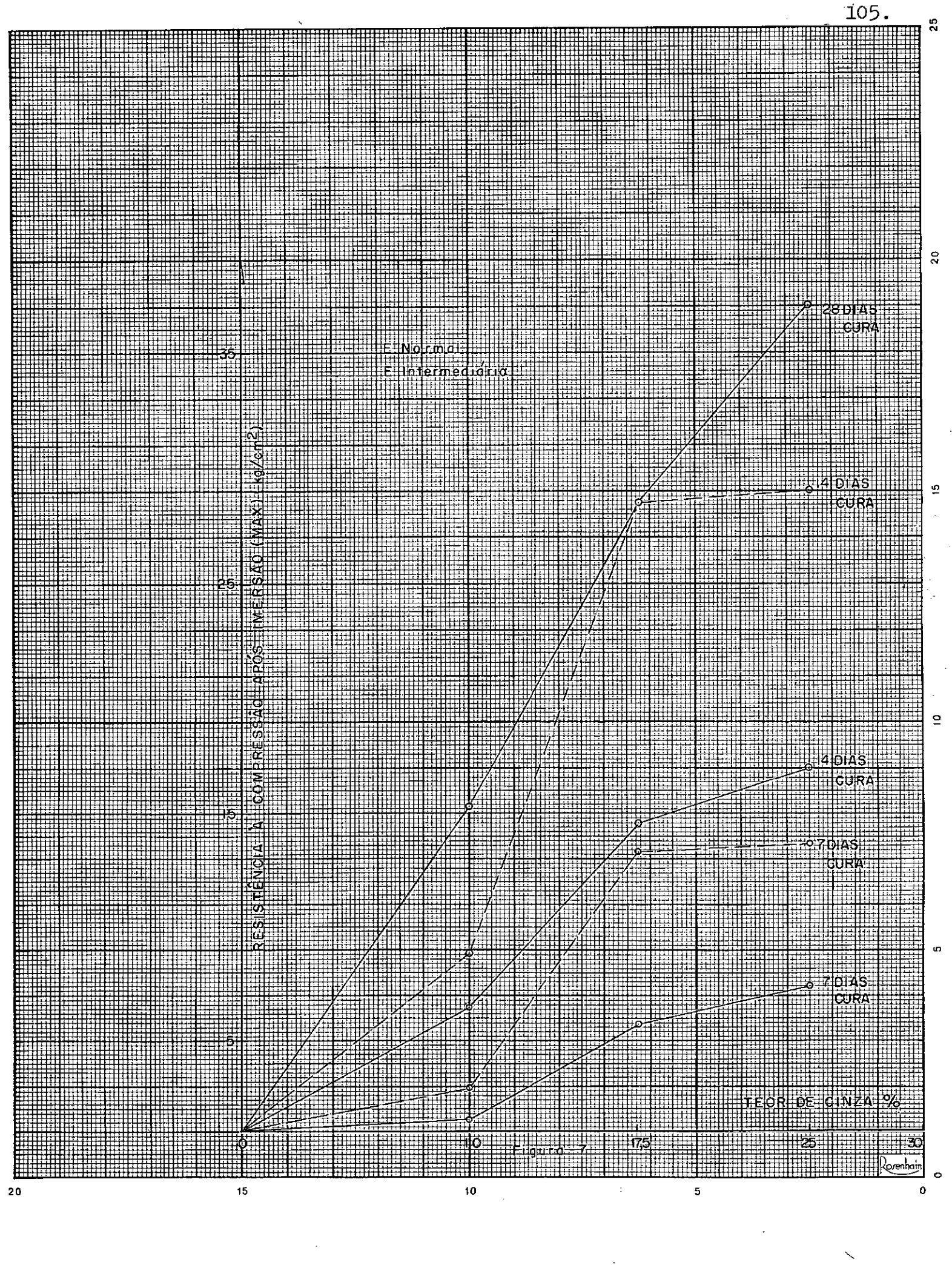

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO APÓS IMERSÃO (MAX) kg/cm2
35
25
15
5
0
F. Normal
F. Intermediária
28 DIAS CURA
14 DIAS CURA
14 DIAS CURA
7 DIAS CURA
7 DIAS CURA
TEOR DE CINZA %
10
17,5
25
30
25
20
15
10
5
0
20
15
10
5
0
Rosenhain

Figura 7

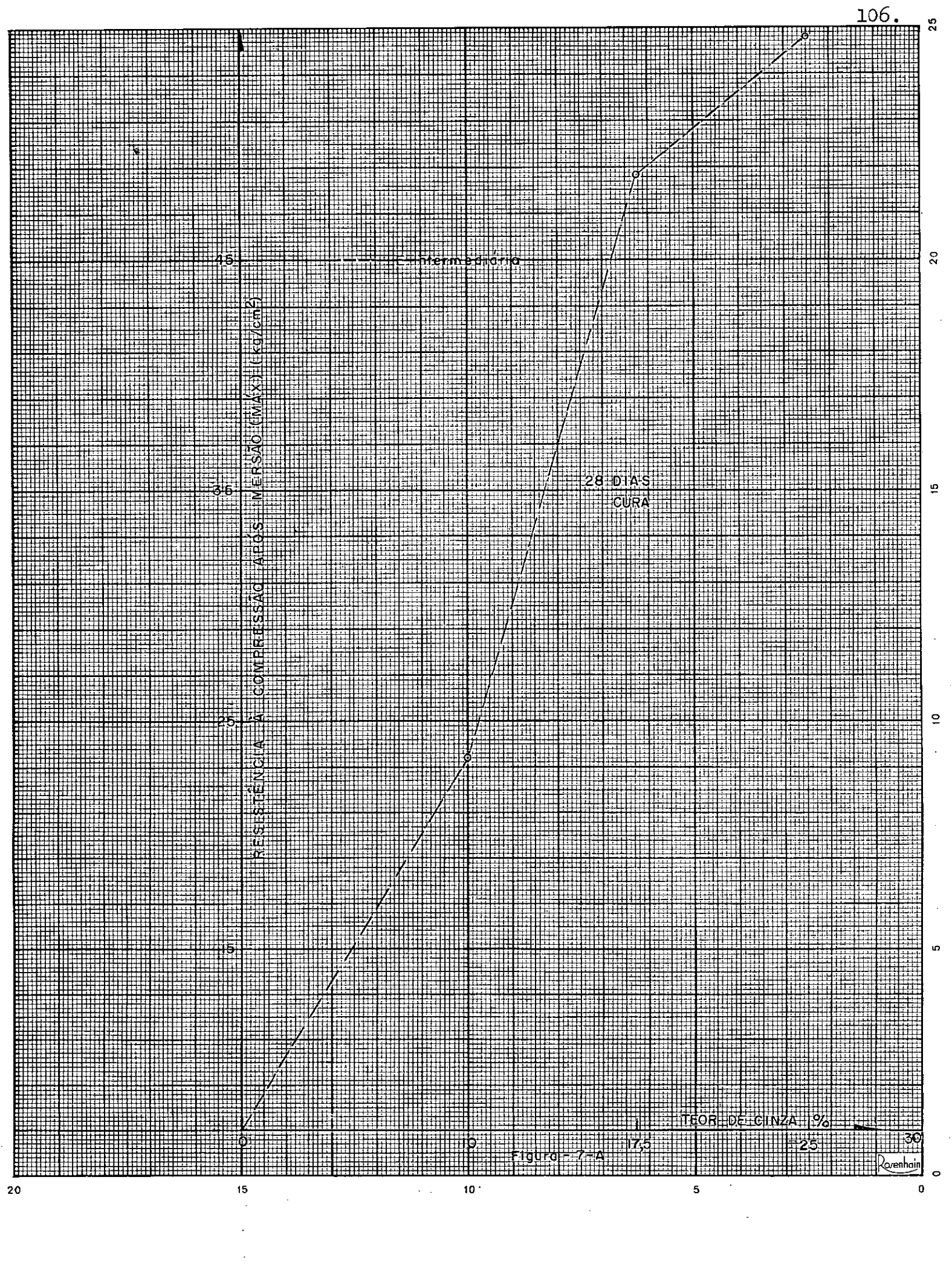

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO APÓS IMERSÃO (MAX.) (kg/cm2)
45
35
25
15
C. intermediária
28 DIAS
CURA
TEOR DE CINZA %
0
10
17,5
25
30
20
15
10
5
0
25
20
15
10
5
0
Rosenhain

Figura - 7-A

Figura 8 - Influência do período de cura na resistência à compressão simples, relativa à Mistura I ( 84% de areia, 6% de cal e 10% de cinza volante), e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

