

FISTEC
ENGENHARIA LTDA

RELATÓRIO TÉCNICO PRELIMINAR E ORIENTATIVO PARA
EXECUÇÃO DE CAMADAS DE SOLOS ESTABILIZADOS
QUIMICAMENTE NOS ATERROS DA FERROVIA DA ALCOA – MINA
DE BAUXITA – JURUTI - PARA

Agosto de 2.007

RELATÓRIO TÉCNICO

1- INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo apresentar os resultados dos ensaios laboratoriais dos solos de fundação com a utilização da tecnologia da estabilização química de solos, por via líquida, realizados em amostras provenientes do trecho da estrada de ferro de ligação entre a área do beneficiamento e do pátio de estocagem, especificamente dos km 9+200, km 18+500, km 22+500, km 25+500, km 28+600, km 31+100, km 34+800.

A partir do km 11, os materiais existentes no local de implantação da obra não atendem as especificações vigentes do projeto para os aterros da ferrovia, conforme os resultados observados em ensaios prévios realizados. Assim sendo havia a necessidade de estudar uma maneira ou forma de melhorar a capacidade de suporte do solo compactado para cumprir as normas e projetos em vigor.

Após uma análise expedita dos resultados de ensaios optou-se pela alternativa de se melhorar as características de deformabilidade e resistência do solo através da tecnologia da estabilização química, normalmente, utilizada em solos de baixa resistência e/ou de expansão elevada.

A seguir são apresentadas e discutidos os resultados obtidos, bem como comentários pertinentes a execução dos ensaios de estabilização dos solos, sobretudo com relação à melhoria obtidas nos valores de CBR, com a aplicação dos produtos Dynasolo DS-328 com os reagentes Sulfato de Alumínio, Cal Hidratada e Cimento.

2- ENSAIOS PRÉVIOS DE CARACTERIZAÇÃO, COMPACTAÇÃO E CBR

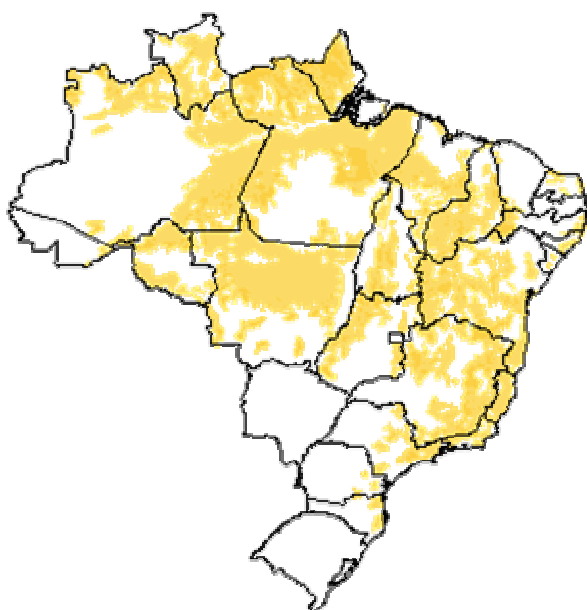
Inicialmente foi realizada pela ALCOA através da Tecnosonda uma campanha de ensaios laboratoriais com solos provenientes dos possíveis locais de materiais a serem empregados como material de construção dos aterros, envelopamentos e sub-lastro da ferrovia. As tabelas dos resultados dos ensaios esta reproduzido de maneira detalhada no Anexo A.

(Resultados prévios dos ensaios da Tecnosonda)

3- CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA REGIÃO

Como se observa no local os solos predominantes na região de Juruti são do tipo Latossolo Amarelo texturas médias, argilosas e muito argilosas com associações com solos concrecionários lateríticos, areia quartzosa distrófica, gley, pouco húmico e podzólico vermelho amarelo de textura argilosa. A matriz amarelada é causada por um mineral chamado goethita, um óxido de ferro.

Como ilustração o mapa abaixo mostra a distribuição das principais áreas de ocorrência de Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos no Brasil.



Como se vê, eles estão amplamente distribuídos por todo o território brasileiro.

No caso da região da implantação da ferrovia da ALCOA em Juruti/Pará, as características dos solos existentes são de dois tipos marcantes pelo sistema rodoviário de classificação (HRB), isto é, do km 0 até o km 11 são do tipo granular e predominantemente arenosos do grupo A.2.4, cujas partículas passantes na peneira de 0,074 mm (# 200) são menores de 35% e do km 11 até o km 53 se encaixam predominantemente do grupo A.7.5, cujas partículas passantes na peneira # 200 representam mais de 35% do total das partículas.

Solos pertencentes a esse grupo são contra indicados para utilização de camadas de base e com certa tolerância como camadas de sub-base e/ou reforço, ou seja, podemos afirmar que o material em questão poderá apresentar um comportamento geral de fraco a pobre.

4- VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA

Para melhorar a qualidade das características deste tipo de material, solicitamos durante a primeira visita ao local a elaboração de um programa de ensaios com os solos locais utilizando produtos estabilizantes químicos de solos, com o intuito de se avaliar a adequação dos mesmos quanto à sua finalidade e definir locais para sua utilização para atender os critérios alternativos do projeto quanto ao desempenho do índice de deformabilidade e de proteção. Os resultados foram os seguintes:

Km	Registro	Energia	Massa Esp. Seca Máxima (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)	CBR N°	DOSAGENS EXECUTADAS	ISC (%)	Ah	Exp.
9 + 200	SFE 041	Interm.	2,028	8,5	1	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	112,40	-1,50	0,00
	SFE 041				2	DS 328 1:1200 + Sulfato Alumínio 1:5000	91,90	-1,10	0,00
	SFE 041				3	DS 328 1:1500 + cim. 2%	96,80	-1,50	0,00
18 + 500	SFE 042	Interm.	1,792	19,6	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	74,00	-1,30	0,04
	SFE 042				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	77,70	-1,40	0,00
	SFE 042				3	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	46,10	-1,10	0,01
22 + 500	SFE 043	Interm.	1,51	30,6	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	47,70	-1,20	0,01
	SFE 043				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	30,10	-1,60	0,04
	SFE 043				3	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	28,70	-1,30	0,06
25 + 500	SFE 044	Interm.	1,486	25,0	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	55,60	-0,20	0,07
	SFE 044				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	38,40	-0,20	0,15
	SFE 044				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	34,00	0,30	0,07
28 + 600	SFE 045	Interm.	1,453	27,9	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	45,50	-0,90	0,02
	SFE 045				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	49,90	-1,00	0,03
	SFE 045				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	40,50	-1,30	0,06
31 + 100	SFE 046	Interm.	1,39	31,7	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	49,70	-2,10	NA
	SFE 046				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	40,80	-2,40	NA
	SFE 046				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	37,80	-1,90	0,02
34 + 800	SFE 047	Interm.	1,4	30,5	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2,5%	48,10	-0,60	0,02
	SFE 047				2	DS 328 1:1000 + cim. 2%	35,90	-1,00	0,07
	SFE 047				3	DS 328 1:1500 + cim. 2%	44,30	-0,30	0,01
	SFE 047				4	DS 328 1:1500 + cim. 3%	41,90	0,50	0,00

Onde:

SFE = Serviço fora do escopo

ISC = Índice de Suporte Califórnia

Ah = Desvio de Umidade (Umidade de Moldagem em Relação à Umidade Ótima)

Exp. = expansão

DS-328 = Estabilizante de Solos utilizado nos ensaios

Quadro comparativo dos principais parâmetros dos resultados dos ensaios com solos estabilizados quimicamente, solos naturais e com os dos solos melhorados com cimento a 2%.

Km	Energia	Massa Esp. Seca Máxima (g/cm³)	Umidade Ótima (%)	CBR N°	Traço c/ DS 328	ISC (%)	Exp.	ISC (%) Solo Cimento 2%	Exp.	ISC (%) Solo Natural	Exp.
9 + 200	Interm.	2,028	8,5	1	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	112,40	0,00	SFE	SFE	59,10	0,00
				2	DS 328 1:2000+ Sulfato Alumínio 1:5000	91,90	0,00				
				3	DS 328 1:1500 + cim. 2%	96,80	0,00				
18 + 500	Interm.	1,792	19,6	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	74,00	0,04	65,50	0,01	18,40	0,02
				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	77,70	0,00				
				3	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	46,10	0,01				
22 + 500	Interm.	1,51	30,6	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	47,70	0,01	30,80	0,08	13,20	0,05
				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	30,10	0,04				
				3	DS 328 1:1000 + Sulfato Alumínio 1:5000	28,70	0,06				
25 + 500	Interm.	1,486	25,0	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	55,60	0,07	24,20	0,09	20,20	0,03
				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	38,40	0,15				
				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	34,00	0,07				
28 + 600	Interm.	1,453	27,9	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	45,50	0,02	34,40	0,04	23,60	0,07
				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	49,90	0,03				
				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	40,50	0,06				
31 + 100	Interm.	1,39	31,7	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2%	49,70	NA	28,60	0,14	12,70	0,14
				2	DS 328 1:1500 + cim. 2%	40,80	NA				
				3	DS 328 1:1500 + cim. 2,5%	37,80	0,02				
34 + 800	Interm.	1,4	30,5	1	DS 328 1:1500 + Cal Hidratada 2,5%	48,10	0,02	23,20	0,10	16,10	0,02
				2	DS 328 1:1000 + cim. 2%	35,90	0,07				
				3	DS 328 1:1500 + cim. 2%	44,30	0,01				
				4	DS 328 1:1500 + cim. 3%	41,90	0,00				

Os resultados indicam que com a utilização da dosagem de estabilizante líquido de solos a 1:1.500 + Cimento a 2,0%, atende plenamente as especificações do projeto em, praticamente, todo o trecho. No caso da utilização em solos granulares e arenosos sugerimos a utilização do estabilizante de solos líquido na dosagem variável de 1:1.500 a 1:2.000 com o reagente Sulfato de Alumínio a 1:5.000.

