



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

WELLERSON YANN GUIMARÃES CASTRO RIBEIRO

ESTUDO DE UM SOLO COM A APLICAÇÃO DE REFORÇO DO SUBLEITO
UTILIZANDO A GEOGRELHA: Análise em Palmas, Tocantins.

Palmas – TO

2020

WELLERSON YANN GUIMARÃES CASTRO RIBEIRO
ESTUDO DE UM SOLO COM A APLICAÇÃO DE REFORÇO DO SUBLEITO
UTILIZANDO A GEOGRELHA: Análise em Palmas, Tocantins.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof. Me. Kênia Parente Lopes e Mendonça

WELLERSON YANN GUIMARÃES CASTRO RIBEIRO

ESTUDO DE UM SOLO COM A APLICAÇÃO DE REFORÇO DO SUBLEITO
UTILIZANDO A GEOGRELHA: Análise em Palmas, Tocantins.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof. Me. Kênia Parente Lopes e
Mendonça

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.e Kênia Parente Lopes e Mendonça

Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dra. Jacqueline Henrique

Avaliadora Externa

Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos

Avaliadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

AGRADECIMENTOS

Deus em toda sua soberania e misericórdia por me proporcionar uma conquista inigualável em minha vida, bem como a benção de ter uma família tão linda no decorrer dela.

A Laerte Ribeiro Lopes e Maria Aparecida Guimarães de Castro Ribeiro, meus pais, minha vida inteira fora do peito, meu exemplo de superação e de toda a determinação que eu já vi na vida, que com todo seu amor, dedicação, esforço, dureza, me auxiliaram em tudo que eu precisei no decorrer da minha vida acadêmica. Deus não foi bondoso, ele foi extraordinário em me trazer duas pessoas tão lindas para cuidarem de mim aqui na terra, gratidão eterna.

A Delson Coimbra de Castro (in memoriam), meu avô que sonhava na formatura desses netinhos dele e que em todo momento em minha vida se fez presente, Deus o permitiu ultrapassar esse plano para estar ao seu lado no céu. Essa conquista também é para você, vôzinho. A minha avó Irisneide Guimarães de Castro por ser essa mulher guerreira e que passou por todas essas dificuldades ansiosa por essa conquista.

Ao meu anjinho maior Melinda, minha sobrinha, que me trouxe uma dose de felicidade na minha vida que jamais pensei que iria sentir, te amo até a eternidade.

Aos meus irmãos Lucas, Yuri e Lanusse, que estiveram presente durante todos esses anos com apoio e desejando o sucesso. Saibam que serão meus orgulhos pra sempre, meus exemplos de determinação, de nunca desistir e correr atrás de seus sonhos. Não teria como ter irmãos melhores na minha vida, agradeço a Deus pelo privilégio que me deu por tê-los em minha vida. Amo vocês incondicionalmente.

A minha família em geral, meus cunhados Késia e Fernando. Késia por ser um exemplo de superação em sua vida, que Deus continue abençoando. Fernando por ser esse homem íntegro, cuidadoso e parceiro por me ajudar no meu financiamento.

A minha tia Mara Rúbia, pessoa que esteve presente em minha vida desde sempre, mas em especial no período da minha graduação. Uma mulher forte e que nunca desistiu de nada. Saiba que sempre estará em meu coração.

Aos meus professores de graduação, minha banca avaliadora, em especial minha orientadora Kênia Parente Lopes e Mendonça por todo apoio e compreensão comigo durante esse ano, apoio esse que jamais esquecerei, a paciência que teve por tudo que passei e confiança que daria tudo certo e no final conseguiria gerar resultados. Saiba que é uma profissional de se tirar o chapéu, sempre será minha referência.

Ao técnico de laboratório, Miller, por todo o conhecimento repassado, por toda a ajuda que foi prestada no decorrer deste trabalho. Deus continue abençoando.

Aos meus dois melhores amigos da faculdade, Ricardo Coelho e Rayane Carvalho.

Ricardo entrou na minha vida em Geoprocessamento, uma matéria quando nós ainda brincávamos um pouco pelos corredores da faculdade. Ricardo é a própria personificação do que é ser seguro e determinado no que faz, todos que o conhecem ou tem esse privilégio, sabem da pessoa inigualável que é. Madezinhos se remete a nós e em todos nossos rolês era assim: alegria, alegria e somente alegria. Meu irmãozinho que veio pra ficar eternamente em minha vida. Obrigado por todos os momentos desde que te conheci, pelas saídas para as válvulas de escape, válvulas estas no que tange a ser até ir pra um rolê até 4 da manhã 1 dia antes de prova. Por todos os momentos em que íamos estudar de dia e terminava de madrugada, acordando as 5 da manhã para revisar e ir para as provas. Que tua vida seja abençoada e que todos os teus sonhos sejam realizados, saiba que nada pra tu é muito difícil, só querer que já realiza. Nego, obrigado por tudo, estou contigo até debaixo d'água, não vai ter nada que acabe com o sentimento e significado da nossa amizade.

Rayane foi conhecida em Física 1, mas não ficamos amigos, mas a ironia do destino é tão grande que veio no pacote do Ricardo não muito tempo depois e está aqui de hoje para sempre. Rayane é aquela pessoa que tu de primeiro momento cumprimenta e não quer mais nem papo, só que, equivocadamente é

uma pessoa única e maravilhosa. Obrigado pelos momentos que estão guardados no mais profundo lugar do coração, todas as brigas, andanças, saidinhas para tomar café (mesmo eu odiando), tu ia tomar café e eu tomar uma água com gás com sabor. Rayane é sinônimo de cuidado e de amor, mas também é sinônimo de surtos, defesa e proteção no que tange defender seus amigos, comparada a uma leoa defendendo seus filhotes. Nunca esquecerei da tua singela e genuína ajuda comigo na mudança do meu apartamento, minha guerreirinha que esfregou chão com a mão junto comigo em cada cerâmica daquele lugar. Por todas as saídas no hot dog da tia, me fez engordar alguns kg, viu? Ficamos mais conhecidos do que a noite de Paris naquele lugar. Mo, vou te carregar no coração até não pertencermos mais a esse mundo, obrigado por tudo.

A Rafaella Valadares, Lucas Lucena, João Pedro Coimbra, Andressa Mathos e Victória Alencar, meus amigos de infância, que passaram por vários momentos felizes e difíceis ao meu lado e que me apoiaram nas minhas escolhas. Saibam que vocês são a representação da palavra amizade nos dias de hoje e que estarão comigo não importa onde. Amo vocês.

Rafaella, minha parceira desde que éramos miudinhos. Rafaella é o significado de segurança e responsabilidade, uma pessoa que não costuma meter os pés pelas mãos. Rafa, tu é uma pessoa iluminada e que sempre pega as dores dos seus amigos pra você. Amiga essa que não é só nos momentos felizes e de bebedeira, mas em tristes também. Obrigado por todo apoio quando eu perdi meu avô ano passado, se manteve perto e fiel. Nunca esquecerei o teu apoio quando meu anjinho se foi, não me deixou só mesmo que longe, sempre preocupada comigo e com minha família. Nossa amizade não é ouro não, pois ouro é muito pouco para o significado dela. Que tu seja sempre essa pessoa extraordinária que é, alegre, de bem com a vida, segura e companheira. Obrigado por me ajudar em um momento tão difícil pra mim no final da minha graduação que foi a perda do meu notebook, não medindo esforços me entregou o seu notebook para que eu pudesse finalizar o meu TCC. Nem os melhores adjetivos poderiam te descrever. Conte comigo pra todo o sempre, tô contigo pra o que der e vier. Não importa onde tu serás minha parceira daqui até ficarmos velhinhos. No matter where.

“Perseverança é a premissa para chegar em lugares altos. Aquele que persevera alcança o melhor de Deus, pois a seu tempo colherá doces frutos!”

Karla Corrêa-Doces Frutos

RESUMO

RIBEIRO, Wellerson Yann Guimarães Castro. **ESTUDO DE UM SOLO COM A APLICAÇÃO DE REFORÇO DO SUBLEITO UTILIZANDO A GEOGRELHA: Análise em Palmas, Tocantins.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, 2020.

A tecnologia dos geossintéticos para a engenharia civil a cada dia mais está em constante evolução, uma principal função desse material é o reforço de solo. O solo reforçado utilizando a geogrelha, é uma escolha certa para obras que necessitam desse tipo de serviço. A boa resistência, custo-benefício, a logística e facilidade para a sua aplicação, fazem com que esse pacote seja cada vez mais presente quando o assunto é resolver problemas. O enfoque do trabalho foi a avaliação do estudo da resistência a compressão do solo natural e do solo incorporado com a geogrelha em três camadas. O solo utilizado foi natural da estrada vicinal que dá acesso à Praia do Prata. Foram realizados ensaios para caracterizar esse solo como os limites de liquidez e plasticidade, ensaio de granulometria, compactação e compressão. A classificação do solo se deu após o ensaio de granulometria através das peneiras de número 10, 40 e 200, pelo método H.R.B que é um método de classificação rodoviária de solos para pavimentos. A resistência natural do solo foi gradativa, rompeu-se três corpos de prova sendo respectivamente 1.2, 1.3 e 1.4 Mpa. As geogrelhas foram disponibilizadas pela coordenação do curso e foram empregadas no material de maneira sortida e colocadas de forma aleatória nas camadas de solo, sem os dados de sua resistência nominal. Os resultados com a utilização da geogrelha se saiu melhor no primeiro corpo de prova com um total de 1.8 Mpa de resistência, logo houve uma melhor relação do material natural com a geogrelha para o seu reforço.

Palavras-Chave: Reforço de solo. Geogrelha. Resistência. Compressão. Compactação.

ABSTRACT

RIBEIRO, Wellerson Yann Guimarães Castro. **STUDY OF A SOIL WITH THE SUBLEITE STRENGTHENING APPLICATION USING GEOGRAPHY: Analysis in Palmas, Tocantins. 2020.** Course Conclusion Paper in Civil Engineering at Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP / ULBRA, 2020.

The technology of geosynthetics for civil engineering is constantly evolving, a main function of this material is the reinforcement of soil. The soil reinforced using the geogrid, is a sure choice for works that require this type of service. Good resistance, cost-benefit, logistics and ease of application, make this package more and more present when it comes to solving problems. The focus of the work was the evaluation of the study of the compressive strength of natural soil and of soil incorporated with the geogrid in three layers. The soil used was natural from the side road that gives access to Praia do Prata. Tests were carried out to characterize this soil as the limits of liquidity and plasticity, granulometry test, compaction and compression. The soil classification took place after the granulometry test through the number 10, 40 and 200 sieves, using the H.R.B method, which is a road soil classification method for pavements. The natural resistance of the soil was gradual, three specimens were broken, being 1.2, 1.3 and 1.4 Mpa respectively. The geogrids were made available by the course coordinators and were used in the material in an assorted way and placed at random in the soil layers, without the data of their nominal strength. The results with the use of the geogrid did better in the first specimen with a total of 1.8 Mpa of resistance, so there was a better relationship between the natural material and the geogrid for its reinforcement.

Keywords: Soil reinforcement. Geogrid. Resistance. Compression. Compaction.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Camadas de um pavimento flexível..... | 23 |
| Figura 2 - Camadas de um pavimento rígido. | 24 |
| Figura 3 - Bases e Sub-bases flexíveis..... | 25 |
| Figura 4 - Principais geossintéticos. | 30 |
| Figura 5 - Geogrelha em contato com o solo. | 32 |
| Figura 6 - Geotêxteis com estrutura de tecido e não tecido..... | 34 |
| Figura 7 - Localização da via..... | 35 |
| Figura 8 - Via não pavimentada. | 36 |
| Figura 9 – Geogrelha em contato com o solo no cilindro. | 39 |
| Figura 10 - Solo reforçado com geogrelhas. | 41 |
| Figura 11 - Estabilização do solo. | 42 |
| Figura 12 - Limite de Liquidez. | 43 |
| Figura 13 - Limite de Plasticidade..... | 44 |
| Figura 14 - Local do solo a ser utilizado..... | 47 |
| Figura 15 - Local de retirada da amostra. | 47 |
| Figura 16 - Amostra de solo estudada. | 48 |
| Figura 17 - Materiais do Limite de Liquidez..... | 49 |
| Figura 18 - Materiais do Limite de Plasticidade | 51 |
| Figura 19 - Massa total 1 kg. | 53 |
| Figura 20 - Lavagem da amostra. | 54 |
| Figura 21 - Massa total úmida. | 54 |
| Figura 22 - Amostra total seca. | 55 |
| Figura 23 - Peneiras para material grossos e finos..... | 56 |
| Figura 24 - Materiais para a compactação. | 58 |
| Figura 25 – Etapa em que se homogeneizou a amostra. | 59 |
| Figura 26 - Compactação da amostra..... | 60 |
| Figura 27 - Diâmetro do molde para compressão. | 61 |
| Figura 28 - Altura do molde para compressão..... | 61 |
| Figura 29 - Recapeando os corpos-de-prova..... | 62 |
| Figura 30 - Resultado dos corpos-de-prova recapeados..... | 63 |
| Figura 31 - Preparação da amostra..... | 64 |
| Figura 32 - Primeira tentativa. | 65 |
| Figura 33 - Segunda tentativa. | 65 |
| Figura 34 - Massa homogeneizada. | 66 |
| Figura 35 - Tentativa de determinar o limite de plasticidade..... | 67 |
| Figura 36 - Classificação H.R.B. | 68 |
| Figura 37 - Processo de classificação..... | 68 |
| Figura 38 - Relatório do ensaio de compressão do solo natural. | 74 |
| Figura 39 - Relatório do ensaio de compressão do solo com geogrelha. | 76 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1- Principais polímeros utilizados na fabricação de geossintéticos. | 28 |
| Quadro 2 - Geossintéticos e suas funções. | 31 |
| Quadro 3 - Subgrupos das Geogrelhas. | 33 |
| Quadro 4 - Peneiramento do solo. | 70 |
| Quadro 5 - Compactação do solo. | 72 |
| Quadro 6 - Resumo do resultado da compactação. | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Propriedades físicas da geogrelha..... | 38 |
| Tabela 2 - Propriedades mecânicas das geogrelhas. | 38 |
| Tabela 3 - Sistema de classificação H.R.B..... | 57 |
| Tabela 4 - Peneiramento grosso..... | 70 |
| Tabela 5 - Peneiramento fino. | 71 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 - Curva de compactação. | 73 |
| Gráfico 2 - Tensão x Deformação do solo natural. | 75 |
| Gráfico 3 - Tensão x Deformação do solo com geogrelha. | 77 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| AASHTO Officials | The American Association of State Highway Transportation |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CA | Concreto Asfáltico |
| CBR | Índice Suporte Califórnia |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CEULP | Centro Universitário Luterano de Palmas |
| cm | centímetro |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes |
| EPS | Poliestireno Expandido |
| <i>et al.</i> | Entre outros |
| g | Grama |
| g/m ² | Grama por centímetro quadrado |
| GCO | Geocomposto |
| GGB | Geogrelha Soldada |
| GGE | Geogrelha Extrudada |
| GGR | Geogrelha |
| GW | Geogrelha Tecida |
| GMA | Geomanta |
| GNT | Georrede |
| GSP | Geoespaçador |
| GST | Geotira |
| GSY | Geocélula |
| GTX | Geotêxtil |
| H.R.B | Highway Research Board |
| IG | Índice de grupo |
| IP | Índice de plasticidade |
| ISC | Índice Suporte California |
| ISO | Organização Internacional para Padronização |
| Kg | Quilograma |
| KN/m | Quilonewton por metro |

| | |
|-------|---------------------------------|
| LCR | Laver Coeficient Ratio |
| LL | Limite de liquidez |
| LP | Limite de plasticidade |
| m | Metro |
| min | Minuto |
| mL | Mililitro |
| Mm | Milímetro |
| N | Newton |
| NBR | Norma Brasileira |
| NP | Não plástico |
| NS | Norte/Sul |
| Obs | Observação |
| PE | Polietileno |
| PET | Poliéster |
| PP | Polipropileno |
| PVA | Polivinil Álcool |
| SN | Número Estrutural |
| U | Umidade natural do solo |
| ULBRA | Universidade Luterana do Brasil |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-------|----------------------------------------|
| % | Porcentagem |
| # | Hashtag |
| °C | Grau Celsius |
| a_1 | Coeficiente estrutural do revestimento |
| a_2 | Coeficiente estrutural da base |
| a_3 | Coeficiente estrutural da sub-base |
| D_1 | Espessura da camada de revestimento |
| D_2 | Espessura da camada de base |
| D_3 | Espessura da camada de sub-base |
| m_2 | Coeficiente de drenagem da base |
| m_3 | Coeficiente de drenagem da sub-base |
| P_s | Massa do material úmido |
| P_h | Massa do material seco |
| M_s | Massa total da amostra |
| Q_r | Porcentagem retida |
| M_r | Massa total da amostra |

