

CENTRO UNIVERSITÁRIO CENTRAL PAULISTA
UNICEP

ALESSANDRO RODRIGUES DE SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE SUBLEITO FERROVIÁRIO: UM
ESTUDO DE CASO**

SÃO CARLOS

2020

ALESSANDRO RODRIGUES DE SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE SUBLEITO FERROVIÁRIO: UM
ESTUDO DE CASO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário Central
Paulista- UNICEP, como requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.**

**Orientadora: Profa. Dra. Juliana Maria
Manieri Varandas**

SÃO CARLOS

2020

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, em especial a minha esposa Juliene e aos meus filhos Gustavo e Alice pela paciência e compreensão das muitas vezes que não pude dar a devida atenção a eles e que sempre me motivaram a seguir em frente com meus objetivos, aos meus pais, Jesus e Fátima pelo incentivo e confiança de acreditarem que seria capaz de superar todas as dificuldades impostas pela vida, aos meus colegas de sala por toda ajuda nos momentos difíceis do curso, aos meus sogros Marcos e Ivone pela ajuda, motivação e confiança que depositaram em mim, a minha cunhada Bruna pela paciência, boa vontade e disposição em me orientar e ajudar todas as vezes que precisei sem hesitar ou medir esforços, e a todos de minha família que contribuíram direta ou indiretamente para que esse sonho se realizasse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Aos meus Pais, Jesus e Fátima e minha irmã Jaqueline, pela confiança no meu progresso e pelo apoio emocional.

A minha esposa Juliene que acima de tudo é minha grande amiga, sempre presente nos momentos difíceis com uma palavra de incentivo.

A minha orientadora Juliana Maria Manieri Varandas que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou me orientar nesta pesquisa. As suas valiosas indicações fizeram toda diferença.

Ao meu professor Simar Amorim pela grande atenção dispensada que se tornou essencial para que o projeto fosse concluído.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Civil pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

“A única fonte de conhecimento é a experiência. ”

Albert Einstein

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Justificativa.....	11
1.2 Objetivo.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 História das ferrovias no Brasil	12
2.2 Infraestrutura ferroviária	14
2.3 Terraplenagem	15
2.4 Drenagem.....	16
2.5 Subleito.....	17
2.6 Superestrutura.....	17
2.6.1 Trilho.....	17
2.6.2 Dormente.....	17
2.6.3 Lastro.....	18
2.7 Caracterização geotécnica do subleito ferroviário	19
2.8 Sistemas de classificação do solo.....	19
2.9 Índices de consistência do solo (limites de Atterberg)	20
2.10 Mapa geológico	21
2.11 Ensaio de compactação.....	22
2.12 Análise granulométrica do solo	24
2.13 Ensaio de Limite de Liquidez (LL)	25

2.14 Limite de Plasticidade (LP)	25
2.15 Índice de Suporte Califórnia (CBR)	26
2.16 Índice de Plasticidade (IP)	27
2.17 Limite de Contração	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Estudo de caso: Estrada de ferro Carajás	28
4. RESULTADOS	29
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa Ferroviário Brasileiro	11
Figura 2: Tipos de dormentes	18
Figura 3: Esboço mostrando os principais aspectos geomorfológicos do estado de São Paulo	21
Figura 4: Ensaio de Proctor	23
Figura 5: Curva utilizada para leitura de valores obtidos do ensaio	23
Figura 6: Ensaio de Granulometria	24
Figura 7: Ensaio de limite de Liquidez	25
Figura 8: Ensaio de Plasticidade	26
Figura 9: Ensaio (CBR)	27
Figura 10: Localização da Estrada de Ferro Carajás e dos pontos de realização de ensaios de investigação geotécnica	28
Figura 11: Estimativa de estrutura de pavimento e das espessuras das camadas com base no índice de penetração por golpe (DCPI, mm/golpe) determinado pelo ensaio DCP executado no trecho, Km 216,180	30
Figura 12: Seção típica do pavimento ferroviário	31
Figura 13: (A) Curva granulométrica das amostras e (B) Carta de plasticidade de Casagrande	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: data de inauguração de ferrovias	13
Tabela 2: data de inauguração de ferrovias	13
Tabela 3: Rampas Máximas Admissíveis	16

Tabela 4: Resultados de ensaio DCP e estimativa do CBR a partir das correlações teóricas	31
Tabela 5: Índices físicos das amostras: composição granulométrica, limites de consistência e classificações SUCS e TRB Parâmetros granulométricos das amostras	32
Tabela 6: Parâmetros granulométricos das amostras Classificação das amostras segundo Método MCT Expedido (Método das pastilhas)	33
Tabela 7: Classificação das amostras segundo Método MCT Expedido (Método das pastilhas) CBR e expansão do solo do subleito, AM 02Km 216,180	34
Tabela 8: CBR e expansão do solo do subleito, AM 02Km 216,180	34

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar os diferentes tipos de solo de subleito do estudo de caso do trecho da Estrada de Ferro Carajás situado no município de Pindaré- Mirim estado do Maranhão. Assim usando os métodos de ensaio de compactação para definição de viabilidade em futuras duplicações da malha ferroviária e reformas que possam surgir não só no trecho em questão mas também em toda sua extensão que atualmente é de 892 Km, ligando os estados do Maranhão e Pará, onde foram feitas análises das amostras e através das mesmas comparado os parâmetros aceitáveis de segurança para o uso do solo onde pretende-se duplicar a malha ferroviária. Os ensaios para classificação usados foram os métodos para definir a compactação, granulometria, limites de plasticidade e elasticidade do solo. A partir disso foi possível concluir que trata-se de um solo tropical, que não está dentro dos parâmetros regidos pelas normas de segurança, assim tornando-os inviáveis para futuras duplicação e construção de malhas ferroviárias no trecho em questão. Mesmo que o solo do trecho analisado tenha sido classificado como solo inviável para construção, os solos tropicais são a melhor opção para infraestrutura ferroviária contribuindo para um menor impacto ao meio ambiente.

Palavras-chave: Caracterização, subleito e ferrovias.

1. INTRODUÇÃO

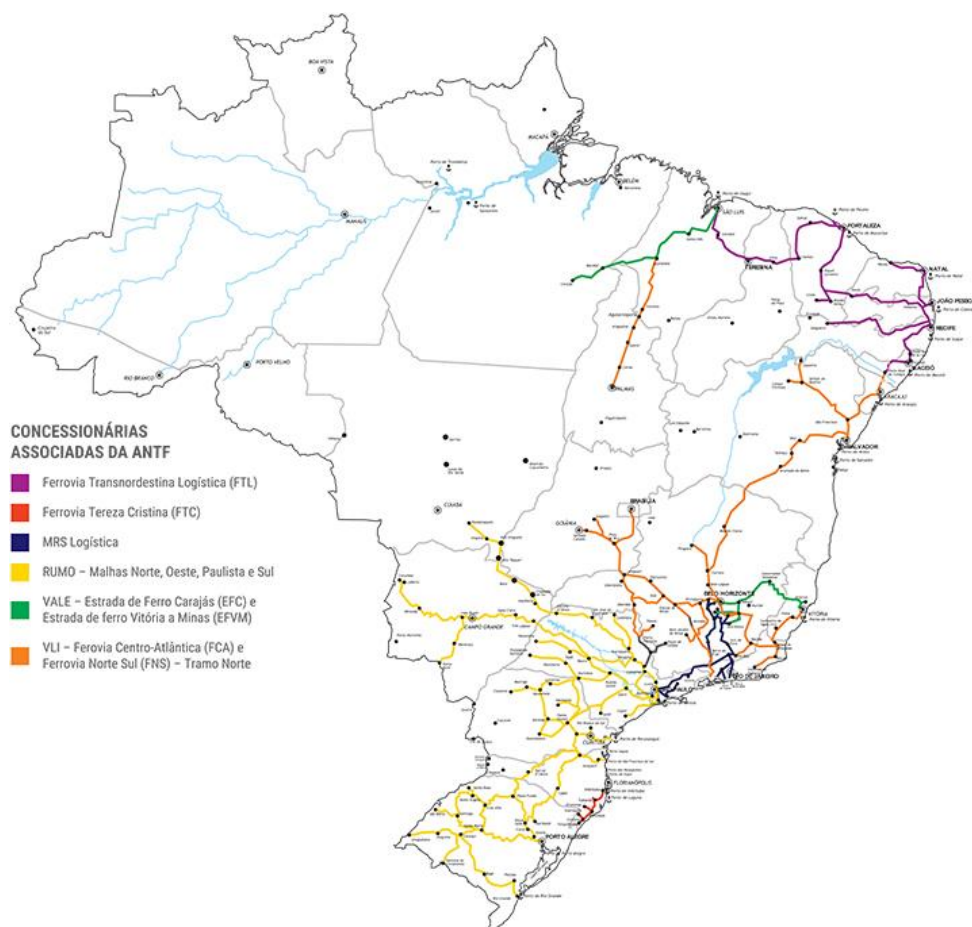
O setor de transporte ferroviário no país tem se destacado passando por um crescimento considerável, alavancando a economia e criando assim forte expectativa em investimentos na construção de novas malhas ferroviárias. Houve um aumento de cerca de 195% na produção passando de 137 bilhões para 407 bilhões de TKU (Tonelada Quilômetro Útil- Unidade equivalente ao transporte de uma tonelada de carga à distância de um quilômetro) (GUZANSHE, 2019).

