

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THALLES BORTOLLOTTE GOMES DE MORAIS

**ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO
NA REGIÃO DE CAMPINAS - SP**

CAMPO MOURÃO

2021

THALLES BORTOLOTTI GOMES DE MORAIS

**ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO
NA REGIÃO DE CAMPINAS - SP**

**Study of the stabilization of a soil for paving purposes in the region of
Campinas-SP**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Orientadora: Dra. Eliana Fernandes dos Santos

CAMPO MOURÃO

2021



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THALLES BORTOLOTTI GOMES DE MORAIS

**ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO
NA REGIÃO DE CAMPINAS - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29 de novembro de 2021.

Eliana Fernandes dos Santos
Doutorado em Infra-estrutura de Transportes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ewerton Clayton Alves da Fonseca
Doutorado em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2021

RESUMO

A estabilização de solos é uma técnica muito utilizada em obras de pavimentação, principalmente em situações onde a troca do solo para as camadas inferiores do pavimento se tornam opções inviáveis econômica ou executivamente. O trabalho em questão teve como objetivo estudar as melhorias obtidas com a estabilização química de um solo, coletado na região de Campinas no estado de São Paulo, utilizando o biocatalisador Earth Materials Catalyst Squared e qual seria o melhor uso para esse material em serviços de pavimentação. Ensaio de análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade foram executados para classificação do solo. A determinação do Índice de Suporte Califórnia foi realizada antes e após a aplicação do biocatalisador. Concluiu-se que o solo estudado apresentou uma melhora em sua resistência após o emprego do Earth Materials Catalyst Squared, porém, o mesmo ainda não apresentou resultados satisfatórios para o emprego em algumas camadas dos pavimentos flexíveis, sendo indicada sua utilização apenas para camadas de reforço de subleito.

Palavras-chave: estabilização de solos; EMC Squared; pavimentos flexíveis; Índice de Suporte Califórnia; classificação de solos.

ABSTRACT

Soil stabilization is a technique widely used in paving works, especially in situations where the change of soil to the lower layers of the pavement becomes an economically or executively unfeasible option. The work in question aimed to study the improvements obtained with the chemical stabilization of a soil, collected in the region of Campinas in the state of São Paulo, using the biocatalyst Earth Materials Catalyst Squared and what would be the best use for this material in paving services. Particle size analysis, liquidity limit and plasticity limit tests were performed for soil classification. The determination of the California Support Index was performed before and after the application of the biocatalyst. It was concluded that the studied soil presented an improvement in its resistance after the use of Earth Materials Catalyst Squared, however, it still did not present satisfactory results for the use in some layers of flexible pavements, being indicated its use only for subgrade reinforcement layers.

Keywords: soil stabilization; EMC Squared; flexible pavements; California Bearing Ratio; soil classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das cargas nos pavimentos.....	14
Figura 2 - Estrutura do Pavimento Rígido.....	15
Figura 3 - Composição dos pavimentos semirrígidos.....	16
Figura 4 - Classificação dos Solos (Transportation Research Board).....	18
Figura 5 - Limites de Atterberg.....	19
Figura 6 - Fluxograma dos tipos de estabilização de solos.....	21
Figura 7 - Rolo compactador liso.....	22
Figura 8 - Rolo compactador pneumático.....	22
Figura 9 - Rolo compactador corrugado.....	23
Figura 10 - Reação causada pelo EMC Squared.....	24
Figura 11 - Local de Coleta do Material.....	25
Figura 12 - Imagem de satélite do local de coleta.....	26
Figura 13 - Destorroamento do solo.....	27
Figura 14 - Solo após Peneiramento.....	28
Figura 15 - Aparelho de Casagrande.....	29
Figura 16 - Ensaio de Limite de Liquidez.....	29
Figura 17 - Ensaio de Limite de Plasticidade.....	30
Figura 18 - Aplicação de golpes no ensaio de compactação.....	31
Figura 19 - Corpo de prova no tanque de imersão.....	32
Figura 20 - Prensa de CBR.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Limite de Liquidez.....	34
Gráfico 2 - Dados Compactação.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos materiais para emprego no pavimento.....	20
Tabela 2 - Resultados dos Ensaios de Limite de Liquidez.....	34
Tabela 3 - Resultados dos Ensaios Limite de Plasticidade.....	35
Tabela 4 - Resultados do Ensaio de Granulometria.....	35
Tabela 5 - Resultado do Ensaio de Compactação.....	36
Tabela 6 - Resultado dos Ensaios de CBR.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISC	Índice de Suporte Califórnia
CBR	California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)
CP	Corpo de Prova
DER – PR	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMC	Earth Materials Catalyst (Catalisador para materiais terrosos)
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
SP	São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	JUSTIFICATIVA.....	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1	Pavimentos	14
4.2	Tipos de Pavimentos.....	14
4.2.1	Camadas do Pavimento Semirrígido	16
4.3	Solos.....	17
4.4	Tipos de Solos	17
4.4.1	A Classificação TRB para fins Rodoviários	18
<u>4.4.1.1</u>	<u>Granulometria.....</u>	<u>19</u>
<u>4.4.1.2</u>	<u>Limites de Atterberg</u>	<u>19</u>
4.5	Índice de Suporte Califórnia	20
4.6	Utilização de Solos em Pavimentos.....	20
4.7	Solos Estabilizados.....	21
4.7.1	Estabilização Mecânica	21
4.7.2	Estabilização Físico-química	23
4.7.3	Estabilização com Bioenzimas	23
5	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	25
5.1	Materiais	25
5.2	Métodos.....	26
5.3	Equipamentos.....	26
5.4	Ensaio.....	27
5.4.1	Preparo das amostras	27
5.4.2	Caracterização do solo.....	28
<u>5.4.2.1</u>	<u>Granulometria.....</u>	<u>28</u>
<u>5.4.2.2</u>	<u>Limite de Liquidez.....</u>	<u>29</u>
<u>5.4.2.3</u>	<u>Limite de Plasticidade.....</u>	<u>30</u>
5.4.3	Ensaio de Compactação	30
5.4.4	Ensaio de CBR	31
6	RESULTADOS.....	34

6.1	Classificação do Solo	34
6.1.1	Limite de Liquidez.....	34
6.1.2	Limite de Plasticidade.....	35
6.1.3	Índice de Plasticidade.....	35
6.1.4	Granulometria.....	35
6.1.5	Classificação TRB	36
6.2	Ensaio de Compactação	36
6.3	Ensaio de CBR.....	37
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

As estradas sempre estiveram presentes na história das civilizações humanas, porém, com a invenção dos veículos movidos a roda, surgiu a necessidade de as adaptar para aumentar o conforto de seus usuários, uma vez que as primeiras vias eram repletas de pedras e outros obstáculos que causavam muita trepidação nos veículos que possuíam rodas rígidas, fabricadas de madeira.

Com a expansão agrícola, ocorreu a primeira rota comercial no ano 700 a.C., que foi criada após o aperfeiçoamento das técnicas construtivas pelos povos mesopotâmicos e unia o império babilônico ao Egito. Entretanto, foi o império romano quem extraiu o maior potencial das estradas durante a antiguidade, pois eram um meio de se conquistar e preservar seus territórios, então passou-se a investir muitos recursos para o alcançar novos locais e para melhorar o deslocamento pelas árduas estradas da época.

Muitos séculos se passaram até chegarmos ao conforto e segurança que é proporcionado pelas rodovias modernas, fato que se tornou viável graças a criação de três conceitos fundamentais para um bom desempenho do pavimento: a drenagem, a existência de uma camada superficial resistente e uma fundação apropriada.