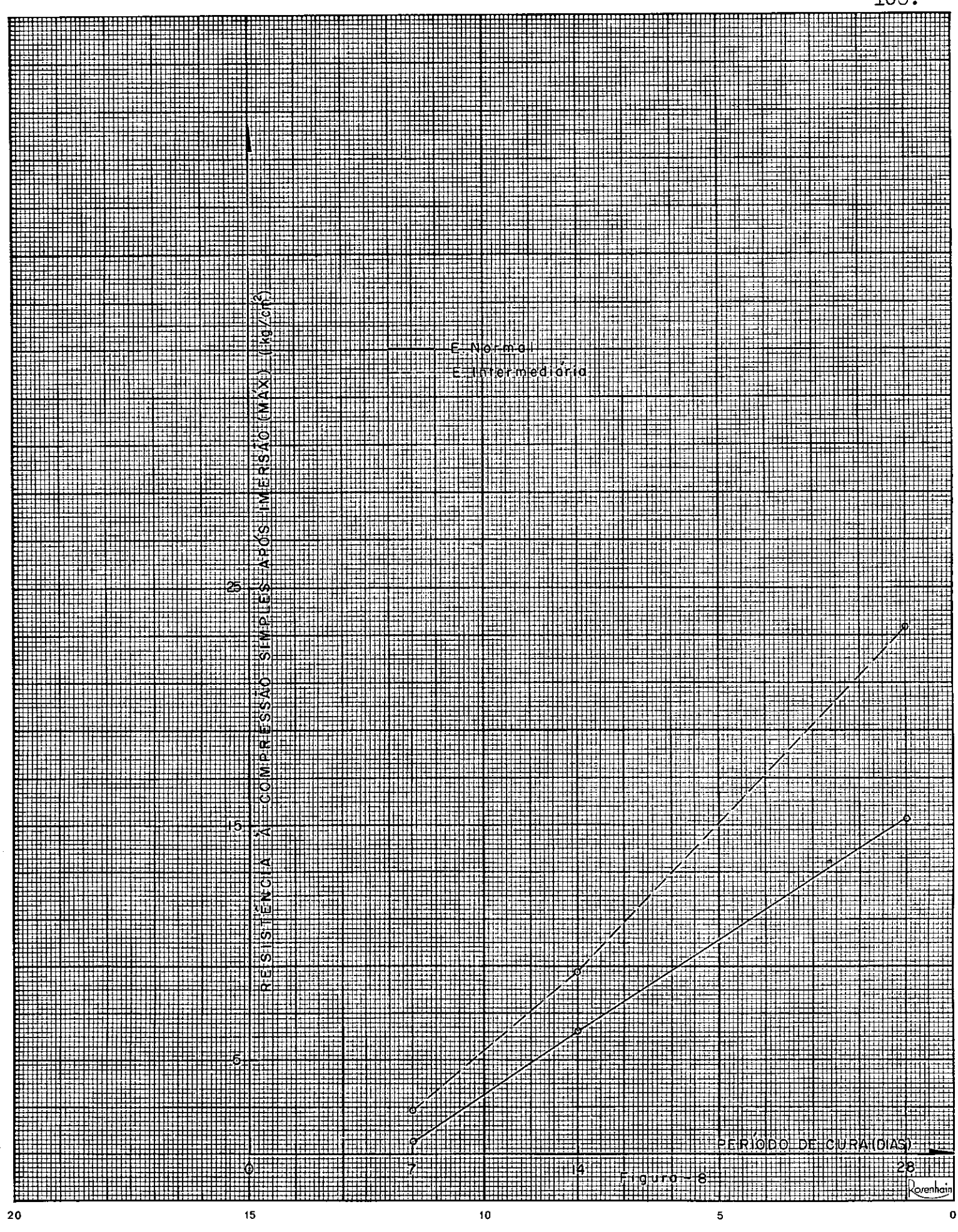

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (MÁX.) (kg/cm²)
E. Normal
E. Intermediária
PERÍODO DE CURA (DIAS)
0
5
10
15
20
25
7
14
28
Rosenhain

Figura - 8

Figura 9 - Influência do período de cura na resistência à compressão simples, relativa à Mistura II ( 76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante), e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

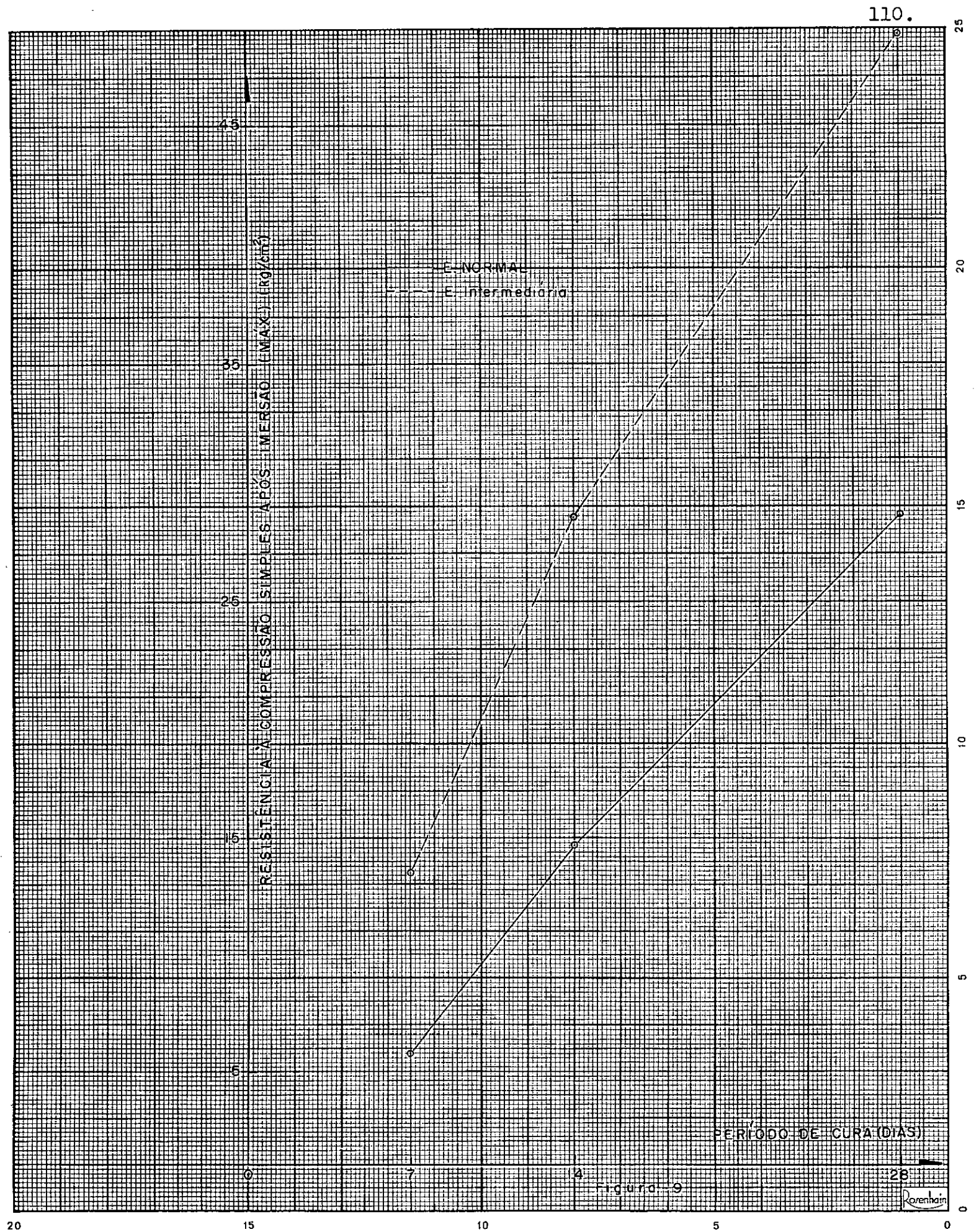

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (MÁX.) (kg/cm²)
45
35
25
15
5
E. NORMAL
E. intermediária
PERÍODO DE CURA (DIAS)
7
14
28
25
20
15
10
5
0
20
15
10
5
0
Rosenhain

Figura 9

Figura 10 - Influência do período de cura na resistência à compressão simples, relativa à Mistura III ( 69% de areia, 6% de cal e 25% de cinza - volante), e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com as energias Normal e Intermediária e curados à 7, 14 e 28 dias.

