

# HISTÓRICO DA ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS COM EMPREGO DO ADITIVO QUÍMICO LÍQUIDO, DS-328/BS-PLUS E SEUS REAGENTES.

## 1- PREFÁCIO

A estabilização de solos, no campo da engenharia rodoviária, é um dos trabalhos mais antigos que se tem notícia, sendo empregado na conservação de estradas de terra, bem como na construção de novos pavimentos.

São inúmeras as dificuldades para solucionar adequadamente tais problemas, pois na crosta terrestre existe uma grande heterogeneidade entre solos. Fato este, que nos obriga, permanentemente, a realização de estudos e pesquisas para tentar equacionar sua estabilidade.

A estabilidade de um solo baseia-se em trabalhar materiais ou misturas destes com um aglomerante hidráulico ou com aditivos químicos secos ou líquidos, com a finalidade de se obter um produto que, sob determinadas condições de umidade e densidade, seja capaz de resistir aos esforços cortantes e resulte em camadas de um pavimento.

No que tange à estabilização com misturas de solos e com aditivos químicos por via seca, como a cal e o cimento tem sido empregados durante décadas pela comunidade técnica e científica internacional como reforço de sub-leitos, sub-bases e bases de estradas. Contudo, o emprego de aditivos químicos, por via líquida, para o mesmo fim, encontrou por longo tempo muita resistência, devido à falta de conhecimento técnico de suas reações físico-químicas, falta de especificações técnicas, que normalmente geraram dúvidas quanto a sua aplicabilidade, durabilidade, efeitos, etc., porém hoje, diante dos resultados comprovados de desempenho técnico e de normas oficiais, este quadro já não existe.

Essas preocupações foram e são válidas, pelo ponto de vista técnico do conhecimento, uma vez que no Brasil foram aplicados e testados ao longo do tempo, vários produtos de diversas procedências, cujos resultados práticos nem sempre foram satisfatórios, provocando em muitos casos, enormes prejuízos ao erário público e aos que os utilizaram.

Mas, não podemos generalizar, uma vez que isto não ocorreu com a utilização de alguns produtos, principalmente com o DS-328/BS-PLUS, cuja tecnologia vem sendo empregada, sistematicamente, pelas grandes empreiteiras brasileiras e estrangeiras, pelas concessionárias de estradas, pelas instituições aeroportuárias, por diversos órgãos rodoviários e municipalidades e que vem demonstrando desde 1.973 seu uso em vias urbanas, rodovias, de diversos tipos de tráfego e de solos, pátios industriais, ferrovias e aeroportos, sua eficiência no comportamento técnico e econômico das mesmas.

O assunto apresentado neste documento, visa em primeiro lugar, à conscientização dos profissionais ligados a engenharia viária, em relação à utilização desses produtos em seus projetos e obras, com os quais,

certamente, poderão viabilizar técnica e economicamente suas implantações, principalmente, naqueles denominados de “estruturantes”, identificados como de alto efeito multiplicador na economia, promovendo inclusive, a melhoria das condições sociais da população brasileira e a redução dos desequilíbrios regionais.

Apresentaremos a seguir, as informações sobre a tecnologia de maneira mais transparente possível, a ação dos produtos nos solos, com as recomendações de como, onde e quando utilizá-los em serviços de pavimentação e terraplenagem, de acordo com as Normas Técnicas pertinentes; suas vantagens; sequências executivas de aplicação; obras de pavimentos urbanos, rodoviários; aeroportuários, industriais e de outras aplicações, enfim, o fornecimento de dados de interesse para mostrar aos projetistas, empreiteiros e administradores públicos que existe mais uma alternativa de pavimentação que, certamente, os auxiliarão nas soluções de seus projetos e obras para que sejam seguras, econômicas e duráveis.

Devemos salientar que as pesquisas desenvolvidas para o emprego desta Tecnologia deram início durante a 2ª Guerra Mundial, quando a rápida construção de pistas de pouso e de rotas militares era de grande importância estratégica.

## 2 – INTRODUÇÃO

Na engenharia rodoviária, compete ao projetista desenvolver os seus respectivos projetos de pavimentação, optar por soluções técnicas que atendam às características exigidas para sua utilização, que possibilitem alcançar o menor custo possível e satisfaça as expectativas do cliente.

De maneira geral, a maioria dos solos existentes nos locais das construções não atendem às necessidades requeridas pelo projeto, quanto aos esforços que lhes serão transmitidos pelos veículos que transitará pelo futuro pavimento. Assim sendo, deparamos com três alternativas que se impõe:

- a) Aceitar o material como se encontra e projetar de acordo com suas restrições;
- b) Remover e transportar o solo local e substituí-lo por um de característica adequada;
- c) Melhorar suas condições, de tal forma que se obtenha um, que reúna os requisitos necessários, quanto a sua qualidade e utilização.

A terceira alternativa é o que se conhece como estabilização de solos, que pode ser de forma mecânica, fisicoquímica, eletroquímica e química. A opção quanto ao procedimento a ser adotado será função das condições de viabilidade técnico-econômica e da logística a ser adotada.

A estabilização mecânica compreende os movimentos dos solos e sua compactação dentro da umidade ótima de compactação, para alcançar a densidade aparente seca, máxima do solo. Este procedimento mecânico participa, obrigatoriamente, de todos os outros tipos de estabilização.

Antigamente, a alternativa mais preconizada nos projetos de engenharia viária, desenvolvidos no País, era a da construção de camadas de reforço para o subleito, sub-bases e até de bases, com solos estabilizados granulométricamente. Nos estados mais desenvolvidos, as bases normalmente eram de macadames hidráulicos e/ou betuminosos. Posteriormente utilizou-se com muita frequência as bases de solo-cimento, brita graduada simples e/ou com cimento.

Com o decorrer do tempo e do desenvolvimento tecnológico, os materiais alternativos, principalmente, os estabilizantes químicos hidrofobantes, por via líquida, do tipo DS-328/BS-PLUS e a cal hidratada, que eram caros demais, foram se tornando cada vez mais baratos, a ponto de ser economicamente competitivo em relação aos materiais tradicionalmente utilizados, com grandes vantagens técnicas sobre os mesmos.

As estabilizações de solos com o emprego desta tecnologia vem tendo um incremento notável no mundo inteiro, sendo que no Brasil já foram construídas importantes obras rodoviárias, aeroportuárias, hidráulicas e industriais a mais de 30 anos, com expressivos resultados.

Como vantagem da adoção deste tipo de solução, informamos e demonstramos, desde 1.973, que as transformações e iterações das misturas de solos com esses aditivos estabilizantes são irreversíveis, pois a natureza dos compostos minerais que se formam na estrutura molecular dos solos tratados são de caráter insolúvel e permanente.

Os estudos, as pesquisas, as observações e o acompanhamento prático que temos realizado sobre o assunto, a mais de 25 anos, indicam que o emprego deste tipo de estabilização de solos, executados de maneira correta, conseguimos promover um incremento excepcional de qualidade as obras construídas.

### 3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a introdução dos produtos ao solo, dependendo do tipo destes, das dosagens aplicadas e das reações obtidas (troca de íons e floculação), promoveremos reduções substanciais da plasticidade; modificações granulométricas, devido aos fenômenos da coesão e da impermeabilização; eliminação das características expansivas; aumento da resistência e principalmente, o controle da ação da água sobre as camadas tratadas, sejam por gravidade, por capilaridade e por tensão de sucção, atingindo assim, resultados satisfatórios de durabilidade e do objetivo a ser atingido pelo pavimento. Estes fenômenos ocorrem devido a troca de base, sendo que os cátions de carga mais forte, substituem os íons de carga mais fraca na superfície das partículas de argila, onde há também um agrupamento de cátions, com a conseqüente predominância destes. Considerando que a ligação entre duas partículas de argila depende da carga e do tamanho dos íons na interface, ocorre no caso, uma atração maior e portanto, provocando uma floculação das partículas. (J.K. MITCHELL, S. DIAMOND) (1.961). Um material atua como estabilizante químico de um solo, modificando as suas propriedades físicas e químicas, quando, ao ser adicionado a este, reage como agente

impermeabilizante, floculante e/ou agregante dos materiais presentes neste solo (LAMBE & MICHAELS, 1.954). Para McCarthy (1.977), a estabilização química refere-se ao procedimento no qual um material químico qualquer é adicionado ao solo natural, para melhorar uma ou mais de suas propriedades de engenharia.

Ainda segundo Milton Vargas, em sua Introdução à Mecânica dos Solos: “Nas argilas, a água intersticial estará sujeita à força atrativa das partículas, a qual decai rapidamente com a distância à superfície do grão. Portanto, a água intersticial estaria sujeita a pressões de intensidades variáveis. Em primeiro lugar, numa distância da ordem de grandeza de algumas moléculas, a pressão atrativa é da ordem de grandeza de milhares de atmosferas. Ora, os trabalhos de Bridgman, sobre o estado da água, sob pressões elevadíssimas, mostraram que, nessas condições, a água é sólida, mesmo na temperatura ambiente de 15°C a 25°C. É a camada de água solidificada dos solos. Nos pontos de contato dos grãos, os filmes de água solidificada interpenetram-se, estabelecendo um vínculo rígido entre os grãos, e emprestando-lhe coesão verdadeira. Também contribui para a coesão verdadeira, embora menos intensamente, uma segunda camada de água sujeita a pressões, de ordem capilar, até de dezenas de atmosferas. Suas propriedades são as de líquido viscoso preso aos grãos. É a camada de água adsorvida, atraída por forças moleculares suficientemente elevadas para imobilizá-la. Finalmente, o restante da água é livre de se mover pela ação da gravidade, nos canalículos do solo”.

Estas forças moleculares atrativas decorrem da interação entre o campo eletro-magnético, que se forma à superfície das partículas coloidais, e as moléculas de água ionizadas pela ação do campo. A neutralização das cargas eletromagnéticas, pela troca de cátions estável e permanente, impede a formação da camada de água adsorvida, que provoca o afastamento entre as superfícies das partículas. Desta maneira, o solo estabilizado terá reduzida ao mínimo sua absorção, tornando-se impermeável, e conseqüentemente, estabilizado.