A partir destes conceitos, mais especificamente com relação à fundação do pavimento, serão realizados estudos sobre a possível melhoria de resistência em uma amostra de solo da região de Campinas – SP, causada pela aplicação de um estabilizante químico. De posse dos resultados, uma análise indicando qual o melhor destino para a aplicação do solo estabilizado irá definir se a técnica utilizada apresenta-se eficiente, para a utilização do material na construção dos pavimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a resistência de um solo da região de Campinas-SP, antes e após a adição de um estabilizante químico e verificar a possibilidade de sua utilização em obras de pavimentação.

2.2 Objetivos Específicos

- Classificar o solo da região;
- Verificar as propriedades do solo a serem atendidas pelas normas de pavimentação;
- Realizar os ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia sem e com o emprego do aditivo Earth Materials Catalyst Squared (EMC Squared);
- Avaliar os resultados de resistência obtidos para os métodos de estabilização química e mecânica;
- Verificar a possibilidade da aplicação deste solo em diferentes camadas do pavimento.

3 JUSTIFICATIVA

Em alguns casos somente o método de estabilização mecânica não é suficiente para se alcançar os parâmetros de solo desejáveis em projeto, e nem sempre se torna viável realizar alterações no mesmo. Com isso, surge a opção de se utilizar outros métodos de estabilização a fim de se alcançar melhorias no solo sem a necessidade de realizar alterações de projeto.

Desta forma, surgiu o interesse em verificar se os resultados dos ensaios de ISC (Índice de Suporte Califórnia) ou CBR (California Bearing Ratio) de solos estabilizados quimicamente se sobressaem quando comparados à solos estabilizados mecanicamente. Caso os resultados sejam positivos, o produto pode ser considerado uma alternativa para solucionar o problema.

Neste trabalho, para avaliar os resultados de ISC de um solo estabilizado quimicamente, foi selecionado o aditivo Earth Materials Catalyst (EMC) Squared por se tratar de um produto inovador e com pouco material acadêmico desenvolvido no Brasil, comparado às opções mais convencionais de estabilizantes químicos, como cal e cimento.

Assim, esta alternativa pode contribuir para obras de pavimentação, evitando gastos extras com as adequações necessárias em projetos e facilitando o processo executivo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Pavimentos

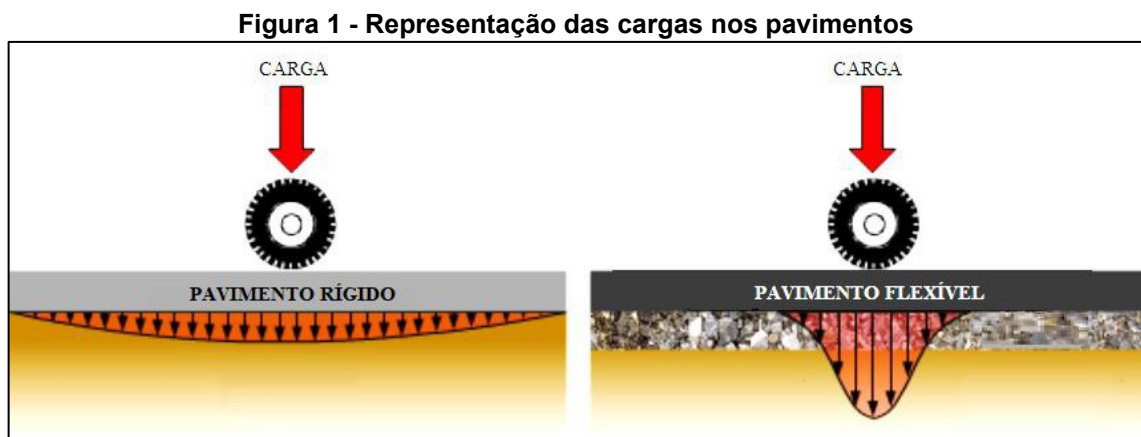
O pavimento pode ser definido como o conjunto de camadas, constituídas de diferentes materiais, que tem como principal função, receber e distribuir ao terreno de fundação ou subleito, as cargas aplicadas pelos veículos.

Além disso, o revestimento dos pavimentos deve garantir ao usuário o máximo conforto e segurança possíveis, sem que os esforços horizontais atuantes no mesmo acabem causando danos à estrutura.

4.2 Tipos de Pavimentos

Existem diversos tipos de pavimentos, entretanto os mais utilizados em obras de vias públicas no Brasil são os pavimentos rígidos, semirrígidos e os flexíveis.

Apesar dos materiais e métodos construtivos serem empregados de maneira distinta, a principal diferença entre esses três tipos de pavimentos está na maneira como as cargas aplicadas sobre eles são transferidas para a camada de fundação. A Figura 1 exemplifica esta diferença entre o pavimento rígido e o flexível.

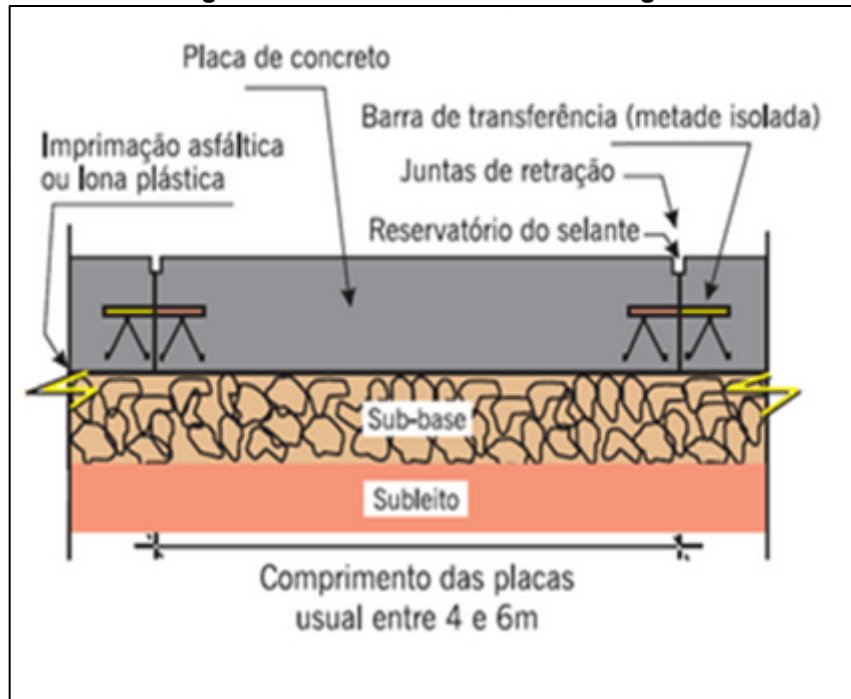


Fonte: Site Guia da Engenharia (2019)

O pavimento rígido é composto por uma camada superior que sozinha é responsável por resistir ao desgaste causado pelo tráfego e por absorver quase totalmente os esforços verticais decorrentes do tráfego. Esta camada superior geralmente é feita com placas de concreto de cimento Portland, pois não apresentam grandes deformações devido à alta resistência a flexão do concreto mesmo quando submetidas ao tráfego pesado e intenso e quando executadas sobre solos inábeis a

receber muita carga (RODRIGUES, 2011). A Figura 2 ilustra a estrutura de um pavimento rígido.