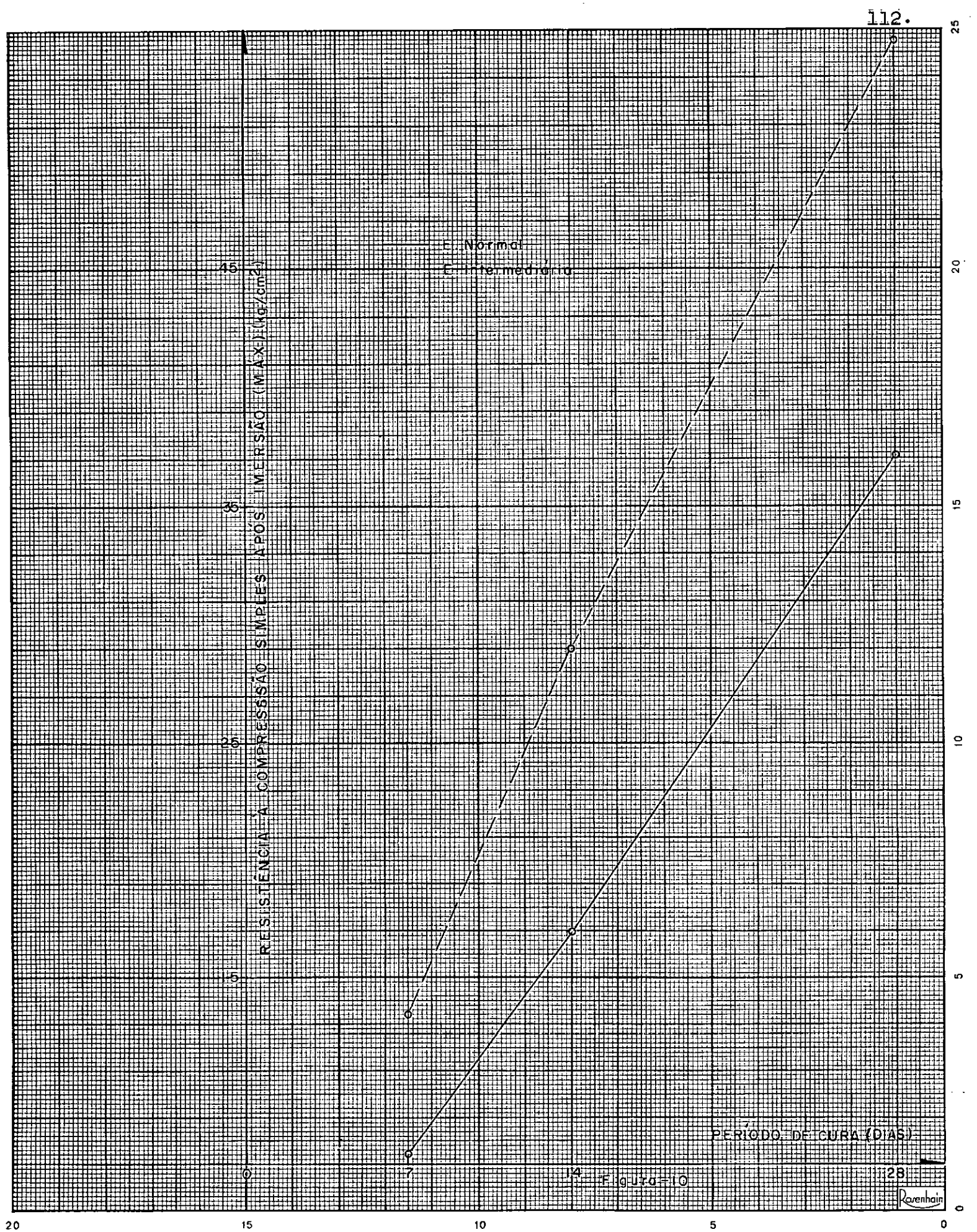

Normal
Intermediária
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (MÁX.) (kg/cm²)
45
35
25
15
PERÍODO DE CURA (DIAS)
7
14
28
25
20
15
10
5
0
20
15
10
5
0
Ravenhain

Figura-10

Figura 11 e 11A - Variação da massa específica aparente sêca (máxima), umidade ótima, e porosidade para às misturas I, II e III, nas energias Normal e Intermediária.

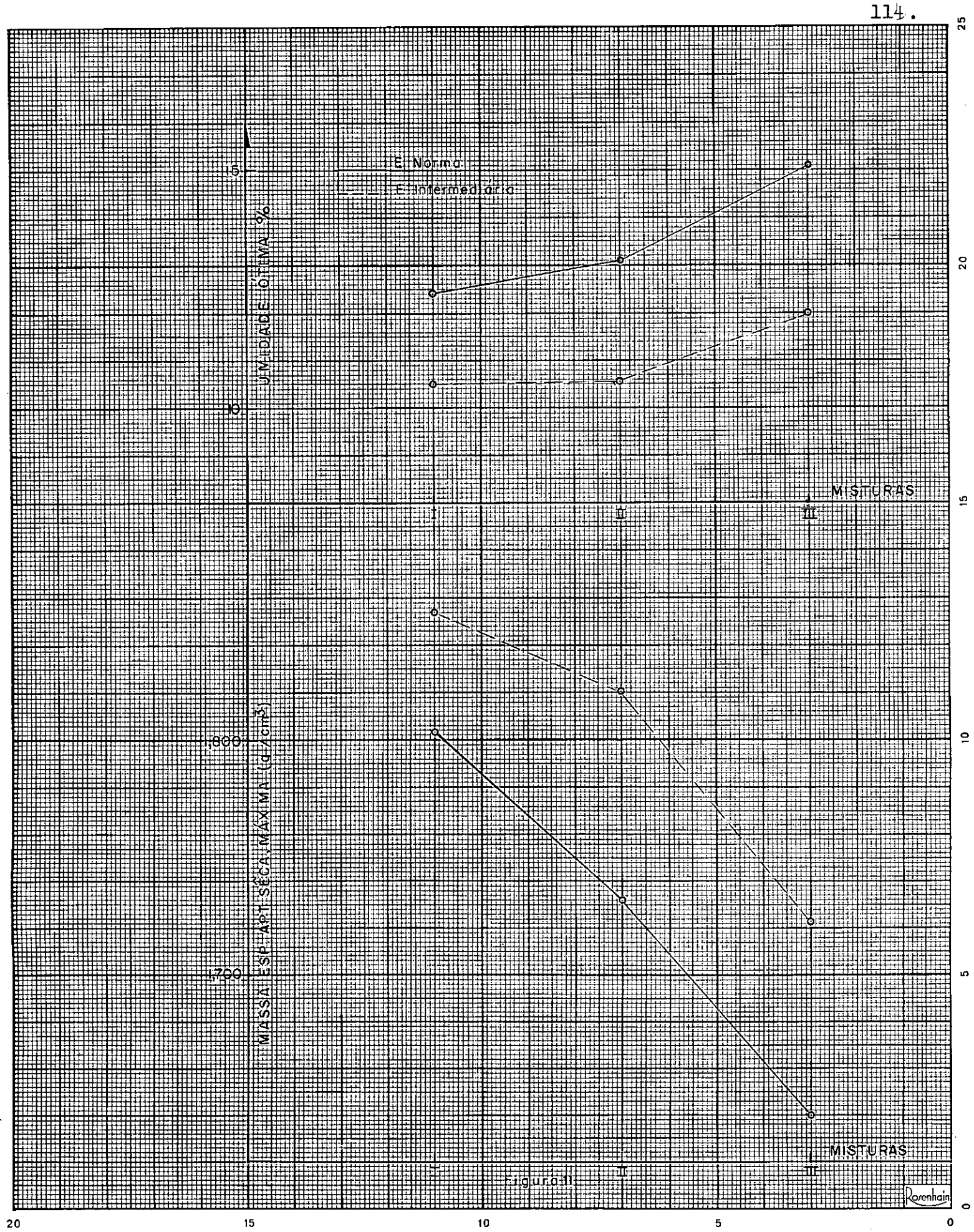

E. Normal
E. Intermediária
UMIDADE ÓTIMA %
15
10
MISTURAS
I
II
III
MASSA ESP. APT. SECA MÁXIMA (g/cm³)
1800
1700
MISTURAS
I
II
III
25
20
15
10
5
0
20
15
10
5
0
Rosenthain

