



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CAMPUS II – CAMPINA GRANDE – PB

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPb
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC

RELATÓRIO FINAL DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TRABALHO APRESENTADO POR: MARIA LUISA CARIBÉ AYRES

LOCAL DO ESTÁGIO: LABORATÓRIO DE SOLOS DA UFPb

ORIENTADOR: SEBASTIÃO BATISTA DOS SANTOS

Campina Grande, Julho de 1981.



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

I N D I C E

	Pag.
Capítulo - I	
Introdução	2
Capítulo - II	
Revisão Bibliográfica	5
II.1 Estabilização de Solos com Emulsão Asfáltica	5
II.1.1 Variáveis que Inferenciam a Estabilização com Emul são Asfáltica	6
II.1.1.1 Tipos de Solos	6
II.1.1.2 Teor de Água	7
II.1.1.3 Condição de Cura	8
II.1.1.4 Inferência do teor de Emulsão	8
II.1.1.5 Método de medida de resistência	9
II.2 Estabilização de Solos com Cal	10
II.2.1 Características das Misturas Solo-Cal	11
II.3 Estabilização de Solos com Cimento	12
II.3.1 Solo Cimento	13
II.3.2 Solo Melhorado com Cimento	13
Capítulo - III	
Objetivo do Trabalho	16
Capítulo - IV	
Materiais	18
IV.1 Solo	18
IV.1,1 Características Geográficas da Região	18
IV.1.1.1 Localização	18
IV.1.1.2 Clima	19
IV.1.1.3 Hidrografia	20
IV.1.1.4 Vegetação	20
IV.2 Cimento	20
IV.3 Emulsão	20
IV.4 Cal	21

Capítulo - V

Métodos de Ensaio e Caracterização dos Materiais Utilizados	25
V.1 Ensaio de Campo	25
V.2 Ensaio de Laboratório	25
V.2.1 Ensaio de Granulometria	26
V.2.2 Limites de Consistência	26
V.2.3 Compactação de Solos	26
V.2.4 Índice de Suporte California - (CBR)	26
V.2.5 Compressão Simples	26
V.2.6 Ensaio de Tensão Indireta	27
V.3 Ensaio Realizados na Emulsão Asfáltica	27
V.3.1 Ensaio de Viscosidade	27
V.3.2 Resíduo por Destilação	28
V.3.3 Densidade da Emulsão	28
V.4 Apresentação de Resultados	28
V.4.1 Ensaio de Campo	28
V.4.2 Ensaio de Laboratorio	28

CAPITULO - I

I N T R O D U Ç Ã O

Os materiais usados na pavimentação rodoviária têm de possuir, como é evidente, características apropriadas, e é frequente os terrenos existentes no local não satisfazerem as especificações exigidas para sua utilização. O engenheiro tem então a sua escolha duas soluções: substituir esses materiais por outros convenientemente ou corrigi-los de modo a conferir-lhes as características necessárias, por meio de um método adequado de estabilização física, química ou de outro tipo.

COM OS SEGUINTEs ADITIVO S:
Entre os processos de estabilização química pode-se contar com cimento, cal e outros agentes.

A rigor, a estabilização química é o processo em que se observa uma reação química entre o solo, ou algumas de suas frações constituintes e o agente estabilizante utilizado; ou ainda o agente estabilizante poderá atuar no sentido de provocar a reação entre algumas das frações constituintes do solo. Consequentemente, a ação do agente estabilizante, provará uma modificação nas qualidades do solo tornando-o pouco sensível à água e aumentando sua resistência de forma permanente.

Nos processos de estabilização física utiliza-se a aplicação de uma energia externa. Este tipo de estabilização inclui, por exemplo, a correção granulométrica de um solo ou agregado de modo que a granulometria resultante esteja enquadrada nas especificações vigentes. O exemplo mais comum de estabilização física é o processo de compactação.

Um outro processo é a estabilização físico-química, no qual um aditivo origina mudanças tanto físicas quanto químicas na estrutura do solo. Um produto asfáltico, quando usado como aditivo, atua basicamente como agente coesivo, quando em contato com solos granulares, enquanto que, quando atuando em solos coesivos, sua ação é basicamente impermeabilizante, embora possa ocorrer alguma reação química.

A escolha do método a utilizar dependerá de muitos fatores, entre os quais destacam-se as propriedades intrínsecas do solo.

lo, disponibilidade de material estabilizante, custo e "Know-how" sobre esses processos.

Recentemente foi iniciado no Brasil, um programa de construção de rodovias de baixo custo, no qual três dos tipos de pavimentos a ser estudado, seria o constituído de um solo estabilizado com cal, cimento e emulsão alféstica.