Figura 2 - Estrutura do Pavimento Rígido



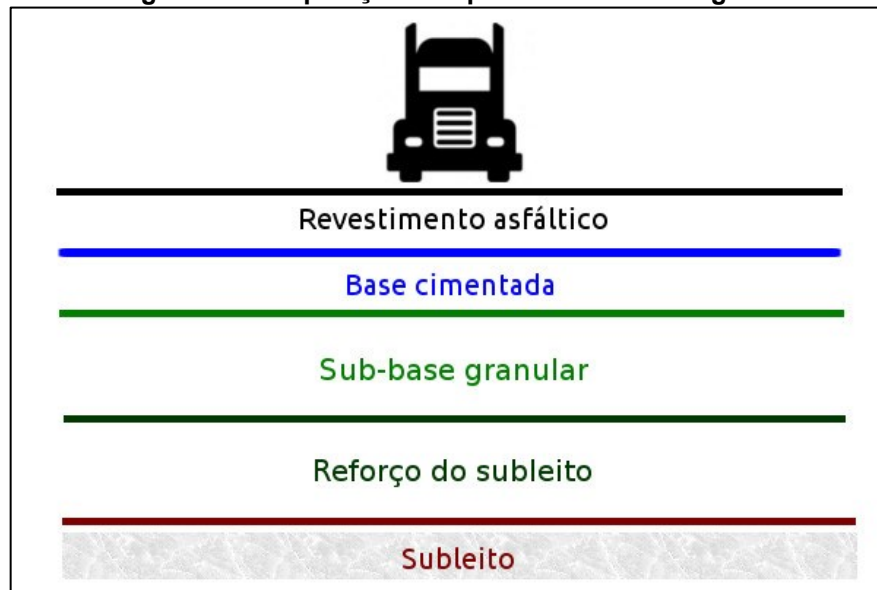
Fonte: Filho e Rocha (2018, p. 4)

Os pavimentos flexíveis configuram-se de uma maneira distinta dos rígidos. Além do revestimento asfáltico na camada externa, que tem a função de receber os esforços da faixa de rolamento, as demais camadas subjacentes compostas por materiais granulares também contribuem para absorver, resistir e distribuir as cargas.

Por fim, os pavimentos semirrígidos, apresentam a mesma configuração de camadas que os pavimentos flexíveis com distinção na camada de base, que é cimentada quimicamente para se alcançar uma resistência capaz de suportar as solicitações sobre o pavimento.

A Figura 3 descreve as camadas de um pavimento semirrígido, que serão mais bem explicadas no item 4.2.1.

Figura 3 - Composição dos pavimentos semirrígidos



Fonte: Site Guia da Engenharia (2019)

4.2.1 Camadas do Pavimento Semirrígido

Cada camada do pavimento semirrígido exerce uma função específica, sendo que algumas delas são indispensáveis na sua composição. As camadas que se encontram mais acima, no esquema mostrado pela Figura 3, possuem uma maior importância mecânica assim como maior valor agregado, ou seja, a camada de revestimento é a mais solicitada e a com o preço final mais alto. Esses dois fatores vão diminuindo conforme segue-se para as camadas subjacentes.

De acordo com o glossário de termos técnicos do DNIT (2017), é definido cada uma das faixas ditas na Figura 3 da seguinte maneira:

- **Revestimento asfáltico:** Também mencionado como revestimento betuminoso, é a camada constituída por um ligante betuminoso e que está em contato direto com as cargas solicitantes. Ele tem a função de resistir às cargas aplicadas sobre ela e transmiti-las para baixo além de impermeabilizar e tornar mais confortável as condições de tráfego no pavimento.
- **Base:** Parte do pavimento que tem a finalidade de suportar os esforços verticais transmitidos pelo revestimento e distribuí-los para o subleito. A diferença no caso dos pavimentos semirrígidos é que ao invés de ser executada com material granular, recorre-se à aplicação de substâncias que irão realizar a cimentação do material granular utilizado, conferindo mais

resistência a ele. Devem apresentar CBR superior a 80%, expansão menor do que 0,5%.

- **Sub-Base:** Tem como função complementar a camada de base, podendo ser aplicada quando for apropriado realizar uma diminuição na espessura da base por motivos econômicos. Devem apresentar CBR maior do que 20%, e expansão menor do que 1%.
- **Reforço do Subleito:** Exerce a mesma função que o item acima, porém com o intuito de diminuir justamente a espessura da sub-base. Isso costuma ocorrer quando o índice de suporte (CBR) do subleito não atende às especificações mínimas. Devem apresentar CBR maior que o do Subleito e expansão menor que 1%.
- **Subleito:** Maciço de terra de grandes dimensões no qual está apoiado o pavimento, ou seja, o subleito serve de fundação para a construção. Devem apresentar CBR mínimo de 2% e expansão menor do que 2%

4.3 Solos

Os solos representam uma importante área de estudo na engenharia civil devido ao fato de que praticamente todas as obras, com algumas exceções, são executadas sobre um terreno constituído por diferentes camadas de solo.

Segundo Pinto (2006), estas camadas se originam a partir de milhares de anos sofrendo ações de agentes físicos e químicos que causam a decomposição das rochas constituintes da crosta terrestre. O conjunto destas ações acaba levando a formação dos solos, que de maneira simplificada, pode-se dizer que são misturas de pequenas partículas de solo, diferenciadas pelo tamanho e composição química, onde a concentração destas partículas vai depender da composição química da rocha de origem.

4.4 Tipos de Solos

Os solos geralmente são classificados pelo diâmetro predominante das suas partículas, já que em uma massa de solo existe uma grande diversidade de tamanhos de grãos. Conforme Das (2007, p. 14), o solo pode ser separado em quatro tipos de acordo com a dimensão de suas partículas: pedregulho, areia, silte e argila.

4.4.1 A Classificação TRB para fins Rodoviários

As classificações de solos permitem agrupar solos segundo características comuns relacionadas ao seu comportamento geotécnico.

Um sistema amplamente usado em pavimentação é a classificação TRB (Transportation Research Board), que, como é apresentado no Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006), utiliza de uma tabela, representada pela Figura 4, que separa os solos em grupos e sub-grupos. A referida tabela classifica o solo a partir de parâmetros obtidos por meio de ensaios de análise granulométrica e determinação dos Limites de Atterberg. Através de um processo de eliminação, seguindo da esquerda para a direita na tabela, onde o primeiro grupo que possuir valores compatíveis com os valores obtidos com os ensaios, será o grupo adequado para o solo analisado.

Figura 4 - Classificação dos Solos TRB (Transportation Research Board)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira N° 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											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira N° 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
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 siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006, p.56)

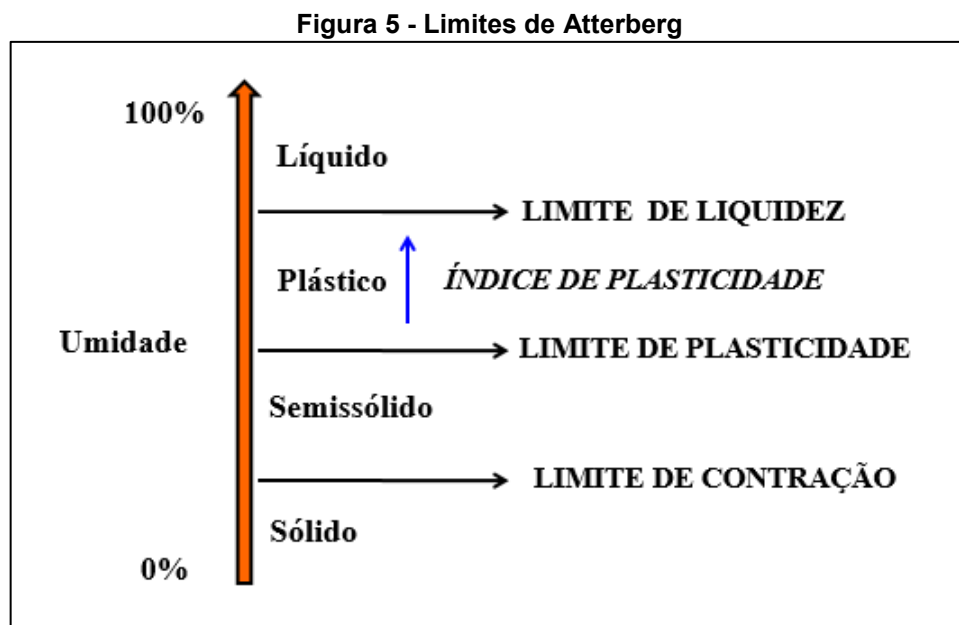
4.4.1.1 Granulometria

A granulometria de um solo corresponde a maneira como as partículas de uma massa de solo se distribuem dentro de determinadas faixas dimensionais. Esta análise é feita a partir de escalas pré-definidas do tamanho destas partículas.