Figura 11

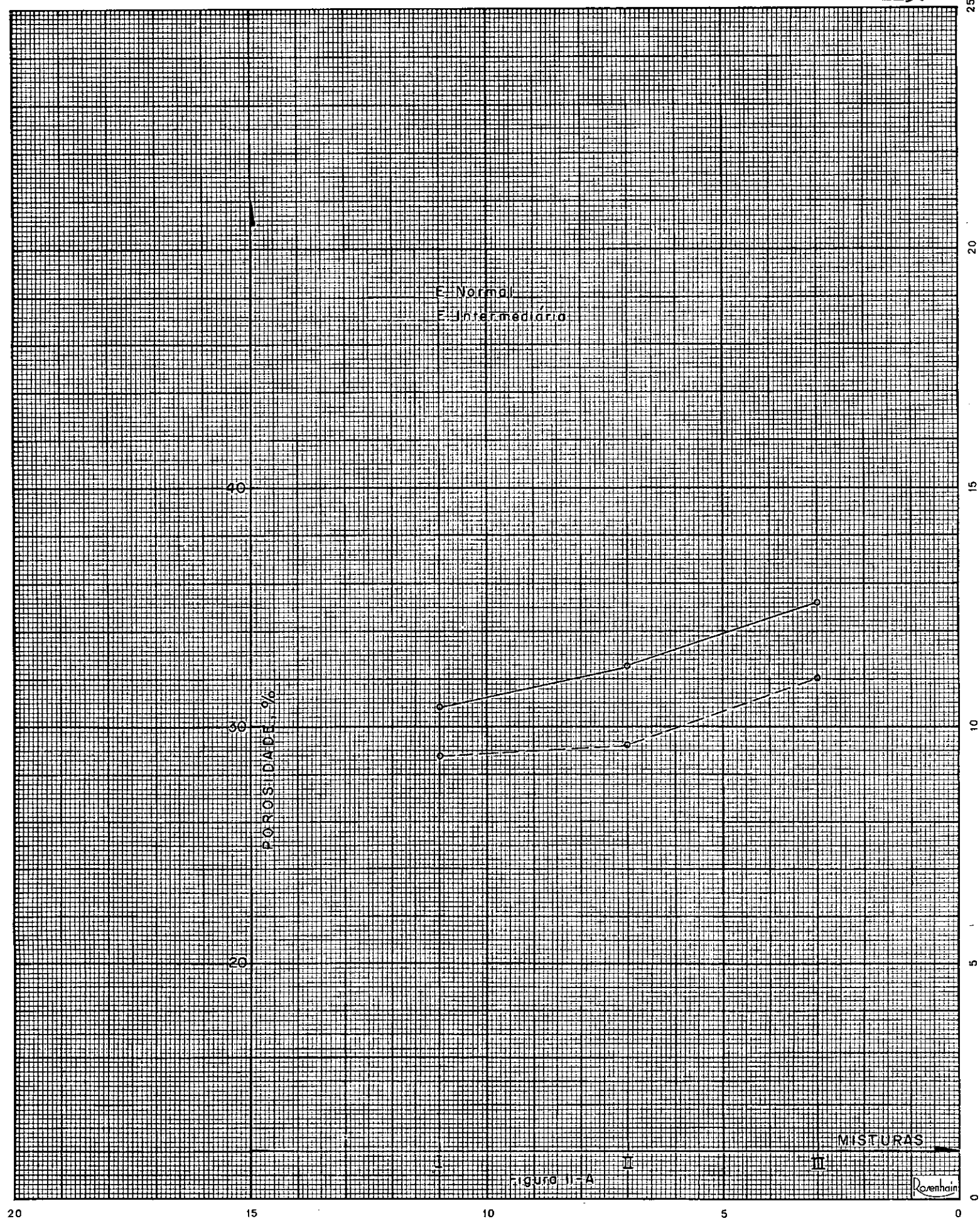

E. Normal
E. Intermediário
POROSIDADE %
40
30
20
MISTURAS
I
II
III
25
20
15
10
5
0
20
15
10
5
0
Rosenhain

Figura II-A

Figura 12 - Relação entre a resistência à compressão simples e a temperatura de cura, relativa à Mistura II ( 76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante), e obtida através da ruptura de corpos de prova (após imersão em água) moldados com a energia Normal, com um teor de umidade de 8,9% , massa específica aparente sêca de 1,712 g/cm$^2$ e curados à 7 e 14 dias.

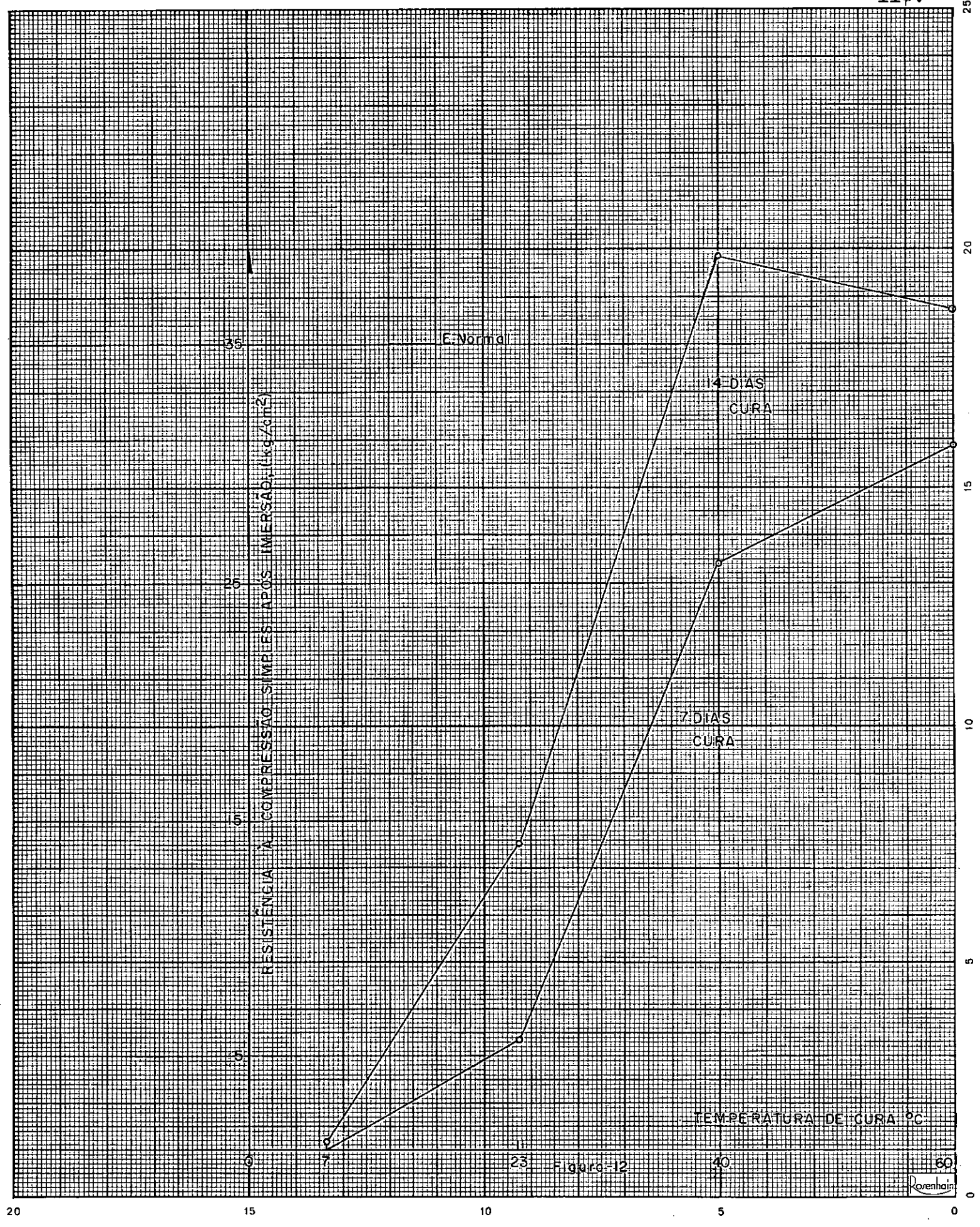

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES APÓS IMERSÃO (kg/cm2)
35
25
15
5
0
E. Normal
14 DIAS
CURA
7 DIAS
CURA
TEMPERATURA DE CURA °C
7
23
40
60
20
15
10
5
0
25
20
15
10
5
0

Figura 12

# VI - DISCUSSÕES

## 6.1. - Relações densidade - umidade e resistência - umidade

Sendo prática corrente na engenharia de solos compactar o solo no teor de umidade ótima a fim de obter a densidade aparente sêca máxima correspondente ao esfôrço de compactação adotado, interessa, evidentemente, saber se a resistência máxima será obtida para essa umidade ótima da curva de compactação ou se será maior ou menor do que ela.

Na tabela 68 temos essas comparações feitas para as 3 idades de cura e as duas energias de compactação (normal e intermediária), das 3 misturas.