Apesar de já existirem muitas rodovias construídas com esses tipos de pavimentos, pode ser sentida uma deficiência muito grande, principalmente no que diz respeito à metodologia empregada.

É importante portanto que se intensifique as pesquisas, sobre sistemas solo-emulsão asfáltica, solo-cal e solo-cimento a fim de se estabelecer uma metodologia mais racional tanto para o dimensionamento, como para estudos de laboratório, procurando-se, aproxima-los o mais possível, das condições reais a que as misturas estarão sujeitas durante sua vida útil.

CAPÍTULO - II

R E V I S Ã O B I B L I O G R A F I C A

A finalidade desta revisão é apresentar dados importantes sobre trabalhos já realizados no campo da estabilização de solos, principalmente aqueles referentes à estabilização de solos com emulsão asfáltica, cal e cimento.

II.1 Estabilização de Solos com Emulsão Asfáltica.

É geralmente aceito entre os pesquisadores do assunto q/
ao se adicionar emulsão betuminosa a um solo, os mecanismos de estabilização variam conforme as partículas de betume sejam carregadas positiva ou negativamente, isto é, se a emulsão é aniônica ou catiônica.

Basicamente, um sistema estabilizado com emulsão betuminosa é obtido misturando a emulsão com o solo úmido, compactando e, em seguida, curando. Durante a mistura, a distribuição uniforme do ligante é mais fácil de ser obtida se as partículas de betume mantiverem suas identidades. Assim, a estabilidade da mistura da emulsão é importante no processo de estabilização.

No caso de estabilização feita com emulsão aniônica, existe após a compactação, um sistema no qual os vazios da estrutura do solo são preenchidos com as partículas de betume. Teoricamente, estas partículas devem cobrir as partículas do solo, durante a cura, sob os esforços da tensão superficial. Porém se isto ocorre, o processo pode tornar-se muito lento, devido ao caráter semi-sólido do betume.

Quando imersos em água, após a cura, os solos estabilizados com emulsão aniônica tendem a absorver água rapidamente, com a conseqüente perda de resistência. Também a presença do emulsificante torna certas regiões do solo cobertas de betume, susceptíveis à ação da água, devido a ação repulsiva entre o agente emulsificante e as partículas de argila, isto é, são ambas carregadas negativamente, contribuindo sempre para uma maior perda de resistência e absorção d'auga.

Com emulsões catiônicas, as moléculas emulsificantes podem ser fortemente ligadas a partículas do solo, carregadas negativamente, fornecendo-lhes propriedades oleosas.

Isto significa que, ao contrário das emulsões aniônicas o betume irá aderir às partículas do solo, sempre que elas estiverem unidas. Assim, a resistência coesiva é produzida na massa do solo e a tenacidade da ligação solo-betume é melhorada contra a subsequente ação da água, de modo que, neste caso, há menos perda de resistência do que com as emulsões aniônicas, quando postas em imersão.

Entretanto, surgem outros problemas tais como a rutura precoce das emulsões catiônicas (devida à atração dos glóbulos de betume pelas partículas de argila do solo) e a existência de um teor de emulsão para o qual a rutura da emulsão ocorre por meios mecânicos.

II.1.1 Variáveis que Inferenciam a Estabilização com Emulsão

Asfáltica:

II.1.1.1 Tipos de Solos:

- a.) Areias sem coesão alguma - Neste caso, a estabilização visa conceder resistência a mistura, atuando o ligante como agente cimentante. A areia quando confinada, possui uma resistência elevada face o atrito entre os grãos. No entanto, quando seca, ela não apresenta coesão alguma. o envolvimento dos grãos por uma película de ligante asfáltico, dá à mistura, a coesão necessária sem prejuízo para o atrito entre os grãos que continuam a existir. Evidentemente, a quantidade de ligante não deve ser excessiva pois, se tal ocorrer, haverá prejuízo para o atrito.

Praticamente qualquer tipo de areia pode ser estabilizada com asfalto.

- b.) Solos finos e coesivos - Os solos finos e coesivos, quando secos, apresentam uma resistência satisfatória. No entanto, quando em presença d'água, elas perdem rapidamente sua capacidade de suporte. O ligante asfáltico neste caso, atua no sentido de impermeabilizar as partículas do solo, tornando-o insensível à água. De um modo geral, todos os solos que podem ser pulverizados, são susceptíveis de serem estabilizados com asfalto.
- c.) Solos pedregulhosos - Neste caso, quando há deficiência de finos e quando estes não têm coesão, o ligante asfáltico atuará no sentido de aumentar a coesão e a resistência da mistura.

II.1.1.2 Teor de Água:

A água, tanto na forma de vapor quanto na forma líquida, é a maior causa de falhas de aderência ocorridas em misturas a granel emulsão.