Diante de tanta demanda o número de empregos diretos e indiretos teve um aumento de 127% passando de 16.662 no ano de 1997 para 37 mil em 2019 (GUZANSHE, 2019).

Mesmo com esse crescimento, as ferrovias brasileiras ainda estão longe do seu verdadeiro potencial, principalmente para um país com território amplo e com grande capacidade de expansão como o Brasil, como demonstra a Figura 1. Com novos projetos de ferrovias em construção estima-se um grande desenvolvimento nos estados brasileiros, em especial no nordeste com a transnordestina, podendo elevar as exportações brasileiras, gerar novos empregos diretos e minimizar a emissão de gases que provocam o efeito estufa.

Uma das vantagens do transporte ferroviário é a capacidade em transportar cargas pesadas, quando comparado ao transporte rodoviário. Por isso para a construção de ferrovias é extremamente importante a verificação da capacidade de carga do subleito. Portanto, conhecimento geotécnico e mecânico dos solos que compõem o subleito é a primeira iniciativa para um projeto de manutenção e restauração do pavimento ferroviário.

Figura 1: Mapa Ferroviário Brasileiro



Fonte: <https://www.brasilferroviario.com.br/historia-da-ferrovia-no-brasil/>. Acessado em Maio de 2020

1.1 Justificativa

Diante da crescente demanda pelo transporte ferroviário e pelas cargas pesadas que são submetidas as camadas de pavimento da malha ferroviária, é necessário uma caracterização do solo e da sua capacidade de suporte, para melhor compreensão das dificuldades referentes a construção de novas ferrovias e também manutenção adequada, melhorando os processos que contribuem na formação de subleitos ferroviários mais resistentes do que os já existentes com menor impacto possível nas camadas do solo, em menor tempo, visando maior durabilidade e praticidade na possível manutenção por ação do tempo, contribuindo com a sustentabilidade do meio ambiente.

1.2 Objetivo

Apresentar os sistemas de classificação do solo e as investigações geotécnicas utilizadas no setor da construção, manutenção e restauração de ferrovias quanto ao comportamento e a capacidade de suporte do solo, através de um estudo de caso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História das ferrovias no Brasil

Evaristo (2020) relata que no Brasil a experiência de implantar a primeira malha férrea deu-se por volta do ano de 1835 quando o governador da época, Diogo Antônio Feijó criou uma lei que permitia aos interessados construir e explorar as ferrovias que ligassem a Capital do Rio de Janeiro até o estado de Minas Gerais. A iniciativa era boa, porém não tiveram sucesso nessa empreitada, pois faltou pretendentes para se arriscar a tal fato. Mais tarde no ano de 1836 houve nova tentativa do governo em incentivar a criação de novas linhas férreas que ligassem a cidade de São Paulo a Curitiba, Santos e Sorocaba, porém novamente sem êxito.

Somente em 1840 o inglês Thomas Cockrane obteve a concessão para construir uma linha férrea que ligasse a capital do Rio de Janeiro à São Paulo e por sua vez tentou obter novos investidores ingleses. Surgiu nova frustração pois nenhum deles queria se arriscar em um desconhecido empreendimento.

Por volta de 1852, Irineu Evangelista de Souza (Barão de Mauá), por iniciativa própria, deu início à construção de uma linha férrea que ligou Porto de Mauá à Raiz da Serra (Petrópolis), e por sua persistência em 1854 foi inaugurada a primeira estrada de ferro no Brasil tendo sua extensão total de 14,5 Km (em bitola de 1,63m) a qual foi ser percorrida em um tempo de 23 minutos a uma velocidade média de 38 Km/h pela locomotiva tracionada “BARONEZA” batizada com este nome em homenagem à mulher do Barão de Mauá. Após esse feito foram ainda construídas outras malhas ferroviárias em bitola de 1,60m.

Tabela 1: data de inauguração de ferrovias.

Ferrovia	Data da Inauguração
Recife ao São Francisco	08/02/1858
D. Pedro II	29/03/1858
Bahia ao São Francisco	28/06/1860
Santos a Jundiaí	16/02/1867
Companhia Paulista	11/08/1872

Fonte: <https://www.brasilerroviario.com.br/historia-da-ferrovia-no-brasil/>. Acessado em Maio de 2020.

No ano de 1855 teve início outro grande projeto liderado por Barão de Mauá, a Estrada de Ferro D. Pedro II, inaugurada em 29 de março de 1858, com extensão inicial de 47,21 Km ligando a estação da Corte a Queimados no estado do Rio de Janeiro. Este grande projeto ganhou destaque como uma das obras de engenharia ferroviária mais importantes do país pelo feito de ser construída a 412 metros de altura na Serra do Mar, com colossais cortes, aterros e perfurações de túneis, onde se destaca o túnel grande com sua extensão de 2.236 metros, o maior perfurado na época de 1864.

O grande desenvolvimento ferroviário deu-se em 1867 quando foi inaugurado o trecho da ferrovia Rio – São Paulo, que posteriormente unificou com a ferrovia Estrada de Ferro D. Pedro II em 1877 e posteriormente outros novos trechos.

Tabela 2: data de inauguração de ferrovias.

Ferrovia	Data da Inauguração
Companhia Mogiana	03/05/1875
Companhia Sorocabana	10/07/1875
Central da Bahia	02/02/1876
Santo Amaro	02/12/1880
Porto Alegre a Novo Hamburgo	14/04/1884
Dona Tereza Cristina	04/09/1884
Corcovado	09/10/1884
Paranaguá a Curitiba	02/02/1885

Fonte:

<https://www.brasilerroviario.com.br/historia-da-ferrovia-no-brasil/>. Acessado em Maio de 2020.

A expansão de linha férrea no país foi tanta que por volta de 1884 existiam cerca de 6.116 Km de ferrovias prontas e mais 1.650 Km em processo de construção,

atingindo em 1888 a marca de 9200Km em construção além dos outros 9.000km em fase de projeto e execução, atingindo 29.000 km de extensão em 1922 conduzidas por 2.000 locomotivas e 30.000 vagões em tráfego.