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 OBJETIVOS | 20 |
| 1.1.1 Objetivo Principal | 20 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 20 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 2.1 PAVIMENTOS | 22 |
| 2.1.1 Camadas do Pavimento | 24 |
| 2.1.2 Camada Asfáltica | 26 |
| 2.2 GEOSSINTÉTICOS | 27 |
| 2.2.1 Variedades de Geossintéticos | 28 |
| 2.2.2 Emprego de Geossintéticos em Reforço de Pavimentos (Estudos de Caso) | 34 |
| 2.3 REFORÇO E ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS | 39 |
| 2.3.1 Limites de Atterberg | 43 |
| 2.3.2 Sistema de classificação dos solos | 44 |
| 2.3.3 Ensaio de CBR | 46 |
| 3. METODOLOGIA | 47 |
| 3.1 COLETA E PREPARO DA AMOSTRA | 47 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA | 48 |
| 3.2.1 Determinação do Limite de Liquidez | 48 |
| 3.2.2 Determinação do Limite de Plasticidade | 50 |
| 3.2.3 Granulometria do solo | 53 |
| 3.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO | 58 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 64 |
| 4.1 LIMITE DE LIQUIDEZ | 64 |
| 4.2 LIMITE DE PLASTICIDADE | 66 |
| 4.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO | 68 |
| 4.4 GRANULOMETRIA | 70 |
| 4.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO | 72 |
| 4.6 COMPRESSÃO DO SOLO | 74 |
| 4.6.1 Compressão do solo natural. | 74 |
| 4.6.2 Compressão do solo com o uso da geogrelha. | 76 |
| 5. CONCLUSÃO | 79 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 6. REFERÊNCIAS | 81 |
|-----------------------------|-----------|

1. INTRODUÇÃO

Os transportes são de suma importância para o desenvolvimento econômico de uma região ou país. Atividades de comércio que passam a levar mercadorias de um lugar a outro, como a importação e exportação, fazem com que seja fundamental para a evolução da sociedade. O setor que engloba a pavimentação está ligado diretamente a essas atividades, sendo esse setor, regido pela responsabilidade do governo público em zelar tudo que nele há.

Bernucci et al., (2006), explana que no Brasil, há um grande investimento no modal rodoviário que pode atingir até bilhões de reais a cada ano, entretanto a necessidade do país não consegue ser suprida. A malha das rodovias do país, boa parte delas, possui uma má infraestrutura que não é suficiente para atender a demanda de transporte prevista no país.

Perante a grande importância do modal rodoviário, surge a necessidade de um investimento em técnicas que sejam eficazes para a construção de pavimentos de qualidade, prolongando sua vida útil, segurança, sua funcionalidade e que apresente uma boa relação de custo/benefício para a engenharia civil. Há diversas soluções que possam ser empregadas para a construção de um bom pavimento e sua conservação. A técnica que será empregada nesta pesquisa como reforço do subleito de um solo em pavimento flexível será pelo uso de geossintéticos, em especial, a geogrelha que detém de uma função de reforço com exímia eficácia.

Segundo Tupa (2006), reforçar um solo se trata de uma técnica que está em ascendência devido a sua tecnologia avançada. A construção de obras geotécnicas que visam a segurança, além de fatores que estão ligados ao meio ambiente e sua conservação, fizeram com que a utilização da tecnologia sejam melhores do que a utilização de materiais naturais. Os geossintéticos possuem um alto controle de qualidade, passando a ser utilizados de forma frequente, visto que sua qualidade, sua execução rápida e diversas funções atenderam as condições dessas construções. O presente trabalho avalia a resistência do subleito de um solo em seu estado natural, solo este localizado em Palmas, e

com isso realizar o reforço do mesmo, em seu subleito, utilizando a geogrelha como uma tecnologia eficiente para tal função.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do presente estudo se trata da avaliação do reforço de um subleito com a utilização de geogrelha por meio de ensaios de laboratório.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterização física do solo a ser utilizado nos experimentos.
- Classificar o solo a ser usado nos experimentos utilizando-se o método HRB;
- Analisar a capacidade de carga do solo natural e se há eficácia do reforço com a geogrelha.

1.2 JUSTIFICATIVA

Localizada em Palmas, Tocantins, a Praia do Prata foi o local escolhido para a presente pesquisa. Desde 2003, a praia recebe turistas de todos os lugares e visitantes locais durante a grande temporada de julho e também no decorrer do ano. A sua infraestrutura possui uma boa logística, desde o lazer à segurança de quem tiver de passagem pelo local.

Com o intuito de melhoria da mobilidade de transporte do local, cujo o mesmo não possui uma pavimentação asfáltica, no trecho da avenida ns 15 (entrada da praia do prata), retirou-se uma porção do solo para análise da sua capacidade de carga através de ensaios para determinar a eficácia de um reforço do solo com os geossintéticos, como uma hipótese de um futuro possa haver o pavimento asfáltico do local.

Uma pavimentação realizada de maneira satisfatória acarretada em fatores positivos, no caso do local de estudo, levaria uma melhor qualidade de tráfego, diminuindo o tempo de viagem e segurança até se chegar à praia. Por fim, avaliou-se este solo para se saber suas propriedades físicas e mecânicas, bem como a necessidade de o reforçar com a geogrelha. Este método de reforço de subleito do solo utilizando os geossintéticos é uma forma de preparo para o

deixar pronto para receber futuramente um pavimento flexível, visando a melhor aplicação e o melhor custo benefício.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTOS

De acordo com Senço (1997), a pavimentação não está ligada apenas em fornecer estabilidade para o pavimento para fornecer um tráfego seguro e com conforto, mas vai além, como suprir as necessidades das comunidades de uma maneira abundante.

A pavimentação no Brasil é eficaz para o funcionamento de inúmeros setores que movimentam a economia do país, bem como o fluxo de pessoas que utilizam as rodovias como fonte de tráfego em torno das vias brasileiras.

A pavimentação representa parcela importante da economia dos países, uma vez que este patrimônio valioso conecta uma rede que permite o movimento de pessoas e cargas, essencial ao desenvolvimento. Dessa forma, podem-se associar as riquezas de um país à sua malha rodoviária pavimentada, com qualidade de rolamento (SILVA,2011, p. 01).

Segundo Bernucci, Motta, Ceratti e Soares (2006), os são estruturas com várias camadas de diversas espessuras, sobreposta em uma superfície de terraplenagem com a função de resistir a esforços provenientes do tráfego de veículos e ações do clima. Cabe ao pavimento proporcionar condições favoráveis para a economia, segurança e conforto.

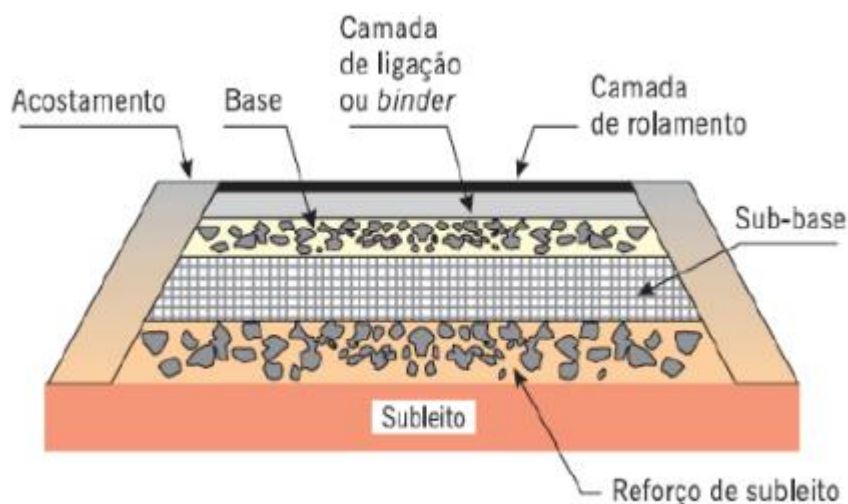
Gonçalves (1999), apresenta que o pavimento detém funções afins de assegurar a segurança em conjunto com o conforto quando se trata do tráfego realizado sobre um determinado pavimento em todas as condições de clima local.

O pavimento possui uma estrutura que é projetada para resistir a incontáveis solicitações provenientes das cargas, no decorrer da execução do projeto sem que haja danos estruturais fora do que é aceitável. Há dois principais danos que são: deformação permanente e fadiga. O bom dimensionamento de uma estrutura de um pavimento se dá pelo grande conhecimento dos materiais e suas propriedades, bem como, a resistência à ruptura, deformabilidade, permeabilidade, no que tange as ações climáticas e as cargas de veículos. (BERNUCCI et al., 2006).

Conforme Bernucci et al., (2006), o pavimento de uma rodovia se classifica eventualmente em dois tipos: rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são encapados por um modelo como placa de cimento Portland. Em pavimentos rígidos a sua espessura é em função de sua resistência à flexão das placas de concreto e das camadas subjacentes. As placas de concreto podem ser armadas ou não.

Pavimentos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma camada misturando-se agregados e ligantes asfálticos. Estruturado por quatro camadas: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. Uma camada de rolamento para entrar em contato diretamente com a ação da roda do veículo e outras camadas intermediárias chamadas de *binder*. (BERNUCCI et al., 2006). A figura 1 apresenta as camadas envolvidas em um pavimento flexível:

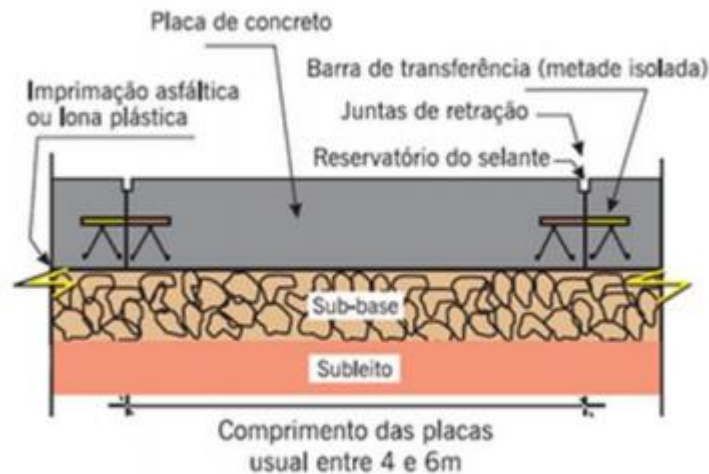
Figura 1 - Camadas de um pavimento flexível.



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Balbo (2007), afirma que a camada que absorve uma parte em parcelas dos esforços horizontais provenientes do tráfego se define como pavimento rígido e as tensões verticais serão distribuídas nas camadas subjacentes. A figura 2 caracteriza as camadas de um pavimento rígido:

Figura 2 - Camadas de um pavimento rígido.



Fonte: www.sptsondagens.com.br

O revestimento asfáltico localiza-se na parte de cima do pavimento, ficando em contato direto com a atuação do tráfego afim de distribuição nas outras camadas que ficam abaixo, impermeabilizando o pavimento e potencializando a segurança e o conforto. (BERNUCCI et al, 2008)

2.1.1 Camadas do Pavimento

As camadas que fazem parte da estrutura de um pavimento são retratadas por Senço (1997), como:

Subleito: Camada localizada onde se encontra a fundação do pavimento. Em caso de terraplenagem recente, esse subleito deverá ter suas características geométricas definitivas. Em relação à resistência do Subleito é obtida de forma variável, dependendo assim do dimensionamento do pavimento.

Regularização do Subleito: Com espessura irregular, essa camada é localizada sobre o subleito com função de conformá-lo, transversalmente e longitudinalmente de acordo com o projeto.

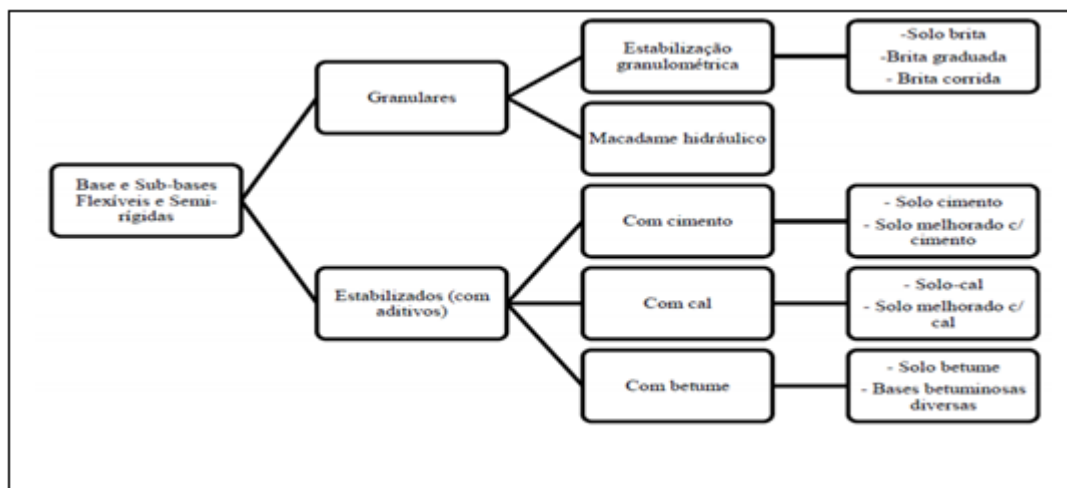
Reforço do Subleito: Camada construída caso haja a necessidade de uma complementação da Sub-base. Esse reforço trabalha com resistência e distribuição de esforços verticais, porém de maneira indireta, uma vez que, essa função de absorver os esforços é particularmente do subleito.