A água é um líquido bipolar no qual os centros elétricos das cargas positivas e negativas não coincidem. Em um campo eletrostático, as moléculas de água podem ser facilmente atraídas para a superfície de uma rocha ácida para satisfazer seu desequilíbrio das cargas de superfície.

O pH da água é tido como de alguma importância no fenômeno da aderência. Estudos anteriores indicaram que uma solução de pH elevado favorece a retenção de betume sobre pedras básicas e soluções de pH baixo favorecem a retenção de betume sobre pedras ácidas. Entretanto outros investigadores acham que o pH da água não tem efeito sobre a aderência do ligante

te no agregado.

Outros estudiosos no assunto, como Justo e Hariharan, encontraram efeitos consideráveis do teor de água da mistura solo-betume sobre diferentes propriedades tais como: densidade 'seca', absorção d'água após a imersão e estabilidade.

II.1.1.3 Condição de Cura:

A cura é uma etapa necessária e importante em trabalhos de estabilização betuminosa, pois é durante esta fase que o teor de água é reduzido, facilitando a cobertura da superfície com o asfalto base.

Soroggin considera que a máxima perda de água, durante a cura, é mais importante para a durabilidade da mistura do que a obtenção da máxima densidade seca na compactação.

Estudos mais minuciosos encontraram um aumento significativo na resistência ao cisalhamento de misturas solo-emulsão quando era aumentada a temperatura de cura. Porém ao serem atingidas temperaturas acima de 60°C, o aumento na resistência ao cisalhamento tornava-se, cada vez maior.

II.1.1.4 Inferência do teor de Emulsão:

A escolha do teor de ligante adequado para a mistura com um determinado tipo de agregado é um dos principais problemas no projeto de misturas betuminosas. Do ponto de vista elástico é necessário encontrar o mais alto teor de ligante que poderá ser usado, sem o risco de se atingir deformações excessivas, provocadas pelas condições atuantes de tráfego e temperatura.

Para obter a máxima resistência possível à

deformação, o material deve conter o ligante suficiente para dar coesão e para permitir a comparação adequada, muito embora deva ser observado que este teor será geralmente mais baixo do que aquele empregado na prática, devido a considerações de durabilidade e permeabilidade.

II.1.1.5 Método de medida de resistência:

Existe muita controvérsia a respeito do método mais adequado para avaliar a resistência de misturas solo-emulsão, pois esta se relaciona sempre com o tipo de trabalho para o qual a mistura é elaborada.

Winterkorn discutiu o uso de resistência, à compressão não confinada, usando amostras compactadas a densidade máxima para o teor ótimo de umidade, para vários teores de asfalto. Ele comparou a resistência seca ao ar com a resistência de amostras imersas por sete dias, e recomendou um limite mínimo de resistência de 5.3 Kgf/cm^2 .

Leonard usou medidas de resistência não configurada para corpos de prova, moldados em cilindros de ensaio Proctor Normal, curados ao ar e imersos por quatro dias.

Na Austrália, tem sido muito utilizado o ensaio de CBR, com valores requeridos, variando em torno de 80, apesar de algumas misturas com CBR mínimo de 50, terem sido utilizados com sucesso.

Para o Road Research Laboratory, o ensaio de CBR é particularmente aconselhável para indicar a estabilidade de solos tratados com betume embora possam ser utilizados os ensaios de Cone de Penetração, Hubbard Field Modification e o Florida Bearing Value.

II.2 Estabilização de Solos com Cal.

Quando se mistura cal a um solo úmido processam-se simultaneamente vários tipos de reações que modificam suas características. Admite-se, geralmente, que as mais importantes são as seguintes: permuta iônica e floculação, ação de cimento (ou reação pozolânica) e carbonização.

A ação dos íons cálcio começa a fazer-se sentir imediatamente após a adição do cal a um solo plástico e, deixando a mistura úmida solta em cura, verifica-se uma diminuição da plasticidade e o solo torna-se friável e desagrega-se à mão, à semelhança de um silte. Este fenômeno deve-se à permuta iônica pela qual os cátions Ca^{2+} (Ca^{2+}) vão absorver-se à superfície das partículas diminuindo a sua eletronegatividade, e originando a floculação. A argila, constituída agora por partículas de maiores dimensões, passa a comportar-se como um silte, perde plasticidade, coesão e expansibilidade, e a sua trabalhabilidade aumenta. Estas modificações benéficas são geralmente alcançáveis com pequenas quantidades de cal, e casos há em que a adição de 1 a 2% conduz a melhorias muito significativas.