TABELA - 68

| | Teor de umidade, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Para densidade máxima, % | Para resistência máxima, % | | |
| | | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| Mistura I | | | | |
| E. Normal | 12,4 | 6,9 | 7,1 | 8,3 |
| E. Intermediária | 10,5 | 6,3 | 6,9 | 7,0 |
| Mistura II | | | | |
| E. Normal | 13,1 | 8,4 | 10,7 | 11,2 |
| E. Intermediária | 10,5 | 8,1 | 9,0 | 9,5 |
| Mistura III | | | | |
| E. Normal | 15,1 | 9,5 | 13,0 | 15,1 |
| E. Intermediária | 12,0 | 8,7 | 11,1 | 13,1 |

Verifica-se não existir uma correlação constante entre a umidade para densidade máxima e a umidade para resistência máxima.

Contudo, as tendências seguintes são observadas: As umidades de compactação correspondentes à resistência máxima, para uma determinada mistura, crescem com a idade de cura. Êste crescimento de HRmáx é mais acentuado para a mistura III, vindo a seguir a mistura II e depois a mistura I.

Observa-se, ainda, que os HRmáx são menores que os HJsmáx (tabela 68) salvo para a mistura III a 28 dias (é igual para energia normal e pouco superior para energia intermediária). Quer dizer que, quase sempre (até a idade de 28 dias, nesta investigação) os HRmáx estão no lado sêco da curva de compactação.

Quanto à forma das curvas resistência x umidade nota-se que são achatadas para 7 dias de cura e tornam-se pontè agudas com o aumento do período de cura (figuras 4 a 6A ).

As observações acima concordam com as de MATEOS nos ensaios que fêz com areia de IOWA, embora êste solo tivesse 3% de argila, o que não se dá com a areia que ensaiamos.

## 6.2. - Teores de cinza volante

Verifica-se que o aumento da porcentagem de cinza volante leva a aumento da resistência à compressão (R) para todos os períodos de cura estudados. Os valores para os corpos de prova compactados na energia intermediária são maiores do que os compactados na energia normal, o que é intuitivo face à maior massa específica aparente daqueles, e consequentemente, o maior número de pontos ou pequenas áreas de contáto e cimentação.

Observa-se que o acréscimo de resistência é maior quando se passa de 10% a 17,5% de cinzas, do que de 17,5% a 25% , sendo isto mais acentuado para as idades de cura de 7

dias e 14 dias. Para a mistura I, a 7 dias, as resistências - foram baixas: 1,5 kg/cm$^2$ e 2,9 kg/cm$^2$. Note-se ainda que embora crescendo R da mistura II para III, êste aumento não é tão acentuado quanto o de I para II. Há pois uma tendência a diminuir $\Delta R/\Delta$ cinzas. É pois patente o crescimento não linear da resistência com o teor de cinzas, para uma certa porcentagem (6%) de cal. Isto ocorre também, na estabilização com cimento portland, em alguns casos (1).

Sherwood refere-se a êstes casos de redução da velocidade de crescimento da resistência ou mesmo de redução da resistência com o teor de cimento em solos com óxidos de ferro e óxidos de alumínio livres, embora os primeiros possam desenvolver alta resistência com pequenos teores de cimento.

## 6.3. - Efeitos dos esforços de compactação

Com o avanço da tecnologia, a tendência atual, é - compactar aterros e solos estabilizados com energias de compactação superior a do standard Proctor. O Corpo de Engenheiros Americanos já utiliza em aeroportos a energia do Proctor Modificado, por sua vez o DNER especifica duas energias para sub-bases e bases de pavimentos rodoviários; uma a "standard" Proctor e outra denominada de energia Intermediária de compactação.

Neste ítem procuramos investigar a influência da energia de compactação na mistura areia-cal-cinza volante. Os resultados para diferentes teores de umidade estão apresentados nas figuras 4 a 6A e as resistências máximas x período de cura foram plotados nas figuras 8 a 10 e tabela 69.

Verifica-se que o aumento de energia de compactação leva a aumento de resistência para as três (3) misturas, nos períodos de cura estudados. Note-se que embora crescendo R da mistura I, êsse acréscimo é menor do que os observados nas misturas II e III.

É pois evidente a conveniência da mistura areia-calcinza volante ser compactada na maior energia de compactação - possível, concordando assim, com as pesquisas feitas em IOWA , para as "fly ash" daquela região dos E.U.A.

## 6.4. - Influência do período de cura

Observamos que o período de cura é um dos fatores - que mais contribue para o desenvolvimento das reações pozolânicas. Para a mistura III, à 7 dias, as resistências foram relativamente baixas: 7,4 kg/cm$^2$ e 13,5 kg/cm$^2$, já a 28 dias temos valores de 37,2 kg/cm$^2$ e 54,6 kg/cm$^2$ (tabela 69)

TABELA - 69

| | Resistência à compressão simples, máxima, (kg/cm$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| Mistura I | | | |
| E. Normal | 1,5 | 6,3 | 15,3 |
| E. Intermediária | 2,9 | 8,8 | 23,3 |
| Mistura II | | | |
| E. Normal | 5,7 | 14,7 | 28,6 |
| E. Intemediária | 13,4 | 28,5 | 48,8 |
| Mistura III | | | |
| E. Normal | 7,4 | 16,9 | 37,2 |
| E. Intermediária | 13,5 | 29,1 | 54,6 |

Observa-se que o acréscimo de resistência é quase que

freqüentemente maior quando se passa de 7 à 14 dias de cura, do que de 14 à 28 dias, sendo isto mais acentuado na mistura II.

As resistências em curtos períodos de cura foram baixas, porém o ganho contínuo à longos períodos influirão sem dúvida na qualidade de um pavimento tratado com cal e cinza volante.

## 6.5. - Efeito da temperatura de cura

É de grande importância o conhecimento do efeito das temperaturas de cura em solo estabilizado, pois poderá ser um determinante do tempo de trabalho, por predição de resistências que poderão ocorrer a longos prazos à temperatura ambiente, pela cura num curto período de tempo à altas temperaturas.

A atividade pozolânica entre a cal e a cinza volante foi muito influenciada pela temperatura de cura (tabela 67).

Pela figura 12 observa-se que para 7 dias de cura à temperatura de 7°C todos os corpos de prova não suportaram a imersão em água, antes da ruptura, contudo os curados a 23°C - já indicaram razoável desenvolvimento de resistência (5,7 Kg/cm$^2$).

Os corpos de prova curados à 7°C porém num período de 14 dias, suportaram a imersão em água e resistiram cêrca de 1,2 Kg/cm$^2$, evidenciando mais uma vez a importância do período de cura.

O grande aumento de resistência foi observado acima de 23°C, tanto para 7 dias como 14 dias de cura.

A forma das curvas (fig. 12) mostram qua há uma tendência à diminuir $\Delta R/\Delta T°C$ além de 40°C, colocando em ênfase, o interêsse da estabilização do tipo areia-cal-cinza volante ser executada no verão. Convém lembrar que as resistências obtidas são funções da reatividade da cinza volante utilizada na estabilização.

Observou-se que para 14 dias de cura à 60°C houve uma pequena queda na resistência em relação a obtida à 40°C, e

que poderia, talvez, ser causada por perda mais rápida de água, diminuindo assim o processo de cimentação produzido pela reação cinza-cal-água. Além disso os compostos formados à temperaturas além de 40°C podem ser diferentes dos formados à temperaturas abaixo de 40°C (2).

Como era de se esperar, confirmando os resultados de diversos pesquisadores (1,2), altas temperaturas aceleram as reações pozolânicas.

# VII - CONCLUSÕES

Baseado nos ensaios realizados podemos concluir o seguinte:

1 - A resistência máxima atingida pela mistura de areia-cal-cinza volante é geralmente verificada para um teor de umidade abaixo da umidade ótima de compactação.

2 - A umidade correspondente à resistência máxima se aproxima do teor ótimo de umidade à medida que cresce o teor de cinza volante.

3 - O teor de umidade de compactação necessário para produzir resistência máxima depende do período de cura, ou seja quanto maior o período de cura, tanto maior é o teor de umidade correspondente à resistência máxima.

4 - Para a areia analisada a porcentagem de cinza-volante necessária para obtenção de resistências elevadas estaria entre 15% e 25% ou talvez 30%, isto para 6% de cal dolomítica hidratada.

5 - Quanto maior a energia de compactação tanto maiores foram as resistências obtidas pelas misturas estudadas.

6 - As resistências obtidas pela mistura areia-cal-cinza volante crescem substancialmente com o prolongamento da idade de cura.

7 - Baixas temperaturas retardam a formação de compostos cimentantes.