A partir dos resultados analisados, sugerimos a realização de um novo programa de ensaios com dosagens de produtos estabilizantes mais reduzidas com o intuito de obter resultados satisfatórios; de minimizar os quantitativos dos produtos estabilizantes; sem comprometer a qualidade técnica e os objetivos promovidos pela tecnologia, como a confecção de ensaios com as seguintes dosagens:

- Em solos siltosos e argilosos dos grupos (A.6 e A.7)
 - DS-328 a 1:1.500 + Cimento a 1,5%;
 - DS-328 a 1:2.000 + Cimento a 2,0%;
 - DS-328 a 1:2.000 + Cimento a 2,0%;

- Em solos arenosos do grupo (A.2-4)
 - DS-328 a 1:1.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;
 - DS-328 a 1:2.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;
 - DS-328 a 1:2.500 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;

- Na Laterita a ser utilizada como sub-lastro da ferrovia
 - DS-328 a 1:1.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;
 - DS-328 a 1:2.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;
 - DS-328 a 1:2.500 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000;

Em função dos resultados obtidos ficou definido pelo colegiado de profissionais da ALCOA, LOGOS, MINER e CCCC a utilização da tecnologia nos serviços de proteção dos taludes (envelopamentos) em locais a ser definido como necessário e nas últimas camadas (0,60m) do terrapleno, abaixo da camada do sub-lastro. Haverá também a possibilidade de utilizar na camada de laterita do sub-lastro a fim de protegê-la contra a penetração de água e principalmente, para evitar a contaminação do lastro.

Informamos que a sugestão proposta estará sujeita a confirmação através de cálculos, justificativas e memoriais em relação aos aspectos geotécnicos específicos do local sobre o assunto do aproveitamento destes materiais no corpo do aterro.

Salientamos que estamos propondo esta metodologia executiva uma vez que os materiais indicados no projeto original (cal) são difíceis de encontrar pela quantidade necessária e somente sendo encontrados a grandes distâncias, onerando e dilatando o prazo de conclusão das obras.

Pelos motivos expostos acima, foi que sugerimos o reaproveitamento dos materiais locais na execução do núcleo dos aterros, protegendo-os através de camadas de solos estabilizados quimicamente, o qual promoverá grande resistência ao cisalhamento e impermeabilizando-os, conforme os resultados apresentados nos ensaios de laboratório.

5- CONCLUSÕES

Os ensaios realizados para testes de estabilização de solos foram conduzidos de forma satisfatória e adequada pelo laboratório de solos instalado no canteiro de serviços da Construções e Comércio Camargo Corrêa S.A. em Juruti/Pará.

Cabe ressaltar que os ensaios aqui apresentados foram realizados com amostras dos solos locais, retiradas ao longo da ferrovia de ligação entre os km 0 ao km 35, faltando ensaiar amostras de solos entre o km 35 ao km 53, com as mesmas dosagens. As ocorrências de solos com características diferentes daqueles ensaiados deverão ter ensaios específicos para determinar as quantidades dos materiais necessários a fim de garantir a estabilização do solo dentro dos critérios de projeto.

Os resultados indicam que com a utilização da dosagem de DS-328 a 1:1.500 + Cimento a 2,0%, em peso, introduzidos no solo local de características argilosas e siltosas atende plenamente as especificações do projeto para os serviços de envelopamentos de aterro e das três últimas camadas de reforço superficial para receber a camada de sub-lastro.

Os resultados indicam que com a utilização da dosagem de DS-328 a 1:1.500 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000, em peso, introduzidos no solo de característica granular e arenoso a ser empregado como camada de sub-lastro atende plenamente as especificações do projeto. O objetivo do tratamento desta camada de sub-lastro será o de promover maior coesão das partículas deste tipo de solo, que por conseqüência, promoverá maior impermeabilidade e resistência à penetração e de evitar a contaminação do lastro pelo material do sub-lastro, promovendo menor custo de manutenção da linha permanente.

Para utilização de dosagens menores com produtos estabilizantes de solos recomenda-se a realização de campanha de ensaios prévios para determinação da quantidade ótima dos mesmos. Esses ensaios deverão ser conduzidos de forma análoga à realizada anteriormente, rigorosamente, de acordo com o "ROTEIRO SIMPLIFICADO DE EXECUÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS" (DETERMINAÇÃO DO CBR-DS).

Sem mais para o momento,



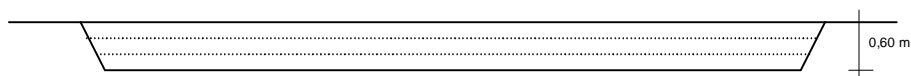
Eng^o Helio Rubens Vieira Bussamra
CONSULTOR

ANEXOS

A- Procedimento Executivo dos Aterros com Envelopamentos (h ≥ 3,00m)

1- Fundações

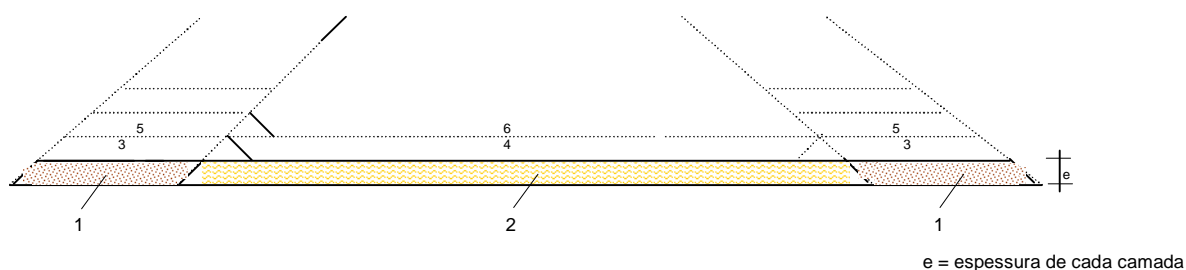
- Limpeza do Terreno;
- Demarcação dos off-sets da base do aterro;
- Escavação de 0,60 m para o preparo das fundações do aterro;
- Escarificação e compactação do subleito a 100% do PN;
- Reposição dos materiais retirados "in natura" do local e compactados em camadas máxima de 0,20 m a 100% do PI;



2- Etapas Executivas do Corpo do Aterro

Nos aterros para os quais estão previstos a execução de proteção dos solos frágeis ou erodíveis, o lançamento e compactação dos materiais do corpo do aterro e do envelopamento deverá se processar através de alguma das três opções a seguir discriminadas, conforme figuras ilustrativas abaixo.

Opção 1 (em paralelo, camada por camada)



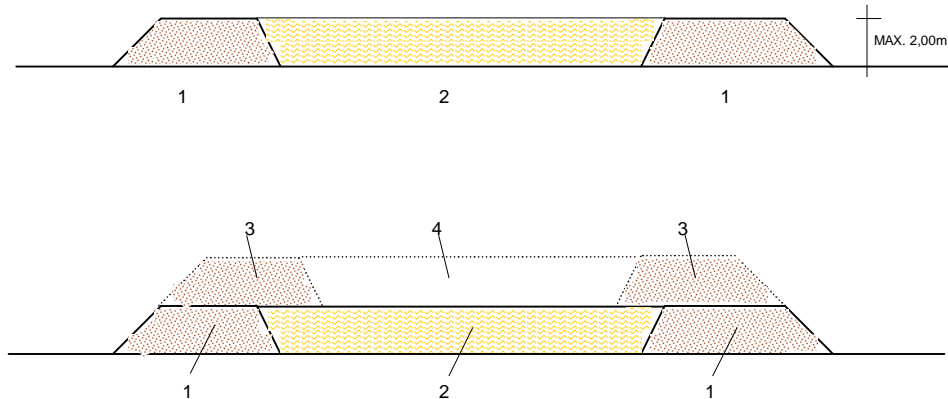
- 1- Execução da camada lateral tratada com DS-328 a 1:2.000 + cimento a 1,5% ou 2,0%, em peso, compactado a 100% PN
- 2- Execução da camada central com solo escavado do local sem tratamento, compactado a 100% do PN
- 3- Repetição consecutiva de 1
- 4- Repetição consecutiva de 2

Opção 2 (confinado sobre diques de contenção)

a- Construir lateralmente diques com camadas de solos locais tratados com cimento (1,5% a 2%) + aditivos químicos (1:1.500 a 1:2.000), todos em peso, até no máximo 2,00m de altura em camadas de 0,20m, compactados a 100% do PN.