Para a categorização de um determinado solo como um todo, é necessário realizar uma análise granulométrica, verificando a porcentagem de cada uma destas faixas de tamanho presente no mesmo.

4.4.1.2 Limites de Atterberg

Albert Atterberg foi um cientista sueco responsável pela criação dos limites de consistência do solo, no início do século XX. Estes limites são considerados para descrever a consistência de solos com granulação fina e um teor de umidade variável, onde solos com teor de umidade baixo apresentam um comportamento sólido e quando aumentamos esse teor de umidade, eles apresentam a fluidez de um líquido. (DAS, 2007, p. 51). A Figura 5 ilustra os diferentes estados de consistência de um solo.



Fonte: Adaptado de Site Wikipedia (2015)

Para a classificação dos solos segundo a TRB, são utilizados o Limite de Plasticidade (LP) e o Limite de Liquidez (LL). O Limite de Plasticidade é o teor de umidade, em porcentagem, no qual existe a transição do solo do estado semissólido

para o estado plástico. Do mesmo modo, o Limite de Liquidez é o valor de umidade que delimita o estado plástico do estado líquido.

O Índice de Plasticidade (IP), que mede a tendência à expansão do solo refletindo o seu grau de argilosidade, é obtido através do cálculo da diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade.

4.5 Índice de Suporte Califórnia

Como definido por Malanconi (2013), o Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou California Bearing Ratio (CBR), “expressa a relação entre a resistência a penetração de um cilindro padronizado numa amostra do solo compactado e a resistência do mesmo cilindro em uma amostra de pedra britada padronizada”. Isso quer dizer que, quando encontramos um valor para o CBR de 20%, o referente solo representa 20% da resistência à penetração apresentada por uma amostra de pedra britada padronizada. Conjuntamente com o ensaio de CBR, é possível determinar a expansibilidade do solo, uma vez que após o processo de compactação o corpo de prova obtido é imerso em água por um período de 96 horas, permitindo assim uma análise da expansão da amostra.

No Brasil, este ensaio é padronizado pela norma ABNT NBR 9895/2016, e o valor obtido através dele é decisivo no momento de indicar se o solo ensaiado atende aos requisitos quanto a resistência e expansão para poder ser empregado em determinada camada do pavimento.

4.6 Utilização de Solos em Pavimentos

A partir dos dados apresentados pelo Manual do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT (2006), elaborou-se a Tabela 1, que mostra os valores mínimos de CBR e a expansão máxima que um material deve apresentar para que ele possa ser empregado nas diferentes das camadas do pavimento.

Tabela 1 - Propriedades dos materiais para emprego no pavimento

Camada	CBR	Expansão
Base	≥ 80%	≤ 0,5%
Sub-Base	≥ 20%	≤ 1%
Reforço do Subleito	> subleito	≤ 1%

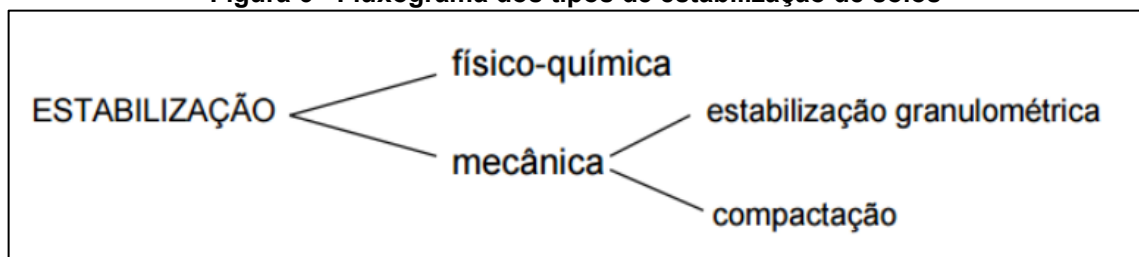
Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 142)

4.7 Solos Estabilizados

O solo representa um material amplamente utilizado na execução de obras rodoviárias. No entanto, em seu estado natural ele não apresenta as características necessárias para a sua aplicação como camada estrutural de um pavimento.

O engenheiro pode enfrentar alguns problemas durante a fase de projeto quando não tem muitas opções de materiais disponíveis e estes não cumprem os requisitos mínimos desejáveis. Uma alternativa encontrada para este problema foi o desenvolvimento de diversas técnicas em prol da melhoria de propriedades dos solos como a capacidade de suporte e mudanças de volume. Essas técnicas são conhecidas como estabilização de solos, e se fundamentam na alteração mecânica, física ou química das características do solo a fim de se alcançar o aperfeiçoamento das propriedades já citadas. (FIROOZI *et al.*, 2017). A Figura 6 representa um fluxograma com diferentes métodos que podem ser empregados para estabilização dos solos.

Figura 6 - Fluxograma dos tipos de estabilização de solos



Fonte: Adaptado de Brito e Paranhos (2017, p. 2)

A seleção do melhor método deve ser baseada na viabilidade executiva e econômica de cada um o que irá afetar diretamente o custo final da obra. Elementos como facilidade de obtenção dos componentes da mistura, aquisição do equipamento especializado e custos extras que podem aparecer, devem ser levados em consideração no momento de definição do tipo de estabilização a ser feita.

4.7.1 Estabilização Mecânica

Uma das maneiras de se modificar as propriedades de um solo é através de alterações na proporção das parcelas sólidas, líquidas e gasosas, seja pela aplicação de uma determinada energia de compactação, modificando assim o arranjo físico das partículas sólidas, ou com a incorporação ou retirada de material, para corrigir a sua granulometria. Ambas as opções proporcionam uma maior estabilidade estrutural e

resistência mecânica, pois diminuem o número de vazios do solo e conseqüentemente impede a percolação de água e a erosão que este evento pode ocasionar (BRITO; PARANHOS, 2017).

No campo, o processo de compactação é realizado com o emprego de equipamentos especializados, como os rolos lisos de rodas de aço (Figura), rolos pneumáticos (

Figura) e os rolos corrugados conhecidos como pé de carneiro (Figura). A determinação do equipamento a ser empregado é baseada no tipo de material a ser compactado e na energia de compactação necessária.

Figura 7 - Rolo compactador liso



Fonte: Site Armac (2019)

Figura 8 - Rolo compactador pneumático



Fonte: Blog Asfalto de Qualidade (2013)

Figura 9 - Rolo compactador corrugado



Fonte: Site Armac (2019)

Além do equipamento, outra maneira de se variar a energia de compactação é aumentando ou diminuindo o número de passadas com o equipamento sobre o terreno ou da camada a ser compactada, pois pode considerar-se que a energia de compactação é diretamente proporcional ao número de passadas e inversamente proporcional à espessura da camada (DNIT, 2006).