8 - Corpos de prova curados à elevadas temperaturas atingiram em poucos dias, resistências bem superiores aos curados em muitos dias à temperatura ambiente.

9 - Diante dos resultados obtidos podemos concluir que a cinza volante nacional constitui um material complementar precioso na estabilização de solos, que pode coadjuvar, corrigir e até substituir materiais tradicionais. No caso especí-

fico de areia uniforme, sem finos,sua associação à cal e cin - za volante conduziu a um produto com resistência adequada ao uso em pavimentação.

# VIII - SUGESTÕES

Como resultado desta pesquisa achamos conveniente fazer as seguintes sugestões:

1 - Verificação dos ítens estudados aqui, para períodos de cura até 1 ano.

2 - Estudo da atividade pozolânica da cinza nacional pela cura em curtos períodos à elevada temperatura e sua relação com a cura a longos períodos à temperatura ambiente.

3 - Comportamento desta cinza como material estabilizante de outros solos típicos do Brasil.

4 - Estudo da durabilidade da mistura areia-cal-cinza volante.

5 - Ensaios de compressão diametral e sua correlação com os ensaios de compressão simples.

6 - Efeito de cargas dinâmicas na mistura areia-cal-cinza volante.

7 - Construção de pista experimental na região sul do Brasil, onde existe em disponibilidade enormes quantidades de cinzas volantes.

# B I B L I O G R A F I A


1 - SHERWOOD, P.T. "The properties of cement stabilized materials". R R 1 Report L R 205 . 1968.

2 - MATEOS, M. "Physical and Mineralogical factors in stabilization of Iowa soils". Ph.D Thesis, Iowa State University, 1961.

3 - Bulletin des Laboratoires Routiers Ponts et Chaussées, nº 15 Paris, septembre - octobre. 1965.

4 - American Society for Testing and Materials. Supplement to Book of ASTM Standards, Part 3. 1965.

5 - JARRIGE, A. "Les cendres volantes et leurs possibilités d' utilisation". Separata de Annales des Mines, Paris, octobre e nov. 1957.

6 - LAFUMA, M.H. "L'addition des cendres au ciment Portland. Genève. 1962.

7 - Revue de l'Industrie Minerale. Paris. outubro e março.1963.

8 - GOBETTI, A.F. Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul - Boletim 49. 1969.

9 - Métodos de Ensaio, DNER - DPNT. 1968.

10- HERRIN, M; MITCHELL, H. "Lime-Soil Mixtures", Bull.304, H R B. 1961.

11 - Iowa Engineering Experiment Station. Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa. Screenings vol. 1, nº 6. 1957.

12 - American Society for Testing and Materials, Standard Methods, decembre. 1964.

13 - LAMBE, T. W; WHITMAN, R.V. "Soil Mechanics". 1969

14 - LEONARDS, G.A. "Foundation Engineering"; Mc Graw-Hill.1962

# A P Ê N D I C E S

# APÊNDICE - A

As fotografias da aparelhagem bem como as várias etapas da pesquisa são aqui apresentadas.

(fotos 1 a 17 )

Foto 1 - Cilindros de moldagem dos corpos de prova (10 x 20 cm).

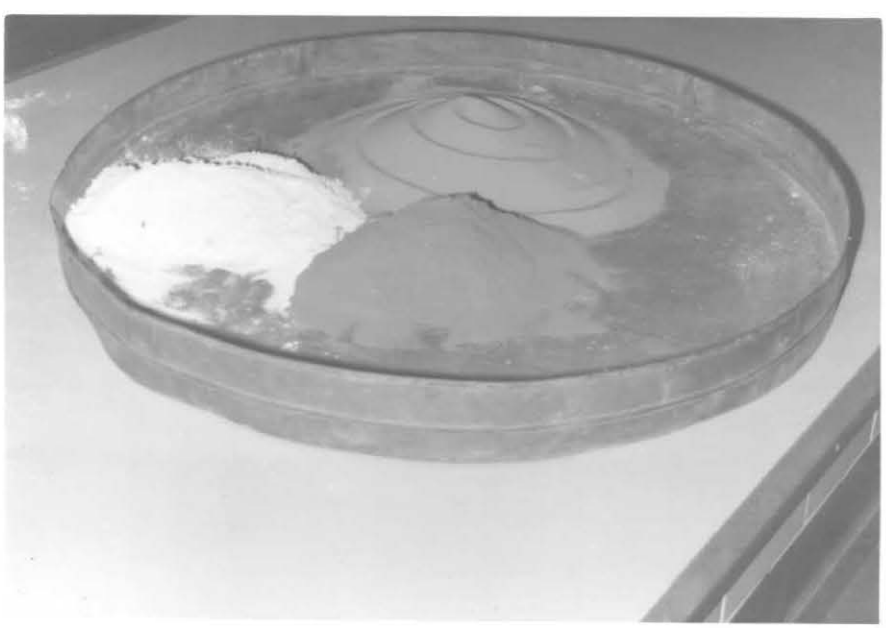


Foto 2 - Cinza, cal e areia antes da mistura íntima.

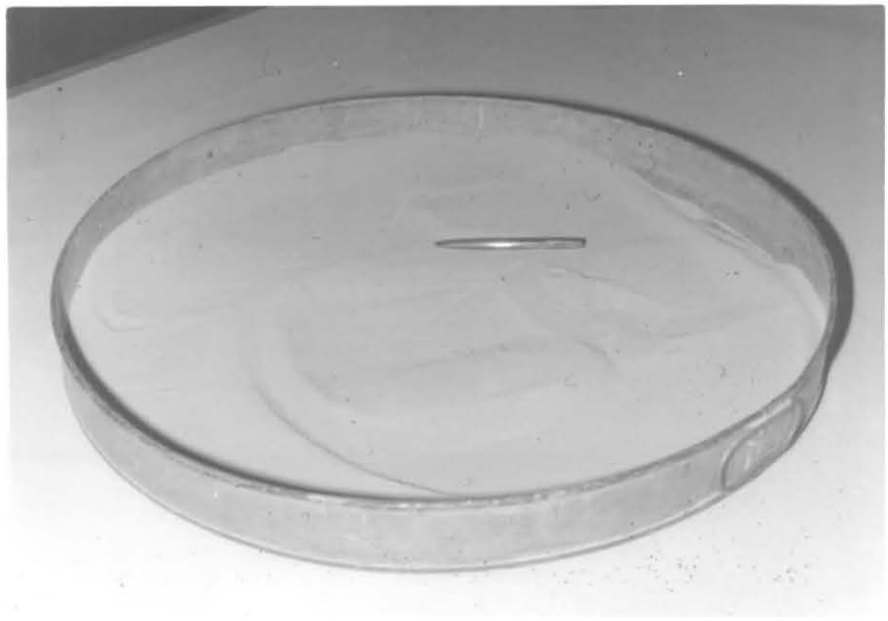


Foto 3 - Mistura constituída de: 76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante.

Foto 4 -Compactador mecânico modêlo Soiltest.

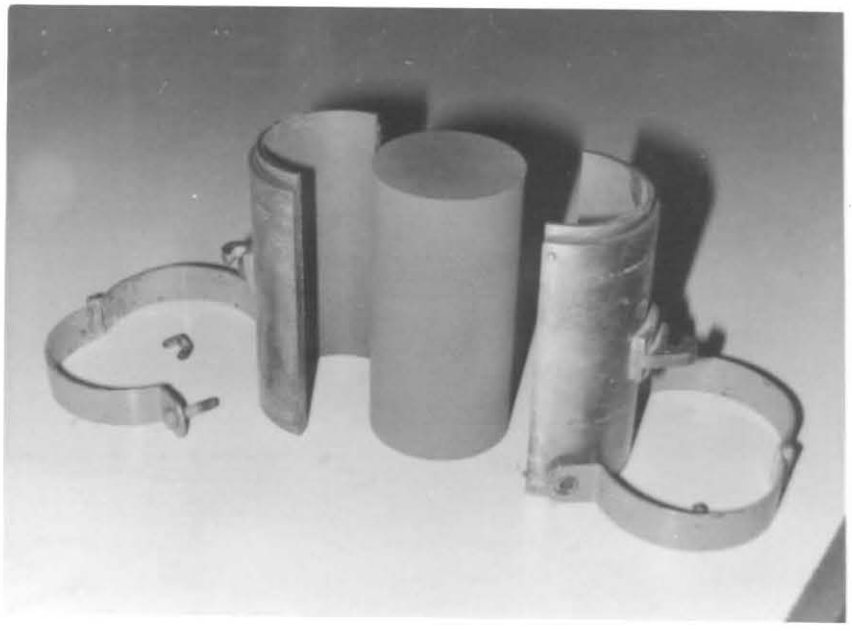


Foto 5 - Extração do corpo de prova após a moldagem: 76,5% de areia, 6% de cal e 17,5% de cinza volante.

