



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

CAMPUS II - CAMPINA GRANDE - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS COM OS ADITIVOS CAL, CIMENTO
E EMULSÃO**

Estágio Supervisionado (Relatório)

Local do Estágio: LABORATÓRIO DE SOLOS II - UFPB

Orientador: SEBASTIÃO BATISTA DOS SANTOS

Estagiária: ELIENE DE FÁTIMA MAGALHÃES NOGUEIRA

Período: agosto/80 a março/81.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
AVENIDA APRÍGIO VELOSO, 882 - Cx. Postal 518
TELEX: 0832211 - FONE: (083) 321.7222
58.100 - CAMPINA GRANDE - PB
BRASIL



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

PREFÁCIO

Este relatório tem a finalidade de demonstrar o nosso conhecimento teórico aliado ao prático, documentando de maneira sucinta as experiências adquiridas no estágio supervi-sionado, realizado no Laboratório de Solos I, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II.

O referido estágio teve início no dia 20 de agosto de 1980, tendo seu término em 20 de março de 1981, totalizando uma carga horária de 800 horas, constando desde a coleta de amostra no campo até os ensaios da referida amostra no laboratório.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Sebastião Batista dos Santos, pela orientação dada na realização deste trabalho.

À UFPb pela oportunidade oferecida para a realização deste estágio.

Aos laboratoristas que me acompanharam durante todo este período.

Em especial aos meus pais por tudo que hoje sou.

ESTABILIZAÇÃO DE SOLO COM OS ADITIVOS CAL, CIMENTO E EMULSÃO

Estágio realizado por

Eliene de F. M. Nogueira

RESUMO

O trabalho apresentado neste relatório estuda a estabilização de um solo da rua Odon Bezerra, em Campina Grande, quando misturado com os aditivos cal, cimento e emulsão, em diferentes tempos de cura.

Para a determinação da resistência do solo-cal, solo-cimento e solo-emulsão e, posteriormente, obtenção ideal destes aditivos, foram preparados, curados e testados corpos de prova.

As amostras foram preparadas com porcentagem destes aditivos variando de:

cal: 1,5%, 3,0%, 4,5%, 6,0%;

cimento: 1,5%, 3,0%, 4,5%, 6,0%;

emulsão: 1,0%, 2,0%, 4,0%, 6,0% e rompidos em tempos de cura de 0, 7 e 28 dias.

ÍNDICE

Capítulo I - INTRODUÇÃO -----	01
Capítulo II - OBJETIVOS DA PESQUISA -----	03
Capítulo III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -----	04
3.1 - Estudo da Cal -----	06
3.2 - Estabilização com Cal -----	07
3.3 - Estudo do Cimento -----	13
3.4 - Estabilização de Base de Solo Cimento	15
3.5 - Estudo da Emulsão -----	18
3.6 - Base Estabilizada com Material Betuminoso	19
Capítulo IV - DESCRIÇÃO DO SOLO -----	22
4.1 - Localização -----	23
4.2 - Descrição Geológica -----	23
4.3 - Classificação do Solo -----	25
Capítulo V - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS -----	26
5.1 - Retirada de Amostras -----	27
5.2 - Preparação dos Corpos de Prova -----	27
Capítulo VI - MÉTODOS DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS -----	30
Capítulo VII - RESULTADOS FINAIS -----	32
Capítulo VIII - CONCLUSÕES -----	34
Capítulo IX - SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES -----	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	37

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O estudo dos problemas de engenharia vêm gradativamente se desenvolvendo, atualmente, devido ao fato de encontrar meios para minimizar despesas, simplificar a técnica tornando eficiente e econômica a obra em estudo.

A construção de estradas, de aterros longos ou de outras obras de engenharia em solos que apresentam resistência ao cisalhamento muito baixa, torna-se complexo e antieconômico.

Devido a isto é que se pensa em uma maneira de aumentarmos a resistência do solo. Pode-se citar:

- a) Estabilização granulométrica do solo
- b) " " do solo com cal
- c) " " " " cimento
- d) " " " " emulsão.

Mas, na realidade, o que se entende por estabilizar um solo?

De um modo geral, estabilizar um solo é utilizar um processo qualquer de natureza física, físico-química, química ou mecânica, de forma a tornar esse solo estável para os limites de sua utilização e ainda fazer com que esta estabilidade permaneça sob a ação das cargas exteriores e ações climáticas variáveis. Do ponto de vista rodoviário ou de aeroportos, denomina-se estabilização de solos aos métodos de construção nos quais os solos são tratados sem aditivos ou com eles, de modo que se tenham os subleitos, sub bases e bases, e ocasionalmente revestimentos, capazes de suportar as cargas do tráfego normalmente aplicadas sobre o pavimento, sob condições normais de umidade e tráfego, durante a vida da estrada pavi-

mentada, sem deslocamentos apreciáveis, resistindo ao desgaste e às intempéries sem desagregação.

Dentre todos os tipos citados anteriormente e outros que por ventura venham aparecer, o mais viável técnica - economicamente, é o solo estabilizado com cal, na umidade natural e "in situ".

Foram retiradas amostras deformadas na rua Odon Bezerra, no Bairro da Liberdade, Campina Grande. As amostras foram preparadas no laboratório com porcentagem variáveis de cal, cimento e emulsão, para posteriormente serem testadas.

Duas perguntas surgem: Qual a quantidade ideal de aditivos (cal, cimento e emulsão) a ser utilizada para a estabilização de um solo? O tempo de cura influencia na resistência ao cisalhamento do solo? Observa-se assim que existem duas variáveis, para verificação da resistência do solo:

- a) Quantidade de aditivo a ser usado
- b) Tempo. *DE CURA*

A quantidade dos aditivos variou da seguinte maneira: cal: 1,5%, 3%, 4,5% 6%; cimento: 1,5%, 3%, 4,5%, 6%; emulsão: 1%, 2%, 4%, 6%; verificando-se através do ensaio, qual a porcentagem ideal, realizando-se em uma série de amostras deformadas e moldadas na umidade.

O tempo de cura influencia muito na resistência do solo-cal, solo-cimento e solo-emulsão, no qual será analisado. Um total de 540 amostras foram preparadas, curadas e testadas para em seguida serem analisadas e tiradas as conclusões.

Introduzindo o assunto em desenvolvimento, procurou-se nos capítulos que se seguem estudar detalhadamente:

- 1) A análise e os objetivos do referido trabalho;
- 2) As referências bibliográficas, oferecendo uma revisão simplista da bibliografia utilizada, salientando os fatos marcantes que possam ser utilizados neste trabalho;
- 3) Uma descrição geotécnica do solo;
- 4) O método de preparação das amostras para posteriormente serem ensaiadas;
- 5) Os ensaios realizados, seus resultados, comparações e conclusões fazendo recomendações para estudos posteriores.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho de pesquisa tem por objetivos primordiais:

- 1) Verificar a possibilidade de se estabilizar o solo da rua Odon Bezerra, situada em Campina Grande, com os aditivos cal, cimento e emulsão.
- 2) Determinar o aumento da resistência do solo estabilizado com os aditivos mencionados, em relação à resistência do mesmo, no estado natural.

Os testes de laboratório realizados foram os seguintes:

- Ensaio de caracterização:
 - Teor de umidade
 - Densidade real
 - Granulometria
LL, LP
- C.B.R.
- Compressão simples
- Compressão diametral.

No campo foram realizados:

- Densidade in situ
- Determinação da umidade de 20 e 20 cm até 120 m (máxima)
- Sondagem à trado de estaca em estaca.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- CAL
- CIMENTO
- EMULSÃO

CAL

- ESTUDO DA CAL
- ESTABILIZAÇÃO COM CAL

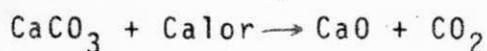
3.1 - ESTUDO DA CAL

Ao se calcinar as rochas calcáreas numa temperatura compreendida entre 850 e 900°C, abaixo da temperatura de fusão do material, obtêm-se um aglomerante denominado de cal.