4.7.2 Estabilização Físico-química

Diferente da estabilização mecânica, os métodos físico-químicos alteram a natureza das partículas, por meio de processos que causam alterações no estado físico ou na quantidade de água no solo e na maneira como as partículas sólidas interagem com as moléculas de água.

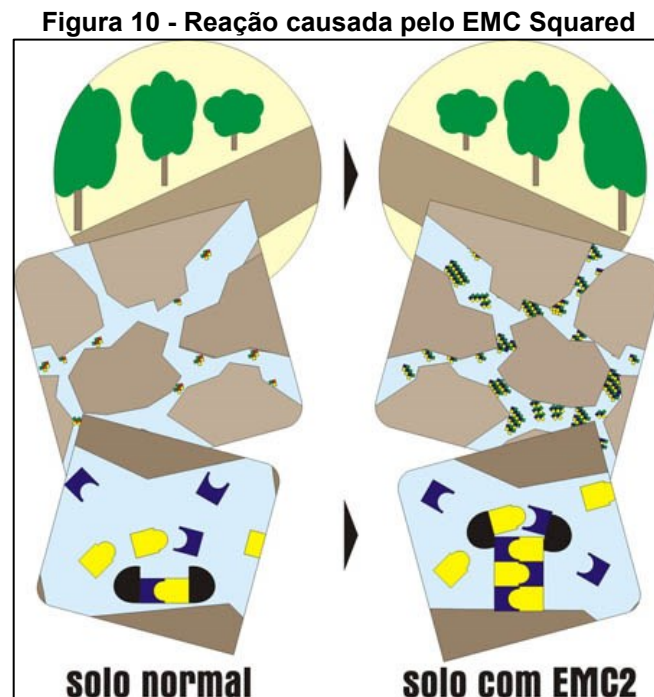
No Brasil é muito comum a utilização de estabilizantes químicos que causam uma cimentação do material ao qual ele está sendo incorporado, como por exemplo misturas solo-cimento e com o emprego de bioenzimas catalisadoras.

4.7.3 Estabilização com Bioenzimas

As enzimas vêm chamando a atenção dos engenheiros civis devido ao seu bom desempenho em produzir um efeito cimentante quando aplicadas, mesmo que em pequenas quantidades, em solos com características favoráveis à ocorrência desta reação. Este efeito traz melhorias para o solo como o aumento da massa específica, redução dos índices de vazios e conseqüentemente da percolação de líquidos, aumentando assim a estabilidade do solo, que fica menos sujeito à ação de erosão causada pela água. (BRAZETTI; CASAGRANDE; SILVA, 2013).

Esta reação de cimentação do solo ocorre após a homogeneização das bioenzimas no solo hidratado, que agem realizando catalise de outras reações químicas responsáveis pela geração química de substâncias que irão causar um fenômeno natural de aglutinação das partículas argilominerais. Apesar disso, o aumento da resistência às cargas só é conferido devido à ocorrência de reações complementares onde as partículas são lubrificadas e diminui-se a tensão superficial da água. (ALENCAR; FERREIRA; SEVALHO, 2019).

O EMC Squared (Earth Materials Catalyst Concentrate), comercializado pela empresa brasileira Base Forte, é um exemplo de biocatalisador que pode ser encontrado no país. As suas enzimas estimulam processos químicos que produzem as substâncias responsáveis pela microencapsulação das partículas minerais do solo, como mostra a Figura . Este processo pode ser comparado ao que acontece na natureza pela saliva do cupim, capaz de gerar uma espécie de endurecimento do solo para a construção das suas habitações, e com o João-de-Barro e seus ninhos.



Segundo Casagrande e Silva (2013), esse tipo de agente estabilizador, quando aplicado de maneira correta e com os estudos apropriados sobre o solo de interesse, apresenta bom ganho de resistência, além disso, sua fabricação não causa tantos danos ao meio ambiente como ocorre na produção dos agentes cimentícios inorgânicos.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

5.1 Materiais

O solo estudado pertencia a uma obra de terraplanagem localizada no bairro Parque Santa Bárbara na cidade de Campinas, às margens da Rodovia Jornalista Francisco Aguirre Proença, na altura do km 4, conforme mostram as Figuras 11 e 12. O uso efetivo deste solo em uma obra de aterro, assim como a proximidade do local de coleta com o laboratório de ensaios foram fatores decisivos para a sua seleção.

Além do solo, foi utilizado o estabilizante químico EMC Squared, aditivo composto de líquido enzimático orgânico, que por ser concentrado deve ser diluído em água na proporção de 5%, conforme indicado pelo fabricante.

Figura 11 - Local de coleta do material



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 12 – Imagem de satélite do local de coleta



Fonte: Google Earth Pro (2021)

5.2 Métodos

Para a realização dos ensaios, empregou-se as normas técnicas da ABNT conforme relação abaixo:

- Preparo das amostras - ABNT NBR 6457/2016;
- Determinação da composição granulométrica - ABNT NBR 7181/1987;
- Determinação do limite de liquidez - ABNT NBR 6459/2016;
- Determinação do limite de plasticidade - ABNT NBR 7180/2016;
- Ensaio de compactação - ABNT NBR 7182/2016;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC) - ABNT NBR 9895/2016.

5.3 Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados, seguindo as especificações técnicas das normas citadas no item 5.2, foram:

- Estufa;
- Cápsulas metálicas e de porcelana;
- Espátula de lâmina flexível;
- Balanças que permitam pesar nominalmente 10 kg e 200 g, com resoluções de 1 g e 0,01 g;
- Provetas de vidro com diversas graduações;
- Peneiras de 19 mm e 4,8 mm;
- Aparelho de Casagrande;
- Cinzel;
- Placa de vidro com superfície esmerilhada;
- Gabarito cilíndrico com 3 mm de diâmetro;
- Cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor);
- Soquete grande;
- Prensa para determinação do CBR

5.4 Ensaio

5.4.1 Preparo das amostras

Após a coleta, o solo foi exposto e seco ao ar livre. Posteriormente, foi realizado o destorroamento do material e o peneiramento utilizando a peneira de malha 4,8mm, conforme apresentado nas Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Destorroamento do solo



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 14 - Solo após Peneiramento



Fonte: Autoria própria (2021)

Após os procedimentos descritos anteriormente, o material foi dividido nas quantidades necessárias para a realização de cada ensaio, sempre seguindo as instruções da NBR 6457/2016.

5.4.2 Caracterização do solo

Foram efetuados os ensaios necessários à classificação do solo segundo a TRB (Transportation Research Board), sendo eles os ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

5.4.2.1 Granulometria

Para este ensaio foram separadas 100 gramas do material previamente preparado, que foi passado pelas peneiras de N° 10 (2,0 mm), N° 40 (0,42 mm) e N° 200 (0,074 mm). Após isso, pesou-se o material retido em cada peneira e anotou-se as quantidades permitindo determinar as quantidades passantes, em porcentagem. Nesta fase, por uma questão de tempo, recorreu-se apenas à etapa de peneiramento necessária para a realização da classificação TRB, dispensando-se a análise granulométrica por sedimentação e o peneiramento nas demais peneiras da série normal.

