

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL – UCS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS – CARVI
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCELO PONTICELLI

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA PARA
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS
ESTUDO DE CASO: CAXIAS DO SUL, RS**

BENTO GONÇALVES

2025

MARCELO PONTICELLI

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA PARA
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS
ESTUDO DE CASO: CAXIAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC II
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito parcial para obtenção
de grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof^a. Ma. Cinthia Cristina
Morais Rocha

BENTO GONÇALVES

2025

MARCELO PONTICELLI

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA PARA
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS
ESTUDO DE CASO: CAXIAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC II
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito parcial para obtenção
de grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof^a. Ma. Cinthia Cristina
Morais Rocha

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof^a. Ma. Cinthia Cristina Moraes Rocha
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Maurício Schäfer
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Vinício Cecconello
Universidade de Caxias do Sul

Para minha esposa Adriana Tolotti.

Se tu não estivesses ao meu lado, a vida não teria sentido, e esta conquista, assim como muitas outras, não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Me. Maurício Schäfer, por viabilizar de inúmeras formas a realização deste trabalho; pelos valiosos ensinamentos e conselhos durante toda a graduação, e por ser uma referência para nós, futuros Engenheiros.

À minha orientadora, Prof.^a Ma. Cinthia Cristina Moraes Rocha, pela disposição e incansável orientação, guiando meus passos e dando direção, rumo e sentido precisos para este trabalho.

Ao Técnico de Laboratório Matheus Frosi de Brito, pelo valioso auxílio na realização dos ensaios, pelos debates, análises, conjecturas e pelo conhecimento que juntos buscamos durante a realização deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Engenharia Civil do Campus central, pela calorosa acolhida durante minha estada no laboratório: Cleicimara Ramos Cozen, Isaac Douglas Pereira Benites e Adidaisy Neves Barbosa.

Ao Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva, por viabilizar a fabricação do equipamento DCP, indispensável para realização deste trabalho.

Ao Técnico de Laboratório Humberto Salton, pela dedicação, empenho e excelente trabalho na fabricação do equipamento DCP.

Ao Me. Eng. Civil Bruno Susin, por ter me oportunizado, introduzido e orientado meu caminho no fascinante universo da Geotecnia.

À toda equipe da Terraservice Geologia e Engenharia, em especial: Caroline Cichin Spigolon, Caroline Andriolo, Janaina Rizzi Torres, Virgínia Viganó, Pedro Susin, Nério Susin e Gisele Padella, pelo tempo de convívio e aprendizado que fundamentaram as bases para minha atuação profissional.

Aos meus amigos e parceiros de jornada: Maikel William Ferreira, Leonardo Piccoli Bragagnolo, Leonardo Dallé e Renato Siega Júnior, pela garra e dedicação durante a graduação, e pelas muitas risadas e conversas no estacionamento depois da aula.

À minha esposa, Ma. Bióloga Adriana Tolotti, pelo incansável apoio, parceria, incentivo e por estar sempre ao meu lado em cada passo de mais esta etapa.

A todos meus Mestres que, durante toda a graduação, não pouparam esforços, dedicação e empenho nos ensinamentos e na transmissão de conhecimentos.

À Deus, pela bênção da vida e pelas oportunidades de estudo e aprendizagem.

“O solo é o mais antigo, mais usado, mais complexo e mais desconhecido dos materiais de construção.”

**Wlastermiller de Senço,
Manual de Técnicas de Pavimentação**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Guia de uso do DCP, Mn/DOT	7
Figura 2 - Ensaio DCP, guia de uso do DCP, Mn/DOT	8
Figura 3 - Molde cilíndrico para execução do ensaio de CBR	18
Figura 4 - Prensa manual de CBR	19
Figura 5 - Prensa automática de CBR.....	19
Figura 6 - Desenho esquemático do equipamento de DCP	22
Figura 7 - Exemplo de tabela de medição	24
Figura 8 - Exemplo de gráfico de ensaio DCP.....	25
Figura 9 - Localização da Av. Belvedere	33
Figura 10 - Ponto de ensaio de DCP e coleta do solo, Av. Belvedere.....	33
Figura 11 - Localização da Estrada Municipal José Dani	34
Figura 12 - Ponto de ensaio de DCP e coleta de solo, E. M. José Dani	35
Figura 13 - Localização da Estrada Municipal Ângelo Ruffato.....	35
Figura 14 - Ponto de ensaio de DCP e coleta de solo, E. M. Ângelo Ruffato.....	36
Figura 15 - Esquema geral do Cone de Penetração Dinâmica - DCP	37
Figura 16 - Haste superior.....	38
Figura 17 - Haste inferior	39
Figura 18 - Detalhamento.....	40
Figura 19 - Usinagem do martelo	41
Figura 20 - Montagem do DCP	41
Figura 21 - Cone de Penetração Dinâmica - DCP	42
Figura 22 - Secagem prévia de amostras.....	44
Figura 23 - Processo de destorroamento e peneiramento.....	45
Figura 24 - Tabela 1, norma ABNT NBR 6457:2024	46
Figura 25 - Tabela 3, norma ABNT NBR 6457:2024	46
Figura 26 - Tabela 5, norma ABNT NBR 6457:2024	47
Figura 27 - Aparelho de Casagrande antes da aplicação dos golpes	50
Figura 28 - Aparelho de Casagrande, ao término do ensaio.....	50
Figura 29 - Ensaio de Limite de Plasticidade	52
Figura 30 - Amostras nos aparelhos dispersores	54
Figura 31 - Amostra submetida a vácuo	55
Figura 32 - Material retido na peneira de 2,0 mm.....	58

Figura 33 - Etapa de sedimentação, provetas em banho maria	60
Figura 34 - Tabela de classificação SUCS	65
Figura 35 - Curva granulométrica e diâmetros D ₁₀ , D ₃₀ e D ₆₀	67
Figura 36 - Carta de Plasticidade	67
Figura 37 - Tabela de classificação de solos, modelo HRB	69
Figura 38 - Energias de compactação.....	70
Figura 39 - Tabela 4, cálculo do ISC	75
Figura 40 - Limite de Liquidez, Av. Belvedere.....	80
Figura 41 - Tabela 1, norma ABNT NBR 9895:2016	84
Figura 42 - Curva granulométrica, Av. Belvedere	85
Figura 43 - Determinação gráfica dos diâmetros D ₁₀ , D ₃₀ e D ₆₀	86
Figura 44 - Classificação SUCS, Av. Belvedere	87
Figura 45 - Carta de Plasticidade	88
Figura 46 - Classificação HRB, Av. Belvedere	90
Figura 47 - Gráfico de ensaio de DCP, Av. Belvedere.....	91
Figura 48 - Limite de Liquidez, E. M. José Dani	93
Figura 49 - Curva granulométrica, E. M. José Dani	95
Figura 50 - Determinação gráfica dos diâmetros D ₁₀ , D ₃₀ e D ₆₀	96
Figura 51 - Classificação SUCS, E. M. José Dani	97
Figura 52 - Carta de Plasticidade, E.M. José Dani	98
Figura 53 - Classificação HRB, E. M. José Dani	99
Figura 54 - Curva de compactação, E. M. José Dani	100
Figura 55 - Peneiramento para substituição de material	101
Figura 56 - Separação e substituição de material	101
Figura 57 - Gráfico ISC, E. M. José Dani	103
Figura 58 - Gráfico do ensaio DCP <i>in situ</i> , Estrada Municipal José Dani.....	109
Figura 59 - Limite de Liquidez, E. M. Ângelo Ruffato.....	111
Figura 60 - Curva granulométrica, E. M. Ângelo Ruffato	113
Figura 61 - Determinação gráfica dos diâmetros D ₁₀ , D ₃₀ e D ₆₀	114
Figura 62 - Classificação SUCS, E. M. Ângelo Ruffato	115
Figura 63 - Carta de Plasticidade, E. M. Ângelo Ruffato	115
Figura 64 - Classificação HRB, E. M. Ângelo Ruffato.....	117
Figura 65 - Curva de compactação, E. M. Ângelo Ruffato.....	118
Figura 66 - Gráficos ISC, E. M. Ângelo Ruffato	119

Figura 67 - Gráfico DCP in situ, E. M. Ângelo Ruffato 123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos de CBR e expansão	17
Tabela 2 - Equações de regressão para cálculo do ISC	23
Tabela 3 – Tabela de correlação entre o CBR e o a variação da penetração por golpe	25
Tabela 4 - Normas ABNT aplicáveis aos ensaios	31
Tabela 5 - Locais de ensaios de campo e coleta de solo.....	32
Tabela 6 - Terminologia de classificação de solos - SUCS	65
Tabela 7 - Umidade higroscópica, Av. Belvedere.....	79
Tabela 8 - Limite de Liquidez, Av. Belvedere	80
Tabela 9 - Limite de Plasticidade, Av. Belvedere	81
Tabela 10 - Classificação qualitativa de Burmister	82
Tabela 11 - Massa Específica, Av. Belvedere	82
Tabela 12 - Peneiramento grosso e fino, Av. Belvedere.....	83
Tabela 13 - Resumo da granulometria, Av. Belvedere	84
Tabela 14 - Dados para classificação SUCS	86
Tabela 15 - Ensaio de DCP <i>in situ</i> , Av. Belvedere	91
Tabela 16 - Umidade higroscópica, E. M. José Dani	92
Tabela 17 - Limite de Liquidez, E. M. José Dani.....	92
Tabela 18 - Limite de Plasticidade, E. M. José Dani	93
Tabela 19 - Massa Específica, E. M. José Dani.....	94
Tabela 20 - Resumo da granulometria, E. M. José Dani.....	95
Tabela 21 - Dados para classificação SUCS	96
Tabela 22 - Ensaio de ISC, E. M. José Dani.....	102
Tabela 23 - Ensaio de DCP, critérios da norma ABNT NBR 17091:2023, E. M. José Dani	104
Tabela 24 - Ensaio DCP, critérios ASTM D6951/D6951M-09, E. M. José Dani.....	105
Tabela 25 - Ensaio DCP em corpo de prova de PVC, critério ABNT, E. M. José Dani	107
Tabela 26 - Ensaio DCP em corpo de prova de PVC, critério ASTM, E. M. José Dani	107
Tabela 27 – Resultados de CBR <i>in situ</i> com DCP, Estrada Municipal José Dani....	108
Tabela 28 - Umidade higroscópica, E. M. Ângelo Ruffato.....	110

Tabela 29 - Limite de Liquidez, E. M. Ângelo Ruffato	110
Tabela 30 - Limite de Plasticidade, E. M. Ângelo Ruffato	111
Tabela 31 - Massa Específica, E. M. Ângelo Ruffato	112
Tabela 32 - Resumo da granulometria, E. M. Ângelo Ruffato	113
Tabela 33 - Dados para classificação SUCS	114
Tabela 34 - Ensaio ISC, E. M. Ângelo Ruffato	118
Tabela 35 - Ensaio de DCP, critérios da norma ABNT NBR 17091:2023, E. M. Ângelo Ruffato	120
Tabela 36 - Ensaio DCP, critérios ASTM D6951/D6951M-09, E. M. Ângelo Ruffato	120
Tabela 37 - Ensaio de DCP em corpo de prova de PVC, critério ABNT, E. M. Ângelo Ruffato	122
Tabela 38 - Ensaio de DCP em corpo de prova de PVC, critério ASTM, E. M. Ângelo Ruffato	122
Tabela 39 - Resultados de CBR <i>in situ</i> com DCP, Estrada Municipal Ângelo Ruffato	123
Tabela 40 - Resultados comparados de ISC e DCP nos corpos de prova do ISC ..	124
Tabela 41 – Resultados dos ensaios de DCP em corpos de prova com tubo de PVC	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Caltrans	<i>California Department of Transportation</i>
CARVI	Campus Universitário da Região dos Vinhedos
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CPD	Cone de Penetração Dinâmica
CPT	<i>Cone Penetrometer Test</i>
cm	Centímetro(s)
cm ³	Centímetro(s) cúbico(s)
DAER/RS	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul
DCP	<i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
DER/MG	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES	Ensaio de Laboratório
g	grama(s)
g/cm ³	gramas por centímetro cúbico
HRB	<i>Highway Research Board</i>
IP	Instrução de Projeto
IP	Índice de Plasticidade
<i>I_{PD}</i>	Índice de Penetração Dinâmica
IS	Instrução de Serviço
ISC	Índice de Suporte Califórnia
kg	Quilograma
kN	Quilonewton
kPa	Quilopascal
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
LUME	Laboratório de Usinagem e Mecânica

mm	Milímetro(s)
MPa	Megapascal
Mn/DOT	<i>The Minnesota Department of Transportation</i>
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
Vol.	Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	PROPOSTA DE ESTUDO	10
1.2	Objetivo geral	10
1.3	Objetivos específicos	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	CLASSIFICAÇÕES E CARACTERIZAÇÕES DOS SOLOS.....	13
2.2	ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA – ISC (<i>CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR</i>)	15
2.3	CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA – CPD (<i>DYNAMIC CONE PENETROMETER – DCP</i>)	20
2.4	ESTADO DA ARTE DO MÉTODO DCP	27
3	METODOLOGIA DE TRABALHO	31
3.1	IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA E ENSAIOS <i>IN SITU</i>	32
3.1.1	Avenida Belvedere, bairro São Luiz	32
3.1.2	Estrada Municipal José Dani	34
3.1.3	Estrada Municipal Ângelo Ruffato	35
3.2	FABRICAÇÃO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA.....	36
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.3.1	Preparação das amostras	43
3.3.2	Determinação do Limite de Liquidez	48
3.3.3	Determinação do Limite de Plasticidade	51
3.3.4	Norma ABNT NBR 17212:2025 – Determinação da massa específica	53
3.3.5	Análise granulométrica	56
3.3.6	Classificação dos solos	64

3.3.7	Ensaio de compactação	69
3.3.8	Índice de Suporte Califórnia – ISC	72
3.3.9	Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica	75
3.3.10	Norma ASTM D6951/D6951M – 09: Método de teste padrão para o uso do Cone de Penetração Dinâmica em pavimentos rasos	77
4	RESULTADOS	79
4.1	AVENIDA BELVEDERE	79
4.1.1	Ensaio de umidade	79
4.1.2	Limite de Liquidez.....	79
4.1.3	Limite de Plasticidade	80
4.1.4	Massa Específica	82
4.1.5	Análise Granulométrica	82
4.1.6	Classificação do solo	85
4.1.7	Ensaio de DCP, Índice de Suporte Califórnia	91
4.2	ESTRADA MUNICIPAL JOSÉ DANI	91
4.2.1	Ensaio de umidade.	92
4.2.2	Limite de Liquidez.....	92
4.2.3	Limite de Plasticidade	93
4.2.4	Massa Específica	94
4.2.5	Análise Granulométrica	94
4.2.6	Classificação do solo	96
4.2.7	Ensaio de compactação	100
4.2.8	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia	102
4.2.9	Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica – DCP	104
4.2.10	Análise dos resultados.....	109
4.3	ESTRADA MUNICIPAL ÂNGELO RUFFATO	109
4.3.1	Ensaio de umidade	110

4.3.2	Limite de Liquidez.....	110
4.3.3	Limite de Plasticidade.....	111
4.3.4	Índice de Plasticidade.....	112
4.3.5	Massa Específica	112
4.3.6	Análise Granulométrica	113
4.3.7	Classificação do solo	114
4.3.8	Ensaio de compactação	117
4.3.9	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.....	118
4.3.10	Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica – DCP	119
4.3.11	Ensaio de DCP <i>in situ</i>	122
4.3.12	Análise dos resultados.....	123
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
6	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	128
	REFERÊNCIAS.....	129
	OBRAS CONSULTADAS	133
	APÊNDICE A – PLANILHAS DE CÁLCULO, Avenida BELVEDERE.....	134
	APÊNDICE B – PLANILHAS DE CÁLCULO, estrada MUNICIPAL JOSÉ DANI	141
	APÊNDICE C – PLANILHAS DE CÁLCULO, estrada MUNICIPAL ÂNGELO RUFFATO.....	155

RESUMO

Embora sua aplicação no Brasil seja ainda limitada e não haja consenso entre autores e pesquisadores quanto à sua confiabilidade, o Cone de Penetração Dinâmica tem potencial significativo para ser utilizado como uma ferramenta auxiliar, trabalhando em paralelo com o ensaio de laboratório para determinação do Índice de Suporte Califórnia. Em obras viárias, geralmente de grande extensão e que demandam elevados investimentos, consumo de tempo e de recursos, o Cone de Penetração Dinâmica pode ser poderoso auxiliar para determinação da capacidade de suporte do subleito. A ampla utilização do método em outros países evidencia seu potencial como ferramenta promissora, justificando a realização de estudos mais aprofundados que possam consolidar sua validade e confiabilidade como método de avaliação em contextos de engenharia geotécnica. Para a análise da correlação entre os resultados dos dois métodos, neste estudo foi realizado o ensaio de Cone de Penetração Dinâmica em corpos de prova moldados especificamente para a realização do ensaio de laboratório de determinação do Índice de Suporte Califórnia. Tal procedimento teve como objetivo avaliar resultados obtidos pelos dois métodos em corpos de prova com características idênticas de compactação e teor de umidade, para tentar estabelecer uma possível correlação entre ambos.

Palavras-chave: Cone de Penetração Dinâmica; Índice de Suporte Califórnia; obras viárias; engenharia geotécnica; compactação.