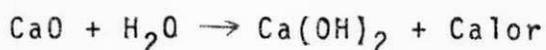
O calcário, carbonato de cálcio encontra-se na natureza sob diversas maneiras, dependendo do seu grau de impurezas. Dentre as impurezas que o calcário apresenta destacam-se:

- a) A sílica
- b) Os óxidos de ferro
- c) Os óxidos de alumínio e
- d) Os óxidos de magnésio.

As cales além de serem obtidas pelas pedras calcáreas, podem ser obtidas também através de resíduos de ossos de animais, na calcinação do calcário ocorre o seguinte fenômeno:



Ao se calcinar pedras calcáreas obtêm-se a cal virgem ou viva, mantendo sua forma primitiva, mas com maior índice de vazios, devido à perda de CO₂. A cal virgem, assim obtida, tem uma coloração branca e combina-se facilmente com a água, transformando-se em hidróxido de cálcio, comumente denominado de cal extinta. A reação de hidratação é exotérmica, pois se realiza com grande desprendimento de calor.



Quanto à sua composição química, existem dois tipos de cales (Alves, 1974):

- a) Cálccicas, no mínimo 75% de CaO
- b) Magnesianas, no mínimo 20% de MgO.

Define-se por rendimento da cal, a quantidade de cal virgem necessária para produzir certa quantidade de cal em pasta. Quanto ao rendimento, classificam-se as cales em:

- a) Cal Magra - rendimento inferior a 1,82
- b) Cal Gorda - " superior a 1,82.

Além do rendimento determinado de acordo com a consistência da pasta, a cal apresenta outras propriedades, sendo as principais:

- a) Plasticidade
- b) Endurecimento
- c) Retração.

Plasticidade - define a facilidade ou dificuldade de manuseio com as pastas ou argamassas de cal. Através das experiências conclui-se que a cal cálcica produz uma certa argamassa menos trabalhável que a cal magnésiana.

Endurecimento - Importante no estudo da estabilização da argila-orgânica com cal virgem; o endurecimento ocorre com a absorção do CO_2 , sã se realizando fora d'água.

Retração - Na ocasião da carbonatação do hidróxido, ocorre uma certa perda de volume, denominada retração.

3.2 - ESTABILIZAÇÃO COM CAL

O solo-cal é um produto de estabilização físico-química visando a melhoria permanente das características do solo e aumentando sua resistência à ação da água e seu poder de suporte.

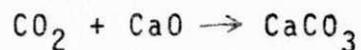
Quando adicionamos ao solo a cal virgem, diversos tipos de reações químicas ocorrem. Normalmente um certo número de reações surge no instante da mistura do solo úmido com cal virgem, tornando-se difícil a sua identificação. Algumas dessas reações já foram detectadas e analisadas (Herrin, 1968) as mais importantes, até então analisadas são:

- 1) Troca de íons
- 2) Flocculação e aglomeração
- 3) Carbonatação
- 4) Reação puzolânica ou cimentante.

1. Reação de troca de íons e floculação: ao se misturar a cal com o solo argiloso úmido, deixando curar por um certo tempo, o solo torna-se feicível até atingir uma condição idêntica ao silte.

2. Reação puzolânica - Nesta reação existem formações de gels cimentícios conferindo a mistura solo-cal um considerável aumento na sua resistência.

3. Reação de carbonatação: o dióxido de carbono reage com a cal virgem formando o carbonato de cálcio.



Reação de grande importância para a resistência do solo, tendo em vista que o CO_2 além de participar no ar sob condições normais faz parte, também, das matérias orgânicas.

A reação de carbonatação produzirá os carbonatos que são cimentos fracos, impedindo que a resistência normal seja alcançada.

Com base nesta revisão bibliográfica, pode-se afirmar que:

1) Ao se adicionar cal virgem a um solo argilo-orgânico, a resistência do solo aumentará com o tempo de cura.

2) A quantidade de cal adicionada influi consideravelmente no aumento da resistência do solo.

3) Devido a floculação das partículas de argila, o solo torna-se mais grão e friável.

4) O limite de liquidez normalmente decresce com o acrêscimo de cal adicionada ao solo.

5) O limite de plasticidade aumenta com o acrêscimo de cal adicionada ao solo.

6) A cal tende a diminuir consideravelmente as mudanças de volume que se dão nos solos argilo-orgânicos.

TIPOS DE ESTABILIZAÇÃO COM CAL

A National Lime Association, dos Estados Unidos, distingue três tipos de estabilização com cal.

- 1) Estabilização do subleito
- 2) " da camada de base
- 3) Solo modificado com cal.

PROJETO DA MISTURA SOLO-CAL

Deve-se, sempre, em todos os casos em que se deseje uma estabilização com cal, proceder-se a um estudo para fixação do teor de cal mais adequado. Torna-se, então, necessário caracterizar o solo sem tratamento e a seguir misturar o mesmo com porcentagens variáveis de cal, dentro dos limites práticos indicados para cada caso e proceder-se aos ensaios de granulometria, equivalente de areia, limite de plasticidade e limite de liquidez e também a ensaios de resistência à compressão simples não confinada e do valor do CBR. Recomenda-se que a cura seja feita a 7 dias, sendo conveniente, em alguns casos, verificar-se se existe aumento dos valores citados para períodos de cura maiores. Como não se tem elementos definidos de uma estabilização com cal, recomenda-se, para o caso de bases estabilizadas, que sejam adotadas as especificações de granulometria, LL, IP, EA e CBR das especificações de bases estabilizadas granulometricamente.

PROCESSOS CONSTRUTIVOS:

Os processos de construção usados, tanto para o solo-cal como para o solo melhorado com cal, são semelhantes, variando apenas nos detalhes. Basicamente incluem o seguinte: Escarificação e pulverização (caso do subleito do próprio local), pulverização no caso de sub-bases, reforço ou base com material de jazidas, espalhamento do solo e da cal, mistura seca e mistura úmida, compactação e acabamento.

Quando se utiliza a cal para estabilização da cama-

da de sub-base, reforço ou base, podem-se empregar os processos de mistura no local, com os mesmos equipamentos do solo-cimento ou então em usinas móveis ou fixas.

Vejamos cada caso:

1) Escarificação e pulverização

1.1) Regularizar o subleito tanto no sentido transversal como no longitudinal (1.^a providência).

1.2) Em seguida, escarificá-lo na espessura previamente determinada e em toda largura de faixa a ser estabilizada. Todos os materiais deletérios, como raízes, turfa, etc, devem ser retirados e jogados fora.

2) Distribuição de Cal:

Tem-se 2 métodos:

2.1) Aplicação de cal em pó (condicionada em sacos).

2.2) Aplicação a granel, por meio de caminhões apropriados, munidos de um espalhador adequado, que permita uma distribuição uniforme.

3) Mistura preliminar e umedecimento:

A mistura preliminar é necessária para que a cal seja perfeitamente distribuída na massa do solo, tanto na largura como na profundidade especificadas e ainda facilitar a pulverização de modo que sejam desmanchados os torrões de argila e que o solo passe na peneira de 2". Durante a operação da mistura e pulverização, deve-se adicionar água ao solo, de tal modo que a mistura solo-cal fique com um teor de umidade de 5% acima da umidade ótima de compactação. Completada a mistura preliminar, deve-se conformar a camada na secção transversal projetada, de modo aproximado, e a seguir compactá-la levemente antes da cura.

4) Cura preliminar

Recomenda-se que a mistura solo-cal seja curada de 0 a 48 horas para permitir que a cal e a água exerçam sua a-

ção desmanchando os torrões ou amolecendo-os.

5) Mistura final e pulverização

Após a cura preliminar, deve-se continuar a mistura e a pulverização, de tal modo que o solo passe numa peneira de 1" e que se tenha um mínimo de 60% retido na peneira nº 4, isenta de qualquer fração não hidratada.

6) Compactação

Recomenda-se compactar a 100% do ensaio AASHO Normal e o grau de compactação deve ser obtido do solo-cal misturado.

7) Cura final

Após as operações descritas acima, segue-se a cura final, por um período de 3 dias, para o perfeito endurecimento da camada tratada, antes da colocação das demais camadas do pavimento.

CIMENTO

- ESTUDO DO CIMENTO
- ESTABILIZACAO DE BASE DE SOLO CIMENTO

3.3 - ESTUDO DO CIMENTO

- COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O cimento portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica.