Sub-Base: Se trata de uma camada que complementa a base, construída quando em condições técnicas e econômicas, não deixar a base em contato direto com o subleito/regularização.

Base: Camada que recebe diretamente os esforços provenientes dos veículos realizados sobre o pavimento em direção vertical, afim de distribuir para as camadas subjacentes.

Segundo o DNIT (2006), a base se localiza abaixo da camada do revestimento com o intuito de conceder às tensões verticais como deformações e cisalhamento para as camadas subjacentes de sub-base e subleito. As bases e sub-bases de um pavimento flexível podem ser caracterizadas como granulares e estabilizadas, vista na figura 3.

Figura 3 - Bases e Sub-bases flexíveis.



Fonte: DNIT (2006)

Revestimento: Uma camada com função de ser impermeável, melhorando assim o rolamento do pavimento como: conforto e segurança, com resistência aos desgastes e aumentando a longevidade da estrutura do pavimento.

Esse revestimento asfáltico pode ser estabelecido por uma mistura de agregados em diferentes tamanhos em junção com um ligante asfáltico.

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos flexíveis é uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias. Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico.(NAKAMURA, 2012).

Os revestimentos de uma estrutura de pavimento têm a capacidade de resistir aos esforços de compressão e tração ocasionados pela flexão, deixando

os esforços de compressão solicitarem as camadas que estão abaixo, pois podem conter materiais com substâncias químicas para aumentar o nível de coesão/rigidez. Esses revestimentos possuem uma camada fina e mesmo com a coesão elevada possuem um baixo efeito de resistir à tração. (BERNUCCI et al., 2006).

2.1.2 Camada Asfáltica

Segundo Ceratti e Núñez (2011), as misturas asfálticas são materiais viscoelásticos, ou seja, materiais que podem sofrer deformações e com essas deformações surgem as elásticas e as viscosas.

Material asfáltico de acordo com DNIT (2013), é o conjunto formado por uma fase asfáltica em ligação com uma fase aquosa, ou vice versa, uma fase aquosa em uma fase asfáltica. O cimento asfáltico é um dos componentes e passa a ser uma forma de minúsculas porções deste material e no que tange a emulsão asfáltica é estruturada por dois líquidos diferentes.

No Brasil, a mistura asfáltica mais utilizada é o Concreto Asfáltico (CA) e possui uma nomenclatura mais utilizável como Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). A mistura é composta por diversos tipos de agregados e cimento asfáltico dosados e assim são aquecidos para ficarem viscosos ao necessário. (Bernucci et al., 2006).

Para Senço (1997), no revestimento betuminoso o tipo de aglutinante utilizado é betume, podendo ser utilizado tanto no asfalto ou alcatrão. A cada dia mais os engenheiros projetistas estão tomando partido deste tipo de técnica como a de concreto de cimento.

Senço afirma que o cimento CBUQ é preferido em vias:

É o mais nobre dos revestimentos Flexíveis. Consiste na mistura íntima de agregado, satisfazendo rigorosas especificações, e betume devidamente dosado. A mistura é feita em usina, com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão [...].

Há uma necessidade de utilização de um outro tipo de material na mistura asfáltica, pois há uma discrepância no tipo de viscosidade dos dois principais elementos presentes na emulsão, fazendo com que haja uma melhor

estabilidade da mesma por um determinado tempo. O cimento asfáltico necessita de uma certa energia térmica e mecânica para que haja seu cisalhamento e o aparecimento de pequenas partículas. (ABEDA, 2001).

2.2 GEOSSINTÉTICOS

Uma nova tecnologia surgiu e dentro dela estão vários elementos que englobam os determinados materiais utilizados na construção civil, sendo sua fabricação seguida por polímeros. Essa tecnologia possui um progresso rápido e a cada dia mais está sendo bem aceito por profissionais do ramo da engenharia, uma vez que, sua eficácia na resolução de problemas, seu manuseio na execução e seu custo são alguns fatores positivos. (BECKER, 2006; VERTEMATTI, 2004).

De acordo com Koerner (1994), geossintéticos são produtos fabricados por indústrias petroquímicas, utilizando borrachas naturais, também incluindo a fibra de vidro e outros materiais semelhantes. Durante sua fabricação, esses materiais podem ser manipulados para quaisquer necessidades de sua utilização (fabricação para uma propriedade característica), propriedades essas que vão desde separar, reforçar, filtrar ou drenar uma obra geotécnica.

A NBR 12553 (2003), afirma que, a nomenclatura de geossintéticos se dá por serem produtos poliméricos, sejam eles sintéticos ou naturais, provenientes de indústrias, que tem a sua função na construção de obras geotécnicas: Filtração, Drenagem, Proteção, Separação, Reforço, Impermeabilização, Controle de erosão, dentre outras.

Segundo Bueno (2003), citado por Vertematti (2015, p.47), cada geossintético deve ser selecionado para suprir as necessidades de cada obra, voltada para a engenharia e suas técnicas. As propriedades dos geossintéticos são mensuradas por ensaios realizados em laboratórios, nos quais, devem representar a relação do geossintético com o local em que ele será empregado, além do que a vida útil dos materiais deve se equiparar com a da obra.

Geossintéticos são os materiais fabricados utilizando polímeros, bem como aditivos. Os aditivos utilizados possuem a função de propiciar mudanças em seu comportamento ou somente para aprimorar o seu processo de produção. Há alguns polímeros que são mais utilizados na produção dos geossintéticos

como: poliéster (PET), poliestireno expandido (EPS), polietileno (PE), polivinil álcool (PVA), polipropileno (PP), dentre outros. (LOTTI e BUENO, 2005).

Quadro 1- Principais polímeros utilizados na fabricação de geossintéticos.

| Principais Polímeros Utilizados na fabricação dos Geossintéticos | | |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|
| Polímero | Sigla | Aplicações |
| Poliéster | PET | Geotêxteis, geogrelhas, barreiras geossintéticas e georredes |
| Poliestireno Expandido | EPS | Geoexpandidos |
| Poliestireno | PE | Geocompostos e Geoexpandidos |
| Polivinil Álcool | PVA | Geotêxteis, geogrelhas e geocompostos |
| Polipropileno | PP | Geotêxteis, barreiras geossintéticas e geogrelhas |

Fonte: Adaptada de Vertematti (2015).

Com o grande avanço da engenharia rodoviária, no dimensionamento e construção de estradas/vias, são utilizados dois principais geossintéticos, o geotêxtil e a geogrelha, sendo recorrente na eficácia contra a reflexão de trincas. A geogrelha com sua principal função de reforço, como o próprio nome espelha, a sua forma é como uma grelha e seus furos internos são para estar em contato com a superfície na qual foi projetada. O geotêxtil são materiais constituídos de tecidos e não tecidos, tendo sua utilização que ser adaptada por conta das fibras resultantes quimicamente ou fisicamente.

2.2.1 Variedades de Geossintéticos

A NBR ISO 10318 – Geossintéticos – Termos e Definições, apresenta a classificação e função dos principais geossintéticos existentes:

Geocélula, GSY: Estrutura polimérica tridimensional, permeável, em forma de casa de abelha ou simular, produzida a partir de tiras de geossintéticos ligadas entre si.

Geogrelha, GGR: Estrutura polimérica planar constituída por uma malha aberta de elementos resistentes a tração, que podem ser unidos por extrusão, solda ou entrelaçamento, e cujas aberturas são maiores que os elementos constituintes.

Geocomposto, GCO: Material industrializado formado pela superposição ou associação de materiais sendo que, pelo menos um deles, é um produto geossintético.

Geomanta, GMA: Estrutura tridimensional permeável constituída de monofilamentos poliméricos ou outros elementos, sintéticos ou naturais, interligados por meio mecânico e/ou térmico, e/ou químico.

Georrede, GNT: Geossintético constituído por conjuntos de elementos paralelos superpostos e completamente conectados a outros elementos similares a vários ângulos.

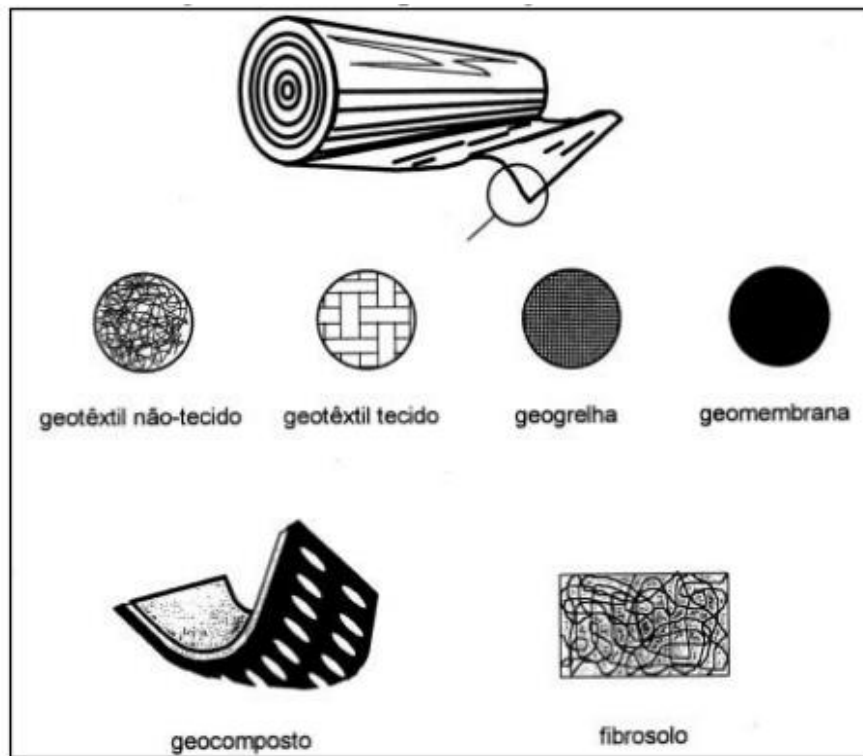
Geotêxtil, GTX: Material têxtil plano, permeável fabricado com polímero natural ou sintético, podendo ser tecido, não tecido ou tricotado, utilizado em contato com o solo ou outros materiais em aplicações de engenharia e civil.

Geotira, GST: Material polimérico na forma de uma tira, com largura inferior a 200 mm, utilizado em contato com o solo ou outro material de construção em aplicações de engenharia civil.

Geoespaçador, GSP: Estrutura tridimensional a base de polímero, concebida para criar um espaço de ar no solo e/ou outros materiais, em aplicações de engenharia geotécnica e civil.

Há os geossintéticos mais utilizados em obras geotécnicas, sendo visualizado na figura 4.

Figura 4 - Principais geossintéticos.



Fonte: Adaptado de Palmeira (1995).

As funções dos geossintéticos podem ser conferidas por meio da NBR ISO 10318-1:

Drenagem: coleta e condução de águas pluviais, águas subterrâneas e outros fluidos no plano de um material geossintético;

Filtração: restrição da passagem sem controle de partículas do solo ou outro material, submetidas a forças hidro-dinâmicas, permitindo a passagem de fluido em movimento pelo ou no interior de um geossintético;

Proteção: prevenção ou limitação de danos localizados em um dado elemento ou material, pelo uso de um material geossintético;

Reforço: uso do comportamento tensão-deformação de um material geossintético, para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção; **Separação:** prevenção da mistura de dois materiais adjacentes de naturezas diferentes, solos ou material de aterro, pelo uso de um material geossintético;

Controle de erosão superficial: uso de um material geossintético para prevenir os movimentos do solo ou de outras partículas na superfície, por exemplo, de um talude;

Barreira: uso de um geossintético para prevenir ou limitar a migração de fluidos;

Alívio de tensões: uso de um geossintético para retardar o desenvolvimento de trincas pela absorção das tensões que surgem no pavimento danificado (ABNT, 2018).

Bueno e Vilar (2015), apresentam um grupo de geossintéticos e com isso suas diferentes funções em diversos empregos na engenharia geotécnica:

Quadro 2 - Geossintéticos e suas funções.

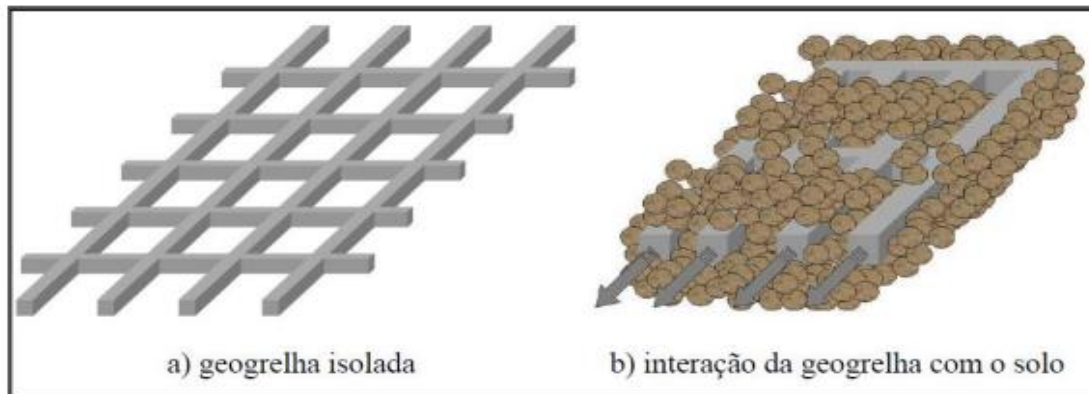
| Geossintético | Função | | | | | | |
|------------------------|-----------|----------|-----------|----------|--------|---------|-------------------|
| | Separação | Proteção | Filtração | Drenagem | Erosão | Reforço | Impermeabilização |
| Geotêxtil | X | X | X | X | X | X | X ^(*) |
| Geogrelha | X | - | - | - | - | X | - |
| Geomembrana | X | - | - | - | - | - | X |
| Georede | - | X | - | X | - | - | - |
| Geocompostos argilosos | - | - | - | - | - | - | X |
| Geocélula | - | X | - | - | X | X | - |
| Geotubo | - | - | - | X | - | - | - |
| Geofibras | - | - | - | - | - | X | - |

Fonte: Adaptado Bueno e Vilar (2015)

As informações contida na NBR ISO 10318-1, sobre funções de geossintéticos, não há uma grande diferença quando se colocada a frente da tabela feita através dos conhecimentos de Bueno e Vilar (2015), principalmente se tratando dos materiais utilizados em cada geossintético, pois, com o desenvolvimento da tecnologia ao longo dos anos e com a intervenção e fiscalização da ABNT em obras de engenharia geotécnica.