Mais tarde, na década de 1930, foi implantado o sistema de locomotivas elétricas sendo parcialmente trocadas em alguns trechos, chegando a substituição total da tração a vapor pela diesel-elétrica em 1939, quando ocorreu um intervalo de desenvolvimento causada pela Segunda Guerra Mundial, retornando no ano de 1950.

Na década de 1942 foi criada a companhia Vale do Rio Doce que passou a tomar conta da Ferrovia que liga Minas a Vitória (construída em 1903), onde a mesma foi toda modernizada pela companhia no intuito de ter melhor estrutura férrea para suportar os esforços dos pesados trens que se deslocavam com grandes quantidades de carga de minério de ferro extraídos das jazidas, sendo transportado de Itabira (MG) até o porto de Vitória (ES). O país atingiu seu recorde em 1960, com 37.200 Km de linhas férreas, permanecendo nessa condição por décadas, vindo a desativar vários trechos considerados inviáveis financeiramente, chegando a 30.550 km de linhas férreas no ano 1979.

Atualmente, o país possui 30.600 Km de ferrovias, com projeto de expansão para construção de novas malhas férreas em 2019, que estima alcançar 1.537km de extensão ao final de sua construção prevista para 2020, ligando o Porto Nacional (TO) até Estrela D'Oeste (SP) nomeada como ferrovia Norte/Sul.

2.2 Infraestrutura ferroviária

A infraestrutura ferroviária é simplesmente o coração da linha férrea, sendo ela constituída por um ajuntamento de obras, técnicas e normas que, combinadas no devido padrão a ser seguido, dão o suporte estrutural à malha ferroviária. Dentro deste ajuntamento existe uma combinação de regras a serem executadas por etapas resultando em uma perfeita estabilização do terreno onde possa ser montada a estrutura da malha férrea e posteriormente ser feita uma futura manutenção ou até mesmo pequenos reparos que ocorrem pelo desgaste em função do tempo ou por ter atingido seu limite durabilidade. Esse ajuntamento

de processos é constituído por três principais etapas que são: Terraplanagem, Drenagem do Solo e Subleito.

2.3 Terraplanagem

Este processo é muito importante para o seguimento das próximas etapas, onde a terraplanagem é praticamente a retirada de parte do solo em um determinado local, deixando o terreno adequado para a construção, para isso podem ser feitos alguns processos, como tirar material fazendo cortes e também usar esse mesmo material para aterrar outros lugares que necessitam ser preenchidos, até que o terreno desejado tenha suas devidas cotas que foram calculadas em um projeto no qual faz parte. Nas obras de grande porte também são necessários rolos de compressão para uma melhor compactação da área diminuindo o tempo de serviço e aumentando a qualidade de compactação no terreno que está sendo preparado.

Após esta etapa o solo estará adequado e estável para que seja montado todo o restante da estrutura férrea e tenha a capacidade de suportar o peso e esforços solicitados à uma malha ferroviária para transporte de cargas pesadas.

Durante o processo de terraplanagem, as rampas são utilizadas para vencer obstáculos diferenciais ao longo de uma ferrovia, sendo adotados valores de referência de acordo com sua classe e funções técnicas operacionais necessárias para a execução da ferrovia.

Tabela 3: Rampas máximas admissíveis

	Classe de projeto	Relevo		
		Plano	Ondulado	Montanhoso
Rodovia	Classe 0	3%	4%	5%
	Classe I	3%	4,5%	6%
	Classe II	3%	5%	7%
	Classe III	4%	6%	8%
	Classe IV-A	4%	6%	8%
	Classe IV-B	6%	8%	10%
Ferrovia	-	0,6%	0,9%	1,3%

Fonte: MENEZES ALBUQUERQUE, 2011.

2.4 Drenagem

Processo posterior a terraplanagem, com a função de evitar que solo que foi corrigido fique encharcado, podendo acarretar futuras erosões, desmoronamento, grande acúmulo de água causando infiltrações no subleito e ocasionando o comprometimento de todo projeto parcial ou até mesmo total.

Existem dois tipos de drenagem: a superficial e a profunda. A primeira tem como objetivo reter toda água que escoar pela superfície do terreno devido a grandes quantidades de precipitação, através da aplicação de valas revestidas, canaletas moldadas, guias de sarjetas ou também tubos de concreto. Por sua vez a drenagem profunda consiste em reter o excesso de água contido no interior do solo decorrente de lençóis freáticos, ocasionando muitos problemas como deslizamento de terra em futuros projetos já desenvolvidos.

2.5 Subleito

É denominado subleito a fundação do terreno formado por camadas de solo, seja ele natural ou modificado, acrescentando outros materiais onde pretende-se construir a ferrovia. Essa camada é responsável por receber a superestrutura da malha férrea, tendo a finalidade de receber os esforços impostos pelo lastro e sublastro.

2.6 Superestrutura

A superestrutura se define por quatro etapas que formam a base estrutural final de uma ferrovia, que são elas: trilho, dormente, lastro e sublastro.

2.6.1 Trilho

São vigas de aço em paralelo que tem a função de manter-se alinhados e nivelados sobre os dormentes, afim de preservar o rolamento das rodas de uma locomotiva ou vagões.

2.6.2 Dormente

Os dormentes são usualmente fabricados em vigas de madeira, em formato retangular onde os trilhos são apoiados em posição transversal, na qual tem a finalidade de suportar todos os esforços impostos pelos trilhos e distribuir sobre o lastro. Existem também dormentes feitos de concreto, porém não são muito eficientes. Atualmente os dormentes de madeira vêm sendo substituídos por dormentes de aço devido a sua resistência, durabilidade e também por questões ambientais tornando o processo muito mais sustentável.

Figura 2: Tipos de dormentes



Legenda (da esquerda para direita): madeira; concreto; aço e plástico ou polímero.

Fonte: <https://docplayer.com.br/46257432-Sistemas-ferroviarios-8-via-permanente-v-dormentes-e-fixacoes-undb-disciplina-sistemas-ferroviarios-professor-cristiano-jorge.html>. Acesso em Dezembro de 2020.

2.6.3 Lastro

Sua composição é constituída por elementos granulares, como por exemplo a brita. É colocado entre o dormente e o sublastro e também a cerca de 30 cm de cada lado formando uma ombreira do lastro, assim recebendo os impactos do dormente e distribuindo de forma igual pelo sublastro. A brita é o material mais utilizado pelas companhias ferroviárias, pois não é condutora de energia elétrica, facilitando a montagem de sistemas energizados.

Os aspectos mais desejáveis do lastro são:

- Resistência;
- Durabilidade;
- Boa estabilidade;
- Boa drenabilidade;
- Limpeza e facilidade de manutenção.

Esses aspectos dependem do tipo de material a ser transportado, como:

- Material a ser transportado;
- Velocidade do Trem;
- Peso do Veículo;
- Geometria da Via;
- Giro do Material Rodante (trafego).

2.7 Caracterização geotécnica do subleito ferroviária

Os estudos Geotécnicos e Geológicos são ferramentas que a Engenharia ferroviária tem a sua disposição para realização de projetos. Essas duas ciências fornecem dados para que possam ser feitos serviços de terraplanagem e fundações de grandes obras, evitando assim, desastres nas construções, como queda de barreiras, instabilidade de taludes e também instabilidade da fundação de aterros.

2.8 Sistemas de classificação do solo

De acordo com Freitas, no território brasileiro podemos encontrar diversas classificações de solos que tem como origem a decomposição de rochas, decorrentes de processos ligados à temperatura (calor) e também processos erosivos provenientes da ação da chuva, vento e seres vivos como bactérias e fungos. Dentre essas classificações, as principais são: Terra Roxa, Massapé, Salmorão, e Aluviais.

- Terra Roxa: é um tipo de solo muito fértil, de cor avermelhada, podendo ser encontrado principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato grosso do Sul e São Paulo.
- Massapé: tipo de solo encontrado nas regiões do litoral nordestino e se constitui através da decomposição de rochas com formações minerais de gnaisses de cor escura, calcários e filitos.