O cimento portland resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até fusão incipiente (\pm 30% de fase líquida) de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo que o teor de SO_3 não ultrapasse 3,0% a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água.

Para facilitar o estudo dos compostos do cimento, é corrente considerá-los formados pela associação de corpos binários contendo oxigênio, aos quais se dá o nome de componentes.

É costume também, dar destaque a esses componentes, nas fórmulas dos compostos complexos que constituem o cimento.

Os componentes principais, cuja determinação é feita a partir de uma análise química, são: Cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), álcalis (Na_2O e K_2O) e sulfatos (SO_3).

- HIDRATAÇÃO DO CIMENTO

O cimento portland é constituído por um certo número de compostos, cujas reações são a origem do processo de endurecimento. Consequentemente, antes de estudar o mecanismo

do endurecimento, impõe-se examinar a natureza das reações destes compostos com a água.

Os compostos presentes no Portland são anidros, mas, quando postos em contato com a água, reagem com ela, formando produtos hidratados. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Na hidratação, há formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros, de maneira que, na zona de transição (zona intermediária entre o cristal primário e o gel), a solução é supersaturada em relação aos compostos hidratados.

- PEGA E ENDURECIMENTO

As normas francesas classificam os cimentos, de acordo com o tempo de início de pega, em:

cimento de pega rápida < 8 minutos

" " " semilenta, 8 a 30 minutos

" " " lenta (normal), 30 minutos a 6 horas

" " " muito lenta, > 6 horas.

Nas condições brasileiras são adotados a seguinte ordenação:

pega rápida < 30 minutos

" semi-rápida, 30 a 60 minutos

" normal > 60 minutos.

- ESPECIFICAÇÕES

A especificação EB-1 da ABNT classifica os cimentos portland comuns em 3 tipos: 250, 320 e 400.

Com relação à resistência à compressão, o ensaio executado em corpos de prova cilíndricos deverá dar os seguintes

valores mínimos, obtidos pela média de 6 corpos de prova:

IDADE EM DIAS	Resistência em kgf/cm^2 (mínima)		
	Tipo 250	Tipo 320	Tipo 400
3	80	100	140
7	150	200	240
28	250	320	400

O nosso estudo foi feito com o Portland 320.

3.4 - ESTABILIZAÇÃO DE BASE DE SOLO CIMENTO

A base de solo cimento pode ser considerada como uma base rígida, e definida como sendo a mistura de um solo pulverizado com água e cimento, aumentando sua resistência e estabilidade e sendo muito mais durável que um solo sem tratamento. Os fatores que influem na qualidade do solo cimento, são, principalmente: tipo de solo, teor de cimento, água compactação e métodos de mistura.

Processos de construção do solo cimento:

a) Mistura no local

b) Máquinas móveis

I - as que escarificam, pulverizam, misturam, umedecem e espalham o material;

II - as que elevam o material, pulverizam e misturam fora da estrada.

c) Máquinas fixas: betoneiras, ou então, grandes centrais fixas.

Um dos processos mais usados é o de mistura no local.

MISTURA NO LOCAL

Operações de execução deste método:

- 1) Pulverização e determinação da umidade natural
- 2) Distribuição e Espalhamento do cimento
- 3) Mistura do cimento com o solo pulverizado
- 4) Adição de água à mistura do solo-cimento
- 5) Mistura de solo-cimento umedecido
- 6) Compactação e acabamento
- 7) Cura
- 8) Preparo e execução do novo trecho.

Fatos que podem ocorrer durante a construção de uma base de solo-cimento: - Juntas
- Excesso de cimento
- Chuva.

Principais controles que devem ser efetuados no cam
po, durante a construção do solo-cimento:

- 1) Escarificação;
- 2) Granulometria;
- 3) Pulverização;
- 4) Finura do cimento;
- 5) Espalhamento do cimento e da água;
- 6) mistura do cimento e controle da quantidade de cimento adi
cionada;
- 7) Umidade ótima;
- 8) Densidade (compactação);
- 9) Resistência à compressão.

EMULSÃO

- ESTUDO DA EMULSÃO
- BASE ESTABILIZADA COM MATERIAL BETUMINOSO

3.5 - ESTUDO DA EMULSÃO

As emulsões asfálticas são suspensões relativamente estáveis, de materiais asfálticos finamente divididos em pequenos glóbulos, numa fase contínua, constituída pela água.

As emulsões são obtidas combinando com a água o asfalto aquecido, em meio intensamente agitado e na presença de agentes chamados emulsificantes, que têm a finalidade de dar certa estabilidade à mistura, de favorecer a dispersão e de revestir os glóbulos de betume de uma película protetora, mantendo-os em suspensão.

Os emulsificantes são divididos em duas grandes categorias: aniônicos e catiônicos.

O emulsificante tem três funções principais: diminuição do trabalho de laminagem; estabilização e influência sobre o modo como se processa a ruptura.

Um outro fator importante nas emulsões asfálticas é a sua estabilidade. As emulsões são sistemas instáveis termodinâmicos. Os fatores que contribuem para a floculação são: concentração do componente emulsificante, decantação e movimento browniano. Reconhecem-se pelo menos cinco tipos de estabilidade das emulsões asfálticas: química, estocagem, congelamento, mecânico e mistura.

Emulsões catiônicas: são aquelas em que se empregam agentes emulsificantes especiais, cuja superfície tensoativa está carregada positivamente, apresentando boa adesividade aos agregados cujas cargas elétricas superficiais são eletronegativas. (Ver fig. I)

Emulsões aniônicas: são aquelas cuja superfície tensoativa está carregada com cargas elétricas negativas, tendo boa adesividade aos agregados do tipo eletropositivo. Na presença de agregados do tipo eletropositivo não possuem boa ade

sividade, necessitando empregar-se um dope de adesividade (Ver fig. II).

Entre as vantagens das emulsões de ambos os tipos, destacam-se o transporte, a estocagem e a aplicação a frio.

As emulsões catiônicas de ruptura rápida são designadas por RR-1K e RR-2K e as de ruptura lenta são designadas por RL-1K e RL-2K.

As emulsões aniônicas de ruptura rápida são designadas por RR-1 e RR-2 e as de ruptura lenta por RL-1 e RL-2.

3.6 - BASE ESTABILIZADA COM MATERIAL BETUMINOSO

Consiste na mistura de solos pulverizados (argila, silte e areia) de jazidas próximas do local de trabalho, com água e com material betuminoso, com a finalidade de alterar ou melhorar as propriedades dos solos de modo que apresentem características para funcionarem com material estabilizado para base ou sub-base, impermeabilizando o solo e aumentando o seu valor de suporte.

- DETERMINAÇÃO DO TEOR DE BETUME

A quantidade de betume necessária varia em torno de 4% a 6% em peso do solo seco, sendo função da quantidade de argila, silte, areia, vazios e densidade do solo. Quanto mais fino o solo (argiloso) maior será a quantidade de betume usado, porém um excesso causará uma diminuição na estabilidade, pois o betume passará a agir como lubrificante.

Deve-se, portanto, na dosagem, procurar a quantidade ótima de betume que dê a melhor condição de estabilidade.

- MÉTODO DE CONSTRUÇÃO:

São as seguintes operações empregadas na construção:

- 1) Preparo do sub leito;
- 2) Escarificação (material do próprio leito);
- 3) Mistura dos materiais e espalhamento;
- 4) Umedecimento e espalhamento de betume;
- 5) Aeração;
- 6) Compactação;
- 7) Redução do teor de solvente;
- 8) Acabamento.

- CONTROLES DE EXECUÇÃO:

- Controle tecnológico:

- 1) Determinação da análise granulométrica do solo e índices físicos;
- 2) Determinação do grau de pulverização;
- 3) " da porcentagem de aeração;
- 4) " " umidade ótima do solo;
- 5) " do teor de betume;
- 6) Ensaio de estabilidade;
- 7) Determinação da densidade de campo, para controle do grau de compactação.

- Controle geométrico:

- 1) Determinação da espessura da camada compactada;
- 2) Nivelamento do eixo e dos bordos, admitindo-se $\pm 0,02m$ em relação às cotas do projeto.