De acordo com Benjamim (2006), os geotêxteis possuem grandes vantagens quando utilizados para a função de reforço por conta de sua boa flexibilidade, fácil manuseio, são resistentes para os danos mecânicos e um custo baixo se colocado a frente com outros materiais para solucionar problemas. Benjamim reforça também que o geotêxtil possui uma grande taxa de deformação, fazendo com que procure um melhor geossintético ao invés do mesmo, como citado, as geogrelhas.

Figura 5 - Geogrelha em contato com o solo.



Fonte: Benjamim (2006).

A estrutura das geogrelhas é formada por plásticos com uma alta resistência a aberturas. As aberturas entre a grelha fazem com que a interação entre o material do geossintético e o solo resultam na sua utilização específica para a função de reforço de um solo, porém, em alguns casos as geogrelhas podem ser utilizadas para a função de separação. (ABRAMENTO, 1998).

Para Wickert (2003), as geogrelhas possuem uma característica única em seu módulo de elasticidade à uma elevada tração, ao contrário do geotêxtil, mesmo se ambos forem utilizados em asfalto como do tipo de concreto asfáltico. Devido a sua função de reforço, a geogrelha absorve os impactos gerados pelas tensões dos pneus dos veículos. No que tange as propriedades das geogrelhas pode-se destacar: rigidez, a brecha entre a geogrelha e o solo, a flexibilidade e a temperatura que a amolece.

As geogrelhas possuem a diferença no material na qual são fabricadas, sendo eles: polietileno de alta densidade, poliéster com grande rigidez e resistência a tração ou o polipropileno. A NBR 12553 apresenta também o tipo de fabricação das diversas geogrelhas:

Geogrelha Extrudada (GGE): São fabricadas geralmente por polietileno ou polipropileno por meio de extrusão e com o seu estiramento.

Geogrelha Soldada (GGB): Tem sua origem por meio de feixes de filamentos têxteis sintéticos que tem seu cobrimento com uma proteção e senso soldado em suas juntas, há também as geogrelhas soldadas com o laser e com fundamento extrudado.

Geogrelha Tecida (GGW): Possuem uma semelhança com as geogrelhas soldadas por seus elementos de tração transversal e longitudinal, também gerado por meio dos filamentos têxteis sintéticos, no caso da tecida, eles são tricotados ou colocados nas juntas e sendo coberto por um revestimento.

Aguiar (2003), expõe também os subgrupos de geogrelhas e seus processos de formação:

Quadro 3 - Subgrupos das Geogrelhas.

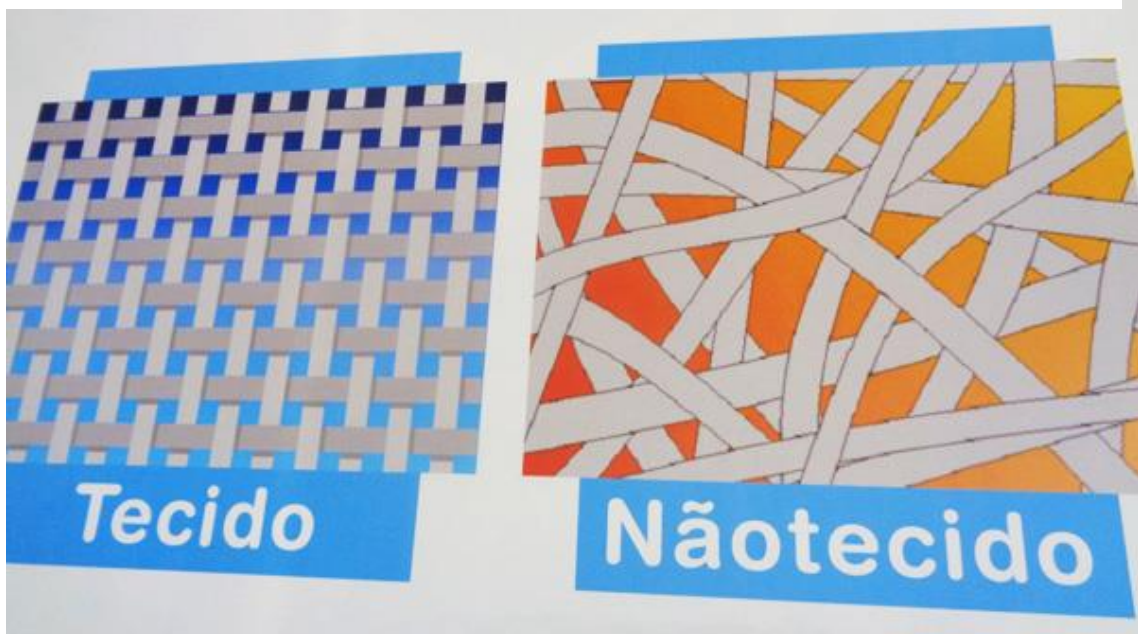
| | |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geogrelha extrudada (GGE) | Formada por processos de extrusão e estiramento em um único sentido (geogrelha unidirecional) ou nos dois sentidos (geogrelha bidirecional). |
| Geogrelha soldada (GGB) | Estrutura plana obtida da soldadura de geotiras compostas por filamentos de poliéster, revestidos em polietileno ou PVC, de alto módulo elástico e excelente comportamento à fluência. |
| Geogrelha tecida (GGW) | Estrutura plana construída de fibras sintéticas (geralmente poliéster), tricotadas ou intertecidas nas juntas, recobertas por uma capa protetora. |

Fonte: Adaptado AGUIAR (2003).

Conforme Vertematti (2004), geotêxteis são produtos flexíveis, mesclado com fibras cortadas e sua estrutura é em tecido, não tecido ou podendo ser tricotada, tendo suas propriedades mecânicas e hidráulicas voltadas para emprego em obras geotécnicas como funções de: proteção, separação, filtração, drenagem, reforço e etc, funções essas que são efetivas quando se estando em contato um material asfáltico.

Os geotêxteis são fabricados através de polímeros com texturas flexíveis e com porosidade para que haja uma melhor drenagem por meio de sua superfície, sua estrutura em fibras pode ser caracterizada com a utilização de tecidos e sem tecidos. Tecidos estes que se trançam formando filamentos ou laminetes. Sem utilizar tecidos, os geotêxteis têm sua estrutura formada de forma aleatória pelas fibras de forma plana. Conforme se vê na figura 6.

Figura 6 - Geotêxteis com estrutura de tecido e não tecido.



Fonte: www.plastico.com.br (2017).

Os geotêxteis possuem um baixo custo, bem como a facilidade para sua utilização e por meio de suas características como a grande resistência a danos mecânicos e a sua flexibilidade, fazendo com que se empreguem de forma mais recorrente. Em contrapartida, geotêxteis possuem uma resistência à tração baixa se colocados à frente de outros tipos de geossintéticos com a mesma função.

2.2.2 Emprego de Geossintéticos em Reforço de Pavimentos (Estudos de Caso)

Os pavimentos reforçados com geossintéticos resultam em uma combinação de excelência e eficácia em sua prática para resistir às cargas provenientes do tráfego e pelo clima. Buscando o enfoque dessa tecnologia, estudos de casos serão exemplificados, como: suas metodologias/qual forma de dimensionamento fora realizado, bem como os resultados finais de sua aplicação.

I. **Comportamento estrutural de um pavimento flexível reforçado com geogrelha após 10 anos.**

CARMO et al (2011) estudaram a utilização da geogrelha.

A utilização da geogrelha como reforço de pavimentos foi implantada em uma rodovia localizada na cidade de Viana, região metropolitana de Vitória no Espírito Santo. A realização da obra foi coordenada pelo DER-ES, com o intuito

de melhorar a mobilidade da região que é onde se encontra grandes transportadoras. O pavimento foi reforçado utilizando a geogrelha tecida de polipropileno e conta com uma extensão de 850 metros, conforme representa a figura 7.

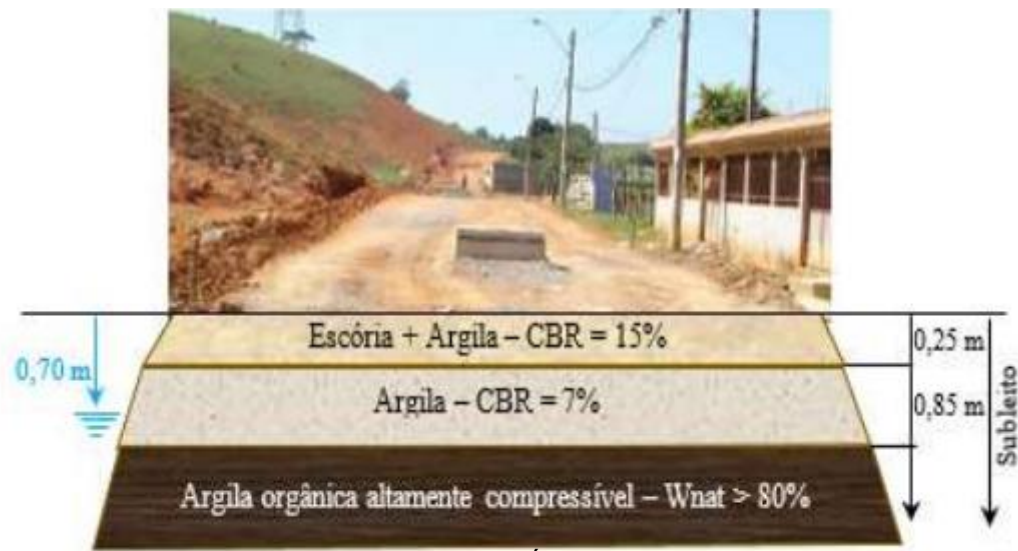
Figura 7 - Localização da via.



Fonte: Carmo e D'Ávilla (2011)

Através dos estudos geotécnicos realizados na execução da obra, foi detectado que o problema estaria no subleito, pois o mesmo era formado por uma camada superficial com mistura de escória bruta em relação com argila na qual o CBR constava 15% e a espessura variava de 0,00 a 0,25m. Essa camada superficial era apoiada sobre uma camada de argila que não era compactada e sua espessura era 0,75 a 0,85m e o CBR era 7%. O nível de água constava 0,70m em relação à superfície, através disso pôde-se observar que na implantação do aterro foi lançada argila sobre a região alagada. Essa condição foi mostrada através da investigação do grau de compactação justamente da camada com valores abaixo de 70%, ainda assim abaixo da camada de aterro expressou uma camada de argila orgânica altamente compressível e sua umidade natural acima de 80%. A figura 8 mostra a via sem pavimento.

Figura 8 - Via não pavimentada.



Fonte: Carmo e D'Ávila (2011).

A necessidade uma via pavimentada era tamanha nessa situação onde já existiam imóveis residenciais e comerciais pelos dois lados da mesma. Como solução adotada, a geogrelha foi a cogitada e assim sendo executada por suas propriedades serem eficazes e sua vantagem econômica.

O pavimento foi dimensionado conforme o método de AASHTO modificado, assim foi considerada a contribuição estrutural da geogrelha no pavimento flexível. Essa contribuição é contada no método, na medida em que o coeficiente estrutural da camada de base é aumentado pelo parâmetro LCR (LayerCoefficientRatio) que é obtido em ensaios de laboratório. Esse dimensionamento da estrutura foi realizado pela equação:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 \cdot LCR + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Em que:

SN = número estrutural

a_1 = coeficiente estrutural do revestimento;

a_2 = coeficiente estrutural da base;

a_3 = coeficiente estrutural da sub-base;

D_1 = espessura da camada de revestimento;

D2 = espessura da camada de base;

D3 = espessura da camada de sub-base;

m2 = coeficiente de drenagem da base;

m3 = coeficiente de drenagem da sub-base;

LCR = coeficiente de melhoramento da camada.

Houve ensaios para o acompanhamento do desempenho estrutural desse pavimento reforçado com geogrelha, um deles com a utilização da Viga Benkelman. Foram realizados ensaios nos anos de 2010, 2011, 2016 e 2018 para verificar se a deflexão admissível ficou próxima da calculada para o projeto, sendo: 67,67x0,01 mm. Notou-se que em quatro anos, as deflexões obtidas ficaram próximas da admissível, sendo que a variação em algum dos anos possa está ligada à umidade do subleito da via, pois se trata de uma região litorânea e há variação com a maré.

Segundo Pekins et al. (2010), os geossintéticos melhoram as propriedades do pavimento e assim o seu desempenho ao longo de sua vida útil, especialmente, em subleitos que possuem uma baixa capacidade de suporte de cargas. A geogrelha de tecido polipropileno como reforço de base foi uma solução excelente graças ao seu elevado módulo de rigidez que distribui as tensões provocadas pelo tráfego de maneira homogênea, bem como pelo local da via que contava com um subleito que não possui uma alta capacidade de suporte. O método utilizado no dimensionamento foi eficaz e com um coeficiente estrutural que foi mostrou-se eficiente.

II. Estudo da aplicação de geogrelha em reforço camadas granulares de pavimentos rodoviários.

PEREIRA et al (2017), estudaram a utilização da geogrelha em pavimentos rodoviários.

O solo onde foi realizado o estudo se localiza em uma jazida na região metropolitana de Fortaleza, rodovia do anel viário no bairro Pedras. O tipo de geossintético utilizado foi a geogrelha WG 40S e sua superfície é formada por poliéster de alta tenacidade e uma boa resistência à tração, devido suas propriedades físicas e mecânicas, mostradas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Propriedades físicas da geogrelha.

| Propriedades Físicas | | WG 40S |
|----------------------------------------|------------------|--------|
| Abertura nominal da malha longitudinal | mm | 20 |
| Abertura nominal da malha transversal | mm | 22 |
| Massa por unidade de área | g/m ² | 469 |
| Largura do rolo | m | 5,15 |
| Comprimento do rolo | m | 100,0 |
| Diâmetro do rolo | cm | 39,0 |

Fonte: PEREIRA et al (2017).

