

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**BÁRBARA HELLEN DA SILVA FERREIRA
THAIANE MOREIRA ELER**

**ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM TERMOS DE
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM TRECHO DA ESTRADA QUE LIGA
CARATINGA/MG AO SEU DISTRITO DOM LARA**

**CARATINGA
2019**

**BÁRBARA HELLEN DA SILVA FERREIRA
THAIANE MOREIRA ELER**

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM TERMOS DE
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM TRECHO DA ESTRADA QUE LIGA
CARATINGA/MG AO SEU DISTRITO DOM LARA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
das Faculdades DOCTUM de Caratinga,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia
Geotécnica

Orientador: Prof. Esp. Thales Leandro de
Moura

CARATINGA

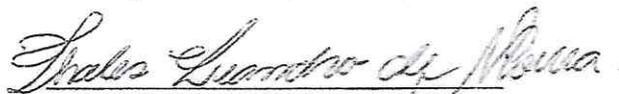
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM TERMOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM TRECHO DA ESTRADA QUE LIGA CARATINGA/MG AO SEU DISTRITO DOM LARA, elaborado pelo(s) aluno(s) BÁRBARA HELLEN DA SILVA FERREIRA e THAIANE MOREIRA ELER foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 02/12/2019



THALES LEANDRO DE MOURA

Prof. Orientador



VINÍCIUS MURILO

Prof. Avaliador 1


JOSÉ SALVADOR ALVES

Prof. Examinador 2

Dedicamos, primeiramente, a Deus, por ser essencial em nossas vidas, autor do nosso destino, nosso guia e socorro na hora da angústia. Aos nossos pais, nossos maiores e melhores orientadores na vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, sem o Seu cuidado eu não teria chegado até aqui.

Aos meus pais, Geraldo Evangelho Ferreira e Ana Isabel da Silva Ferreira, por toda dedicação e esforço, por me apoiarem e por sempre acreditarem em mim.

Ao Professor Thales Leandro de Moura, pelas sugestões, acompanhamento e orientação. Seu auxílio foi essencial!

À minha dupla Thaiane Moreira Eler, gratidão pela amizade, companheirismo e incentivo. Escolheria você como parceira quantas vezes possíveis fossem! Amo nossa sintonia mesmo com todas as diferenças!

A todos os amigos conquistados no decorrer da graduação, vocês fizeram desta caminhada mais leve!

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

“Àquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a ele seja a glória na igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações, para todo o sempre! Amém!” (Ef 3:20,21)

(Bárbara Hellen da Silva Ferreira)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é o único digno de toda honra, toda glória e todo louvor, por me dar a dádiva da vida e por ser o meu socorro nas horas das tribulações.

Aos meus pais, Joacir Emerick Eler e Sandra Alves Moreira Eler, que são meus exemplos, que sonham comigo, aguentam os meus dias tortuosos, abdicam diariamente de si mesmos para investirem em meus caminhos e na minha vida pessoal e profissional, agradeço por tudo! Não há palavras que descrevam o tanto que sou grata e o tamanho do amor que sinto por vocês.

À minha irmã Thaíse Moreira Eler e família, que me apoiaram com pequenas palavras e gestos ao longo do processo.

Minha gratidão também à minha amiga de dupla Bárbara Ferreira por ter sido uma verdadeira companheira e auxiliadora para a concretização desse trabalho desafiador. A cada novo desafio encontrado, pude perceber que fiz a melhor escolha possível de parceira, pois ela deixou mais leve os momentos de desesperos e me fez ser mais grata pelas conquistas obtidas.

Ao nosso orientador Professor Thales Leandro de Moura pelo empenho e paciência dedicados à elaboração deste trabalho.

Aos meus familiares que se preocupam comigo, mas entendem a minha ausência, agradeço por todo carinho e paciência. Aos meus amigos, que são a família que eu tive o privilégio de escolher, minha gratidão por tantos momentos marcantes e importantes para meu desenvolvimento. Um agradecimento especial à minha amiga Maryana Bertholdo pelo seu constante apoio.

Agradeço ainda à minha amada Igreja Presbiteriana Reformada do Brasil, cujos irmãos tanto me incentivaram e intercederam pelas minhas conquistas.

Agradeço também a todos os mestres que me lapidaram com capricho e atenção para que eu chegasse até aqui.

Meu muito obrigada a todos que estiveram presentes e foram meus alicerces para que eu pudesse concretizar essa conquista! Amo muito vocês!

"Grandes coisas fez o Senhor por nós, e por isso estamos alegres." (Sl 126:3)

(Thaiane Moreira Eler)

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
NBR	Normas Brasileiras
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MPa	Megapascal
mm	Milímetro
g	Gramma
kg	Quilograma
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
HRB	<i>Highway Research Board</i>
RCS	Resistência à Compressão Simples
CNT	Confederação Nacional de transporte
ME	Método de Ensaio
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Roldagem
USC	<i>Unified Classification System</i>
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
CP	Cimento Portland
Km	Quilômetro
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
γ_s	Massa específica aparente seca
h _{ót}	Umidade ótima
g	Gramma
cm	Centímetro
Hz	Hertz
N	Newton
m	Metro
tnf	Tonelada força

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo das Rochas	18
Figura 2: Exemplo de curva granulométrica	20
Figura 3: Disposição das camadas de pavimento	28
Figura 4: Tipos de bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas	30
Figura 5: Exemplo de curva de compactação	35
Figura 6: Delineamento do trabalho	37
Figura 7: Localização referente à coleta do solo	39
Figura 8: Amostra levada a estufa para ensaios de caracterização do solo.....	40
Figura 9: Desmanche dos torrões	41
Figura 10: Amostra- Ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.....	41
Figura 11: Mistura de água destilada e solo.....	42
Figura 12: Aspecto da ranhura	43
Figura 13: Fissura no centro de aproximadamente 1 cm	43
Figura 14: Transformação da amostra em pasta homogênea	45
Figura 15: Comparação da amostra com o gabarito	45
Figura 16: Peneiramento	46
Figura 17: Materiais necessários para o desenrolar do Ensaio de Compactação	48
Figura 18: Remoção da mistura com o extrator	49
Figura 19: Corpo de prova cortado verticalmente	49
Figura 20: Mistura solo + água + cimento	51
Figura 21: Compactando as camadas.....	52
Figura 22: Nivelamento do corpo de prova.....	52
Figura 23: Identificação dos corpos de prova	53
Figura 24: Corpos de prova em câmara úmida	53
Figura 25: Corpos de prova imersos em água	54
Figura 26: Medição da altura dos corpos de prova	55
Figura 27: Regularização dos corpos de prova na máquina	56
Figura 28: Amostras retidas em cada peneira.....	57
Figura 29: Amostras retiradas após 24 horas na estufa	60
Figura 30: Classificação do Solo conforme SUCS	61
Figura 31: Classificação Rodoviária da Amostra	62
Figura 32: Corpos de prova moldados e devidamente identificados	65

Figura 33: Corpos de prova rompidos66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Delimitação das frações de solo pelo tamanho dos grãos	19
Tabela 2: Sistema Unificado de Classificação	22
Tabela 3: Características- Sistema Unificado de Classificação de Solos	23
Tabela 4: Classificação dos solos TRB.....	24
Tabela 5: Inter-relação entre TRB e unificada	26
Tabela 6: Principais tipos de Cimento Portland e suas composições.....	27
Tabela 7: Aplicações dos tipos de cimento.....	27
Tabela 8: Teor de cimento- Ensaio de Compactação do solo-cimento.....	33
Tabela 9: Características do solo para utilização	38
Tabela 10: Energia de compactação	48
Tabela 11: Dosagens de cimento e solo e quantidade de corpos de prova.....	50
Tabela 12: Análise Granulométrica.....	58
Tabela 13: Limite de Liquidez	59
Tabela 14: Limite de Plasticidade	60
Tabela 15: Teor ótimo de umidade e Densidade específica aparente máxima	63
Tabela 16: Massa específica aparente e grau de compactação das amostras	64
Tabela 17: Resistência à Compressão Simples	65
Tabela 18: Resistências máximas obtidas para cada mistura de solo-cimento	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica	58
Gráfico 2: Limite de Liquidez.....	59
Gráfico 3: Curva de Compactação	63
Gráfico 4: Resistências à Compressão Simples	67

RESUMO

Para o desenvolvimento de pavimentação de maneira mais econômica, utiliza-se meios de estabilização de solos que buscam aprimorar as propriedades do solo local para que suporte todas as cargas a que está sujeito. Um dos processos que pode ser adotado é o acréscimo de cimento, que em porcentagens maiores denomina-se solo-cimento e possui como uma das suas principais vantagens um aperfeiçoamento na resistência à compressão simples do solo. No presente trabalho, objetivou-se verificar a influência desse aditivo e estabelecer qual a dosagem mínima de cimento para o solo em questão atingir o valor de RCS de 2,1 MPa aos sete dias de cura conforme solicitado pela NBR 12253 (ABNT, 2012). Utilizou-se então de ensaios laboratoriais para caracterização e classificação dos solos, analisando as porcentagens 0%, 5%, 6% e 9% de cimento através da moldagem dos corpos de prova em conformidade com a umidade ótima e submissão dos mesmos ao ensaio de RCS. Constatou-se que o solo possui característica de areia grossa e média tendo presença de material fino bem graduado, pertencendo ao grupo A-1-b, e que ao realizar-se a interpolação dos resultados do ensaio de resistência, a porcentagem mínima que atenderia o 2,1 MPa solicitado seria a de 8,6% de cimento. Concluiu-se ainda que o aumento do teor de cimento propicia um aumento da RCS e da umidade ótima, enquanto provoca uma redução do valor da massa específica aparente seca máxima.

Palavras-chave: Estabilização de solos. Resistência à compressão simples. Solo-cimento.

ABSTRACT

For the development of paving in a more economical way, soil stabilization means are used, which seek to improve the local soil properties so that it supports all the loads to which they are subjected. One of the processes that can be adopted is the addition of cement, which in larger percentages is called soil-cement and has as one of its main advantages an improvement in the simple compressive strength of the soil. In the present work, the objective was to verify the influence of this additive and to establish the minimum cement dosage for the soil in question to reach the RCS value of 2.1 MPa at seven days of cure as requested by NBR 12253 (ABNT, 2012). Laboratory tests were then used to characterize and classify the soil, analyzing the percentages 0%, 5%, 6% and 9% of cement by molding the specimens in accordance with the optimum humidity and submitting them to the soil test RCS. It was found that the soil has a characteristic of a medium and coarse sand with presence of fine graded material, belonging to group A-1-b, and that when performing the interpolation of the results of the resistance test, the minimum percentage which would meet the 2.1 MPa requested would be 8.6% cement. It was also concluded that the increase of cement content increases the RCS and the optimum humidity, while causing a reduction in the maximum dry bulk density.

Keywords: Soil stabilization. Simple compressive strength. Cement soil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivos Gerais	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 Estrutura do trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Solos	18
2.1.1 Ensaios para caracterização dos solos.....	19
2.1.1.1 <i>Análise Granulométrica</i>	19
2.1.1.2 <i>Índices de consistência</i>	20
2.1.2 Caracterização dos solos.....	21
2.1.2.1 <i>Sistema Unificado de Classificação</i>	22
2.1.2.2 <i>Sistema de Classificação Rodoviária- TRB</i>	24
2.1.2.3 <i>Inter-relações entre a classificação TRB e unificada</i>	25
2.2 Cimento	26
2.3 Pavimentação	28
2.3.1 Bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas	29
2.4 Estabilização de solos para pavimentação	31
2.4.1 Estabilização de solo-cimento.....	31
2.4.1.1 <i>Dosagem Solo-Cimento- Método ABNT</i>	33
2.4.1.2 <i>Dosagem Solo-Cimento- Método DNIT</i>	34
2.5 Ensaios para avaliação das propriedades mecânicas	35
2.5.1 Compactação.....	35
2.5.2 Resistência à Compressão Simples	36
3 METODOLOGIA	37
3.1 Introdução	37
3.2 Tipo de pesquisa	38
3.3 Materiais utilizados	38
3.3.1 Solo.....	38
3.3.2 Cimento.....	39
3.3.3 Água	40
3.4 Ensaios laboratoriais	40

3.4.1	Caracterização dos materiais.....	40
3.4.1.1	<i>Determinação do Limite de Liquidez.....</i>	<i>42</i>
3.4.1.2	<i>Limite de Plasticidade.....</i>	<i>44</i>
3.4.1.3	<i>Análise Granulométrica.....</i>	<i>46</i>
3.4.2	Ensaio de Compactação.....	47
3.4.2.1	<i>Determinação dos teores de cimento.....</i>	<i>47</i>
3.4.2.2	<i>Desenvolvimento do ensaio.....</i>	<i>47</i>
3.4.3	Moldagem dos corpos de prova.....	51
3.4.3.1	<i>Desenvolvimento do ensaio.....</i>	<i>51</i>
3.4.3.2	<i>Cura dos corpos de prova.....</i>	<i>53</i>
3.4.4	Ensaio de compressão simples.....	54
3.4.4.1	<i>Procedimento.....</i>	<i>55</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1	Caracterização do solo.....	57
4.1.1	Análise Granulométrica.....	57
4.1.2	Resultado Limite de liquidez.....	59
4.1.3	Resultado Limite de Plasticidade.....	60
4.2	Classificação das amostras do solo.....	61
4.2.1	Sistema Unificado de Classificação dos Solos- SUCS.....	61
4.2.2	Sistema de Classificação Rodoviária TRB/AASHTO.....	61
4.2.3	Inter-relação entre a classificação unificada e classificação rodoviária.....	62
4.3	Ensaio de Compactação.....	62
4.4	Ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo a pesquisa efetuada pela Confederação Nacional de transporte (CNT) feita no ano de 2019, da extensão total de estradas analisadas, apenas 41 % das rodovias estão em bom e/ou ótimo estado de conservação (CNT, 2019).

Somando-se o mapa atual da malha rodoviária brasileira à evolução e crescimento das cidades e o constante aumento da população que gera a necessidade de pavimentação de estradas visando o fácil acesso entre os locais, vê-se a urgência de investimentos em inovações tecnológicas e pesquisas, principalmente em pavimentos econômicos e a utilização desses em estradas vicinais (QUEIROZ, 2017).

Diante disso, um método a ser estudado e analisado sobre seu uso é a estabilização de solos, que, como vantagem sobre os demais processos existentes, trata-se da utilização do solo local, gerando uma economia principalmente com o custo do transporte do material que seria descartado e do material que o substituiria, além de diminuir o impacto ambiental ao se explorar materiais de melhor qualidade (OLIVEIRA, 2011).

Essa estabilização pode ser feita através de diversas formas, podendo ser: mecânica, no que tange à estabilização granulométrica ou com a utilização de diferentes energias de compactação; e a química que se trata do acréscimo de produtos como cal, cimento, materiais asfálticos e demais aditivos. Tais procedimentos têm como principal finalidade aprimorar algumas condições para propiciar o seu uso.