- 3) Admite-se 0,3% da largura de regularização adotada, para a diferença de cota entre os dois bordos dos trechos em tangente e o máximo de 20% em excesso para a flecha de abaulamento.

CAPÍTULO IV

DESCRIÇÃO DO SOLO

- LOCALIZAÇÃO
- DESCRIÇÃO GEOLÓGICA
- CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

4.1 - LOCALIZAÇÃO

Para a retirada de amostras deformadas escolheu-se a rua Odon Bezerra, situada no Bairro da Liberdade, na cidade de Campina Grande.

Os furos de sondagens foram efetuados com o trado manual, de tal forma que o solo apresentasse características semelhantes minimizando variações do material retirado.

4.2 - DESCRIÇÃO GEOLÓGICA

4.2.1 - ASPECTOS GEOGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS

4.2.1.1 - Localização e Clima

Campina Grande, Estado da Paraíba, está integrada no grande traço fisiográfico regional que é o planalto da Borborema. O patamar topográfico sobre o qual ele se localiza está entre 500 a 600 metros de altitude, mais precisamente a 527 metros (Sudene, 1978).

As suas coordenadas geográficas estão orientadas de $7^{\circ}13'$ de latitude sul e de $35^{\circ}53'$ de longitude a oeste de Greenwich.

De acordo com a classificação de Koeppen o tipo de clima que ocorre é o BSh, ou seja, seco e semi-árido com chuvas de verão escassas e irregularmente distribuídas durante o ano. A temperatura média anual é sempre inferior a 25°C , com precipitação pluviométrica anual em torno de 688,5mm (Sudene, 1978).

A umidade relativa média do ar é de 76,5%, sendo que no verão é da ordem de 60% e no inverno de 80%.

A evaporação média anual é de 1417 mm, significando uma deficiência hídrica que irá influir no processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas de sua área (Sudine, 1978).

4.2.1.2 - Hidrografia e Vegetação

A fraca precipitação aliada à elevada taxa de evaporação, como também a natureza arenosa do solo são fatores que contribuem para o sistema hidrográfico ser constituído por rios temporários. Se enquandram nesses casos, os rios Bodocongõ, Riacho do Marinho, Catolê e outros menores.

Sobre o solo areno-argiloso originado de rochas clásticas e devida ao clima semi-árido se desenvolve a vegetação típica da caatinga hiperxerófitas com domínio de cactáceas, mandacaru, entremeadas de alguns arbustos e árvores lenhosas (Sudene, 1978)

4.2.1.3 - Estudo das Jazidas:

Ensaio e Metodologias utilizadas

Ao longo de toda profundidade do furo de sondagem, foram coletadas amostras para realização dos seguintes ensaios: apresentados no gráficos I e II (laboratório e campo), com seus métodos utilizados.

4.2.1.4 - Estudo do trecho - teste experimental

4.2.1.4.1 - Levantamento e Identificação do material existente

Para o lançamento do perfil longitudinal da rua Odon Bezerra, executou-se um levantamento cuja demarcação partiu da confluência desta rua com a rua Almirante Barroso, num total

de 46 estacas mais 6,00 m até a rua Assis Chateaubriand. Um pequeno trecho se encontra pavimentado com capeamento de concreto asfáltico da estaca 0 à 10 + 6,00 m ou seja, até a confluência com a rua Getúlio Cavalcanti. Desse modo, o trecho experimental deverá ser executado a partir desta rua até confluência com a Avenida Assis Chateaubriand, num total de aproximadamente 700 m (38 estacas).

A declividade média longitudinal conforme levantamento topográfico é da ordem de 2,3%. Objetivando eliminar ou praticamente evitar a influência de águas residuárias e pluviais no desempenho e no comportamento dos diversos tipos de pavimentos a serem testados foi executado um projeto de drenagem ao longo de toda a rua Odon Bezerra.

4.3 - CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Verificou-se que as jazidas se situam segundo a classificação proposta pelo HRB, no grupo A-2-4.

CAPÍTULO V

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

- RETIRADA DE AMOSTRAS
- PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

5.1 - RETIRADA DE AMOSTRAS

Foi realizada com o trado manual.

5.2 - PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para preparação das amostras obedeceu-se a seguinte sequência:

- 1) O material chega do campo e coloca-se para secar.
- 2) Pesa-se o material, tendo o cuidado de zerar a balança com o recipiente em seu prato (prato de balança).
- 3) Conhecendo-se o peso do material, calcula-se o peso da cal virgem, do cimento e da emulsão e coloca-se no recipiente.
- 4) Faz-se a mistura da cal com o solo, procurando homogeneizar bem e evitando a perda da umidade. (A mistura com o cimento e a emulsão é feita após concluídos os ensaios com a cal).
- 5) Tira-se uma amostra para determinação da umidade da mistura.
- 6) Coloca-se a mistura no molde, efetuando-se compactação manual, com um soquete, em 3 camadas.
- 7) Retira-se a cabeça do molde e faz-se o acabamento da face superior da amostra.
- 8) Faz-se a pesagem da mistura no molde.
- 9) Com um macaco hidráulico retira-se a amostra do molde efetuando-se a sua pesagem.
- 10) Em seguida, rompe-se os corpos de prova na prensa, isto para os corpos de prova a 0 dia.

11) Para dia de cura de 7 e 28 dias, os corpos de prova são colocados em sacola de plástico, todos os corpos de prova de mesmo teor de aditivos, de forma que são deixados na câmara úmida, para serem curadas.

Este procedimento foi realizado para preparação dos corpos de prova com:

cal e cimento: 1,5%, 3%, 4,5% e 6%

emulsão: 1%, 2%, 4% e 6%.

A cura das amostras preparadas com os aditivos cal, cimento e emulsão, bem como suas condições influenciam consideravelmente a resistência do solo misturado com estes aditivos. As amostras foram rompidas em diferentes tempos de cura: 0, 7 e 28 dias.

As amostras foram pesadas para verificar se houve ou não variação do seu peso durante a cura, verificando-se também a perda de umidade.

QUADRO I

% de cal	Tempo de cura (dias)			Total de amostras
	0	7	28	
1,5	15	15	15	45
3,0	15	15	15	45
4,5	15	15	15	45
6,0	15	15	15	45
TOTAL DE AMOSTRAS				180

QUADRO II

% de cimento	Tempo de cura (dias)			Total de amostras
	0	7	28	
1,5	15	15	15	45
3,0	15	15	15	45
4,5	15	15	15	45
6,0	15	15	15	45
TOTAL DE AMOSTRAS				180

QUADRO III

% de emulsão	Tempo de cura (dias)			Total de amostras
	0	7	28	
1,0	15	15	15	45
2,0	15	15	15	45
4,0	15	15	15	45
6,0	15	15	15	45
TOTAL DE AMOSTRAS				180

Obs: Foi tomada para resultado final, a média dos corpos de prova.

CAPÍTULO VI

MÉTODOS DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Ao longo de toda a profundidade do furo de sondagem foram coletadas amostras para realização dos ensaios apresentados nas Tabelas I e II e a metodologia usada para cada ensaio.

O teor de umidade natural no campo foi determinado segundo três maneiras diferentes, a saber: pelo método do álcool, estufa e do Speedy, sendo que um destes foi utilizado para o cálculo da densidade do material "in situ". Na Tabela III estão os resultados do teor de umidade natural do material ao longo do perfil da rua Odon Bezerra.