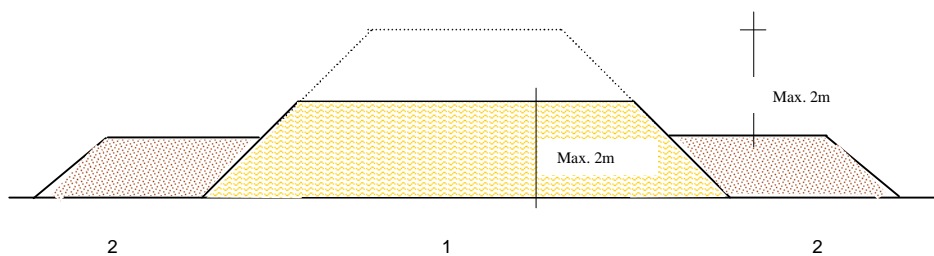


b- Depois de concluído os serviços iniciais das camadas dos diques, promover o lançamento do solo local no núcleo central e compacta-los a 100% do PN em camadas de 0,20m, podendo atingir altura máxima de 2,00m acima do nível das camadas dos envelopamentos, conforme seqüência esquemática abaixo.



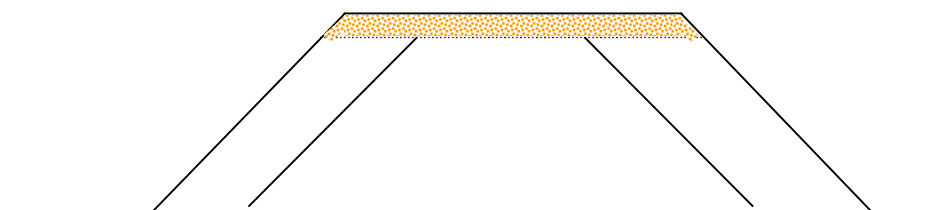
- 1- Execução do dique lateral tratado com DS-328 a 1:2.000 + cimento a 1,5% ou 2,0%, em peso, compactado a 100% PN
- 2- Execução do núcleo central com solo escavado do local sem tratamento, compactado a 100% do PN
- 3- Repetição consecutiva de 1
- 4- Repetição consecutiva de 2

Opção 3



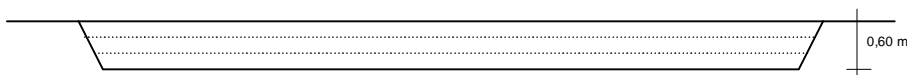
- 1- Execução do núcleo central com solo escavado do local sem tratamento, compactado a 100% do PN
- 2- Execução do dique lateral tratado com DS-328 a 1:2.000 + cimento a 1,5% ou 2,0%, em peso, compactado a 100% PN
- 3- Repetição consecutiva de 1
- 4- Repetição consecutiva de 2

- Após a conclusão do corpo de aterro com qualquer opção executiva de proteção lateral, executaremos uma camada superior do envelopamento com solo local tratado com cimento a 2,0% + aditivo químico líquido a 1:1.500, ambos em peso, com espessura de 0,60m, executada em camadas de 0,20m, compactadas a 100% do PI.

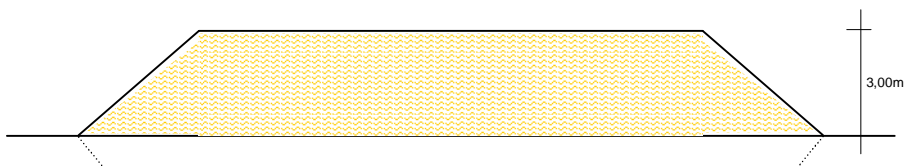


B- Procedimento Executivo dos Aterros com Envelopamentos ($h \leq 3,00\text{m}$)**1- Fundações**

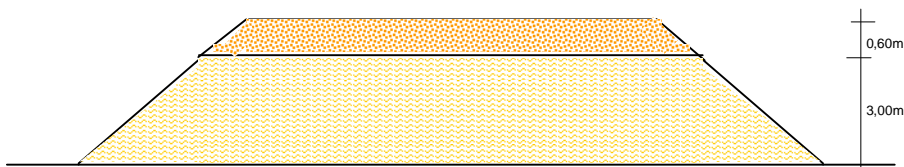
- Limpeza do Terreno;
- Demarcação do off-set da base do aterro;
- Escavação de 0,60 m para o preparo das fundações do aterro;
- Escarificação e compactação do subleito a 100% do PN;
- Reposição dos materiais retirados "in natura" do local e compactados em camadas máxima de 0,20 m a 100% do PI;

**2- Corpo do Aterro**

Após a conclusão dos serviços de fundação do aterro promover sua execução de acordo com a geometria do projeto com o solo local, compactados a 100% do PN



- Após a conclusão do corpo de aterro, deveremos executar uma camada superior de reforço com solo local tratado com cimento a 2,0% + aditivo químico líquido a 1:1.500, ambos em peso, com espessura de 0,60m, executada em camadas de 0,20m, compactadas a 100% do PI



C- Considerações e Recomendações Gerais

As camadas de solos estabilizadas quimicamente nos envelopamentos laterais e na camada superior poderão ter suas dosagens variadas em função das resistências obtidas, sempre atendendo as especificações do projeto e das normas técnicas vigentes. Para isto, haverá necessidade de se promover previamente uma campanha de ensaios laboratoriais com diversas dosagens. Por exemplo, na camada superior do terrapleno:

1ª camada (de -0,40m a -0.60m) : DS-328 a 1:2.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000

2ª camada (de -0,20m a -0.40m) : DS-328 a 1:2.000 + Cimento a 2,0%

3ª camada (de -0,00m a -0.20m) : DS-328 a 1:1.500 + Cimento a 2,0%

Esta alternativa, além de reduzir substancialmente o custo, proporcionará um acréscimo de resistência por camadas em relação aos valores de resistência do solo do corpo de aterro, mantendo a promoção da impermeabilidade necessária do envelopamento superior do terrapleno.

As correções de umidade deverão ser realizadas, preferencialmente nas áreas de exploração, mediante escarificação, gradeamento ou irrigação, minimizando-se, desta forma, correções de umidade no local de lançamento. Se não for possível, em função dos equipamentos empregados, esta operação deverá ser realizada no local de lançamento e esparrame.

O lançamento de materiais para a construção de aterros deverá ser iniciado pela parte mais baixa. Os lançamentos das camadas deverão ser aproximadamente horizontais e contínuos.

A espessura da camada lançada não deve exceder a 30cm de material solto e seu valor será especificado pela Fiscalização ou Supervisora, em função dos equipamentos de compactação que forem utilizados. O solo lançado deve ser espalhado e nivelado convenientemente, de maneira a se obter uma superfície plana e de espessura constante da camada de solo a ser compactado.

Antes da compactação, a camada lançada será trabalhada por meio de grade de disco, devendo resultar homogênea quanto à umidade, aspecto e textura e com o material perfeitamente destorroado.

O acerto final de umidade na praça de compactação será feito no caso de excesso de umidade, por revolvimento contínuo com grade de disco que penetre na altura total da camada lançada até atingir a faixa especificada. No caso de umidade insuficiente deverá ser feita irrigação com carro tanque e posterior gradeamento com grade de disco que revolva a camada em toda sua altura até a perfeita homogeneização da umidade.

Logo que a umidade da camada lançada atingir a faixa especificada, será iniciada a operação de compactação.

Os equipamentos de compactação a serem utilizados deverão ser previamente aprovados pela Fiscalização ou Supervisão em função das características dos solos que serão utilizados na construção dos aterros.

Uma passada do equipamento de compactação é definida como uma cobertura completa, abrangendo a totalidade da superfície e com uma superposição de 0.30 m entre faixas de compactação adjacentes.

Os trabalhos de compactação devem ser planejados de maneira a permitir o perfeito controle do número de passadas do rolo compactador.

O tráfego dos equipamentos de construção deverá se distribuir uniformemente sobre as áreas do maciço, não sendo permitido o tráfego concentrado em faixas, para evitar a laminação. Quando isso não for possível, nas faixas com tráfego concentrado e quando for constatada a ocorrência de laminação, o solo deverá ser removido até a profundidade em que elas desapareçam.

Objetiva-se a construção de um aterro homogêneo quanto aos parâmetros de compactação e com um grau de compactação mínimo de 100% relativo ao ensaio normal de compactação de solo (NBR-7182 da ABNT).

A faixa de variação de umidade do solo na camada a ser compactada será fixada entre $h_{ót} \pm 2\%$, sendo $h_{ót}$ a umidade ótima determinada no ensaio acima citado. Quando da definição do material de escavado e da realização dos ensaios iniciais de caracterização e de compactação essa faixa de variação da umidade poderá ser alterada.

Se a superfície que vai receber uma nova camada estiver ressecada ou úmida excessivamente, ela deverá ser escarificada e re-trabalhada no sentido de corrigir a sua umidade e, posteriormente, deverá ser re-compactada.

Para evitar a ocorrência dos trabalhos do item anterior deverão ser adotados todos os cuidados no sentido de proteger e evitar que a superfície da camada seja danificada.

Na iminência de chuva, a superfície do aterro deverá ser selada com equipamento de pneus ou liso para reduzir a absorção de água e dando-se uma inclinação na superfície para o rápido escoamento das águas.

Quando os trabalhos de lançamento e compactação forem interrompidos por um intervalo de tempo considerado prolongado pelas partes, a superfície do aterro deverá ser selada convenientemente e lançado sobre ela uma camada de solo solto ou com algum tratamento impermeável.

Após o período de interrupção e antes do reinício do lançamento de nova camada para compactação, a camada de proteção de solo deverá ser removida ou ranhurada pelos discos da grade.