Solo em suspensão em água

Introdução da Solução de DS-328/BS-Plus

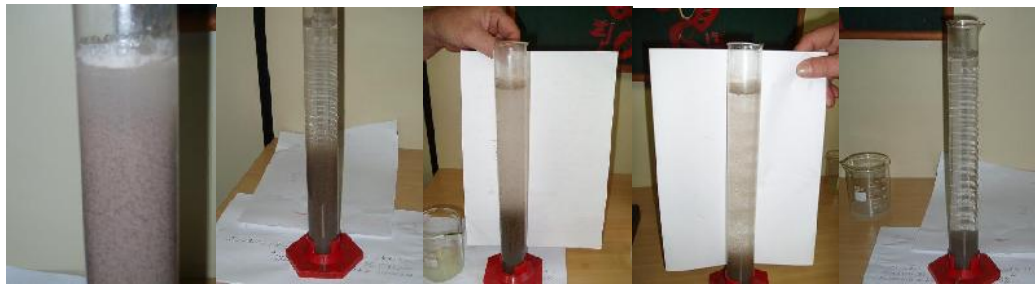
Homogeneização



Introdução da Sol. Sulf. Alumínio

Homogeneização

Início do Processo de Floculação



Detalhe da Flocculação Após 30 seg. Após 35 seg. Após 50 seg. Após 1 min.



30 minutos depois

Em outras palavras, este processo está associado a sua capacidade de troca de base, que é uma função direta de sua umidade, a qual é a somatória das águas drenáveis e não drenáveis contidas no solo.

As águas drenáveis, é a água "livre" ou "intersticial" que reduz por gravidade, evaporação e compactação.

As águas não drenáveis ou "higroscópicas, devido a umidade ambiental e a capilar, por efeito da tensão superficial em relação a porosidade do solo. Ambas são reduzidas por evaporação ou compactação.

As águas não drenáveis é a "adsorvida" ou "adesiva" que se forma pela ação das cargas elétricas negativas contidas nas superfícies dos argilo-minerais, constituintes das argilas. Essas cargas criam ao redor dos argilo-minerais um campo elétrico que atrai as moléculas bi-polares da água e cátions nela absorvidos. Esta água sempre estará presente e é a mais importante de todas as águas de um solo, por ser responsável por sua estabilidade. Portanto, a redução desta água é decisiva para a união das partículas do solo, por coesão.

A água "adsorvida" ou "adesiva" não pode ser extraída mecanicamente, já que a força de seu enlace eletroquímico em certas ocasiões ultrapassa a 20000 atmosferas.

Em geral, nos pavimentos em que a água sobe capilarmente por tensão superficial, a resistência do solo diminui, pelo qual, faz com que o revestimento asfáltico, apresente falhas provocadas por carga dos veículos, causando rupturas que permitem a penetração das águas superficiais, as quais conjuntamente os materiais de sub-bases permitindo a migração dos finos, provocando assim a destruição da estrutura do pavimento.

#### 4- O QUE É O ESTABILIZANTE DS-328/BS-PLUS

O produto DS-328/BS-Plus é um sal orgânico derivado de uma composição química de óleos vegetais. É um líquido de coloração verde, densidade mínima a 25° C = 1,035 g/cm<sup>3</sup>, com pH mínimo de 10,5 em solução a 1%, totalmente solúvel em água. Foi criado e patenteado em 1.972 pela empresa Dynasolo S.A. Industria e Comércio, após 12 anos de pesquisa para o desenvolvimento do produto.

Em contato com os reagentes e o solo, forma um composto metalo-orgânico insolúvel e permanente, cuja ação se exerce por uma coesão estável entre as partículas do solo.

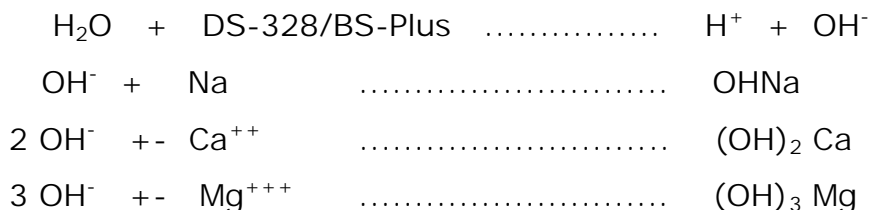
As partículas finas de argila devido a sua composição mineralógica, têm em sua superfície excesso de íons negativos (ânions), pelos quais são atraídos os íons positivos (cátions) da água, aderindo-os fortemente, formando a água absorvida. Quanto mais espessa a camada mais se distanciam as superfícies das partículas, diminuindo assim, a intensidade do campo elétrico e a energia térmica das moléculas de água, faz com que essas partículas, que tem a forma lamelar, se movimentem e provoquem um desequilíbrio entre elas, promovendo uma expansão do solo e por conseqüência, diminuindo sua resistência.

Portanto, a maneira de estabilizarmos um solo, será conseguir reduzir ou eliminar a adsorsão.

O DS-328/BS-Plus, por sua composição química, tem um enorme potencial de troca iônica.

Quando se introduz, pequenas quantidades do produto em água, se ativam os íons H<sup>+</sup> e (OH)<sup>-</sup> da água que provoca um intercâmbio de suas cargas elétricas com as partículas de solo, provocando na água absorvida um rompimento do enlace eletroquímico, desprendendo-as e convertendo-as em água livre, a qual drena por gravidade, evaporação e compactação. Esta reação eletroquímica de troca iônica provoca a aproximação das partículas, é estável e permanente.

A troca catiônica é uma reação estequiométrica, isto é, o aumento da concentração de um determinado cátion, no caso o H<sup>+</sup>, faz com que ele substitua os demais.



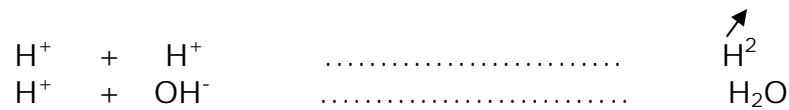
Por outro lado, o oxidrilo em presença do estabilizante DS-328/BS-Plus, poderá se decompor em O e H.



promovendo assim, a reação de oxidação da matéria orgânica.



Outras reações poderão ocorrer, como por exemplo, a formação do gás H e posterior formação de novas moléculas de água.



Assim sendo, através dessa troca catiônica conseguimos:

- 1- Redução da espessura da camada de água adsorvida;
- 2- Floculação e aglutinação das partículas finas dos solos;
- 3- Pela combinação dos dois exemplos citados, ocorre uma redução na superfície específica do solo, conseqüentemente menos água poderá ser absorvida, diminuindo a expansão e a contração do solo, aumentando sua impermeabilidade, resistência ao cisalhamento, compressão e penetração.

Outro aspecto interessante da utilização desta tecnologia é o que diz respeito à sua possibilidade de utilização em solos locais, cuja trabalhabilidade, ser pouco afetada pelas águas, fato que oferece vantagens quando confrontada com outros tipos de alternativas, além de permitir maior facilidade para atingir a densidade desejada nos serviços de compactação e poderem ser re-trabalhadas várias vezes, caso necessário, sem prejudicar as características da mistura e sem perda de materiais.

Somos de opinião que a estabilização química de solos, realizada com produtos deste tipo e quando aplicada com a racionalidade necessária, serão um grande advento nas construções rodoviárias em nosso País, possibilitando a execução de pavimentos seguros, econômicos e duráveis, sem prejudicar o meio ambiente. Salientamos que tais produtos não possuem qualquer componente agressivo às pessoas, plantas ou animais, não sendo tóxico, corrosível ou inflamável.

## 5- ESCOLHA DOS MATERIAIS DA ALTERNATIVA A SER UTILIZADA

Na tecnologia da estabilização química de solos com aditivos hidrofobantes , do tipo DS-328/BS-Plus, existem diversas alternativas a serem empregadas nas misturas com os solos, quais sejam:

- Aditivo Químico DS-328/BS-Plus + Reagente Sulfato de Alumínio;
- Aditivo Químico DS-328/BS-Plus + Reagente Cal Hidratada;
- Aditivo Químico DS-328/BS-Plus + Reagente Cimento Portland.

Para uma melhor compreensão deste procedimento, forneceremos as definições básicas dos produtos:

- a) O aditivo químico hidrofobante (DS-328/BS-Plus), é um sal químico de origem orgânica, de forma líquida, totalmente solúvel em água, que atua como um catalizador, promovendo e facilitando a troca iônica, permitindo maior coesão entre as partículas finas dos solos, impermeabilizando-as. Sua forte ação aglutinante é devido ao fenômeno da troca de base, ocorrendo uma atração maior entre as superfícies das partículas das argilas, com a conseqüente floculação e decantação das mesmas, não permitindo sua lixiviação da composição estrutural do solo

tratado. A reação do produto sozinho no solo é realizada de maneira lenta e progressiva.

- b) O reagente Sulfato de Alumínio é um sal químico metálico, solúvel em água, que atua como um acelerador da reação entre os componentes do aditivo químico hidrofobante e do solo, formando e completando assim, um composto metalo-orgânico insolúvel, permanente e impermeável. Sua utilização é recomendada para tratamento de solos não plásticos, de predominâncias arenosas e/ou argilo-arenosas, dos tipos A.2-4, A.2.5 e A.2.6, podendo ser também utilizado nos do tipo A.4 ou A.6 (classificação HRB) ou em outros tipos, desde que os resultados dos ensaios laboratoriais atendam as Especificações Técnicas requeridas pelo projeto.

Salientamos que, em diversos casos, os resultados de ganho de resistência ao cisalhamento, preconizado pelo ensaio de CBR, não são tão significativos, mas o suficiente, para atingir valores necessários para o atendimento das exigências das normas técnicas vigentes. As grandes vantagens de utilizar o sistema com este tipo de reagente e nesses solos, será o grau de impermeabilização e o incremento coesivo promovidos na camada, o controle da erodibilidade, o controle da ascensão capilar, a possibilidade de estocar os solos tratados por longo período de tempo e da logística de transporte de materiais ativos a serem empregados pela obra.

- c) O reagente Cal é um material resultante da calcinação, de rochas carbonatadas, em altas temperaturas e posterior pulverização, cujas matérias-primas utilizadas apresentam uma considerável variação em suas propriedades químicas e físicas. Desta forma, estas diferenças podem se refletir substancialmente no comportamento da cal, quando utilizadas para fins de estabilização de solos. Os tipos de cales comerciais mais empregadas na engenharia rodoviária são as hidratadas, tendo em vista as facilidades de aplicação na obra e de disponibilidades, as quais são obtidas a partir das rochas de origem, denominadas Calcária, Dolomitas ou Calcária Magnesianas.

Em resumo, as cales hidratadas que poderão ser utilizadas no sistema são as denominadas de calcíticas, dolomíticas e magnesianas, sendo que a primeira citada, de alto teor de cálcio produzirá menores resistências do que as que contém quantidades apreciáveis de magnésio, enquanto a cal dolomítica, apesar de conferir aos solos uma resistência maior que as anteriores, diminuem a plasticidade natural dos mesmos.