Das diversas técnicas que visam melhorar os atributos do solo, conforme informado por Dias (2012), a utilização do processo estabilização de solos através da adição de cimento vem se tornando mais usual na área da engenharia civil.

Dessa forma, o presente trabalho fundamenta-se na utilização desse processo e visa investigar através de embasamento teórico e análises laboratoriais, o comportamento do material para possíveis camadas de pavimento, focando-se mais nos efeitos do acréscimo desse material em relação a resistência à compressão simples (RCS).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Analisar a resistência à compressão do solo da estrada vicinal entre Caratinga e Dom Lara com adição de cimento em diferentes porcentagens e encontrar a menor porcentagem de cimento para atender os 2,1 MPa solicitados na NBR 12253 (ABNT, 2012) aos sete dias de cura.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir-se o objetivo geral, foram estipulados os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar a caracterização do solo através de ensaios laboratoriais para classificação do solo segundo o Sistema Unificado de Classificação do Solos (SUCS) e através do método de classificação rodoviária *Transportation Research Board* (TRB);
- b) Determinar através da NBR 12253 (ABNT, 2012) qual seria a dosagem indicada conforme a classificação rodoviária do solo e estabelecer quais as demais porcentagens seriam utilizadas como comparação;
- c) Determinar através de interpolação qual seria a porcentagem mínima para que o solo em questão atinja a resistência mínima de 2,1 MPa, conforme estabelecido pela NBR 12253 (ABNT, 2012).

1.2 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Refere-se ao capítulo introdutório onde se apresenta a contextualização, a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Disserta-se sobre os conceitos inerentes a características do solo, cimento, pavimentação, estabilização de solos, focando-se no referente ao solo-cimento, e aos ensaios realizados para análise dessa mistura.

Capítulo 3: Discorre-se nesse capítulo quais os materiais utilizados e as metodologias para os ensaios de caracterização, Compactação e de Resistência à Compressão Simples.

Capítulo 4: Apresenta os resultados encontrados nos ensaios descritos no Capítulo 3 e faz-se uma breve discussão, através de demais trabalhos e com utilização de gráficos e tabelas, definindo-se assim, qual seria a porcentagem adequada para o solo em questão ser utilizado como base de pavimentação.

Capítulo 5: Destinado às conclusões e considerações finais deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos

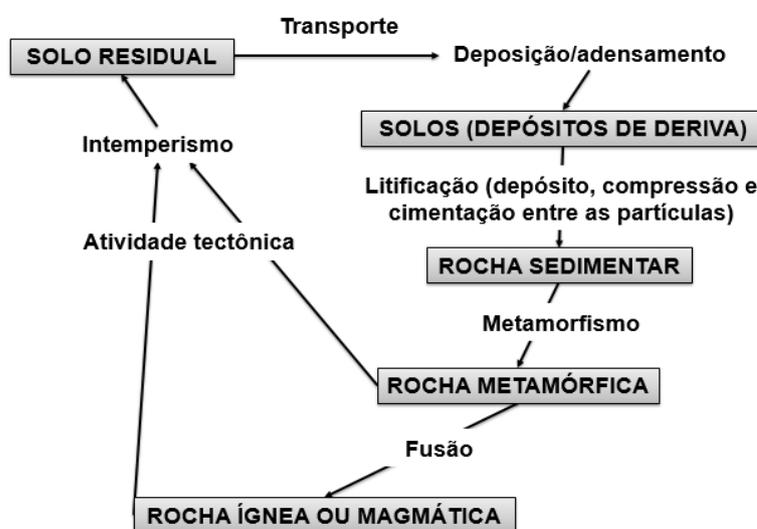
Todas as obras referentes à área da construção civil possuem em sua base o solo, que por se tratar de um material heterogêneo, faz-se necessário conhecer seu comportamento e suas características (PINTO, 2006).

Sobre a formação dos solos, Bertoni e Lombardi (2014) ratificam ainda que acontece pelo processo denominado intemperismo sobre as rochas que ocorrem seja por forças físicas que degradam as rochas ou através das reações químicas que provocam mudanças nos componentes das rochas, ou, até mesmo, por causa de reações minerais e biológicas que aceleram os demais processos.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes- DNIT (2006) estabelece ainda que, em se tratando da origem dos seus componentes, faz-se a separação dos solos em dois grupos: residual, caso o resultado desse intemperismo permaneça no local em que se deu a transformação; transportado, quando os mesmos são carregados através de uma ação qualquer para um local diferente de onde ocorreu sua transformação.

Knapett e Craig (2014), resumem o processo de origem do solo em algumas etapas através da representação do “Ciclo das Rochas”, conforme Figura 1.

Figura 1: Ciclo das Rochas



Fonte: Knapett e Craig (2014)

Caputo (2015) ressalta ainda que os resultados desse ciclo é a formação de pedregulhos e areias, siltes e, em condições especiais, as argilas, que são as partículas menores.

Diante disso, Pinto (2006) afirma que, sob o ponto de vista da área de engenharia, faz-se necessário a classificação dos solos para que seja possível, ao menos, aferir o desempenho do solo ou definir qual o tipo de investigação almejada para definir os mesmos.

2.1.1 Ensaios para caracterização dos solos

Para identificação dos solos e posterior classificação pode-se fazer dois tipos de ensaios: Análise Granulométrica e índices de consistência.

2.1.1.1 Análise Granulométrica

Segundo Pinto (2006), a Análise Granulométrica serve para descoberta do tamanho dos grãos e é decorrente de duas fases: peneiramento e sedimentação, sendo que a primeira fase é limitada pela abertura das peneiras (a menor é de 0,075 mm) e, a segunda fase é empregada quando há a necessidade de análise das porções mais finas. A Tabela 1 aponta qual a delimitação da fração do solo em relação ao dimensionamento dos grãos, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

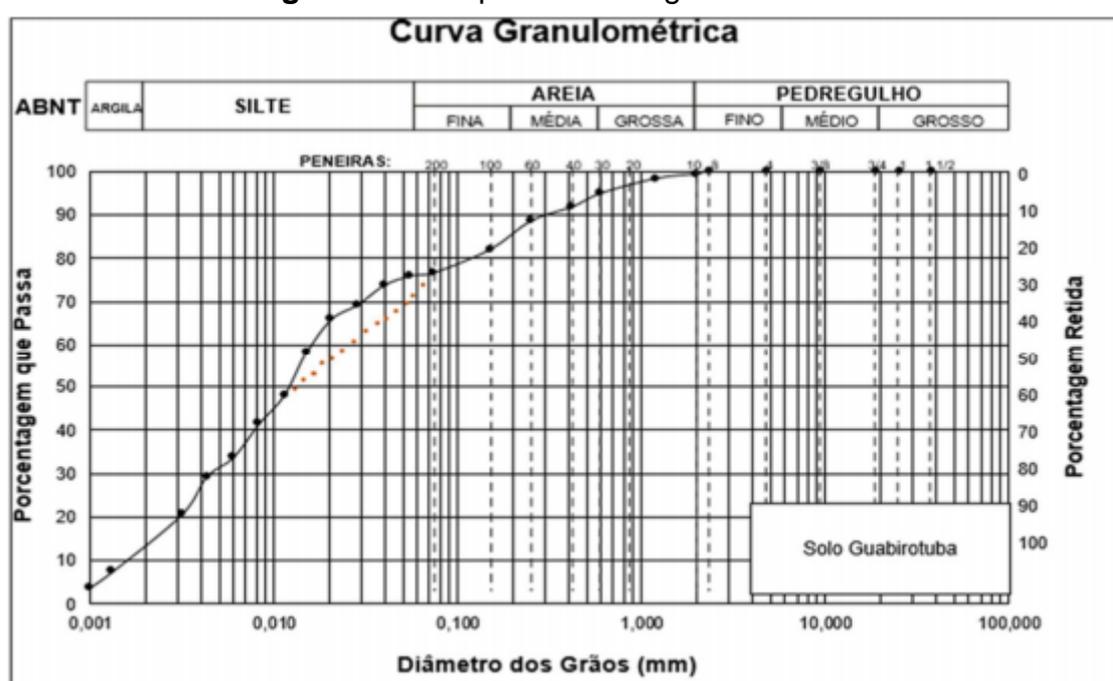
Tabela 1: Delimitação das frações de solo pelo tamanho dos grãos

<i>Fração</i>	<i>Dimensionamento do grão (mm)</i>
Matacão	De 200 a 1000
Pedra de mão	De 60 a 200
Pedregulho	De 2 a 60
Areia grossa	De 0,6 a 2
Areia média	De 0,2 a 0,6
Areia fina	De 0,06 a 0,2
Silte	De 0,002 a 0,06
Argila	Inferior a 0,002

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 1995)

Dias (2012) afirma que essas proporções relativas ao dimensionamento das partículas são apresentadas graficamente pela sua curva granulométrica, conforme se exemplifica na Figura 2, onde o eixo das abscissas, em escala logarítmica, apresenta as dimensões das partículas, enquanto as ordenadas representam as porcentagens passantes nas peneiras determinadas. Esse diagrama representa qual a parte que se trata de partículas finas e ajuda a organizar os solos, pois as curvas se assemelham quando se há composição granulométrica semelhante.

Figura 2: Exemplo de curva granulométrica



Fonte: Sales e colaboradores (2017)

Pinto (2006), entretanto, alerta que essa análise gráfica pode ser feita apenas como um exemplo, pois há variação nos resultados, mesmo que algumas características se mantenham.

2.1.1.2 Índices de consistência

São índices que complementam a Análise Granulométrica para posterior classificação dos solos, pois há um comportamento específico de cada partícula em relação a água e devido à porcentagem de fração da argila, há também uma resposta

diferente dos solos em decorrência das características dos materiais presentes (PINTO, 2006).

Segundo ainda o mesmo autor, para uma análise mais prática e indireta para análise das características do solo em virtude da presença de água, generalizou-se para isso o emprego de ensaios e índices estabelecidos por Atterberg, que sofreu uma atualização através de Arthur Casagrande (PINTO, 2006).

Caputo (2015) afirma que, quando há uma umidade muito alta, o fluido apresenta-se de maneira mais densa (estado líquido) que, conforme vá ocorrendo a evaporação d'água, perde sua fluidez e passa a ser modelado facilmente de maneira que sua forma não se altere, atingindo então, para essa umidade, o seu Limite de Liquidez e transformando-o em um estado agora plástico. Quando há a diminuição desse teor de umidade e como consequência o solo começa a ser desmanchado, descobre-se o Limite de Plasticidade do solo que agora se apresenta em um estado semissólido.

Para a determinação do Limite de Liquidez seguiu-se a normatização constante na NBR 6459 (ABNT, 2016), que visa definir o teor de umidade do solo onde é necessária a aplicação de 25 golpes para se fechar uma fissura em um formato de concha. Para isso, fazem-se diversas tentativas, em diferentes umidades, visando a formação de um gráfico, definindo-se tal valor através da interpolação referente aos “números de golpes x teor de umidade” encontrado conforme NBR 6457 (ABNT, 2016).

Em se tratando do Limite de Plasticidade, a NBR 7180 (ABNT, 2016) normatiza tal ensaio, em que se trata basicamente do menor teor de umidade, descoberto utilizando os parâmetros da NBR 6457 (ABNT, 2016), em que se consegue moldar, através de rolagem com as mãos, a amostra em questão lhe transformando em um formato cilíndrico de aproximadamente 3 mm. Esse ensaio serve apenas para determinação o Índice de Plasticidade que se dá através da subtração desse valor encontrado do valor referente ao Limite de Liquidez.

2.1.2 Caracterização dos solos

Sartori (2015) reforça que como há grande complexidade para caracterizar o solo devido a incontáveis variações, estabeleceu-se uma classificação que busca separá-los em grupos em que apresentam características geotécnicas semelhantes,

sendo que, para cada sistema, há a análise de um determinado aspecto seja de sua textura, origem, aspectos visuais e tátil, dentre outros.

Os principais sistemas para classificação dos solos são o *Unified Classification System (USC)*, conhecido no Brasil como Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), elaborado por Arthur Casagrande, e a Classificação do *Highway Research Board (HRB)* derivada da classificação da *Public Roads Administration (CAPUTO, 2015)*.

Atualmente, a classificação HRB teve sua nomenclatura substituída por *Transportation Research Board (TRB)*.

2.1.2.1 Sistema Unificado de Classificação

Segundo Pinto (2006), trata-se de um sistema que classifica o solo a partir da junção de duas letras, onde a primeira se refere a principal característica do solo, podendo ser: G= pedregulho; S= areia; M= silte; C= argila; O= orgânico.

Em se tratando da segunda letra, Pinto (2006) ainda afirma que elas apresentam características complementares do solo e variam em: W= bem graduado; P= mal graduado; H= alta compressibilidade; L= baixa compressibilidade.

Diante disso, vê-se resumido as propriedades que diferem os variados tipos de solos, conforme Sistema Unificado de Classificação na Tabela 2, enquanto a Tabela 3 apresenta as características de cada grupo.

Tabela 2: Sistema Unificado de Classificação

<i>Características da Análise Granulométrica</i>				<i>Símbolo</i>
GROSSOS (% partículas que passam na peneira #200 < 50%)	PEDREGULHOS (% partículas que passam na peneira #4 < 50%)	% que passa #200<5%	Curva granulométrica bem graduada	GW
			Curva granulométrica mal graduada	GP
		% que passa #200>12%	IP < 4	GM
			4<IP<7	GM-GC
	AREIA (% partículas que passam na peneira #4 > 50%)	% que passa #200<5%	Curva granulométrica bem graduada	SW
			Curva granulométrica mal graduada	SP
		% que passa #200>12%	IP < 4	SM
			4<IP<7	SM-SC
			IP>7	SC

Continua

Continuação

ORGÂNICOS (Pt)	Estrutura fibrosa, cor escura, cheiro, teor de umidade alto, restos vegetais ou animais	
FINOS (% partículas que passam na peneira #200 > 50%)	LL < 50	CL
		OL
		ML
		ML-CL
	LL > 50	OH
		MH
CH		

Fonte: Caputo (2015)

Tabela 3: Características- Sistema Unificado de Classificação de Solos

SOLOS GROSSOS	PEDREGULHOS	SEM FINOS	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
		COM FINOS	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	AREIAS	SEM FINOS	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas com pouco ou nenhum fino.
		COM FINOS	SM	Areias siltosas- Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas- Misturas de areia e argila.
SOLOS FINOS	SILTES E ARGILAS LL ≤ 50	ML	Siltes inorgânicos- Areias muito finas- Areias finas siltosas e argilas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade- Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltes orgânicos- Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES E ARGILAS LL > 50	MH	Siltes- Areias finas ou siltes micáceos- Siltes elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos	PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos	

Fonte: DNIT (2006)

2.1.2.2 Sistema de Classificação Rodoviária- TRB

De acordo com Caputo (2015), na classificação de solos *Transportation Research Board* (TRB) os solos são reunidos em grupos e subgrupos em razão da Análise Granulométrica e seus limites de consistência, sendo subdivididos em “solos granulares” que são os grupos A-1, A-2 e A-3 e em “solos finos” equivalentes a A-4, A-5, A-6 e A-7. Resume-se tal classificação na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação dos solos TRB

Características da Análise Granulométrica		Símbolo	Particularidades	
GROSSOS (% partículas que passam na peneira #200 < 35%)	< 25% passante na #200	< 50% passante na #40	A-1-a	< 15% passante na #200 < 30% passante na #40 < 50% passante na #10 IP < 6%
			A-1-b	< 25% passante na #200 < 50% passante na #40 IP < 6%
		> 50% passante na #40	A-3	< 10% passa na #200 Não plástico
	< 35% passante na #200	Silte IP ≤ 10%	A-2-4	LL ≤ 40%
			A-2-5	LL ≥ 41%
		Argila IP ≥ 11%	A-2-6	LL ≤ 40%
			A-2-7	LL ≥ 41%
SILTO ARGILOSOS (% partículas que passam na peneira #200 > 35%)	Silte IP ≤ 10%	A-4	LL ≤ 40%	
		A-5	LL ≥ 41%	
	Argila IP ≥ 11%	A-6	LL ≤ 40%	
		A-7-5	LL ≥ 41%	
			IP ≤ LL-30 LP ≥ 30%	
		A-7-6	LL ≥ 41%	
		IP ≥ LL-30 LP ≤ 30%		

Fonte: Campos (2006)

O DNIT (2006) lista as principais características dos solos pertencentes a cada grupo em questão:

- a) Solo A-1-a: materiais mais comuns são os fragmentos de pedra ou pedregulhos em que se adiciona ou não uma parte fina bem graduada, que exerce a função de aglomerante.