ABSTRACT

Although its application in Brazil remains limited and there is no consensus among authors and researchers regarding its reliability, the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) has significant potential to be used as an auxiliary tool, working in parallel with laboratory tests for determining the California Bearing Ratio (CBR). In road construction projects, typically of large scale and requiring substantial investments, time, and resources, the DCP can serve as a powerful aid in assessing the subgrade's bearing capacity. The widespread use of this method in other countries demonstrates its potential as a promising tool, justifying the need for more in-depth studies to establish its validity and reliability as an evaluation method in geotechnical engineering contexts. For the analysis of the correlation between the results of the two methods, this study conducted the Dynamic Cone Penetrometer on test specimens specifically molded for the laboratory determination of the California Bearing Ratio. This procedure aimed to evaluate the results obtained by both methods on specimens with identical compaction and moisture content characteristics, to establish a possible correlation between them.

Keywords: Dynamic Cone Penetrometer; California Bearing Ratio; road works; geotechnical engineering; compaction.

1 INTRODUÇÃO

As investigações relacionadas aos solos possuem uma considerável amplitude de aplicações dentro da Engenharia Civil. A análise rigorosa dos materiais empregados como suporte de estruturas diversas tais como barragens, edificações e pavimentos em geral visa avaliar a adequação entre as cargas às quais serão submetidos e as características do terreno sob o qual se assentam. Pode-se afirmar seguramente que o solo é um componente de todas as obras de engenharia, elevado à condição de material de construção como no caso de barragens e aterros, portanto deve ser alvo de investigações rigorosas para elaboração de projetos e suas execuções devem ser acompanhadas de controles de qualidade sistemáticos e minuciosos.

Especificamente no campo de pavimentação de rodovias, vias urbanas, pisos industriais ou pistas de aeroportos, de acordo com Senço (2007, p. 219), um dos parâmetros de investigação mais aceitos e utilizados para avaliar o comportamento de um solo e dimensionar projetos para composição de bases, sub-bases e demais camadas é o Índice de Suporte Califórnia – ISC, ou simplesmente CBR, sigla do nome em inglês *California Bearing Ratio*, como usualmente é conhecido. A resistência do solo é um dos aspectos primordiais a serem considerados para projetos de pavimentação, sendo avaliada através do índice de CBR, que é usado como parâmetro para o dimensionamento das espessuras das camadas que compõem a estrutura de um pavimento.

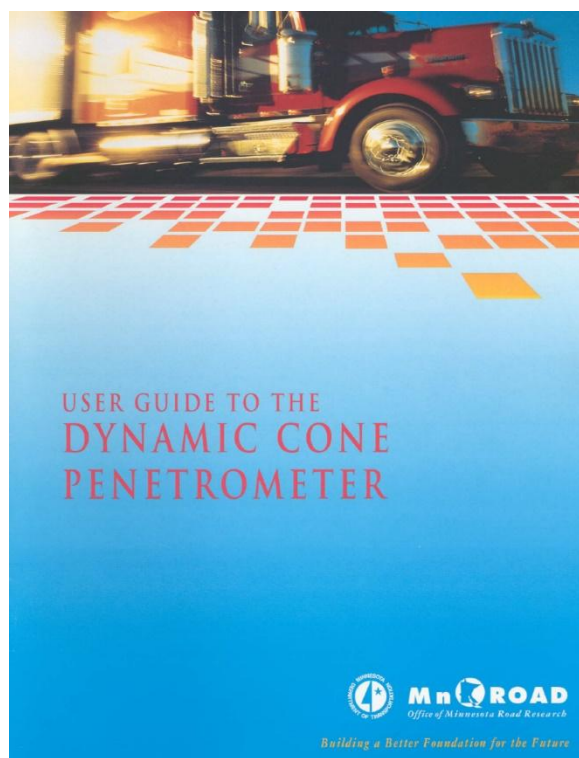
O ensaio de laboratório para a determinação do ISC, conforme especificado na norma ABNT NBR 9895:2016, requer aproximadamente sete dias para sua execução, englobando as etapas de coleta do material, preparação das amostras e a fase de submersão dos corpos de prova por quatro dias. Em locais como a região sul do país, é possível que em função de determinadas condições, como a umidade relativa do ar, a umidade do material e as condições do local disponível para secagem podem ocasionar um prolongamento do tempo necessário.

Como alternativa para obtenção ISC, o ensaio do Cone de Penetração Dinâmica (CPD) – ou *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* – desenvolvido na Austrália e posteriormente aprimorado na África do Sul, tem sido amplamente adotado nesses países como uma opção mais simples, rápida e econômica. Nos Estados Unidos, o

método é empregado para a determinação do ISC em obras de pavimentação rodoviária, sendo regulamentado pela instrução normativa D6951/D6951M-09, publicada em 2009 pela *American Society for Testing and Materials – ASTM*. Na Inglaterra, o *Transport Research Laboratory – TRL* desenvolveu um software chamado “UK DCP 3.1” exclusivamente para análise e o processamento dos dados coletados em campo com o equipamento de DCP.

Praticamente desconhecido e pouco utilizado no Brasil, o método de ensaio DCP quando mencionado na literatura, é tratado de forma muito superficial, como o faz Caputo e Caputo (2022, p. 87), que afirmam que a determinação do CBR *in situ* está sujeita a uma série de restrições que limitam a aplicação deste método, embora não especifique quais seriam essas restrições, nem se aprofunde no tema. Outros autores como Thach Nguyen e Mohajerani (2015, p. 180-189) apontam uma estreita relação entre o valor de CBR determinado em laboratório e o obtido *in situ* através do ensaio DCP. Nos Estados Unidos, alguns departamentos de transporte estaduais que utilizam o método, como o *Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT)*, publicou um guia de utilização do DCP, intitulado “*User Guide to the Dynamic Cone Penetrometer*”, apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Guia de uso do DCP, Mn/DOT



Fonte: *Minnesota Department of Transportation* (c2024)

No parágrafo introdutório do guia, o Mn/DOT (c2024) aponta a finalidade de utilização e as vantagens do método do ensaio DCP:

A medição da resistência do solo *in situ*, bem como a determinação da espessura e localização das camadas subjacentes, pode ser realizada com o uso de um dispositivo portátil e de fácil manuseio chamado *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Empregado mundialmente, o DCP destaca-se por ser uma ferramenta de baixo custo e facilmente transportável.¹

Bastante abrangente, o guia descreve detalhadamente o método, incluindo ilustrações e imagens que demonstram tanto a utilização do equipamento quanto a execução do ensaio, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Ensaio DCP, guia de uso do DCP, Mn/DOT



Fonte: *Minnesota Department of Transportation* (c2024)

De maneira geral, nota-se que os estudos relacionados ao ensaio DCP realizados no exterior desde a década de 1970, procuraram estabelecer uma relação

¹ MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **User guide to the dynamic cone penetrometer.** c2024, p. 2. Disponível em: http://www.dot.state.mn.us/materials/researchdocs/User_Guide.pdf. Acesso em: 05 nov. 2024.

matemática entre os valores obtidos nos ensaios *in situ* e em laboratório. Porém, as publicações descrevem essas correlações apenas como “forte” ou “fraca”, sem apontar ou estabelecer parâmetros mais claros para correlacioná-las. Além disso, alguns autores afirmam que o ensaio de CBR realizado em laboratório não reproduz as condições em que o solo se encontra no seu estado natural. Nesse contexto, os resultados obtidos *in situ* através do DCP seriam considerados mais representativos da realidade.

O ensaio tradicional de laboratório para obtenção do índice de CBR fornece duas informações imprescindíveis para elaboração de um projeto de pavimentação: a capacidade de suporte de um solo e sua expansibilidade. O ensaio de DCP não fornece a expansibilidade do solo, uma vez que se encontra em estado natural, porém Paige-Green e Van Zyl (2019, p.14) afirmam que o DCP fornece uma aproximação da resistência ao cisalhamento do solo e parâmetros de densidade e umidade, não exigindo que uma ampla gama de propriedades do material seja determinada em laboratório.

Independentemente das divergências entre autores, o propósito fundamental de ambos os métodos é um só: fornecer o Índice de Suporte Califórnia de um solo. O ensaio de laboratório é amplamente consolidado e reconhecido como um método de referência na avaliação das propriedades de suporte de solos utilizados em pavimentação. Sua aplicabilidade é respaldada por décadas de uso e normatização técnica, fornecendo resultados confiáveis e amplamente aceitos entre profissionais da engenharia. Entretanto, algumas limitações práticas, como o tempo de execução para a obtenção dos resultados, a necessidade de infraestrutura laboratorial especializada e os custos associados a estes fatores abrem espaço para que o método do Cone de Penetração Dinâmica desponte como uma alternativa promissora pela facilidade de execução, menor custo e rapidez na obtenção dos resultados em campo. Essas características tornam o DCP uma ferramenta atraente para avaliações preliminares ou complementares, particularmente em projetos onde agilidade e economia de recursos são determinantes.

Apesar de seu potencial, o uso mais amplo e seguro do método do DCP requer estudos aprofundados que busquem respaldar os resultados obtidos em comparação aos resultados dos ensaios de laboratório, de forma a consolidá-lo em uma metodologia confiável e que possa ser tão amplamente aceita para obtenção dos índices de CBR quanto o ensaio de laboratório.

1.1 PROPOSTA DE ESTUDO

A determinação da capacidade de suporte dos solos é essencial na engenharia e, especificamente na área de pavimentos, o ensaio de CBR é o método mais utilizado e consolidado para esta finalidade. A crescente demanda por técnicas mais rápidas e econômicas tem impulsionado o interesse no método do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) especialmente no exterior, com ampla aceitação e utilização em larga escala em países como a Inglaterra, Estados Unidos, Austrália e África do Sul, entre outros. A escassez de conhecimento e exploração deste método no Brasil, em contraste com as perspectivas de sua utilização observadas em outros países, configura-se como uma oportunidade de investigação para viabilizar sua aplicação no contexto nacional. Assim, o presente estudo propõe uma análise comparativa entre os dois métodos, com o objetivo de avaliar a confiabilidade, a aplicabilidade e as possíveis limitações do DCP em relação ao ensaio de laboratório para a obtenção do índice de CBR.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo principal tentar estabelecer uma correlação entre os resultados do Índice de Suporte Califórnia – ISC obtidos através do ensaio in situ utilizando o Cone de Penetração Dinâmica – DCP, e os resultados do ensaio de laboratório. Deferentemente de outros estudos realizados anteriormente sobre este assunto, no qual foram feitas tentativas de estabelecer correlações entre os ensaios de campo e os de laboratório, neste trabalho o ensaio com o DCP será feito nos corpos de prova moldados para o ensaio de ISC, de maneira que o material a ensaiado através de ambos os métodos tenha características idênticas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) fabricar o equipamento de DCP para realização dos ensaios, de acordo com as especificações apresentadas nas normativas nacionais e internacionais;
- b) realizar previamente ensaios de caracterização e compactação das amostras, necessários para realização dos ensaios de ISC e DCP;
- c) realizar o ensaio de ISC, utilizar os mesmos corpos de prova realizar os ensaios de DCP, assegurando que as características do solo ensaiado sejam as mesmas;
- d) realizar a análise dos resultados do ensaio de DCP dentro dos parâmetros definidos pela norma ABNR e pela norma ASTM;
- e) analisar os resultados do ensaio de DCP dentro dos parâmetros definidos pela norma ABNR e pela norma ASTM;
- f) estabelecer uma correlação entre os valores do ISC obtidos *in situ* através do DCP e do ensaio de laboratório;
- g) propor ajustes ou modelos de correlação que possam aumentar a confiabilidade do ensaio DCP como ferramenta de estimativa do Índice de Suporte Califórnia – ISC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Todas as atividades humanas são fundamentadas na interação com o solo, e conforme assevera Pinto (2006, p. 13), as obras de Engenharia Civil demandam uma análise apropriada do seu comportamento geotécnico. Senço (2007, p. 42) afirma que a definição de solo é uma tarefa árdua, remontando à sua origem a partir de transformações de uma rocha mãe através de processos físicos, físico-químicos e biológicos, resultando em um material com as mais variadas características e comportamentos peculiares.

Toledo, Oliveira e Melfi (2003, p.140) discorrem que no processo de formação do solo as modificações causadas pelo intemperismo, além de químicas e mineralógicas são também estruturais, ocasionando uma reorganização dos minerais formadores do solo entre os diferentes níveis do perfil, com significativas transformações em termos de composição, estruturas e texturas à medida que se distanciam da rocha-mãe.

A Pedologia – ramo das Ciências da Terra que estuda os processos de formação do solo, o considera “um material que evolui no tempo, sob ação dos fatores ativos do ciclo supérgeo (clima, vegetação, topografia e biosfera)” (Toledo, Oliveira e Melfi, 2003, p.157). Pinto (2006 p. 14) complementa que os solos são aglomerados de partículas sólidas com água e ar preenchendo os espaços intermediários e, estando essas partículas de um modo geral livres para deslocarem-se entre si, o comportamento dos solos também depende do movimento destas partículas.

Ao final do século XIX, começaram a surgir obras que demandavam movimentações de volumes cada vez maiores de solo, pois as edificações começaram a ser cada vez mais altas, tornando-se necessárias escavações mais profundas até atingir cotas onde a tensão admissível do solo fosse suficiente para suportar as demandas de cargas providas da superestrutura. O solo passa então a ser considerado como um material de construção e não apenas como o suporte de uma obra, tal como asseveram Caputo e Caputo (2022, p.77), visto que em obras como aterros, barragens e pavimentos de rodovias o solo é utilizado diretamente na construção. Desta forma, o conhecimento de suas propriedades passou a ser cada vez mais importante e necessário, reforçado por acontecimentos desastrosos como os deslizamentos massivos ocorridos no Corte *Culebra* no Canal do Panamá e rompimentos de barragens nos Estados Unidos em *South Fork* na Pensilvânia, *Tom*

Miller no Texas e *Saint Francis* na Califórnia, evidenciaram a necessidade de aperfeiçoamento das teorias da Mecânica dos Solos e da Geotecnia, visando manter a integridade e estabilidade das estruturas. Estudos iniciados por Coulomb (1736-1806) e Rankine (1820-1872) e aprimorados por Attenberg (1846-1916), Terzaghi (1883-1963) e Casagrande (1902-1981), entre outros, proporcionaram novos enfoques ao estudo dos solos e seu emprego nas obras de Engenharia Civil.

2.1 CLASSIFICAÇÕES E CARACTERIZAÇÕES DOS SOLOS

A diversidade dos solos é atribuída aos diversos fatores de formação que influenciam sua composição e características próprias. No que tange ao interesse da Engenharia, tornou-se necessário agrupar os solos em categorias com propriedades distintas, com o objetivo de estimar seu provável comportamento e, assim, selecionar a técnica mais adequada para análise do material e sua aplicação nos projetos, de acordo com a finalidade desejada. Pinto (2006, p. 63) ressalta que apesar da validade dos sistemas de classificação ser passível de discussão em função das inúmeras e variáveis características de cada solo, tais classificações se fazem necessárias para a compreensão geral das partes envolvidas em projeto e execução de obras.

Ao longo da evolução dos estudos de Geotecnia e Mecânica dos Solos, foram desenvolvidos e aperfeiçoados ensaios, índices e parâmetros de classificação e caracterização de solos que pudessem fornecer uma linguagem padronizada que, ao mesmo tempo, expressassem características gerais, mas sem descrições detalhadas. Corroborando a afirmação de Pinto (2006, p.62), Das e Sobhan (2019, p. 107) ressaltam que, embora haja atualmente diversos sistemas de classificação de solos, nenhum é totalmente abrangente para caracterizar um solo em todas as suas possíveis aplicações, pelos mesmos motivos indicados por aquele autor. Atualmente, os dois sistemas de classificação de solos mais usados são o sistema desenvolvido pela AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials* e o SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos, proposto por Casagrande em 1942 (Das e Sobhan, 2019, p. 113).

Conjuntamente com os sistemas de classificação são empregados ensaios de laboratório e de campo que fornecem informações para serem utilizadas em projetos, dimensionamentos e controle tecnológico dos solos para verificação dos parâmetros necessários a cada tipo de obra. Dentre os ensaios de laboratório, Senço (2007, p.

70) destaca os ensaios de umidade natural, umidade higroscópica, densidades e massas específicas, peneiração, sedimentação, limites de Atterberg (liquidez e plasticidade), contração, saturação e índice de centrifugação.

Para Massad (2016, p. 67), ensaio de campo “[...] pode significar a determinação, no mais breve intervalo de tempo, do grau de compactação e do desvio de umidade em relação à umidade ótima, [...]”, dentre os quais cita-se o método de Hilf para o controle de compactação, o método do frasco de areia para determinação da massa específica aparente, além de métodos expeditos para determinação do teor de umidade, como o método do umidímetro ou *Speedy* e o método da frigideira. Desta mesma forma, o ensaio de DCP visa estimar de forma rápida o CBR de um solo, e por ser realizado em in situ, não altera as suas condições naturais. Todos os ensaios e sistemas de classificação têm por objetivo descrever as características dos materiais analisados com a finalidade de adequar os projetos às condições do meio em que estarão situados.