Qualquer parte envolvida poderá solicitar à alterações nos métodos e equipamentos de lançamento e compactação, sempre que isso traga melhorias técnicas e econômicas para o Cliente.

O lançamento dos aterros deverá ser conduzido até uma distância adicional que permita a compactação eficiente do aterro até a linha do projeto ("off-set" externo). Nos desenhos de projeto esta distância adicional está denominada de sobre-largura.

Em nenhum caso será permitido o uso de solos contendo materiais orgânicos ou resíduos de qualquer espécie ou natureza.

D- Controle de Compactação do Aterro

A Fiscalização fará o controle de construção e da qualidade dos materiais utilizados e compactados através de inspeção visual, ensaios de campo e de laboratório.

Os solos a serem empregados na construção dos aterros devem ser controlados sistematicamente, seja nas áreas de escavação ou empréstimos, seja na própria área de lançamento, a fim de garantir que suas propriedades se enquadrem nas especificações.

O controle visual é fundamental no acompanhamento dos trabalhos de compactação do maciço, quando deverá ser observado:

- tipo do solo lançado;
- local de origem do solo lançado;
- umidade e homogeneidade do solo lançado;
- escarificação, acerto de umidade, homogeneidade e regularidade da espessura do solo lançado;
- ocorrência de laminação e borrachudos.

O controle de compactação será feito, também, pela determinação da umidade e do grau de compactação "in situ" do aterro, realizado na energia Normal.

Os parâmetros de compactação obtidos serão comparados com os especificados, para liberação da camada, juntamente com o controle visual.

A frequência dos ensaios de controle será, a princípio, de um ensaio para cada 500 m³ de material lançado, ou no mínimo de um ensaio por camada. Entretanto, a Fiscalização poderá exigir o número de ensaios que julgar necessário para o perfeito controle e liberação de cada camada.

As camadas de solo compactado que não apresentarem umidade e/ou grau de compactação aceitáveis deverão ser removidas, ter sua umidade corrigida (se necessário) homogeneizadas e re-compactadas.

E- Drenagem Provisória Durante as Obras

Durante a construção e até que seja executada a drenagem definitiva e geral da área, as águas de chuva deverão ser desviadas da área de construção por meio de soluções provisórias, de maneira a não prejudicar os trabalhos de execução da terraplenagem e nem causar danos a terceiros.

Durante a construção, a plataforma em terraplenagem deverá ficar com declividade de 0,5% para as laterais, com intuito de permitir o escoamento das águas pluviais.

As soluções para drenagem provisória deverão ser previamente dimensionadas e aprovadas pela Fiscalização.

F- PROCEDIMENTOS DA SEQUÊNCIA EXECUTIVA PARA CONSTRUÇÃO DE CAMADAS ESTABILIZADAS QUIMICAMENTE NO SUB-LASTRO DA FERROVIA

Alternativa : Estabilizante de Solos, líquido + Sulfato de Alumínio

As fases construtivas para confecção de camadas de bases, sub-bases ou reforços para o subleito de solos estabilizados quimicamente com estabilizante de solos, líquido e sulfato de alumínio são as seguintes:

1.1- Conformação da camada

A camada a ser tratada deverá ser previamente conformada à seção transversal e longitudinal do projeto, observando o grau de empolamento do solo a ser tratado;

1.2- Escarificação e Pulverização do solo a ser tratado

Quando o tratamento for realizado com o material natural (local) da pista, a parte superior da camada deverá ser escarificada com os garfos da motoniveladora na profundidade requerida de projeto; em seguida pulverizado. Quando o material da camada a ser tratada proceder de jazidas, estes deverão ser descarregados no local, espalhados com a lâmina da motoniveladora e pulverizado.



A pulverização da camada de solo poderá ser realizada através de trator rural e grade de disco ou enxada rotativa ou ainda uma pulvimixer.



A pulverização deverá se processar sempre a partir das bordas para o centro da pista e ser prolongada até que se consiga uma boa homogeneização em todo trecho a ser executado;

1.3- Distribuição e Homogeneização do Estabilizante de Solos, líquido

Antes de iniciarmos a distribuição do estabilizante líquido, determinaremos em vários pontos da pista a umidade do solo natural (H_{NAT}), por intermédio do “speedy” ou outro equipamento adequado para este fim. O ideal será que a média da umidade do solo, no trecho a ser tratado, esteja em torno de 2% abaixo do valor da umidade ótima de compactação (Hot).

Com esses dados de campo e o valor da umidade ótima de compactação, fornecida pelo ensaio de compactação, e com o auxílio da sequência de cálculo da “Folha de Campo”, anexa, determinamos a quantidade total de água a acrescentar na mistura para atingir o valor da umidade ótima de compactação:

$$\begin{aligned} \text{Volume de solo a ser tratado} & \dots\dots\dots V = C.L.E \text{ (m}^3\text{)} \\ \text{Massa seca do solo a ser tratado} & \dots\dots\dots M_s = V \cdot \gamma_s \text{ (t)} \\ \text{Massa do Estabilizante de solos liquido a ser introduzido} & \dots\dots\dots M_{EST} = M_s \cdot D \text{ (t)} \\ \text{Massa de água a ser utilizada} & \dots\dots\dots M_a = \frac{Hot - H_{nat}}{100} \cdot M_s \text{ (t)} \end{aligned}$$

OBS: Antes de iniciar os serviços de distribuição das soluções dos materiais estabilizantes, deveremos calcular o valor das vazões da barra de distribuição de cada caminhão pipa utilizado para este fim.

Colocar no caminhão pipa, 50% da quantidade total da água calculada e adicionar a quantidade do estabilizante de solos líquido nas proporções determinadas em laboratório, com resultados satisfatórios e nas determinações da Folha de Campo, na qual preconizamos a produção desejada para a obra.



Nesta operação, podemos trabalhar no máximo com uma unidade percentual da umidade ótima de compactação, abaixo da mesma.

A operação de içamento do tambor deverá ser efetuado através de uma carregadeira ou outro dispositivo qualquer de bombeamento. Caso tenha dificuldade em içar o tambor do aditivo químico por falta de equipamento, o produto poderá ser colocado no caminhão pipa em porções, utilizando baldes, latas ou por bombas de recalques de pequenas dimensões. A localização dos estoques dos materiais estabilizantes deverá estar próxima da captação das águas para promover as soluções.

Após a homogeneização no caminhão pipa do aditivo estabilizante e água (andar e breçar), proceder a distribuição na pista de maneira mais uniforme possível. A velocidade do caminhão pipa deverá ser constante em todo trecho onde será distribuída a solução. (cálculo da velocidade apresentado nas “Folhas de Campo”). O ideal será passar, no mínimo, 3 (três) vezes em cada faixa.



Em seguida, entrar com os equipamentos de pulverização (trator + grade), afim de ser efetuada a incorporação do estabilizante ao solo e sua mistura deve ser de modo uniforme e homogênea, pelo tempo que for necessário. Nesta operação deve-se usar o equipamento logo atrás do caminhão pipa para evitar possíveis saturações da parte superior da camada;



Verificar com rigor a umidade da mistura e compará-la com a umidade ótima de compactação, determinada previamente no ensaio de compactação. Se em excesso, promover a aeração do material até atingir a umidade desejada (-1% da Hot), através de pulverização.

1.4- Distribuição e Homogeneização do Reagente Sulfato de Alumínio

A primeira providência a ser tomada nesta operação será a dissolução do reagente em água, isto é, colocar $\frac{3}{4}$ de água num tambor aberto e introduzir a quantidade necessária do reagente Sulfato de Alumínio, até a sua completa diluição.

O resultado será uma solução altamente concentrada que vai ajudar a diluir mais na solução final do reagente com a água a ser aplicada no trecho.

Isto realizado, colocar em outro caminhão pipa os restantes 50% de água calculada pelas fórmulas acima descritas e adicionar o Reagente Sulfato de Alumínio



pré-diluído, de acordo com o cálculo da dosagem de laboratório (sempre na dosagem de 1:5.000, em peso, em relação a densidade aparente seca, máxima do solo).

Proceder a distribuição na pista de maneira mais uniforme possível. No caso de usar o mesmo caminhão pipa utilizado na distribuição do estabilizante líquido, o mesmo deverá ser previamente lavado afim de evitar a reação química proveniente da mistura, que provocaria o entupimento dos bicos da barra de distribuição;



Em seguida, entrar novamente com o equipamento de pulverização e mistura (trator + grade), afim de ser efetuada a incorporação do Reagente ao composto solo-aditivo na espessura da camada tratada e de maneira mais uniforme e homogênea. Se nesta operação, a grade de disco não penetrar em toda espessura da camada tratada, deveremos utilizar associado a esta, o equipamento agrícola denominado “tombador”;



Verificar com rigor a umidade final da mistura e compará-la com a umidade ótima de compactação determinada previamente no ensaio de compactação. Se em excesso, promover a aeração do material até atingir a umidade desejada, através de pulverização. Se em falta, adicionar água necessária para atingir o teor ótimo de umidade previsto, de forma uniforme e homogênea, utilizando caminhão pipa e equipamento pulvimisturador.