- Salmorão: solo que se encontra nas regiões Sul, Sudeste, e Centro Oeste do Brasil, sua formação é constituída da fragmentação de rochas graníticas e gnaisses.

- Aluviais: tipo de solo constituído através da sedimentação em áreas de várzea ou vales, sendo possível encontra-lo em várias regiões do Brasil.

A metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) trata-se de um procedimento para classificação dos solos tropicais. Assim com embasamento na metodologia MCT fundamentada em determinar propriedades de corpo de prova compactado de dimensões miniatura (50 mm de diâmetro e altura de 130 mm).

2.9 Índices de consistência do solo (limites de Atterberg)

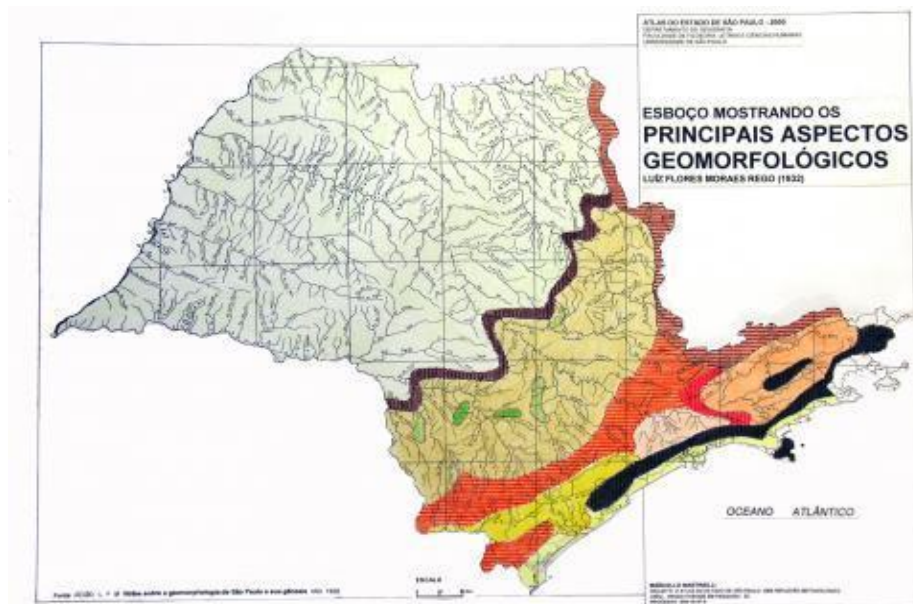
Segundo a NBR7180, os limites de Atterberg ou limites de consistência são métodos de avaliação da natureza de solos, criado por Albert Atterberg. Através de uma série de testes e ensaios é possível definir o Limite de liquidez, o Limite de plasticidade e o Limite de contração de um solo. Apesar da sua natureza fundamentalmente empírica, estes valores são de grande importância em aplicações de Mecânica dos solos.

Os solos podem apresentar diferentes tipos de consistência a depender da quantidade de água que possuam. Essa consistência pode ser sólida, semi-sólida, plástica ou a de um fluido denso. Segundo (UFBA) existem valores de teor de umidade que separam um estado de consistência do outro empiricamente e são utilizados nos diversos sistemas de classificação do solo, direcionando uma série de propriedades dos solos finos, como do tipo argilo-mineral, sua atividade, estrutura, superfície específica, etc. O teor de umidade que separa o estado plástico do estado líquido é chamado de limite de liquidez (WL), sendo o valor de umidade abaixo do qual o solo tem comportamento plástico. A umidade que delimita o estado semi-sólido do plástico é conhecido como limite de plasticidade (Wp). Abaixo desse valor o solo começará a fissurar ao tentar ser moldado.

2.10 Mapa geológico

Segundo Suporte Sondagens e Investigações (2017), o mapeamento Geológico se faz necessário para entender os tipos de rochas presentes em determinada área, as estruturas geológicas, os depósitos superficiais e as feições topográficas e geomorfológicas. Este método consiste em apresentar cartograficamente informações geológicas-geotécnicas (Figura 2) para planejamento e uso do território e também para fins de projetos, construção e manutenção de obras de Engenharia. Além dos dados inerentes à natureza de um mapa geológico, o mapa geotécnico inclui dados relativos à natureza, às características e propriedades do solo e subsolo de um determinado local para avaliar seu comportamento, bem como prever o comportamento e os prováveis problemas geológico-geotécnicos ocasionados pela utilização em projetos de Engenharia Ferroviária.

Figura 2: Esboço mostrando os principais aspectos geomorfológicos do estado de São Paulo





Fonte <<https://journals.openedition.org/confins/6168?lang=pt> acessado em Junho de 2020.

2.11 Ensaio de compactação

Conhecido como Ensaio Normal de Proctor, o método foi desenvolvido pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933. O procedimento é utilizado para determinar a qualidade de aterros de solos compactados, sendo realizado através de uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, com aproximadamente 1.000 cm³, em 3 camadas sucessivas, sob a ação de 25 golpes de um soquete pesando 2,5 kg, caindo de 30,5 cm de altura.

Com os valores obtidos, traça-se a curva **ps x teor de umidade**, obtendo-se o ponto correspondente a **umidade ótima (hot)** e a **densidade máxima aparente seca (ps, max)** através da seguinte relação: $E=P.h.N.n/V$

Em que:

E = Energia específica de compactação, por unidade de volume;

P = Peso do soquete (kg);

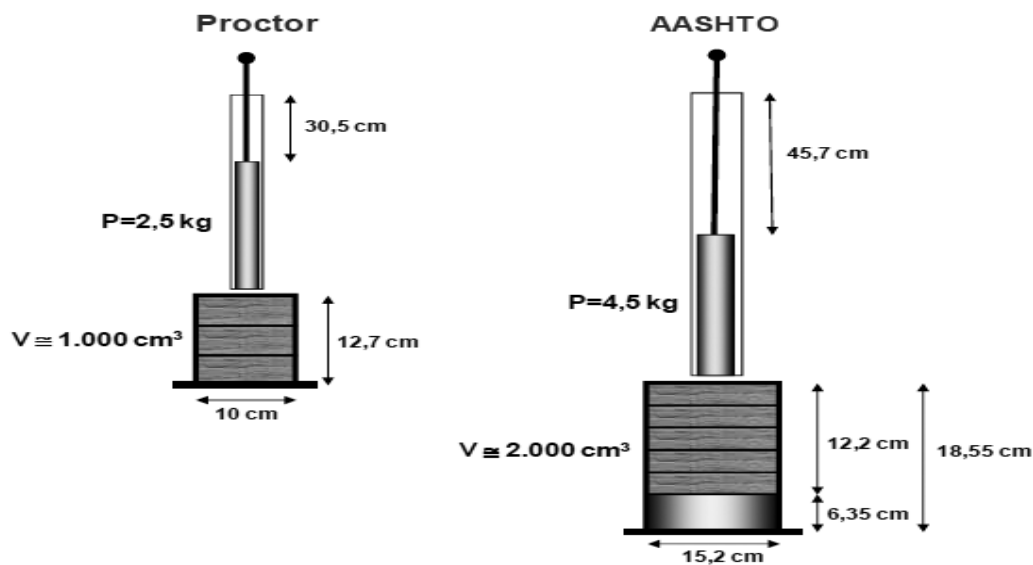
h = Altura de queda do soquete (cm);

N = Número de golpes por camada

n = Número de camadas;