A Cal hidratada em quantidade adequada, de boa qualidade e de teor de óxido de cálcio ativo compatível, provoca, principalmente nos solos plásticos, predominantemente argilosos e/ou siltosos, diversas reações, sendo as principais de troca iônica, de ação pozolânica e de carbonatação, as quais, conjuntamente, promove profundas modificações nas características estruturais dos solos, nos seguintes aspectos:

- redução na plasticidade do solo;
- redução da fração argila na granulometria do solo;
- redução na expansão e contração do solo;
- secagem aparente das argilas muito úmidas;
- aumento da capacidade do solo;



- redução da densidade e do teor da umidade ótima de compactação do solo;
- aumento do pH, fenômeno este que pode ser utilizado na determinação da aptidão do solo a ser estabilizado.

Com a adição do aditivo estabilizante hidrofobante, líquido na mistura, além de melhorar as propriedades acima descritas pela utilização da cal, sua incorporação na mistura acrescentaremos as seguintes características:

- redução dos teores de cal, com o mesmo desempenho em relação as maiores dosagens;
- redução da absorção de água;
- redução da ascensão por capilaridade;
- redução da tensão de sucção;
- redução sensível da deformabilidade elástica da camada tratada;
- aumento significativo nos valores dos módulos de elasticidades das camadas de infraestrutura do pavimento;
- Facilidade nos serviços de compactação para atingir o grau de compactação desejado, sendo que as camadas estabilizadas podem ser, por diversas vezes, escarificadas, re-misturadas e novamente compactadas, após vários dias da mistura inicial, sem perder sua qualidade.

Fatores estes, extremamente benéficos a qualquer tipo de pavimento a ser construído, seja ele de concepção flexível, semi-rígido ou rígido.

Salientamos que as referidas modificações nas propriedades do solo acima descritas, verifica-se em graus diferentes de reações, conforme a quantidade e do tipo do argilo-mineral contido no solo a ser tratado, da qualidade e quantidade de cal empregada, pois existem solos que não reagem com a cal, porém são estabilizáveis com adição de pequena quantidade de outro tipo de material na mistura, seja com solos argilosos, areia ou com cinza volante.

Existem também aqueles muito argilosos, que necessitam de um período de cura, antes da compactação com o objetivo de reduzir sua plasticidade, bem como nos solos predominantemente arenosos com reduzida plasticidade, onde o uso da cal poderá ser restritiva, pois podem acarretar elevações indesejadas em sua plasticidade e em outras misturas de serem facilmente desagregáveis, principalmente, naqueles de pouca coesão, podendo quando aplicada sozinha, com o tempo, a camada se tornar um verdadeiro "mata-borrão".

Outro fato que devemos observar com atenção, que os solos mais plásticos, portanto, mais expansivos, normalmente, sofrem grande redução na expansibilidade, enquanto os poucos expansivos não são melhorados ou são prejudicados pela adição da cal hidratada na mistura dos solos estabilizados quimicamente, que demonstra ser contra-indicado, nos casos para tratamento de solos naturais de pequena expansibilidade.

Muitos profissionais, principalmente, os portugueses e ingleses, admitem, em função dos estudos realizados, que a viabilidade de promover a estabilização de determinado tipo de solo com cal possa ser avaliada pelos resultados dos ensaios de expansão. Outros preconizam a necessidade de determinar um

parâmetro composto da parcela argilosa do solo a fim de relacionar e predizer a sua reação à estabilização.

Técnicos norte-americanos recomendam seu uso se o solo tiver pelo menos 35% passando na #200 e tiver um IP de pelo de 10. Limitam também os solos orgânicos de + ou – 1% no peso e os sulfatos solúveis em + ou – 0,3%.

Nos serviços de compactação, não devemos esquecer que a compatibilidade dos materiais finos coesivos, siltes e as argilas, dependem geralmente, da umidade e às vezes também das condições do tempo. Devido a sua coesão, eles precisam ser compactados em camadas mais finas que os solos arenosos. Nas argilas, em adição à coesão aparente, há uma grande e real coesão, devido as forças moleculares atuando entre as minúsculas partículas, portanto, quanto maior a coesão do material, maior será a energia de compactação requerida.

Finalmente, quando da utilização do sistema de estabilização química com DS-328/BS-Plus mais o reagente cal hidratada, a recomendação técnica de uso desta alternativa deverá ser analisada com muito critério, levando-se em conta, todas as influências promovidas pela sua utilização, quanto à plasticidade, expansibilidade, granulometria, cura, compactação e resistência e não só pela resistência encontrada, quando aplicada sozinha, pois esta poderá ser somente aparente ou até mesmo de pouca durabilidade, principalmente, quando utilizamos pequenos teores de cal na mistura.

d) Outros reagentes poderão ser utilizados no sistema de estabilização química, como o Cimento, a Cal Hidratada úmida, também chamada de Hidróxido de Cálcio, porém sempre observando os procedimentos corretos para o seu uso. A utilização do cimento como reagente, nas experiências práticas que desenvolvemos em obras rodoviárias, foram em regiões onde o custo da cal hidratada foi superior ao mesmo. Normalmente, utilizamos o cimento como reagente em obras hidráulicas, ferroviárias, de geotecnia e na construção civil.

## 6- DOSAGENS DAS MISTURAS ESTABILIZADAS QUIMICAMENTE

As dosagens das misturas de solos estabilizados quimicamente com aditivos hidrofobantes, do tipo DS-328/BS-Plus, para fins de obras viárias, são realizadas previamente, procedendo-se a ensaios laboratoriais do solo que se deseja melhorar, utilizando dosagens racionais do aditivo e do reagente que mais se adequar ao tipo de solo, a fim de verificar o teor ótimo, tendo em vista atender as necessidades técnicas e econômicas.

Desta forma, procede-se à determinação das características físicas e resistentes dos solos, realizando-se os seguintes ensaios:

- Caracterização (Granulometria e Limites de Atterberg);
- Proctor (Compactação);
- CBR e Expansão com solo "in natura";
- CBR e Expansão com solo aditivado, nas dosagens básicas preconizadas.

- Ensaio Triaxial Dinâmico, nas dosagens a serem efetivamente adotadas.

A energia de compactação empregada nos ensaios de laboratório serão as especificadas pelas Normas Técnicas vigentes, de acordo com as camadas de solo tratado que constituirão o pavimento. Normalmente, utilizamos a energia Intermediária para as camadas de Base e Sub-Base e/ou Reforço para o Subleito.

Após comparar os resultados com as exigências preconizadas do projeto, optaremos pelo teor mínimo de materiais estabilizantes que permitam melhorar, suficientemente, a característica do solo que se tem em vista corrigir. Cuidado redobrado deve ser observado quanto as quantidades de materiais empregados nos ensaios de laboratório e as efetivamente aplicadas no campo.

Resumindo, no caso de solos granulares, não plásticos, predominantemente arenosos ou argilo-arenosos, dos tipos A.1 e A.2, a recomendação técnica de utilização dos produtos será com o DS-328/BS-Plus, líquido, aplicado nas dosagens de 1:1.000 a 1:2.000 mais o reagente sulfato de alumínio, na dosagem de 1:5.000, todos em peso, em relação aos valores das densidades aparente seca, máxima ( $\rho_s$ ) dos solos a serem tratados. A fórmula para o cálculo de quantitativos dos produtos por  $m^3$  de solo tratado é:  $Q_{DS} = \rho_s \times D$  (dosagem).

Para os solos plásticos, predominantemente argilosos e siltosos, provenientes da decomposição de rochas alteradas, dos tipos A.5, A.6 e A.7, a recomendação técnica para utilização dos produtos será com o DS-328/BS-Plus, aplicado nas dosagens de 1:1.500 a 1:2.000 mais o reagente cal hidratada ou cimento, nas dosagens de 1% a 3%, todos em peso, em relação aos valores das densidades aparente seca, máxima ( $\rho_s$ ) dos solos a serem tratados. A fórmula para o cálculo de quantitativos dos produtos por  $m^3$  de solo tratado é :  $Q_{DS} = \rho_s \times D$  (dosagem).

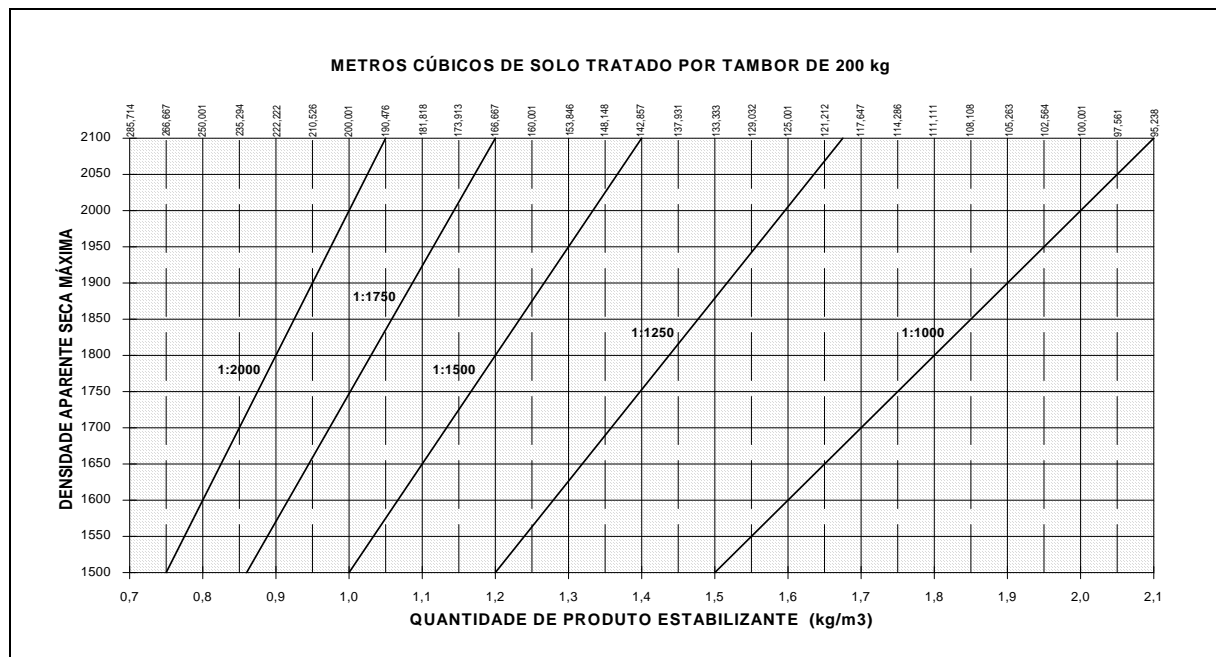
OBS: Quando a Cal Hidratada for aplicada a granel ou em sacos, o teor mínimo a ser utilizado em campo será de 2%, em peso, pois abaixo deste será muito difícil sua homogeneização.