- b) Solo A-1-b: principal componente desse tipo de solo é a areia grossa que pode conter ou não aglutinante de solo bem graduado.
- c) Solos A-2-4 e A-2-5: grupo ao qual pertencem elementos como pedregulhos e areia grossa, onde a proporção de silte e o Índice de Plasticidade é maior do que os limites estabelecidos para os solos A-1-a e A-1-b e o mesmo para areia fina com silte não plástico que não deve exceder o estabelecido para o grupo A-3.
- d) Solos A-2-6 e A-2-7: compreendem os solos semelhantes aos solos A-2-4 e A-2-5, mas há parte de finos que possuem características de argilas plásticas com semelhança aos grupos A-6 ou A-7.
- e) Solo A-3: abrange elementos como areia fina de praia ou de deserto, limitando a quantidade de silte a um pequeno teor e não plástico, podendo se apresentar também como uma combinação de areia fina mal graduada com pequenas quantidades de areia grossa e pedregulhos.
- f) Solo A-4: pertencem a esse grupo solos relacionados a uma característica siltosa e não plástica ou razoavelmente plástica.
- g) Solo A-5: os solos típicos dessa categoria são semelhantes ao estabelecido para o grupo A-4, entretanto, os mesmos possuem características de diatomáceo ou micáceo, sendo extremamente elástico, resultado do seu elevado Limite de Liquidez.
- h) Solo A-6: solo relativo a este grupo é argiloso e plástico.
- i) Solo A-7-5: materiais com Limite de Plasticidade razoável em comparação ao seu Limite de Liquidez, sendo excessivamente elástico e, por isso, suscetível a notáveis alterações de volumes.
- j) Solo A-7-6: elementos com sobressalência do Índice de Plasticidade em comparação ao Limite de Liquidez, submetendo-se a drásticas alterações de volume.

2.1.2.3 Inter-relações entre a classificação TRB e unificada

O DNIT (2006) apresenta a inter-relação entre a classificação unificada através do exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Inter-relação entre TRB e unificada

<i>Classificação TRB</i>	<i>Classificação Unificada</i>		
	<i>Mais provável</i>	<i>Possível</i>	<i>Possível, mas improvável</i>
A-1-a	GW – GP	SW – SP	GW – SM
A-1-b	SW - SP - GM – SM	GP	-
A-3	SP	-	SW – GP
A-2-4	GM – SM	GC – SC	GW - GP - SW – SP
A-2-5	GM – SM	-	GW - GP - SW – SP
A-2-6	GC – SC	GM – SM	GW - GP - SW – SP
A-2-7	GM - GC - SM – SC	-	GW - GP - SW – SP
A-4	ML – OL	CL - SM - SC	GM – GC
A-5	OH - MG - ML – OL	-	SM – GM
A-6	CL	ML - OL - SC	GC - SM - GC – SC
A-7-5	OH – MH	ML - OL - CH	GM - SM - GC – SC
A-7-6	CH – CL	ML - OL - SC	OH - MH - GC - GM – SM

Fonte: DNIT (2006)

2.2 Cimento

Catarino (2012) afirma que o cimento é material inorgânico fragmentado que se origina devido à cozedura do calcário e da argila. Quando este material se mistura com água, tem-se a formação de uma pasta que se enrijece em decorrência das reações e da hidratação e mantém sua resistência e estabilidade mesmo abaixo da água.

A Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP, 2002) completa ainda declarando que tal material tem clínquer e aditivos como componentes, sendo que o primeiro é o principal elemento e está presente em todos os tipos de cimento, enquanto o segundo é variável e, devido a isso, distingue-se os cimentos. Diante disso, a Tabela 6 apresenta os tipos de cimentos mais comuns e suas composições, enquanto a Tabela 7 apresenta onde aplicá-los.

Tabela 6: Principais tipos de Cimento Portland e suas composições

<i>Cimento portland</i>	<i>Tipo</i>	<i>Clínquer + Gesso (%)</i>	<i>Escória siderúrgica (%)</i>	<i>Material pozolânico (%)</i>	<i>Calcário (%)</i>
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I-S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II-E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II-Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II-F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V- ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: Abraão Jr, Diniz e Tognetti (2015)

Tabela 7: Aplicações dos tipos de cimento

<i>Aplicação</i>	<i>Tipos de Cimento</i>
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Composto, alto-forno e pozolânico
Argamassa de assentamento de azulejo e ladrilhos	Composto e pozolânico
Concreto simples (sem armadura)	Composto, alto-forno e pozolânico
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Composto, alto-forno e pozolânico
Concreto armado (com função estrutural)	Composto, alto-forno, alta resistência inicial e pozolânico
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Composto e alta resistência inicial
Concreto protendido com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Composto, alto-forno, alta resistência inicial e pozolânico
Concreto armado para desforma rápida	Composto, alto-forno, alta resistência inicial e pozolânico
Pavimento de concreto simples ou armado	Composto, alto-forno e pozolânico
Pisos industriais de concreto	Composto, alto-forno, alta resistência inicial e pozolânico
Solo-cimento	Composto, alto-forno e pozolânico

Fonte: Pugliesi (2018)

Para utilização desse material como solo-cimento a NBR 11798 (ABNT, 2012) estabelece: o cimento deve ser guardado em um local específico onde não se corre o

risco de estar sujeito à ação de intempéries ou à ação de algo que possa prejudicar a sua qualidade; quando concedido em sacos, deve-se mantê-lo em seu invólucro original até o seu emprego; e sua armazenagem deve ser feita em pilha de maneira a não se ultrapassar o valor máximo de dez sacos, entretanto pode ser de até quinze sacos, caso o período de armazenagem seja igual ou inferior a quinze dias. Ainda em conformidade com essa norma, os cimentos devem seguir os parâmetros indicados na NBR 16697 (ABNT, 2018).

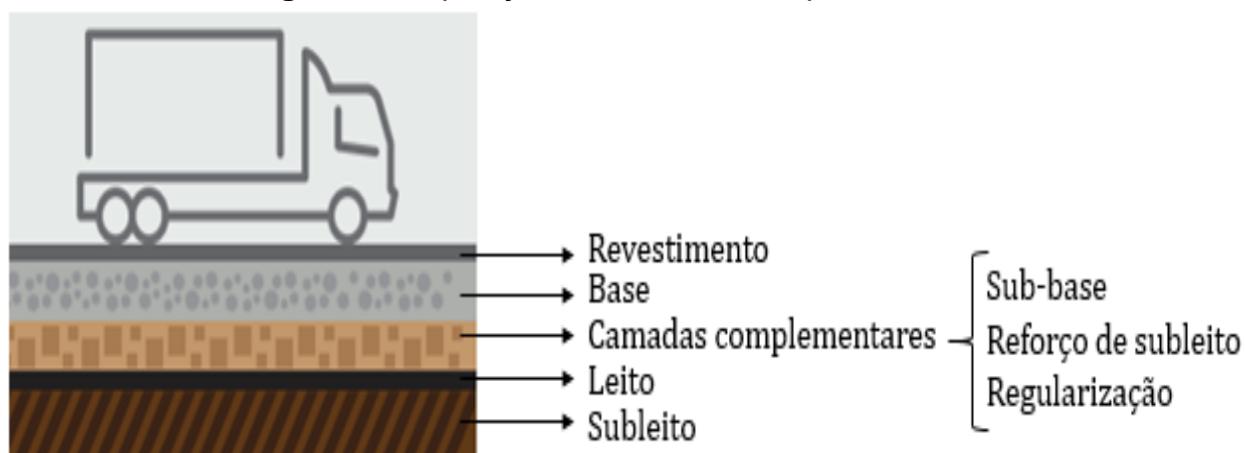
2.3 Pavimentação

O DNIT define pavimentação como sendo uma “superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessura finitas, assentes sobre um semi-espaco considerado teoricamente como infinito - a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito” (DNIT, 2006, pág. 95).

A principal função da pavimentação, segundo Balbo (2007), é proporcionar um tráfego cômodo e seguro, que possuam condições para aguentar quaisquer forças resultantes do tráfego somado as condições climáticas, a um gasto mínimo, o que pode acontecer com a utilização do próprio solo local.

A Figura 3 apresenta uma ilustração das divisões das camadas que compõem o pavimento. Logo abaixo, retrata-se as funções de cada camada conforme estabelecido pela CNT (2019).

Figura 3: Disposição das camadas de pavimento



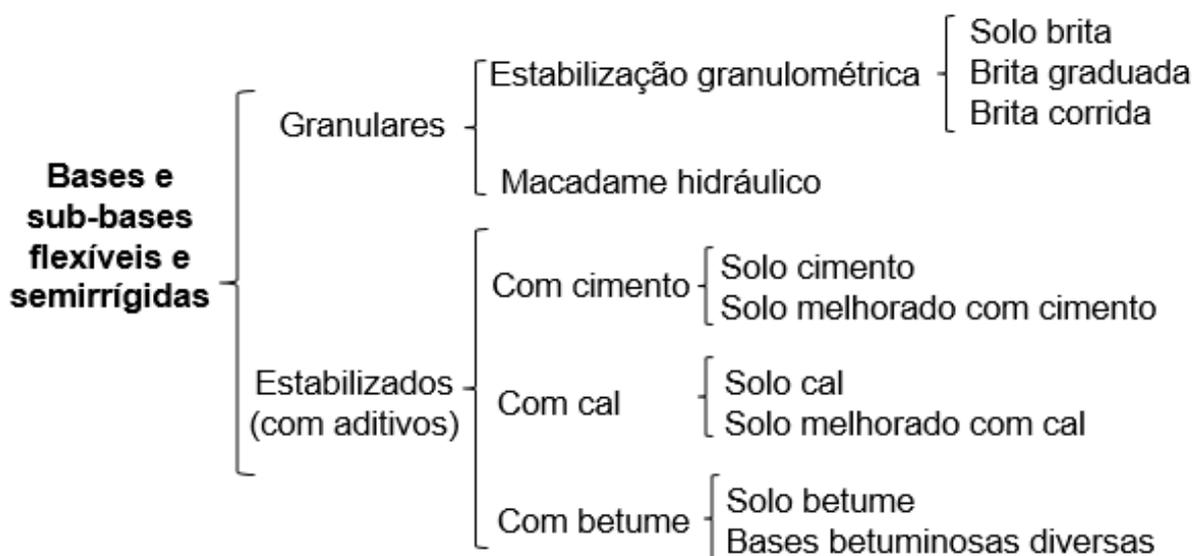
Fonte: CNT (2019)

- a) Revestimento: designado a suportar os esforços do tráfego, deve ser impermeabilizado para evitar a infiltração de água, além de propiciar o conforto e segurança aos usuários. A única camada que pode ser vista pelos transeuntes.
- b) Base: possui o papel de responsabilidade por resistir às ações dos tráfegos, para amenizar as cargas sobre o revestimento e subdividi-las entre as demais camadas;
- c) Sub-base: camada que serve para arrematar a base, e, por isso, possui a mesma funcionalidade da base, entretanto só pode ser utilizada quando não se pode desenvolver o pavimento sobre o subleito ou sobre o reforço de subleito;
- d) Reforço de subleito: parte construída acima do subleito para diminuir as espessuras maiores da sub-base que acontece devido à baixa capacidade do subleito.
- e) Camada de regularização: responsável por consertar as imperfeições decorrentes de falhas na execução do processo de terraplenagem ou de um leito sobre onde atuava uma estrada de terra;
- f) Leito: camada aonde há a passagem do terreno de fundação para o corpo do pavimento;
- g) Subleito: terreno original, e por isso, não deve ser considerado como uma camada.

Diante da variação da possibilidade de se utilizar essas diversas camadas, o DNIT (2006) subdivide pavimentação em três grupos, sendo: flexível, quando todas as camadas absorvem o impacto e se deformam elasticamente na presença de carregamento, sendo feita a distribuição das cargas de maneira igualitária entre as camadas; semirrígido que se trata do resultado de uma base cimentada com algum aglutinante; ou rígido que ocorre quando há um alto enrijecimento do revestimento e, por isso, a concentração da absorção das cargas ocorrem nessa parte do pavimento.

2.3.1 Bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas

O esquema mostrado pela Figura 4 apresenta as divisões de bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas.

Figura 4: Tipos de bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas

Fonte: DNIT (2006)

O DNIT (2006) define cada subdivisão da seguinte maneira:

- a) Estabilização granulométrica: camadas granulares, flexíveis, sendo que essa estabilização acontece através da compactação de um material ou da mistura de diversos materiais.
- b) Macadames hidráulicos: brita especial que após a compressão tem seus vazios ocupados por material de enchimento que pode ser os pós de pedra ou solos específicos.
- c) Solo-cimento: mistura de solo, cimento Portland e água que esteja adequadamente compactada. Porcentagem de cimento varia de 6% a 10%.
- d) Solo melhorado com cimento: adição de cimento variantes entre 2% a 4%, que altera apenas a plasticidade e sensibilidade do solo e, por isso, são consideradas flexíveis.
- e) Solo-cal: junção de cal, água e solo, cuja porcentagem de cal varia entre 5% a 6% e o processo de estabilização se dá através de alteração na plasticidade e sensibilidade à água, carbonatação e pozolanização, sendo que, quando se predominar as duas últimas reações são consideradas semirrígidas.
- f) Solo melhorado com cal: quando há apenas melhoria na plasticidade e sensibilidade à água, considerando-se então como flexível.
- g) Solo-betume: classificada como flexível, pois trata-se da mistura de água, solo e material betuminoso.