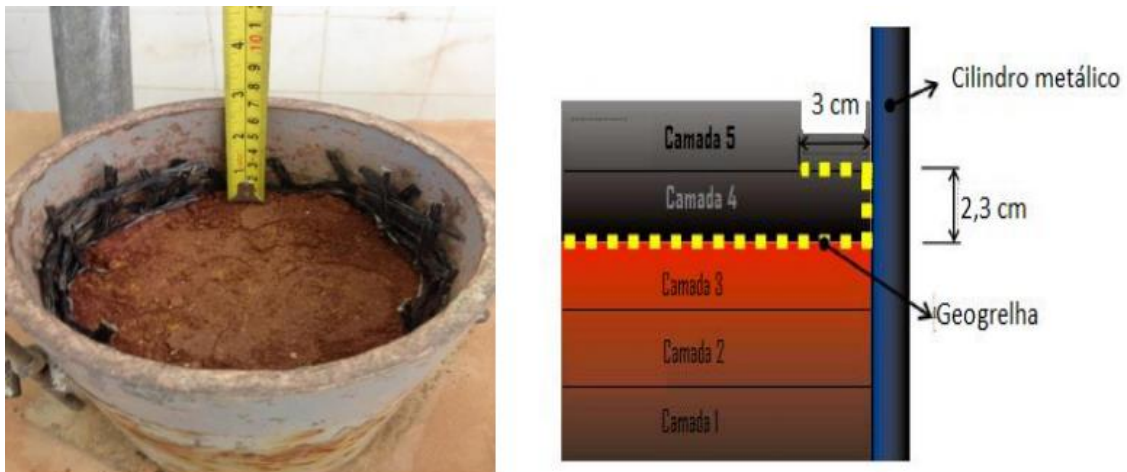
Tabela 2 - Propriedades mecânicas das geogrelhas.

| Propriedades mecânicas (solicitação de tração) | | WG 40S |
|------------------------------------------------|------|--------|
| Resistência longitudinal última (mín.) | KN/m | 40,0 |
| Resistência transversal última (mín.) | KN/m | 40,0 |
| Alongamento na Resistência última (máx.) | % | 12,0 |
| Resistência a 2% de alongamento (mín.) | KN/m | 8,0 |
| Resistência a 5% de alongamento (mín.) | KN/m | 15,0 |
| Resistência a 6% de alongamento (mín.) | KN/m | 15,0 |
| Resistência a 7% de alongamento (mín.) | KN/m | - |

Fonte: PEREIRA et al (2017).

O anexo do reforço utilizando a geogrelha foi colocada dentro do corpo de prova depois que foram obtidos alguns dados, como: Limites de Atterberg, Compactação e Índice de Suporte California do Solo (foi utilizado 6 kg de amostra para o ensaio), propriedades granulométricas. A geogrelha ia sendo introduzida por camadas intercaladas, sendo assim uma de massa de solo e uma do geossintético. Após ter o corpo de prova cheio do material, houve a necessidade de realizar a compactação do mesmo, com o ensaio de 26 golpes no solo reforçado com geogrelha e o solo sem reforço, tendo a simulação sinônima de uma sub-base de um pavimento flexível. A geogrelha foi colocada em três posições diferentes no molde, sendo: camadas superior/inferior no ISC (1/2, 2/3 e 3/4). Corpo de prova sendo incorporado a geogrelha no solo, conforme a figura 9.

Figura 9 – Geogrelha em contato com o solo no cilindro.



Fonte: Adaptado de FERREIRA (2007).

O solo reforçado com geogrelha apresentou uma melhor distribuição das cargas, aumentando assim sua capacidade de carga. O reforço é fundamental para o seu desempenho funcional, tendo um aumento no valor do ISC 50,8% e expansão de 0,25% (na posição 1/2). Na posição 2/3 e 3/4 o ISC constou um valor de 39,8% e expansão de 0,21% e na posição ISC de 29,4 com expansão de 0,16%, respectivamente.

Perante ao explícito, o uso da geogrelha expressou um bom comportamento no solo, contribuindo para a melhoria de suas propriedades com a função de reforço dessa tecnologia, em contrapartida a isto, o solo sem reforço teve resultados inferiores se visto pelo lado da capacidade de suporte de cargas.

2.3 REFORÇO E ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

De acordo com Palmeira (1990), o reforço de um solo ou a sua estabilização é a realização de técnicas que visam sua melhoria e condições em algum meio físico ou químico. O reforço é realizado dentro da composição do solo, em contrapartida a estabilização do solo é o procedimento que para a melhoria das características de uma porção de solo diretamente em sua estrutura. Ambas as técnicas de reforço e estabilização têm a mesma finalidade que é a de melhorar o comportamento do solo empregado nas obras geotécnicas.

Ehrlich et al. (2015) apresenta que os materiais geossintéticos passaram a ser utilizados como composição de reforçar um solo, pois através deles há uma distribuição das tensões (sendo elas também verticais) e deformações. Em soluções como aterros compactados, há a possibilidade de reduzir o volume do material utilizando assim o solo local, gerando um menor custo se comparada com técnicas de reforço convencional. A estrutura de solo reforçado é economicamente mais viável (sendo flexível) e esteticamente satisfatória. Segundo os autores, há ainda vantagens intrínsecas na utilização de geossintético como reforço de solo, podendo ser elas:

- Período de construção reduzido;
- Locais com difícil acesso pode ser executado;
- Menor impacto ambiental;
- Equipamentos simples podem ser utilizados;
- Mão de obra não qualificada pode ser aproveitada;

Em solos que são reforçados com geossintéticos, deve-se colocar em prioridade dois aspectos para um resultado satisfatório e um bom desempenho da estrutura, sendo ligados diretamente aos deslocamentos do material reforçado. Primeiro aspecto é a mobilização das resistências do solo, sendo elas a resistências à tração de reforço e a resistência ao cisalhamento do solo, afim de terem deformações combinadas. Segundo aspecto são as 10 deformações do solo não ultrapassar valores aceitáveis, para não provocar a não utilização da estrutura. O autor explana que utilizando elementos de reforço com uma alta rigidez, em especial, as geogrelhas, em maior parte dos casos provocam deformações que são aceitáveis. (PEDROSO 2000). A figura 10 representa uma rodovia sendo reforçada com geogrelhas.

Figura 10 - Solo reforçado com geogrelhas.



Fonte: Geocontract.com.br (2019)

Em pavimentação a estabilização de um solo caracteriza-se em métodos com o objetivo de melhoria das propriedades do mesmo, como: sua deformabilidade, permeabilidade, resistência e etc. O material natural passa por esses processos de melhoria para se beneficiar de uma melhor resistência quando colocado à frente de cargas futuras. FRANCA (2003) explana que essa metodologia aperfeiçoa as características e as propriedades desse solo são alteradas para lidar com situações no decorrer de sua vida útil, bem como o tráfego ou até mesmo de ação intempéries.

De acordo com Vizcarra (2010), o ato de estabilizar um solo pode ser compreendido em alterar suas propriedades e com isso melhorar o seu comportamento tal qual mecânico, com procedimentos artificiais como: físico, químico ou físico-químico; após esses processos, a estabilização confere ao solo o aperfeiçoamento de suas propriedades e podendo assim serem expostos à agentes externos, como: cargas de veículos e o clima.

Segundo Batista (1976), a técnica de estabilizar o solo se utilizada em obras rodoviárias ou aeroportuárias, está ligada principalmente a métodos que tratam o solo com produtos como aditivos ou sem eles, em camadas que são: sub-leito, sub-base, base e até os revestimentos, para fins de suporte de carga de um tráfego futuro que será aplicada sobre o pavimento estabilizado.

Ainda assim, Guimarães (1998), complementa que a estabilização de um solo deve também estar relacionada a fatores como a economia, qual a necessidade do pavimento e seus materiais formadores.

De acordo com Vendruscolo (2003), a estabilização do solo pode-se obter por diversas técnicas, classificadas em três grupos:

- Primeiro grupo: Utilização de técnicas mecânicas com a finalidade de corrigir a granulometria, adicionando ou reduzindo a quantidade de sua composição.
- Segundo grupo: Utilização de meios químicos pela adição de aditivos orgânicos/inorgânicos como: betumes, resinas, cal, cimentos e etc.

Terceiro grupo: Pode-se alterar as propriedades do solo natural através da eletricidade, calor e etc.

O processo de estabilização possui algumas etapas até sua conclusão. A figura 11 exemplifica como é feita.

Figura 11 - Estabilização do solo.



Fonte: <http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2013/02/distribuidor-de-cal-e-cimento.html>. Acesso em 12/04/2020.

Segundo Guimarães (1998), dentre as mais diversas técnicas de estabilização dos solos existentes, a escolha delas, deve-se à fatores como a economia, as características para qual serão utilizadas e os materiais presentes no solo.

2.3.1 Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg fazem alusão diretamente a três limites, sendo eles: Limites de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Limite de contração (LC), com a diferença de umidades que fará a consistência do solo de cada um ser diferenciada. Quando se obtém os valores dos limites de Atterberg, a partir daí, há a capacidade de se saber em relação a umidade natural do solo (U) se esse mesmo solo possa estar: Estado sólido ($U < LC$), Estado viscoso ($U > LL$) ou no Estado plástico ($LP < U < LL$).

O limite de Liquidez é quando sua umidade no solo fecha a fissura com o impacto do equipamento num total de 25 golpes. Esse limite não se dá com exatidão com as tentativas, para isso, é realizado um gráfico onde as abscissas correspondem ao número de golpes e sua ordenada representa a umidade, formando-se uma reta nesses dois pontos, há o valor do limite de liquidez; ressaltando que, um teor de umidade ideal é o que a ranhura se feche com um valor próximo de 25 golpes. A figura 12 demonstra os materiais utilizados para realizar um ensaio de Limite de Liquidez.

Figura 12 - Limite de Liquidez.



Fonte: geotecnia.ufba.br

Limite de Plasticidade (LP) é o limite em que o teor de umidade do solo não confere mais ao estado plástico e passa a ser possível de quebra. Passeia entre duas umidades que transaciona entre estado plástico e semi-sólido do solo, sendo determinado em laboratório em um cilindro de solo aproximável de 3mm de diâmetro e apresentando fissuras. A figura 13 mostra um ensaio de limite de plasticidade.

Figura 13 - Limite de Plasticidade.



Fonte: torresgeotecnia.com.br

2.3.2 Sistema de classificação dos solos

Segundo Caputo (1988), há o Sistema de Classificação do H.R.B, esta classificação dos solos, reúne grupos e subgrupos que leva em consideração a sua granulometria e plasticidade. Se tratando de solos granulares, há os grupos: A-1, A-2, A-3, que são solos que fica retido menos que 35% na peneira #200 mm (0,075 mm). E solos finos, que são: A-4, A-5, A-6, A-7, Solos que passam mais que 35% na peneira #200 mm (0,075 mm).

Caputo (1988), apresenta que, houve a introdução de um índice de grupo (IG) que é um número inteiro equivalente a variação de 0 a 20, esse número define como a definição do que o subleito na fundação possa suportar de um pavimento. Solos ótimos são classificados como o $IG = 0$ e em solos péssimos (que devem ser evitados) o $IG = 20$.

Há a classificação do IG diretamente do tipo de solo:

- Solos granulares – IG variando de 0 a 4;
- Solos siltsosos – IG variando de 1 a 12;

- Solos argilosos – IG variando de 1 a 20;

Esse índice de grupo é determinado através dos limites de Atterberg do solo juntamente com o tipo de material fino que sai da peneira de 200 mm. O valor pode ser obtido através da própria fórmula.

$$IG = 0,2 a + 0,005 ac + 0,01 bd$$

Onde:

a = porcentagem do material que passa na peneira nº 200, menos 35; se a porcentagem é maior do que 75, só se anotar 75 e, se é menor que 35, anotar-se-á O (O a 40);

b porcentagem do material que passa na peneira 200, menos 15; se a porcentagem é maior que 55, só se anotar 55 e, se menor que 15, anotar-se-á O (O a 40);

c - valor do limite de liquidez, menos 40; se o limite de liquidez é maior que 60%, só se anotar 60 e, se menor que 40, escrever-se-á O (O a 20);

d valor do índice de plasticidade, menos 10; se o índice de plasticidade é maior que 30%, só se anotar 30 e, se é menor que 10, anotar-se-á O (O a 20).

2.3.3 Ensaio de CBR

O Índice de Suporte de Califórnia (ISC) dos solos pode ser realizado em laboratório utilizando uma porção de solo para determinar a capacidade do subleito. Esse ensaio é concebido avaliando assim a resistência dos materiais quando colocados à frente de importantes deslocamentos, tratando-se de um ensaio penetrométrico no laboratório.

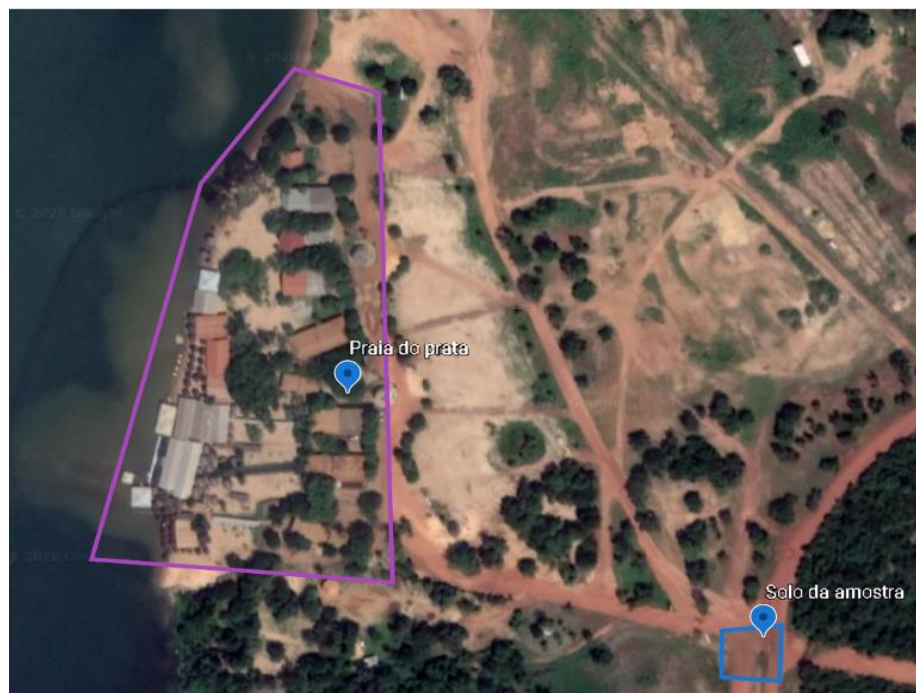
Segundo Bernucci et al., (2006), o ensaio do ISC confere uma resistência que é provocada pela relação indireta da coesão com o ângulo de atrito do material, sendo o ISC visualizado por uma porcentagem entre a pressão necessária para que haja uma inserção do pistão no corpo-de-prova do solo e a pressão que é necessária para o material ser penetrado de forma padrão.