Enfim, as recomendações de uso da Tecnologia se resume ao quadro abaixo apresentado:

ESTABILIZANTE	DOSAGEM		REAGENTE	DOSAGEM	TIPOS DE SOLOS
ESTABILIZANTE DE SOLOS	1:1.000	+	Sulf. de Alumínio ou	1:5.000	ARENOSOS OU ARGILO-ARENOSOS
	à		Cal Hidratada ou		
	1:2.000		Cimento	3,0%	

Para facilitar a visualização dos quantitativos prováveis do produto estabilizante químico, líquido, hidrofobante por  $m^3$  de solo tratado (para determinação dos custos de orçamento) e pelos quantitativos em  $m^3$  de solos por tambor de 200 kg, (para determinação da área a ser tratada na fase de execução) apresentaremos o seguinte ábaco:

### Ábaco de consumo do estabilizante químico hidrofobante



#### OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

- a- As recomendações aqui apresentadas são de aspectos básicos e gerais, pois já tivemos a oportunidade de verificar diversos resultados surpreendentes de comportamentos em solos não recomendáveis. O maior exemplo foi com areia de mar, misturada com 2% de Cal + 1:1.500 do aditivo químico líquido DS-328/BS-Plus, cujo ensaio foi realizado pelo laboratório central do DER/SP e o corpo de prova assim tratado, ficou incólume e seco, numa bandeja sobre camada de areia encharcada, de modo controlado, durante aproximadamente 2 anos. O referente estudo foi realizado com o intuito de promover uma camada de bloqueio impermeável, abaixo do corpo de aterro, afim de evitar a ascensão capilar e a tensão de sucção das águas do lençol freático, que estavam, praticamente, afloradas. Diante dos resultados observados, em relação ao comportamento geotécnico desta camada, houve a possibilidade de diminuir, substancialmente, o volume de solos a serem transportados de jazidas, necessários para a construção dos aterros das obras de duplicação da Rodovia Pe. Manoel da Nóbrega (SP-55), entre os municípios de Itanhaém e Peruíbe, no Estado de São Paulo.
- b- Cuidados devem ser observados em locais onde os solos superficiais sofreram aplicações exageradas de produtos agrotóxicos, pois o sistema poderá não ter a eficiência desejada, devido às reações indesejadas que poderão ocorrer, prejudicando sua estabilização.

- c- Não devemos nos esquecer que todos os produtos estabilizantes químicos existentes no mercado, inclusive os enzimáticos, são aplicados em laboratório com dosagens em peso, em relação à densidade aparente máxima dos solos ( $\rho_s$ ), determinado no ensaio de Proctor. Com isto, não se pode adquirir e nem ser aplicados, produtos por metragem quadrada de camadas de um pavimento, pois suas quantidades variam em função do tipo de solo a ser tratado.
- d- Durante a execução de obras de estabilização, geralmente ocorrem problemas, decorrentes do aparecimento de condições geológico-geotécnicas e, às vezes topográficas, não identificadas na fase de investigação. Problemas também podem resultar da não observância dos procedimentos construtivos, especificados no projeto, por deficiência de dispositivos de drenagem, seja por inabilidade do empreiteiro, seja por deficiência de equipamentos, seja por condições climáticas regionais, em locais desfavoráveis ou até mesmo por desconhecimento. Quando isso acontece, é necessário que se façam adaptações ao projeto, para que a qualidade da obra não seja prejudicada. Portanto, é interessante que os desenhos, os ensaios de laboratório, as especificações construtivas e relatórios de acompanhamentos contendo as informações do local, dos quantitativos dos produtos empregados e do desenvolvimento da obra, sejam apresentadas de forma mais correta, clara e detalhada possível.

Enfim, é necessária a conscientização por parte dos profissionais ligados a Engenharia viária de uma apreciação realista desta Tecnologia, que não é uma panacéia, a qual poderá ser utilizada para todos os tipos de solos e sim como, um complemento alternativo aos demais métodos disponíveis de estabilização existente no mercado para resoluções dos problemas geotécnicos, mediante considerações profundas das peculiaridades dos solos que se pretende tratá-los. Talvez uma das tarefas mais difíceis que tenhamos de passar a nossos engenheiros seja a revalorização das nossas tecnologias, que tem sofrido um processo de violação sem precedentes, mas por incrível que possa parecer, ainda existem pessoas íntegras trabalhando no meio técnico brasileiro, não submetidas às cansativas manobras das operações escusas para a própria sobrevivência.

Informamos que quando aplicamos os produtos em diversos outros serviços, os executamos inicialmente em caráter de pesquisa, acompanhando e observando seu comportamento ao longo do tempo, uma vez que as propriedades coesivas e de impermeabilidade, promovidas por estes materiais é um dos instrumentos mais importantes da Mecânica dos Solos; na busca incessante de encontrarmos materiais de construção eficazes, duráveis e econômicos, os quais quando tecnicamente aprovados, serão ferramentas úteis no desenvolvimento tecnológico, estratégico, econômico e social de nosso País.

Salientamos que todo produto químico introduzido no mercado construtivo deverá ser aplicado, rigorosamente, de acordo com os conceitos próprios de cada tecnologia, nas dosagens corretas e não em função de variáveis tecnológicas não previstas no processo, as quais poderão ser complementares aceitáveis ou não.

## **7- HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO DS-328/BS-Plus**

### 7.1- Definição da Metodologia dos Ensaio

Após a conclusão do desenvolvimento do produto estabilizante de solos, em 1.972, no Laboratório Central do DER/SP, seus pesquisadores e detentores, os Eng<sup>os</sup>. Anacleto Valmir Ângulo, Nagib Namur e Nestor Aratangy, juntamente com o auxílio do Eng<sup>o</sup> João Bento Jácomo Lopes (Tatu), diretor técnico da Chevron do Brasil, adequaram os procedimentos de laboratório da nova tecnologia com as da estabilização de solos com emulsões asfálticas, uma vez que são de metodologias semelhantes e equivalentes por se tratarem de introdução de aditivos químicos por via líquida aos solos ou misturas destes. As primeiras informações referentes à adoção da tecnologia de solos estabilizados com betume foram trazidas da Argentina onde foi e é largamente utilizada, especificamente nas Províncias com carências de agregados e utilizados com a denominação de "Solo-Areia com Emulsão".

Se define como Solo-Areia com Emulsão o sistema composto por uma mistura artificial, em proporções adequadas de solos e areias naturais que ofereçam um sistema com determinadas propriedades de fricção (atrído) e coesivas, estabilizado com emulsão asfáltica lenta, podendo ser aniônica ou catiônica.

Quando o solo em estado natural (solo arenoso ou argilo-arenoso) reúne por si só as condições e propriedades de uma mistura artificial solo-areia, se denomina como "solo-emulsão" ou "solo-betume"

A metodologia acima, contempla os seguintes procedimentos executivos:

Execução prévia de ensaios de caracterização e classificação dos materiais envolvidos:

Solo : Granulometria por sedimentação; Plasticidade (LL, LP e IP); Classificação pela HRB (Highway Research Board).

Areia: Granulometria; Módulo de finura; Equivalente de Areia.

Emulsão : Ensaio Gerais para as emulsões aniônicas e catiônicas.

Dosagem dos materiais envolvidos para determinação dos teores ótimos de melhor conveniência, verificando inicialmente os teores ótimos da mistura solo-areia, sua plasticidade, a mistura de maior compactidade e a determinação do teor ótimo da emulsão asfáltica.

Ensaio de compactação e CBR de cinco pontos das misturas solo-areia e de solo-areia-emulsão em diversas dosagens, adotando o processo de secagem dos corpos de prova antes do período de imersão de 7 (sete) dias.

Salientamos que com base nestes estudos de laboratório e nas experiências de obra, os técnicos argentinos desenvolveram uma técnica para determinação dos valores de resistência e estabilidade dos solos tratados baseados no método do Índice de Suporte Califórnia (CBR) modificado. Com

tal técnica se pretendia poder julgar a qualidade de um solo ou misturas destes antes e depois de ser estabilizado com o ligante betuminoso.

Os procedimentos do ensaio para determinação do valor de suporte modificado (CBR) se iniciaram com o propósito de obter um material que, respondendo as exigências técnicas estabelecidas, poderia ser utilizada como revestimento, base ou sub-base de pavimentos flexíveis, ante a ausência de outros materiais mais adequados para avaliar a qualidade de uma mistura de solo-areia-emulsão mediante a técnica do Ensaio de CBR, compactado a 100% do Proctor Modificado, com as modificações introduzidas em relação ao método tradicional, quais sejam:

1º O corpo de prova, uma vez compactado, antes da imersão em água, se faz perder umidade até um valor pré-fixado.

2º O tempo de imersão em água, em lugar de 4 (quatro) dias, se eleva para 7 (sete) dias, controlando diariamente sua expansão.

A modificação desta técnica com relação ao original de Porter, consiste em que o corpo de prova compactado estaticamente na umidade ótima, não se submerge na água imediatamente, sem se proceder a secagem fazendo-o perder em estufa a 60° C uma determinada porcentagem de umidade em relação à ótima de 60%, com a exigência de se obter um valor de CBR mínimo de 60%.

Outro ensaio preconizado pela aplicação da tecnologia é o ensaio de absorção por Capilaridade, o qual se determina a eficiência da mistura e seu grau de impermeabilidade. A ação estabilizante da emulsão será mais efetiva quanto mais uniforme resulte sua mistura com as partículas do solo recobrando-as e protegendo-as contra a ação da água.

A eficiência de uma mistura estabilizada com emulsão está em relação direta com a homogeneidade da distribuição do material betuminoso na massa de solo, razão pela qual se faz necessário que a mistura se alcance sem que a mesma haja iniciado seu rompimento.

Observaram que os valores ponderáveis que julgam a qualidade das misturas em serviço variavam positivamente com o aumento de sua densificação. A maior compactação para um mesmo teor de umidade perdida na mistura compactada o valor de suporte (CBR) e a resistência a compressão se incrementam e por sua vez diminui a absorção da água.