- h) Bases betuminosas diversas: propriedades e técnicas semelhantes a revestimentos betuminosos.

2.4 Estabilização de solos para pavimentação

Em se tratando do processo de estabilização de solos, Senço (2001) determina que o mesmo desempenha uma melhoria da resistência dos solos às deformações ou seu rompimento ao desempenhar uma função que dependa dessas suas características seja num pavimento ou em qualquer outra obra.

Oliveira (2011) aponta como uma vantagem desse processo o aproveitamento do solo local, o que evitaria um alto custo de transporte de materiais e impactos ambientais gerados por esse processo.

Silva e colaboradores (2015) complementam ainda que essa melhoria pode ser feita através do acréscimo de outro elemento, complementação com outro solo ou apenas compactação do mesmo.

Os processos mecânicos são a estabilização granulométrica e a variação da energia de compactação, enquanto os químicos são equivalentes ao acréscimo de aditivos como cal, cimento, materiais asfálticos, entre outros (TEIXEIRA, 2014).

Cancian (2013) acrescenta ainda que qualquer um dos processos de estabilização de solo ocasiona: ampliação da adesividade dos grãos do solo, expandindo sua compacidade e também a sua qualidade de resistência; diminui a permeabilidade, visto que, esse processo trata-se do preenchimento de vazios que ocasionam também uma melhoria na sua porosidade e resistência mecânica.

2.4.1 Estabilização de solo-cimento

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2009) determina que a utilização de cimento para pavimentação é feita desde os anos de 1939, quando se deu a fabricação da estrada que liga Caxambu a Areias, onde essa associação se juntou ao DNIT (na época o órgão era chamado de Departamento Nacional de Estradas de Rodagem- DNER). Estima-se que, após isso, no Brasil já tenha sido realizado cerca de 25.000 km de estradas utilizando essa solução.

Teixeira (2014) estabelece que se pode utilizar o Cimento Portland no processo de estabilização química, sendo que, em pequenas quantidades, gera um "Solo

Melhorado”, pois há apenas a redução da plasticidade, enquanto, em grandes quantidades, tem-se como resultado o Solo-cimento que ocasiona uma mistura cimentante e conseqüentemente, um aumento na resistência do solo.

Oliveira (2011) reforça ainda que o cimento concede ao solo certos atributos que podem minimizar sua deformação, propiciar uma curva granulométrica melhor e um endurecimento, cabendo avaliação econômica para seu uso e sua dosagem adequada, pois a partir de certo ponto não haverá muito ganho com o acréscimo de mais porcentagens de cimento.

A ABCP (2009) afirma ainda que, com exceção dos solos orgânicos, qualquer outro tipo de solo pode ser estabilizado, contudo, os solos que possuem de 45 a 50% de areia são os mais pertinentes.

Reforça-se também que a definição do solo a ser utilizado que permite a determinação dos teores dos outros componentes da mistura solo-cimento - água e cimento – objetivando uma base que siga os parâmetros das normas de projeto (SENÇO, 2001).

Frisa-se ainda que solos com uma proporção maior de finos e baixa plasticidade podem ser estabilizados com a adição de cimento, entretanto, será maior a quantidade de cimento a ser adicionado, sendo necessário uma avaliação econômica para tanto (DIAS, 2012).

Em seu trabalho, Abiko (1987) afirma que o processo de endurecimento dessa mistura pode ser resumido em primário e secundário. O primário acontece através da hidratação do cimento que formam aluminatos e silicatos hidratados, já o secundário dá-se por meio da reação com o hidróxido de cálcio.

Como desvantagem desse processo, Almeida (2018) reitera que o resultado dessa mistura solo-cimento está sujeito à retração hidráulica devido à diminuição do teor de umidade ocasionada pela inconstância da temperatura, formando-se então trincas que, ao serem acumuladas, intensifica os danos ao pavimento e o processo erosivo resultando no decréscimo da resistência e na durabilidade da camada em questão.

Segundo Cancian (2013), essa desvantagem pode ser consequência da ausência de conhecimento do solo e das mutações provenientes do acréscimo do Cimento Portland ao solo, em se tratando das suas peculiaridades e desempenho, bem como na dificuldade na definição do tempo correto para aplicação, gerando um desempenho diferente do determinado em laboratório para a encontrada em campo.

Outra particularidade dessa mistura que pode ser considerada um aspecto negativo é que atualmente não há um critério racional para a determinação de porcentagem de solo-cimento, como acontece com o concreto e sim uma definição de um valor mínimo especificado em norma e para análise se o mesmo atenderia o estabelecido, sendo necessário diversos ensaios laboratoriais para análise das suas propriedades mecânicas (VITALI, 2008).

Atualmente, os métodos de dosagem de solo-cimento utilizados para uso rodoviário no Brasil são os parametrizados pela ABNT ou pelo DNIT, que se tratam de abordagens empíricas.

2.4.1.1 Dosagem Solo-Cimento- Método ABNT

O método utilizado para a dosagem analisada no presente trabalho é o normatizado pela NBR 12253 (ABNT, 2012) que pode ser resumido por meio dos seguintes passos:

- I- Após a caracterização dos solos seguindo os parâmetros da NBR 6459 (ABNT,2016), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 7181 (ABNT, 2016), faz-se a classificação do solo conforme TRB (ASTM D 3282), sendo que a presente NBR enquadra apenas os solos A-1, A-2, A-3 e A-4;
- II- A partir dos resultados do primeiro passo, escolhe-se o teor a ser adotado conforme se mostra na Tabela 8;

Tabela 8: Teor de cimento- Ensaio de Compactação do solo-cimento

<i>Classificação do solo segundo</i>	<i>Teor de cimento</i>
<i>a ASTM D 3282</i>	<i>sugerido em massa (%)</i>
A 1-a	5
A 1-b	6
A 2	7
A 3	9
A 4	10

Fonte: NBR 12253 (ABNT, 2012)

- III- Determinação dos valores da umidade ótima e da massa específica máxima através do ensaio de Compactação normatizado pela NBR 12023 (ABNT, 2012);
- IV- Moldagem dos corpos de prova utilizando a dosagem determinada no passo II e com a umidade encontrada no passo III, segundo o estabelecido pela NBR 12024 (ABNT, 2012);
- V- Realização do ensaio de Resistência à Compressão Simples após os corpos de prova serem mantidos durante sete dias em câmara úmida quando então são submetidos à imersão em água pelo período de quatro horas, conforme NBR 12025 (ABNT, 2012).

2.4.1.2 Dosagem Solo-Cimento- Método DNIT

As orientações para a determinação da dosagem de Solo-Cimento estabelecida pelo DNIT podem ser sintetizadas assim:

- I- Caracterização do solo: utiliza-se o preconizado pelos Métodos de Ensaio ME 80 (DNER, 1994), ME 82 (DNER, 1994) e ME 122 (DNER, 1994), para se determinar, respectivamente, a curva granulométrica do solo ou mistura que está sendo averiguada, seu Limite de Plasticidade e Liquidez;
- II- Adoção do teor inicial de cimento;
- III- Ensaio de Compactação parametrizado pela ME 216 (DNER, 1994);
- IV- Faz-se então a moldagem dos corpos de prova cujas orientações estão prescritas no ME 202 (DNER, 1994) que após sete dias e quatro horas de imersão na água, passa-se pela análise de Resistência à Compressão Simples seguindo o informado no ME 201 (DNER, 1994), verificando se o mínimo de 2,1 MPa foi alcançado. Caso negativo, deve-se repetir tal ensaio com uma dosagem maior.

O que difere esse método do padronizado pela NBR 12253 (ABNT, 2012) é que ele estabelece também processos para aproveitamento dos siltes e argilas, tratando-os diferentemente dos solos grossos.

2.5 Ensaios para avaliação das propriedades mecânicas

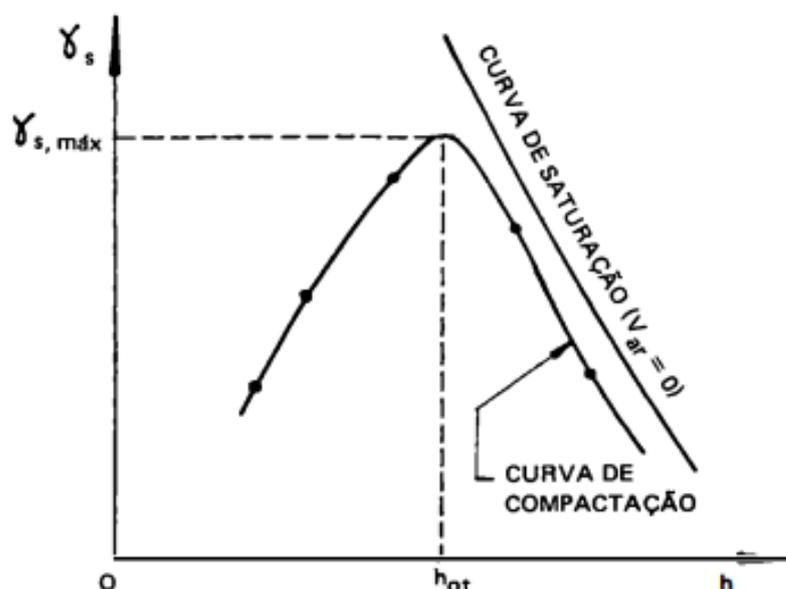
2.5.1 Compactação

Senço (2001) em seu trabalho afirma que deve ser utilizado um teor conveniente de cimento Portland que vai ser combinado com o solo pulverizado e isso deve ser feito mediante ao uso do teor ótimo de umidade que gera uma combinação apropriadamente compactada, alcançando assim a massa específica máxima estabelecida.

Diante disso, faz-se então o ensaio de Compactação que se trata do processo em que uma massa composta por sólido, ar e água, tem seu volume diminuído devido à ação de uma carga que gera a expulsão do ar sem alterações drásticas no volume de água (DIAS, 2012).

Azêvedo (2010) acrescenta que essa porção de água tem efeito lubrificante sobre as partículas do solo, o que possibilita um melhor arranjo onde se tem uma atenuação nos vazios do solo. Ao se chegar à umidade conhecida como “umidade ótima”, atinge-se então a maior densidade do solo, o que pode ser exemplificado na Figura 5, onde o eixo das abscissas representa a umidade ótima, enquanto o eixo das ordenadas mostra os valores referentes à densidade do solo, também apresentada como massa específica aparente seca.

Figura 5: Exemplo de curva de compactação



Fonte: Caputo (2015)

Como relatado pelo DNIT: “com o aumento de compacidade, há um aumento de resistência a cisalhamento, e uma diminuição da deformabilidade” (DNIT, 2006, p. 44).

2.5.2 Resistência à Compressão Simples

Dias (2012) informa que o ensaio de Resistência à Compressão Simples é executado quando há o intuito de avaliar o comportamento mecânico dos solos estabilizados com cimento.

Os trabalhos relacionados a essa utilização, geralmente se tratam do preparo dos corpos de prova da mistura com diferentes teores de cimento para avaliar a influência do mesmo na resistência mecânica ou através da utilização da mesma porcentagem de cimento para diferentes tipos de solo (DIAS, 2012).

Para validação se a dosagem de solo-cimento atende ao requisitado, tanto para a ABNT quanto para o DNIT, aos sete dias de cura a mistura em questão deve apresentar o mínimo de 2,1 MPa.

3 METODOLOGIA

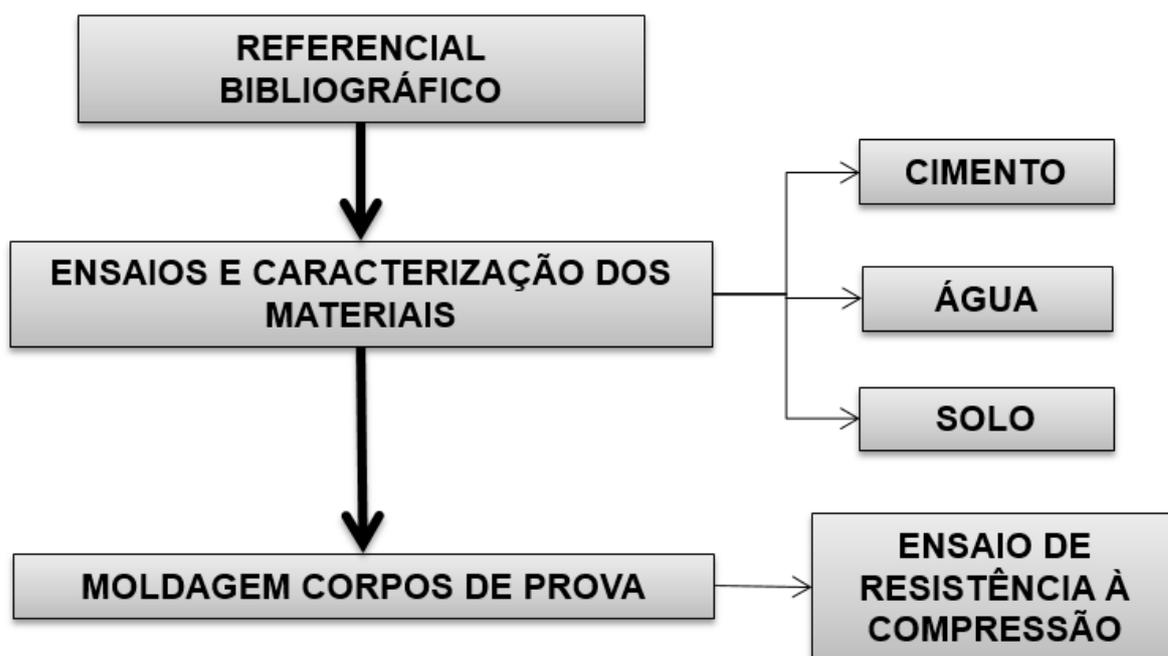
3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as formas de abordagem da pesquisa, através da sua estratégia e de seu delineamento.

O desenvolvimento desse trabalho foi feito em três partes, conforme mostra o delineamento na Figura 6.

- a) A primeira trata-se das análises de referências bibliográficas para melhor direcionamento do tema sugerido que foi apresentado anteriormente no presente trabalho.
- b) A segunda é referente aos ensaios e caracterização dos materiais envolvidos: cimento, água e solo.
- c) A terceira e última parte é constituída por preparos e moldagem dos corpos de prova com as dosagens estabelecidas de cimento, água e solo e posterior rompimento para medida da sua resistência à compressão. No final, descrevem-se quais as porcentagens de água e cimento escolhidas para análise da resistência à compressão e a justificativa para tais decisões.