Segundo Pinto, 2006, p. 63, a classificação dos solos permite agrupar os materiais em categorias que compartilham propriedades mecânicas semelhantes, facilitando a escolha adequada para aplicações específicas. Já a caracterização do solo envolve a determinação de parâmetros físicos, químicos e mecânicos, como granulometria, plasticidade, permeabilidade e resistência, que influenciam diretamente o desempenho do solo como fundação ou camada de pavimento. Adicionalmente, a caracterização do solo é crucial para prever e mitigar problemas potenciais, como recalques, deformações plásticas e erosão, que podem comprometer a integridade do pavimento. Essas análises também orientam o uso de técnicas de estabilização, como adição de cimento, cal ou outros aditivos, quando os solos disponíveis no local apresentam propriedades inadequadas. Em suma, a classificação e a caracterização dos solos não apenas fundamentam decisões técnicas no projeto e execução de pavimentação, mas também contribuem para a otimização de recursos e a sustentabilidade das obras, reduzindo retrabalhos e aumentando a vida útil das infraestruturas rodoviárias.

Conforme destacado por Senço (2007, p. 41), no que tange ao dimensionamento de pavimentos, o solo exerce influência em todas as etapas de estudo de um pavimento, mesmo não sendo diretamente empregado nas camadas projetadas, constitui inevitavelmente o elemento de suporte fundamental para toda a estrutura. Desta forma a classificação e a caracterização dos solos desempenham um

papel fundamental no planejamento e execução de obras de pavimentação, sendo etapas indispensáveis para garantir a durabilidade, segurança e custo-efetividade das estruturas rodoviárias. Sendo os solos materiais naturais altamente heterogêneos e com propriedades que variam significativamente de acordo com sua origem, composição mineralógica e condições ambientais, dessa forma, a compreensão das suas características é essencial para prever o comportamento desses materiais quando submetidos às cargas aplicadas pelo tráfego e às variações climáticas.

Na área de projetos de pavimentação o CBR é, indubitavelmente, uma das metodologias mais amplamente reconhecidas para a avaliação do comportamento mecânico de solos, tanto no contexto de sua utilização como fundação de pavimentos quanto como elemento integrante das camadas que compõem essas estruturas (Senço, 2007, p. 219). O ensaio de CBR é realizado em laboratório a partir de uma amostra de solo coletada e preparada para realização do ensaio, e alternativamente há o ensaio de DCP, que é realizado em campo, permitindo estimar o CBR *in situ*, nas condições naturais do solo. Seja por meio de ensaios laboratoriais ou de alternativas *in situ*, como o DCP, o CBR contribui significativamente para a caracterização das condições do solo, possibilitando a adequação do projeto às demandas estruturais e operacionais das camadas de pavimentação.

2.2 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA – ISC (*CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR*)

O Índice de Suporte Califórnia – ISC, usualmente designado pela sigla CBR, oriunda do nome em inglês “*California Bearing Ratio*”, é um ensaio desenvolvido em 1929 pelo Engenheiro O. J. Porter do Departamento Transporte da Califórnia – *Caltrans* para pavimentação de rodovias, posteriormente adaptado pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos – USACE para projeto de pavimentos de aeroportos. Desde então tem sido amplamente utilizado como o principal parâmetro para projetos de pavimentações a nível mundial, com normatização internacional elaborada pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM através da norma D1883-16, de acordo com os princípios de padronização estabelecidos pelo Comitê de Barreiras Técnicas ao Comércio da Organização Mundial do Comércio. No Brasil, o ensaio de CBR foi introduzido em 1966 pelo Eng. Murillo Lopes de Souza (DNER, 1981, p. 7) e

atualmente é indispensável para projetos de pavimentação, especialmente para estradas e rodovias.

Normatizado pela norma ABNT NBR 9895:2016 e pela norma DNIT 172/2016-ME, o ensaio de CBR consta como requisito obrigatório nas principais normativas de órgãos estaduais para projetos de pavimentações, a exemplo do capítulo de Investigações Geológico-Geotécnicas da Instrução de Projeto IP-DE-P00/001:2006 do DER/SP (DER/SP, 2006, p.13), no vol. IV do Manual de Procedimentos para Elaboração de Estudos e Projetos de Engenharia Rodoviária do DER/MG (DER/MG, 2022, p. 15) e, especificamente para o estado do Rio Grande do Sul, na Instrução de Serviço para Elaboração de Estudos Geotécnicos – IS-101/21 (DAER/RS, 2001, p. 34) e no Ensaio Laboratorial – EL 009/01 do Manual de Ensaios, vol. 1 do DAER/RS (DAER/RS, 2001, p. 62).

Definido por Caputo e Caputo (2022, p. 85) com sendo a base para o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, o CBR é um ensaio de laboratório que consiste em determinar a capacidade de suporte de um solo e o potencial de ruptura do subleito, no qual o resultado obtido é utilizado para dimensionar as espessuras das camadas de composição de um pavimento.

O CBR expressa a relação percentual entre a resistência à penetração de um pistão padrão em uma amostra de solo moldada em um cilindro metálico na umidade ótima de compactação e à resistência de penetração do mesmo pistão em pedra britada padrão, estabilizada por ajuste granulométrico (Caputo e Caputo, 2022, p.87).

O ensaio também fornece o potencial de expansibilidade do solo, obtido através da submersão dos corpos de prova em água por um período mínimo de quatro dias (ABNT NBR 9895:2016, p. 4). A importância desta verificação reside no fato de que solos potencialmente expansivos podem provocar manifestações patológicas irreparáveis. Além de ambos os resultados serem imprescindíveis para o correto dimensionamento de um pavimento, todas as normativas definem valores aceitáveis para os dois parâmetros, como exemplifica o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (BRASIL, 2006, p.142), que define valores aceitáveis para os índices de CBR e de expansão de acordo com a função estrutural a ser exercida, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores mínimos de CBR e expansão

Camada	CBR	Expansão
Subleito	$\geq 2 \%$	$\leq 2 \%$
Reforço do Subleito	> que o do Subleito	$\leq 1 \%$
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

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

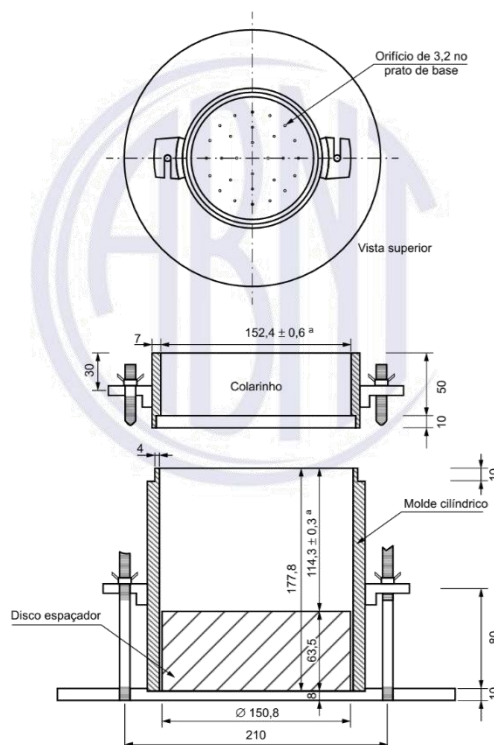
Balbo (2007, p. 375) ressalta que o ensaio de CBR foi inicialmente concebido com base em correlações empíricas e teve o gatilho para sua consolidação durante a Segunda Guerra Mundial, que para a construção de aeroportos militares era necessário um critério simples, rápido e eficiente para avaliar a capacidade de suporte dos solos. Desde então tem sido o principal método para o dimensionamento de pavimentos flexíveis e com critérios normativos oficiais, como é o caso do DNIT e da ASTM.

A realização do ensaio inicia-se com a coleta e subsequente preparação da amostra de solo de acordo com a norma ABNT NBR 6457:2024. A amostra coletada deve ser espalhada e deixada para secar ao ar até chegar próximo da umidade higroscópica, algo em torno de 3 a 4 dias, dependendo das condições climáticas. Em seguida são desmanchados os torrões e realizado o peneiramento, onde o solo para o ensaio deverá corresponder à quantidade passante na peneira de 19 mm e retido na peneira de 4,8 mm.

O ensaio de CBR segue as instruções da norma ABNT NBR 9895:2016, utilizando uma quantidade de solo de 50 kg, sendo que deve ser separado em porções de 6 kg para realização do ensaio sem reuso de material. Cada porção deve ser colocada em uma bandeja metálica e com o auxílio de uma proveta de vidro deve ser adicionada água de forma gradativa, revolvendo continuamente o material para homogeneização. A quantidade de água adicionada na primeira amostra deve ser tal que se obtenha um teor de umidade cinco pontos abaixo da umidade ótima presumível. Em seguida a amostra é colocada em um molde cilíndrico com diâmetro de 152,4 mm e altura de 177,8 mm, base perfurada com orifícios de 3,2 mm, cilindro complementar (colarinho) de mesmo diâmetro do cilindro e altura de 60 mm, mais um

disco espaçador metálico com diâmetro de 150,8 mm e altura de 63,5 mm, conforme indicado pela norma ABNT NBR 9895:2016, p. 8 mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Molde cilíndrico para execução do ensaio de CBR

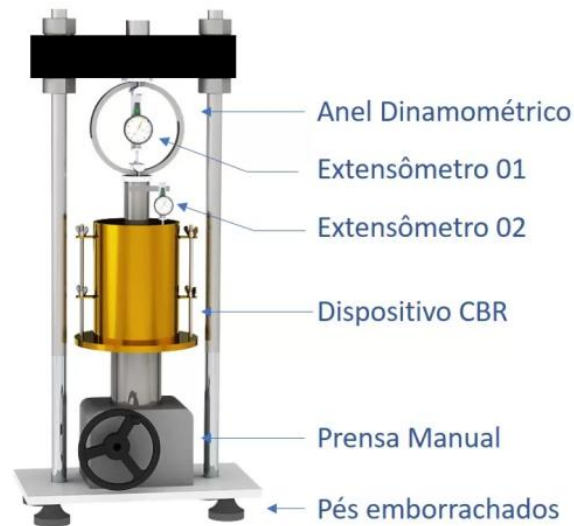


Fonte: Norma ABNT NBR 9895:2019, p. 8 (c2025)

Cada porção de 6 kg de solo, após a adição do percentual de umidade correspondente ao ponto de ensaio e devidamente homogeneizado em bandejas metálicas com o auxílio de uma desempenadeira dentada é colocado dentro do cilindro em 5 camadas, cada uma compactada com o auxílio de um soquete. O número de golpes aplicados com o soquete é de acordo com a energia de compactação adotada para o ensaio, conforme especificado na Tabela 1 da norma ABNT NBR 7182:2025, p. 6, sendo 12 golpes para energia normal, 26 golpes para energia intermediária e 55 golpes para energia modificada. Com uma pequena porção da amostra restante na bandeja, é realizado o ensaio para determinação da umidade conforme o item 4 da norma ABNT NBR 6457:2024, p. 5. O procedimento então é repetido para obtenção de cinco corpos de prova, que serão colocados em pratos base acoplados com um relógio comparador (deflectômetro) e imersos em água para determinar a expansibilidade do material. O tempo de embebição é de no mínimo quatro dias e as leituras do deflectômetro são feitas a cada 24h. Após este

período, os corpos de prova são retirados da água, deixados para escoar durante 15 minutos e então são colocados na prensa de CBR para o ensaio de penetração. A Figura 4 mostra uma prensa manual de CBR.

Figura 4 - Prensa manual de CBR



Fonte: Biopdi (c2024).

A prensa de CBR também pode ser automática, que garante a precisão dos testes e a padronização dos ensaios, além de eliminar a possibilidade de erro humano e a variabilidade de resultados causada por diferentes operadores. A Figura 5 mostra uma prensa automática de CBR.

Figura 5 - Prensa automática de CBR



Fonte: Solotest (2021).

Utilizando uma prensa manual para realização do ensaio, aplica-se uma carga de aproximadamente 45 N, controlada pelo deslocamento do ponteiro do deflectômetro. A manivela deve ser acionada com uma velocidade de 1,27 mm/min. A partir das leituras do deflectômetro (mm) e das respectivas cargas aplicadas (N) obtém-se a pressão, expressa em MPa e o cálculo do CBR é realizado conforme o item 5.5.3.3 da norma ABNT NBR 9895:2016.

Ao final do ensaio, são obtidos os valores percentuais da expansão de cada corpo de prova através da equação 1.

$$Expansão \% = \frac{leitura\ final - leitura\ inicial\ do\ deflectômetro}{altura\ inicial\ do\ corpo\ de\ prova} \times 100 \quad (1)$$

O cálculo do CBR correspondente a cada corpo de prova é realizado de acordo com a equação 2, na qual a pressão padrão corresponde a 6,9 MPa para a penetração de 2,54 mm e 10,35 MPa para a penetração de 5,08 mm.

$$CBR = \frac{pressão\ calculada\ ou\ pressão\ corrigida}{pressão-padrão} \times 100 \quad (2)$$

O percentual final de CBR obtido no ensaio corresponderá ao maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm (ABNT NBR 9895:2016, p. 6).

Utilizando a prensa automática, o processo é realizado de forma precisa e segura, com medidas automáticas da carga e penetração, realizando também o cálculo do CBR. A automatização deste ensaio, além de agilizar o processo, garante a padronização e a precisão dos resultados, pois a ausência de intervenção manual reduz a possibilidade de erros (Biopdi, 2023).

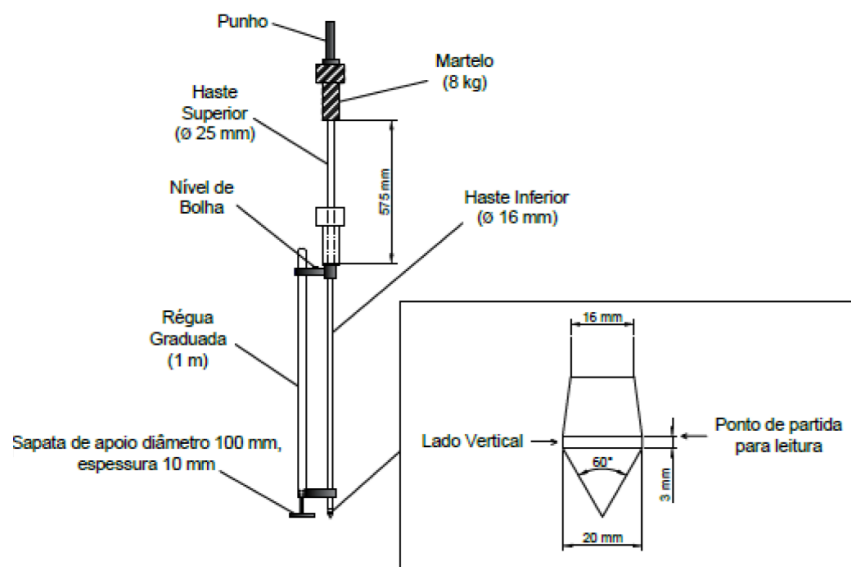
2.3 CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA – CPD (*DYNAMIC CONE PENETROMETER – DCP*)

Na engenharia geotécnica e de fundações, os testes de penetração *in situ* são aqueles em que é realizada uma perfuração no solo utilizando uma haste de aço com ponta cônica que penetra o terreno por percussão através do impacto de um martelo ou de modo contínuo com o auxílio de macacos hidráulicos, sem que haja coleta de

amostras (Fernandes, 2014, p. 101). Dois exemplos bastante utilizados são o *Standard Penetration Test* – *SPT*, ou ensaio de sondagem simples à percussão (ABNT NBR 6484:2020) e o *Cone Penetrometer Test* – *CPT*, ou ensaio de penetração de cone *in situ* (ABNT NBR 12069:1991), ambos utilizando a cravação de um amostrador no solo, sendo que o SPT é cravado de forma dinâmica com golpes de martelo e o CPT é cravado de forma estática com o auxílio de um equipamento hidráulico a uma velocidade constante de dois centímetros por segundo.

Conforme Paige-Green e Du Plessis (2009, p. 2), seguindo o mesmo princípio de penetração à percussão de um amostrador no solo, o Cone de Penetração Dinâmica foi inicialmente criado na Austrália em 1956, a partir de um antigo modelo suíço para avaliar a resistência ao cisalhamento do material de um pavimento. Posteriormente foi aprimorado na África do Sul, através de uma série de variantes de diferentes massas de martelo e distâncias de queda, até que em 1970 o dispositivo foi padronizado com uma massa de 8 kg para o martelo e uma altura de queda de 575 mm. O equipamento de DCP consiste em duas hastes metálicas atarraxadas uma à outra, sendo a superior com um diâmetro de 25 mm, com punho, martelo com peso de 8 kg e uma altura de queda de 575 mm. A haste inferior possui um diâmetro de 16 mm com uma régua anexada graduada em 1000 mm, nível de bolha e mais o cone de penetração propriamente dito, com ponta em ângulo de 60°. Em função das parametrizações idealizadas na África do Sul, o equipamento também é conhecido como Cone Sul Africano ou Penetrômetro Sul Africano. A Figura 6 mostra a representação esquemática do equipamento apresentada na norma ABNT NBR 17091:2023, p. 2.

Figura 6 - Desenho esquemático do equipamento de DCP



Fonte: Norma ABNT NBR 17091:2023 (c2024).