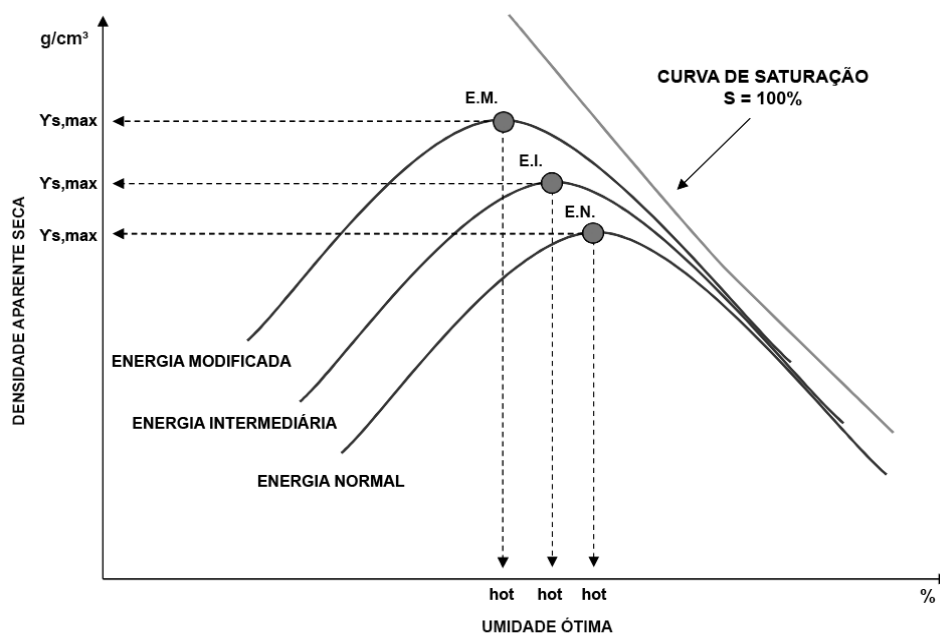
V = Volume do solo compactado (cm^3).

Figura 4: Ensaio de Proctor



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/>. Acessado em Junho de 2020.

Figura 5: Curva utilizada para leitura de valores obtidos do ensaio.



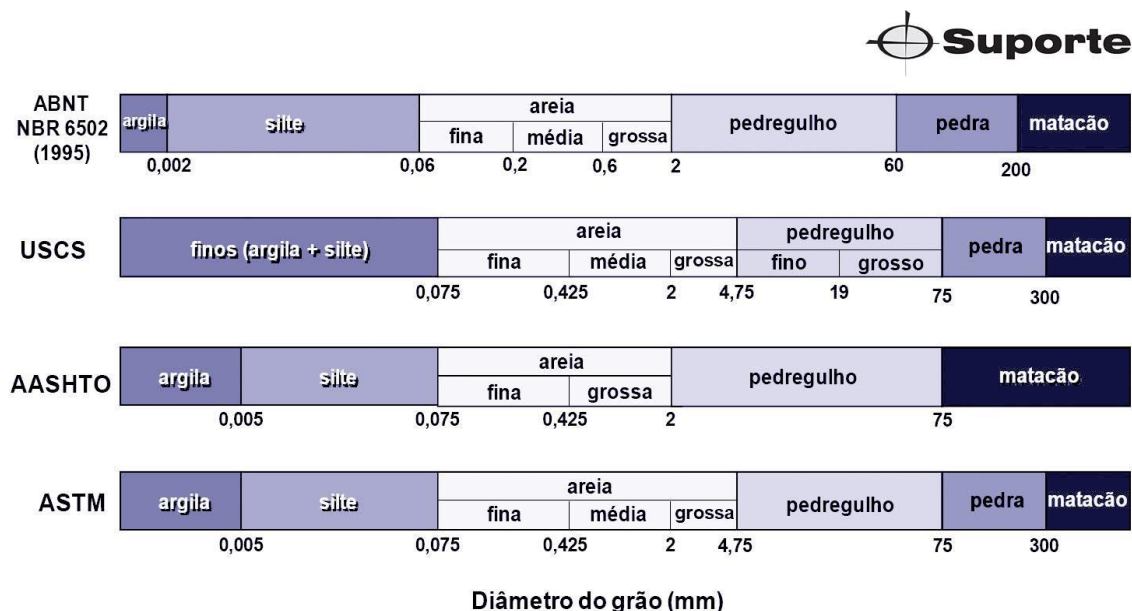
Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/>. Acessado em Junho de 2020.

2.12 Análise granulométrica do solo

A distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos, é feita pelo do processo de peneiramento por coleta de uma amostra, já para siltes e argilas se utiliza à sedimentação dos sólidos no meio líquido. Em solos, que contenham suas partículas na fração grossa (areia e pedregulho) ou na fração fina (silte e argila) se faz necessária a análise granulométrica completa (peneiramento e sedimentação).

O objetivo desta análise é caracterizar o solo em relação ao tamanho e a distribuição das partículas presentes na amostra (Figura 6), identificando as proporções em relação ao peso total da amostra. Este ensaio é necessário para a identificação do solo, pelos sistemas de classificação adotados na Engenharia de solos.

Figura 6: Ensaio de Granulometria.



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/> acessado em junho de 2020.

2.13 Ensaio de limite de liquidez (LL)

É determinado pelo teor de água existente no solo, onde ele passa de estado sólido para o estado líquido gradualmente. Este ensaio é feito por meio de um aparelho denominado Casa Grande (Figura 7), onde o teor de umidade do solo é determinado por 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas.

Figura 7: Ensaio de limite de Liquidez.



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/>. Acessado em Junho de 2020.

2.14 Limite de plasticidade (LP)

É determinado através do teor de umidade contido no solo, onde o mesmo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, assim perdendo sua capacidade de ser moldado. Este ensaio determina em qual ponto o solo começa a se quebrar em pequenos pedaços quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro (Figura 8), é com o menor teor de umidade em que o solo se encontra plasticamente.

Figura 8: Ensaio de Plasticidade.



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/>. Acessado em Junho de 2020.

2.15 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O ensaio de CBR (Figura 9) teve origem no departamento de estradas e rodagem da Califórnia (USA), com intuito de determinar a resistência dos solos. No Brasil ele é regido pela norma ABNT 9895 e é determinado pela relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um determinado solo e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão. Foi introduzido no Brasil em 1966 pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza, passando por adaptações às necessidades brasileiras. Relata seu inventor que foi desenvolvido para avaliar o potencial de ruptura do subleito (afundamentos plásticos), sendo este o principal defeito causado nas rodovias da Califórnia, local de sua invenção.

Nesse teste é colocado uma sobrecarga sobre a superfície do solo compactado dentro do cilindro de (4,536 kg) e tem como função simular o peso das camadas sobre o subleito. O pistão de aplicação de carga possui área de contato de

aproximadamente 4,96 cm de diâmetro e penetra no solo (corpo-de-prova) com velocidade de aplicação da carga de 1,27 mm/m.

Figura 9: Ensaio (CBR).



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao-compactacao-de-solos/201/>> acessado em junho de 2020.

2.16 Índice de plasticidade (IP)

É obtido através da diferença numérica entre o Limite de liquidez (LL) e o Limite de plasticidade (LP), ou seja:

$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

2.17 Limite de contração

Por sua vez é determinado pela interpretação junto com a análise granulométrica do material. São capazes de identificar a amostra de solo conforme metodologia

HRB-AASHTO (Highway Research Board- American Association of State Highway and Transportation Officials), sistema de classificação bastante usado no Brasil e também o sistema de classificação mais conhecido mundialmente.