Figura 6: Delineamento do trabalho



Fonte: Autores (2019)

3.2 Tipo de pesquisa

O termo pesquisa significa um processo racional e sistemático que tem como finalidade apresentar respostas as indagações propostas, sendo que se trata de um processo de diversas fases, começando na formulação do problema e tendo como conclusão a apresentação e discussão dos resultados (GIL, 2007).

Para o desenrolar do presente trabalho, optou-se por uma pesquisa exploratória que, segundo Mattar (2001) tem o intuito de propiciar ao pesquisador um conhecimento mais elevado sobre o assunto ou problema de pesquisa analisado.

3.3 Materiais utilizados

3.3.1 Solo

Por se tratar da maior porcentagem presente na mistura, o solo é o elemento que mais influencia nos resultados. Diante disso, seguindo os parâmetros da NBR 12253 (ABNT, 2012), para que o solo se enquadre nas classificações A1, A2, A3 e A4, que são as subdivisões que são tratadas nessa norma, os solos precisam atender os requisitos apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Características do solo para utilização

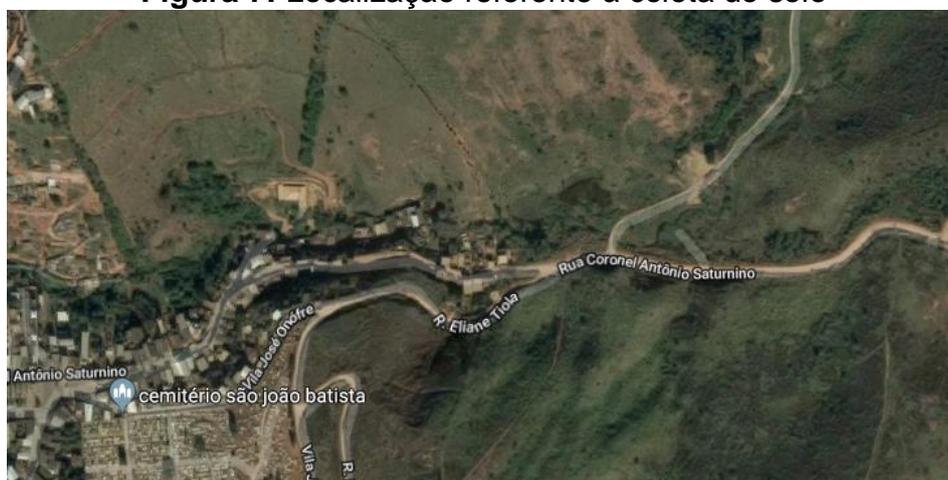
<i>Características</i>	<i>Requisitos (%)</i>
<i>% Passante na peneira de abertura de 76 mm</i>	100
<i>% Retido na peneira de abertura de 4,8 mm</i>	≤ 45

Fonte: NBR 12253 (ABNT, 2012)

Após essa verificação, faz-se necessária a análise do Índice de Plasticidade e do Limite de Liquidez para, segundo a mesma NBR, classificar o solo e definir a dosagem de cimento para o ensaio de Compactação, conforme observado na Tabela 8 apresentada anteriormente.

A amostra de solo foi extraída do desaterro da estrada que liga Caratinga a Dom Lara, sentido Portelinha, conforme explanado na Figura 7.

Figura 7: Localização referente à coleta do solo



Fonte: Google Earth (2019)

Este solo foi escolhido pelo fato de a estrada ser o meio de acesso ao bairro Portelinha e ao distrito de Dom Lara e, também possuir uma proximidade geográfica dos locais de amostragem em relação ao novo Residencial Nova Esperança em Caratinga, que terá como consequência um aumento da trafegabilidade.

Para verificar se o solo atenderia aos requisitos da NBR 12253 (ABNT, 2012), a amostra de solo foi recolhida no seu estado natural com escavações manuais mediante o uso de ferramentas apropriadas para tais, sendo transportada para o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Ensinar Brasil (DOCTUM) através de caixotes plásticos altamente vedados visando erradicar a perda de umidade e das propriedades do solo para realização dos seguintes testes:

- a) Análise Granulométrica;
- b) Limite de Liquidez;
- c) Limite de Plasticidade;
- d) Compactação;
- e) Resistência à Compressão Simples.

3.3.2 Cimento

De acordo com a NBR 11798 (ABNT, 2012), o cimento a ser utilizado deverá atender as especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Os números referentes às Normas Brasileiras Registradas (NBR) vêm estampados nas sacas de cimento. No decorrer da pesquisa utilizou-se apenas um tipo de Cimento Portland CP II - E 32, da marca "Montes Claros". A escolha desse cimento deu-se porque além de ser um dos indicados pela ABCP para utilização com esse objetivo, é o tipo de cimento mais utilizado na região de Caratinga e já foi empregado em estudos semelhante, como o de Teixeira (2014).

3.3.3 Água

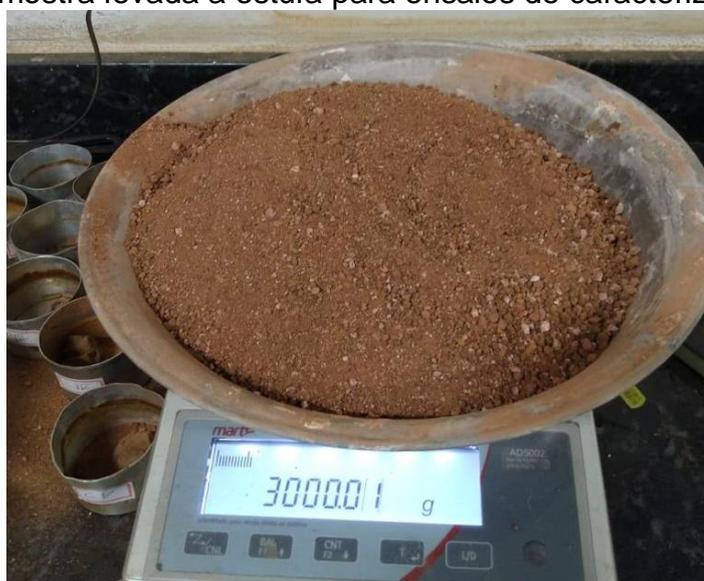
Ainda segundo a NBR 11798 (ABNT, 2012), a água deve estar isenta de toda substância que seja prejudicial à hidratação do cimento.

3.4 Ensaios laboratoriais

3.4.1 Caracterização dos materiais

Para separação e preparo das amostras para caracterização dos solos, utilizou-se como parâmetro o estabelecido pela NBR 6457 (ABNT, 2016). Conforme Figura 8, inicialmente, levou-se uma amostra de 3 kg de solo à estufa, onde ficou por 24 horas. A quantidade de solo foi definida para, caso não houvesse êxito nas primeiras tentativas, os ensaios pudessem ser refeitos.

Figura 8: Amostra levada a estufa para ensaios de caracterização do solo



Fonte: Autores (2019)

Em seguida, seguindo as orientações da NBR 6457 (ABNT, 2016), com a utilização de almofariz e mão de gral, fez-se o desmanche dos torrões, evitando-se a quebra de grãos do solo, visando homogeneizar a amostra, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Desmanche dos torrões



Fonte: Autores (2019)

Para desenvolver os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, emprega-se apenas a parte fina do solo, então, seguindo o estabelecido na NBR 6457 (ABNT, 2012) utilizou-se a peneira 0,42 mm para separar os materiais passantes na mesma, sendo necessária uma amostra de 200 g, conforme mostra a Figura 10, prosseguindo-se então para o início dos ensaios.

Figura 10: Amostra- Ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade



Fonte: Autores (2019)

3.4.1.1 Determinação do Limite de Liquidez

O ensaio de Limite de Liquidez é feito para determinar qual a umidade limite do solo até ele ter comportamento plástico.

Para o desenrolar deste processo, utiliza-se como base a NBR 6459 (ABNT, 2016), aonde orienta separar apenas metade da amostra passante na peneira de 0,42 mm, assim totalizando 100 g de amostra.

Consequente a essa separação, fez-se a adição de água destilada para, com a ajuda de uma espátula de lâmina flexível, transformar a amostra em uma pasta homogênea como mostrado na Figura 11.

Figura 11: Mistura de água destilada e solo



Fonte: Autores (2019)

Inicialmente, buscou-se como parâmetro de acréscimo de água, uma amostra para que, ao ser realizado o processo de Casagrande, fosse necessária a aplicação de aproximadamente 35 golpes visando a união das bordas inferiores da ranhura ao longo de 13 mm de comprimento aproximadamente, conforme exemplificado na Figura 12.

Figura 12: Aspecto da ranhura

Fonte: ABNT NBR 6459 (2016)

Em seguida, transferiu-se a pasta ao aparelho Casagrande em quantidade suficiente para atingir uma altura de aproximadamente 10 mm. Com auxílio do cinzel, verificou-se se a mesma foi alcançada. Após este procedimento, com o auxílio de outro tipo de cinzel, dividiu-se a massa do solo em duas partes de modo que fosse gerado uma fissura no centro da concha de aproximadamente 1 cm (Figura 13). Iniciou-se, então, o ensaio deixando cair em queda livre a concha no aparelho, golpeando assim contra base, de maneira que fosse feito a uma constância de duas voltas por segundo.

Figura 13: Fissura no centro de aproximadamente 1 cm

Fonte: Autores (2019)

Com o auxílio da espátula flexível, após a junção das bordas inferiores, seguindo o especificado na norma NBR 6459 (ABNT, 2016), retirou-se uma pequena parte da amostra no exato ponto em que acontece a união das bordas e levou-se para uma cápsula colocando, conseguinte, a uma estufa por 24 horas a uma temperatura constante de 105° C a 110°C para que fosse feita a análise da umidade conforme NBR 6457 (ABNT, 2016), fazendo o cálculo apresentado na Equação 1 abaixo:

$$w = \frac{M1-M2}{M2-M3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W= Teor de umidade expresso em %

M1= Massa do solo úmido + Massa do recipiente expresso em g

M2= Massa do solo seco + Massa do recipiente expresso em g

M3= Massa do recipiente expresso em g

Repetiu-se tais procedimentos quatro vezes de modo a se conseguir pelo menos mais três pontos de ensaio que atinjam o intervalo de 35 a 15 golpes.

Com os resultados da verificação da umidade, construiu-se um gráfico para, através de interpolação, definir-se qual o teor de umidade aos 25 golpes, descobrindo-se então o valor referente ao Limite de Liquidez.

3.4.1.2 Limite de Plasticidade

Segundo Caputo (2015), a plasticidade trata-se da propriedade referente a capacidade do solo em ser moldado, em determinado teor de umidade, sem haver nenhuma alteração em seu volume. O ensaio de Limite de Plasticidade serve, então, para a determinação do teor de umidade limite entre o estado plástico do solo e o estado semissólido.

Para desenvolvimento deste ensaio, seguiram-se os parâmetros da NBR 7180 (ABNT, 2016) que prescreve a metodologia para a definição do Limite de Plasticidade e o Índice de Plasticidade do solo, sendo que o último se trata apenas da subtração do valor do Limite de Plasticidade do valor encontrado para o Limite de Liquidez.

Para realização do ensaio, utilizou-se a outra metade restante da amostra passante pela peneira 0,42 mm, adicionando-a na cápsula de porcelana e acrescentando-se a água destilada em pequenas quantidades, misturando-se de modo a atingir uma pasta homogênea, conforme Figura 14.

Figura 14: Transformação da amostra em pasta homogênea



Fonte: Autores (2019)

Após, pegou-se uma amostra de aproximadamente 10 g em um formato de bola que foi rolada sobre um vidro de maneira a atingir um diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm sem se fragmentar, averiguando com o gabarito de comparação, como se verifica na Figura 15. Caso acontecesse alguma fragmentação, a amostra era devolvida e havia o acréscimo de água destilada.

Figura 15: Comparação da amostra com o gabarito



Fonte: Autores (2019)

Depois de atender ao estabelecido pela norma, coloca-se a mesma dentro da estufa que tem a temperatura variada em 105°C e 110°C por 24 horas para ser avaliado o teor de umidade, conforme estipulado pela NBR 6457 (ABNT,2016).

Repetiu-se tal procedimento por mais quatro vezes, fazendo, posteriormente, uma média dos valores, determinando, assim, o Limite de Plasticidade.

3.4.1.3 *Análise Granulométrica*

Caputo (2015) estabelece que o processo de Análise Granulométrica é o responsável pela definição dos tamanhos e proporções dos elementos que compõem o solo.

Para esse fim, utilizou-se então a norma ABNT NBR 7181 (ABNT, 2016) através do peneiramento, que se trata da análise da parte grosseira do solo. Como pode ser verificado na Figura 16, separou-se as peneiras com as malhas de: 4,75mm, 2mm, 1,18mm, 0,425mm, 0,3mm, 0,15mm e 0,075mm, para classificação do tipo de solo.

Figura 16: Peneiramento



Fonte: Autores (2019)

Foi separado um quilograma e meio da amostra que foi levada à estufa durante 24 horas, fazendo a pesagem da mesma com a devida cautela e houve o acréscimo da tampa de modo a evitar perdas da amostragem.

Não há nenhum estabelecimento da norma em relação ao tempo e frequência do aparelho, então, deixou-se a mesma a uma frequência de 5 Hz durante cinco minutos. Após, fez-se a devida pesagem dos materiais retidos em cada peneira para que, assim, fosse feito o gráfico da curva granulométrica.

3.4.2 Ensaio de Compactação

3.4.2.1 *Determinação dos teores de cimento*

Após a realização dos ensaios de caracterização, seguiram-se os procedimentos de dosagens estabelecidos na NBR 12253 (ABNT, 2012), conforme Tabela 8 do presente trabalho.

Estabeleceu-se então que o solo escolhido é o solo tipo A-1 b e, por isso, a quantidade adequada de cimento capaz de estabilizar o mesmo é a de 6% em massa do solo seco.

Como um efeito comparativo, fez-se tal ensaio também para as porcentagens de 0% (solo puro), 5% (mínima estipulada pela norma) e 9%, pois este ensaio serve para definição da umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para a posterior moldagem dos corpos de prova para análise da resistência à compressão.

3.4.2.2 *Desenvolvimento do ensaio*

O solo escolhido ficou exposto ao ar até que a umidade higroscópica fosse atingida. Posterior a este processo, separou-se uma amostra de 3 kg passante integralmente a peneira 4,8 mm, seguindo então, o método de Ensaio “A” da NBR 12023 (ABNT, 2012).

Adicionou-se, então, a água potável de maneira que a mesma ficasse próxima à umidade ótima prevista e misturou-se visando uma uniformidade. Após, fez-se a montagem dos equipamentos necessários (Figura 17), colocando em seu fundo um papel-filtro de diâmetro similar ao equipamento para evitar a aderência do solo à base do molde cilíndrico.