O ensaio de DCP é normatizado no Brasil pela norma ABNT NBR 17091:2023, que foi elaborada com base na ASTM D6951/D6951M-09. O ensaio é relativamente simples de ser executado, bastando posicionar o equipamento montado no ponto a ser ensaiado de forma que fique em um ângulo de 90° em relação ao solo, elevar o martelo até a parte inferior do punho para atingir a altura de queda de 575 mm e soltá-lo em queda livre. Inicialmente, são executados golpes suficientes para a cravação inicial da haste inferior no solo, sendo que os primeiros golpes não são contabilizados, apenas a profundidade inicial é registrada em milímetros na planilha de campo. O ensaio em si é iniciado com a aplicação de golpes sucessivos e a penetração obtida a cada três golpes é registrada na planilha de campo, sempre com as medidas de profundidade em milímetros. A norma ABNT NBR 17091:2023 ressalva que caso haja uma penetração inferior a 2 mm em cinco golpes consecutivos, ou para o caso de uma deflexão do punho em relação à vertical superior a 75 mm, o ensaio deve ser interrompido e recommençado a uma distância mínima de 30 cm do ponto anterior. Sempre que uma penetração for interrompida por falta de avanço da haste após os golpes sucessivos ou quando o deslocamento for inferior a 2 mm, considera-se que o impenetrável foi atingido ou que a presença de matacões ou pedregulhos no solo estejam impondo resistência ao avanço. Nesses casos, é necessário reiniciar o ensaio a, no mínimo, 30 cm de distância do ponto onde o ensaio foi interrompido.

Ao término do ensaio e com os dados das medições anotados, são realizados os cálculos do Índice de Penetração Dinâmica – I_{PD} conforme a equação 3.

$$I_{PD} = \frac{(pf-pi)}{n} \quad (3)$$

Onde: I_{PD} é o Índice de Penetração Dinâmica;
 pf é a penetração final;
 pi é a penetração inicial;
 n é o número de golpes.

O valor obtido do I_{PD} é utilizado para o cálculo do CBR, de acordo com as equações de regressão formuladas pela ASTM D6951, indicadas na Tabela B.1 da norma ABNT NBR 17091:2023, mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Equações de regressão para cálculo do ISC

Equações de regressão	Tipo de solo
$ISC = \frac{292}{I_{PD}^{1,12}}$	Solos granulares e solos coesivos, exceto argilas com baixa plasticidade ou altamente plásticas
$ISC = \frac{1}{(0,017019 \times I_{PD})^2}$	Argilas com baixa plasticidade
$ISC = \frac{1}{(0,002871 \times I_{PD})}$	Argilas altamente plásticas

Fonte: Autor, adaptado da norma ABNT NBR 17091:2023

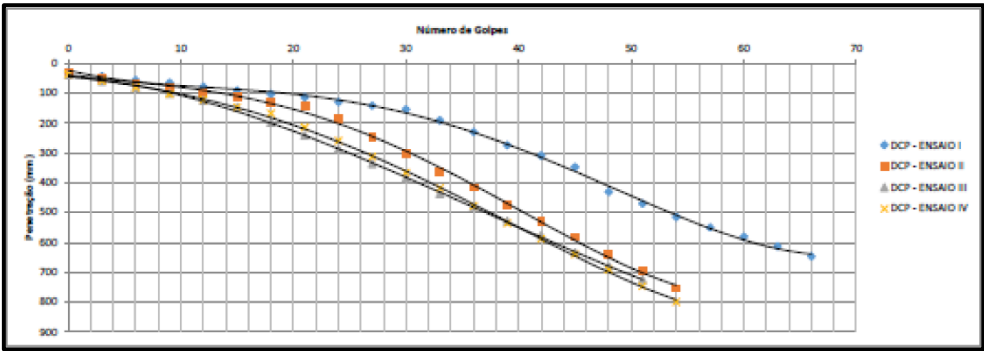
A norma ABNT NBR 17091:2023 também traz no Anexo A um exemplo de tabela de medição e um exemplo de gráfico para os resultados do ensaio de DCP, com valores ilustrativos e fictícios. O exemplo de tabela da norma é mostrado na Figura 7 e o gráfico na Figura 8.

Figura 7 - Exemplo de tabela de medição

ENSAIO DCP - CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA													
Local:													
Descrição do Serviço:									Data:				
Camadas:		Operador:		Vala:		Espessura da base:							
Cálculo DCP		$I_{pd} = (\text{Penetração final} - \text{Penetração inicial}) \div \text{Números de golpes}$				Valores aceitáveis (mm/golpe):		BGS: $I_{pd} \leq 6$		Solo: $I_{pd} \leq 17$		Areia: $I_{pd} \leq 22$	
ENSAIO I			ENSAIO II			ENSAIO III			ENSAIO IV				
Nº de Golpes	Penetração (mm)	Obs	Nº de Golpes	Penetração (mm)	Obs	Nº de Golpes	Penetração (mm)	Obs	Nº de Golpes	Penetração (mm)	Obs		
0	30	Penetração inicial	0	35	Penetração inicial	0	40	Penetração inicial	0	38	Penetração inicial		
3	45	BGS	3	50	BGS	3	61	BGS	3	60	BGS		
6	58		6	71		6	83		6	82			
9	66		9	85		9	103		9	104			
12	79		12	99		12	126		12	123			
15	92		15	112		15	148		15	148			
18	104		18	130		18	199		18	169			
21	115		21	144		21	243		21	215			
24	130		24	188		24	288		24	260			
27	143	SOLO	27	250	SOLO	27	337	SOLO	27	314	SOLO		
30	155		30	302		30	386		30	367			
33	192		33	363		33	438		33	419			
36	231		36	416		36	480		36	478			
39	275		39	477		39	529		39	536			
42	310		42	531		42	576		42	588			
45	348		45	582		45	634		45	640			
48	431		48	640		48	680		48	691			
51	470		51	697		51	725		51	746			
54	515		54	753					54	799			
57	550												
60	581												
63	613												
66	647												
BGS		I_{pd} calculado (mm/golpe): 4,17	BGS		I_{pd} calculado (mm/golpe): 5,19	BGS		I_{pd} calculado (mm/golpe): 7,20	BGS		I_{pd} calculado (mm/golpe): 7,28		
		Valor aceitável: 6 mm/golpe			Valor aceitável: 6 mm/golpe			Valor aceitável: 6 mm/golpe			Valor aceitável: 6 mm/golpe		
Solo		I_{pd} calculado (mm/golpe): 13,67	Solo		I_{pd} calculado (mm/golpe): 18,83	Solo		I_{pd} calculado (mm/golpe): 15,94	Solo		I_{pd} calculado (mm/golpe): 17,70		
		ISC (%) 15,61			ISC (%) 10,90			ISC (%) 13,14			ISC (%) 11,69		
		Valor aceitável: 17 mm/golpe			Valor aceitável: 17 mm/golpe			Valor aceitável: 17 mm/golpe			Valor aceitável: 17 mm/golpe		
Areia		I_{pd} calculado (mm/golpe):	Areia		I_{pd} calculado (mm/golpe):	Areia		I_{pd} calculado (mm/golpe):	Areia		I_{pd} calculado (mm/golpe):		
		Valor aceitável: 22 mm/golpe			Valor aceitável: 22 mm/golpe			Valor aceitável: 22 mm/golpe			Valor aceitável: 22 mm/golpe		
EQUAÇÃO DE REGRESSÃO FORMULADA POR ASTM D6951 ISC (ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA) $ISC = 292/DN^{1,12}$													

Fonte: Norma ABNT NBR 17091:2023

Figura 8 - Exemplo de gráfico de ensaio DCP



Fonte: Norma ABNT NBR 17091:2023

Assim como a norma ABNT NBR 17091:2023, a ASTM D6951/D6951M-09 também traz um modelo de tabela para registro do ensaio, mas a grande diferença reside na apresentação de uma tabela de correlações entre o I_{PD} e o CBR percentual, conforme a transcrição mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de correlação entre o CBR e o a variação da penetração por golpe

(continua)

I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)	I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)	I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)
<3	100	39	4,8	69 – 71	2,5
3	80	40	4,7	72 – 74	2,4
4	60	41	4,6	75 – 77	2,3
5	50	42	4,4	78 – 80	2,2
6	40	43	4,3	81 – 83	2,1
7	35	44	4,2	84 – 87	2,0
8	30	45	4,1	88 – 91	1,9
9	25	46	4,0	92 – 96	1,8
10 – 11	20	47	3,9	97 – 101	1,7
12	18	48	3,8	102 – 107	1,6
13	16	49 – 50	3,7	108 – 114	1,5
14	15	51	3,6	115 – 121	1,4
15	14	52	3,5	122 – 130	1,3
16	13	53 – 54	3,4	131 – 140	1,2
17	12	55	3,3	141 – 152	1,1
18 – 19	11	56 – 57	3,2	153 – 166	1,0
20 – 21	10	58	3,1	166 – 183	0,9

(conclusão)					
I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)	I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)	I_{PD} (mm/golpe)	CBR (%)
22 – 23	9	59 – 60	3,0	184 – 205	0,8
22 – 23	9	59 – 60	30	184 – 205	0,8
24 – 26	8	61 – 62	2,9	206 – 233	0,7
27 – 29	7	63 – 64	2,8	234 – 271	0,6
30 – 34	6	65 – 66	2,7	272 – 324	0,5
35 – 38	5	67 – 68	2,6	>324	<0,5

Fonte: Autor, adaptado de D6951/D6951M-09 (c2024).

Apesar de pequenas diferenças nos registros a serem inseridos nas tabelas para determinação do CBR, os dados necessários são apenas a quantidade de golpes e a profundidade de penetração, para o cálculo do Índice de Penetração (I_{PD}) que será utilizado nas equações de regressão para determinação do índice de CBR. As equações de regressão da norma norte-americana e da norma brasileira são as mesmas, visto que a norma brasileira é basicamente um resumo da ASTM D6951/D6951M-09.

Convém observar que a norma brasileira não estabelece nem faz menção acerca de uma profundidade limite para finalização do ensaio, pressupondo-se que seja conduzido até o limite do comprimento da haste de penetração, de 1 metro (1000 mm). A norma norte-americana é mais específica neste quesito, indicando que a profundidade pode variar e que para o caso de rodovias, usualmente uma penetração de até 900 mm é considerada suficiente para o teste (ASTM D6951/D6951M-09, p. 3). Além disso, essa norma prevê a possibilidade de utilização de extensões, caso seja necessário atingir profundidades superiores a 1000 mm. Não há menção em ambas as normas acerca da validação do ensaio em relação à profundidade da cota impenetrável.

Não obstante a aparente necessidade de revisão de alguns quesitos, a relativa simplicidade de execução e a agilidade na obtenção dos resultados representam aspectos que diferenciam de forma favorável este método em relação ao ensaio de laboratório.

2.4 ESTADO DA ARTE DO MÉTODO DCP

Há uma quantidade substancial de estudos publicados acerca do método do DCP, contudo, observa-se a ausência de um consenso generalizado e amplamente aceito entre autores e pesquisadores. Caputo e Caputo (2022, p. 87) descarta o uso do DCP alegando haver uma série restrições para sua utilização, mas não especifica quais nem fornece maiores esclarecimentos. Em contraponto, pesquisadores do método, como Paige-Green e Du Plessis (2009, p. 1), afirmam que no ensaio de CBR todas as partículas com diâmetro superior a 19 mm são removidas durante o peneiramento para preparação do ensaio e a compactação é feita com uma carga de impacto dinâmica gerada pelo soquete em queda livre sobre as camadas de solo a serem compactadas, ao passo que no campo não há remoção do agregado graúdo e a compactação é feita sob força vibratória. Outro ponto destacado pelos autores é que antes de ir para a prensa de CBR os corpos de prova são submersos em água para o ensaio de expansão, e em condições reais o solo depois de compactado raramente fica encharcado, indicando que os resultados de CBR diferem das condições reais que prevalecerão no campo. Nesse sentido respaldam Sagar *et al* (2022, p. 223), frisando que o ensaio de CBR em laboratório não consegue simular certas propriedades do solo *in situ*, tais como o percentual de umidade e a densidade, além de algumas vezes fornecer resultados superiores, uma vez que a compactação da amostra é realizada em um molde rígido, confinado e em condições diferentes do local de origem do solo.

Kasangaki (2019, p. 353) desenvolveu um estudo publicado nos anais da 17^a *African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* no qual alega que entre os fatores que comprometem a confiabilidade dos resultados dos ensaios de DCP, estão a quantidade considerável de equações para converter os dados do DCP em percentuais de CBR, na grande maioria se mostrando inadequadas, de certa forma corroborando a afirmação de Caputo e Caputo (2022, p. 87) acerca das restrições para o uso do DCP. Kasangaki (2019, p. 354) também argumenta que a taxa de penetração do DCP pode variar de acordo com as condições de umidade *in situ* e que o ensaio somente seria válido se acompanhado de ensaios para determinação de umidade e densidade do material analisado. Outras restrições estão relacionadas à granulometria, não sendo possível realizar o ensaio em solos em que uma parte significativa seja constituída por partículas com tamanho superior a 50 mm.

Além disso, o autor afirma que a execução do ensaio DCP é frequentemente delegada a operadores despreparados e inexperientes, o que pode comprometer a confiabilidade dos resultados.

Em Israel, uma pesquisa realizada por Livneh (1989, p. 267) do *Transportation Research Institute* postula que as correlações entre os resultados do ensaio de DCP e a estimativa do CBR podem ser utilizadas com uma confiabilidade plausível. O autor enfatiza a vantagem do baixo custo de execução e de se tratar de um método não destrutivo, além de fornecer resultados rápidos e confiáveis. Faz apenas algumas ressalvas quanto à profundidade máxima de execução do ensaio, limitando-a em 800 mm e que o ensaio não pode ser realizado em pavimentos já existentes, sendo necessário executar um furo de no máximo 25 mm de diâmetro para ultrapassar a camada pavimentada e assim não danificar o equipamento, tal como indicado na norma ABNT NBR 17091:2023 (p. 7).

De acordo com a norma ABNT NBR 9895:2016, para realização do ensaio de CBR é necessária a coleta de uma amostra de solo e preparação de acordo com a norma ABNT NBR 6457:2024. A amostra deformada deve ser seca até atingir o ponto mais próximo possível da umidade higroscópica, seguida do destorroamento, peneiramento e moldagem dos corpos de prova para o ensaio de expansão e CBR propriamente dito. Neste processo de coleta, preparação das amostras e moldagem dos corpos de prova indiscutivelmente há uma desagregação do material no momento da coleta e destorroamento, seguida da segregação durante o peneiramento, como citado anteriormente por Paige-Green e Du Plessis (2009, p. 1). Sob este aspecto, a afirmação de Sagar *et al* (2022, p. 223) é válida, visto que as propriedades do solo *in situ* são alteradas quando da desagregação, secagem e segregação do material. Partículas com diâmetros maiores que 19 mm, pedregulhos, seixos e outros materiais presentes no solo em seu estado natural são descartadas para realização do ensaio de CBR, porém tais partículas permanecerão como componentes do subleito que receberá as camadas componentes da estrutura do pavimento. Paige-Green e Du Plessis (2009, p. 1) ressaltam que além do agregado graúdo permanecer no campo, na realização do ensaio de CBR em laboratório os corpos de prova são moldados com uma carga de impacto dinâmica, ao passo que no campo o material na sua totalidade será submetido a cargas vibratórias, oriundas dos processos de compactação e posteriormente do tráfego de veículos.

Especificamente em relação ao método do DCP, Paige-Green e Van Zyl (2019, p.14) afirmam que é possível obter um perfil totalmente representativo da resistência do subleito nas condições de umidade e densidade predominantes para cada camada, independentemente da espessura, permitindo uma caracterização completa das condições do subleito (incluindo camadas finas com características de resistência estatisticamente diferentes), melhor identificação de camadas fracas e permite uma boa avaliação estatística de seções uniformes e resistências de projeto de subleito representativas nas condições de umidade e densidade *in situ*.

Em um estudo publicado por Feleke e Araya (2016, p. 22), os autores afirmam que o ensaio de CBR pode ser substituído pelo ensaio de DCP, asseverando que nas condições gerais do estudo por eles realizado, o ensaio de DCP se mostrou mais eficaz e eficiente que o teste de laboratório. Os autores ainda enfatizaram que o ensaio de DCP é uma solução fácil, de baixo custo e que economiza tempo para avaliação do subleito da estrada durante a investigação do solo. Para Feleke e Araya (2016, p. 22), “o DCP leva cerca de dez minutos, enquanto o teste CBR precisa de mais de dez mil minutos.”.

Apesar das divergências em relação à confiabilidade do método, alguns países fazem amplo uso do DCP como uma alternativa mais econômica e mais rápida para a obtenção de resultados em campo, utilizando-o como uma ferramenta segura e consolidada. Na África do Sul o DCP é um dos métodos mais utilizados para a avaliação de solos em pavimentação rodoviária, sendo empregado tanto em estudos preliminares quanto no monitoramento de obras. O país desenvolveu metodologias próprias de correlação entre os resultados do DCP e os parâmetros tradicionais, como o Índice de Suporte Califórnia (CBR), o que possibilitou a padronização de seu uso em escalas amplas.

Na Índia, o DCP é amplamente adotado em projetos de infraestrutura viária, especialmente em áreas rurais e regiões economicamente menos desenvolvidas, onde os recursos para ensaios laboratoriais podem ser limitados. Estudos realizados no país têm mostrado a confiabilidade do DCP na determinação rápida de parâmetros geotécnicos, permitindo decisões mais ágeis em campo (CSIR, c2025).

No Reino Unido o DCP é utilizado em projetos de pavimentação e controle de qualidade, especialmente em solos granulares e subleitos. O método é frequentemente integrado a sistemas de gestão de pavimentos para avaliar a

condição estrutural de rodovias existentes, oferecendo dados que auxiliam na priorização de manutenção (Jones, 2004, p. 2).