Um outro tipo de reação mais lenta, que se processa a longo prazo e que é frequentemente designada por reação pozolânica, tem como resultado uma cimentação das misturas compactadas de solo-cal. Trata-se duma reação entre os minerais seletivos e aluminosos do solo e a cal, de que resultam vários produtos cimentantes aos quais tem sido atribuído o papel mais importante no incremento da resistência das misturas solo-cal. A ação da cimentação requer bastante mais tempo do que a hidratação do cimento Portland e é favorecida, por condições climáticas quentes. Pode ser acelerada por meio de aditivos adequados.

A carbonatação da cal promovida pelo anidrido carbônico do ar é outro tipo de reação química que ocorre nas misturas solo-cal. É afinal a reação inversa da produção da cal a partir do calcário. Os carbonatos de cálcio e magnésio formados são cimentos fracos e, além disso, prejudicam a rea

ção pozolânica impedindo que se atinja a resistência desejada.

II.2.1 Características das Misturas Solo-Cal:

As modificações dos solos pela ação da cal conferem às misturas solo-cal características próprias. Destas modificações as mais importantes para a engenharia são as que incidem sobre a plasticidade, granulometria, variações volumétricas por absorção de água, pressão de expansão, características de compactação, resistência e durabilidade. Outras propriedades que também sofrem alterações são: permeabilidade, absorção, sucção etc., mas têm sido objeto de menor estudo.

O grau em que as modificações dos solos se processam é dependente da sua natureza, do tipo e teor em cal e do modo de utilização (tempo e forma de cura, compactação da mistura, etc.).

De um modo geral pode dizer-se muito resumidamente e referindo apenas os pontos mais importantes, que com a adição da cal se verifica o seguinte:

- O limite de plasticidade normalmente sobe e o limite de liquidez normalmente baixa, diminuindo consequentemente o índice de plasticidade. Os solos altamente plásticos são aqueles em que a redução da plasticidade é mais substancial, conseguindo-se por vezes que o solo fique não plástico com teores em cal relativamente baixos. Com solos moderadamente plásticos, o efeito é menos sensível e há casos em que se tem verificado um ligeiro aumento do índice de plasticidade. As variações são acentuadas até um determinado teor em cal, não se processando daí em diante melhoria sensível.
- A granulometria do solo natural é modificada mediante a floculação e aglomeração das partículas finas pela cal, tornando-se mais grosseira. Este efeito, incidindo principalmente na fração argilosa, é sobretudo relevante nos solos finos.

- Nas argilas expansivas, as variações volumétricas por meio da absorção de água e as retrações por secagem são substancialmente reduzidas, o mesmo sucedendo à pressão.
- Geralmente para uma mesma energia de compactação a mistura solo-cal apresenta uma densidade seca mais baixa que o solo sem cal. O teor ótimo em água e normalmente superior.
- A resistência da mistura solo-cal após a compactação e cura é, em geral, consideravelmente superior a do solo compactado sem cal. Este aumento é gradual e processa-se lentamente. Em obras são habitualmente necessários 4 a 6 meses para que se alcance a maior parte da resistência atingível. Temperaturas ambientes elevadas aceleram este processo considerávelmente. Tem sido também utilizados, com a mesma finalidade, aditivos químicos em pequenas percentagens.

Para que uma mistura solo-cal tenha bom comportamento em obra, é necessário não só que possua características satisfatórias e seja convenientemente aplicada, mas ainda que essas características permaneçam e resistam às ações de meteorização. A durabilidade das misturas é normalmente maior quando se empregam teores em cal altos e, por esta razão, algumas técnicas, aconselham o emprego de pelo menos 5% de cal, mesmo que quantidades menores possam produzir a resistência necessária.

II.3 Estabilização de Solos com Cimento.

Podem ser realizados dois tipos de estabilização, utilizando-se o cimento como agente estabilizante:

- 1.) O solo cimento, onde o cimento atua como agente de cimentação entre as partículas do solo, conferindo à mistura compactada uma elevada resistência. O teor de cimento usado e, de modo geral, superar a 6% em peso.
- 2.) O solo melhorado com cimento, onde o cimento atua como a

gente modificador das características dos finos do solo. Em geral, o teor de cimento é de 3 ou 4%, em peso.

A atuação do cimento no solo pode ser imaginada, considerando-se cada grão de cimento como sendo um núcleo ao qual se fixam as partículas finas do solo. Quando a quantidade de cimento usada é pequena (solo melhorado com cimento), as partículas de silte e argila aderentes ao cimento são insuficientes para formar uma estrutura de elevada resistência.

Quando o teor de cimento é alto (solo cimento), praticamente todas as partículas de silte e argila passam a se compactar como agregados granídeos fortemente ligados uns aos outros, resultando uma estrutura resistente.

II.3.1 Solo Cimento:

O cimento atua no sentido de conferir à mistura uma elevada coesão, imobilizando as partículas do solo umas contra as outras. O endurecimento produzido pelo cimento, processa-se rapidamente, em geral 6 horas após o início da mistura, a resistência já alcança valores da ordem de 50% do que apresentará a 7 dias.