Figura 17: Materiais necessários para o desenrolar do Ensaio de Compactação

Fonte: Autores (2019)

A energia utilizada para o ensaio é a energia normal que pode ser obtida conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Energia de compactação

<i>Cilindro</i>	<i>Características inerentes à energia de compactação</i>	<i>Energia normal</i>
	<i>soquete</i>	<i>Pequeno</i>
<i>Pequeno</i>	<i>número de camadas</i>	3
	<i>número de golpes por camada</i>	26

Fonte: NBR 12023 (ABNT, 2012)

Consequente, retirou-se do cilindro complementar o material remanescente com o auxílio de uma régua biselada de modo a obter uma superfície mais nivelada possível que não ultrapasse 1 cm, sendo feito, a pesagem da massa do conjunto molde mais amostra compactada seguido da remoção do molde através do extrator (Figura 18).

Figura 18: Remoção da mistura com o extrator



Fonte: Autores (2019)

Depois disso, conforme apresentado na Figura 19, cortou-se o molde ao meio no sentido vertical, retirou-se uma amostra de aproximadamente 80 g de uma das metades do corpo de prova em questão e a levou para a estufa a uma temperatura de 105°C a 110°C para determinação do teor de umidade. A amostra não levada à estufa foi destorroada completamente para ser aproveitada para os demais teores de umidade.

Figura 19: Corpo de prova cortado verticalmente



Fonte: Autores (2019)

A partir do primeiro corpo de prova foram adicionados teores de água aos poucos para que se obtivesse quatro variações no teor de umidade, estabelecendo assim a curva de compactação onde o eixo das abscissas apresenta o teor de umidade encontrado calculado conforme a Equação 1, apresentada no subitem 3.4.1.1 e o eixo das ordenadas representa os valores encontrados para massa específica aparente seca da amostra compactada que pode ser calculada utilizando a Equação 2 que se segue:

$$\gamma_s = \frac{Mh \times 100}{V(100 + h)} \quad (2)$$

Na qual:

γ_s = Massa específica aparente seca da amostra compactada, em kg/m³ ou g/m³

Mh = Massa da amostra compactada em, kg ou g

V = Volume do molde, em m³ ou cm³

h = teor de umidade da amostra compactada, em %

Todos os procedimentos mencionados foram repetidos para as dosagens de cimento pré-estabelecidas, sendo que o mesmo deve ser adicionado ao solo ainda seco.

A Tabela 11 resume as dosagens de cimento em massa para cada porcentagem analisada em relação à amostra de 3000 gramas do solo em questão. Para uma melhor definição da curva de compactação, estipulou-se que seriam verificados cinco corpos de prova para cada variação.

Tabela 11: Dosagens de cimento e solo e quantidade de corpos de prova

<i>Dosagem de cimento (%)</i>	<i>Massa do solo (g)</i>	<i>Massa do cimento (g)</i>	<i>Quantidade corpo de prova</i>
0		0	
5	3000	150	5
6		180	
9		270	

Fonte: Autores (2019)

3.4.3 Moldagem dos corpos de prova

3.4.3.1 Desenvolvimento do ensaio

Após a execução dos ensaios de compactação, e feito a verificação do teor de umidade ótimo e a massa específica aparente seca, seguiram-se os procedimentos para a moldagem dos corpos de prova, utilizando como parâmetro a NBR 12024 (ABNT, 2012).

Posteriormente, feita a secagem higroscópica e o destorroamento do solo, separou-se com o auxílio de um repartidor uma amostra passante a peneira 4,8 mm para moldagem de três corpos de prova, para o solo puro e para cada dosagem em massa determinada conforme item 3.4.2.1, preparada de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016).

Consequente, adicionou-se à amostra de solo a quantidade de cimento especificada, assim misturando o conjunto solo e cimento até obter uma coloração uniforme em toda massa. Adicionou-se então, gradualmente, água até que se atinja a umidade ótima com o acréscimo de 0,5 a 1,0 ponto percentual com intuito de compensar a perda de água por evaporação, visando a mesclagem dos materiais a fim de atingir uma mistura homogênea (Figura 20).

Figura 20: Mistura solo + água + cimento



Fonte: Autores (2019)

Após a formação de uma pasta homogênea, utilizou-se para a moldagem dos corpos de prova os aparelhos já apresentados na Figura 17.

A mistura úmida deve ser colocada em um molde cilíndrico, de maneira a se fazer três camadas diferentes, e cada uma compactada no interior do molde sendo golpeada 26 vezes com o auxílio de um soquete, conforme Figura 21.

Figura 21: Compactando as camadas



Fonte: Autores (2019)

Depois de feito tal procedimento para segunda camada, fez-se a remoção de uma amostragem de aproximadamente 80 g para determinar o teor de umidade, e consecutivamente realizou-se a compactação para terceira e última camada.

Após concluída a moldagem, retirou-se o cilindro complementar, a fim de que o excesso de material não ultrapassasse 10 mm. Posteriormente, nivelou-se o topo do corpo de prova, segundo a Figura 22, de modo a atingir uma superfície horizontal plana com a borda superior do molde.

Figura 22: Nivelamento do corpo de prova



Fonte: Autores (2019)

Depois da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram retirados do molde cilíndrico com o auxílio de um extrator como na Figura 17 e identificados, conforme Figura 23.

Figura 23: Identificação dos corpos de prova



Fonte: Autores (2019)

3.4.3.2 Cura dos corpos de prova

Como se verifica na Figura 24, assim que moldados, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida sob a temperatura $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ e umidade relativa do ar não inferior a 95%, de acordo com a NBR 12024 (ABNT, 2012).

Figura 24: Corpos de prova em câmara úmida



Fonte: Autores (2019)

Segundo a NBR 12024 (ABNT, 2012) o período de cura para fins exclusivos de dosagem de solo-cimento, deve ser, obrigatoriamente, de sete dias, podendo ser considerada a análise de outras idades para controle de obra, pesquisas, ensaios específicos e outros.

Para os corpos de prova se tornarem aptos a ensaios precisou-se de ter a relação porcentual entre a massa específica aparente seca alcançada na moldagem do corpo de prova, e a massa específica aparente máxima obtida no ensaio de Compactação, entre 98% e 102%, enquanto a umidade de moldagem esteve-se no intervalo de $\pm 0,5$ ponto porcentual em torno da umidade ótima.

3.4.4 Ensaio de compressão simples

Segundo a NBR 12025 (ABNT, 2012), que determina os critérios para a definição de compressão simples de corpos de prova cilíndricos, a máquina utilizada para a realização dos ensaios deve ter capacidade suficiente, que possibilite a aplicação de carga uniformemente distribuída à peça ensaiada e sem choques. Essa máquina exerce uma força de compressão sobre o corpo de prova de forma que ele venha a se romper.

Posteriormente ao período de cura especificado pela NBR 12024 (ABNT, 2012), os corpos de prova foram imersos em água por quatro horas (Figura 25).

Figura 25: Corpos de prova imersos em água



Fonte: Autores (2019)

Consequente, retiraram-se os mesmos da água, fazendo-se sua secagem imediatamente com o auxílio de um tecido de material absorvente para serem levados à máquina para execução do ensaio de compressão simples. Fez-se então a medida da altura e diâmetro dos corpos de prova, conforme Figura 26.

Figura 26: Medição da altura dos corpos de prova



Fonte: Autores (2019)

3.4.4.1 Procedimento

Com o intuito de minimizar algum impacto ocasionado por ausência de nivelamento entre os pratos e a prensa, os topos dos corpos de prova foram preparados de maneira a estarem planos e lisos. Assim, colocou-se o corpo de prova sobre o prato inferior da prensa de modo que ficasse alinhado com o eixo vertical da máquina fazendo com que a carga aplicada fosse distribuída gradualmente sobre o corpo de prova como consta na Figura 27.

Figura 27: Regularização dos corpos de prova na máquina



Fonte: Autores (2019)

Para aplicação da força, buscou-se uma velocidade constante e aproximada a 1mm/min, sendo que, quando o ponteiro de carregamento fosse 10% da carga extrema alcançada, tal aplicação seria suspensa.

De acordo com a NBR 12025 (ABNT, 2012) para a validação do ensaio de compressão simples é necessário ter a área da base e altura capeada, carga máxima atingida com precisão de 50 N, tensão de ruptura à compressão expressa com aproximação 0,01 MPa, idade do corpo de prova e condições de cura e imersão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

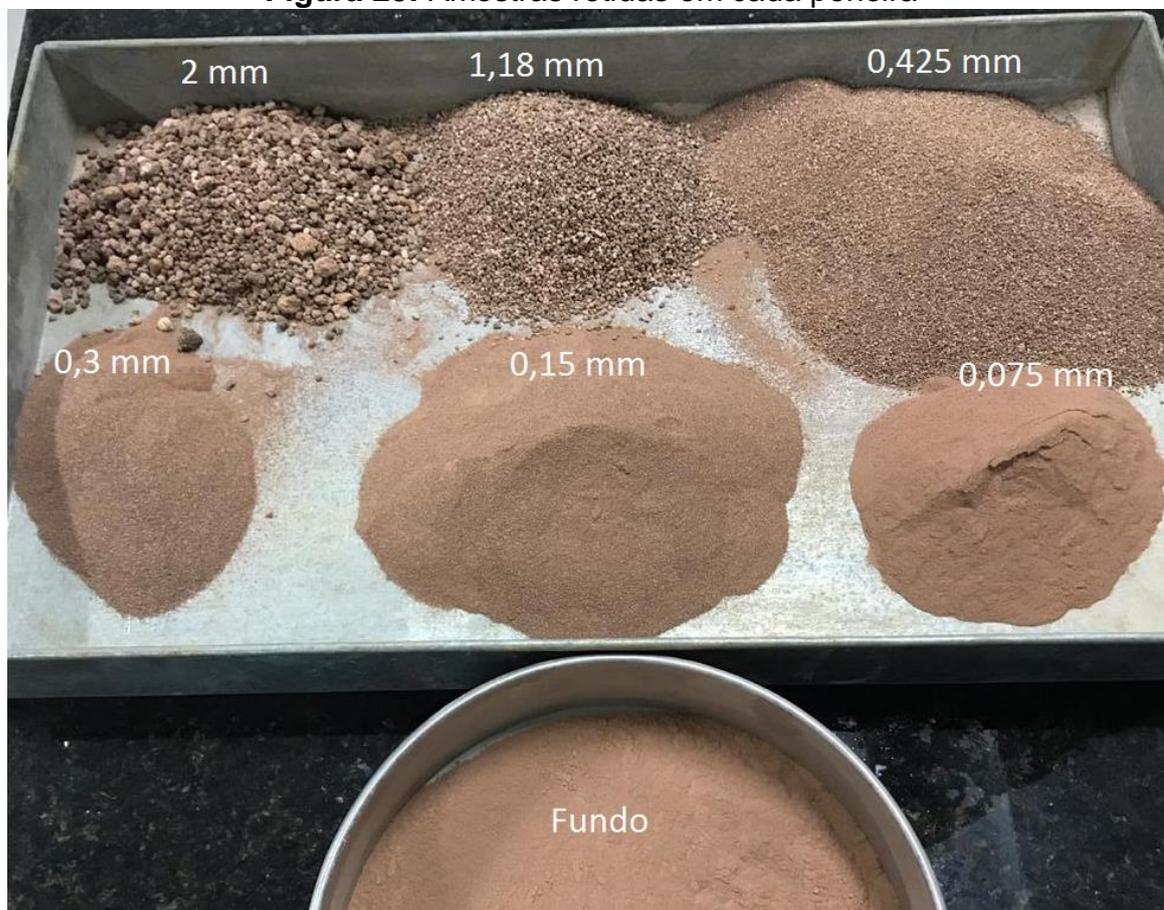
4.1 Caracterização do solo

Para a caracterização do solo foram desenvolvidos ensaios com o intuito de encontrar os valores referentes ao Índice de Plasticidade e ao Limite de Liquidez, assim como também foi feito a Análise Granulométrica.

4.1.1 Análise Granulométrica

Como dito anteriormente, a Análise Granulométrica serve para definir os tamanhos das partículas pertencentes ao solo através da verificação das amostras retidas em cada peneira. A Figura 28 expõe as amostras retidas em cada peneira no Ensaio de Análise Granulométrica parametrizado pela NBR 7181 (ABNT, 2016), enquanto a Tabela 12 sumariza em porcentagens e massas os valores encontrados.

Figura 28: Amostras retidas em cada peneira



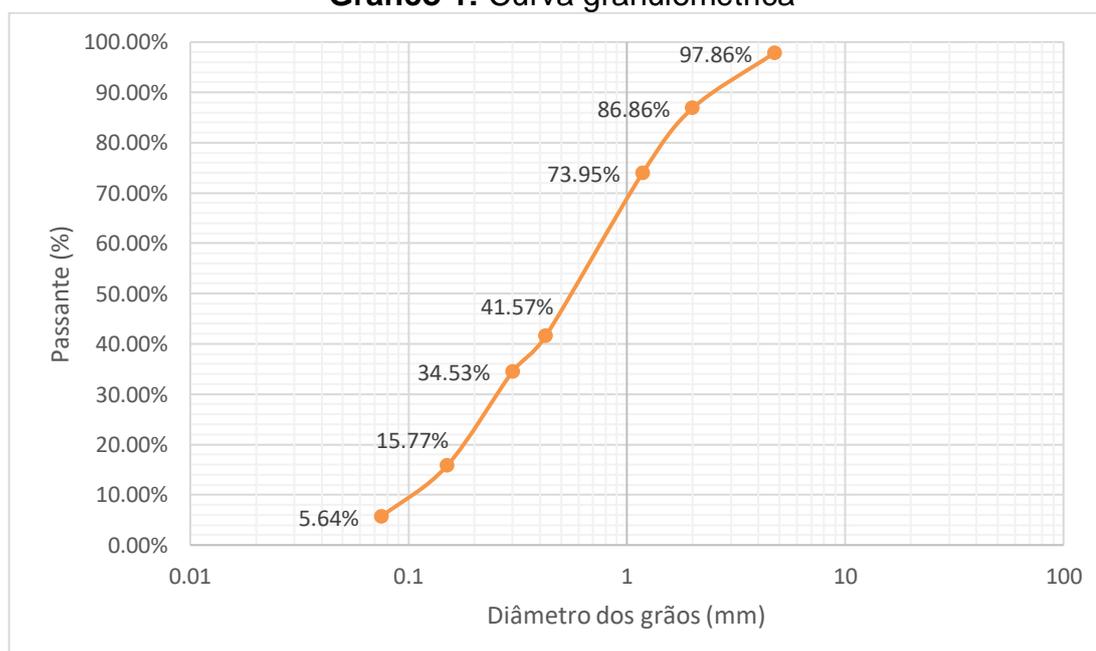
Fonte: Autores (2019)

Tabela 12: Análise Granulométrica

<i>Peneira</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Massa Ret. (g)</i>	<i>% Ret.</i>	<i>% Ret. Acum.</i>	<i>% Que passa</i>
4	4,75	32,09	2,14	2,14	97,86
10	2	165,24	11	13,14	86,86
16	1,18	193,78	12,91	26,05	73,95
40	0,425	486,29	32,38	58,43	41,57
50	0,30	105,74	7,04	65,47	34,53
100	0,15	281,75	18,76	84,23	15,77
200	0,075	151,99	10,13	94,36	5,64
Fundo		84,76	5,64	100	0
<i>TOTAL</i>		1.501,64	100		

Fonte: Autores (2019)

Com os resultados encontrados, desenvolveu-se a curva granulométrica (Gráfico 1) para representação dos diâmetros das partículas onde, conforme enfatizado por Dias (2012), os diâmetros das partículas são apresentados em escala logarítmica nas abscissas e as ordenadas são referentes as percentagens.