TABELA I

TIPOS DE ENSAIOS	MÉTODOS UTILIZADOS
Granulometria por Peneiramento	DNER-MG 80-64
Limites de Atterberg	DNER-MG 82-63 e MG 44-71
Densidade Real	DNER-MG 93-64
Compactação c/amostra ã amolgado	DNER-MG 47-64
C.B.R.	DNER-MG 91-64
Compressão Simples	DNER-MG 91-64
Tensão de Tração Indireta	Lobo Carneiro

TABELA II

TIPOS DE ENSAIOS	MÉTODOS UTILIZADOS
Densidade in situ do sub-leito	DNER-MG 92-64
Umidade natural do sub-leito de 20 em 20 cm até 1,20 m	DNER-MG 88-64
Determinação do lençol freático	Visual

CAPÍTULO VII

RESULTADOS FINAIS

7.1. Valores máximos das resistências para as unidades médias de moldagem com os respectivos teores de cal e tempo de cura

Tab 7.1-A - Tempo de cura 0 dia

Tab 7.1-B - " " " 7 dias

Tab 7.1-C - " " " 28 dias

7.2. Valores máximos das resistências para as unidades médias de moldagem com os respectivos teores de cimento e tempo de cura

Tab 7.2-A - Tempo de cura 0 dia

Tab 7.2-B - " " " 7 dias

Tab 7.2-C - " " " 28 dias

7.3. Valores máximos das resistências para as unidades médias de moldagem com os respectivos teores de emulsão e tempo de cura

Tab 7.3-A - Tempo de cura 0 dia

Tab 7.3-B - " " " 7 dias

Tab 7.3-C - " " " 28 dias

7.4. Resistências correspondentes aos teores ótimos de umidade para 7 dias de cura

Tab 7.4-A - cal

Tab 7.4-B - cimento

Tab 7.4-C - emulsão

7.5. Relação entre as máximas resistências (RCS, RTI e CBR)
versus teores de aditivos para 7 dias de cura

Fig 7.5-A - cal

Fig 7.5-B - cimento

Fig 7.5-C - emulsão

7.6. Relação entre as resistências correspondentes aos teores
ótimos de umidade versus teores de aditivo para 7 dias de
cura

Fig 7.6-A - cal

Fig 7.6-B - cimento

Fig 7.6-C - emulsão

Legenda:

RCS (Kg/cm^2)

RTI (Kg/cm^2)

CBR (%)

CAL

Tab: 7-1-C

TEMPO DE CURA - 28 DIAS

1.5%			3.0%			4.5%			6.0%									
U %	Res K _s /K ₂	U %	Res K _s /K ₂	U %	RTI K ₂ /K ₁	U %	Res K _s /K ₂	U %	RTI K ₂ /K ₁	U %	Res K _s /K ₂	U %	RTI K ₂ /K ₁	U %	Res K _s /K ₂	U %	CBR %	
8.3	1.00	6.3	7.9	4.43	6.6	0.33	8.3	3.70	6.4	0.35	8.0	3.12	6.4	0.25	8.0	3.12	6.4	0.25
8.8	1.02	8.0	10.0	7.11	8.5	0.28	8.5	4.95	8.2	0.30	9.1	3.47	6.6	0.60	9.1	3.47	6.6	0.60
11.1	0.95	10.0	10.8	4.05	9.4	0.30	11.0	3.19	8.9	0.43	10.6	10.02	8.5	0.61	10.6	10.02	8.5	0.61
11.7	1.23	11.6	11.9	3.30	11.1	0.14	12.3	3.42	10.9	0.43	11.8	4.21	10.5	0.38	11.8	4.21	10.5	0.38
14.2	1.13	12.8	14.1	2.38	12.7	0.14	14.7	3.28	12.3	0.24	13.3	3.03	11.2	0.21	13.3	3.03	11.2	0.21

250

200

150

100

50

50

100

150

TEMPO DE CURA - ZERO (0) DIAS																	
1.5%			3.0%			4.5%			6.0%								
U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %	U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %	U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %
6.7	1.76	7.2	0.09	6.0	56.2	6.5	1.20	6.6	0.15	6.6	50.5	6.5	1.22	6.2	0.17	6.2	47.6
7.8	1.10	8.8	0.09	7.5	49.0	8.5	1.41	8.2	0.09	7.6	53.0	8.5	1.27	6.5	0.11	6.3	53.8
9.4	1.13	11.6	0.13	9.6	47.7	9.0	1.30	9.7	0.09	9.2	56.0	9.0	1.37	8.9	0.13	8.4	53.6
11.1	1.06	11.3	0.11	11.4	3.8	10.8	0.93	10.6	0.09	10.3	14.9	10.8	1.21	10.0	0.11	10.5	19.8
12.1	0.98	12.8	0.08	14.7	2.5	12.0	0.70	12.2	0.09	11.8	5.5	12.0	0.79	12.2	0.09	11.9	6.3
7 DIAS																	
1.5%			3.0%			4.5%			6.0%								
U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %	U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %	U %	Res Kg/m ³	U %	RTI Kg/cm ²	U %	CBR %
6.6	2.54	6.6	0.33	6.3	43.0	6.3	7.36	6.5	1.05	6.2	55.2	6.7	12.11	7.2	2.16	6.0	15.2
8.3	2.16	8.2	0.27	7.6	57.5	7.5	10.73	7.9	1.23	7.5	141.9	8.0	15.20	8.7	3.38	7.3	55.99
9.5	2.55	9.5	0.42	9.0	64.1	9.1	10.70	9.0	1.26	9.0	174.6	9.0	35.96	10.3	1.98	9.0	55.53
10.9	1.83	11.1	0.16	10.0	84.5	12.1	6.60	10.8	0.72	10.7	154.3	10.4	17.26	11.8	1.24	10.1	31.25
12.7	1.61	11.7	0.15	12.0	28.8	13.0	4.10	12.0	0.56	12.0	113.0	11.7	13.15	12.7	1.25	12.3	27.35
VALORES MÁXIMOS DAS RESISTÊNCIAS PARA OS CUMPRIMENTOS MÉDIAS DE MOLDA GENIS																	
CONV. E INEFECTIVOS T. E. DE ATIV. DE CURA																	

TEMPO DE CURA - 28 DIAS

1.5%		3.0%		4.5%		6.0%	
U %	RCS KSI/2	U %	RTI KSI/2	U %	RCS KSI/2	U %	RTI KSI/2
7,7	3,48	7,8	0,28	6,3	8,46	6,3	0,82
9,7	5,13	8,3	0,19	8,2	1,04	7,6	1,05
10,7	5,58	10,7	0,26	10,2	1,57	9,4	1,40
11,5	4,90	11,0	0,24	11,1	9,84	11,3	0,45
13,6	2,66	12,4	0,15	12,3	7,91	12,2	0,90

TEMPO DE CURA - 7 DIAS

1.5%		3.0%		4.5%		6.0%	
U %	RCS KSI/2	U %	RTI KSI/2	U %	RCS KSI/2	U %	RTI KSI/2
6,6	3,22	6,6	0,43	6,8	10,03	6,6	1,25
8,3	4,04	8,2	0,41	7,6	59,5	8,4	1,18
9,8	4,73	9,5	0,25	8,8	10,70	10	1,34
10,9	3,53	11,1	0,30	10,0	5,69	11,1	0,93
12,7	3,41	11,7	0,28	12,0	2,44	13,1	0,64

VALORES MAXIMOS DAS RESISTENCIAS PARA AS UNIDADES E MÉDIAS DE MOLDFEM COM OS RESPECTIVOS TIPOS DE ELEMENTO E TEMPO DE CURA.

0 50 100 150 200 250

FIG: 7.4-B

ADITIVO: CIMENTO

TEMPO DE CURA (DIAS)	1,5%				3,0%				4,5%				6,0%							
	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %
07	9,5	4,58	0,40	1950	77,0	12,1	2,50	0,81	1917	98,0	10,7	16,0	1,44	1890	156	7,3	26,00	4,00	1857	225

FIG: 7.4-A

ADITIVO: CAL

TEMPO DE CURA (DIAS)	1,5%				3,0%				4,5%				6,0%							
	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %
07	10,4	0,65	0,05	1992	7,4	11,5	0,84	0,10	2080	26,4	10,2	1,16	0,16	1932	21,6	10,9	1,62	0,15	2002	37,0

FIG: 7.4-C

ADITIVO: EMULSAO

TEMPO DE CURA (DIAS)	1,0%				2,0%				4,0%				6,0%							
	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %	U %	Res Kg/c ²	RTI Kg/c ²	$\delta_{s_{max}}$ Kg/c ²	CBR %
07	10,5	8,70	1,04	2000	28,5	9,9	6,5	0,78	1980	38	9,3	3,60	0,34	1915	17,5	9,5	1,76	0,16	1954	8,5

RESISTENCIAS CORRESPONDENTES AOS TESTES ÓTIMOS DE UNIDADE PARA 7 (SETE) DIAS DE CURA.