De acordo com as especificações do DNER, a resistência à compressão a 7 dias deve ser superior a 21 Kg/cm^2 . O solo cimento deve ser curado durante 7 dias, período em que ele deve ficar continuamente úmido, de modo a reduzir ao mínimo a evaporação.

É normal a ocorrência de fissuras devidas à retração. A quantidade destas, cresce com o aumento do teor em cimento.

II.3.2 Solo Melhorado com Cimento:

Este processo é usado quando se dispõe de um solo com boas características mas, que não atende completamente às especificações para uma estabilização mecânica. É o caso por exemplo, de um solo pedregulhoso cujas características, exceto o IP, se enquadram nas especificações de base estabilizadas granulométrica-

mente. Neste caso, a correção com pequenas quantidades (3 a 4%) de cimento, reduz a plasticidade, permitindo que o solo se torne estabilizável mecanicamente.

Na mesma situação estaria um solo com deficiência de finos ar um outro que apesar de possuir todas as características satisfatórias, possuisse, no entanto um CBR baixo.

A atuação do cimento é feita, comparando-se as características do solo melhorado e as do solo natural.

O CBR é fortemente afetado por correções com pequenos teores de cimento. Em alguns casos, a adição de 1% em peso de cimento, eleva de até 100% o valor do CBR do solo. Esse grande aumento, resulta da cimentação produzida pelo cimento Portland. Apesar de frágeis, pois interessa a uma pequena parcela de finos, as ligações existentes são suficientes para suportar os esforços desenvolvidos durante o ensaio de CBR, acarretando valores elevados para este. No entanto, sob a ação das cargas dinâmicas do tráfego, as ligações vão pouco a pouco se desfazendo, acarretando a diminuição da resistência. A básica de melhorar um solo com cimento é, como já visto antes, modificar algumas de suas características, tornando-o estabilizável mecanicamente. A rigor, o aumento de resistência que indiretamente se obtém, não deve ser levado em consideração por não ser de caráter permanente. Em laboratório, isto é conseguido não se compactando o solo imediatamente após a mistura com cimento.

O procedimento de um modo geral aceito, consiste em efetuar a mistura solo+cimento+água, deixando a solta e em repouso durante 72 horas. Então determinase as características físicas (granulometria, LL, LP) compacta-se a mistura na unidade ótima e deixa-se os corpos de prova em imersão durante 4 dias para, a seguir, determinar o CBR. Assim, os aumentos de CBR não são tão acentuados, eles continuam sendo função de cimento mas, principalmente das características do solo.

CAPÍTULO - III

O B J E T I V O D O T R A B A L H O

Os órgãos rodoviários brasileiros iniciaram um programa de construção de estradas de baixo custo no ano de 1976. Uma parte deste programa inclui estabilização de solos com cal, cimento e emulsão.

Atê a presente data, são muitos os exemplos de aplicação de sistema com solo e material estabilizante na construção de pavimentos flexíveis.

Foi vizando uma metodologia apropriada que se desenvolveu na rua Odon Bezerra ensaios com a finalidade de se obter um método para determinar a percentagem de emulsão, cal ou cimento para deduzir propriedades desejáveis nos sistemas solo-aditivos.

CAPÍTULO - IV

M A T E R I A I S

IV.1 Solo.

Para o presente trabalho foram selecionados trechos da rua Odon Bezerra, desta cidade no bairro da Liberdade.

A Rua Odon Bezerra foi escolhida haja vista atender aos pré-requisitos considerados de relevância aos objetivos a alcançar para um bom desenvolvimento da pesquisa, tais como: Aspecto socio-econômico e de drenagem da área onde se situa a rua.

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 600m até a Rua Assis Chateaubriand (figura). Um pequeno trecho se encontra pavimentado com capeamento de cimento asfáltico da estaca 0 a 10+6.00m ou seja, até a confluência com a Rua Getúlio Cavalcante. Desse modo o trecho experimental deverá ser executado a partir desta rua até a confluência com a avenida Assis Chateaubriand, num total de aproximadamente 700 m.

A declividade média longitudinal conforme levantamento é de ordem de 2,3%. Objetivando eliminar ou praticamente evitar a influência de águas residuárias e pluviais no desempenho e no comportamento dos diversos pavimentos a serem testados, foi executado um projeto de drenagem ao longo de toda a Rua Odon Bezerra. Para a caracterização geotécnica foram realizados furos de sondagem a trado com coleta de amostras (desenho 1). Para os furos situados no eixo a profundidade atingida foi de 1.20m, com exceção do furo C3 que foi de 0,90 m, enquanto que os tipos E e D correspondentes a sondagens efetuadas, nos bordos esquerdo e direito, respectivamente, atingiram no máximo; 0.60m de profundidade.