Gráfico 1: Curva granulométrica

Fonte: Autores (2019)

4.1.2 Resultado Limite de Liquidez

Com o propósito de determinar qual o valor da umidade onde há alteração do estado líquido para o plástico, fez-se o ensaio de Limite de Liquidez. O ensaio foi determinado por meio da utilização do aparelho Casagrande onde se coletou amostras de 5 pontos aos 34, 30, 25, 19 e 16 golpes. A Tabela 13 aponta os resultados encontrados.

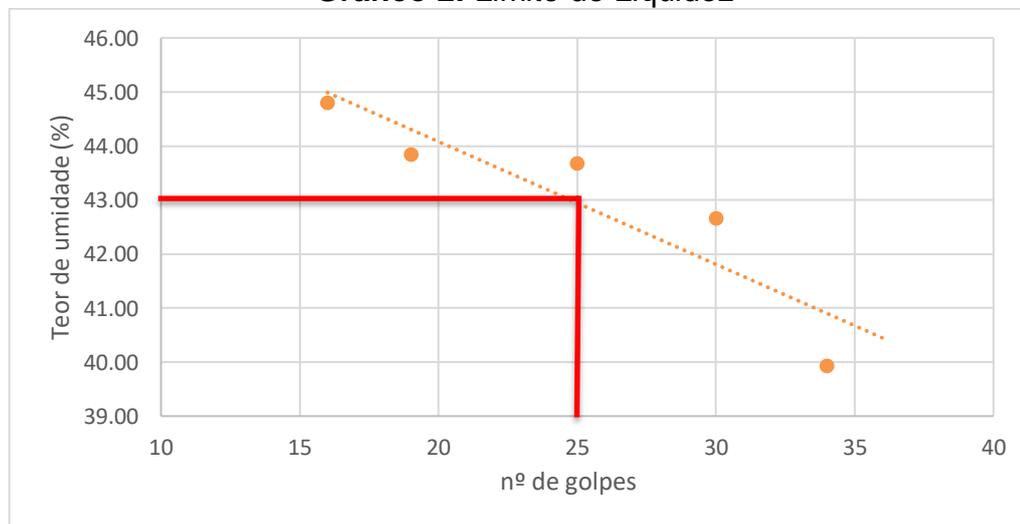
Tabela 13: Limite de Liquidez

<i>Determinação do Limite de Liquidez (ABNT: NBR 6459)</i>	<i>Com secagem prévia 110 °C</i>				
<i>Cápsula nº</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>I</i>
<i>nº de golpes</i>	34	30	25	19	16
<i>Peso Cápsula + Solo seco (g)</i>	15,91	16,61	17,37	16,28	17,28
<i>Peso Cápsula + Solo úmido (g)</i>	17,24	18,21	19,10	17,92	18,92
<i>Peso Cápsula (g)</i>	12,58	12,86	13,41	12,54	13,62
<i>Teor de umidade (%)</i>	39,94	42,67	43,69	43,85	44,81
<i>Resultado obtido Limite de Liquidez</i>	43%				

Fonte: Autores (2019)

O Gráfico 2 explana, através de interpolação da linha de tendência, qual o teor de umidade equivalente a 25 golpes, chegando-se à conclusão de que o mesmo possui o valor de 43%.

Gráfico 2: Limite de Liquidez



Fonte: Autores (2019)

4.1.3 Resultado Limite de Plasticidade

Visando a delimitação do teor de umidade equivalente à transferência do estado plástico para o semissólido, coletou-se cinco amostras com variação de umidades conforme normatizado pela NBR 7180 (ABNT, 2016), levando-as na estufa para determinação de cada teor. A Figura 29 apresenta as amostras pesadas após 24 horas na estufa.

Figura 29: Amostras retiradas após 24 horas na estufa



Fonte: Autores (2019)

Com os valores obtidos, fez-se a média para definição do Limite de Plasticidade e, através da subtração desse valor ao encontrado para o Limite de Liquidez, determinou-se o Índice de Plasticidade, conforme se verifica na Tabela 14.

Tabela 14: Limite de Plasticidade

<i>Determinação do Limite de Plasticidade (ABNT: NBR 7180)</i>	<i>Com secagem prévia 110 °C</i>				
<i>Cápsula nº</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>
<i>Peso Cápsula + Solo seco (g)</i>	15,56	15,84	14,34	15,44	14,29
<i>Peso Cápsula + Solo úmido (g)</i>	16,20	16,35	14,82	15,95	14,74
<i>Peso Cápsula (g)</i>	13,76	14,52	13,03	14,14	13,69
<i>Teor de umidade (%)</i>	35,56	38,64	36,64	39,23	35,43
<i>Resultado obtido Limite de Plasticidade</i>	37,10%				
<i>Índice de Plasticidade (LL – LP)</i>	5,90%				

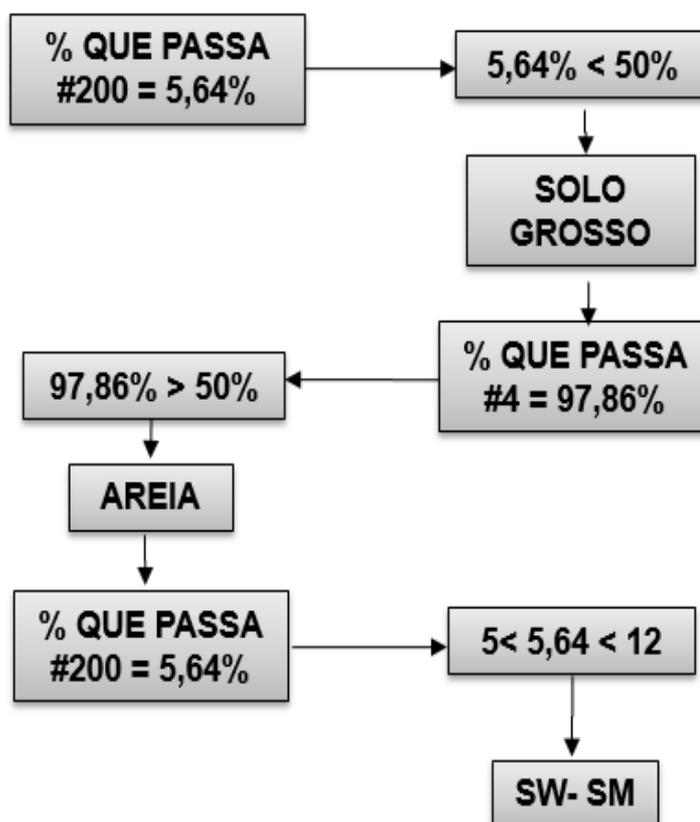
Fonte: Autores (2019)

4.2 Classificação das amostras do solo

4.2.1 Sistema Unificado de Classificação dos Solos- SUCS

De acordo com o SUCS, explanado na Tabela 2 do presente trabalho, e através da Análise Granulométrica, a amostra analisada foi classificada como SW-SM onde o solo se configura como uma areia bem graduada com silte. O esquema utilizado para essa associação está representado na Figura 30.

Figura 30: Classificação do Solo conforme SUCS

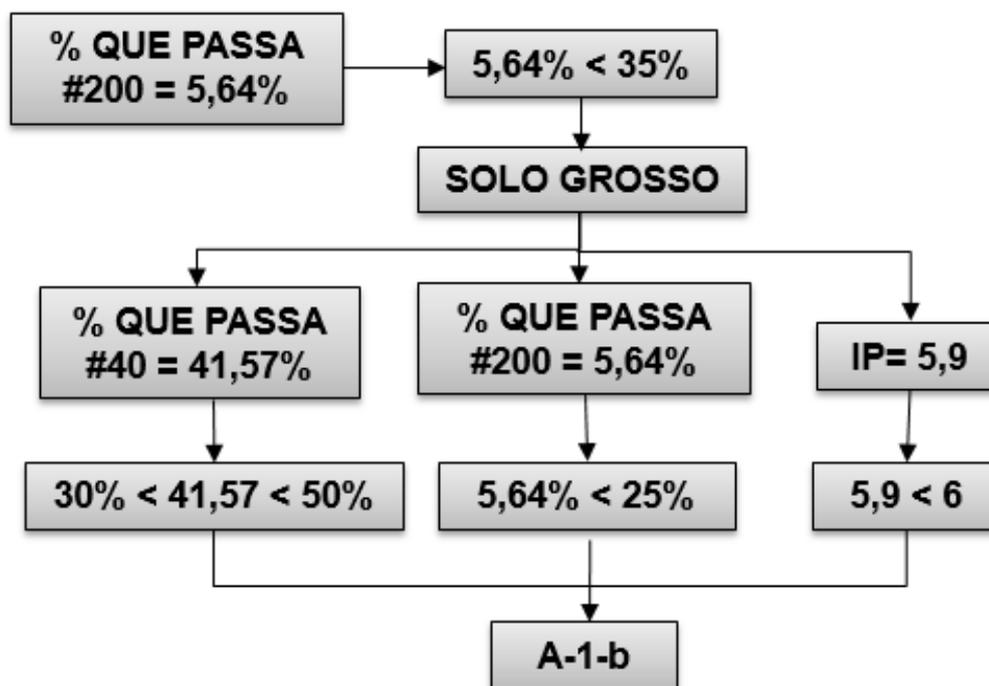


Fonte: Autores (2019)

4.2.2 Sistema de Classificação Rodoviária TRB/AASHTO

Seguindo o especificado na Tabela 4, fez-se a classificação rodoviária do solo chegando-se à conclusão de que o solo em questão pertence ao grupo A-1-b em que há predominância de areia grossa e média tendo presença de material fino bem graduado. A Figura 31 retrata o diagrama utilizado para se chegar a essa inferência.

Figura 31: Classificação Rodoviária da Amostra



Fonte: Autores (2019)

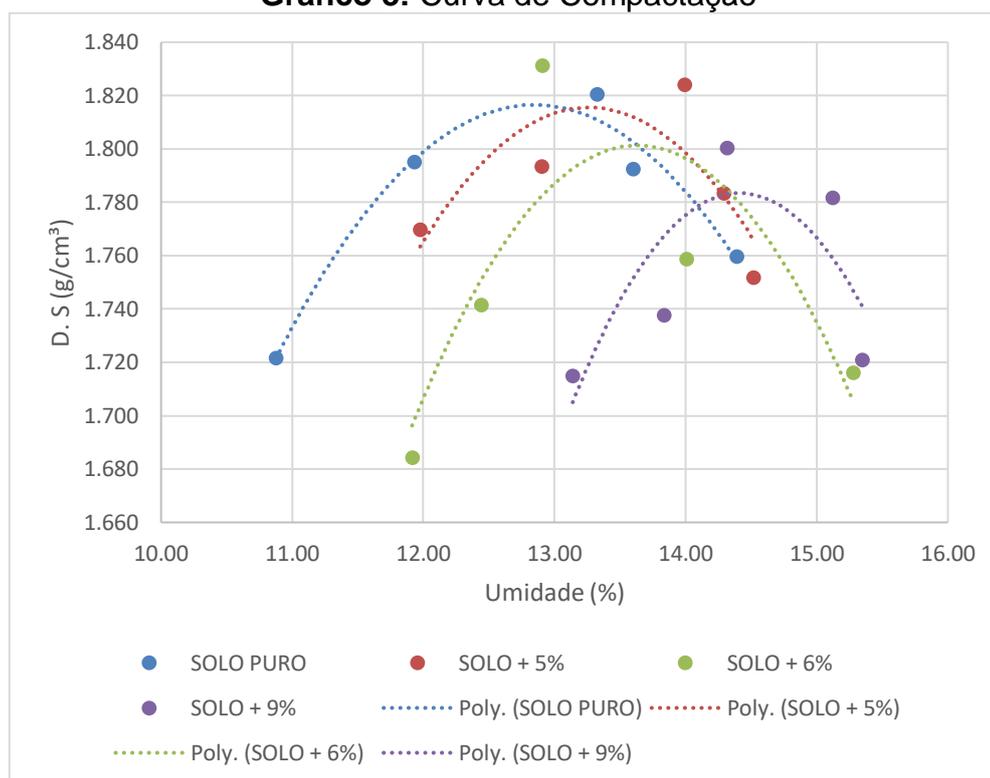
4.2.3 Inter-relação entre a classificação unificada e classificação rodoviária

Ao se comparar os resultados encontrados para as duas classificações diferentes com a Tabela 5 do presente trabalho, conclui-se que foi satisfeito o proposto, pois o solo A-1-b tem uma associação como mais provável para a classificação unificada dos solos os tipos SW, SP, GM e SM e o encontrado para o solo em questão foi a categoria SW- SM, satisfazendo o previsto pelo DNIT (2006).

4.3 Ensaio de Compactação

Feito o processo de caracterização do solo, definiu-se a porcentagem adequada para acréscimo de cimento ao solo, conforme a Tabela 8 do presente trabalho.

Realizou-se então o ensaio de Compactação para cada porcentagem estabelecida, sendo 0%, 5 %, 6% e 9%. O Gráfico 3 apresenta a comparação das curvas encontradas por meio da coleta de cinco amostragens com umidades variadas, enquanto a Tabela 15 apresenta, aproximadamente, qual seria o teor ótimo de umidade e a densidade aparente seca máxima para cada variação.

Gráfico 3: Curva de Compactação

Fonte: Autores (2019)

Tabela 15: Teor ótimo de umidade e Densidade específica aparente máxima

<i>Quantidade de cimento</i>	<i>Teor ótimo de umidade (%)</i>	<i>Densidade específica aparente seca máxima (g/cm³)</i>
0	12,7	1,820
5	13,3	1,816
6	13,6	1,801
9	14,4	1,783

Fonte: Autores (2019)

Ao efetuar a comparação dos resultados obtidos, pode-se inferir que conforme aumenta a porcentagem de cimento, acontece um aumento no teor ótimo de umidade e uma redução no valor de densidade específica aparente seca máxima, o que é semelhante ao ocorrido no trabalho de Dias (2012).

4.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Para a apresentação dos resultados do ensaio de Resistência à Compressão, optou-se pela organização em tabelas e gráficos.

Foram moldados três corpos de prova para cada porcentagem verificando-se o grau de compactação. Diante disso, a Tabela 16 apresenta a massa específica aparente encontrada para cada corpo de prova e o seu respectivo grau de compactação.