5.4.2.2 Limite de Liquidez

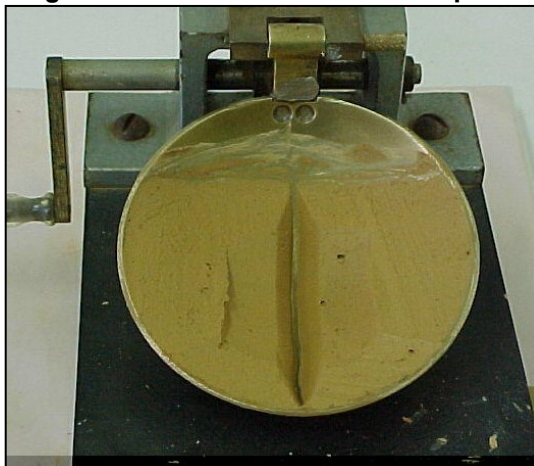
Para a determinação do Limite de Liquidez, foram seguidas as instruções da NBR 6459/2016. Utilizou-se uma porção do solo passante na peneira N° 40 (0,42 mm), acrescentou-se água aos poucos e misturou-se com uma espátula até a formação de uma pasta homogênea. A amostra homogeneizada foi transferida para a concha do aparelho de Casagrande onde foi feita uma ranhura no centro. Girou-se a manivela do aparelho até o fechamento da ranhura anotando-se o número de giros, ou seja, o número de golpes necessários para o fechamento da ranhura. O procedimento foi realizado cinco vezes com amostras contendo diferentes quantidades de água. Ao final de cada ensaio retirou-se uma porção de amostra para determinação dos teores de umidade. As Figuras 15 e 16 mostram, respectivamente, o aparelho de Casagrande e um ensaio finalizado.

Figura 15 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 16 - Ensaio de Limite de Liquidez

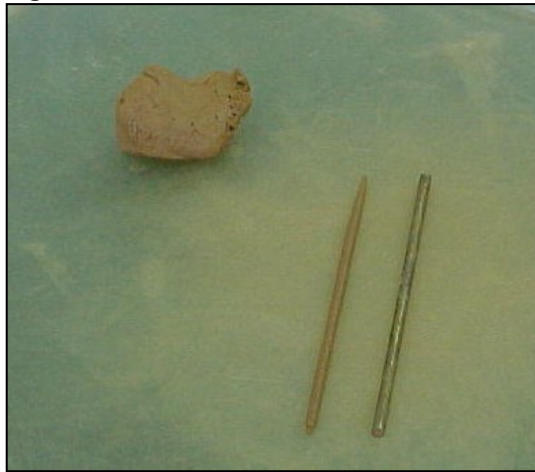


Fonte: Autoria própria (2021)

5.4.2.3 Limite de Plasticidade

O procedimento de ensaio seguiu a NBR 7180/2016. Moldou-se uma pequena esfera do solo úmido que foi rodada sobre uma placa de vidro esmerilhada até que atingisse as dimensões de um gabarito cilíndrico padronizado e que ocorresse o aparecimento de fissuras. Após atender as duas condições descritas, o ensaio foi finalizado e determinou-se o teor de umidade da amostra. Este ensaio foi repetido 5 vezes. A Figura 17 apresenta um ensaio finalizado.

Figura 4 - Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autoria própria (2021)

5.4.3 Ensaio de Compactação

Para o ensaio de compactação, utilizou-se a norma NBR 7182/2016. Preparou-se cinco amostras de solo, com diferentes quantidades de água e para cada uma delas determinou-se o teor de umidade. Realizou-se a montagem de um CP (Corpo de Prova) em cilindros pequenos, para cada amostra, conforme as especificações da referida norma. Foi separada uma amostra do material antes da homogeneização com água, para se obter a umidade em que o solo se encontrava no momento da realização do ensaio.

Para este solo, estabeleceu-se que a quantidade de água acrescentada em cada CP iria variar em 2%, portanto adicionou-se as quantidades de 6%, 8%, 10%, 12% e 14% do peso total da respectiva amostra para cada CP.

A moldagem dos CPs foi realizada em 3 camadas, utilizando soquete grande de acordo com a norma e aplicando-se 21 golpes por camada, para se atingir a Energia de Compactação Intermediária. Após a compactação das 3 camadas, retirou-

se o excesso do material e pesou-se cada CP, para a determinação da massa específica aparente seca de cada ponto. A Figura 18 mostra a aplicação dos golpes durante a moldagem do CP.

Figura 5 - Aplicação de golpes no ensaio de compactação



Fonte: Autoria própria (2021)

5.4.4 Ensaio de CBR

Os ensaios foram realizados segundo a NBR9895/2016 para o solo sem o aditivo e com a adição do estabilizante EMC Squared em diferentes quantidades para analisar-se a atuação do mesmo sobre o comportamento do solo quando submetido ao ensaio de CBR.

Primeiramente foi preparada a solução do aditivo, que necessitou ser diluído na ordem de 5% em água, portanto, para cada 1 litro de água, foi adicionado 50 mililitros do aditivo. A seguir, foram separadas doze amostras do solo, divididas em 4 grupos. O primeiro grupo foi ensaiado sem o acréscimo do aditivo, e para os demais acrescentou-se a solução anteriormente preparada nas dosagens de 1%, 2% e 3% respectivamente. Para cada grupo foram compostas 3 amostras, uma com a umidade ótima, uma um ponto abaixo e outra um ponto acima da umidade ótima. Com o teor de umidade e o peso de cada amostra determinados, definiu-se a quantidade a ser

adicionada da solução em cada amostra e a quantidade de água restante para se alcançar o teor de umidade desejado.

Após preparadas as 12 amostras de solo, os CPs foram moldados seguindo as instruções da NBR 9895/2016, realizando-se a compactação do material em 5 camadas, aplicando-se 26 golpes por camada, para atingir-se a energia Proctor correspondente à Intermediária.

Após moldagem e completo o processo de cura ao ar livre do material estabilizado com o aditivo, ou seja, 12 dias segundo recomendação do fabricante, os CPs foram encaminhados para o tanque de imersão onde permaneceram durante quatro dias totalmente imersos. Posteriormente, foram retirados e descansaram por um período de 15 minutos para a retirada do excesso de água, antes de serem encaminhados para a prensa do CBR.

As Figuras 19 e 20 ilustram procedimentos de ensaio de CBR, onde inicialmente o material encontra-se imerso em água e depois levado à prensa de CBR.

Figura 6 - CP no tanque de imersão



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 20 - Prensa do CBR



Fonte: Autoria própria (2021)

6 RESULTADOS

6.1 Classificação do Solo

Seguindo os procedimentos e normas citadas no item 5.2, foram obtidos os valores do Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e a Granulometria do solo estudado, conforme apresentado a seguir.

6.1.1 Limite de Liquidez

Os resultados dos ensaios de Limite de Liquidez são apresentados na Tabela 2

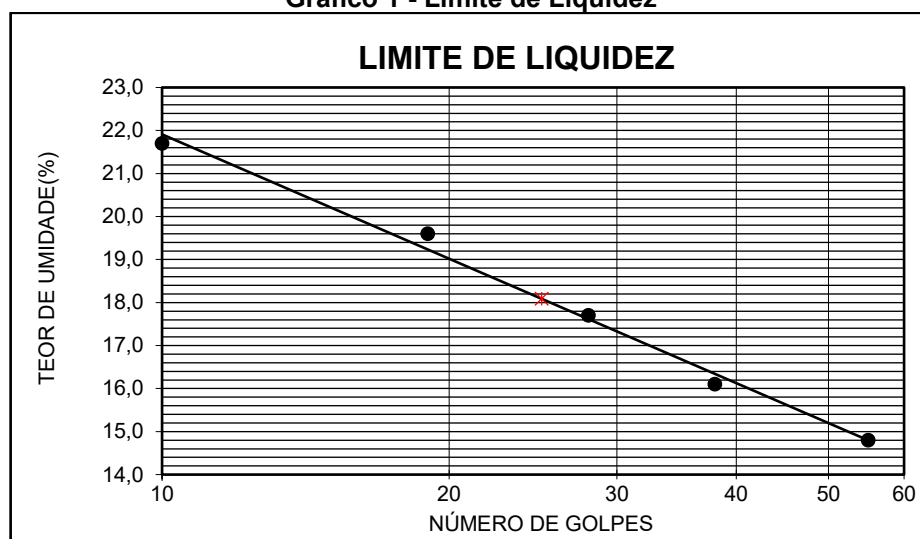
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de Limite de Liquidez