Nos Estados Unidos, o DCP é aplicado em estudos complementares para a caracterização de solos em projetos rodoviários. Pesquisas realizadas em universidades e agências estaduais têm explorado a confiabilidade do método, especialmente em solos finos e mistos, visando sua maior aceitação como ferramenta padronizada (Wu e Sargand, 2007, p. 37).

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Este estudo propõe uma análise comparativa entre os resultados do Índice de Suporte Califórnia – ISC (*California Bearing Ratio – CBR*) com a utilização do Cone de Penetração Dinâmica – CPD (*Dynamic Cone Penetrometer – DCP*) e dos ensaios tradicionais de laboratório. O objetivo deste estudo é avaliar a confiabilidade e aplicabilidade do método do Cone de Penetração Dinâmica e eventualmente fornecer subsídios que possibilitem a utilização mais segura e fundamentada do método. Para a realização do estudo comparativo foram definidos três locais para realização do ensaio *in situ* e coleta de solo para os ensaios de laboratório. Os ensaios de laboratório englobam, além do ensaio de CBR, ensaios de caracterização de solo: Análise Granulométrica, Limites de Atterberg (Liquidez e Plasticidade), Massa Específica e Compactação. Todos os ensaios de campo e de laboratório foram realizados estritamente de acordo com as normas ABNT específicas para cada finalidade, relacionadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Normas ABNT aplicáveis aos ensaios

Norma	Título
NBR 17091:2023	Solos – Ensaio do cone de penetração dinâmica
NBR 6457:2024	Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade
NBR 6459:2016	Solo – Determinação do limite de liquidez
NBR 7180:2016	Solo – Determinação do limite de plasticidade
NBR 7182:2025	Solos – Ensaio de compactação
NBR 17212:2025	Solos – Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,00 mm
NBR 7181:2025	Solo – Análise granulométrica
NBR 9895:2016	Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio
ASTM D6951/D6951M - 09	<i>Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications</i>

Fonte: Autor (2025).

Considerando que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) avalia a capacidade de suporte de um solo e constitui um parâmetro fundamental utilizado para o

dimensionamento de pavimentos, os locais definidos para a realização dos ensaios de campo e a coleta de amostras de solo são vias não pavimentadas localizadas no Município de Caxias do Sul, RS.

Com o objetivo de realizar uma análise mais precisa dos resultados obtidos através do ensaio com o Cone de Penetração Dinâmica (CPD), além dos ensaios *in situ*, também foram realizados ensaios com o cone em laboratório, nos corpos de prova utilizados no ensaio de CBR. O ensaio de DCP foi realizado em cada corpo de prova utilizado no ensaio de CBR, logo após terem sido levados à prensa para o teste de penetração, de forma a garantir que as condições de umidade e compactação fossem equivalentes em ambos os ensaios.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA E ENSAIOS *IN SITU*

Os locais selecionados estão dispostos na Tabela 5, nos quais foram feitos os ensaios *in situ* e a coleta de material para os ensaios de laboratório que a seguir são descritos em maiores detalhes.

Tabela 5 - Locais de ensaios de campo e coleta de solo

Ponto de ensaio DCP e coleta de solo	Localização	Coordenadas UTM
Avenida Belvedere	Bairro São Luiz	E489229m, N6773942m, Zona 22J
Estrada Municipal José Dani	Bairro Desvio Rizzo	E475846m, N6769878m, Zona 22J
Estrada Municipal Ângelo Ruffato	Bairro Desvio Rizzo	E477034m, N6768391m, Zona 22J

Fonte: Autor (2025).

3.1.1 Avenida Belvedere, bairro São Luiz

O primeiro local selecionado é uma via localizada no bairro São Luiz, na região leste de Caxias do Sul, RS, divisa com o distrito de Fazenda Souza. O bairro possui baixa densidade populacional e a maioria dos lotes encontra-se desocupados. A Avenida Belvedere possui aproximadamente 800 metros de extensão e uma faixa de domínio de 15 metros, de acordo com as informações constantes no sistema de

informações geográficas da Prefeitura de Caxias do Sul, GeoCaxias. Trata-se de uma via local tráfego leve. A Figura 9 apresenta a localização da Av. Belvedere.

Figura 9 - Localização da Av. Belvedere



Fonte: Google Earth (c2025).

O ponto onde foi realizado o ensaio de DCP *in situ* e a coleta de material para os ensaios de laboratório, definido pelas coordenadas UTM E489229 m e N6773942 m, Zona 22J, é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Ponto de ensaio de DCP e coleta do solo, Av. Belvedere



Fonte: Autor (2025).

3.1.2 Estrada Municipal José Dani

O segundo local selecionado foi a Estrada Municipal José Dani, localizada no bairro Desvio Rizzo, região sudoeste do Município de Caxias do Sul. O trecho da estrada onde foi realizada a coleta de material e o ensaio *in situ* de DCP fica no percurso adjacente ao loteamento Bosque das Araucárias, cuja localização está apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Localização da Estrada Municipal José Dani



Fonte: Google Earth (c2025).

A estrada tem uma extensão aproximada de 3,5 km e uma faixa de domínio de 20 metros, tendo na maior parte de seu percurso uma baixa densidade populacional e tráfego leve.

A realização de ensaios *in situ* com o Cone de Penetração Dinâmica e a coleta de amostras para os ensaios de laboratório, no ponto definido pelas coordenadas UTM E475846 m e N6769878 m, Zona 22J, é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Ponto de ensaio de DCP e coleta de solo, E. M. José Dani

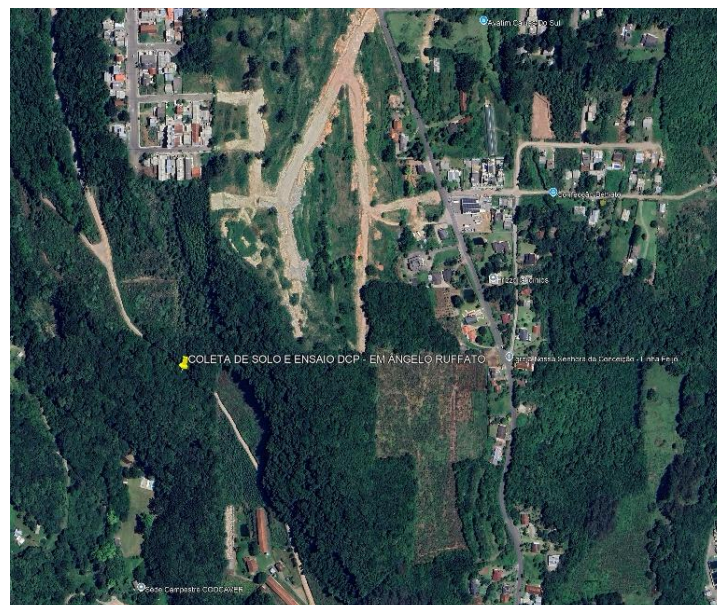


Fonte: Autor (2025).

3.1.3 Estrada Municipal Ângelo Ruffato

O terceiro local selecionado foi a Estrada Municipal Ângelo Ruffato, também localizada na região sudoeste de Caxias do Sul, entre o bairro Desvio Rizzo e a Localidade Nossa Senhora da Conceição, mostrada na Figura 13.

Figura 13 - Localização da Estrada Municipal Ângelo Ruffato



Fonte: Google Earth (c2025).

A estrada tem uma extensão de aproximadamente 2,5 km e uma faixa de domínio de 20 metros. A densidade populacional na maior parte do percurso é baixa, sendo que a maioria dos lotes lindeiros ainda se encontram desocupados ou em fase de parcelamento e o tráfego na região é leve. A Figura 14 apresenta o ponto de coleta de solo e ensaios de DCP *in situ*, definido pelas coordenadas UTM E477034 m, N6768391 m, Zona 22J.

Figura 14 - Ponto de ensaio de DCP e coleta de solo, E. M. Ângelo Ruffato



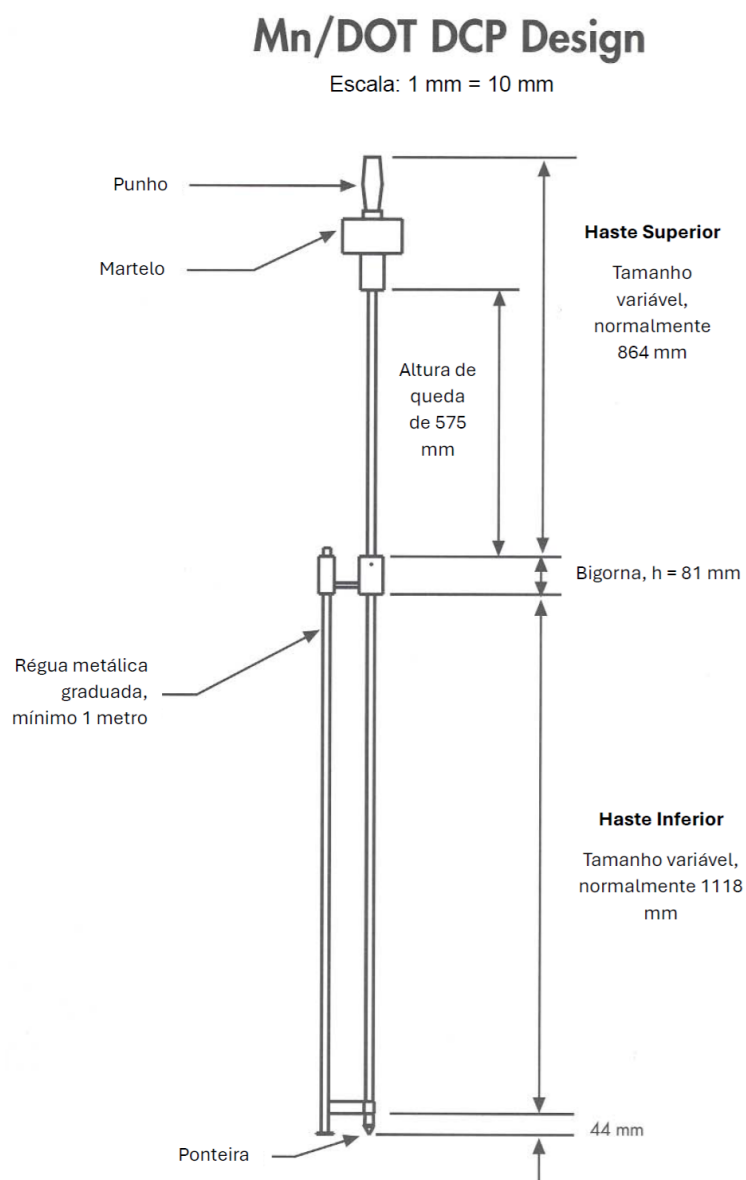
Fonte: Autor (2025).

3.2 FABRICAÇÃO DO CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA

Em virtude dos recursos orçamentários disponíveis para realização deste trabalho, optou-se pela manufatura do equipamento no Laboratório de Usinagem e Mecânica – LUME, do Campus Universitário da Região dos Vinhedos – CARVI, localizado no Bloco I, Sala 102 na cidade de Bento Gonçalves. O tempo de execução, desde a fase orçamentária até a execução de testes em campo foi de aproximadamente dois meses, sendo concluído no último dia útil do mês de abril do presente ano.

Para a manufatura do equipamento recorreu-se inicialmente aos desenhos esquemáticos da norma ABNT NBR 17091:2023. Porém, a norma ABNT NBR 17091:2023 não fornece informações suficientemente detalhadas para viabilizar a fabricação do equipamento de acordo com as especificações necessárias. Diante disso, recorreu-se ao Guia para o Usuário do Cone de Penetração Dinâmica (*User guide to the Dynamic Cone Penetrometer*) elaborado pelo Departamento de Transportes do Estado de Minnesota (Mn/DOT), que fornece especificações detalhadas do equipamento. A Figura 15 apresenta o esquema geral do Cone de Penetração Dinâmica (CPD).

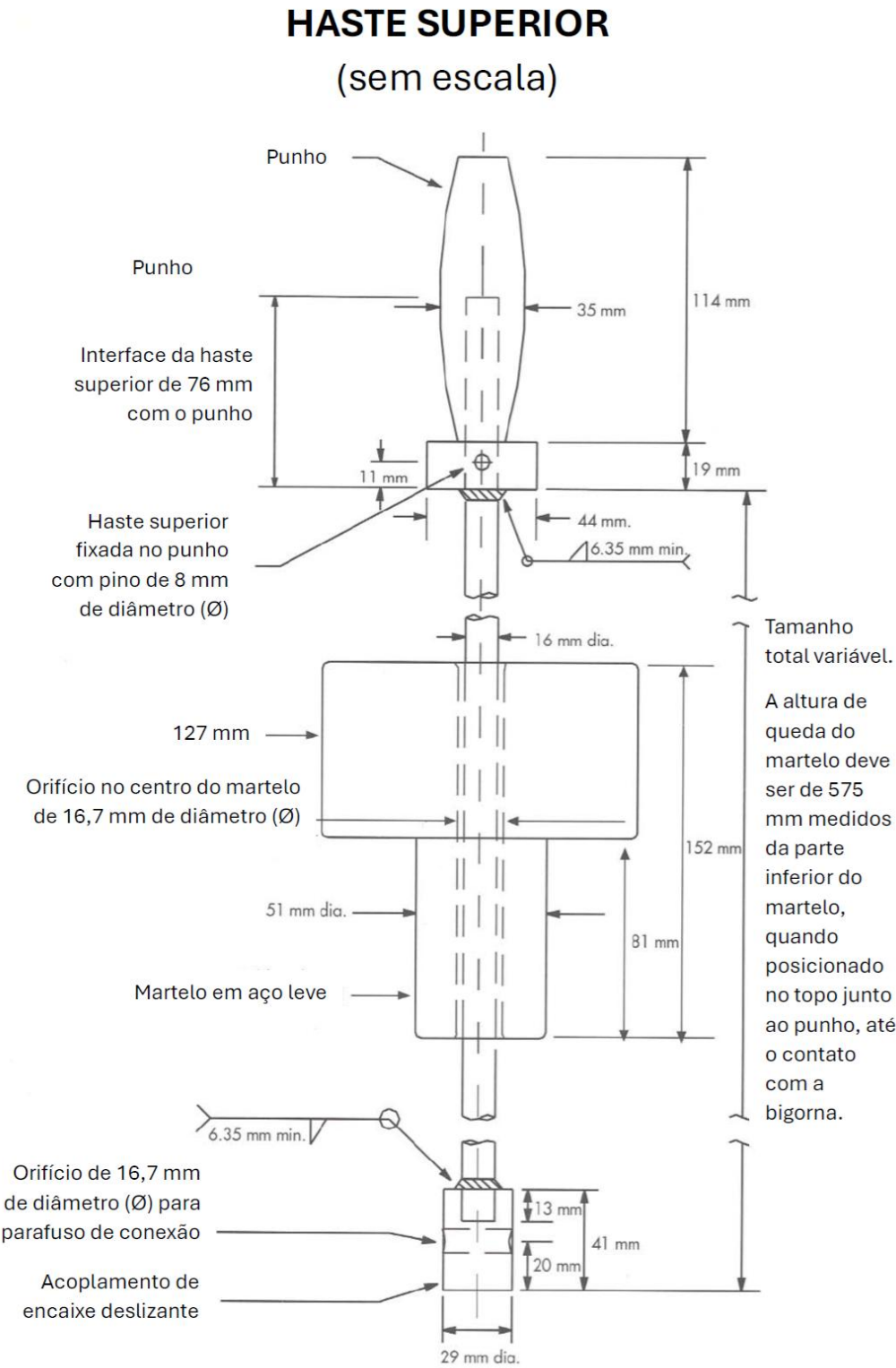
Figura 15 - Esquema geral do Cone de Penetração Dinâmica - DCP



Fonte: Adaptado de *Minnesota Department of Transportation* (c2024), p.13

A Figura 16 apresenta o desenho esquemático da haste superior do equipamento.