Foto 6 - Corpo de prova - extraído antes de ser colocado na câmara úmida.

Foto 7 - Início de envolvimento do corpo de prova em saco plástico.

Foto 8 - Corpo de prova pronto para ser colocado na câmara úmida.

Foto 9 - Pulverizador de água montado na câmara úmida.

Foto 10 - Vista parcial dos corpos de prova mantidos em câmara úmida.

Foto 11 - Câmara úmida com umidade relativa de ± 90%. A esquerda vê-se o vapôr d'água em suspensão.

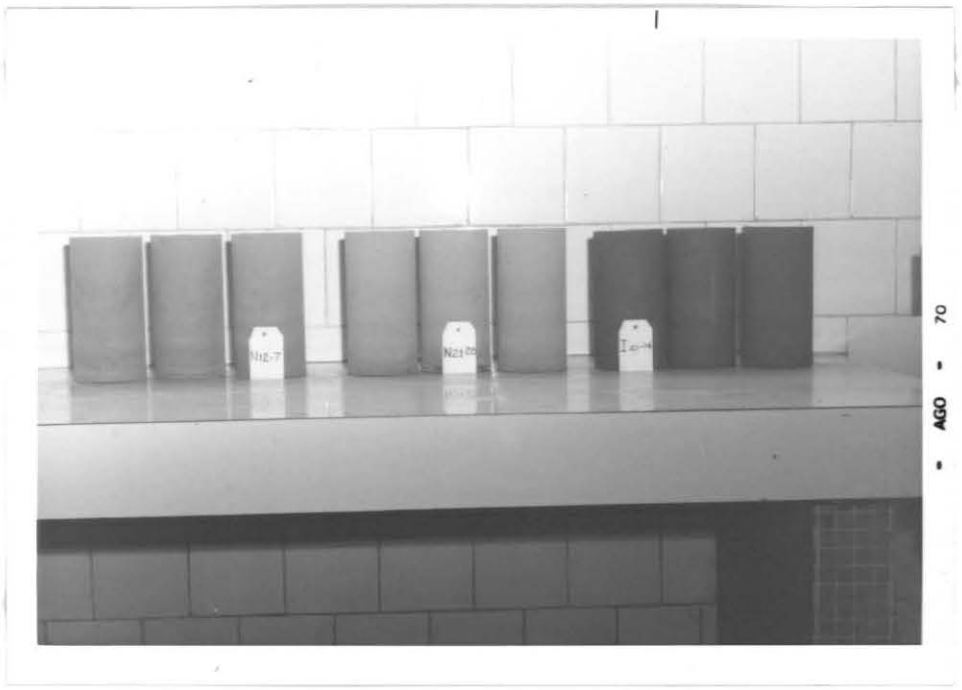



Foto 12 - Aspecto dos corpos de prova após o período de cura:

N12 - 7 = Mistura II, E. Normal, 5% de água de moldagem e 7 dias de cura.

N21 - 28 = Mistura I, E. Normal, 7% de água de moldagem e 28 dias de cura.

I 41 -14 = Mistura I, E. Intermediária, 11% de água de moldagem e 14 dias de cura.

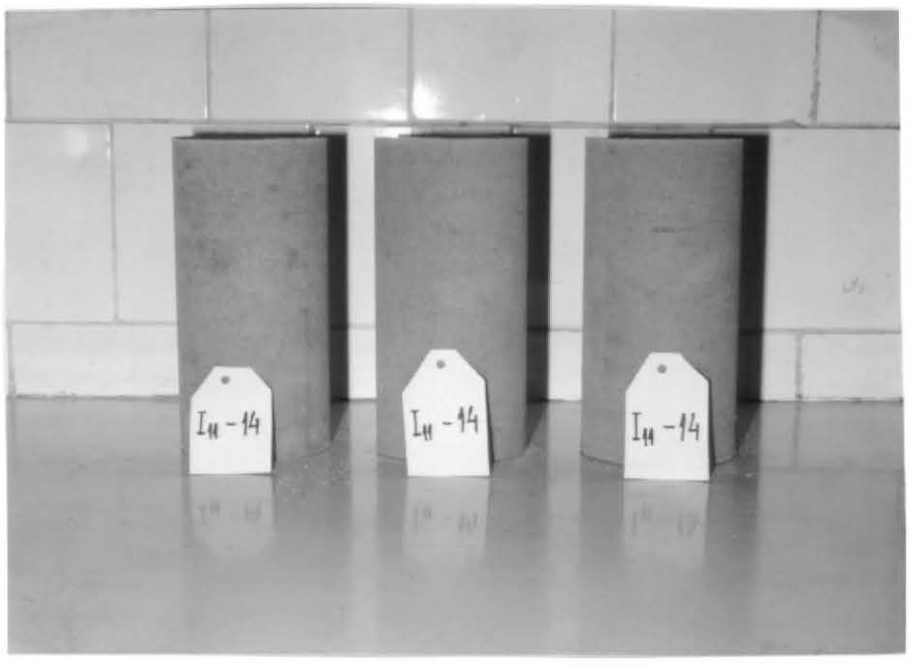



Foto 13 - Corpos de prova moldados com a energia Intermediária e curados a 14 dias (Mistura I).

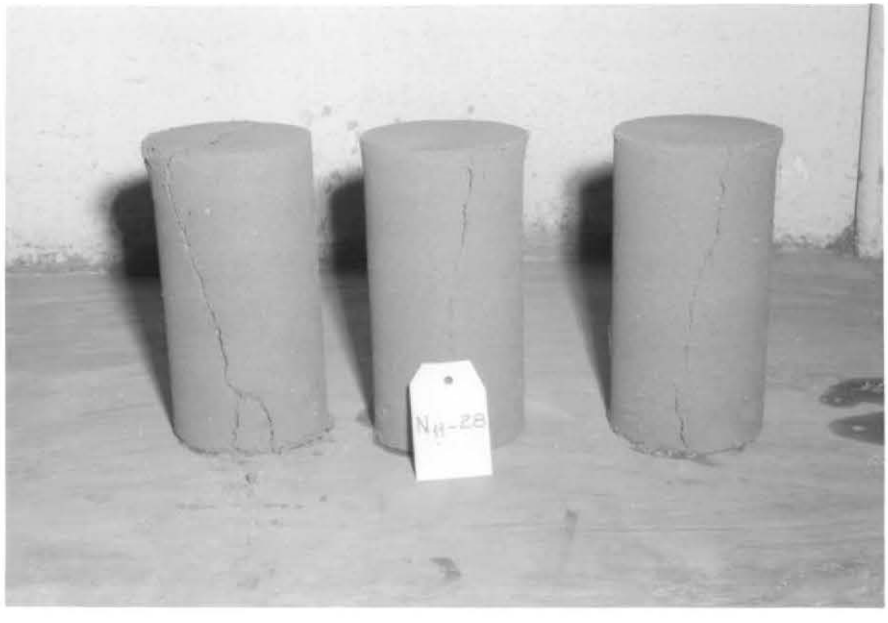



Foto 14 - Corpos de prova moldados com a energia Normal e rompidos após 28 dias de cura.

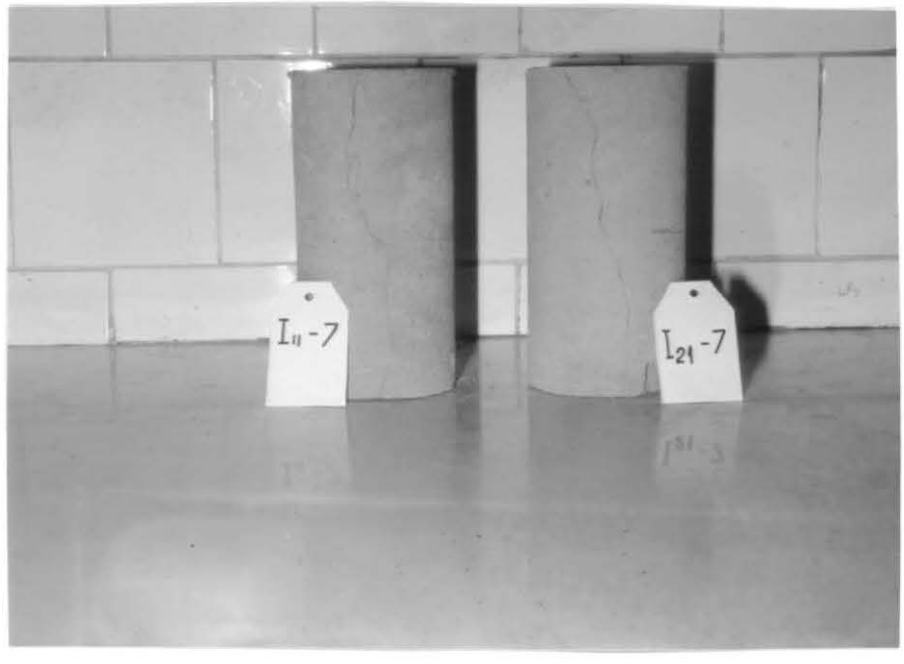



Foto 15 - Corpos de prova moldados com a energia Intermediária e rompidos após 7 dias de cura (Mistura I).