Descrição	Amostras				
	1	2	3	4	5
Nº da Cápsula					
Cápsula + Solo Úmido (g)	27,10	33,55	32,11	30,90	30,12
Cápsula + Solo Seco (g)	24,90	30,38	28,80	27,67	26,65
Massa da Água (g)	2,20	3,17	3,31	3,23	3,47
Massa da Cápsula (g)	10,02	10,70	10,05	11,18	10,65
Massa do Solo Seco (g)	14,88	19,68	18,75	16,49	16,00
Teor de Umidade (%)	14,80	16,10	17,70	19,60	21,70
Nº de Golpes	55	38	28	19	10

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos da Tabela 2, foi elaborado o Gráfico 1 para a determinação do teor de umidade correspondente a 25 golpes, e com isso obteve-se o valor do Limite de Liquidez igual a 18%, indicando que para esse teor de umidade o solo passa a apresentar um comportamento líquido.

Gráfico 1 - Limite de Liquidez



Fonte: Autoria própria (2021)

6.1.2 Limite de Plasticidade

Os resultados dos ensaios de Limite de Plasticidade (LP) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos Ensaio de Limite de Plasticidade

Descrição	Amostras				
	1	2	3	4	5
Nº da Cápsula					
Cápsula + Solo Úmido (g)	10,84	12,11	11,00	11,44	11,65
Cápsula + Solo Seco (g)	10,55	11,87	10,80	11,10	11,29
Massa da Água (g)	0,29	0,24	0,20	0,34	0,36
Massa da Cápsula (g)	8,52	9,91	8,97	8,74	8,83
Massa do Solo Seco (g)	2,03	1,96	1,83	2,36	2,46
Teor de Umidade (%)	14,3	12,2	10,9	14,4	14,6
Valor aceito?	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a determinação do LP do solo analisado, utilizou-se os valores das amostras número 1, 4 e 5, obtendo-se o valor de 14,4%, arredondando para o número inteiro mais próximo de 14%. A média calculada foi aceita, uma vez que 3 dos 5 valores obtidos não apresentou uma diferença de 5% da respectiva média destes valores. Assim, o resultado revela que no ponto de 14% de teor de umidade, o solo deixa o estado semissólido e passa a apresentar comportamento plástico.

6.1.3 Índice de Plasticidade

A partir da diferença entre os valores de LL e LP foi determinado o valor do Índice de Plasticidade. Assim, o valor do IP para o solo estudado corresponde à 4%.

6.1.4 Granulometria

A Tabela 4 apresenta os valores dos ensaios de granulometria.

Tabela 4 - Valores do Ensaio de Granulometria

Peneira	Massa Retida (g)	Massa Passando (g)	% Passando Acumulada
Nº 10	0,00	100,00	100,0
Nº 40	4,90	94,57	95,1
Nº 200	53,80	40,77	41,0

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos resultados encontrados, nota-se que se trata de um solo muito fino, e que suas partículas são menores do que 2,0 mm, uma vez que o material passa completamente pela peneira de N° 10.

6.1.5 Classificação TRB

Através dos resultados dos ensaios de granulometria, LL, LP e IP foi possível realizar a classificação do solo pela TRB, com o auxílio do quadro ilustrado na Figura 4. Desta forma, o solo foi classificado como A-4, que representa um solo siltoso. Segundo a classificação TRB, este material revela comportamento sofrível a mal para um subleito, o que corrobora com o estudo apresentado por Silva et al. (2015), onde o solo analisado pelos referidos autores, também classificado como A-4, apresentou um CBR de 8,35%, não sendo admissível para utilização em camadas de base ou sub-base.

6.2 Ensaio de Compactação

A Tabela 5 mostra os resultados dos ensaios de compactação.

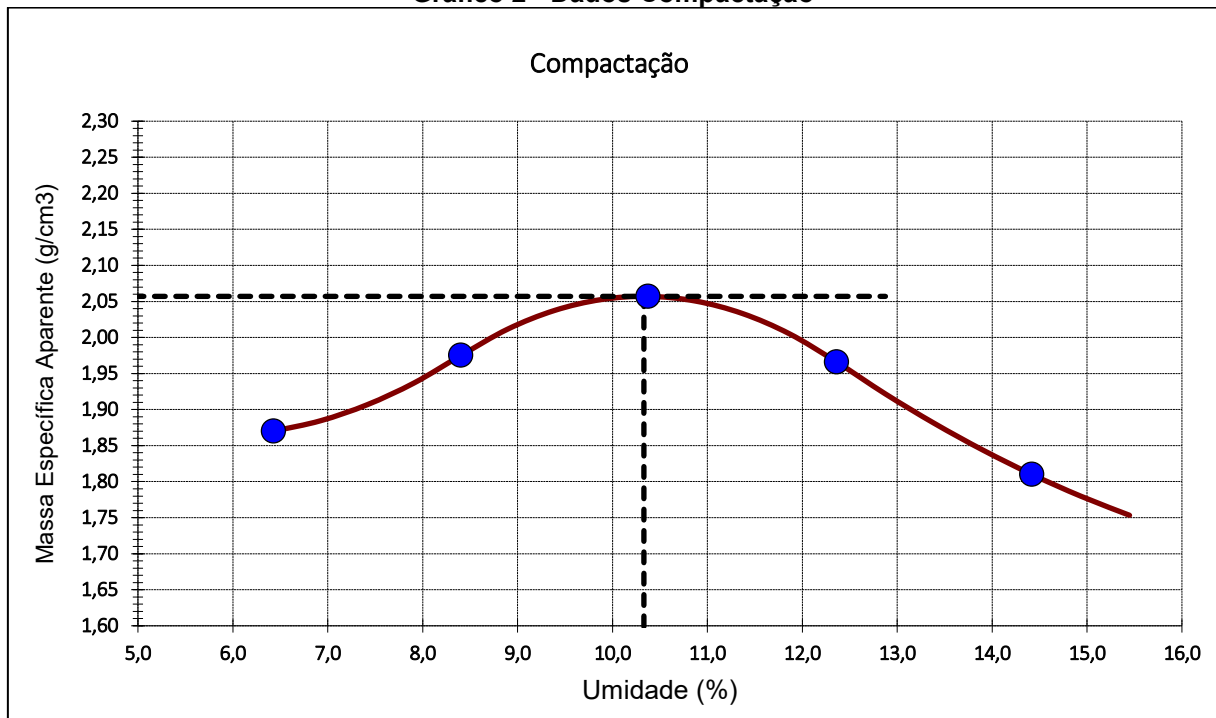
Tabela 5 - Resultados dos Ensaio de Compactação

DESCRIÇÃO	AMOSTRAS				
	1	2	3	4	5
N° da Cápsula	1	2	3	4	5
Amostra Úmida + Tara (g)	200	200	200	200	200
Amostra Seca + Tara (g)	189,38	186,42	183,44	180,8	177,89
Água (g)	10,62	13,58	16,56	19,20	22,11
Tara da Cápsula (g)	24,22	24,82	23,84	25,48	24,55
Amostra Seca (g)	165,16	161,60	159,60	155,32	153,34
Umidade (%)	6,4	8,4	10,4	12,4	14,4
COMPACTAÇÃO					
N° DO CILINDRO	1	2	3	4	5
Solo Úmido + Cilindro (g)	4420	4560	4610	4680	4500
Cilindro (g)	2450	2440	2362	2471	2450
Solo Úmido (g)	1970	2120	2248	2209	2050
Volume do Cilindro (cm³)	990	990	990	1000	990
Massa específica aparente (g/cm³)	1,990	2,141	2,271	2,209	2,071
Massa específica aparente seca (g/cm³)	1,868	1,975	2,059	1,966	1,808

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 5 foi elaborado o Gráfico 2, onde o eixo abscissas representa o teor de umidade de cada amostra, e o eixo das ordenadas representa a massa específica aparente seca correspondente.