Figura 16 - Haste superior

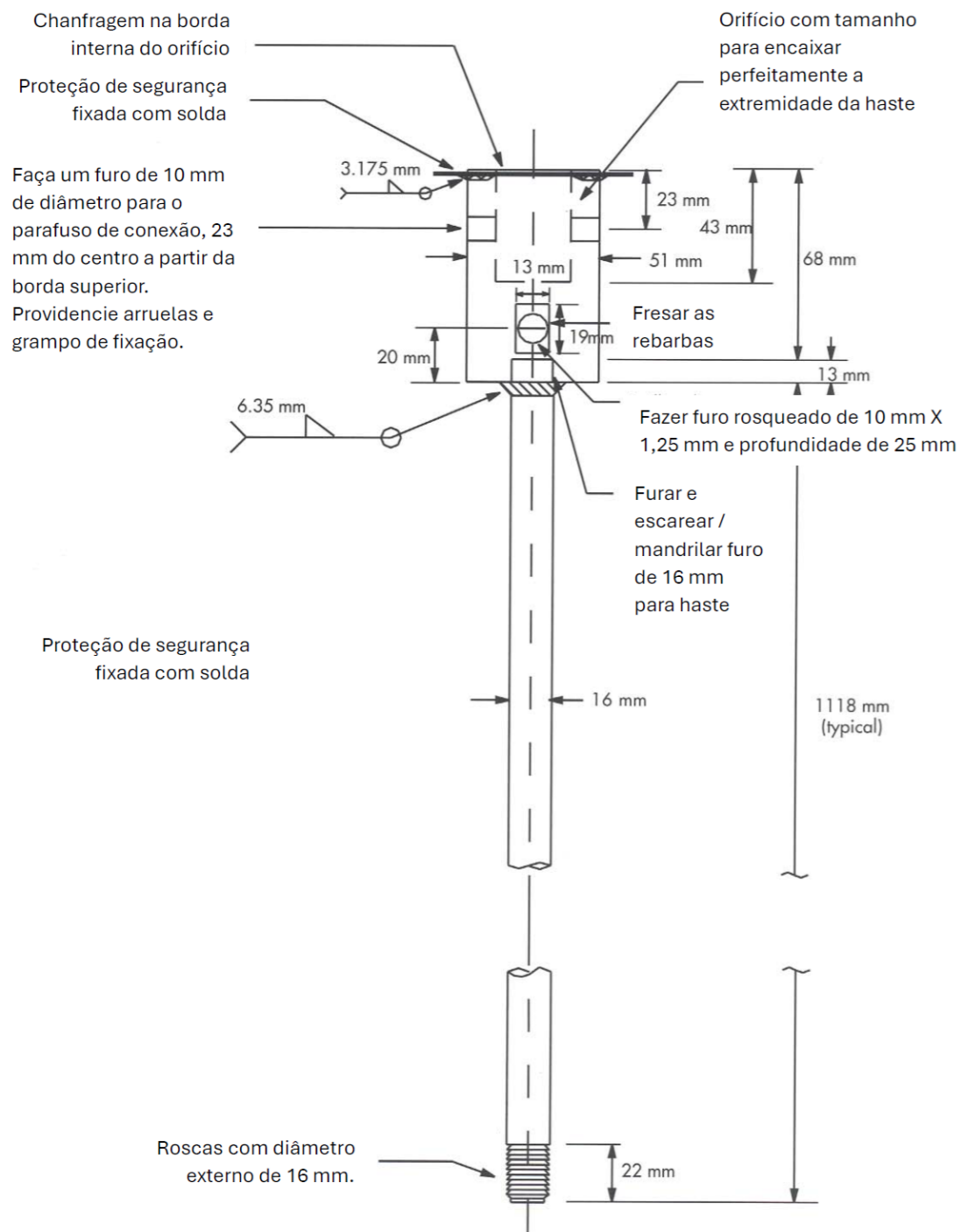


Fonte: Adaptado de *Minnesota Department of Transportation* (c2024), p.14

Na Figura 17 está apresentada a haste inferior do equipamento.

Figura 17 - Haste inferior

HASTE INFERIOR (sem escala)



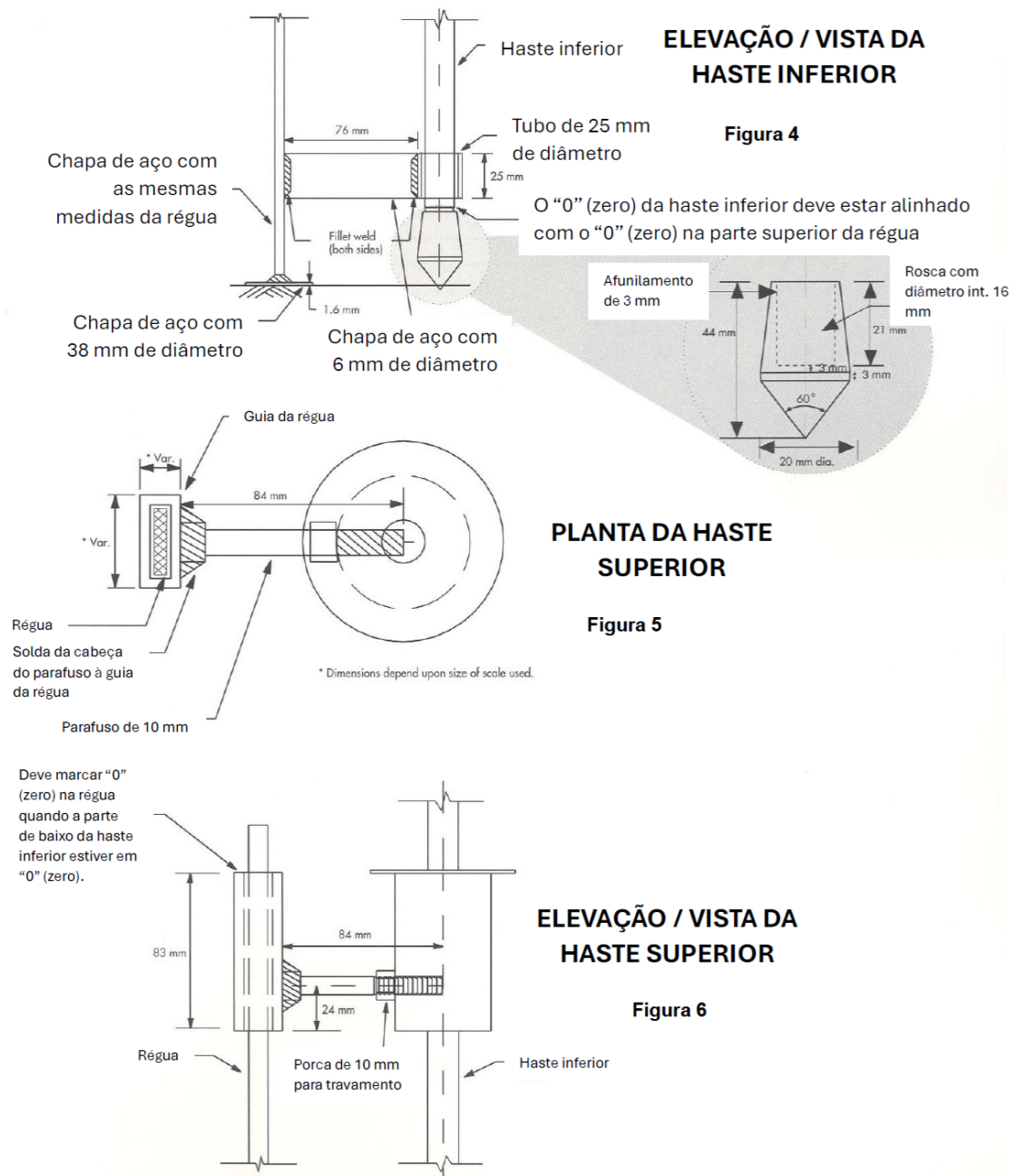
OBS.: Todos os materiais são de Aço Inox 304, salvo indicações em contrário.

Fonte: Adaptado de *Minnesota Department of Transportation* (c2024), p.15

A Figura 18 apresenta o detalhamento da ponteira e vistas em planta e elevação frontal da haste superior.

Figura 18 - Detalhamento

Escala remota do DCP e detalhes da ponteira



Fonte: Adaptado de *Minnesota Department of Transportation* (c2024), p.16

A Figura 19 apresenta o processo de usinagem do martelo.

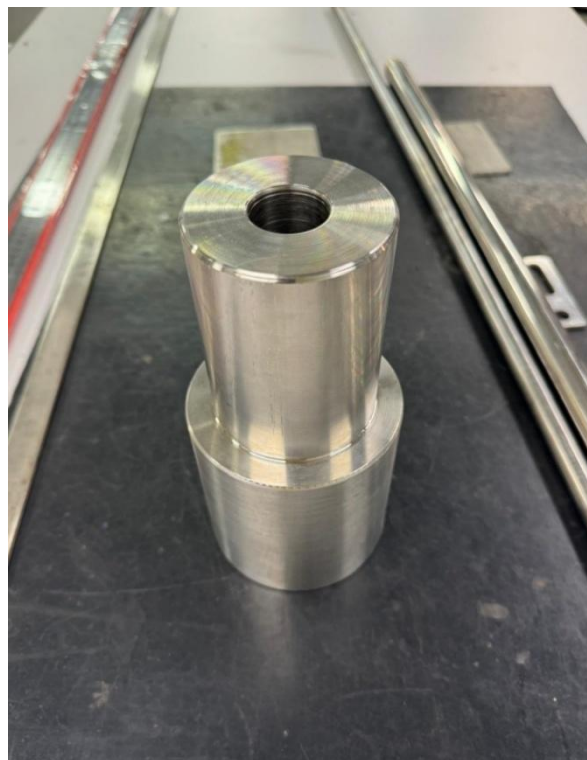
Figura 19 - Usinagem do martelo



Fonte: Autor (2025).

A Figura 20 apresenta as partes finalizadas do equipamento, antes da montagem final.

Figura 20 - Montagem do DCP



Fonte: Autor (2025).

A Figura 21 exibe o Cone de Penetração Dinâmica (CPD) já montado e preparado para uso.

Figura 21 - Cone de Penetração Dinâmica - DCP



Fonte: Autor (2025).

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios conduzidos neste estudo foram necessários os utensílios especificados em cada uma das normas aplicáveis, anteriormente elencadas na Tabela 4. As relações dos referidos utensílios e materiais estão a seguir listadas de acordo com suas respectivas normas, bem como os métodos de ensaio estabelecidos. As relações indicadas não são quantitativas e apenas reproduzem as indicações das normas.

3.3.1 Preparação das amostras

A norma ABNT NBR 6457:2024 estabelece as diretrizes para a preparação de amostras para os ensaios de compactação, caracterização, análise granulométrica, limites de liquidez e plasticidade e determinação do teor de umidade do solo. Os materiais e métodos estão descritos de acordo com os ensaios, tal como indica a norma.

3.3.1.1 Preparação para ensaios de compactação e caracterização

A aparelhagem e materiais necessários são:

- a) almofariz e mão de gral;
- b) balanças que permitam pesar 1,5 kg e 20 kg, com precisões de 0,1 g e 5 g, respectivamente;
- c) peneiras com aberturas de 76,2 mm, 50,8 mm, 19,1 mm, 4,8 mm, 2,0 mm e 0,42 mm;
- d) bandejas metálicas;
- e) estufa capaz de manter a temperatura entre 60 °C e 65 °C, e entre 105 °C e 110 °C;
- f) dessecador contendo sílica-gel;
- g) cápsulas metálicas com tampa e identificadas.

Embora a norma não faça menção, é necessário um espaço adequado para que a amostra de solo coletada possa ser espalhada e periodicamente revolvida para secagem prévia à preparação. Deve-se usar uma lona plástica para evitar o contato direto da amostra com o piso do local de secagem e, dependendo das condições do local, ventiladores podem ser necessários para auxiliar o processo de secagem. A Figura 22 exemplifica esta etapa, com o solo coletado na Av. Belvedere em processo de secagem.

Figura 22 - Secagem prévia de amostras



Fonte: Autor (2025).

A amostra de solo deve secar ao ar, até que atinja o ponto mais próximo possível da umidade higroscópica. O tempo de secagem pode variar de acordo com as condições de umidade do ambiente de secagem, bem como das condições climáticas do local. Geralmente quatro dias são suficientes, porém como há influência do fator climático (temperatura e umidade do ar), este tempo pode ser estendido ou abreviado.

Após a secagem, a amostra deve ser levada ao almofariz e, com o auxílio da mão de gral, os torrões devem ser desmanchados e a amostra homogeneizada, seguida do peneiramento. O procedimento da secagem ao peneiramento é realizado para preparação da quantidade total da amostra coletada, cujas frações utilizadas em

cada ensaio passarão posteriormente por processos complementares, conforme requerido pelas normas específicas. A Figura 23 apresenta esta etapa.

Figura 23 - Processo de destorroamento e peneiramento



Fonte: Autor (2025).

Para os ensaios de compactação e caracterização, *a priori* o material a ser utilizado deve ser o passante na peneira com abertura de 4,8 mm, sendo desprezado o material eventualmente retido na peneira com abertura de 76,2 mm. Nesta etapa é imprescindível manter em bandejas separadas o material retido na peneira de 19,1 mm, bem como o material retido e o passante na peneira de 4,8 mm, para que ao final do peneiramento, sejam pesados e as quantidades percentuais verificadas em relação ao total da amostra. Isto é necessário para o enquadramento nas especificações indicadas na Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024, apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Tabela 1, norma ABNT NBR 6457:2024

Tabela 1 – Procedimento após o peneiramento

Peneira	Material retido % em peso	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Observação
4,8 mm	Menor que 7	Pequeno ou grande	Desprezar o material retido
19,1 mm	Menor que 10	Grande	Desprezar o material retido
19,1 mm	Maior que 10	Grande	Ver Nota ^a
19,1 mm	Maior que 30	—	Recomenda-se não ensaiar de acordo com o método de ensaio de compactação de solos (ver ABNT NBR 7182)
^a Passar o material retido na peneira de 19,1 mm através da peneira de 76,2 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19,1 mm e que passe na peneira de 76,2 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na peneira de 19,1 mm.			

Fonte: norma ABNT NBR 6457:2024, p. 2.

Se a quantidade percentual em peso do material retido na peneira de 19,1 mm for maior que 10% e menor que 30% do total da amostra, deve-se efetuar o ensaio de compactação com substituição de material, e caso fique acima de 30%, o ensaio de compactação não pode ser realizado de acordo com a norma ABNT NBR 6457:2024. Diante disso, torna-se necessário buscar métodos alternativos para obtenção dos resultados fornecidos por este ensaio.

3.3.1.2 Preparação para análise granulométrica

Para este ensaio, deve ser separada uma quantidade de material passante na peneira de 76,2 mm, de acordo com o tamanho dos grãos contidos na amostra, conforme indicada na Tabela 3 da ABNT NBR 6457:2024, reproduzida na Figura 25.

Figura 25 - Tabela 3, norma ABNT NBR 6457:2024

Tabela 3 – Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensões dos sólidos (grãos) maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual	Quantidade mínima a ser utilizada
< 5 mm	1 kg
5 mm a 25 mm	4 kg
> 25 mm	8 kg
NOTA 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.	
NOTA 2 O valor da massa específica dos sólidos (grãos) a ser utilizado no cálculo de análise granulométrica por sedimentação é determinado a partir de cerca de 500 g de material que passa na peneira de 2,0 mm.	

Fonte: norma ABNT NBR 6457:2024, p. 4.

3.3.1.3 Preparação para limites de liquidez e plasticidade

Para os ensaios de limites de liquidez e plasticidade, deve-se separar uma quantidade de 100 g para cada ensaio, do material que passa na peneira número 40, com abertura de 0,42 mm.

3.3.1.4 Preparação para ensaio de massa específica

A norma em questão indica no item 3.3.2.4 que o ensaio de massa específica é realizado utilizando-se a fração passante na peneira de 4,8 mm (ABNT NBR 6457:2024, p. 4), porém, a norma ABNT NBR 17212:2025 (posterior à norma ABNT NBR 6457:2024) indica que a massa específica dos sólidos deve ser determinada a partir da fração passante na peneira com abertura de 2,00 mm. O processo de preparação é o mesmo para todos os ensaios.

3.3.1.5 Preparação e realização do ensaio de determinação de umidade

Para o ensaio de determinação de umidade devem ser separadas quantidades de material em função da dimensão dos maiores grãos da amostra, conforme indica a Tabela 5 da norma ABNT NBR 6457:2024, mostrada na Figura 26.

Figura 26 - Tabela 5, norma ABNT NBR 6457:2024

Tabela 5 – Quantidade de material em função da dimensão dos sólidos (grãos) maiores

Dimensão dos sólidos (grãos) maiores contidos na amostra, determinada visualmente Mm	Quantidade de material (em massa seca) a ser utilizada g	Balança a ser utilizada	
		Capacidade nominal g	Resolução g
< 2	30	200	0,01
2 a 20	30 a 300	1 500	0,1
20 a 76	300 a 3 000	5 000	0,5

Fonte: norma ABNT NBR 6457:2024, p. 6.

A realização deste ensaio é feita tomando-se três cápsulas metálicas que devem ser pesadas individualmente com suas respectivas tampas. As massas devem ser anotadas no manuscrito de laboratório como “M3”. Em seguida, coleta-se a quantidade de material indicada na tabela representada na Figura 25, que deve ser

dividida entre as três cápsulas e novamente pesadas, anotando-se a massa individual como “M1”. As cápsulas são então levadas à estufa com temperatura constante entre 105 °C e 110 °C por um período entre 16 e 24 horas. Após este período, as cápsulas são retiradas da estufa e colocadas em um dessecador com sílica-gel, onde permanecerão até atingirem a temperatura ambiente. As cápsulas são novamente pesadas e a massa é anotada como “M3”. O cálculo do teor da umidade é feito de acordo com a equação 4.

$$W = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

W	é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%)
M_1	é a massa do recipiente mais o solo úmido, em gramas (g)
M_2	é a massa do recipiente mais o solo seco, em gramas (g)
M_3	é a massa do recipiente, em gramas (g)

Este procedimento para determinação do teor de umidade é da mesma forma utilizado em todos os ensaios em que seja necessário conhecer o teor de umidade do solo ensaiado.

3.3.2 Determinação do Limite de Liquidez

Ensaio realizado de acordo com a norma ABNT NBR 6459:2016 cujos materiais necessários são:

- a) estufa capaz de manter a temperatura de 60 °C a 65 °C e de 105 °C a 110 °C;
- b) cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- c) espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- d) aparelho de Casagrande;
- e) cinzel;

- f) recipientes adequados que evitem a perda de umidade da amostra, como pares de vidros côncavos com grampo;
- g) gabarito para verificação da altura de queda da concha.