A respeito deste último, o comportamento tem sua explicação que numa mistura pouco densificada existe maior quantidade de vazios, que podem ser ocupadas pela água, uma vez que está teria mais liberdade de acesso ao sistema, como consequência um menor bloqueio dos canais capilares por parte do betume. (impermeabilização). Por tais razões, estas misturas deverão ser compactadas com a maior densidade possível, isto é a 100% do PM.

Outra influência de fundamental importância na tecnologia é o grau da umidade perdida nas misturas, posto que a emulsão desenvolva ao máximo suas propriedades hidrófobas e ligantes.

No caso em que uma determinada mistura não sofra o processo de cura, depois de compactada, os valores portantes de resistência serão similares aos obtidos com a mesma mistura nas mesmas condições de umidade e densidade sem a emulsão. Ao contrário, procedendo-se a cura, a mistura desenvolve as propriedades previstas de coesão e impermeabilização na sua estabilidade, incrementando estes valores e reduzindo sua absorção na medida em que progride a secagem da mistura do solo assim estabilizado.

É por estes motivos que, a base dos ensaios prévios das dosagens das misturas se deverá estabelecer um grau de secagem depois do corpo de prova compactado. Pelas Normas Argentinas adotam uma perda por secagem de 60% para o ensaio de CBR e absorção por capilaridade.

Salientamos que os procedimentos adotados para a tecnologia dos Solos Estabilizados Quimicamente com o produto DS-328/BS-Plus tem, praticamente, as mesmas características acima descritas, com algumas variações, quais sejam:

- A perda de umidade por secagem do corpo de prova compactado é de 40% e não de 60% antes da imersão em água;
- A energia de compactação exercida é de 100% do PI (26 golpes) e não de 100% do PM (56 golpes);
- O tempo de imersão do corpo de prova, após o processo de cura é de 4 (quatro) dias e não de 7 (sete) dias;
- A ação química do DS-328/BS-Plus se procede na água adsovida da partícula do solo, protegendo-a contra a influência das águas.
- O prazo de utilização dos produtos estabilizantes de solos DS-328/BS-Plus é de 15 anos e não de 1 (um) ano das emulsões, que após 5 dias da aquisição deverá ser agitada constantemente.

Conforme a explanação acima das tecnologias envolvidas, acreditamos que expusemos todas as justificativas dos procedimentos laboratoriais envolvidos na Tecnologia da Estabilização Química, por via líquida, com o aditivo DS-328/BS-Plus.

Por fim, salientamos que a adoção dos produtos químicos introduzidos nos solos deverão ser aplicados, rigorosamente, de acordo com os conceitos da tecnologia, nas dosagens corretas, conforme descritas, detalhadamente no anexo "SEQ O – Roteiro de Ensaios de Laboratório" e não em função de variáveis de ensaios não previstas no processo, as quais poderão ser complementares aceitáveis ou não.

## 7.2- APLICAÇÃO EM CAMPO

Como dissemos anteriormente, o período de pesquisa para o desenvolvimento do produto foi de 12 anos, com 328 tentativas de formulações que foram



realizadas e ensaios com dezenas de tipos de solos para se chegar ao produto DS-328/BS-Plus, onde D vem de Dyna – força e S de solo.

Os primeiros trechos experimentais foram executados pelo DER/SP e pelo DER/AL com o objetivo de observar seu comportamento ao longo do tempo, quais sejam:

- Acesso de Itapetininga pela SP-127, construído em 1.973 – Regional de Itapetininga.
- Acesso ao município de Alambarí pela Rodovia Raposo Tavares (SP-270), construída em 1.973 – Regional de Itapetininga.
- Estrada de acesso da SP-300 ao município de Glicério, construída em 1.973, situada na Regional de Araçatuba.
- Entroncamento da Rodovia Marechal Rondon (SP-300) com a SP-425 (Penápolis), construído em 1.973 – Regional de Araçatuba.
- Acesso ao município de Tarabaí pela SP-425 / construída em 1.974 – Regional de Presidente Prudente.
- 3ª Faixa da Rodovia Raposo Tavares (SP-270) – construída em 1.974 – Regional de Itapetininga.
- Estrada de acesso, denominada de Ramal de Terra Roxa (SP-353) – construída em 1.974 – Atualmente Regional de Barretos e antiga Regional de Araraquara.
- Estrada Estadual entre os municípios de Pederneiras e Macatuba (SP-261) - construída em 1.974 – Regional de Bauru.
- Estrada de Ligação entre os municípios de Bauru e Jaú (SP-225), construída em 1.974, situada na Regional de Bauru.
- Estrada de Ligação da BR-101 a Marechal Deodoro (AL-215), com 12 km, situada no Estado de Alagoas e construída em 1.974.
- Estrada de Ligação da BR-101 a Boca da Mata (AL-105/215), com 22 km, situada no Estado de Alagoas, construída em 1.974.
- Estrada de Ligação da BR-316 a Capela (AL-210), com 16 km, situada no Estado de Alagoas, construída em 1.974.
- Acesso Capela a Usina João de Deus (AL), construída em 1.974.
- Acesso da BR-101 a São Miguel dos Campos (AL), construída em 1.974.
- Estrada de ligação entre São Miguel Arcanjo e Lajeado (SP-139) – construída em 1.975 – Regional de Itapetininga.
- 3ª Faixa da Rodovia Washington Luiz (SP-310), entre São José do Rio Preto e Mirassol – construído em 1.975 – Regional de Rio Preto.
- Estrada Vicinal entre os municípios de Araçoiaba da Serra e Capela do Alto – construída em 1.975 – Regional de Itapetininga.

- Estrada de Acesso a Tanabi pela SP-310 (Mirassol), construída em 1.976 – Regional São José do Rio Preto.
- Estrada de Acesso a Jambeiro (SP-103) pela SP-99, construída em 1.977 – Regional Taubaté.
- Aeroporto de Presidente Epitácio, construído em 1.979, pela própria Regional de Presidente Prudente - DR.12.
- Diversas obras de pavimentação urbana nos municípios de Presidente Prudente, Cabreúva, Araçatuba, Penápolis, Bauru, São José dos Campos, São Roque, Marília, São Paulo, Campinas e Jundiaí.

#### Notas:

- Os trechos executados no Estado de Alagoas foram avaliados pela Stratta Engenharia Rodoviária Ltda, através do equipamento FWD- Falling Weight Deflectometer, por solicitação do DER/AL e do Banco Mundial em 1.995, após 21 anos de existência, encontrando-as com excelente comportamento, conforme atestado em anexo.
- Todos os trechos foram executados com DS-328/BS-Plus a 1:1.000 e o reagente Sulfato de Alumínio a 1:5.000.

Na década de 80, em função dos resultados obtidos e através de representantes regionais, deu-se o início mais agressivo para fora do Estado de São Paulo, trabalhando, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Amazonas, dando ênfase para as obras de pavimentações urbanas, sendo as principais:

- Execução de pavimentações em diversos bairros e avenidas da cidade de Goiânia /GO (COMPAV), totalizando aproximadamente 12.000.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.980 a 1.991. (DS-328/BS-Plus + Sulf. Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversos bairros e avenidas da cidade de Manaus, totalizando aproximadamente 800.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.984 a 1.988 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversos bairros e avenidas da cidade de Brasília (NOVACAP), (Lago Sul, Samambaia, Paranoá e Tabatinga), totalizando aproximadamente 1.000.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.987 a 1.991 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio e DS-328/BS-Plus + Cal).
- Execução de pavimentações de diversos bairros da cidade de Belo Horizonte (SUDECAP), totalizando aproximadamente 350.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.986 a 1.988 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversos bairros periféricos da cidade de São Paulo (EMURB), totalizando aproximadamente 500.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.983 a 1.986 (DS-328/BS-Plus + Cal).

- Execução de pavimentações de diversos bairros da cidade de Marília (CODEMAR), totalizando aproximadamente 700.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.983 a 1.992 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversos bairros da cidade de Mogi das Cruzes (CODEMO), totalizando aproximadamente 450.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.989 a 1.990 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversos bairros da cidade de São José dos Campos, totalizando aproximadamente 500.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.982 a 1.986 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de pavimentações de diversas ruas e avenidas, inclusive de serviços de conservação de vias de terra da cidade de Curitiba, construídas entre 1.985 a 1.995. (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio e DS-328/BS-Plus + Cal Hidratada).
- Execução de pavimentações em diversas cidades (282) do Estado de São Paulo, através do DER/SP (Programa Popular de Pavimentação Urbana de Baixo Custo), totalizando aproximadamente 4.128.000,00 m<sup>2</sup>, construídos entre 1.989 a 1.991 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio e DS-328/BS-Plus + Cal).
- Execução de 3.038 km de estradas vicinais em diversas cidades (97) do Estado de São Paulo, através do DER/SP (Programa de Pavimentação de Estradas Vicinais), construídas entre 1.988 a 1.991 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio e DS-328/BS-Plus + Cal).
- Execução de 13 estradas de acesso as torres da TELEMIG no Estado de Minas Gerais, totalizando aproximadamente 393 km, construídas de 1.991 a 1.996 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução de 18 estradas de acesso as torres da EMBRATEL nos Estados de Goiás, Tocantins, Bahia, Mato Grosso e Paraná, totalizando aproximadamente 438 km, construídas de 1.989 a 1.994 (DS-328/BS-Plus + Sulf. de Alumínio).
- Execução da pavimentação do Pátio de Estacionamento das Aeronaves e áreas Internas do Hangar da VARIG, no Aeroporto Internacional do Galeão-RJ, construído em 1.980/81.
- Execução da pavimentação do Aeroporto Municipal de Cáceres (MT), construído em 1.981.
- Execução da Pista e do Estacionamento das Aeronaves do Aeroporto Internacional de Iquitos, no Peru, construído em 1.981.
- Execução da pavimentação do Pátio de Aviação Geral e de Carga do Aeroporto Internacional Brigadeiro Eduardo Gomes em Manaus, com 380.000,00 m<sup>2</sup>, construído em 1.982.
- Execução das obras de pavimentação do Sistema Viário Principal (37.800,00 m<sup>2</sup>), do Sistema Viário Secundário (156.320,00 m<sup>2</sup>), do Estacionamento de Veículos (19.200,00 m<sup>2</sup>), do Estacionamento de Caminhões (7.980,00 m<sup>2</sup>), do Estacionamento das Aeronaves

(225.000,00 m<sup>2</sup>), da Pista de Taxilane (322.800,00 m<sup>2</sup>) e do Armazém de Importação (35.000,00 m<sup>2</sup>) do Aeroporto Internacional de Viracopos, situado em Campinas / SP, construídos entre 1.991 a 2.000.