IV.1.1 Características Geográficas da Região:

IV.1.1.1 Localização:

Situada no mais elevado trecho das ladeiras íngreme-nas do sistema ocográfico, Campina Grande integra-se na fisiografia do Planalto da Borborema.

As suas curvas de níveis variam entre 500 e 600 metros e sua sede municipal situa-se a 550 metros de altitude, onde o Relevo do Planalto inicia seu declínio.

Suas coordenadas geográficas, são:

- 7°13'11" de latitude SUL
- 35°52'31" de longitude a oeste de Greenwich.

IV.1.1.2 Clima:

Segundo a classificação dos professores.. Henrique Horize e Delgado de Carvalho, o clima de Campina Grande enquadra-se no tipo equatorial semi-árido.

Tendo em vista a influência de certos fatores locais, notadamente a altitude e a posição geográfica, suas médias térmicas anuais são sempre inferiores a 25°C.

As precipitações pluviométricas anuais variam em torno de 810mm.

Haja visto estas características climáticas enquadram o clima de Campina Grande na classificação geral de Koppen no tipo BSH, ligeiramente modificado pela moderação de temperatura existente em quase toda a parte oriental elevada da Serra da Borborema, motivada pela sua altitude e pela direção dos ventos que são de ESTE, NORDESTE e SUDESTE.

Esta situação proporciona, na maior parte do ano, um clima fresco e agradável. Porém, mesmo nos dias quentes, as noites são sempre frescas.

Higrometricamente, a unidade relativa do ar no verão é de 60% e no inverno é de 80%.

IV.1.1.3 Hidrografia:

Devido a natureza do solo, as fracas precipitações e da elevada evaporação, o sistema hidrográfico é formado de rios temporários, e exemplo do rio Bodocongô e Riacho do Marinho, Catolé e outros.

IV.1.1.4 Vegetação:

Tendo em vista a escassez das precipitações e a espessura da camada do terreno sedimentar, não propiciam a constituição de densos ajustamentos florestais. Mandacarú, Palmares, Macambira, Faxeiro e outras são as espécies mais comuns da flora local.

IV.2 Cimento:

Foi usado cimento Portland comum-320, marca Zebú, da Companhia Paraibana de Cimento Portland (CIMEPAR), localizada na cidade de João Pessoa, Paraíba.

Usou-se um cimento comprovadamente novo, a fim de que as suas propriedades originais não estivessem alteradas. A condicionou-se o aumento em depósitos que foram lacrados em seguida com a finalidade de se evitar a hidratação do cimento devido o contato com a umidade do ar.

As propriedades do cimento estão mostradas na tabela 4.1.

IV.3 Emulsão:

Foi empregada uma emulsão asfáltica do tipo catiônica de rutura lenta, sendo fabricada pela Industria de Produtos Químicos e Asfaltos Emulsificados (BETU-NORTE), localizada na cidade de Fortaleza, estado do Ceará.

Suas propriedades serão discutidas no capítulo seguinte.

IV.4 Cal:

A análise química da cal utilizada como aditivo na pesquisa, está mostrada na tabela 4.2. É uma cal calcítica denominada comercialmente de "Branca". É produzida na Cidade de João Pessoa, Paraíba. A cal chegou ao laboratório em sacos de papel grosso. Retirou-se da embalagem original e colocou-se em depósitos de plásticos que foram lacrados em seguida.

Denominação	ZEBU - 320
Análise Química, %	
Perda ao fogo.....	1,40
Resíduo Insolúvel.....	0,35
Sílica (em SiO ₂).....	18,69
Óxido férrico (em Fe ₂ O ₃).....	4,20
Óxido de Alumínio (em Al ₂ O ₃).....	6,14
Óxido de Cálcio Total (em CaO)...	62,50
Óxido de Magnésio (em MgO).....	3,61
Anidrido Sulfúrico (em SO ₃).....	2,55
Óxido de hidróxido de cálcio livre.....	1,25
Óxido de Sódio (em Na ₂ O).....	0,09
Óxido de Potássio (em K ₂ O).....	0,77
Óxido de Sódio solúvel em água (em Na ₂ O)	0,09
Óxido de Potássio solúvel em água (em K ₂ O).....	0,75

Tabela 4.1 - Propriedades Químicas do Cimento Utilizado.

Denominação	BRANCAL
Tipo de Cal	CALCITICA
Análise Química %	
Perda ao fogo (1000°C).....	30,93
Insolúveis em HCl.....	4,17
Sesquióxidos (em R ₂ O ₃).....	0,48
Cálcio Total (em CaO).....	62,00
Magnésio (em MgO).....	1,01
Cálcio Disponível (em CaO).....	40,66

Tabela 4.2 - Propriedades Químicas da Cal Utilizada.