Gráfico 2 - Dados Compactação



Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme o Gráfico 2, o valor encontrado para a umidade ótima do solo foi de 10,3% e a massa específica aparente seca máxima correspondente foi de 2,057 g/cm³, indicando que, nesta umidade o solo apresenta a maior densidade possível quando compactado na energia intermediária.

6.3 Ensaio de CBR

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de CBR realizados para o solo sem e com o emprego do aditivo nas porcentagens de 1, 2 e 3% de solução respectivamente.

Tabela 6 - Resultados dos Ensaios de CBR

Dosagem do aditivo	Teor de Umidade	CBR
Sem Aditivo	8,3%	5,94%
	10,3%	10,39%
	12,3%	6,03%
1% da solução	8,3%	7,14%
	10,3%	12,06%
	12,3%	6,77%
2% da solução	8,3%	8,25%
	10,3%	14,75%
	12,3%	7,98%
3% da solução	8,3%	6,77%
	10,3%	11,13%
	12,3%	6,40%

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando a referida tabela, verifica-se que houve um acréscimo nos valores de CBR com o emprego do aditivo, porém o ganho de resistência ocorreu para a adição de até 2% da solução onde o valor de CBR aumentou de 10,39% para 14,75%, ou seja, o incremento na resistência foi de 41,96%. Ainda avaliando a Tabela 6, nota-se que a partir de 2% de solução, o valor do Índice de Suporte Califórnia decresce de 14,75 para 11,13%, ou seja, há uma diminuição do CBR em 3,62%, o que equivale a uma perda de resistência equivalente a 24,54%. Este resultado revela que, para o solo estudado, a adição do estabilizante químico não deve ser superior a 2%, pois a partir deste teor ocorre decréscimo de CBR.

Quanto aos valores de expansão, nenhuma amostra ensaiada ultrapassou o valor de 0,20%, enquadrando-se dentro dos limites estabelecidos em norma para utilização do solo em subleito e demais camadas de pavimentos quando há a utilização de solo como material de construção.

Ao confrontar os resultados obtidos nos ensaios de CBR e expansão com os requisitos mínimos a serem atendidos pelos materiais para utilização nas diferentes camadas dos pavimentos (Tabela 1), verifica-se que o solo analisado, mesmo com adição do estabilizante químico não apresenta condições para ser utilizado como material de sub-base ou base. Todavia, o aumento do valor do CBR, causado pela adição do estabilizante químico, mostra que o mesmo pode ser empregado na camada de reforço do subleito, uma vez que o requisito para este é que possua expansão máxima de 1% e CBR mínimo maior que o CBR do subleito.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que este trabalho alcançou os objetivos propostos.

Foi constatado que o solo estudado, classificado como um A-4, trata-se de um material muito fino e com comportamento pouco plástico, conforme resultados dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade.

Desta forma, este tipo de solo não é indicado para a utilização nas camadas de base e sub-base de pavimentos, uma vez que ao realizar apenas a estabilização mecânica, mesmo empregando a energia intermediária, o material em sua umidade ótima alcançou o índice de suporte igual a 10,39%, sendo insuficiente para o emprego nas referidas camadas. Assim, o mesmo pode ser utilizado apenas na camada de reforço do sub-leito, caso o sub-leito apresente um índice inferior. Verificou-se que o solo apresentou baixa expansão atendendo aos requisitos das normas do DNIT.

Contudo, a utilização do estabilizante químico na dosagem adequada, trouxe um aumento de 41,96% na resistência do solo estudado uma vez que o CBR passou de 10,39% para 14,75%. Este resultado revelou que apesar de ainda não atingir valores suficientes para utilização em camadas de sub-base e base, o solo ainda pode ser utilizado em outras áreas da construção civil, como camadas de aterro.

Também vale a pena ressaltar a necessidade de estudos de dosagem para verificação do melhor teor de aditivo ser empregado para determinado tipo de solo uma vez que, para o solo estudado, a concentração do aditivo superior a 2% revelou declínio em sua resistência.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, I. S.; FERREIRA, E. A.; SEVALHO, E. S. Uso de enzimas para estabilização de solos. **Revista Interscientia**, v. 7, n. 1, p. 102-114, jan./jun. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo — Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7217**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo — Índice de suporte Califórnia (ISC) — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. . **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 f.
- BRAZETTI, R; CASAGRANDE, M. D. T; SILVA, B. H. A. **Enzima para estabilização de solos: uma suspeita fundamentada**. *In*: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 19, Cuiabá, 2013.
- BRITO, L. C; PARANHOS, H.S. **Estabilização de solos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. ed. 6, a. 2, v. 01. pp 425-438, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959
- DAS, B. M. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo, Thomson Learning, 2007, 560 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR – 179. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. Publicação IPR – 700. Rio de Janeiro: DNIT, 2017. 321 p.
- FIROOZI, A. A.; OLGUN, C. G.; FIROOZI, A. A.; BAGHINI, M. S. Fundamentals of soil stabilization. *In*: **International Journal of Geo-Engineering**, v. 8, n. 1, p. 26,

2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>. Acesso em: 24 nov. 2019.

FILHO, J. M. M.; ROCHA, E. G. A. **Estudo comparativo entre pavimentos flexível e rígido na pavimentação rodoviária**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. ed. 6, a. 3, v. 02, pp. 146-163, Junho de 2018. ISSN:2448-0959

LIMITES de Atterberg. 2015. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Limites_de_Atterberg acesso em 19 nov. 2019.

MALANCONI, M. **Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para uso como camada de pavimento urbano**. 2013. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da Disciplina: Pavimentação**. 2006. Notas de Aula. Departamento de Transportes e Geotecnia, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Versão de 2006.

PAIXÃO, M. P; CORDEIRO, C. C. C; CORREIA, M. C. N. Pavimentos semirrígidos: Prevenção e tratamento da reflexão de trincas. *In: SEPA: Seminário Estudantil de Produção Acadêmica*, v. 16, **UNIFACS**, 2017. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/issue/view/258/showToc>. Acesso em: 11 nov. 2019.

PAVIMENTO Semi-rígido [201-?] Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html> acesso em 11 nov. 2019.

RODA – Curiosidades. [201-?] Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/curiosidades/roda-curiosidades>. Acesso em: 06 nov. 2019.

RODRIGUES, J. L. A. **Conceção de pavimentos rígidos**. 2011. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal 2011.

SILVA, D. M.; SILVA, A. J.; QUEIROZ, F. O. Análise de estabilização química de solo siltoso A-4 de Porto Velho – RO. **E&S – Engineering and Science**, v. 2, ed. 4, p. 13-22, out. 2015.

VIANA, D. **Entenda o que é um pavimento asfáltico**. 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/pavimento-asfaltico/> Acesso em: 20 set. 2019.