Fig. 7.5-A

RESISTENCIA

40

20

0,0

1,5

3,0

4,5

6,0

7,0

FIG. 5

RELACAO ENTRE AS MAXIMAS RESISTENCIAS (RCS)
(RTI ETCBR) VERSO TEMPO DECAL PADA
7 DIAS DE CURA.

LEGENDA

⊙ RCS (Kg/cm²)

X RTI (Kg/cm²)

▲ CBR

0

50

100

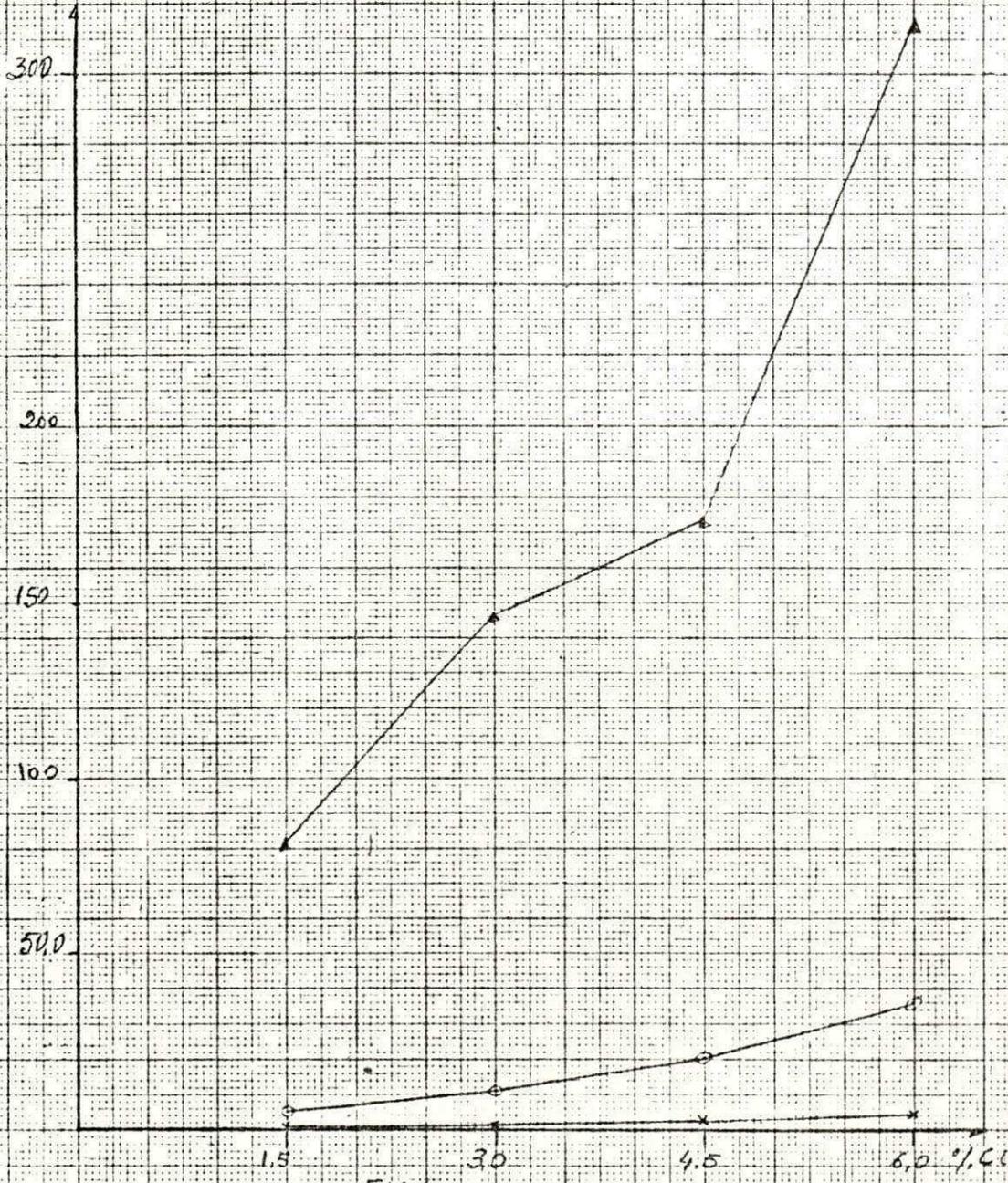
150

Fig: 7.5-B

MILIMETRADO A4 210x297mm

RESISTÊNCIAS

RTI



FIS-4

RELAÇÃO ENTRE AS MÁXIMAS RESISTÊNCIAS (RCS, RTI E CBR) VERSO TEORES DE CIMENTO PARA 7 DIAS DE CURA

LEGENDA:
 ○ RCS (Kg/cm²)
 × RTI (Kg/cm²)
 ▲ CBR

Cód. 13141

$RTI = \frac{RCS}{10.7}$ $12 \times 11.79 + 10.5$

FIG. 7.5-C

MILIMETRADO A4 210x297mm

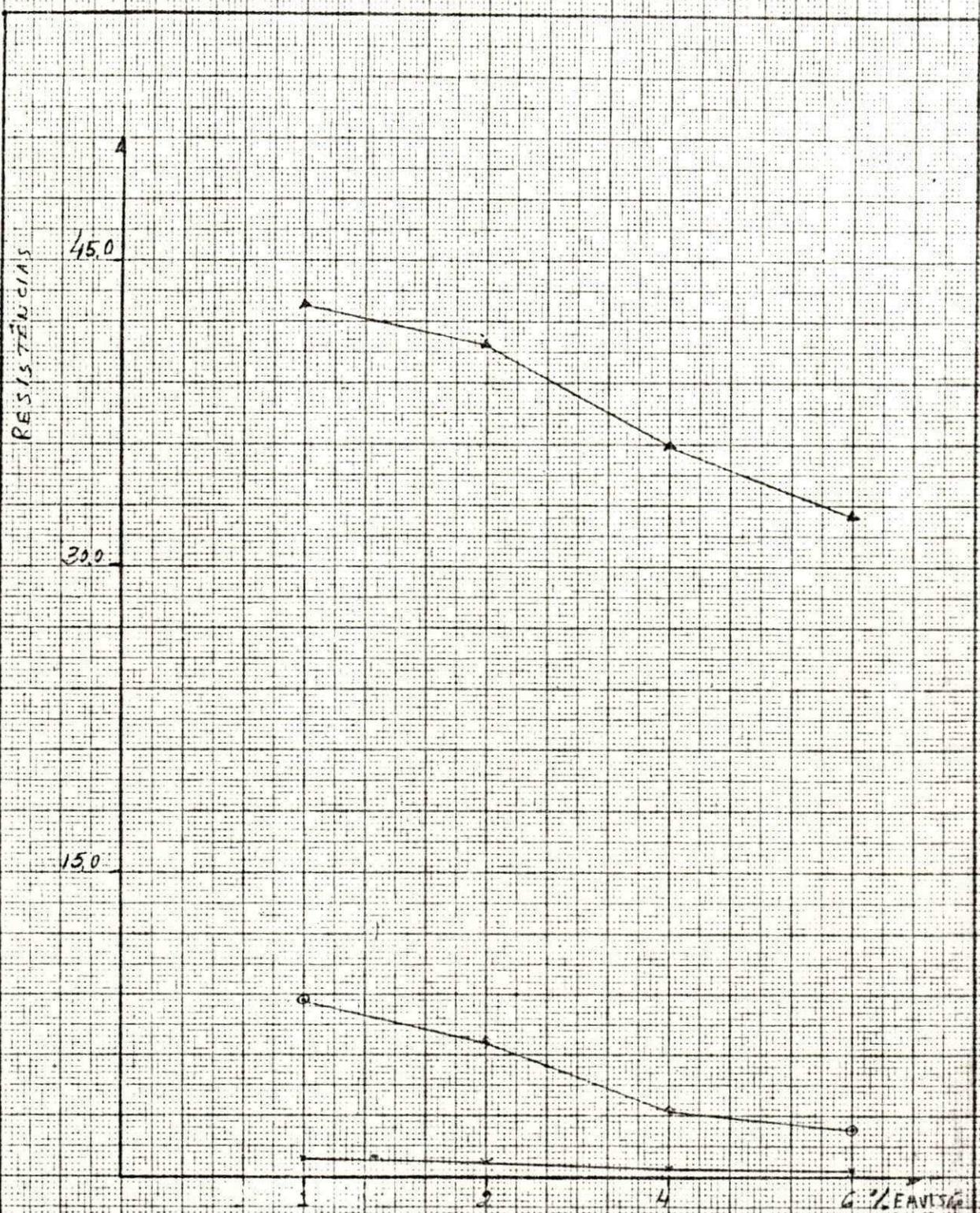


FIG. 6

RELACÃO ENTRE AS MÁXIMAS RESISTÊNCIAS (RCS, RTI E CBR), VERSO TEORES DE EMULSÃO PARA 7 DIAS DE CURA.