Previamente à realização do ensaio, é necessário fazer uma inspeção no aparelho de Casagrande, verificando se os pinos e parafusos estão firmes e apertados e se a altura de queda é da ordem de 10 mm acima da base, utilizando-se para isso o gabarito. Estando o aparelho em condições adequadas, é então iniciado o ensaio propriamente dito.

Toma-se a quantidade de amostra indicada na norma, colocando-a na cápsula de porcelana e adicionando água destilada em pequenos incrementos e revolvendo-a com o auxílio da espátula, até que se obtenha uma pasta homogênea. Nesta etapa, é imprescindível que o tempo de homogeneização, para o caso de solos argilosos, seja de 30 minutos, de forma a garantir a correta consistência da pasta para realização do ensaio. Deve-se então transferir parte da pasta para a concha, moldando-a com o auxílio da espátula para que, na parte central a espessura seja de 10 mm. Utilizando-se o cinzel, abre-se uma ranhura na parte central da pasta, deslocando-o perpendicularmente à superfície da concha. O aparelho é então acionado, girando-se a manivela a uma ordem de duas voltas por segundo, para que a concha golpee a base do aparelho até que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de aproximadamente 13 mm de comprimento. Durante o procedimento, conta-se o número de golpes necessários para o fechamento da ranhura, anotando-o no manuscrito de laboratório. Fechada a ranhura, coleta-se na parte central do aparelho, junto das bordas que se uniram, uma quantidade do material para determinação de umidade de acordo com o procedimento descrito anteriormente, na seção 3.2.1.5.

Ao restante do material, na cápsula de porcelana, adiciona-se uma pequena quantidade de água destilada e homogeneizando-o por 3 minutos com o auxílio da espátula, repetindo todo o processo por mais quatro vezes, de forma que ao final sejam obtidos cinco pontos de ensaio. A Figura 27 apresenta o aparelho de Casagrande com a amostra moldada e com a ranhura aberta, antes do ensaio.

Figura 27 - Aparelho de Casagrande antes da aplicação dos golpes



Fonte: Autor (2025).

A Figura 28 apresenta o aparelho de Casagrande ao final do ensaio, com a ranhura fechada após a aplicação dos golpes.

Figura 28 - Aparelho de Casagrande, ao término do ensaio



Fonte: Autor (2025).

Os resultados de cada ponto ensaiado devem ser plotados em um gráfico, no qual o Limite de Liquidez do solo é o teor de umidade obtido na reta do gráfico correspondente a 25 golpes. O valor deve ser expresso em porcentagem, aproximado para o número inteiro mais próximo.

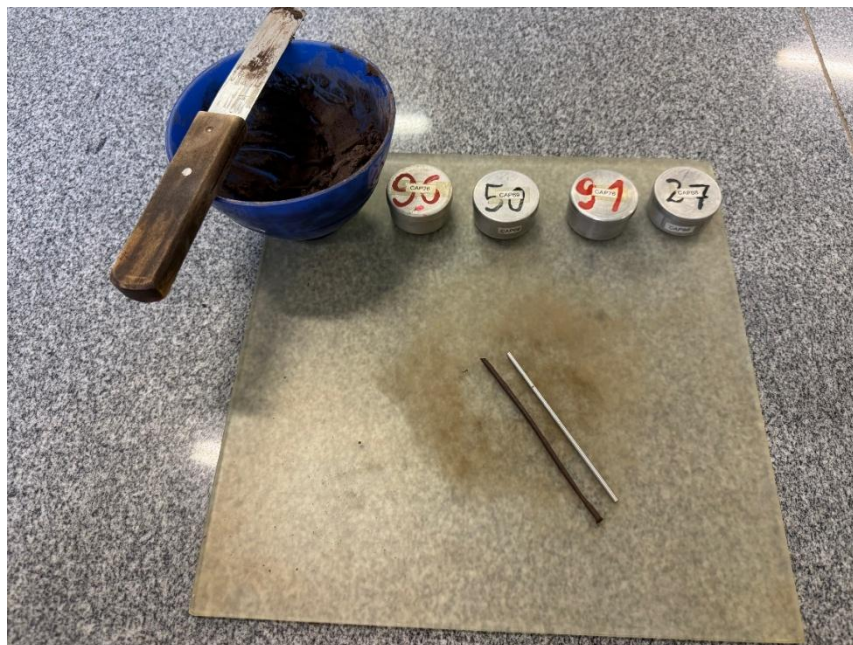
3.3.3 Determinação do Limite de Plasticidade

A aparelhagem necessária para execução deste ensaio, indicada pela norma ABNT NBR 7180:2016 é:

- a) estufa capaz de manter a temperatura de 60 °C a 65 °C e de 105 °C a 110 °C;
- b) cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- c) espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- d) recipientes adequados, como pares de vidros de relógio com grampo, que evitem a perda de umidade da amostra;
- e) balança que permita pesar nominalmente 200 g, com resolução de 0,01 g;
- f) gabarito cilíndrico para comparação com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento;
- g) placa de vidro de superfície esmerilhada com cerca de 30 cm de lado.

Para realização do ensaio, procede-se inicialmente de forma análoga ao ensaio do Limite de Liquidez, colocando a amostra a ser ensaiada em uma cápsula de porcelana e adicionando água destilada em pequenos incrementos, revolvendo-a com o auxílio da espátula com lâmina de metal até que se obtenha uma pasta homogênea e de consistência plástica. É igualmente importante marcar o tempo de homogeneização, que para o caso de solos argilosos deve ser de 30 minutos. Após, toma-se uma porção da amostra com cerca de 10 g, formar uma bola e rolá-la sobre a placa de vidro com a palma da mão até que tome a forma de um cilindro com as mesmas dimensões do gabarito metálico, conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autor (2025).

É necessário observar que caso a amostra se fragmente antes de atingir o diâmetro do gabarito, deve ser retornada à capsula de porcelana, adicionar água destilada, homogeneizar por 3 minutos e repetir o processo. Caso o cilindro não se fragmente, deve ser cortado em partes e transferi-las para uma cápsula metálica para determinação do teor de umidade, conforme o item 4 da norma ABNT NBR 6457:2024.

O procedimento descrito deve ser realizado até que se obtenham, no mínimo, três teores de umidade. Os valores são considerados satisfatórios quando não diferirem do valor da média em mais que 5%. O resultado para o Limite de Plasticidade será a média de pelo menos três valores que se situem dentro do intervalo da média, expresso em porcentagem e arredondado para o número inteiro mais próximo.

3.3.3.1 Determinação do Índice de Plasticidade

Ainda segundo a norma ABNT NBR 7180:2016, deve ser determinado o Índice de Plasticidade, que de acordo com Das e Sobhan (2019, p. 89), é um importante parâmetro para classificação de solos granulares finos. O Índice de Plasticidade é dado pela diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade, conforme a equação 5.

$$IP = LL - LP \quad (5)$$

Onde: IP é o Índice de Plasticidade;
 LL é o Limite de Liquidez;
 LP é o Limite de Plasticidade.

3.3.4 Norma ABNT NBR 17212:2025 – Determinação da massa específica

Este ensaio consiste na determinação da massa específica de apenas uma fração das partículas componentes do solo, especificamente a passante na peneira de número 10, com abertura de 2,0 mm. Segundo a norma ABNT NBR 17212:2025, a aparelhagem necessária é:

- a) repartidor de amostras;
- b) peneira com abertura de 2,0 mm;
- c) estufa capaz de manter a temperatura de 60 °C a 65 °C e de 105 °C a 110 °C;
- d) aparelho de dispersão com hélices substituíveis e copo com chicanas, com rotação não inferior a 9.000 r/min;
- e) picnômetro ou balão volumétrico de até 1.000 cm³, calibrado a 20 °C, com a respectiva curva calibração.
- f) bomba de vácuo com registro, vacuômetro e conexões, capaz de aplicar vácuo de 88 kPa, para remoção de ar aderente às partículas do solo ou à chapa aquecida;
- g) termômetro com capacidade de leituras de 0 °C a 50 °C, com graduação de 0,1 °C;
- h) balança que permita pesar nominalmente até 1,5 kg, com resolução de 0,01 g;
- i) funil de vidro;
- j) conta-gotas ou pipeta;
- k) recipiente apropriado que permita banho-maria;
- l) béquer de vidro, com capacidade mínima de 250 cm³;
- m) cápsulas para determinação de umidade;

n) tecido ou papel absorvente.

Após a devida preparação das amostras de acordo com a norma ANBT NBR 6457:2024, deve-se tomar uma amostra de aproximadamente 250 g devidamente homogeneizada. Caso sejam utilizados balões volumétricos ou picnômetros de até 500 cm³, a quantidade de massa seca a ser utilizada no ensaio é de aproximadamente 50 g para solos argilosos e siltosos e cerca de 60 g para solos arenosos. Caso os picnômetros ou balões tenham capacidade para mais de 500 cm³, as quantidades de material devem ser proporcionais às indicadas.

Tomadas as massas de acordo com as capacidades dos balões ou picnômetros, as amostras devem ser colocadas em copos de béquer devidamente identificados e adiciona-se água destilada até a completa imersão do material. Estas amostras devem ficar em imersão por um período mínimo de 12 horas. Do restante do material preparado, separam-se pequenas quantidades para determinação do teor de umidade higroscópica.

Passadas as 12 horas de imersão, cada amostra deve ser vertida em um copo de dispersão, acrescentando-se água destilada até aproximadamente metade do volume do copo. A amostra é então levada ao aparelho dispersor por um período de 15 minutos, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Amostras nos aparelhos dispersores



Fonte: Autor (2025).

Ao final do tempo de dispersão, cada amostra deve ser transferida, com o auxílio de um funil de vidro, para um picnômetro ou balão volumétrico, adicionando-se água destilada até completar cerca de metade do volume e na sequência aplicar vácuo de no mínimo 88 kPa por um período de 15 minutos, agitando o recipiente em intervalos regulares de tempo. Ao término desta etapa, adiciona-se água destilada até aproximadamente 1 cm abaixo da base do gargalo e aplica-se novamente vácuo por mais 15 minutos. A Figura 31 apresenta um balão volumétrico com a mistura de solo e água destilada, submetido a vácuo.

Figura 31 - Amostra submetida a vácuo



Fonte: Autor (2025).

Ao final, completa-se o volume com água destilada até que a base do menisco coincida com marca de referência do recipiente. Pesa-se então o conjunto, mede-se

a temperatura do conteúdo e a massa específica dos sólidos é calculada de acordo com a equação 6.

$$\rho_s = \left(\frac{M_s}{M_1 - M_s + M_s} \right) \times \rho_{w(T)} \quad (6)$$

Onde:

- ρ_s é a massa específica dos sólidos (g/cm³);
- M_s é a massa do solo seco (g);
- M_1 é a massa do picnômetro ou balão volumétrico à temperatura T de ensaio, obtida na curva de calibração do recipiente conforme o item 4 da norma;
- M_2 é a massa do recipiente + solo + água, à temperatura T de ensaio;
- $\rho_{w(T)}$ é a massa específica da água, à temperatura T de ensaio, obtida na Tabela A.1 da norma ABNT NBR 17212:2025.

Os ensaios são considerados satisfatórios quando seus resultados não diferirem entre si em mais de 0,02 g/cm³, e o valor da massa específica dos sólidos passantes na peneira de 2,0 mm é obtido pela média dos resultados dos ensaios considerados satisfatórios. O valor deve ser expresso com três algarismos significativos, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

3.3.5 Análise granulométrica

Segundo a norma ABNT NBR 7181:2025, a análise granulométrica dos solos pode ser feita apenas por peneiramento ou por uma combinação de peneiramento e sedimentação, sendo este último o método adotado neste trabalho para realização deste ensaio. Os materiais necessários para realização do ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação são a seguir listados.

- a) estufa capaz de manter a temperatura de 60 °C a 65 °C e de 105 °C a 110 °C;

- b) balanças que permitam pesar nominalmente 200 g, 1,5 kg, 5 kg e 10 kg, com precisões de 0,01 g, 0,1 g, 0,5 g e 1 g, respectivamente;
- c) dessecador contendo sílica-gel;
- d) aparelho de dispersão com hélices substituíveis e copo com chicanas, com rotação não inferior a 9.000 r/min;
- e) proveta de vidro com aproximadamente 450 mm de altura e 65 mm de diâmetro, com traço de referência indicado de 1.000 cm³, a 20 °C;
- f) densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20 °C e com precisão de 0,001 mm, com graduação de 0,995 a 1,050;
- g) termômetro com capacidade de leituras de 0 °C a 50 °C, com graduação de 0,1 °C;
- h) relógio com indicação de segundos;
- i) béquero de vidro, com capacidade de 250 cm³;
- j) proveta de vidro, com capacidade de 250 cm³ e precisão de 2 cm³;
- k) tanque para banho capaz de manter a temperatura de suspensão aproximadamente constante durante a fase de sedimentação;
- l) peneiras com aberturas de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, e 0,075 mm;
- m) escova com cerdas metálicas
- n) agitador mecânico de peneiras, com disposição para fixação de até seis peneiras, incluindo fundo e tampa;
- o) bastão de vidro para laboratório;
- p) bisnaga ou pisseta de limpeza;
- q) almorafiz e mão de gral;
- r) cápsulas metálicas para determinação do teor de umidade.

Inicialmente deve-se determinar a massa da amostra seca à temperatura ambiente conforme indicado na Tabela 1 da norma ABNT NBR 7181:2025, de acordo com a observação visual da dimensão dos maiores grãos contidos na amostra. A amostra então é passada na peneira com abertura de 2,0 mm, separando-se o material retido do passante.

A porção retida na peneira de 2,0 mm deve então ser lavada em água corrente para eliminação de todo material fino aderente e levada à estufa com temperatura

entre 105 °C e 110 °C por aproximadamente 24 horas, até atingir a consistência de massa. Este material será utilizado no peneiramento grosso. A Figura 32 apresenta o material retido na peneira de 2,0 mm após a lavagem e acondicionado em bandeja metálica para ser levado à estufa.

Figura 32 - Material retido na peneira de 2,0 mm



Fonte: Autor (2025).

Do material passante na peneira de 2,0 mm, coleta-se aproximadamente 120 g caso trate-se de solo arenoso ou 70 g para solos argilosos e siltosos. Do restante do material, coleta-se três amostras para determinação da umidade higroscópica, conforme descrito no item 3.2.1.5. O material obtido deve ser colocado em um copo de béquer e acrescido da solução defloculante previamente preparada de hexametáfosfato de sódio, com concentração de 45,7 g por 1.000 cm³ e tamponada com carbonato de sódio até atingir pH entre 8 e 9. O béquer com a solução defloculante mais o solo deve ser agitado até que todo material fique imerso e colocado em repouso por no mínimo 12 horas.

3.3.5.1 Peneiramento grosso

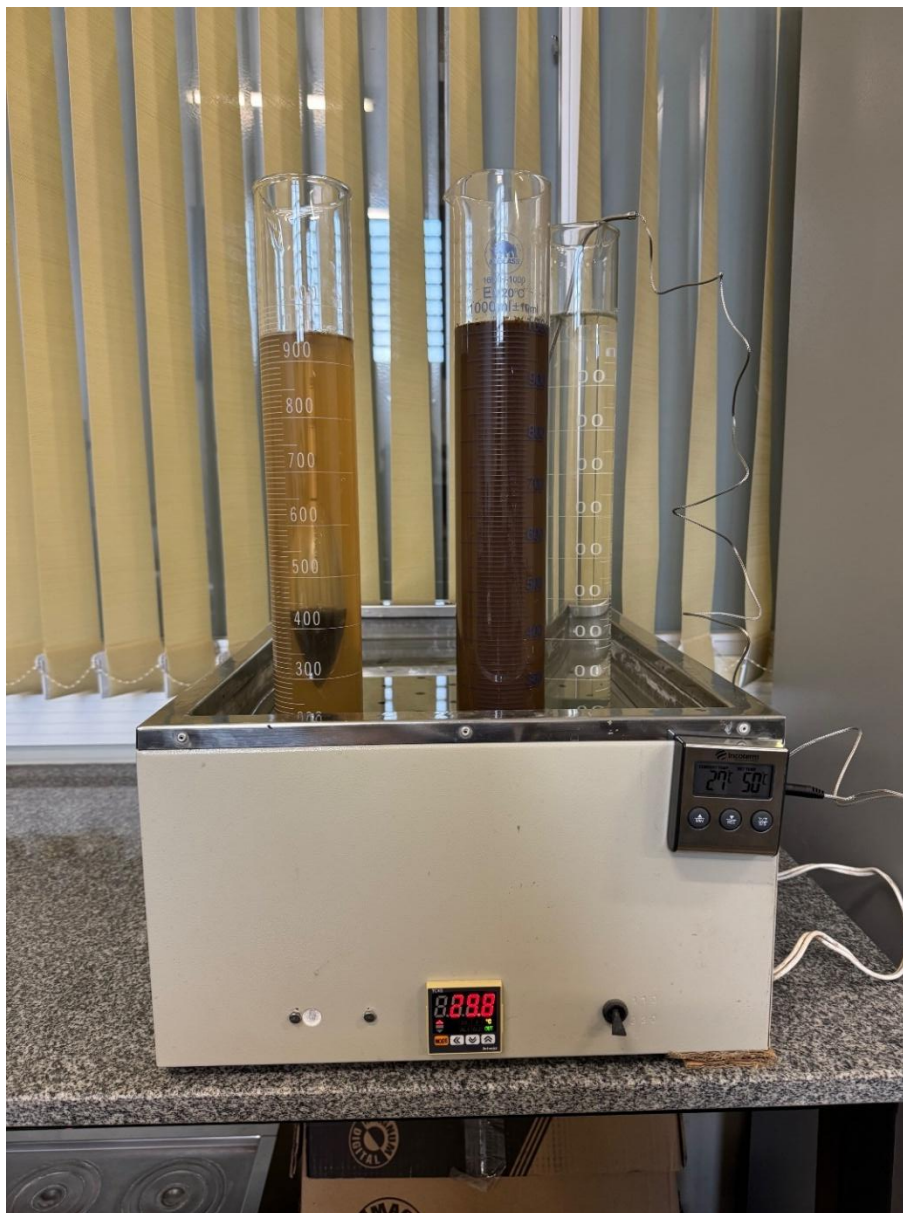
Após a permanência de 24 horas na estufa a 105 °C, a porção da amostra original retida na peneira com abertura de 2,00 mm deve ser retirada, colocada em

local adequado para que atinja a temperatura ambiente e então ser submetida ao peneiramento grosso. Monta-se sobre o agitador mecânico um conjunto composto por peneiras com abertura de malha de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm, mais a bandeja de fundo. Coloca-se a amostra na peneira de 50 mm e liga-se o agitador. As massas retidas em cada peneira devem ser aferidas e os valores anotados no manuscrito de laboratório para posterior transcrição para a planilha de cálculos.