- Execução das obras de pavimentação da ampliação do Estacionamento das Aeronaves, do Sistema Viário e do Galpão Industrial de Exportação do TECA II, situado no Aeroporto Internacional do Galeão/RJ.
- Execução da pavimentação de ampliação do Pátio de Estacionamento das Aeronaves no Aeroporto Internacional de Brasília no Distrito Federal, construído em 1.999.
- Execução da pavimentação de ampliação do Pátio de Estacionamento das Aeronaves de Cargas no Aeroporto Internacional de Guarulhos em Cumbica, construído em 1.996/97.
- Execução da pavimentação do Pátio de Estacionamento das Aeronaves no Aeroporto de Itajaí/SC, construído em 1.994.
- Execução da pavimentação da pista auxiliar e da ampliação do Pátio de Estacionamento das Aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo - Congonhas , construído em 1.993/1.997.
- Execução da pavimentação de ampliação e alargamento da Pista de Pouso das Aeronaves no Aeroporto Internacional de São José dos Campos, construído em 1.995.
- Execução da Pista e do Estacionamento das Aeronaves do Aeródromo Privado "Aeroporto "Dr. José Augusto de Arruda Botelho", localizado no município de Itirapina, na região de São Carlos/SP, com 1.250,00 m de extensão por 30,0 m de largura, construído em 1.999, considerado pela Aeronáutica como padrão ideal de serviços.
- Execução da Pista e do Estacionamento das Aeronaves do Aeródromo Privado do Empreendimento "TerraVista" / Mediterrané, localizado no município de Trancoso, na região de Porto Seguro/BA, com 1.600,00 m de extensão por 30,0 m de largura, construído em 2.006.
- Execução de 38 aeródromos públicos e privados espalhados pelo País, construídos de 1.989 até o momento.
- Estrada de Acesso à Piratininga pela SP-294, construída em 1.984 – Regional de Bauru.
- Estrada de ligação entre os municípios de Pirapozinho e Narandiba, construída em 1.987, – Regional de Presidente Prudente.
- Marginal da Rodovia Raposo Tavares (SP 270) ao Distrito Industrial do município de Regente Feijó, construída em 1.987 – Regional de Presidente Prudente.
- Duplicação do acesso ligando o município de Santa Mercedes à SP-294, construída em 1.985 – Regional de Presidente Prudente.

- Duplicação do acesso ligando o município de Nova Guataporanga à SP-294, construída em 1.985 – Regional de Presidente Prudente.
- Duplicação do acesso ligando o município de Caiuá à Rodovia Raposo Tavares (SP-270), construído em 1.984– Regional de Presidente Prudente.
- Estrada de Acesso à Mirante do Paranapanema pela SP-272, construída em 1.984 – Regional de Presidente Prudente.
- Estrada de Acesso à Rancharia pela SP-457 (Balneário Municipal), construída em 1.986 – Regional de Presidente Prudente.
- Anel viário de Santo Expedito, construído em 1.990 - Regional de Presidente Prudente.
- Execução da estrada de ligação MS-480 da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera (UHPP) até o entroncamento da MS- 276, numa extensão de 21 km.
- Execução da estrada de ligação MS-276 entre os municípios de Anaurilândia e Bataiporã, numa distância de 54 km.
- Pavimentação da estrada de ligação MS-395 - trecho de 8 km entre o município de Bataguçu e Anaurilândia, chegando em Anaurilândia e trechos intermediários entre o município de Brasilândia e Bataguçu.
- Pavimentação da Estrada estadual MS-160 entre os municípios de Tacurú e Sete Quedas.
- Pavimentação da Estrada estadual MS-157 entre os municípios de Itaporã e Maracajú.
- Execução da Estrada Ecológica do Pantanal (MS-450), na região de Aquidauana.
- Pavimentação das estradas de acesso aos municípios de Piraputanga e de Palmeiras pela Rodovia BR-262.
- Pavimentação da Estrada estadual MS-156 entre os municípios de Caarapó e Amambaí.
- Pavimentação da Estrada estadual entre Campo Grande e Rochedo (MS-080).
- Pavimentação da Estrada estadual entre os municípios de Nioaque e Jardim (MS-060).
- Pavimentação da Estrada estadual (MS-289) entre os municípios de Amambaí e Coronel Sapucaia.
- Pavimentação da Estrada estadual (MS-178) entre os municípios de Bodoquena e Bonito.
- Execução da Estrada Ecológica da Chapada do Guimarães, na região de Cuiabá, no Estado do Mato Grosso.

- Pavimentação da rodovia RST-101 (Estrada do Inferno), trecho entre os municípios de Capivari – Mostardas, no Estado do Rio Grande do Sul – DAER.- 1.985 a 1.987.

Nota:

- Todas as obras do Estado do Mato Grosso do Sul foram executadas a partir de 1.990 até 2.002, utilizando o estabilizante DS-328/BS-Plus + reagente Sulfato de Alumínio, realizadas por diversas empreiteiras.
- Estrada de manutenção do poliduto da Petrobras entre os municípios de Coari e Urucu, no Estado do Amazonas, com 298 km de extensão, construída de 1.993 a 1.995 pela TECHINT S.A.
- Pavimentação da Área do Terminal Petrolífero de Coari, junto ao Rio Solimões, no Estado do Amazonas.
- Obras de estabilizações de solos junto a Ferrovia (envelopamentos, últimas camadas de terraplenagem e sub-lastro), Rodovia (bases e sub-bases), Barragens (envelopamentos) e Pátios (consolidação) da implantação do Complexo Industrial de Exploração de Bauxita da ALCOA, localizadas no município de Juruti, Estado do Pará.
- Execução das obras de estabilização dos aterros e de pavimentação da implantação do mega-evento “Rock in Rio – 2.000” – Jacarepaguá / RJ.
- Consolidação dos solos para evitar as erosões do terreno, causadas pela implantação do gasoduto “Brasil-Bolívia”, no trecho entre Paulínia-SP e Águas Claras-MS.
- Consolidação dos solos para evitar as erosões do terreno, causadas pela implantação do gasoduto da Petrobras, no trecho entre Paulínia-SP e Duque de Caxias-RJ.
- Consolidação dos solos para evitar levantamento da tubulação, quando da operação de funcionamento do gasoduto da Petrobras, no trecho entre Urucu e Manaus-AM.
- Pavimentações de Áreas Industriais e Pátios de Estacionamentos de diversas indústrias, montadoras de veículos, supermercados, postos de serviços, pedágios, canteiros de obras, canais de irrigação, pátios de secagem de café e mandioca e shopping centers.
- Foram realizadas com a Tecnologia diversas lagoas de estabilização de esgotos, aterros sanitários, barragens de terra e lagoas de piscicultura.
- Atualmente, estamos pesquisando seu uso como despoluente de rios e lagos, como retardador de cura de concreto, como desformante de estruturas de concreto e como impermeabilizante de peças e tijolos cerâmicos.
- Foram executados centenas de trechos e estradas na Argentina, Paraguai, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Republica Dominicana, Suriname, Panamá e México.
- Atualmente estamos em Angola, Moçambique e Quênia.

### 7.3 – Detalhes e Resultados de ensaios de algumas destas obras

Como já salientamos anteriormente, somos de opinião que a estabilização química de solos, por via líquida, realizada com produtos hidrofobantes do tipo DS-328/BS-Plus, quando aplicada com a racionalidade necessária e pelas propriedades técnicas promovidas aos solos tratados, terão um grande advento nas construções viárias do País, possibilitando a execução de pavimentos seguros, econômicos e duráveis.

Quanto à possibilidade do emprego da tecnologia de solo estabilizado quimicamente, por via líquida, com produtos hidrofobantes, na execução das camadas de Terraplenagem, Reforço do Subleito, Sub-bases e de Bases de um pavimento a ser construído, temos diversas aplicações em obras, como por exemplo:

a- Solos da região do Aeroporto Internacional de Viracopos, com os quais construímos as camadas de sub-base e de base dos pavimentos viários, pátios e pistas do complexo aeroportuário, com diversas solicitações de tráfego e carga, onde levamos em consideração os tipos de solos existentes no local, que pelas amostras ensaiadas era uma argila, de classificação HRB A.7-5 e A.7-6, cujo comportamento e desempenho destes solos, quando estabilizados quimicamente apresentaram os seguintes resultados:

<b>ENSAIOS</b>	<b>A.7-6</b>	<b>A.7-5</b>	<b>A.7-6</b>
Densidade Máxima ( s)	1.622	1.595	1.622
Umidade Ótima (Hot)	21,90%	21,90%	17,60%
CBRnatural	20,00%	18,00%	13,60%
Expansão	0,60%	0,10%	0,13%
CBR (DS 1:1.000 + SA 1:5.000)	83,50%	122,30%	63,00%
CBR (DS 1:2.000 + SA 1:5.000)	49,20%	62,10%	35,80%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,5%)	113,80%	161,90%	121,80%
CBR (DS 1:2.000 + Cal a 2,0%)	59,80%	79,40%	91,10%

Os ensaios de laboratórios foram realizados pela Alphageos, pela Infraero e pelos empreiteiros contratados (Construtora Andrade Gutierrez S.A., Ivaí Engenharia de Obras S.A., Equipav S.A. e Talude Ltda), cujas características promovidas de impermeabilidade e de controle da lixiviação das partículas finas em decorrência da presença da água, não permitirão, uma erosão precoce das camadas tratadas dos pavimentos, condições estas, extremamente satisfatórias para a aplicação da tecnologia em obras deste tipo, garantindo ao cliente, com certeza, pouca manutenção e conservação.

b- Outros solos empregados no tratamento das camadas de reforço e de base foi para o trecho das marginais da Rodovia Santos Dumont, sob responsabilidade da Camargo Corrêa, Dersa e da Hidrobrasileira., cujos solos predominantes existentes no local, são uma argila siltosa vermelha, classificação HRB A.7-6 , cujo comportamento apresentou os seguintes valores:

<b>ENSAIOS</b>	<b>A.7-6</b>	<b>A.7-5</b>	<b>A.6</b>
Densidade Máxima ( s )	1.730	1.635	1.830
Umidade Ótima (Hot)	18,80%	18,90%	15,00%
CBRnatural	34,00%	20,00%	4,60%
Expansão	0,13%	0,18%	5,00%
CBR (DS 1:1.000 + SA 1:5.000)	62,80%	71,70%	19,6% / 1,86%
CBR (DS 1:2.000 + SA 1:5.000)	45,00%	48,30%	15,2% / 2,47%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,5%)	130,70%	115,00%	141,1% / 0,26%
CBR (DS 1:2.000 + Cal a 2,0%)	84,70%	68,80%	96,3% / 0,44%