LEGENDA:
 ○ RCS (Kg/cm²)
 × RTI (Kg/cm²)
 ▲ CBR

CDD. 15141

FIG: 7-6-A

RESISTÊNCIA

450

300

200

1.5

3.0

4.5

6.0

1/CAL

FIG. 2

RELACÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS (RCS, RTI E CBR) CORRESPONDENTES AOS TEORES ÓTIMOS DE UMIDADE, VERSO TEORES DE CAL, PARA 7 DIAS DE CURA.

LEGENDA:

- RCS (Kg/cm²)
- x RTI (Kg/cm²)
- △ CBR

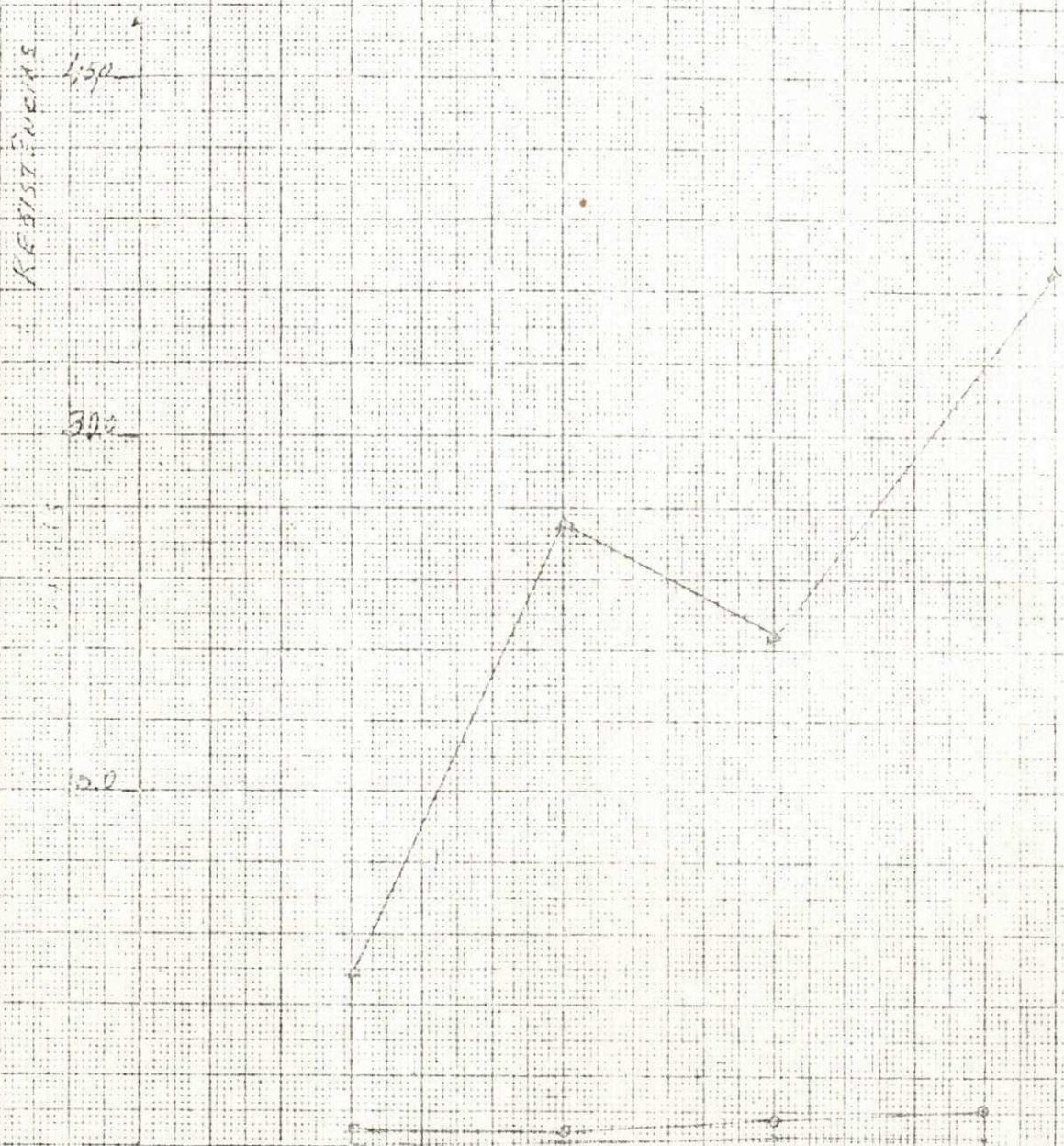
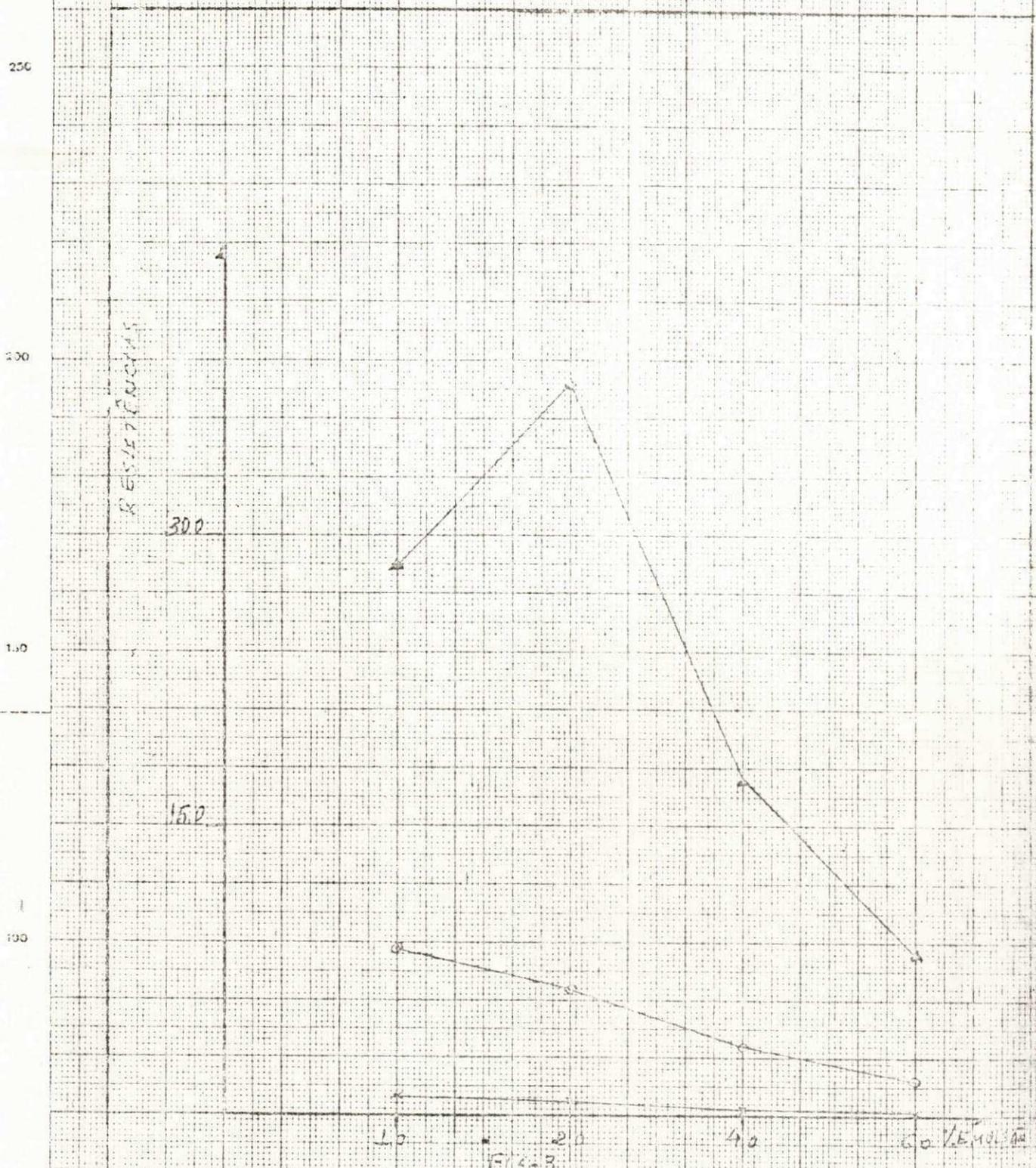