Depois do acerto da umidade, conformar a camada tratada solta, com auxílio da lâmina da motoniveladora, deixando-a no nível correto e livre de ondulações;

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:

Nas estabilizações de solos argilosos, de característica muito plástica, a mistura deve ser curada em estado livre por um período, mínimo, de 24 horas depois de

concluído os serviços de homogeneização descrito na fase acima. Este processo tem como finalidade principal a provocação da perda da plasticidade do solo tratado. Para solos não plásticos que são estabilizados quimicamente pelo mesmo processo não requer desta cura.

Depois do período de cura recomendada, a mistura deve ser revolvida e repulverizada até que todos os “torrões” e “grumos” sejam desmanchados numa massa homogênea. Sendo necessário, pode-se adicionar água nesta fase, para ajustar o teor de umidade até atingirmos a Hot.

1.5- Conformação

Antes do início dos serviços de compactação a camada tratada deverá ser conformada de acordo com o greide pré-estabelecido.



Durante esta fase, nos tratamentos de solos plásticos, deveremos tomar cuidado para não passar muitas vezes sobre a camada tratada com a motoniveladora, pois poderá ser criada uma camada superficial pré-adensada, prejudicial aos serviços de compactação. Caso ocorra tal fato, deveremos pulverizá-la novamente, de modo a deixá-la solta.

1.6- Compactação

1.6.1- Considerações Iniciais

A mistura de Solo estabilizado quimicamente com estabilizante de solos líquido e o reagente sulfato de alumínio será conformada na espessura apropriada e compactada até se alcançar as densidades das massas específicas aparentes máximas desejadas. A compactação satisfatória pode ser realizada em camadas simples ou múltiplas, dependendo da espessura projetada, da característica do solo e dos tipos de equipamentos disponíveis.

Um dos itens mais importante para execução de uma compactação satisfatória é a escolha de equipamentos adequados para sua realização.

Os principais fatores que influenciam na escolha desses equipamentos são em função das seguintes considerações:

- a-** do tipo de solo a ser tratado;
- b-** da espessura da camada projetada;
- c-** do local onde a obra será realizada.

Para o tratamento de camadas em solos, não plásticos, predominantemente arenosos (grupos A.1, A.2 e A.3), a recomendação para etapa inicial dos serviços, será a utilização de rolos do tipo “ pé de carneiro” , vibratório, com pata curta. Para os solos de características plásticas, predominantemente argilosos e siltosos, a recomendação seria o mesmo equipamento, porém sem vibração e com pata longa.

Dependendo da espessura da camada a ser construída, podemos utilizar os do tipo CA-15 ou similares para espessuras de até 15 cm e os do tipo CA-25 ou similares para espessuras entre 15 e 20 cm.

Com a utilização dos rolos compactadores do tipo CT-260 ou CT-262, apesar de serem estáticos, os mesmos poderão compactar ambos os tipos de solos, com grande eficiência e rapidez. (Não confundir com os do tipo Hister, que não é recomendado para camadas de Base de um pavimento).

Em casos específicos, também podemos utilizar para execução dos serviços somente rolos pneumáticos ou de chapa lisa metálica, isoladamente ou associados.

Cuidados especiais deverão ser observados quando da compactação de camadas de uma pavimentação em via urbana, quando utilizar a vibração, pois esta poderá prejudicar, sensivelmente, as construções residenciais lindeiras a obra.

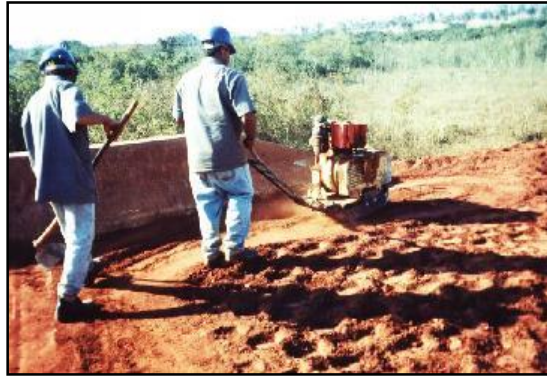
1.6.2- Execução

A operação de compactação deverá começar pelas bordas e progredir longitudinalmente para o centro nos trechos em tangente e da borda interna para a externa nos trechos em curvas, de modo que o compressor cubra uniformemente, em cada passada, pelo menos a metade da largura do seu rastro de passagem anterior paralelamente ao eixo do sentido preferencial;



Quando o rolo “pé de carneiro” atingir a superfície da camada executada e ele estiver somente marcando a superfície, deve-se parar o compactador e entrar com a lâmina da motoniveladora cortando, o mínimo possível para remover o material solto. Antes dessa operação de corte, verificar o grau de compactação que se encontra a camada, através do ensaio de frasco de areia ou metodologia similar.

OBSERVAÇÃO : Onde não for possível o emprego do equipamento convencional, a compactação será processada por meios de placas vibratórias, soquetes tipo “sapo” ou “manuais”, com características que permitem atingir o grau de compactação especificado.



1.6.3- Acabamentos

Quando se tratar de uma camada de Base para receber um revestimento asfáltico delgado (Tratamentos Superficiais ou CBUQ de pequena espessura), ou ainda para completar a compactação, a recomendação para dar o acabamento será :

Quando ficar somente as marcas das patas do “pé de carneiro” e verificado o grau de compactação desejado, molhar levemente a camada com o caminhão pipa, a seguir entrar com a motoniveladora, cortando com a lâmina , uma espessura mínima e delgada, o suficiente para retirar tais marcas ou reduzi-las ao mínimo possível. Em seguida entrar com o rolo pneumático para dar o acabamento final.



material cortado **não** deverá ser aproveitado para o trecho que já foi tratado e compactado.

O grau de compactação do solo estabilizado quimicamente acabado, não deve ser inferior a 100% da energia preconizada pelo projeto. Normalmente, para reforço para o subleito e sub-base utilizamos a energia Normal e para camadas de base, a energia Intermediária ou a Modificada, quando se tratar de obras aeroportuárias.

Outra verificação importante a ser observada durante a execução das camadas estabilizadas quimicamente, afim de evitar as indesejáveis Lamelas, será :

- a- Obedecer rigorosamente o controle de umidade;
- b- Acertar a seção longitudinal e transversal da camada tratada e **nunca** deixar para o dia seguinte, o corte de acabamento superior da base;
- c- Controlar rigorosamente as condições de corte da lâmina da motoniveladora, pois a mesma não poderá apresentar dentes e/ou corte deficiente, isto é, utilizar lâmina afiada para acabamento de Base.

Se por acaso ocorrer tais falhas, a camada tratada deverá ser escarificada, pulverizada em toda sua espessura, colocada na umidade correta e re-compactada na energia especificada, não havendo a necessidade de incorporar mais produtos. Se por acaso a camada estiver desestruturada por excesso de compactação, retirar toda camada, jogar fora e substituir por uma nova tratada com a mesma dosagem.

Finalmente, a camada tratada deve apresentar-se uniforme, isenta de ondulações, sem saliências ou rebaixos. A camada pronta deverá ter a forma definida pelos alinhamentos, perfis, dimensões e seções transversais típicas estabelecidas pelo projeto. Nos lugares onde essas condições não forem atingidas, a critério da fiscalização, o material deverá ser novamente escarificado, pulverizado e convenientemente umedecido ou aerado e compactado.

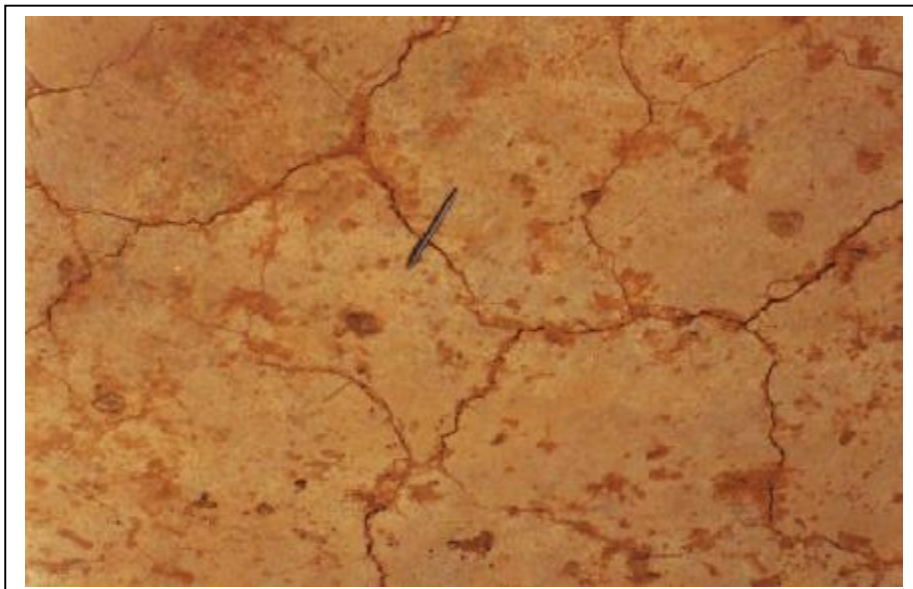
1.7- Proteção da Obra

Durante todo o período de construção da camada tratada até seu recobrimento, os materiais, os trechos em construção e a camada pronta deverão ser protegidos contra os agentes que possam danificá-los.

1.9- Condições de recebimento:

A camada pronta deverá ter a forma definida pelos alinhamentos, perfis, dimensões e seções transversais típicas estabelecidas pelo projeto. O grau de compactação do solo com DS-328, acabado não deve ser inferior a 100% da energia Intermediária.