Tabela 16: Massa específica aparente e grau de compactação das amostras

<i>% de cimento</i>	<i>Massa específica aparente seca máxima</i>	<i>CP</i>	<i>Massa específica da amostra (%)</i>	<i>Grau de compactação (%)</i>
		<i>A</i>	1,785	98,08
0	1,820	<i>B</i>	1,836	100,88
		<i>C</i>	1,831	100,60
		<i>D</i>	1,842	101,43
5	1,816	<i>E</i>	1,809	99,61
		<i>F</i>	1,786	98,35
		<i>G</i>	1,806	100,28
6	1,801	<i>H</i>	1,795	99,67
		<i>I</i>	1,779	98,78
		<i>J</i>	1,792	100,50
9	1,783	<i>K</i>	1,814	101,74
		<i>L</i>	1,762	98,82

Fonte: Autores (2019)

Diante disso, concluiu-se que todos os corpos de prova estavam aptos para serem utilizados no ensaio de Resistência à Compressão, visto que os graus de compactação, que nada mais são do que o valor da divisão da massa específica

aparente seca encontrada para amostra pelo valor da massa específica aparente seca máxima, variam entre 98 e 102%.

Levou-se os corpos de prova devidamente identificados para a câmara úmida à temperatura $23 \pm 2^\circ \text{C}$ e umidade relativa do ar acima de 95%, conforme mostrado na Figura 32, onde foram mantidos por sete dias. Após tal período, colocou-se, com exceção dos referentes ao solo puro, os corpos de prova imersos na água por quatro horas.

Figura 32: Corpos de prova moldados e devidamente identificados



Fonte: Autores (2019)

Retirou-se os mesmos, fazendo sua devida secagem e imediatamente executou-se o ensaio de Resistência à Compressão Simples. Para cada porcentagem, fez-se uma média entre os três corpos de prova para definição da resistência obtida. Enquanto, os resultados obtidos para cada corpo são apresentados na Tabela 17, a Figura 33 mostra os corpos de prova referente à dosagem de 5% de cimento após o seu rompimento no ensaio em questão.

Tabela 17: Resistência à Compressão Simples

<i>% de cimento</i>	<i>Corpo de Prova</i>	<i>Valor demonstrado no equipamento (tnf)</i>	<i>Força (N)</i>	<i>Área do corpo de prova</i>	<i>RCS (MPa)</i>
0	<i>A</i>	0,27	2650	0,07854	0,34
	<i>B</i>	0,25	2450		0,32
	<i>C</i>	0,21	2050		0,27
	<i>Média</i>	0,24	2350		0,31

Continua

Continuação

	<i>D</i>	0,97	9500		1,24
5	<i>E</i>	0,96	9400	0,07854	1,22
	<i>F</i>	0,95	9300		1,21
	<i>Média</i>	0,96	9400		1,22
	<i>G</i>	1,24	12150		1,58
6	<i>H</i>	1,26	12350	0,07854	1,60
	<i>I</i>	1,23	12050		1,57
	<i>Média</i>	1,24	12150		1,58
	<i>J</i>	1,76	17250		2,24
9	<i>K</i>	1,71	16750	0,07854	2,18
	<i>L</i>	1,77	17350		2,25
	<i>Média</i>	1,75	17150		2,22

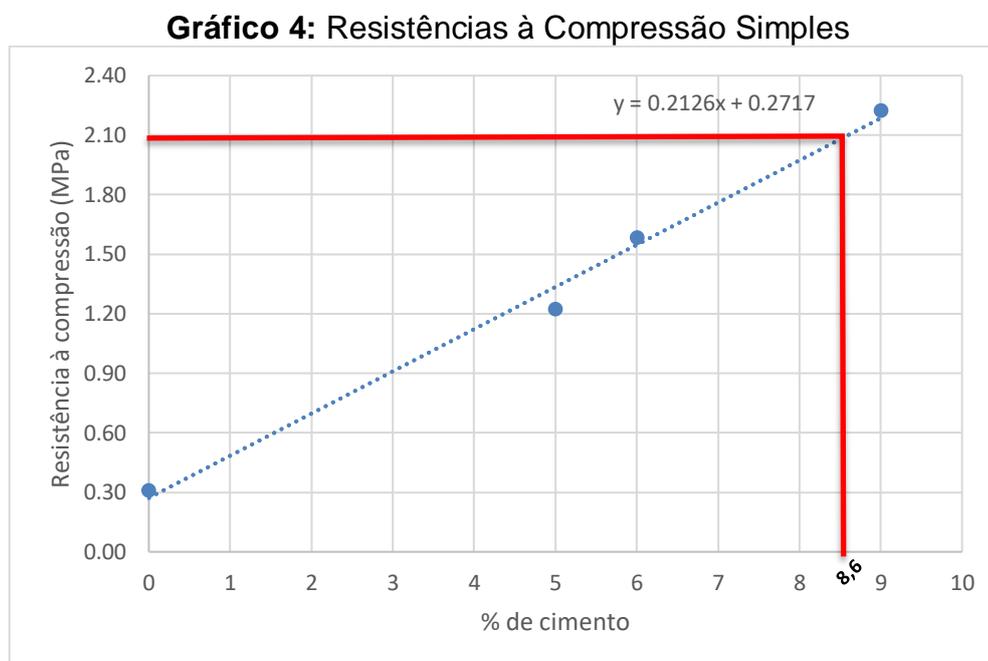
Fonte: Autores (2019)

Figura 33: Corpos de prova rompidos



Fonte: Autores (2019)

O Gráfico 4 apresenta as médias dos valores encontrados para as porcentagens de cimento analisadas, além de demarcar a porcentagem de cimento que atenderia à resistência de 2,1 MPa chegando-se ao valor de 8,6% aproximadamente.



Fonte: Autores (2019)

A Tabela 18 apresenta, ainda, um resumo das médias dos valores de resistência encontrados para solo-cimento em demais trabalhos com o período de cura de sete dias compactados em umidade ótima, organizando-os por autores, classificação do solo, cimento utilizado e as dosagens de cimento adotadas, visando uma mera apresentação dos resultados.

Tabela 18: Resistências máximas obtidas para cada mistura de solo-cimento

<i>Trabalho</i>	<i>Classificação TRB</i>	<i>Tipo de Cimento</i>	<i>% de cimento</i>	<i>Resistência máxima (MPa)</i>
			0	0,22
		<i>CP – IV</i>		
<i>Dias (2012)</i>	<i>A – 2 – 6</i>	<i>Cimento Pozolânico</i>	8	2,90
			12	3,40

Continua

			Continuação	
			0	0,1
			2	0,26
<i>Bolina e colaboradores (2012)</i>	<i>A – 1 – B</i>	<i>CP – II</i>	4	0,85
		<i>Z 32</i>	6	1,57
			7	1,72
			8	1,89
			5	1,58
<i>Ciprandi (2016)</i>	<i>A – 2 – 6</i>	<i>CP – II</i>	6	1,96
		<i>Z 32</i>	7	2,51
			7	2
<i>Sartori (2015)</i>	<i>A – 7 – 5</i>	<i>Não informado</i>	10	2,83
			13	3,75
			0	0,31
<i>Presente trabalho (2019)</i>	<i>A – 1 – b</i>	<i>CP – II</i>	5	1,22
		<i>E 32</i>	6	1,58
			9	2,22

Ao observar essa tabela, pode-se deduzir que, para todos os trabalhos analisados, quando aumenta a quantidade de cimento, simultaneamente há um acréscimo no valor da resistência. Os valores encontrados para a resistência do presente trabalho são “similares” aos demais trabalhos, mas não devem ser comparados, pois há diversos parâmetros que diferem os resultados, como por exemplo, o tipo de cimento, sua dosagem, o solo, os valores de água e a massa específica aparente seca máxima.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao findar do presente trabalho, conclui-se que o mesmo possibilitou resultados importantes para a engenharia de pavimentação, corroborando que a utilização de aditivos influencia positivamente na resistência à compressão simples.

Para avaliar essa influência e estabelecer qual a dosagem mínima de cimento a ser adotada para o solo estudado atingir 2,1 MPa aos sete dias de cura, estudou-se o comportamento do solo puro e das variações de 5%, 6% e 9% de cimento, sendo preparados corpos de prova a partir do teor de umidade ótima, desenvolvendo o ensaio de Resistência à Compressão Simples para cada uma das dosagens estabelecidas aos sete dias de cura, concluindo-se que:

- a) O aumento da dosagem de cimento e do valor da resistência à compressão simples acontecem simultaneamente;
- b) Nos ensaios de compactação, chegou-se à conclusão que conforme acrescenta-se cimento, aumenta-se também o teor de umidade ótima e reduz o valor da massa específica aparente seca;
- c) A porcentagem mínima de cimento para estabilizar e atender o requisitado para o solo em questão, classificado como A-1-b, foi descoberta através da interpolação das porcentagens analisadas, chegando-se ao valor de 8,6%.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros dentro dessa análise tem-se:

- a) Análise de custo x benefício da utilização de cimento como base para pavimentação;
- b) Verificação da retração do cimento e possíveis trincas geradas devido a esse processo ao adicionar altas porcentagens de cimento;
- c) Averiguação da influência da umidade nos resultados de Resistência à Compressão Simples;
- d) Investigação da alteração do valor da Resistência à Compressão Simples para tempos de curas variados;
- e) Comparação dos resultados encontrados no ensaio de Resistência à Compressão Simples, verificando o custo x benefício entre o uso de cal e cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO JR, A. J.; DINIZ, F. K; TOGNETTI, G. *Você está utilizando o cimento certo? Conheça os tipos de cimento para nunca mais errar*. 2015. Disponível em: <<http://engenheironocanteiro.com.br/tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

ABIKO, A. K. *Estabilização de solos com cimentos pozolânicos de cinza de casca de arroz e de resíduos cerâmicos*. 1987.167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e de Construção Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987. Disponível em: < https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-03072017-142835/publico/AlexKenyaAbiko_T.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.

ALMEIDA, D. J. *Estabilização de solo tropical argiloso com cimento e zeólito sintético como solução em pavimentação no Amazonas*. 2018.110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6431/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Daniel%20Almeida.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 7181: Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 6502: Rochas e solos*. Rio de Janeiro, 1995.

_____. *NBR 11798: Materiais para base de solo-cimento*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 12023: Solo-cimento- Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 12024: Solo-cimento- Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 12025: Solo-cimento- Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 12253: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 16697: Cimento Portland- Requisitos*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do Cimento Portland*. 7. Ed. São Paulo, 2002. 28 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/mayaravirgulino/abcp-cimento-portland>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Solo-cimento*. 2009. Disponível em: < <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

AZÊVEDO, A. L. C. *Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal*. 2010. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em: <https://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/andre-cairo.pdf>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

BALBO, J. T. *Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=py6zCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=in+author:%22Jos%C3%A9+Tadeu+Balbo%22&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjA49Hb7t_IAhVgHLkGHeg6DiEQuwUILTAA#v=onepage&q&f=true>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355p.

CAMPOS, M. S. *Classificação dos solos*. Notas de aula, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Várzea Grande, Várzea Grande, 2006. Disponível em: < <http://files.sena-solos-e-geologia.webnode.com/200000102-cfed7d1de9/Aula%2006%20->

%20Classifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20solos.pdf>. Acesso em: 08 de outubro de 2019.

CANCIAN, M. A. *Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do paraná.* 2013.202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/85.pdf>>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

CAPUTO, Homero P; CAPUTO, A. N. *Mecânica dos Solos e suas Aplicações.* 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v.1. 272p.

CAPUTO, Homero P; CAPUTO, A. N. *Mecânica dos Solos e suas Aplicações.* 7. ed. Rio de Janeiro LTC,2015, v.2. 576p.

CATARINO, J. F. *Avaliao da Influência do Cimento na interao Cimento-Superplastificante.* 2012. 179p. Dissertao (Mestrado em Engenharia Química). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2399/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 2019.

CIPRANDI, M. A. S. *Avaliao laboratorial do efeito da adio de Cimento Portland em termos de resistência a compressão simples (RCS) em solo da região de Santa Rosa-RS.* 2016. 88p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2016. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3835/Marina%20Angela%20de%20Souza%20Ciprandi.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 de outubro de 2019.

CNT; SEST SENAT. *Pesquisa CNT de Rodovias 2019: Boletim.* p 1. Brasília, 2019. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/boletim_pesquisa_cnt_rodovias.pdf>. Acesso em: 08 de novembro de 2019.

CNT; SEST SENAT. *Pesquisa CNT de Rodovias 2019.* p.236. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em: 08 de novembro de 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. *DNER- ME 080/94: Solos- Análise Granulométrica por peneiramento*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER- ME 082/94: Solos- determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER- ME 122/94: Solos- determinação do Limite de Liquidez- método de referência e método expedito*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER- ME 201/94: Solo-cimento- compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER- ME 202/94: Solo-cimento- moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER- ME 216/94: Solo-cimento- determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 1994.

DIAS, J. J. F. M. S. *Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas*. 2012. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdades de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/7837/1/Dias_2012.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2019.

DNIT. *Manual de Pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3. ed. – Rio de Janeiro, 2006.

GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 176p. Disponível em: < http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>. Acesso em: 14 de outubro de 2019.

KNAPPETT, J. A. & CRAIG. R. F. *Craig Mecânica dos Solos*. 8. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2012, 420p.

OLIVEIRA, R. F. V. *Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos*. 2011. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em:

<https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2382/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_An%c3%a1liseSolosModificados.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2019.

PINTO, C. S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. v.1, 354p.

PUGLIESI, N. *Cimento: Diferentes tipos e aplicações*. 2018. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 08 de setembro de 2019.

QUEIROZ, C. L. *Estabilização de misturas de solo argiloso e resíduo de construção civil com Cimento Portland para uso em pavimentos*. 2017. 81p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5104/Claudio%20Luiz%20Queiroz.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 de setembro de 2019

SALES, A. W; RIBEIRO, D. D; NERY, K. D. *Efeitos da adição de cimento e de cal em um solo da região de Curitiba para fins de pavimentação*. 2017. 93p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9003/1/CT_COECI_2017_1_03.pdf>. Acesso em: 01 de outubro de 2019.

SARTORI, G. *Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão*. 2015. 54p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6672/1/CM_COECI_2015_2_13.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

SENÇO, W. *Manual de técnicas de pavimentação*. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001. v. 2, 671p.

SILVA, D. M.; SILVA, A. J; QUEIROZ, F. O. Análise de Estabilização Química de Solo Siltoso A-4 de Porto Velho/RO. *Engineering and Science*, Mato Grosso, v.2, n.1, p.13-22, 2015. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3169/2226>>. Acesso em: 01 de outubro de 2019.

TEIXEIRA, I. *Estabilização de um solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento*. 2014. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258350/1/Teixeira_Ivonei_M.pdf>. Acesso em: 02 de outubro de 2019.

VITALI, O. P. M. *Efeito da composição de misturas de solo-cimento nos parâmetros de rigidez e de resistência*. 2008. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59832/1/000129035.pdf> >. Acesso em: 07 de outubro de 2019.