CAPÍTULO - V

MÉTODOS DE ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

V.1 Ensaio de Campo:

Os ensaios de campo se resumiram na determinação do teor de unidade e da densidade "natural" do solo e foram realizados durante a execução dos furos de sondagem. Em alguns destes, ^(P. 2-3) o teor de umidade natural foi determinado de três maneiras diferentes. A medida que o furo prosseguia, recolhia-se material, colocando-o dentro de sacos plásticos bem fechados e levados ao laboratório para determinação do teor de umidade "natural" pelos métodos expedito de álcool e o de estufa. Uma parte do material era separada e realizava-se no próprio local, pelo método do Speedy. No mínimo, as determinações foram realizadas para os furos situados no eixo, enquanto que somente uma para os demais.

Os ensaios de densidade "in situ" com o emprego do frasco de areia foi realizado nos furos C.1 a C.4 e C.7 situados no eixo; E-1; E-4 e D-3; D-6 nos ^{202,05} lados esquerdo e direito respectivamente. Em todos esses furos, no máximo, duas determinações foram consideradas até a profundidade de 1,20m a ^{partir} partir da superfície do terreno.

A metodologia utilizada é aquela preconizada pelo DNER (1972) que corresponde aos métodos: DNER-DPT M92-64 sobre a determinação da massa específica aparente do solo e o DNER-DPT M52-64 sobre a determinação do teor de ^{unidade} unidade pelo método expedito com emprego do aparelho "Speedy".

V.2 Ensaio de Laboratório:

Foram coletadas amostras ao ^{longo} longo de cada furo de sondagem até a profundidade máxima atingida. O material assim coletado foi quarteado no laboratório e preparado segundo método de preparação proposto pelo DNER (1972), para a ^{compactação} execução dos seguintes ensaios: Proctor Normal, CBR, de compressão

simples e de compressão diametral.

V.2.1 Ensaio de Granulometria:

A análise granulométrica por peneiramento foi realizada, obedecendo o método proposto pelo DNER, o DNER-DPT M80-64.

V.2.2 Limites de Consistência:

A determinação do limite de liquidez e de plasticidade foi realizada utilizando os métodos DNER-DPT M44-64 e M82-63, respectivamente.

V.2.3 Compactação de Solos:

O ensaio de compactação foi realizado com energia de compactação correspondente a do Proctor Normal conforme método de ensaio DNER-DPT 48-64 (Método B). A curva de compactação foi obtida com cinco pontos de diferentes teores de umidade, sendo que para cada um destes foram moldados três corpos de prova. O valor médio das três massas específica aparente seca encontrada para cada teor de umidade, foi utilizado para o traçado da curva ("média") de compactação.

V.2.4 Índice de Suporte Califórnia - (CBR):

Este ensaio foi realizado segundo método DNER-DPT M49-64, nos mesmos teores de umidade utilizados na determinação da curva de compactação, conforme comentado anteriormente; e para o solo em seu estado natural, estabilizado com cimento em teores de 1,5; 3; 4,5 e 6% em relação ao peso seco do solo, estabilizado com cal em teores de 1,5; 3,0; 4,5 e 6% em relação ao peso seco do solo e estabilizado com emulsão em teores de

V.2.5 Compressão Simples:

Os corpos de prova para este ensaio foram moldados nos teores de umidade correspondente a curva mé

dia obtida do ensaio de compactação (item V.2.3) e para cada um os mesmos teores de cimento, cal e emulsão utilizados no item anterior. A rutura dos corpos de prova se deu, a zero dia de cura, 7 e 28 dias de cura por via úmida.

Os corpos foram rompidos na velocidade de 0,05"/min. Uma quantidade de material próximo à superfície foi utilizada para a determinação do teor de umidade.

A prensa utilizada para a realização deste ensaio, foi uma prensa de marca Pavitest.

V.2.6 Ensaio de Tensão Indireta:

O ensaio de tensão indireta, também conhecido como método Brasileiro, foi proposto inicialmente por Lobo Carneiro, e consiste na aplicação de cargas compressivas em amostras cilíndricas, no sentido diametral. A teoria de tensão neste ensaio, é aplicável somente a materiais que rompem de maneira frágil, não sendo aplicável a materiais que falhem plasticamente.

Para este ensaio os corpos de prova foram moldados nas mesmas condições descritas para os corpos de prova moldados para o ensaio de compressão simples, do item anterior.