3. METODOLOGIA

3.1 COLETA E PREPARO DA AMOSTRA

O solo utilizado para a realização dos ensaios foi coletado na avenida NS 15, com latitude de 10,2264477 ° e longitude de 48,3692751° na cidade de Palmas, Tocantins. O solo dessa região ainda é pouco ocupado com construções, bem como não tem acesso a pavimentação asfáltica. Essa avenida dá acesso diretamente à Praia do Prata, grifada na figura 14 como referência do estudo e um dos pontos turísticos da capital.

Figura 14 - Local do solo a ser utilizado.



Fonte: Google earth (2020).

Figura 15 - Local de retirada da amostra.



Fonte: Google maps (2020).

O preparo da amostra, foi realizado através a norma ABNT NBR 6457:2016 que discorre sobre os Solos – preparação das amostras para ensaios de caracterização. Toda a amostra foi utilizada seguindo os parâmetros dessa norma, desde a coleta da amostra até a sua preparação para realização dos ensaios, conforme mostra a figura 16.

Figura 16 - Amostra de solo estudada.



Fonte: Autor (2020)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A caracterização do solo foi feita seguindo a norma já mencionada 6457:2016, que regula todos os procedimentos, executando diversos ensaios como: limite de liquidez, limite de plasticidade e ensaio de granulometria. Os ensaios foram realizados nos laboratórios de estruturas e solos do CEULP/ULBRA.

3.2.1 Determinação do Limite de Liquidez

A aparelhagem utilizada na execução do ensaio de determinação do limite de liquidez consiste no aparelho de Casagrande, um cinzel, uma balança

com sensibilidade de 0,01g, uma estufa, recipiente que conserve a umidade da amostra, cápsula de porcelana, espátula flexível com 8 x 2 cm de dimensões, esfera de aço 8 mm de diâmetro, gabarito e peneira 40 mm. Todos esses equipamentos estão disponíveis no laboratório do CEULP/ULBRA.

Figura 17 - Materiais do Limite de Liquidez.



Fonte: Autor (2020)

Execução do ensaio

A amostra foi colocada na cápsula de porcelana e assim sendo homogeneizada com o uso da espátula, adicionando água destilada.

A espátula com o objetivo de se obter a massa em perfeito estado homogêneo, estado esse que terá resultado com um tempo de 15 a 30 minutos, se o solo for argiloso terá um maior intervalo de tempo.

Uma porção da mistura pronta foi colocada dentro da concha. Foi necessário espalhar algumas vezes com a espátula para não criar bolhas de ar. O resto da amostra foi retirada e colocada novamente na cápsula de porcelana.

Utilizou-se o cinzel para fazer uma ranhura (isso a concha na mão do operador) no meio da amostra de maneira perpendicular. Em seguida o processo

de giro da manivela iniciado para golpear a concha com a amostra contra a base do mesmo, com uma velocidade de duas a cada segundo, até se chegar à união das bordas.

Com o auxílio da espátula foi retirada uma parte da amostra de cada lado da ranhura e a colocando no recipiente sem perder umidade, pesando-a e depois levado à estufa e determinar sua umidade.

Após feito esses procedimentos, será retirado o que restou do solo da concha e voltar para a cápsula de porcelana. O intuito do número de golpes foi de ficar entre os intervalos: 35 a 15 golpes.

Resultados

Os dados foram apresentados em gráfico onde no eixo das abcissas estão plotados os números de golpes e no eixo das ordenadas em escala aritmética os teores de umidade. Ajustou-se os teores de umidade em uma reta aproximada aos pelos pontos, após isso, e então obteve-se o valor do limite de liquidez que é o teor de umidade conferido em 25 golpes. O resultado em porcentagem será aproximado para o número inteiro que for mais próximo.

3.2.2 Determinação do Limite de Plasticidade

A aparelhagem que foi utilizada na execução do ensaio de determinação do limite de plasticidade consiste em: cápsula de porcelana de 120 mm de diâmetro, espátula flexível com 8 x 2 cm de dimensões, placa de vidro esmerilhada, cilindro de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, recipiente para guardar amostras sem perder umidade, balança com capacidade de 200g, sensível a 0,01g, estufa e peneira 40 mm. Todos esses equipamentos estão disponíveis no laboratório do CEULP/ULBRA. Os materiais utilizados para o limite de plasticidade estão exibidos na figura 18.

Figura 18 - Materiais do Limite de Plasticidade



Fonte: Autor (2020)

Execução do ensaio

A amostra foi colocada dentro da cápsula de porcelana juntamente com água destilada para se obter uma massa plástica. A água foi adicionada aos poucos e com a espátula foi espalhada até se obter uma massa homogênea, homogeneizada então em um tempo entre 15 e 30 minutos.

Foi separada 10g dessa massa, rolando-a entre os dedos e a placa de vidro com superfície esmerilhada para se obter uma forma de cilindro. Se a amostra se fragmentar e não atingir 3 mm de diâmetro, deve retornar para a capsula e adicionar água para ser homogeneizada novamente. Atingindo os 3 mm de diâmetro, formar novamente o cilindro e verificar com o gabarito se atingiu o diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm, após conferir, fragmentar a amostra e transferir para as cápsulas para determinar a umidade. Realizar esse procedimento pelo menos três vezes e comparar valores.

Realizou-se a média de pelo menos três valores dos teores de umidade e conferir se nenhum deles ultrapassa mais que 5% da respectiva média. Conferido o valor, em porcentagem, aproximar para o próximo número inteiro.

Obs: Não conseguindo o cilindro de 3mm de diâmetro, considerar que a amostra não possui limite de plasticidade.

O índice de plasticidade é obtido pela equação:

$$IP = LL - LP$$

Onde:

IP = índice de plasticidade;

LL = limite de liquidez;

LP = limite de plasticidade.

Deverá ser expresso em porcentagem e arredondado para o número inteiro próximo. Não havendo como obter o LP ou LL, o índice será: NP (não plástico).

3.2.3 Granulometria do solo

A análise granulométrica se trata da obtenção das dimensões das partículas formadoras do solo, sendo assim representadas em um gráfico chamado de curva granulométrica, após a curva gerada, têm-se as propriedades físicas do solo. Foi utilizada a norma segundo a ABNT NBR 7181:2016 Solo – Análise granulométrica, que após o solo preparado segundo a norma 6457:2016 de preparação de amostra, prosseguir assim com os demais processos.

Foi preparada um total de 1 kg da amostra de solo em que foi colocada em na bandeja metálica, verificando-a na figura 19.

Figura 19 - Massa total 1 kg.



Fonte: Autor (2020)

Após a amostra ser colocada na bandeja metálica, foi o momento de sua limpeza, colocando-a assim na peneira de número 200 para que todo o percentual de argila do material fosse descartado, ficando livre. A lavagem da amostra pode ser conferida na figura 20.

Figura 20 - Lavagem da amostra.



Fonte: Autor (2020)

Após a amostra ser limpa, colocou-se novamente na bandeja metálica para assim ser pesada sua massa úmida total, na balança de precisão.

Figura 21 - Massa total úmida.



Fonte: Autor (2020)

Após a pesagem da amostra úmida, foi levado para o laboratório de estruturas, onde há a estufa, para que fosse deixada 24 horas para sua secagem. Passando as 24 horas, pegou-se o material da estufa e colocou para ser pesado novamente e foi aferida sua massa total seca. Como mostra a figura 22.

Figura 22 - Amostra total seca.



Fonte: Autor (2020)

Com a pesagem da amostra seca, deu-se o processo de separar as peneiras para passar todo o material pelas mesmas. O peneiramento foi dividido em peneiramento grosso e peneiramento fino. As peneiras a serem utilizadas em cada um foram:

- Peneiramento Grosso: Peneiras de diâmetro - 9,5, 4,8 e 2,0
- Peneiramento Fino: Peneiras de diâmetro - 1,19, 0,59, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075.

A figura 23 está mostrando as peneiras dos dois tipos de peneiramento que foi feito no ensaio.

Figura 23 - Peneiras para material grossos e finos.



Fonte: Autor (2020)

O peneiramento se iniciou-se forma manual, seguindo pelo material grosso e sendo finalizado pelo material fin. Todas as peneiras foram pesadas seus materiais retidos individualmente para que após todas as pesagens fossem colocadas na tabela criada no excel para ter todos seus valores calculados.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Após realizar os procedimentos de todos os ensaios necessários, o solo foi classificado pelo método H.R.B, método este utilizado para fins rodoviários e decidir qual melhor solo a ser utilizado. A tabela 3 classifica esse método.

Tabela 3 - Sistema de classificação H.R.B.

| Classificação Geral | Solos Granulares ($P_{200} < 35\%$) | | | | | | | Solos Silto-Argilosos ($P_{200} > 35\%$) | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Grupos | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Subgrupos | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5; A-7-6 |
| P_{10} P_{40} P_{200} | <50 <30 <15 | — <50 <25 | — >50 <10 | — — <35 | — — <35 | — — <35 | — — <35 | — — >35 | — — >35 | — — >35 | — — >35 |
| LL IP | — <6 | — <6 | — NP | <40 <10 | >40 <10 | <40 >10 | >40 >10 | <40 <10 | >40 <10 | <40 >10 | >40 >10 |
| Índice de Grupo (IG) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | <4 | <4 | <8 | <12 | <16 | <20 |
| Tipos de material | Fragmentos de pedra, pedregulho e areia | | Areia fina | Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas | | | | Solos siltosos | | Solos argilosos | |
| Classificação como subleito | Excelente a Bom | | | | | Regular a mau | | | | | |

Fonte: Caputo (1988).

3.4 COMPACTAÇÃO SO SOLO

A aparelhagem que foi utilizada na execução da compactação do solo consiste: balanças, uma balança com sensibilidade de 0,01g, uma estufa, recipiente que conserve a umidade da amostra, bandejas metálicas, espátula flexível com 8 x 2 cm de dimensões, régua de aço, cilindro metálico (grande e pequeno), soquete (pequeno e grande), extrator de corpo de prova. Todos esses equipamentos estão disponíveis no laboratório do CEULP/ULBRA.

Foi utilizada a norma segundo a ABNT NBR 7181:2016 Solo – Análise granulométrica, que após o solo preparado segundo a norma 6457:2016 de preparação de amostra, e prosseguindo assim com os demais processos. Foram separadas duas etapas para o ensaio de compactação, sendo elas: A utilização da compactação para moldar os corpos-de-prova e assim serem rompidos e determinar suas capacidades de carga, bem como a moldagem dos corpos-de-prova para a determinação da umidade ótima do solo.

A amostra foi previamente passada pelas peneiras de malha 4,80 mm e 19 mm para a separação do material com pedregulhos. A amostra foi separada em saquinhos com um peso de 5 kg. A determinação da umidade ótima da amostra começou separando os moldes cilíndricos (Proctor) com capacidade de 5 kg cada.

Figura 24 - Materiais para a compactação.



Fonte: Autor (2020)

Após a amostra ter sido separada em cinco saquinhos de 5 kg cada, foi realizado o procedimento de preparação da amostra fazendo o uso de uma bandeja metálica para ser adicionada uma quantidade de água destilada revolvendo a mistura para se chegar a uma umidade ótima. A figura 25 exemplifica o processo de como se deu a homogeneização da amostra.

Figura 25 – Etapa em que se homogeneizou a amostra.



Fonte: Autor (2020)

A mistura após ela ser homogeneizada, inicia-se o processo de compactação da amostra com a aplicação de 26 golpes em cada camada de solo que ia sendo colocada dentro do molde, resultando assim em três camadas. Os golpes foram dados de maneira vertical, ou seja, perpendicular de cima para baixo, socando livremente a amostra dentro do molde. Conforme a figura 26.

Figura 26 - Compactação da amostra.



Fonte: Autor (2020)

Após a compactação, resultou-se na escarificação do material que ficou acima da linha do molde cilíndrico. Foi pesada a amostra (já compactada) para chegar ao resultado da amostra úmida desprezando o peso do molde cilíndrico. Com a pesagem feita, foi realizada a extração do corpo-de-prova para fora do molde, sendo essa extração de forma manual. Após a extração do corpo-de-prova, o mesmo foi destorreado e retirado uma parcela de solo para ser colocado na cápsula e ser levada para a estufa para determinação de sua umidade.

Esse procedimento para a determinação das umidades e por fim resultar na umidade ótimo foi realizado cinco vezes.

Após a determinação das umidades, iniciou-se o processo da etapa de moldagem dos corpos-de-prova com o intuito de compressão. Com a amostra amostra coletada, foram utilizadas as peneiras de malha 4,80 mm e 19 mm para que fossem separadas 5 (cinco) amostras do solo no valor de 2 kg cada, sendo que os saquinhos foram separados: 3 saquinhos com 2g cada para amostras de

compactação do solo natural e 2 saquinhos com 2 kg cada para amostras de solo natural com o incremento da geogrelha.

Deu-se início ao processo de preparação da amostra após está totalmente seca, pegando separadamente cada amostra para serem homogeneizadas. Pegou-se uma bandeja metálica e colocou a amostra de 2 kg sobre a mesma para que fosse homogeneizada. Após a homogeneização, pegou-se um molde cilíndrico para colocar as camadas de solo. As camadas de solo foram um total de 3 seguidas por 26 golpes cada uma para compactá-las. Nas figuras 27 e 28 estão as dimensões dos moldes para a compressão.

Figura 27 - Diâmetro do molde para compressão.



Fonte: Autor (2020)

Figura 28 - Altura do molde para compressão



Fonte: Autor (2020)

Esse processo de preparação da amostra foi feito separadamente começando pela compactação do solo natural, três corpos de provas, e compactação do solo utilizando a geogrelha como reforço, resultando dois corpos de provas.

Após os corpos-de-prova terem sido compactados, foram deixados no laboratório e após curados, foi necessário realizar um recapeamento de uma massa para colocá-lo nivelado, pois estavam em desnível. Como mostra a figura 29.

Figura 29 - Recapeando os corpos-de-prova.



Fonte: Autor (2020)

O recapeamento dos corpos de prova fez-se necessário com o auxílio do técnico de laboratório que aconselhou a ser feito. Esse recapeamento ofereceu simetria e assim colocar cada corpo de prova nivelado para que fosse rompido. Sem o nivelamento dos mesmos, não seria eficaz o rompimento, ou seja, no que tange a resistência não ser aproveitada de maneira satisfatória.

Figura 30 - Resultado dos corpos-de-prova recapeados.



Fonte: Autor (2020)

A compactação que foi realizada para o processo, não necessariamente se tratou do “ensaio de compactação”, haja vista que, o estudo somente acarretou em formar alguns corpos-de-prova compactados para que fossem rompidos e assim ter sua estimativa de quanto suportariam serem comprimidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos seguindo a metodologia empregada através dos ensaios realizados no laboratório de solos do CEULP/ULBRA serão analisados neste capítulo. Os parâmetros para a análise estão ligados ao resultado de suporte de carga do solo com o solo natural e também com o solo reforçado com a geogrelha para fins de comprovação da eficiência do material de reforço.