CBR / Exp

c- Outro serviço realizado na região, a mais de 10 anos, foram os trechos das marginais, os acessos e de ruas, próximo da rotatória da Via Anhanguera com a Rodovia Santos Dumont, cujas obras tiveram como revestimento betuminoso, desde um Tratamento Superficial Simples até camadas de 5,0 cm de CBUQ. Salientamos que durante a execução da nova rotatória, o tráfego desviado da Via Anhanguera trafegou por muitas dessas obras, as quais se comportaram muito bem, apesar de não terem sido dimensionadas para este tráfego. Nos ensaios prévios de laboratório apresentou os seguintes valores:

<b>ENSAIOS</b>	<b>A.2-4</b>	<b>A.7-5</b>	<b>A.2-4</b>
Densidade Máxima ( s )	1.888	1.512	2.005
Umidade Ótima (Hot)	11,30%	28,00%	11,00%
CBRnatural	43,30%	16,00%	54,00%
Expansão	0,04%	0,20%	13,00%
CBR (DS 1:1.000 + SA 1:5.000)	53,50%	63,0% / 1,36%	81,1% / 0,13%
CBR (DS 1:2.000 + SA 1:5.000)	-	35,7% / 2,01%	73,0% / 0,17%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,5%)	189% / 0,05%	81,8% / 0,01	132,2% / 0,07%
CBR (DS 1:2.000 + Cal a 2,0%)	103,0% / 0,05%	60,0% / 1,30%	118,4% / 0,09%

CBR / Exp

CBR / Exp

CBR / Exp

d- Trecho de 82 km entre o município de Parauapebas à Mina do Sossego, na região de Marabá/PA, com tráfego previsto de  $N = 8,55 \times 10^6$ , onde levamos em consideração os tipos de solos existentes no local, que pelas amostras ensaiadas era uma argila siltosa, de classificação HRB A-4 e A-6, nas camadas inferiores de subleito, sendo estes, recobertos por camada de solo laterítico, de classificação HRB como A.2-6, cujo comportamento e



desempenho destes solos quando estabilizados quimicamente com os produtos apresentou os seguintes resultados:

<b>ENSAIOS</b>	<b>A-4</b>	<b>A-6</b>	<b>A.2-6</b>
Densidade Máxima ( s)	1.809	1.684	2.189
Umidade Ótima (Hot)	17,00%	19,20%	11,60%
CBRnatural	8,10%	12,70%	21,30%
Expansão	0,60%	0,26%	0,13%
CBR (DS 1:1.000 + SA 1:5.000)	29,8%	39,1%	146,00%
CBR (DS 1:2.000 + SA 1:5.000)	27,80%	30,50%	73,00%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,0%)	44,00%	70,00%	108,00%

Os ensaios de laboratórios foram realizados pela Concremat e dos módulos resilientes do solo de cobertura ( $M_r = 12.520$  para Base e  $M_r = 11.670$  para Sub-Base), realizados pela Solotest, cujas características promovidas de impermeabilidade e de controle da lixiviação das partículas finas em decorrência da presença da água, não permitirá, uma erosão precoce das camadas tratadas do pavimento, condições estas, extremamente satisfatórias para a aplicação da tecnologia, a qual promoverá ao cliente, com certeza, pouca manutenção e conservação.

e- Outro serviço realizado na região, a mais de 10 anos, foi o trecho de implantação da BR 174 (Manaus – Boa Vista), sob responsabilidade da Paranapanema S.A., executado nas camadas de Sub-bases e Bases do pavimento, com tráfego de  $N = 7,2 \times 10^6$ , onde os solos predominantes existentes no local era uma laterita vermelha, arenosa, muito lixiviada, de classificação HRB A.2-4 e A.1-B; cujo comportamento até o momento está excelente estado de conservação. Nos ensaios prévios apresentou os seguintes valores:

<b>ENSAIOS</b>	<b>A.2-4</b>	<b>A.2-4</b>	<b>A.1.b</b>
Densidade Máxima ( s)	1.987	2.024	2.035
Umidade Ótima (Hot)	10,40%	9,60%	7,20%
CBRnatural	22,70%	31,30%	39,80%
Expansão	0,30%	0,12%	0,13%
CBR (DS 1:1.000 + SA 1:5.000)	97,70%	87,20%	103,40%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,0%)	355,50%	341,30%	
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 3,0%)	-	-	384,00%

(\*) Foram utilizados nos trechos as dosagens com DS-328/BS-Plus + Sulfato de Alumínio.

f- Outro caso interessante de ser observado foi com os solos predominantes na região de Alphaville/SP quando da implantação das marginais da Rodovia Castelo Branco, os quais foram estudados por dois laboratórios distintos, um da própria concessionária (Viaoeste) e outro contratado para conferência e confirmação dos resultados encontrados (Alphageos). O objetivo foi viabilizar o uso dos solos da jazida do exército nas camadas de reforço do subleito de um pavimento rígido com volume de tráfego previsto de  $N = 4 \times 10^8$ , onde o solo predominante existente no local era de matriz siltosa, de classificação HRB A.4, A.7-5 e A.5; cujos ensaios comparativos com a utilização do cimento, apresentaram os seguintes valores:

ENSAIOS	A.4	A.7-5	A.5	A.4
Densidade Máxima ( $\rho_s$ )	1.740	1.702	1.565	1.681
Umidade Ótima (Hot)	14,40%	15,40%	19,30%	17,20%
CBRnatural	5,50%	6,20%	3,20%	4,30%
Expansão	5,50%	2,70%	4,70%	3,75%
CBR (DS 1:1.500 + Cal a 2,0%)	60,4% / 0,0%	64,5% / 0,0%	60,4% / 0,0%	48,9%/0,03%
CBR (DS 1:2.000 + Cal a 2,0%)	64,9% / 0,0%	48,7% / 0,0%	42,5%/0,04%	45,6%/0,0%
CBR (DS 1:2.500 + Cal a 2,0%)	56,2% / 0,0%	60,5% / 0,0%	52,9%/0,02%	58,7%/0,06%
CBR (Cimento a 1,0%), em peso	18,90%	10,80%	8,50%	6,20%
CBR (Cimento a 2,0%), em peso	32,50%	22,70%	17,50%	17,70%
CBR (Cimento a 3,0%), em peso	39,30%	30,80%	31,40%	37,20%
CBR (Cimento a 4,0%), em peso	42,10%	35,00%	39,00%	40,40%

g - Apresentaremos alguns resultados de ensaios realizados para as obras do Rodoanel Metropolitano de São Paulo "Mario Covas" – Trecho Sul, cujos solos predominantes são do tipo Silte Argiloso Marrom Micáceo para serem utilizados nas últimas quatro camadas de terraplenagem (0,80m) e na camada de Reforço para o Subleito (0,20m), cujos resultados foram:

1- Amostra 18.526

$$\rho_s = 1.630 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 20,4\%$$

Amostra	Dosagem	CBR %	Expansão %
1	Natural	6,00	3,60
2	Cal Hidratada a 2%	17,00	1,30
3	Cal Hidratada a 3%	24,00	0,90
4	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	72,00	0,00
5	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2,5%	43,00	0,08
6	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 3,0%	36,00	0,13
7	DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2,0%	33,00	0,13
8	DS-328 a 1:1.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	13,00	1,43
9	DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	13,00	0,70

2) Amostra 22.504

$$s = 1.784 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 15,7\%$$

Amostras	Dosagem	CBR %	Expansão %
1	Natural	16,00	1,52
2	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	70,00	0,10
3	DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2,0%	50,00	0,20
4	DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	21,00	0,50

## 3) Amostra 22.505

$$s = 1.779 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 16,7\%$$

Amostras	Dosagem	CBR %	Expansão %
1	Natural	5,00	1,63
2	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	23,00	0,10
3	DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2,0%	31,00	0,10
4	DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	19,00	0,40

## 4) Amostra 22.808

$$s = 1.742 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 15,6 \%$$

Amostras	Dosagem	CBR %	Expansão %	Classificação	
				MCT	PI
1	Natural	6,00	2,40	NG'	240
2	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	-	-	-	-
3	DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2,0%	136,00	0,00	LA	26
4	DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	16,00	1,10	LA	118

## 5) Amostra 22.963

$$s = 1.791 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 15,8 \%$$

Amostras	Dosagem	CBR %	Expansão %	Classificação	
				MCT	PI
1	Natural	8,00	2,00	NG'	245
2	DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	-	-	-	-
3	DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2,0%	98,00	0,30	LA	23
4	DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	15,00	1,50	LA	120

## 6) Amostra 22.829

$$s = 1.787 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 13,9 \%$$

Amostras	Dosagem	CBR %	Expansão %
1	Natural	6,00	3,60
2	DS-328 a 1:1.500 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	10,00	1,60
3	DS-328 a 1:1.750 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	19,00	1,70

<b>4</b>	<b>DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000</b>	<b>31,00</b>	<b>1,50</b>
----------	---	--------------	-------------

OBS: Estes ensaios foram realizados no laboratório de solos do Consórcio ARCOSUL (Odebrecht/Constran), operado pela Empresa JBA e supervisionado pelo Consórcio RODOSUL (Lenc/Engevix/Esteio/LBR).