ASPECTO FINAL DA CAMADA TRATADA COM MATERIAIS ESTABILIZANTES



Aspecto das trincas superficiais de retração que ocorrem sobre camada de solo tratado

FOLHA DE CAMPO PARA CONTROLE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

(Quando se estabelece a quantidade de tambores a serem aplicados)

ESTRADA:.....LOCAL:.....DATA...../...../.....
TRECHO:.....ESTACA DE:.....à.....

DADOS CONHECIDOS

MASSA DE ESTABILIZANTE LÍQUIDO A UTILIZAR..... M_{EST} (t) = _____
LARGURA DA PISTA..... L (m) = _____
ESPESSURA DA CAMADA A SER TRATADA..... E (m) = _____
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA, MÁXIMA..... γ_s (t/m³) = _____
UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO H_{ot} (%) = _____
DOSAGEM DO DS-328 ($\frac{1}{1.000}$, $\frac{1}{1.500}$, $\frac{1}{2.000}$)..... D = _____
DOSAGEM DO REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIO..... D_{SA} = 1/5.000

DADOS DETERMINADOS OU ADOTADOS

UMIDADE NATURAL DO SOLO ENCONTRADA NO CAMPO..... H_{nat} (%) = _____
LARGURA DA PROJEÇÃO DA ÁGUA PELA BARRA DO PIPA..... l (m) = _____
VAZÃO DO CARRO PIPA (verificar valor previamente)..... v (lts/seg) = _____
NÚMERO DE PASSADAS DO PIPA POR FAIXA..... n = _____

DADOS CALCULADOS

MASSA SECA DO SOLO A SER TRATADA..... $M_s = \frac{M_{EST}}{D}$ (t) = _____
VOLUME DE SOLO A SER TRATADO..... $V = \frac{M_s}{\gamma_s}$ (m³) = _____
COMPRIMENTO DA PISTA..... $C = \frac{V}{L \cdot E}$ (m) = _____
MASSA DO REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIO $M_{SA} = 0,20 M_{EST}$ (t) = _____
MASSA DE ÁGUA TOTAL A SER UTILIZADA..... $M_a = \frac{H_{ot} - H_{nat}}{100} \cdot M_s$ (t) = _____
MASSA DE ÁGUA A SER UTILIZADA COM O..... $M_{a\ est} = 0,5 M_a - M_{EST}$ (t) = _____
ESTABILIZANTE LÍQUIDO
MASSA DE ÁGUA A SER UTILIZADA COM REAGENTE... $M_{a\ sa} = M_{a\ est}$ (t) = _____
NÚMERO DE FAIXA..... $N = \frac{L}{l}$ = _____

VELOCIDADE DO PIPA $V_p = 3,6 \cdot \frac{N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_{a\ est}}$ (km/h) = _____

TEMPO DE PERCURSO QUE O PIPA TEM PARA DISTRIBUIR A SOLUÇÃO POR FAIXA
 $t = \frac{C}{V_p}$ (seg/faixa) = _____

FOLHA DE CAMPO PARA CONTROLE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

(Quando se tem um comprimento pré-estabelecido a ser executado)

ESTRADA:.....LOCAL:.....DATA...../...../.....

TRECHO:.....ESTACA DE:.....à.....

DADOS CONHECIDOS

COMPRIENTO DA PISTA A EXECUTAR.....C (m) = _____

LARGURA DA PISTA.....L (m) = _____

ESPESSURA DA CAMADA A SER TRATADA.....E (m) = _____

MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA, MÁXIMA..... γ_s (t/m³) = _____

UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃOHot (%) = _____

DOSAGEM DO ESTABILIZANTE LÍQUIDO (1/1.000 à 1:2.000).....D = _____

DOSAGEM DO REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIO.....D_{SA} = 1/5.000

DADOS DETERMINADOS OU ADOTADOS

UMIDADE NATURAL DO SOLO ENCONTRADA NO CAMPO.....H_{nat} (%) = _____

LARGURA DA PROJEÇÃO DA ÁGUA PELA BARRA DO PIPA.....l (m) = _____

VAZÃO DO CARRO PIPA (verificar o valor previamente).....v (lts/seg) = _____

NÚMERO DE PASSADAS DO PIPA POR FAIXA.....n = _____

DADOS CALCULADOS

VOLUME DE SOLO A SER TRATADO.....V = C . L . E (m³) = _____

MASSA SECA DO SOLO A SER TRATADA.....M_s = V . γ_s (t) = _____

MASSA DE PRODUTO ESTABILIZANTE LÍQUIDO.....M_{EST} = M_s . D (t) = _____

MASSA DO REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIOM_{sa} = M_s / 5 (t) = _____

MASSA DE ÁGUA TOTAL A SER UTILIZADA.....M_a = $\frac{Hot - H_{nat}}{100} \cdot M_s$ (t) = _____

MASSA DE ÁGUA A SER UTILIZADA COM O.....M_{a est} = 0,5 M_a - M_{EST} (t) = _____
ESTABILIZANTE LÍQUIDO

MASSA DE ÁGUA A SER UTILIZADA COM REAGENTE S.A..M_{a sa} = M_{a est} (t) = _____

NÚMERO DE FAIXA.....N = $\frac{L}{l}$ = _____

VELOCIDADE DO PIPA.....V_p = $\frac{N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_{a est}}$ (m/seg) = _____ = _____

V_p = $\frac{3,6 \cdot N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_{a est}}$ (km/h) = _____ = _____

TEMPO DE PERCURSO QUE O PIPA TEM PARA DISTRIBUIR A SOLUÇÃO POR FAIXA

t = $\frac{C}{V_p}$ (seg/faixa) = _____

G- PROCEDIMENTO DA SEQUÊNCIA EXECUTIVA PARA CONSTRUÇÃO DE CAMADAS ESTABILIZADAS QUIMICAMENTE NOS ENVELOPAMENTOS LATERAIS E SUPERFICIAL DA FERROVIA.

Alternativa : Estabilizante de Solos, líquido + Cimento

As fases construtivas para confecção de camadas de bases, sub-bases ou de reforços para o subleito de solos estabilizados quimicamente com estabilizante de solos, líquido e cimento são as seguintes:

2.1- Conformação da camada

A camada a ser tratada deverá ser previamente conformada à seção transversal e longitudinal do projeto, observando o grau de empolamento do solo a ser tratado;

2.2- Distribuição do Cimento

Ao receber o reagente Cimento em “big bags”, distribuí-los ao longo da pista em distancia quantidades necessárias do material de modo a facilitar sua distribuição quando do desenvolvimento dos serviços de aplicação. Não esquecer de protegê-los com lona plástica. Exemplo: Se formos executar uma camada de 4,00m de largura por 0,20m de espessura de um solo com $\gamma_s = 1.600 \text{ kg m}^3$, a distancia entre os bags seria de 58,60m.

Sua distribuição na pista poderá se processar através de várias maneiras :

- Com uma pá-carregadeira diretamente;
- Com caminhões basculantes, auxiliados por pá-carregadeira e motoniveladora;
- Com distribuidor, tipo Spread ou Scraper, auxiliado por pá-carregadeira.
- ou outro dispositivo qualquer

A quantidade do material distribuído na área a ser tratada deverá ser espalhado, com auxílio da lâmina da motoniveladora, de modo a proporcionar uma cobertura por igual.

A introdução inicial deste material no sistema será para uma melhor e maior homogeneização do mesmo com o solo.

Se por acaso, no dia da aplicação estiver ventando muito, deveremos proceder a uma leve escarificação na superfície do solo a ser tratado; em seguida distribuir a cal hidratada ou mesmo com uma leve umedecida.

Quando o material da camada a ser tratada proceder de jazidas, este deverá ser descarregado no local, espalhados com a lâmina da motoniveladora, na espessura da camada de projeto, considerando o seu grau de empolamento.



2.3- Escarificação, Pulverização e Homogeneização do solo com o cimento

Após a distribuição do cimento na área a ser tratada, iniciar o processo de escarificação do solo com os garfos da motoniveladora até a profundidade requerida de projeto;



A pulverização e a homogeneização da camada tratada poderá ser realizada através de trator rural e grade de disco ou enxada rotativa ou uma pulvimixer ou ainda um tombador agrícola, quando as espessuras forem espessas.



Estas operações deverão se processar sempre a partir das bordas para o centro da pista e ser prolongada até que se consiga uma boa homogeneização em todo trecho a ser executado;

OBS: - Caso os equipamentos de pulverização não forem adequados para a mistura com o solo e na profundidade a ser atingida, deveremos utilizar a motoniveladora nesta operação,

escarificando e misturando com sua lâmina ou então, utilizando um tombador puxado por um trator rural.

A mistura estará concluída, quando a coloração predominante do Cimento tenha praticamente desaparecido, apresentando-se a mistura, em toda a superfície da camada tratada, com uma cor uniforme.



2.4- Distribuição e Homogeneização do Estabilizante de Solos, líquido

Antes de iniciarmos a distribuição do estabilizante líquido, determinaremos em vários pontos da pista a umidade do solo natural (H_{NAT}), por intermédio do “speedy” ou outro equipamento adequado para este fim. O ideal será que a média da umidade do solo, no trecho a ser tratado, esteja em torno de 1% abaixo do valor da umidade ótima de compactação (H_{ot}).