4.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

O solo presente no local de estudo, localizado próximo a Praia do Prata, se trata de um solo arenoso e fino, tendo poucas quantidades de pedregulhos. Sendo assim, o solo desse local não apresentou um Limite de Liquidez, foram duas tentativas com dosagens diferentes de água destilada para comprovação.

Figura 31 - Preparação da amostra.



Fonte: Autor (2020)

Figura 32 - Primeira tentativa.



Fonte: Autor (2020)

Figura 33 - Segunda tentativa.



Fonte: Autor (2020)

Para esse limite de liquidez foi estipulada uma meta de 5 tentativas se fosse possível determiná-lo, variado de 35 a 15 golpes. A primeira tentativa foi realizada seguindo todo o procedimento do ensaio desde a separação da amostra até o a ranhura do cinzel, sendo que as duas extremidades do solo na concha se fecharam com apenas 11 golpes. Para a comprovação, foi testada a

segunda tentativa em que se acrescentou mais um pouco de água destilada e assim homogeneizada com a espátula. Não houve tanta diferença no resultado, sendo que, na segunda tentativa, a ranhura se fechou com 7 golpes.

Sendo assim, constatou-se que, este solo não possui um limite de liquidez, sendo caracterizado como NP = Não plástico.

4.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

Como o limite de liquidez não pôde ser determinado, o limite de plasticidade também resultaria na mesma situação. Foi realizado todo o procedimento para a determinação do limite de plasticidade para uma tentativa na qual foi falha independente de quantas pudessem ser feitas.

Figura 34 - Massa homogeneizada.



Fonte: Autor (2020)

A proposta dessa determinação foi provar que o solo não possui o limite de plasticidade, então foi colocada uma porção de aproximadamente 10 g da amostra para ser enrolada na placa esmerilhada esperando um cilindro de 3 mm de diâmetro, porém como o solo se trata de um solo arenoso com partículas de siltes, não teve resultado o rolamento entre o atrito da placa e da mão.

Figura 35 - Tentativa de determinar o limite de plasticidade.



Fonte: Autor (2020)

Não foi necessário realizar o ensaio mais de uma vez, haja vista que, o cilindro de 3 mm de diâmetro não teve sucesso em sua formação. Portanto, a amostra não possui um limite de plasticidade.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

A classificação do solo no presente estudo foi realizada por meio do método H.R.B em que este método está ligado diretamente a caracterização do solo através dos índices de consistência e ensaio de granulometria. A resolução da classificação no que tange a granulometria, é analisada os dados do solo que passa nas peneiras de número 10, 40 e 200.

Figura 36 - Classificação H.R.B.

| Classificação Geral | Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200) | | | | | | | Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200) | | | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------|------------|----------------------------------|---------|---------|---------|----------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|---------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 / A-7-6 |
| Peneiração: % que passa: | | | | | | | | | | | |
| Nº 10 | 50 máx. | | | | | | | | | | |
| Nº 40 | 30 máx. | 50 máx. | 51 mín. | | | | | | | | |
| Nº 200 (p) | 15 máx. | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Características da fração que passa nº 40 | | | | | | | | | | | |
| Limite de Liquidez - LL (%) | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de Plasticidade IP (%) | | 6 máx. | NP | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Índice de Grupo | | 0 | 0 | 0 | | 4 máx. | | 8 máx. | 12 máx. | 16 máx. | 20 máx. |
| Materiais que predominam | Pedra Britada pedregulho e areia | | Areia fina | Areia e areia silosa ou argilosa | | | | Solos Siltosos | | Solos argilosos | |
| Comportamento geral como subleito | Excelente a bom | | | | | | | Fraco a pobre | | | |

Fonte: Autor (2020)

Figura 37 - Processo de classificação.

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.

O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se $IP \leq LL - 30$, será A-7-5; Se $IP > LL - 30$, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35) a varia de 0 a 40 e 0,2. a varia de 0 a 8.
 $b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15) b varia de 0 a 40 e 0,01. $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
 $c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40) c varia de 0 a 20 e 0,005. $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
 $d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10) d varia de 0 a 20 e 0,01. $b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{\min.} = 0$ $IG_{\max.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Fonte: Autor (2020)

A classificação do solo analisado foi feita por eliminação dos valores obtidos após o ensaio de granulometria e assim julgando os valores das porcentagens que ficaram retidas nas peneiras 10, 40 e 200. No primeiro caso da verificação, passou-se pelo solo A-1-a em que na peneira de número 10 o máximo de % é 50%, sendo que o solo passou 86,25%, já na peneira de número 40 o máximo era 30%, já o solo passou 40,55%, logo, o solo A-1-a está eliminado da classificação. O solo A-1-b foi começado a ser analisado pela peneira de número 40, em que se passou 40,55%, estando de acordo. A peneira de número 200, o máximo é 25%, passou-se 0,72%, ficando conforme também.

Perante ao explícito, nota-se que o tipo de solo através da classificação rodoviária que atendeu aos resultados dos ensaios do solo em estudo se trata do A-1-b. O solo A-1b é um solo que naturalmente predomina areia média e podendo ser bem graduada, apresentando ligante ou não.

O índice de grupo (IG) foi calculado através do processo de classificação do solo e determinado através dos Limites de Atterberg do solo juntamente com o tipo de material fino que sai da peneira de 200 mm. O valor se deu pelo cálculo abaixo.

$$a = 35 - 35 = 0$$

$$b = 15 - 15 = 0$$

$$c = 40 - 40 = 0$$

$$d = 10 - 10 = 0$$

$$IG = 0,2 \times 0 + 0,005 \times 0 \times 0 + 0,01 \times 0 \times 0$$

$$IG = 0$$

Logo, o resultado do índice de grupo foi evidenciado que o solo em estudo é igual a 0, ou seja, um solo ótimo quanto a capacidade de suporte.

4.4 GRANULOMETRIA

Seguindo a metodologia empregada para o ensaio de granulometria, foi realizado dois tipos de peneiramento, sendo eles: Peneiramento da parte do solo fino e peneiramento da parte do solo grosso. Conferido no quadro 4.

Quadro 4 - Peneiramento do solo.

| PENEIRAMENTO DO SOLO | | | | |
|---------------------------------|---------------|--------------------------|--------------|------------|
| Amostra total seca (g) - Fino | | | | 837,30 |
| Amostra total seca (g) - Grosso | | | | 723,90 |
| Peneiras (Nº) | Diâmetro (mm) | Peso da amostra seca (g) | | % Passante |
| | | Retido (g) | Passante (g) | |
| 10 | 2 | 51,20 | 723,20 | 86,25 |
| 40 | 0,42 | 283,20 | 340 | 40,55 |
| 200 | 0,075 | 28,40 | 6,00 | 0,72 |

Fonte: Autor (2020).

O peneiramento se deu através das peneiras que também são utilizadas para a classificação do solo, sendo seus números: 10, 40 e 200. A peneira de número 10 teve sua porcentagem passante com 86,25%, sendo a peneira de número 10 passante areia grossa. A peneira de número 40 teve sua porcentagem passante de 40,55%, a peneira de número 40 conta com a areia média. Por último a peneira de número 200 com 0,72% passante, passando por ela silte e até argila.

Todas as peneiras utilizadas para a granulometria são mostradas nas tabelas 4 e 5, sendo peneiramento grosso e fino.

Tabela 4 - Peneiramento grosso.

| PENEIRAMENTO GROSSO | | | | |
|-------------------------|---------------|-----------------------|----------|------------|
| Amostra total úmida (g) | | | 996,70 | |
| Amostra total seca (g) | | | 837,30 | |
| Peneira | Diâmetro (mm) | Peso amostra seca (g) | | % Passante |
| | | Retido | Passante | |
| 2" | 50,80 | - | 837,30 | 100,00 |
| 1 1/2" | 38,10 | - | 837,30 | 100,00 |
| 1" | 25,40 | 0,00 | 837,30 | 100,00 |
| 3/4" | 19,00 | 0,00 | 837,30 | 100,00 |
| 3/8" | 9,50 | 18,60 | 818,70 | 97,78 |
| Nº 4 | 4,80 | 45,30 | 773,40 | 92,37 |
| Nº 10 | 2,00 | 51,20 | 722,20 | 86,25 |

Fonte: Autor (2020)

Tabela 5 - Peneiramento fino.

| PENEIRAMENTO FINO | | | | |
|-------------------|---------------|-----------------------|----------|------------|
| Massa úmida (g) | | | - | |
| Massa seca (g) | | | 723,20 | |
| Peneira | Diâmetro (mm) | Peso amostra seca (g) | | % Passante |
| | | Retido | Passante | |
| Nº 16 | 1,19 | 26,30 | 696,90 | 83,12 |
| Nº 30 | 0,59 | 73,70 | 623,20 | 74,33 |
| Nº 40 | 0,42 | 283,20 | 340,00 | 40,55 |
| Nº 50 | 0,25 | 201,70 | 138,30 | 16,49 |
| Nº 100 | 0,15 | 103,90 | 34,40 | 4,10 |
| Nº 200 | 0,075 | 28,40 | 6,00 | 0,72 |

Fonte: Autor (2020)

Após ser realizado o ensaio de granulometria, partiu para a etapa da compactação do solo.

4.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo possui alguns aspectos como: promover um maior contato entre os grãos, deixando a amostra homogênea. O ensaio de compactação no presente estudo foi realizado para que se obtivesse a umidade ótima do solo. Umidade ótimo do solo esta que está ligada diretamente ao seu extremo grau de compactação.

O ensaio realizado foi contando com um tipo de solo, solo este seco previamente e operando os moldes cilíndricos de mesma massa e de mesmo volume, sendo 5370 gramas e 2088 cm³. Por conseguinte, os resultados alcançados podem ser visualizados na tabela criada para o subsidio da compreensão e assim poder gerar o gráfico da curva de compactação. A curva de compactação é a denotação da umidade ótima presente no solo, umidade esta que é uma relação com a massa especifica aparente seca do mesmo.

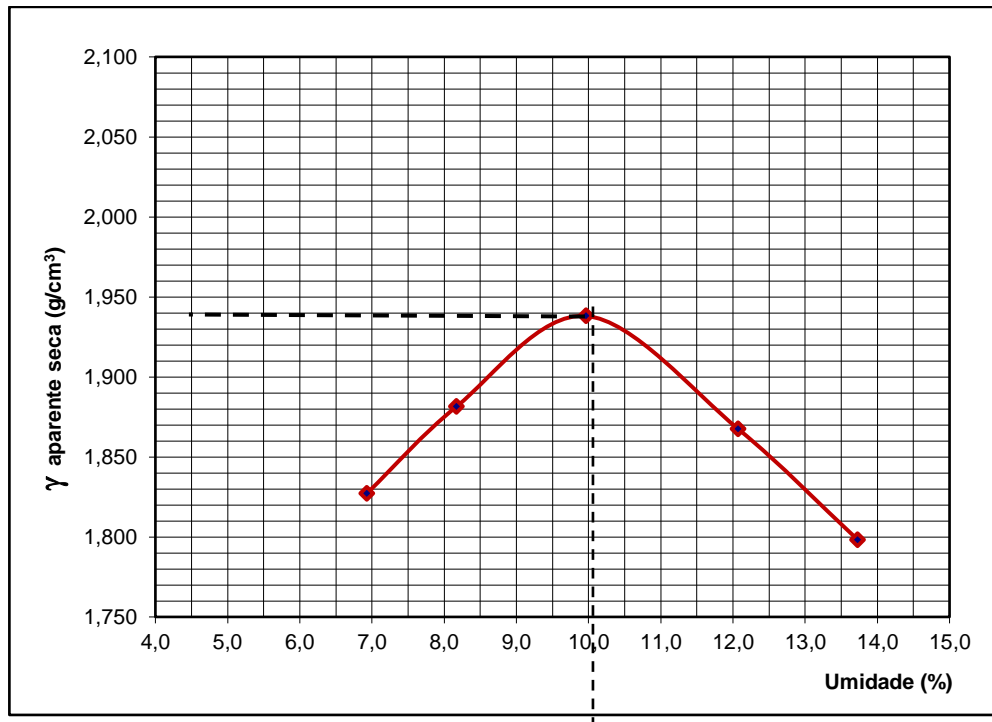
Quadro 5 - Compactação do solo.

| Dados de Compactação dos Corpos de Prova | | | | | | | Material Usado em Cada CP para Homogeneização | | |
|------------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------------------|-------|--------------------|
| Água Adic. | (g) | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | M _{úmida} (g) | | |
| % Água Adic. | (%) | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 14,0 | 5000 | | |
| Umidade Calc. | (%) | 6,9 | 8,2 | 10,0 | 12,1 | 13,7 | Nº | Peso | Volume |
| Nº do Molde | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | # | (cm) | (cm ³) |
| M + S + A | (g) | 9450 | 9620 | 9820 | 9740 | 9640 | 2 | 53670 | 2088 |
| M - Molde | (g) | 5370 | 5370 | 5370 | 5370 | 5370 | 2 | 5370 | 2088 |
| S + A | (g) | 4080 | 4250 | 4450 | 4370 | 4270 | 2 | 5370 | 2088 |
| γ úmida | (g/cm ³) | 1,954 | 2,035 | 2,131 | 2,093 | 2,045 | 2 | 5370 | 2088 |
| γ seca | (g/cm ³) | 1,827 | 1,882 | 1,938 | 1,867 | 1,798 | 2 | 5370 | 2088 |

Fonte: Autor (2020)

Após o quadro ser preenchido com todos os dados do ensaio de compactação, gerou-se a curva de compactação na qual obteve-se a umidade ótima do solo.

Gráfico 1 - Curva de compactação.



Fonte: Autor (2020)

Através do gráfico da curva de compactação, foi obtido os valores da massa específica aparente seca máxima, resultando em um valor de 1940 g/cm³ e a umidade ótima do solo com um valor de 10%. A figura 38 pode-se visualizar o resumo do resultado.