Outros solos pesquisados para mesma obra foram do lote 3 (Queiroz Galvão / CR Almeida / EIT) cujos ensaios foram realizados no laboratório da Dersa – Desenvolvimento Rodoviário S.A., operado por funcionários da Concremat, Falcão Bauer, Maubertec e EPT, coordenados pela DERSA e supervisionados pelo Consórcio RODOSUL (Lenc/Engevix), cujos resultados dos ensaios foram:

Estaca 4 + 00 (Ramo IMS-I)

$$s = 1.698 \text{ kg/m}^3 / \text{Hot} = 14,5 \% / \text{HRB} = \text{A.5 (4)} / \text{LL} = 42,7\% / \text{IP} = 9,0\%$$

<b>Características do Solo</b>	<b>CBR</b>	<b>Expansão</b>	<b>MCT</b>	<b>P. Imersão</b>
Solo Natural	6,5%	3,93%	NG'	319,2%
Solo com DS-328 a 1:1.000	13,0%	1,58%	NS'	172,9%
Solo com DS-328 a 1:1.500	15,8%	1,66%	NA'	139,2%
Solo com DS-328 a 1:2.000	14,1%	1,76%	NS'	159,0%
Solo DS-328 a 1:1.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	15,0%	1,50%	NA'	165,7%
Solo DS-328 a 1:1.500 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	11,1%	1,29%	NS'	150,0%
Solo DS-328 a 1:1.750 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	15,0%	1,43%	n/c	n/c
Solo DS-328 a 1:2.000 + Sulf.Aluminio a 1:5.000	14,4%	1,88%	NA'	151,3%
Solo DS-328 a 1:1.500 + Cal Hidratada a 2%	50,9%	0,10%	NS'	0,00%
Solo DS-328 a 1:1.750 + Cal Hidratada a 2%	61,4%	0,14%	n/c	n/c
Solo DS-328 a 1:2.000 + Cal Hidratada a 2%	45,1%	0,16%	NS'	3,4%
Solo Cal a 2%	35,2%	0,17%	NG'	121,9%

Argila: 18,97% / Silte: 34,28% / Areia Fina: 30,02% / Areia Média: 16,61% / Areia Grossa: 0,12%

OBS: A novidade neste estudo foi a execução dos ensaios com solos tratados sem os Reagentes, cujos resultados foram considerados satisfatórios para o objetivo atendendo as exigências do projeto.

h- Nas obras de ampliação do Aeroporto Internacional Governador Franco Montoro – Cumbica, em Guarulhos, nos defrontamos com a necessidade de tratar dois tipos de solos disponíveis, predominantemente siltosos do tipo A.7.5, para serem utilizados nas últimas camadas de terraplenagem, cujos resultados foram:

**- Jazida Pau Pedra**

$$\text{Solo Natural} = s = 1.656 \text{ kg/m}^3 / \text{Umidade ótima} = 18,0\% / \text{Expansão} = 2,35 \% / \text{CBR} = 7,6\%$$

<b>DOSAGENS</b>	<b>CBR</b>	<b>Expansão</b>
Solo Natural	7,5%	2,35%
DS-328 a 1: 2000 + 2% cal hidratada	15,2%	0,12 %
DS-328 a 1: 2500 + 2% cal hidratada	28,7%	0,09 %
DS-328 a 1: 3000 + 2% cal hidratada	18,2%	0,18 %
DS-328 a 1: 2000 + 2,5% cal hidratada	23,6%	0,08 %
DS-328 a 1: 2500 + 2,5% cal hidratada	27,4%	0,07 %
DS-328 a 1: 3000 + 2,5% cal hidratada	23,5%	0,00 %
DS-328 a 1: 2000 + 3% cal hidratada	31,7%	0,00 %

DS-328 a 1: 2500 + 3% cal hidratada	30,1%	0,10 %
DS-328 a 1: 3000 + 3% cal hidratada	30,8%	0,03%
DS-328 a 1: 2000 + sulfato de a 1: 5000	14,8%	0,17%

### **Jazida Seixo Terran**

Solo Natural =  $\rho_s = 1.450 \text{ kg/m}^3$  / Umidade ótima = 25,0%

DOSAGENS	CBR	Expansão
Solo Natural	2,2%	8,30%
DS-328 a 1: 2000 + 2% cal hidratada	13,0%	0,52 %
DS-328 a 1: 2500 + 2% cal hidratada	15,4%	0,73 %
DS-328 a 1: 3000 + 2% cal hidratada	14,5%	0,71 %
DS-328 a 1: 2000 + 2,5% cal hidratada	21,2%	0,49 %
DS-328 a 1: 2500 + 2,5% cal hidratada	14,7%	0,47 %
DS-328 a 1: 3000 + 2,5% cal hidratada	17,4%	0,46 %
DS-328 a 1: 2000 + 3% cal hidratada	20,3%	0,37 %
DS-328 a 1: 2500 + 3% cal hidratada	18,2%	0,32 %
DS-328 a 1: 3000 + 3% cal hidratada	22,6%	0,30%
DS-328 a 1: 2000 + sulfato de a 1: 5000	8,8%	1,98%

OBS: Estes ensaios foram realizados no laboratório de solos da Concremat para o Consórcio Queiroz Galvão / Serveng / Constran.

i- Quanto a obras de aeródromos privados citamos, como exemplo, a pista do Aeroporto "Dr. José Augusto de Arruda Botelho", localizado no município de Itirapina, na região de São Carlos/SP, com 1.250,00 m de extensão por 30,0 m de largura e estacionamento das aeronaves, onde suas bases (20,0 cm) foram tratadas com DS-328/BS-Plus a 1:1.000 + Sulfato de Alumínio a 1:5.000, em solo A.2.4, revestidos em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 3,0 cm de espessura.

Após a conclusão dos serviços, seu proprietário, ficou em dúvida se poderia operar com sua aeronave, um Falcon 50 e contratou uma empresa especializada, a Dynatest, para determinar o valor do PCN (Pavement Classification Number), cujos resultados, determinados em pista, por avaliação da capacidade estrutural do pavimento, em termos de uma carga de roda equivalente, realizada com o equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer), apresentou um valor médio de 48 (quarenta e oito), onde este, pelo critério da FAA (Federal Aviation Administration), poderia com folga operar seu avião e se o comprimento da pista fosse adequado, operar com um Boeing 767-200 ER, com 352.200 Lb.

Após palestra proferida no Ministério da Aeronáutica, na cidade do Rio de Janeiro, engenheiros do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), que estavam presentes, foram ao local da obra, com equipamentos semelhantes ao utilizados para aferição e constataram valores compatíveis aos encontrados anteriormente. (aproximadamente 51- melhor).

Pelos comentários de diversos oficiais da Aeronáutica, esta metodologia construtiva poderá se tornar, dentro de muito em breve, uma referência de padrão aeronáutico do País.

Atualmente, estamos ampliando o comprimento da pista em 250,00m para receber aviões de porte médio, pois o local se tornou uma feira aeronáutica de evento anual, recebendo nestes dias, aproximadamente, 350 aeronaves.

Este relatório de obras executadas, com certeza está faltando muita coisa, mas foi o máximo que consegui neste espaço de tempo (ontem e hoje).

Atenciosamente,

**FISTEC – Fiscalização Técnica e Engenharia Ltda**

Rua João Cachoeira, 571 – 3º andar – Itaim Bibi

São Paulo / SP - Brasil

Tel (55 11) 3071-0259 – Fax (55 11) 3168-5706

e-mail : [fistechr@uol.com.br](mailto:fistechr@uol.com.br)

**Engº Resp: Helio Rubens Vieira Bussamra**

## COMENTÁRIOS SOBRE SOLO-CAL

A utilização da Cal é uma excelente escolha para a modificação das propriedades do solo a curto prazo. A cal pode modificar quase todos os solos de graduação fina, mas a melhoria a mais dramática ocorre em solos argilosos de média a alta plasticidade. A modificação ocorre porque os cátions do cálcio fornecidos pela cal hidratada substituem os cátions normalmente atuais na superfície do argilo-mineral, promovido pelo ambiente elevado do pH do sistema da cal-água.

Assim, a mineralogia da superfície da argila é alterada, produzindo os seguintes benefícios:

- Redução da Plasticidade do solo;
- Redução do Índice de Plasticidade (IP);
- Na capacidade de secar o solo;
- Redução da expansão do solo;
- Estabilidade melhorada.

A estabilização do solo ocorre quando o cal é adicionado numa dosagem adequada acima de 6%, em peso, a um solo reativo para gerar o ganho de resistência em longo prazo através de uma reação pozolânica. Esta reação produz hidratados estáveis do silicato do cálcio e hidratados do aluminato de cálcio enquanto o cálcio da cal reage com os aluminatos e os silicatos solubilizados da argila.

Percentuais abaixo do especificado (nunca menos de 3%) podem ser utilizados, porém correndo certos riscos em função da baixa interligação entre os cátions dos materiais envolvidos na reação a ser provocada. Normalmente, os benefícios gerados com estas dosagens são de curto prazo.

As normas americanas ASTM (American Society for Testing and Materials), da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e da USACE (United States Army Corps of Engineers) recomendam em suas especificações que um solo para ser estabilizado com cal, seja ele de qualquer tipo, este solo deverá ter partículas passando, pelo menos, 35% na peneira nº 200 e ter um índice de plasticidade (IP) de pelo menos de 10. Estes critérios são obrigatórios para qualquer estudo de utilização prática com a Cal, salvo se utilizado como complemento com outros aglomerantes químicos e cimentantes ou em estudos acadêmicos teóricos.

Além disso, recomendam que se promovam o teste Grim do pH (ASTM D 6276) para determinar a dosagem correta da Cal com certa precisão, a fim de promover uma reação pozolânica que maximize a probabilidade de fornecer a resistência aceitável a longo prazo, propriedades resilientes e durabilidade.

Na confecção dos ensaios de laboratório, preconizam que a mistura solo-cal, antes de ser compactado, deve ficar acondicionado em sacos plásticos por 7 dias na temperatura de 40° C para reter a umidade suficiente, obter uma mistura homogênea e promover a resistência máxima a longo prazo.

Após a compactação da amostra, esta deverá ficar em imersão na água por 48 horas antes de determinar sua resistência e rigidez.

## CONCLUSÃO

Como se observa na literatura acima e na Tabela abaixo, a recomendação para utilização do sistema solo-cal, praticamente, se resume aos materiais de textura com matrizes argilosas e siltosas e no limite para os de origens arenosas, ao contrário das recomendações da utilização da alternativa de solo-cimento.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	38 mín.	38 mín.	38 mín.	38 mín.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

\* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

## Classificação dos solos HRB - Transportation Research Board

### OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

Na utilização da Cal denominada de Hidróxido de Cálcio úmido, resíduo da fabricação do gás acetileno, fornecida pelas indústrias White Martins, Aga, Solvay. etc. vem sendo comercializada por terceiros e utilizada aqui no Brasil para estabilização de solos. Alguns cuidados seus usuários devem tomar, pois alguns pode conter cloro em sua composição, tornando-o um produto organo-clorado, altamente cancerígeno.

Portanto, não recomendável para sua utilização em obras viárias urbanas.

Neste mesmo produto que, normalmente, vem úmido de sua origem (mínimo de 30%), devemos promover a correção da umidade quando de sua aplicação em campo, uma vez que durante a confecção dos ensaios de laboratório o material apresentado está seco.

A fórmula de correção para determinação do peso seco (Ps) é:

$$Ps = \text{Peso úmido} \times \frac{100}{100 + 30} = 1.000g \times \frac{100}{130} = 769,23 \text{ g}$$