V.3 Ensaios Realizados na Emulsão Asfáltica:

V.3.1 Ensaio de Viscosidade:

A viscosidade da emulsão betuminosa é medida através do viscosímetro Engles. O método utilizado foi o indicado na norma B.S. 434:1960, e consiste na medida do tempo necessário para fluir 200ml de emulsão através de um orifício padronizado, à temperatura de 50°C. Este tempo, em segundos, é devido pelo tempo necessário para fluir a mesma quantidade de água destilada, na mesma temperatura. O resultado da divisão é a vis

cosidade em graus Engler. Na tabela 5.1 é apresentada o resultado obtido.

V.3.2 Resíduo por Destilação:

O ensaio foi realizado de acordo com a Standard Methods Bitumen. O resultado obtido é apresentado na tabela 5.1.

V.3.3 Densidade da Emulsão:

O ensaio foi realizado de acordo com o método DNER-ME 16-64. Na tabela 5.1 é apresentado o resultado obtido.

Na tabela 5.1 são também apresentados os resultados fornecidos pelo fabricante.

V.4 Apresentação de Resultados:

V.4.1 Ensaio de Campo:

Conforme comentários no item V.1, na tabela 5.2 é mostrado o teor de umidade "natural" determinado segundo três maneiras diferentes, a saber: pelo método do álcool, estufa e o de Speedy, sendo que um destes foi utilizado para o cálculo da densidade do material "in-situ".

V.4.2 Ensaio de Laboratório:

Na tabela 5.3 estão os ensaios de caracterização física (granulometria, limites de consistência e densidade dos grãos sólidos), bem como a caracterização geotécnica segundo o HBR.

Na figura 5.1 se encontra a curva de compactação do solo natural, como também a curva de CBR.

DENSIDADE APARENTE SECA (kg/cm^3)

1940
1920
1900
1880
1860
1840
1820
1800

3 5 7 9 11 13 15 17 19 H%

CBR (%)

40
30
20
10

3 5 7 9 11 13 15 17 19

FIG. 5.1 - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE APARENTE SECA¹⁵ "DE LUXE" 10 - M. ; CBR E UMIDADE.

Ensaio Realizado	Fabricante	Autor
Viscosidade 50°C	95 Saybolt Furol	19,9° Engler
Sedimentação - 5 dias %	2,3%	-
Retido na n° 20 Peneira Retido na n° 40 Retido na n° 100	0,03%	-
Resistência à Água % de Cobertura	Satisfatória	-
Carga da Partícula	Positiva	-
pH	4,4%	-
Resíduo por Destilação % por pelo mínimo	60,2%	69,27
Desemulsibilidade	12,2%	-
Densidade	0,99%	1,004

Tabela 5.1 - Propriedades Físicas da Emulsão Asfáltica.

Furo de Sondagem	Posição	Profundidade (cm)	Teor de Umidade h(%)		
			Alcool	Estufa.	Speedy
C - 1	Eixo	20	3,97	4,32	6,90
		0 - 35	4,15	3,95	5,80
		35 - 60	10,34	9,21	8,10
		60 - 80	15,51	18,53	-
		80 - 100	16,36	18,62	-
		100 - 120	16,45	21,11	16,2
C - 2	Eixo	15	4,54	4,31	4,60
		60 - 80	12,29	14,00	-
		80 - 120	14,33	10,60	-
C - 3	Eixo	18	4,08	3,47	4,60
		60 - 90	16,18	18,36	-
C - 4	Eixo	20	8,80	8,20	8,10
		60 - 120		11,69	11,18
C - 5	Eixo	60 - 90	8,02	15,69	-
		90 - 120	18,23	15,64	-
C - 6	Eixo	60 - 80	12,08	13,48	-
		80 - 120	15,51	18,79	-
C - 7	Eixo	60 - 100	16,80	14,49	-
D - 1	L.D.	20	6,21	6,13	6,90
D - 2	L.D.	18	10,69	10,76	8,10
	L.E.	20	9,57	10,30	11,50
E - 3	L.E.	20	9,37	9,47	9,30

Tabela 5,2 - Teor de Umidade Natural por Vários Métodos.

Propriedades	Odon Bezerra
Composição Granulométrica %	
Pedregulho (> 2,0 mm)	6,92
Areia Grossa (2,0 - 0,42 mm)	18,18
Areia Fina (0,42 - 0,074 mm)	44,58
Silte+Argila (< 0,074 mm)	30,32
Propriedades Físicas	
Densidade Real	2,548
Limite de Liquidez %	NL
Limite de Plasticidade %	NP
Índice de Plasticidade %	NP
Equivalente de Areia %	14
Classificação	
HBR	A - 2 - 4

Tabela 5.3 - Propriedades e Classificação do Solo

A ALVDA TEVE UM BOM APROVEITAMENTO,
ENTÃO CONCEDO 05 (CINCO) CREDITOS.

C. GRANDE, 16 DE AGOSTO 1981