Com esses dados de campo e o valor da umidade ótima de compactação, fornecida pelo ensaio de compactação (Proctor), e com o auxílio da sequência de cálculo da “Folha de Campo”, anexa, determinamos a quantidade total de água a acrescentar na mistura para atingir o valor da umidade ótima de compactação:

$$\begin{aligned} \text{Volume de solo a ser tratado} & \dots\dots\dots V = C.L.E \text{ (m}^3\text{)} \\ \text{Massa seca do solo a ser tratado} & \dots\dots\dots M_s = V \cdot \gamma_s \text{ (t)} \\ \text{Massa do Estabilizante de solos liquido a ser introduzido} & \dots\dots\dots M_{EST} = M_s \cdot D \text{ (t)} \\ \text{Massa de água a ser utilizada} & \dots\dots\dots M_a = \frac{H_{ot} - H_{nat}}{100} \cdot M_s \text{ (t)} \end{aligned}$$

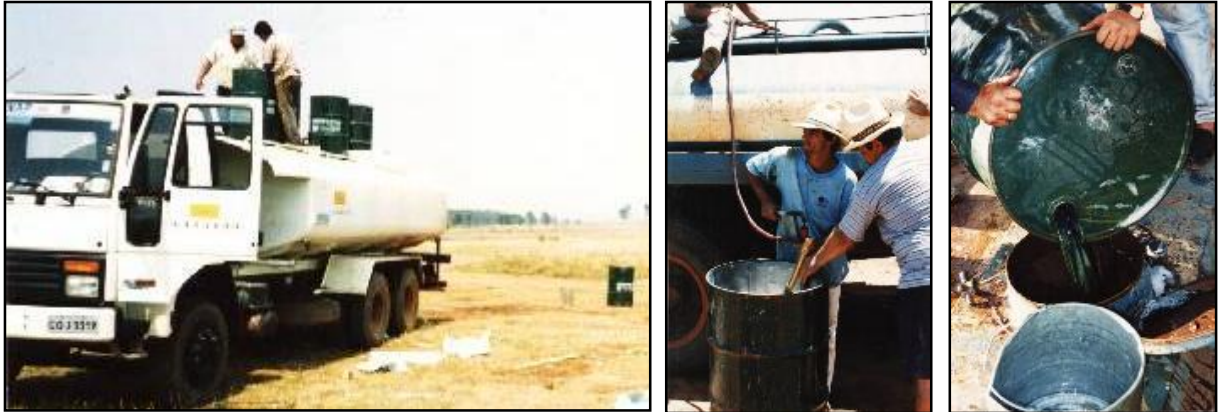
OBS: Antes de iniciar o serviço de distribuição da solução do produto estabilizante de solos, deveremos calcular o valor da vazão da barra de distribuição do caminhão pipa utilizado para este fim.

Colocar no caminhão pipa, 100% da quantidade total da água calculada e adicionar a quantidade do estabilizante de solos líquido na dosagem determinada em laboratório. (No caso do mesmo exemplo citado anteriormente determinamos o comprimento do trecho a ser tratado com um tambor de 200 kg de DS-328, isto é, estamos utilizando uma dosagem de 11.500 num solo de 1.600 kg m³ = 1,066 kg m³ e como tratamos 46,87 m³ de solo por bag, consumiremos 50 kg do estabilizante DS-328 a cada 58,60m, portanto cada tambor de 200 kg tratará 234,40m de extensão de camada.)

A operação de içamento do tambor deverá ser efetuado através de uma carregadeira ou outro dispositivo qualquer de bombeamento.

Caso tenha dificuldade em içar o tambor do aditivo químico por falta de equipamento, o produto poderá ser introduzido no caminhão pipa em porções, utilizando baldes, latas ou por bombas de recalques de pequenas dimensões.

Para melhor logística, a localização do estoque do produto estabilizante de solos líquido deverá estar próxima da captação das águas para promover as soluções.



Após a homogeneização no caminhão pipa do estabilizante líquido e água (andar e breçar), proceder à distribuição na pista de maneira mais uniforme possível. A velocidade da irrigadeira deverá ser constante em todo trecho onde será distribuída a solução. (cálculo da velocidade apresentado na “Folha de Campo”) O ideal será passar no mínimo 3 (três) vezes em cada faixa.



Em seguida, entrar com os equipamentos de pulverização (trator + grade) , a fim de ser efetuada a incorporação do estabilizante ao solo + cimento e sua mistura deve ser de modo uniforme e homogênea, pelo tempo que for necessário. Nesta operação deve-se usar o equipamento logo atrás do caminhão pipa para evitar possíveis saturações da parte superior da camada;



Verificar com rigor a umidade final do solo tratado. O material deverá ser colocado próximo da umidade ótima em toda a extensão do trecho em execução. Se a umidade estiver acima da *Hot*, promover a aeração da camada e/ou do trecho; se a umidade estiver abaixo, completar adicionando água pura;

2.5- Conformação

Depois do acerto da umidade, conformar a camada tratada solta, com auxílio da lâmina da motoniveladora, deixando-a no nível de greide correto e livre de ondulações;



OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

Nas estabilizações de solos argilosos, do tipo roxo, de característica muito plástica e/ou expansiva, a mistura deve ser curada em estado livre por um período, mínimo, de 24 horas depois de concluído os serviços de homogeneização descrito na fase acima. Este processo tem como finalidade principal a provocação da perda da plasticidade do solo tratado. Para solos não muito plásticos que são estabilizados quimicamente pelo mesmo processo não requer desta cura.

*Depois do período de cura recomendada, a mistura deve ser revolvida e re-pulverizada até que todos os “torrões” e “grumos” sejam desmanchados numa massa homogênea. Sendo necessário, pode-se adicionar água nesta fase, para ajustar o teor de umidade até atingirmos a *Hot*.*

Durante esta fase, nos tratamentos de solos muito plásticos, deveremos tomar cuidado para não passar muitas vezes sobre a camada tratada com a motoniveladora, pois poderá ser criada uma camada superficial pré-adensada, prejudicial aos serviços de compactação. Caso ocorra tal fato, deveremos pulverizá-la novamente, de modo a deixá-la solta.

2.6- Compactação

2.6.1- Considerações Iniciais

A mistura de Solo estabilizado quimicamente com estabilizante de solos líquido e o reagente cimento será conformada na espessura apropriada e compactada até se alcançar às densidades das massas específicas aparentes máximas desejadas. A compactação satisfatória pode ser realizada em camadas simples ou múltiplas, dependendo da espessura projetada, da característica do solo e dos tipos de equipamentos envolvidos.

Um dos itens mais importante para execução de uma compactação satisfatória é a escolha de equipamentos adequados para sua realização.

Os principais fatores que influenciam na escolha desses equipamentos são em função das seguintes considerações::

- b- do tipo de solo a ser tratado;
- c- da espessura da camada projetada;
- d- do local onde a obra será realizada.

Para o tratamento de camadas em solos, não plásticos, predominantemente arenosos (grupos A.1, A.2 e A.3), a recomendação para etapa inicial dos serviços, será a utilização de rolos do tipo “pé de carneiro” , vibratório, com pata curta. Para os solos de características plásticas (A.4, A.5, A.6 e A.7), predominantemente, argilosos e siltosos, a recomendação seria o mesmo equipamento, porém sem vibração e com pata longa.

Dependendo da espessura da camada a ser construída, podemos utilizar os do tipo CA-15 ou similares para espessuras de até 15 cm e os do tipo CA-25 ou similares para espessuras entre 15 e 20 cm.

Com a utilização dos rolos compactadores do tipo CT-260 ou CT-262, apesar de serem estáticos, os mesmos poderão compactar ambos os tipos de solos, com grande eficiência e rapidez. (Não confundir com os do tipo Hister, que não é recomendado para camadas de Base de um pavimento).

Em casos específicos, também podemos utilizar para execução dos serviços somente rolos pneumáticos ou de chapa lisa metálica, isoladamente ou associados.

Cuidados especiais deverão ser observados quando da compactação de camadas de uma pavimentação em via urbana, quando utilizar a vibração, pois esta poderá prejudicar, sensivelmente, as construções residenciais lindeiras a obra.

2.6.2- Execução

A operação de compactação deverá começar pelas bordas e progredir longitudinalmente para o centro nos trechos em tangente e da borda interna para a externa nos trechos em curvas, de modo que o compressor cubra uniformemente, em cada passada, pelo menos a metade da largura do seu rastro de passagem anterior paralelamente ao eixo do sentido preferencial;



Quando o rolo “pé de carneiro” atingir a superfície da camada executada e ele estiver somente marcando a superfície, deve-se parar o compactador e entrar com a lâmina da motoniveladora cortando, o mínimo possível para remover o material solto. Não e o caso de construção de aterros ou barragens ou de fundações de aterro ou de camadas inferiores.

Antes dessa operação de corte, verificar o grau de compactação que se encontra a camada, através do ensaio de frasco de areia ou metodologia similar, tipo Hilf. O menor grau de compactação aceitável, dependendo do tipo de solo e da camada tratada será de no mínimo

de 97% da energia Intermediária, desde que por outros meios de aferição de qualidade seja atendido, como por exemplo os valores de deflexões aceitáveis, determinados pela viga Benkelman.