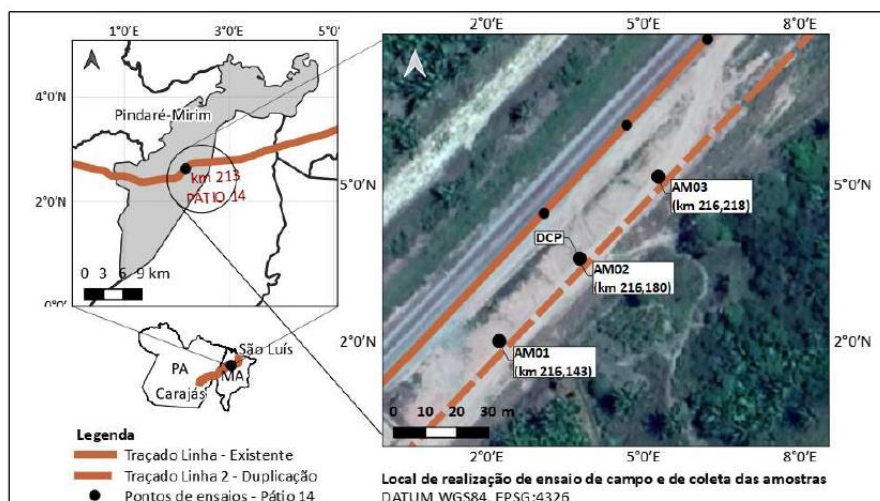
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estudo de caso: Estrada de ferro Carajás

Foram realizadas pesquisas, em bases de dados online de artigos científicos, buscando informações que auxiliassem no entendimento e análise dos sistemas de caracterização dos solos quanto ao comportamento e capacidade de suporte utilizado nas obras de ferrovias.

Concluída a pesquisa bibliográfica foi selecionado o trabalho de Campos et al. (2019), como base para apresentação de resultados e discussão deste trabalho. Campos et al. (2019) realizaram uma caracterização geotécnica dos solos de subleito ferroviário, com investigações de campo e laboratoriais de um trecho da Estrada de Ferro Carajás (EFC). A ferrovia é formada por 54 pátios, que compõem a extensão da via, e o trecho escolhido para a caracterização foi o Pátio 14 (km 211,908 ao km 216,400) que percorre o município de Pindaré-Mirim (Figura 10) no estado do Maranhão, mesorregião Oeste do Maranhão, microrregião de Pindaré.

Figura 10: Localização da Estrada de Ferro Carajás e dos pontos de realização de ensaios de investigação geotécnica.



Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

A caracterização do trecho da Estrada de Ferro de Carajás (EFC) (Campos et al. (2019) consistiu inicialmente em sondagens e inspeção visual em campo, avaliando de forma contínua o perfil de resistência das camadas do solo em seu estado natural ou em materiais compactados, em concordância com a norma ASTM D 6951-18 (ASTM, 2018).

Após a sondagem foram coletadas amostras do subleito para caracterização em laboratório para realização dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação, e também limite de liquidez e de plasticidade segundo DNER-ME 122/94. Para classificação do solo através da metodologia MCT foram realizados ensaios de mini MCT e perda de massa por imersão, afim de se obter o verdadeiro potencial de erodibilidade sob ação da água quando compactado e parcialmente confinado.

O último ensaio foi o de CBR com objetivo de identificar qual à capacidade real de expansão da área em estudo.

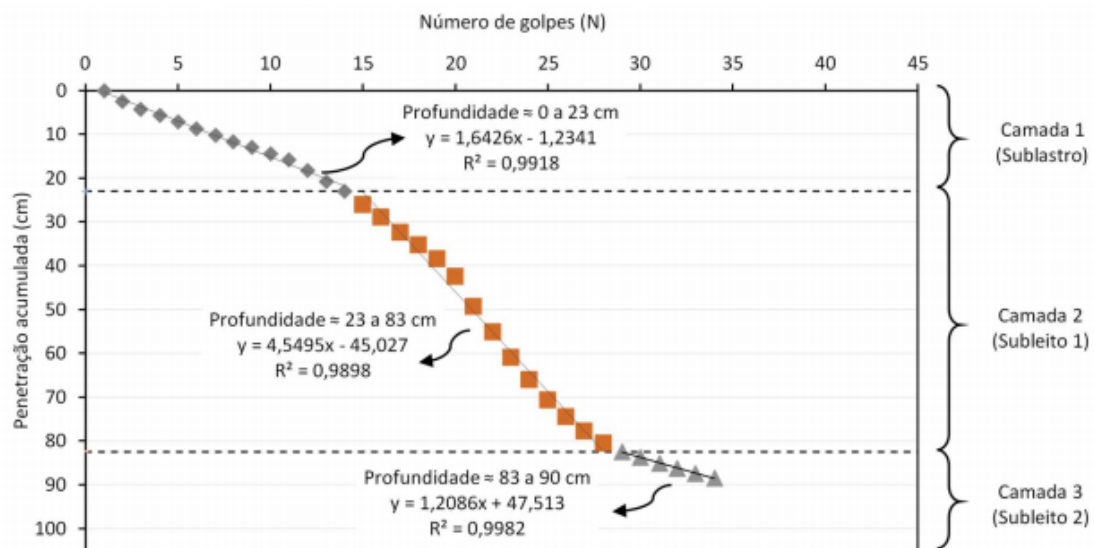
4. RESULTADOS

Na figura 11 estão os resultados do ensaio de DCP, plotados em um gráfico de dispersão (Penetração acumulada x Número de Golpes) que relaciona os valores obtidos da penetração do solo in situ com as camadas e sua resistência aproximada.

Os pontos sequenciais que apresentaram valores semelhantes de penetração acumulada por golpe foram agrupados por trechos, e foram definidas equações ajustadas com altos valores de R^2 , o que indica o comportamento claramente linear para os trechos selecionados. A linearização dos valores aponta para a sucessão de pontos com resistência aproximada (aqui representada pela penetração acumulada por golpe, DN) que caracterizam seguimentos constituídos pelo mesmo material geotécnico, ou seja, as camadas do pavimento.

Segundo a NBR 6459, pode-se dividir a estrutura do pavimento analisado em três seções: de 0 a 23 cm (camada 1, Sublastro); de 23 a 83 cm (camada 2, Subleito 1) e de 83 a 90 cm (camada 3, Subleito 2) (Figura 10). Destacam-se como limitações do ensaio de DCP a execução em 1,00 m inicial do pavimento – limitada pela altura do pistão – e a interrupção do teste se atingida uma camada impenetrável. Sendo assim, a estimativa da espessura da camada do Subleito 2 apresentada no gráfico (figura 11) tange às limitações do ensaio, e pode apresentar a dimensão variável em campo.

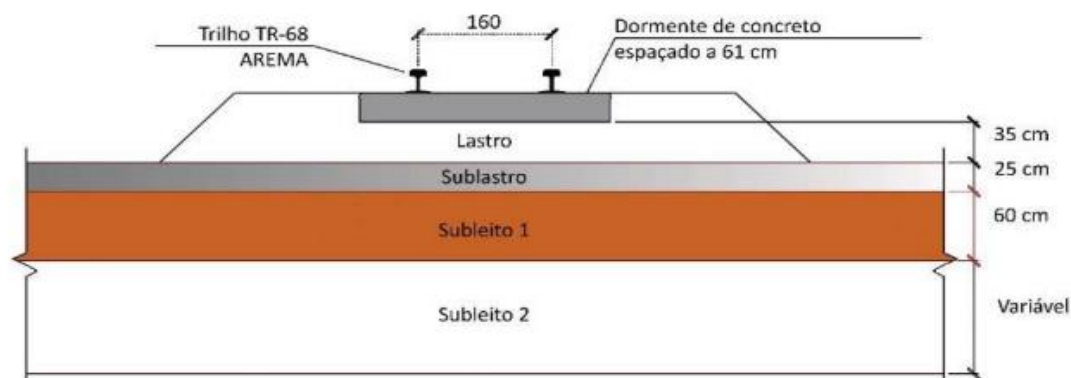
Figura 11: Estimativa de estrutura de pavimento e das espessuras das camadas com base no índice de penetração por golpe (DCPI, mm/golpe) determinado pelo ensaio DCP executado no trecho, Km 216,180.



Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Segundo Campos, et al. (2019), as camadas estimadas pelo ensaio DCP tem variabilidade se analisada na secção longitudinal e devido a sua variedade foram feitos ajustes para valores determinados arredondando esses mesmo para valores acima com múltiplos de 5 cm, assim como apresentado no gráfico da figura 10. O pavimento do trecho em questão foi caracterizado com as seguintes camadas; Lastro com camada de 35cm de espessura, sublastro com camada de 25 cm de espessura, subleito 1 com camada de 60 cm de espessura e subleito 2 que constitui a camada natural plana da via.

Figura 12: Seção típica do pavimento ferroviário.



Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457> acessado em Junho de 2020.

Como apontado na tabela 4 ficou determinado para as camadas 1 e 3 o DN de 16,43 e 12,09 mm/golpe, tendo seus valores corrigidos para CBR de 13 e 19% para o sublastro, e valores entre 18 e 27% para subleito. De acordo com amostras tem-se uma maior resistência na camada de subleito 2, sendo ela capaz de resistir a maiores esforços solicitados pela via, determinando assim que as camadas que sofreram maior penetração acumulada por golpe têm a menor resistência, sendo a camada do subleito1 que foi determinado o DN de 45,50 mm/golpe e seu CBR menor que 10% sendo considerado um valor muito inferior ao recomendado.

Tabela 4: Resultados de ensaio DCP e estimativa do CBR a partir das correlações teóricas.

Equação	Camada 1 (Sublastro)		Camada 2 (Subleito 1)		Camada 3 (Subleito 2)	
	DN (mm/Golpe)	CBR (%)	DN (mm/Golpe)	CBR (%)	DN (mm/Golpe)	CBR (%)
$\log CBR = 2,550 - 1,140 \log DN$ (Webster et al., 1992)	16,43	13	45,50	4	12,09	18
$\log CBR = 2,563 - 1,050 \log DN$ (Angelone et al., 1991)		19		7		27
$CBR = 512,64 \cdot DN^{-1,25}$ (Cardoso et al., 1998)		16		4		23
Média		16		5		23
Coef. de Variação (CV)	-	19%	-	35%	-	20%

Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Segundo Balbo (2007), são necessários a coleta de três amostras, sendo as 3 da mesma camada do pavimento, para realizar ensaios de análise granulométrica por peneiramento e por sedimentação, obtendo valores limite de consistência e densidade real dos grãos.

De acordo com Campos (2019), foram coletadas amostras em campo para execução dos procedimentos e ensaios geotécnicos, inclusive o ensaio de CBR, que nos permite comparar valores através de ensaio de laboratório, como os expressos na tabela 5.

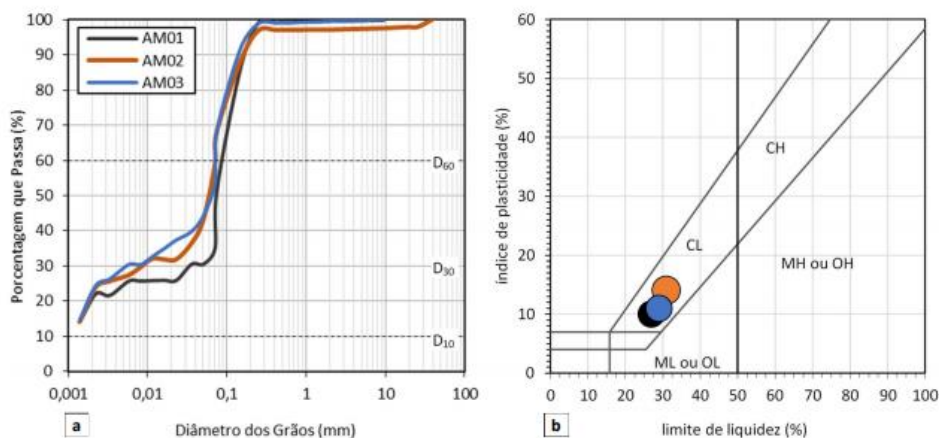
Tabela 5: Índices físicos das amostras: composição granulométrica, limites de consistência e classificações SUCS e TRB.

Amostra	km	Fração Granulométrica (%)				Limites de consistência (%)			Densidade Real dos Grãos (g/cm ³)
		Pedregulho	Areia	Silte	Argila	LL	LP	IP	
AM01	216,143	0,3	55,1	24,6	20,0	27,0	17,0	10,0	2,613
AM02	216,180	2,8	44,0	31,9	21,4	31,0	17,0	14,0	2,625
AM03	216,218	0,4	58,2	19,2	22,2	29,0	18,0	11,0	2,643
Média		1,2	52,4	25,2	21,2	29,0	17,3	11,7	
Coef. de Variação (CV)		118,0%	14,3%	25,3%	5,3%	6,9%	3,3%	17,8%	

Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

A porcentagem por fração de pedregulho apresentou valores baixos entre 0.3 e 2,8%, tendo valores dominantes de areia e finos (silte e argila) com grande variabilidade granulométrica de material, estando acima dos 10%, com variações de 44,0 a 58,0 % para areia (CV=14,3%), e 44,0 a 53,3% para finos e silte (CV=25,3%), e CV=5,3% para argila. Segundo Campos et al. (2019), o processo utilizado para obter tais resultados foi o ensaio de sedimentação com defloculante, a porção fina foi decomposta em frações de silte e argila tornando-se possível a distinção e a caracterização do comportamento do solo, de acordo com a prevalência siltosa ou argilosa, e a composição das curvas granulométricas do material, como mostrado na figura 13.

Figura 13: (A) Curva granulométrica das amostras e (B) Carta de plasticidade de Casagrande.



Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Observando os dados obtidos, nota-se que as amostras AM1 e AM3 apresentam pequenas variações em relação suas frações, já na amostra AM2 contém uma porcentagem de pedregulho um pouco maior em relação as demais, com predominância de materiais finos como a de areia com prevalência de silte, o que pode justificar alto índice de plasticidade desta amostra.

Existem outros métodos que podemos utilizar para formar novos parâmetros de curvatura granulométrica como por exemplo o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc) (tabela 6). O coeficiente de uniformidade expressa a relação entre o diâmetro dos grãos passantes, 60% e 10% dos agregados (D60/D10), tendo como finalidade avaliar uniformidade de distribuição granulométrica de amostras, assim como o coeficiente de curvatura representado pelo $D_{30}^2 / (D_{60} \cdot D_{10})$, que nos indica a distribuição das curvas, permitindo identificar descontinuidades dentro do conjunto. Através destas amostras notamos que as 3 têm granulometria não uniforme ($Cu > 15$) ou seja com grãos de tamanhos variados em sua composição.

O coeficiente de curvatura nos mostra que as amostras AM2 e AM3 contém distribuição granulométrica bem graduada ($1 < Cc < 3$), diferente da amostra AM1, que têm descontinuidade em sua curvatura com valor de 63% do peso de amostra e suas partículas possuem tamanhos diversos entre 0.07 mm e 0.25mm, o que as tornam uma composição mal graduada com Cc de = 24.5.

Tabela 6: Parâmetros granulométricos das amostras.

Amostra	#200 (%)	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ ¹ (mm)	Cu	Cc	Classificação	
							SUCS	TRB
AM01	51,6	0,085	0,050	0,001	70,8	24,5	CL	A-2-4
AM02	68,2	0,072	0,008	0,001	59,7	0,8	CL	A-4
AM03	68,3	0,072	0,008	0,001	60,0	0,7	CL	A-4

Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Em concordância com a classificação TRB, a amostra AM2 é classificada como solo granular A-2-4 pela sua maior retenção na peneira de nº 200 sendo inferior a 35%, e as outras duas amostras AM3 e AM1 são classificadas como solos siltosos do tipo A-4. Já no sistema SUCS, todas as amostras têm classificação como argila de baixa plasticidade “CL”, ou amostras não plásticas, onde as amostras apontam para solos que tendem a apresentar valor como material de

fundação de mau a bom pelo grupo de solos SUCS, de acordo com Pastore e comportamento como subleito de sofrível a mau pelos grupos TRB, A-2-4 e A-4 (DNIT 2006).