FIG: 7-6.C



RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS (RCS, RTI E CBR) CORRESPONDENTES AOS TEORES ÓTIMOS DE UNIDADE VERSO TERCEIROS DE EMULSÃO PARA 7 DIAS DE CURA

LEGENDA:

- RCS (kg/cm²)
- × RTI (kg/cm²)
- △ CBR

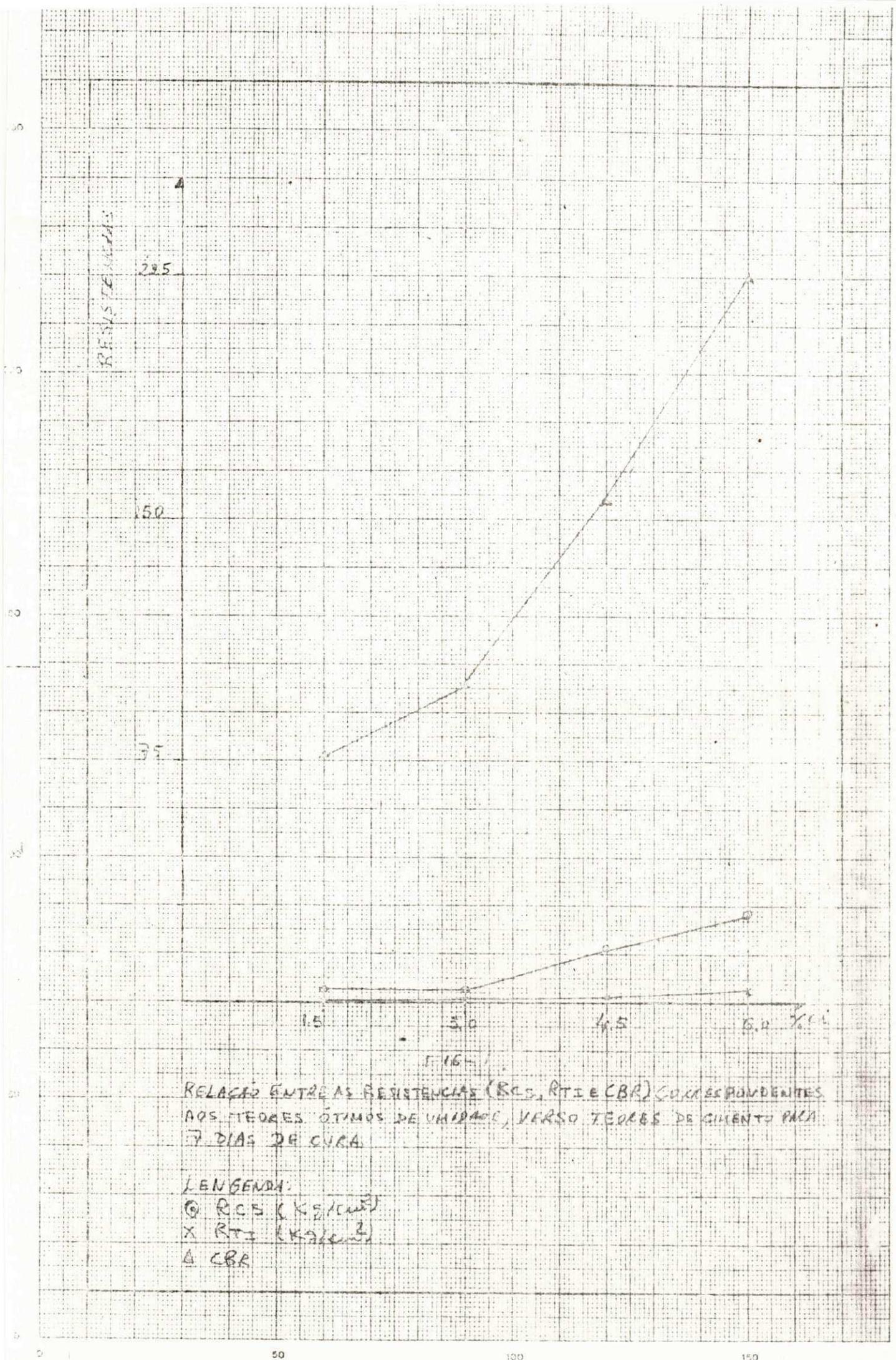


FIG. 16
 RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS (RCS, RTI E CBR) CORRESPONDENTES AOS TEORES ÓTIMOS DE UNIDADE, VERSO TEORES DE CIMENTO PARA 7 DIAS DE CURA.

LEGENDA:
 ○ RCS (kg/cm²)
 × RTI (kg/cm²)
 △ CBR

Fig - 7.6.B

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES

8.1. Analisando as Figs 7.5, o que se verifica é o seguinte :

- 1) À medida que aumenta os teores de cal e cimento ao solo aumenta-se a resistência. Já para a emulsão ocorre o contrário, ou seja, para teores maiores, a resistência do solo diminui.
- 2) Dos três ensaios de resistência utilizados, o de CBR é o mais aconselhável em vista de apresentar maiores resistências. *so ??*
- 3) O de compressão diametral é o menos aconselhável, em vista de se obter baixas resistências. Verifica-se também que os teores de aditivos quase não influem nos resultados, ou seja, usar 3% ou 6% do aditivo o valorda resistência é praticamente a mesma.

8.2. Analisando as Figs 7.6, verifica-se que:

- 1) Para o teor de cal entre 3% e 4,5% há uma queda brusca da resistência, tornando-se a aumentar a partir de 4,5% em diante, isto para o ensaio de CBR. Para os demais o aumento é proporcional ao teor.
- 2) Para emulsão a resistência diminui na proporção que vai aumentando o teor deste aditivo. Verifica-se somente um aumento desta resistência no ensaio da CBR entre os teores de 1% e 2% diminuto a partir deste teor.

3) Para o cimento, o aumento é proporcional ao teor. No ensaio de C. Simples ente 1,5% e 3,0% a resistência não sofre alteração, ou seja, é constante.

8.3. O tempo de cura de 7 dias é o que apresenta um melhor resultado.

CAPÍTULO IX

SUGESTOES E RECOMENDAÇÕES

Para que os resultados sejam aplicados na prática da engenharia e para pesquisas futuras recomendamos e sugerimos:

- 1 - Realizar ensaios de Campo e comparar com os obtidos no laboratório.
- 2 - Realizar ensaios de laboratório para amostras com tempos de cura acima de 28 dias e porcentagens de aditivos.
- 3 - Efetuar pesquisas semelhantes através do ensaio de cisalhamento direto no laboratório.
- 4 - Executar o mesmo trabalho em locais diferentes do estudado, analisando a porcentagem ideal dos aditivos para se adicionar ao solo arenoso da Rua Odom Bezerra.
- 5 - Verificar a permeabilidade da mistura solo com porcentagens variáveis dos aditivos em tempos de cura também variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APOSTILA SOBRE DOSAGEM DE SOLO CIMENTO
- COSTA, Marcelo Amaral da - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UMA ARGILA MOLE ESTABILIZADA COM CAL (CaO) - Tese de Mestrado.
- BATISTA, C. N. - PAVIMENTAÇÃO - Tomo I e II
- PETRUCCI, E. G. R. - CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.
- SOUZA, M. L. - PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA.
- VARGAS, Milton - INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS SOLOS.