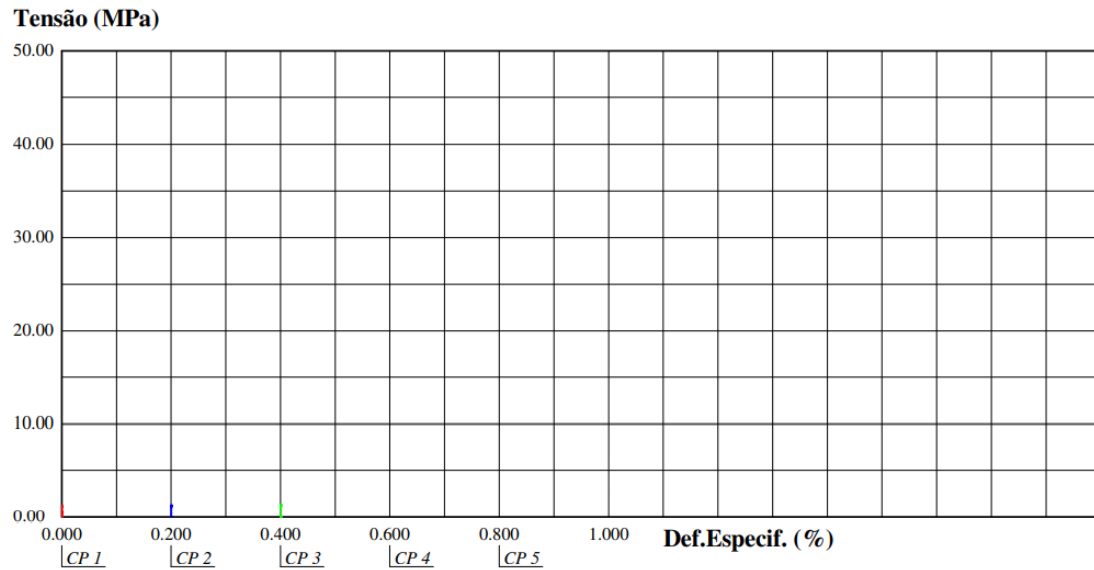
Quadro 6 - Resumo do resultado da compactação.

| Resumo | |
|-----------------------------|-------|
| $\gamma_{s,max}$ (g/cm³) | 1,940 |
| $W_{ótima}$ (%) | 10 |

Fonte: Autor (2020)

O relatório de ensaio proporcionou um gráfico de tensão x deformação das amostras de solo natural, conferido no gráfico 2.

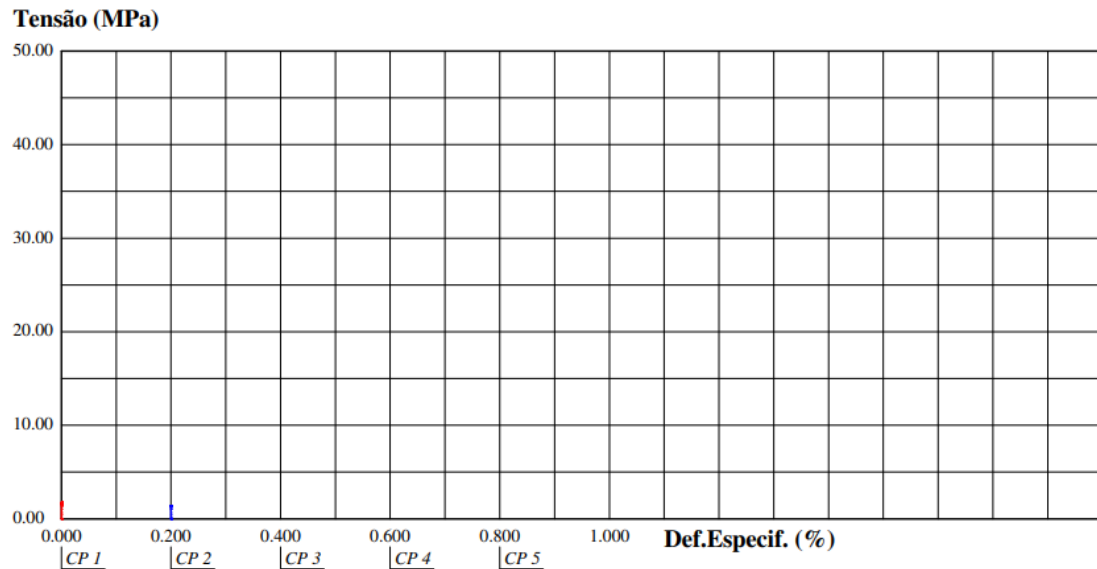
Gráfico 2 - Tensão x Deformação do solo natural.



Fonte: Autor (2020)

Os três corpos de prova foram rompidos e como constou no relatório do ensaio, ocorreu a ruptura no valor de tensão igual a 1.2 MPa para o CP 1, 1.3 MPa para o CP 2 e 1.4 Mpa para o CP 3. O valor do desvio padrão foi de 0,06768 MPa.

Gráfico 3 - Tensão x Deformação do solo com geogrelha.



Fonte: Autor (2020)

Após a compressão axial dos corpos de prova com geogrelha, obteve-se os valores das rupturas em ambos. A ruptura na tensão de 1,8 MPa no CP 1 e uma ruptura na tensão de 1.4 Mpa no CP 2, com um desvio padrão de 0,2584 MPa.

O elemento principal que foi observado se trata da interação do solo com a geogrelha incorporada. A geogrelha que foi utilizada nos corpos de prova foram dispostas de forma aleatória com o que tinha em mãos para os experimentos, logo, essa interação foi de suma importância para que assim os dados obtidos pudessem ser analisados. O começo da análise é observada desde a compactação do solo que foi uma preparação que antecedeu o rompimento do material estudado.

A compactação do solo foi realizada como uma forma de moldagem dos corpos de provas, com uma quantidade de golpes iguais para todas as camadas e por conseguinte para todos os 5 corpos de provas que foram utilizados no decorrer do estudo. Foram três camadas utilizadas em cada corpo de prova e nisso a espessura das mesmas foram iguais, resultando numa boa compactação. A consequência de camadas menores de solo com a parcialidade da camada de geogrelha em cada uma delas, se trata de uma tensão mais elevada quando o solo está recebendo os golpes para ser compactado, pois

cada golpe passa a ocupar uma maior parcela de solo. Vale ressaltar que o molde utilizado se trata de um molde para corpos de provas de concreto, com um diâmetro de 10 cm (pequeno por sinal) em que se fez jus a análise de que os golpes do soquete abrangeu um maior espaço do solo até mesmo do início de sua utilização da primeira camada.

Os resultados da compressão do solo podem ter sido satisfatórios em alguns casos, como por exemplo o caso do solo natural que foi comprimido e sua resistência foi equiparada nos três rompimentos realizados. A diferença não foi brusca, ficando uma diferença tênue entre os três resultados com apenas 0,1 Mpa de diferença. Já o rompimento dos corpos de prova com a incorporação da geogrelha em suas camadas, o segundo corpo de prova não foi satisfatório, ficando com um valor igual ao CP 3 de solo natural.

5. CONCLUSÃO

Perante ao estudo desenvolvido no solo localizado na estrada vicinal em sentido à Praia do Prata, em Palmas, foi constatado que nem em todos os casos é necessário de um reforço. Os geossintéticos são e devem ser uma tecnologia importante no cenário da engenharia civil, principalmente no que tange a área da geotecnia. Essa tecnologia engloba qualidades que são imprescindíveis, como as suas funções, a facilidade de manuseio e adaptação, o custo que é um benefício se comparada com outras técnicas que possuem as mesmas funções.

O solo escolhido se trata de um solo que possui uma grande quantidade de areia grossa e areia média, sendo um solo arenoso, não foi muito difícil encontrar sua umidade ótima que ficou em 10%, bem como a massa específica aparente seca máxima que teve um total de $1,940 \text{ g/cm}^3$. Se tratando de um solo com um grande percentual de areia, logo, suas características remetem a um solo que não é muito vantajoso para a etapa de compressão, no caso estudado o solo teve uma média vantagem a ser reforçado com a geogrelha utilizada. Porém é inegável a funcionalidade da função reforço da geogrelha, pois no primeiro corpo de prova com sua incorporação, deu salto de resistência para 1,8 Mpa.

Neste sentido, torna-se evidente, portanto, que a interação do solo-geogrelha no que tange esse solo estudado, não foi de grandes resultados, pois se tratou de um solo com partículas mais soltas por ter uma grande concentração de areia e uma baixa quantidade de pedregulhos. O tipo de geogrelha é uma forma também de aumentar a resistência do solo quando assim incorporada em suas camadas, logo, geogrelhas de maiores resistências nominais fazem um papel mais eficaz no que tange o suporte de maiores tensões quando os corpos de prova forem rompidos. As geogrelhas utilizadas no presente trabalho foram geogrelhas disponíveis pela coordenação do curso e foram que dispostas de forma aleatória nas camadas, sem uma especificação técnica de sua resistência nominal.

Portanto, os resultados obtidos com esse material não foi tão eficaz para o presente estudo, ressaltando o CP 1 com geogrelha que resultou uma maior

resistência se comparado com o dados obtidos do CP 2 que permaneceu com um valor aproximado com um dos corpos de prova que tinha somente o solo natural compactado. Contudo, observou-se também que, uma boa compactação é indispensável, pois pode ser que até mesmo possa se utilizar geogrelha com uma menor resistência nominal em alguns casos se fora feita de maneira eficiente.

6. REFERÊNCIAS

- ABEDA – Associação Brasileira das Empresas distribuidoras de Asfaltos. **Manual básico de emulsões asfálticas: Soluções para pavimentar sua cidade.** ABEDA, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12770:1992 Solo Coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada.**
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457:2016 - Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459:2016 – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180:2016 – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181:2016 – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182:2016 Solo – Ensaio de compactação.**
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 10318:2013 – Geossintéticos – Termos e definições.** São Paulo: ABNT, 2013.
- ABRAMENTO, M. **Geossintéticos em estruturas de contenção e taludes íngremes. I Curso sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente.** Instituto de Engenharia. São Paulo, p. 32. 1998.
- AGUIAR, Vinícius Roberto de. **Ensaio de rampa para estudo da resistência de interfaces solo-geossintético.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p. il. P.42
- BATISTA, C.F.N. (1976). **Pavimentação.** Editora Globo, volume 2, 2ª edição, Porto Alegre, RS. 336 p.
- BECKER, Leonardo De Bona. **Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em ensaios de arrancamento.** 2006. 322 f. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BENJAMIM, C. V. D. S. **Avaliação Experimental de Protótipos de Estruturas de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

BERNUCCI, Liede Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2008. Cap. 1, & 7. p. 9, 338, 342, 339. 501 p.

BUENO, B. S., **Propriedades, especificações e ensaios**. In: Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Anais... 4., v.1, p. 163-176, Porto Alegre, 2003.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. Propriedades, Ensaios e Normas. In: VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 3, p. 47 - 84.

CAPUTO, H. P. - **Mecânica dos Solos e suas aplicações** – 6ª edição – 1988, Rio de Janeiro, RJ. 234 p.

Carmo, C.A.T.; Costalonga, L.C. D'Ávilla, C.A. Alledi, C.T.D.B. (2011). **Análise de Deformação em um Pavimento Reforçado com Geogrelha**. Anais. Geossintéticos 2011. VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Belo Horizonte, MG.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira e NÚÑEZ, Washington Peres. Projeto de Pesquisa CONCEPA – LAPAV: **Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos flexíveis**. Porto Alegre (2011).

DNIT 165/2013 – EM. **Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2013.

DNIT 172/2016 – **Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2016.

DNIT 2006/2003 – Procedimento, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos (Sic)**. Rio de Janeiro, 2003.

FERREIRA, J. A. Z. **“Estudo de reforço de pavimentos com ensaios de arrancamento em equipamento de pequenas dimensões”**. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FRANÇA, F. C. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI GRADE 81”**. Viçosa: Imprensa Universitária - Universidade Federal de Viçosa, 2003. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Disponível em: . Acesso em: 12/04/2020.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. 1999. Disponível em: . Acesso em: 23 mar. 2020

GUIMARÃES, J.E.P. (1997). A cal – **Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil**. Editora PINI, 1ª edição, São Paulo, SP. 285 p.

[http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA SOLOS.pdf](http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA%20SOLOS.pdf). Acesso em: 12/05/2020

<http://www.geotecnia.ufba.br/?vai=Extens%E3o/Ensaio%20de%20Laborat%E3o/Limites%20de%20Atterberg>. Acesso em: 09 mar. 2020.

<http://www.sptsondagens.com.br/servicos?servico=dimensionamento>. Acesso em: 14 mar. 2020.

<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/limite-de-plasticidade/>. Acesso em: 09 mar. 2020.

<https://geocontract.com.br/Post/65/o-que-sao-e-onde-usar-os-geossinteticos-em-sua-obra>. Acesso em: 08 mar. 2020.

<https://www.plastico.com.br/nao-tecidos-por-dentro-dos-nao-tecidos/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

KOERNER, R.M. (1999). **Projetando com geossintéticos**. 4. ed. Rio Saddle Superior: Prentice-Hall, 1999. 761p.

LIMA, A. T. **Caracterização mecânica de misturas asfálticas recicladas a quente**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2003.

LOTTI, C. L.; BUENO, B. S. Matérias-Primas. In: VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 2, p. 31-46.

NAKAMURA, Juliana. **Pavimentação asfáltica - os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução**.

Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção, São Paulo, ano 2, n.16, jul.2012. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/document/397695961/Pavimentacao-Asfaltica-Revista-Infraestrutura-Urbana>. Acesso em: 20 mar. 2020.

NBR 12553: **Geossintéticos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003

PALMEIRA, E.L, (1990). **Melhoria de Solos**. Publicação GA 001ª/90, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF 225 p.

PEDROSO, E. O. **Estruturas de contenção reforçadas com geossintéticos**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000.

Pereira, I.L; Oliveira, F.H.L; Aguiar, M.F.P. **Estudo da aplicação de geogrelha em reforço de camadas granulares de pavimentos rodoviários**. Congresso Ibero Latino Americano de Asfalto, Medellín (2017).

Perkins, S.W., Christopher, B.R., Thom, N., Montestruque, G., Korkiala-Tanttu, L. and Watn, A. 2010. **Geosyn-thetics in Pavement Reinforcement Applications, Proceedings of the 9th International Geosynthetics Conference**, Vol. 1, pp. 165-192, Guarujá, Brazil, May, 2010.

SENÇO, Wlastemiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1ª ed. São Paulo: 1997 p.27

SILVA, Amanda Helena Marcandali da. **Avaliação do comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero**.2011. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) –Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08072011-160019/pt-br.php>>. Acesso em: 20 marc. 2020.

SILVA, R. G. O. **Notas de aula**, Ouro Branco, 2015. (FOTO DAS CAMADAS PAV FLEXIVEL). Acesso 21/04/2020.

SÓRIA, M. H. A. (1985). **Reflexões lógicas sobre classificação de solos. Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos – SP.

- TUPA, Néstor. **Utilização de geossintéticos para proteção de tubulações pressurizadas enterradas**. 2006. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Acesso em: 11/05/2020.
- VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. Porto Alegre, 2003. 224 p. Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- Vertematti, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. – 2. Ed. - São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 2, p. 36
- VIZCARRA, G. O. C. 2010. **Aplicabilidade de Cinzas de Resíduos Sólido Urbano para Base de Pavimentos**. M.Sc. Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Brasil.
- Wickert, F. (2003). **Fatores de influência no comportamento de camadas anti-reflexão de trincas com geossintéticos**. Dissertação de mestrado, Divisão de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, 158 p.