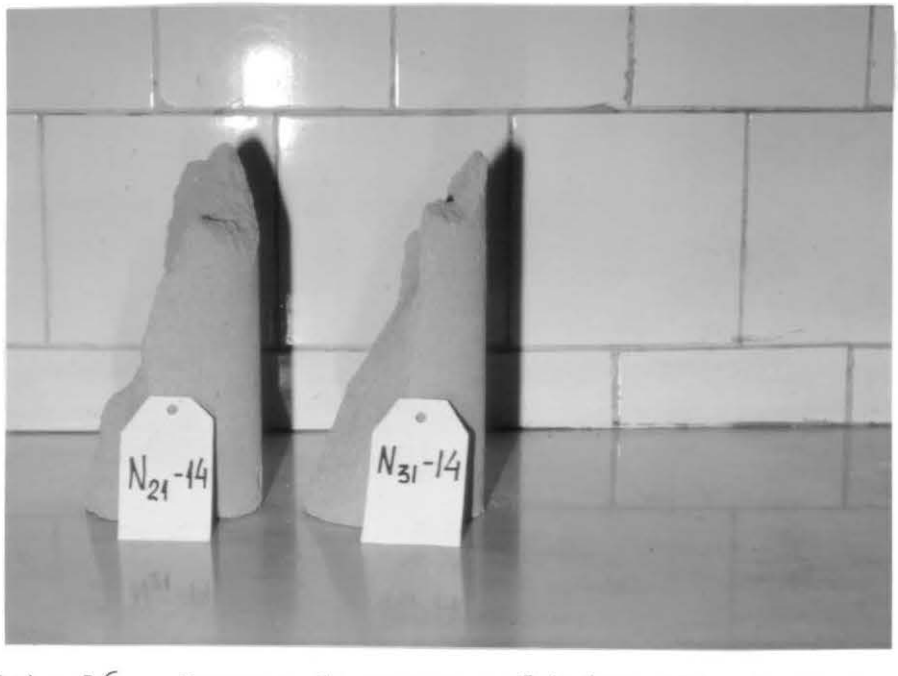



Foto 16 - Corpos de prova moldados com a energia Normal e rompidos após 14 dias de cura.

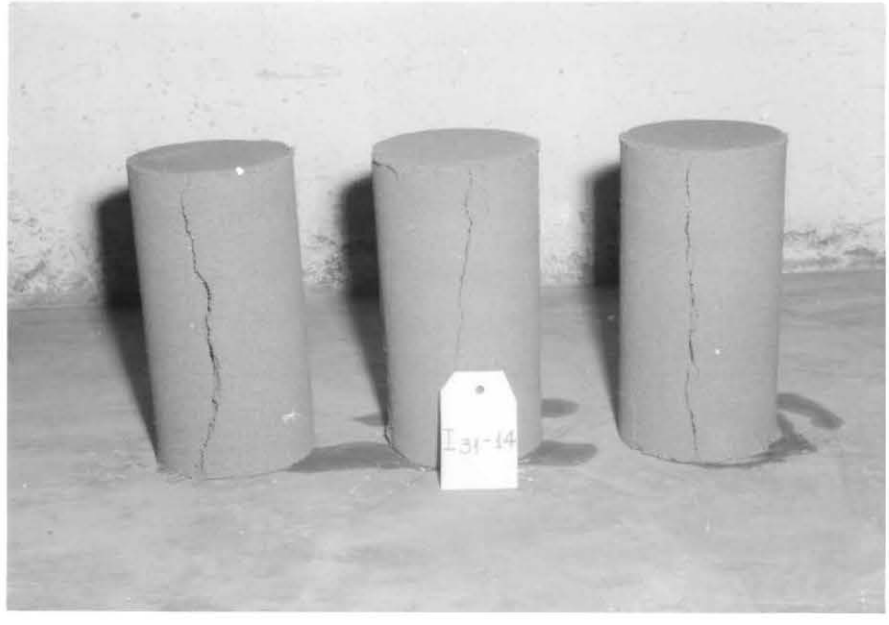



Foto 17 - Corpos de prova moldados com a energia Intermediária e rompidos após 14 dias de cura.

# APÊNDICE - B

Neste ítem mostramos às fotos tiradas em microscópio eletrônico da COPPE. Observamos que a cimentação apresentada pela mistura de areia-cal-cinza volante é bem semelhante à produzida pelo cimento.

(fotos 18 a 21 )

Foto 18 - 160 x - Aglomerado de areia, cal e cinza volante.

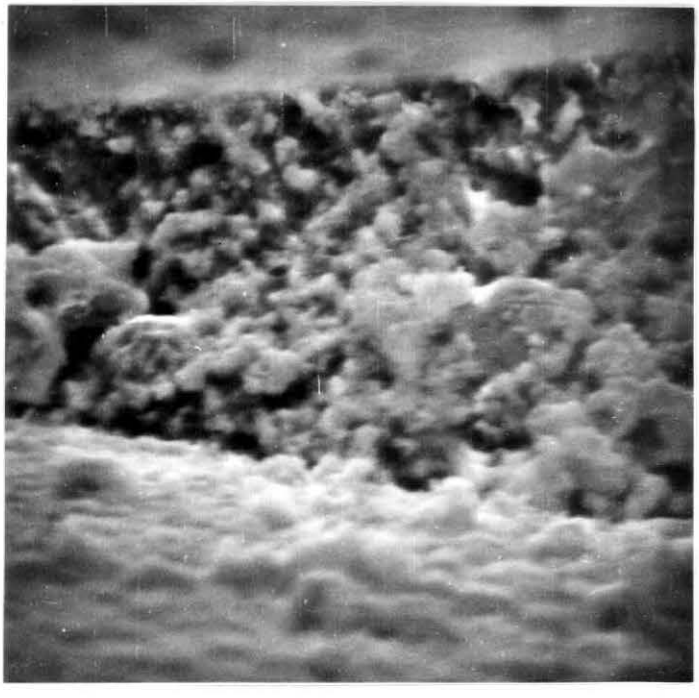


Foto 19 - 2500 x - Aglomerado de areia, cal e cinza volante; junção dos grãos de areia com ligante

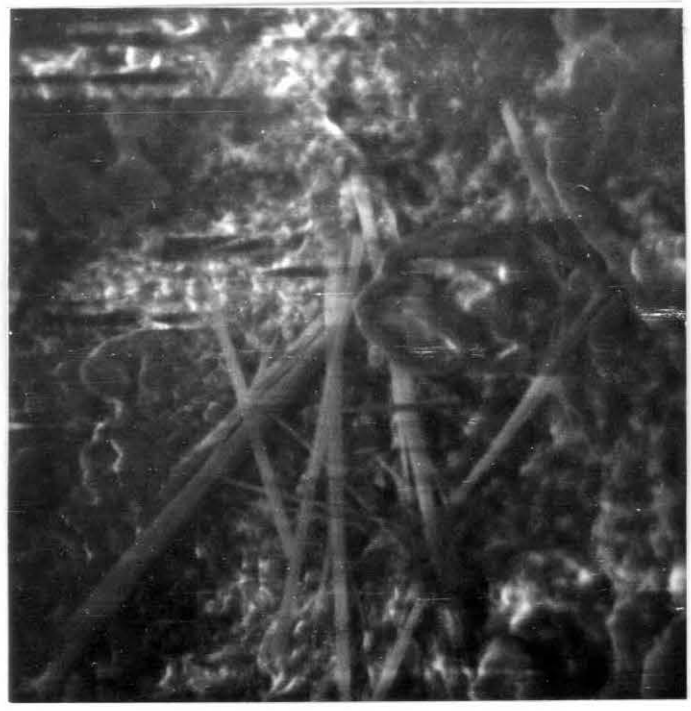


Foto 20 - 2500 x - Aglomerado de areia, cal e cinza volante;agulhas no aglomerado.

Foto 21 - 550 x - Grãos de cinza volante.