Classificação para solos tropicais

As amostras coletadas foram submetidas ao ensaio de mini compactação tropical e perda de massa por imersão e após classificadas segundo a metodologia MCT. Os parâmetros obtidos na classificação MCT são apresentados na tabela 7. Segundo a classificação MCT, as amostras foram AM 01 e AM 03 foram classificadas como solo não-laterítico arenoso, NA', e amostra AM 02, como solo não-laterítico siltoso, NS'.

Tabela 7: Classificação das amostras segundo Método MCT Expedido (Método das pastilhas).

Amostra	c'	d'	e'	Pi (%)	Classificação MCT	Classificação Método Expedido
AM01	0,85	43,96	1,45	261,20	NA'	NA'
AM02	1,37	43,96	1,52	306,20	NS'	NS'
AM03	0,81	19,14	1,58	291,60	NA'	NA'

Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Dariva aponta que o comportamento não-laterítico no desempenho mecânico do solo é alvo de críticas de diferentes resultados para solos não-lateríticos do tipo NA' e NS', quanto maior a parcela de finos, o comportamento mecânico do solo tende a ser afetado consideravelmente, podendo resultar em solos com baixa capacidade de suporte.

CBR e expansão

O ensaio de CBR permitiu a avaliação da capacidade de suporte do trecho e a verificação da expansibilidade do solo. Os resultados dos ensaios (tabela 8) foram expressos com os valores encontrados pelos modelos da literatura e com algumas limitações impostas pela ISF-207 (DNIT, 2015).

Tabela 8: CBR e expansão do solo do subleito, AM 02, Km 216,180.

Amostra	Km	Expansão (%)	% argila	CBR (%)
AM02	216,180	2,3	21	4,0
Limites da ISF-207 (DNIT, 2015)		< 2,0	< 35	> 10,0

Fonte: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

Analisando os resultados dos valores de ensaio de CBR, percebe-se que estes ficaram abaixo do mínimo exigido pelos parâmetros, para o uso deste material como camada de subleito, assim ficando os valores maiores do que o previsto em norma ($< 2\%$), o que torna-se um solo com moderados problemas de expansão. Para que o solo seja considerado um padrão aceitável é preciso que o material passante pela peneira #200 seja inferior à 35%, muito diferente das amostras que chegaram próximas dos 70%, valores estes fora da padronização da IF-207(DNIT 2015) referente a ensaios, o que torna as camadas deste tipo de solo inviabilizada para subleito.

Ao utilizar o CBR como avaliação da capacidade de carga do pavimento, associa-se aos critérios de ruptura do subleito, porém as condições em campo não devem ser admitidas para o pavimento, sendo necessário avaliar as camadas para que sejam solicitadas de forma predominante no regime elástico e plástico, limitando as deformações excessivas pela aplicação de cargas repetitivas, assim também deformação permanente ou ruptura por cisalhamento e a expansão volumétrica em excesso no caso de solos expansivos.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

De acordo com os ensaios, o solo tem sua classificação como argila de baixa plasticidade (SUCS), por mais que a fração de argila tenha se apresentado baixa na composição granulométrica do material. Na classificação TRB, a amostra AM 01 foi classificada como areia síltosa A-2-4 (por sua baixa porcentagem retida na peneira #200, que foi inferior à 35%) e as demais amostras como solo siltoso do tipo A-4. Em sequência, aplicou-se o método MCT para verificação do comportamento do solo laterítico, onde as amostras AM01 e AM03 tiveram suas classificações como solo não-laterítico arenoso, NA, e a amostra M02 classificada como solo não-laterítico siltoso, NS.

Os solos tropicais são a melhor opção para infraestrutura ferroviária, contribuindo para um menor impacto ao meio ambiente, reduzindo movimentações de terra na implantação de plataformas, reduzindo custos na locação de espaços e minimizando interferências na circulação dos trens.

Este trabalho teve como objetivo analisar os estudos do artigo e classificar os tipos de solos e suas características físicas e mecânicas, podendo auxiliar não só em novos projetos acadêmicos, mas também na construção de futuras malhas ferroviárias no país, tornando viável os custos na construção e melhora dos processos construtivos futuros, tornando-os mais eficazes para que fiquem próximos dos padrões aceitáveis com o máximo de segurança possível, aumentando o tempo de durabilidade, com baixa manutenção e maior resistência as condições climáticas e aos esforços exigidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo- Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13.

_____ **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

_____ **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1984. 9p.

_____ **NBR 6459**: Solo –Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 5p.

_____ **NBR 6508**: Massa específica real dos grãos. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

_____ **NBR 7180**: Solo –Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

_____ **NBR-7182**: Solo – Ensaio de Compactação, 1986b. 10p.

_____ **NBR 13600**: Solo –Determinação de do teor de matéria orgânica por queima a 440° C. Rio de Janeiro, 1996. 2p.

BARBOSA, N.P., GHAVAMI, K., 2007. **Terra Crua para Edificações**. In: G.C. Isaia. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007, vol 2.

BALBO, José Tadeu, **Pavimentação Asfáltica: Matérias, projetos e restauração**; São Paulo: Oficina de Textos ,2007.

CAMPOS, P. C. O.; SILVA, B. A.; MARQUES, M. E. S. **Caracterização geotécnica dos solos de subleito ferroviário: investigações de campo e laboratoriais**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.6, p.178-193, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0016>. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/3457>. Acessado em Junho de 2020.

CAPUTO, H.P., 1980. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., vol. 1, Rio de Janeiro, 219p.

CASTRO, GUILHERME BARBOSA DE. **Avaliação da influência das condições geotécnicas e climáticas no comportamento hidromecânico de um subleito ferroviário**.23 de Março de 2019.Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072019-090009/en.php>> Acessado em Junho de 2020.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR 719: **Manual de Pavimentação**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, 2006.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT ISF-207: **Estudos Geotécnicos**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2015.

EVARISTO, LUCAS. **História da ferrovia no Brasil**. Brasil Ferroviário. Disponível em: <https://www.brasilferroviario.com.br/historia-da-ferrovia-no-brasil/>. Acessado em Maio de 2020.

FREITAS, EDUARDO DE. **"Tipos de Solo do Brasil.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/tipos-solo-brasil.htm>. Acessado em 14 de Junho de 2020.

GUZANSHE, ALEXANDRE. **Crescimento do País passa por desenvolvimento das ferrovias de carga.** Correio Braziliense, Brasília, 12 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/correiodebate/desafios2019/>. Acessado em Março 2020.

MARTINELLI, MARCELLO« **Relevo do Estado de São Paulo,** Journals.openedition.org/confins 09 de Novembro 2018. Disponível em <https://journals.openedition.org/confins/6168?lang=pt>. Acessado em Junho de 2020.

MENEZES ALBUQUERQUE, S. Ferrovias: Aspectos Técnicos de Projeto. p. 49, 2011.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

SUPORTE SONDA GENS E INVESTIGAÇÕES. **Compactação de Solos - Ensaio Geotécnicos - História e o Conceito.** 23 de Janeiro de 2017. Disponivel em: <http://www.suportesolos.com.br/blog/>. Acessado em junho de 2020.

UFBA, ESCOLA POLITÉCNICA. **Laboratório de Geotecnia da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia** Disponível em <http://www.geotecnia.ufba.br/?vai=Extens%20de%20Laborat%20F3rio/Limites%20de%20Atterberg>. Acessado em junho de 2020.