OBSERVAÇÃO : *Onde não for possível o emprego do equipamento convencional, a compactação será processada por meios de placas vibratórias, soquetes tipo “sapo” ou “manuais”, com características que permitem atingir o grau de compactação especificado.*



2.6.3- Acabamentos

Quando se tratar de uma camada de Base para receber um revestimento qualquer ou ainda para completar a compactação de uma camada superior, a recomendação para dar o acabamento será :

- Quando ficar somente as marcas das patas do “pé de carneiro” e verificado o grau de compactação desejado, molhar levemente a camada com o caminhão pipa, a seguir entrar com a motoniveladora, cortando com a lâmina , uma espessura mínima e delgada, o suficiente para retirar tais marcas ou reduzi-las ao mínimo possível. Em seguida entrar com o rolo pneumático para dar o acabamento final. Para camadas de reforço ou sub-bases ou de camadas de um aterro não haverá a necessidade deste procedimento



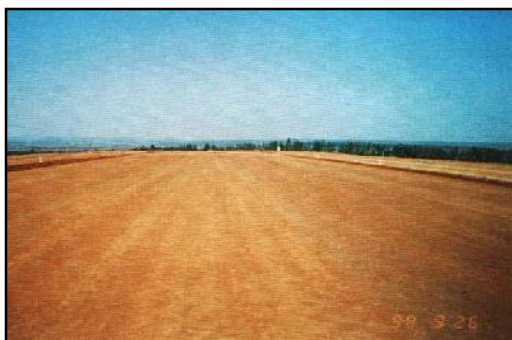
- O material cortado **não** deverá ser aproveitado para o trecho que já foi tratado e compactado.
- Por se tratar de uma tecnologia que promove alta resistência por maior coesão entre as partículas, o grau de compactação da camada de base de solo estabilizado quimicamente, não deverá ser inferior a 100% da energia Intermediária ou a 95% da energia Modificada, mesmo para camadas de reforço para o subleito e sub-base. Os únicos trabalhos que se admite 100% do PN serão no corpo de um aterro e num “envelopamento” lateral a este.

Outra verificação importante a ser observada durante a execução das camadas estabilizadas quimicamente, a fim de evitar as indesejáveis Lamelas, será :

- a- Obedecer rigorosamente o controle de umidade;
- b- Acertar a seção longitudinal e transversal da camada tratada e **nunca** deixar para o dia seguinte, o corte de acamamento superior da base;
- c- Controlar rigorosamente as condições de corte da lâmina da motoniveladora, pois a mesma não poderá apresentar dentes e/ou corte deficiente, isto é, utilizar lâmina afiada para acabamento de Base.

Se por acaso ocorrer tais falhas, a camada tratada deverá ser escarificada, pulverizada em toda sua espessura, colocada na umidade correta e re-compactada na energia especificada, não havendo a necessidade de incorporar mais produtos. Se por acaso a camada estiver desestruturada por excesso de compactação, retirar toda camada, jogar fora e substituir por uma nova tratada com a mesma dosagem.

Finalmente, a camada superior tratada deve apresentar-se uniforme, isenta de ondulações, sem saliências ou rebaixos. A camada pronta deverá ter a forma definida pelos alinhamentos, perfis, dimensões e seções transversais típicas estabelecidas pelo projeto. Nos lugares onde essas condições não forem atingidas, a critério da fiscalização, o material deverá ser novamente escarificado, pulverizado e convenientemente umedecido ou aerado e compactado.



O EQUIPAMENTO DE MELHOR DESEMPENHO PARA EXECUÇÃO DE ATERROS DE BARRAGENS OU DE ENVELOPAMENTO



2.7- Proteção da Obra

Durante todo o período de construção da camada tratada até seu recobrimento, os materiais, os trechos em construção e a camada superior pronta deverão ser protegidos contra os agentes que possam danificá-los.

2.8- Condições de Recebimento

A camada pronta deverá ter a forma definida pelos alinhamentos, perfis, dimensões e seções transversais típicas estabelecidas pelo projeto. O grau de compactação do solo tratado com estes produtos estabilizantes, acabado, não deve ser inferior a 100% da energia Intermediária, salvo exceções.

ASPECTO FINAL DA CAMADA SUPERIOR TRATADA COM MATERIAIS ESTABILIZANTES



Aspecto das trincas superficiais de retração que ocorrem sobre camada de solo tratado

FOLHA DE CAMPO PARA CONTROLE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

(Quando se estabelece a quantidade de tambores a serem aplicados)

OBRA : LOCAL: DATA...../...../.....
TRECHO: ESTACA DE: a.....

DADOS CONHECIDOS

MASSA DE ESTABILIZANTE LÍQUIDO A UTILIZAR..... M_{EST} (t) = _____
LARGURA DA PISTA..... L (m) = _____
ESPESSURA DA CAMADA A SER TRATADA..... E (m) = _____
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA, MÁXIMA..... γ_s (t/m³) = _____
UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO Hot (%) = _____
DOSAGEM DO ESTABILIZANTE LÍQUIDO ($\frac{1}{1.500}$ a $\frac{1}{2.500}$)..... D_{EST} = _____
DOSAGEM DO REAGENTE CAL HIDRATADA (2%=0,02 a 3%=0,03)... D_{CAL} = _____

DADOS DETERMINADOS OU ADOTADOS

UMIDADE NATURAL DO SOLO ENCONTRADA NO CAMPO..... H_{nat} (%) = _____
LARGURA DA PROJEÇÃO DA ÁGUA PELA BARRA DO PIPA..... l (m) = _____
VAZÃO DO CARRO PIPA (verificar o valor previamente)..... v (lts/seg) = _____
NÚMERO IDEAL DE PASSADAS DO PIPA POR FAIXA..... n = _____

DADOS CALCULADOS

MASSA SECA DO SOLO A SER TRATADA..... $M_s = \frac{M_{EST}}{D}$ (t) = _____
VOLUME DE SOLO A SER TRATADO..... $V = \frac{M_s}{\gamma_s}$ (m³) = _____
COMPRIMENTO DA PISTA..... $C = \frac{V}{L \cdot E}$ (m) = _____
MASSA DO REAGENTE CAL HIDRATADA..... $M_{CAL} = D_{CAL} \cdot M_s$ (t) = _____
MASSA DE ÁGUA TOTAL A SER UTILIZADA..... $M_a = \frac{Hot - H_{nat}}{100} \cdot M_s$ (t) = _____
COM ESTABILIZANTE LÍQUIDO
NÚMERO DE FAIXA..... $N = \frac{L}{l}$ = _____

VELOCIDADE DO PIPA. $V_p = \frac{N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_a}$ (m/seg) = _____ = _____
Ma (kg)

$V_p = \frac{3,6 \cdot N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_a}$ (km/h) = _____ = _____
Ma (kg)

TEMPO DE PERCURSO QUE O PIPA TEM PARA DISTRIBUIR A SOLUÇÃO POR FAIXA
 $t = \frac{C}{V_p}$ (seg/faixa) = _____

FOLHA DE CAMPO PARA CONTROLE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA
(Quando se tem um comprimento pré-estabelecido a ser executado)

OBRA:.....LOCAL:.....DATA...../...../.....

TRECHO:.....ESTACA DE:.....à.....

DADOS CONHECIDOS

COMPRIMENTO DA PISTA A EXECUTAR.....C (m) = _____

LARGURA DA PISTA.....L (m) = _____

ESPESSURA DA CAMADA A SER TRATADA.....E (m) = _____

MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA, MÁXIMA..... γ_s (t/m³) = _____

UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃOHot (%) = _____

DOSAGEM DO ESTABILIZANTE LÍQUIDO ($\frac{1}{1.500}$ a $\frac{1}{2.500}$).....D = _____

DOSAGEM DO REAGENTE CAL HIDRATADA (2%=0,02 a 3%=0,03)...D_{CAL} = _____

DADOS DETERMINADOS OU ADOTADOS

UMIDADE NATURAL DO SOLO ENCONTRADA NO CAMPO.....Hnat (%) = _____

LARGURA DA PROJEÇÃO DA ÁGUA PELA BARRA DO PIPA.....l (m) = _____

VAZÃO DO CARRO PIPA (verificar o valor previamente).....v (lts/seg) = _____

NÚMERO DE PASSADAS DO PIPA POR FAIXA.....n = _____

DADOS CALCULADOS

VOLUME DE SOLO A SER TRATADO.....V = C • L • E (m³) = _____

MASSA SECA DO SOLO A SER TRATADA.....M_s = V • γ_s (t) = _____

MASSA DE PRODUTO ESTABILIZANTE LÍQUIDO.....M_{EST} = M_s • D (t) = _____

MASSA DO REAGENTE CAL HIDRATADA A SER.....M_{CAL} = M_s • D_{CAL} (t) = _____
DISTRIBUÍDA NO TRECHO

MASSA DE ÁGUA TOTAL A SER UTILIZADA.....M_a = $\frac{Hot - Hnat}{100} \cdot M_s$ (t) = _____
COM O ESTABILIZANTE LÍQUIDO

NÚMERO DE FAIXA.....N = $\frac{L}{l}$ = _____

VELOCIDADE DO PIPA.....V_p = $\frac{N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_a}$ (m/seg) = _____ = _____

V_p = $\frac{3,6 \cdot N \cdot n \cdot C \cdot v}{M_a}$ (km/h) = _____ = _____

TEMPO DE PERCURSO QUE O PIPA TEM PARA DISTRIBUIR A SOLUÇÃO POR FAIXA

t = $\frac{C}{V_p}$ (seg/faixa) = _____