3.3.5.2 Sedimentação

Para sedimentação, após o repouso de 12 horas da solução com a amostra de solo e o defloculante, verte-se a mistura em um copo de dispersão completando seu volume com adição de água destilada até 5 cm abaixo da borda, sendo imediatamente submetido à ação do dispersor por 15 minutos. Verte-se a mistura em uma proveta, adicionando água destilada até o menisco atingir a marca correspondente a 1.000 cm³. Tampa-se com a mão ou uma membrana de borracha e, segurando a proveta com uma mão na base e outra no bocal, efetuam-se movimentos enérgicos de rotação de forma que o bocal da proveta passasse de cima para baixo e vice-versa, por um período de 1 minuto. Finda a agitação, a proveta deve ser colocada em banho maria regulado para manter a temperatura da mistura estável. Imerge-se então o densímetro para realização das leituras nos tempos de sedimentação de 30 segundos, 60 segundos e 120 segundos. Retira-se o densímetro lentamente, que deve ser colocado em uma proveta idêntica, igualmente completada até a marca de 1.000 cm³ com água destilada e em banho maria para manter a temperatura estável. Imediatamente após a retirada do densímetro, afere-se a temperatura da mistura, que deve ser utilizada para os três primeiros tempos de ensaio e respectivas leituras do densímetro. Este procedimento deve ser repetido para os tempos de 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas e 24 horas. A Figura 33 apresenta a proveta com a mistura solo + defloculante + água destilada, a proveta com água destilada para colocação do densímetro entre os tempos de leitura e a proveta com o termômetro em banho maria.

Figura 33 - Etapa de sedimentação, provetas em banho maria



Fonte: Autor (2025).

Após as 24 horas de sedimentação, a mistura solo + defloculante + água destilada foi vertida na peneira número 200 (abertura de 0,075 mm) e lavada em água corrente a baixa pressão para eliminação de eventuais materiais menores que a malha da peneira. O material retido então foi colocado em uma cápsula de porcelana, o excesso de água foi retirado e a cápsula levada à estufa a 105 °C por 24 horas para atingir a constância de massa. Este processo é parte da preparação da amostra, que será submetida à etapa de peneiramento fino.

3.3.5.3 Peneiramento fino

Após 24 horas na estufa, tendo a amostra de solo atingido a constância de massa, o material deve ser retirado da estufa e colocado no dessecador até chegar à temperatura ambiente. Monta-se sobre o agitador mecânico um conjunto com as peneiras com aberturas de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075 mm e mais bandeja de fundo, coloca-se a amostra e inicia-se o peneiramento. As massas das quantidades retidas em cada peneira devem ser aferidas, anotadas no manuscrito e transcritas para a planilha de cálculo.

3.3.5.4 Cálculos

A massa total da amostra seca deve ser calculada de acordo com a equação 7.

$$M_{s(t)} = \left(\frac{M_t - M_g}{1 + W} \right) + M_g \quad (7)$$

Onde:

- $M_{s(t)}$ é a massa total da amostra seca, em gramas (g);
- M_t é a massa total da amostra seca à temperatura ambiente, em gramas (g);
- M_g é a massa do material do material seco retido na peneira com abertura de 2,0 mm, em gramas (g);
- W é a umidade higroscópica do material passado na peneira com abertura de 2,0 mm, em decimal.

As porcentagens dos materiais que passam nas peneiras com aberturas de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm devem ser calculadas utilizando-se a equação 8.

$$Q_g = \left[\frac{(M_{s(t)} - M_r)}{M_{s(t)}} \right] \times 100 \quad (8)$$

Onde:

- Q_g é a porcentagem de material que passa em cada peneira;

$M_{s(t)}$ é a massa total da amostra seca;
 M_r é a massa do material retido acumulado em cada peneira.

A porcentagem do material que passa na peneira com abertura de 2,0 mm é calculada através da equação 9.

$$N = \left[\frac{(M_{s(t)} - M_{r(2,0mm)})}{M_{s(t)}} \right] \times 100 \quad (9)$$

Onde: N é a porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm;
 $M_{s(t)}$ é a massa total da amostra seca;
 $M_{r(2,0mm)}$ é a massa do material retido acumulado na peneira de 2,0 mm.

A porcentagem do material em suspensão é calculada pela equação 10.

$$P = \left[\left(\frac{1000}{M_s} \right) \times \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{md}} \right) \times (L - L_{md}) \right] \times N \quad (10)$$

Onde: P é a porcentagem do solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;
 M_s é a massa do material seco submetido à sedimentação, em gramas (g);
 ρ_s é a massa específica dos grãos do material passante na peneira de 2,0 mm, obtida no ensaio descrito no item 3.2.4, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);
 ρ_{md} é a massa específica do meio dispersor à temperatura de calibração do densímetro (g/cm³);
 L é a leitura do densímetro na suspensão;
 L_{md} é a leitura do densímetro no meio dispersor, conforme Anexo A da norma ABNT NBR 7181:2025;

N é a porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm.

O diâmetro das partículas de solo em suspensão é calculado através da equação 11.

$$d = \sqrt{\left(\frac{1800 \times \mu}{\rho_s - \rho_{md}}\right) \times \left(\frac{z}{t}\right)} \quad (11)$$

Onde:

- d é o diâmetro das partículas, em milímetros (mm);
- 1800 é o fator de correção da equação;
- μ é a viscosidade do meio dispersor (água), à temperatura T de ensaio, conforme a Tabela 2 da norma ABNT NBR 7181:2025 ($\frac{g}{cm^2} \times s$);
- z é a altura de queda das partículas, conforme o Anexo A da norma ABNT NBR 7181:2025 (cm);
- t é o tempo de sedimentação (s);
- ρ_s é a massa específica dos grãos do material passante na peneira de 2,0 mm, obtida no ensaio descrito no item 3.2.4, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);
- ρ_{md} é a massa específica do meio dispersor à temperatura de calibração do densímetro (g/cm³);
- z é a altura de queda das partículas, conforme o Anexo A da norma ABNT NBR 7181:2025 (cm);
- t é o tempo de sedimentação (s).

Os cálculos das porcentagens que passam nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm é feito através da equação 12.

$$Q_f = \left\{ \left[\frac{M_u - M_r \times (1 + W)}{M_u} \right] \times 100 \right\} \times N \quad (12)$$

Onde:

- Q_f é a porcentagem de material que passa nas peneiras;

- M_u é a massa do material úmido submetido à sedimentação;
- M_r é a massa do material retido acumulado em cada peneira;
- W é a umidade higroscópica do material passante na peneira de 2,0 mm;
- N é a porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm.

O resultado do ensaio deve ser apresentado graficamente, dispondo no eixo das abscissas, em escala logarítmica, os diâmetros das partículas e no eixo das ordenadas, em escala aritmética as porcentagens passantes.

3.3.6 Classificação dos solos

De acordo com Pinto (2006, p. 63), a classificação de um solo consiste em inseri-lo em um grupo específico composto por solos que apresentam características e propriedades semelhantes, com o objetivo de estimar seu comportamento provável ou, ainda, facilitar a seleção mais adequada para análises mais aprofundadas em obras de interesse da Engenharia. Existem vários sistemas de classificação de solos, e embora a validade de tais sistemas seja alvo de discussões, Pinto (2006, p. 63) afirma que “[...] a classificação é necessária para transmissão de conhecimento.”. No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois sistemas de classificação: o Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS, e o Sistema Rodoviário de Classificação – HRB, acrônimo da nomenclatura em inglês para *Highway Research Board*. A classificação das amostras será baseada no sistema que descrever com maior fidelidade o tipo de solo em questão.

3.3.6.1 Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS

Na classificação de acordo com o SUCS, conforme descrita por Pinto (2006, p.64), todos os solos são identificados por um conjunto composto por duas letras, no qual a primeira letra indica a característica principal do solo e a segunda indica o dado complementar. As terminologias utilizadas pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS estão indicadas na Tabela 6.

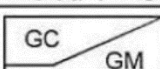
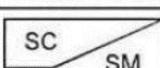
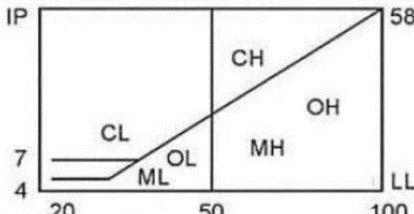
Tabela 6 - Terminologia de classificação de solos - SUCS

	Terminologia	Descrição
Tipo principal do solo	G	Pedregulho
	S	Areia
	M	Silte
	C	Argila
	O	Solo orgânico
Características complementares	W	Bem graduado
	P	Mal graduado
	H	Alta compressibilidade
	L	Baixa compressibilidade
	Pt	Turfas

Fonte: Adaptado de Pinto (2006, p. 64).

O método utiliza uma tabela que subdivide os solos em dois grandes grupos, sendo posteriormente subdivididos de acordo com suas características complementares. A Figura 34 apresenta a tabela de classificação do SUCS.

Figura 34 - Tabela de classificação SUCS

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW	CNU > 4 e 1 < CC < 3
			GP	CNU < 4 ou 1 > CC > 3
		% P #200 > 12	GC	
			GM	
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.	
	S > G : S	% P #200 < 5	SW	CNU > 6 e 1 < CC < 3
		SP	CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
% P #200 > 12		SC		
		SM		
		5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.	
% P #200 > 50	C	CL		
		CH		
	M	ML		
		MH		
	O	OL		
		OH		

Fonte: Pinto (2006, p. 70).

Para classificação de acordo com este método, o primeiro aspecto a ser considerado é o percentual de finos presente no solo, ou seja, o percentual passante

na peneira com abertura de 0,075 mm (Nº 200), que indicará a qual dos dois grandes grupos o solo a ser analisado pertence. Complementarmente são necessários os resultados dos ensaios de Granulometria (norma ABNT NBR 7181:2025), Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459:2016), Limite de Plasticidade + Índice de Plasticidade (ABNT NBR 7180:2016) e cálculos do Coeficiente de Não Uniformidade – CNU e o Coeficiente de Curvatura – CC para o enquadramento do solo nos demais subgrupos. Os coeficientes mencionados são calculados através da equação 13, para o Coeficiente de Não Uniformidade – CNU e 14, para o Coeficiente de Curvatura - CC.

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (13)$$

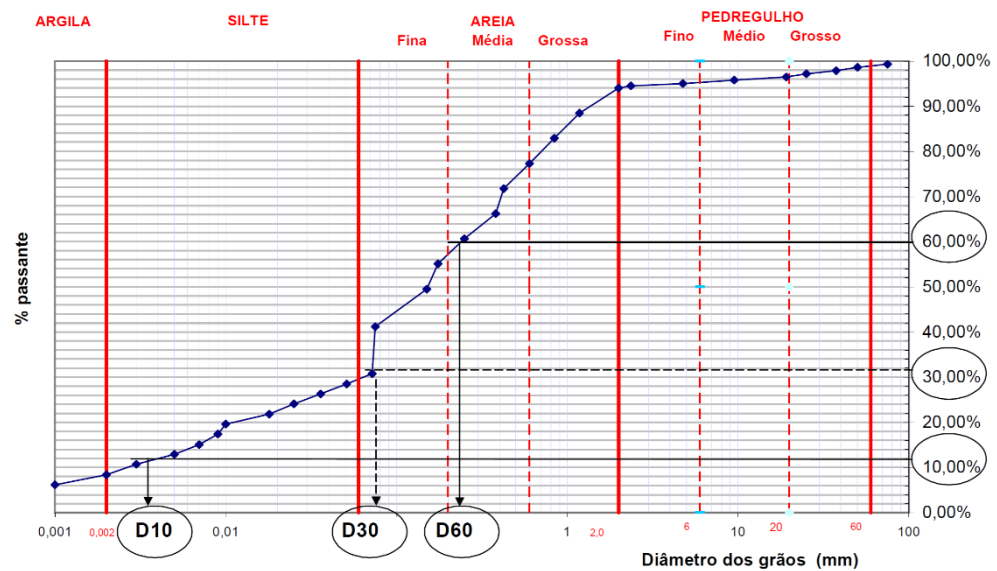
Onde: CNU é o Coeficiente de Não Uniformidade;
 D_{60} é o diâmetro que corresponde a 60% da curva granulométrica;
 D_{10} é o diâmetro que corresponde a 10% da curva granulométrica.

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (14)$$

Onde: CC é o Coeficiente de Curvatura;
 D_{60} é o diâmetro que corresponde a 60% da curva granulométrica;
 D_{30} é o diâmetro que corresponde a 30% da curva granulométrica;
 D_{10} é o diâmetro que corresponde a 10% da curva granulométrica

A obtenção dos valores dos diâmetros D_{60} , D_{30} e D_{10} é feita de forma gráfica, traçando, no gráfico granulométrico, linhas perpendiculares ao eixo das ordenadas, correspondentes aos percentuais passantes de 10%, 30% e 60%. Tais linhas devem ser estendidas até a interseção com a curva granulométrica, de onde seguem perpendicularmente até o eixo das abscissas, indicando os valores dos respectivos diâmetros, como apresentado na Figura 35.

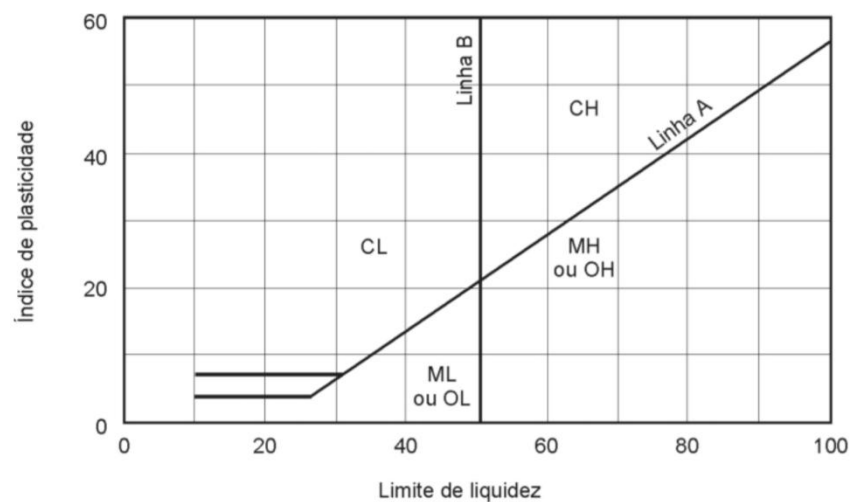
Figura 35 - Curva granulométrica e diâmetros D10, D30 e D60



Fonte: Carvalho P. de Almeida (2005, p. 72).

Os valores obtidos para os Coeficientes de Não Uniformidade e Curvatura são utilizados para as subclassificações de solos grossos, cujo percentual de material passante na peneira número 200 é inferior a 50% e os Índices de Liquidez e Plasticidade são utilizados para as subclassificações de solos finos, com percentuais superiores a 50% de materiais passantes na peneira número 200. Estes índices são utilizados na Carta de Plasticidade, localizada na parte inferior direita da tabela de classificação SUCS, apresentada em detalhes na Figura 36.

Figura 36 - Carta de Plasticidade



Fonte: Pinto (2006, p. 68).

3.3.6.2 Sistema Rodoviário de Classificação – HRB

Este sistema é semelhante ao sistema SUCS, iniciando a classificação pelos percentuais de material passantes na peneira 200, e fazendo uso de uma tabela de classificação. Senço (2007, p. 203) reitera que o sistema HRB também se baseia nos ensaios de Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade e granulometria. O sistema HRB considera como sendo solos de granulação grossa os que têm menos de 35% de material passante na peneira número 200 e os subgrupos são determinados a partir de parâmetros de material passantes nas peneiras com aberturas de 0,42 mm (Nº 40) e 2,0 mm (Nº 10), além dos Limites de Liquidez e Plasticidade. Baseando-se na granulometria, os solos são classificados em oito grupos, de A-1 a A-8 em ordem decrescente de diâmetro dos grãos, cada qual com características peculiares. Por exemplo, Senço (2007, p. 197), indica que “[...] os solos A-1 têm comportamento ótimo como suporte de pavimentos, e os solos A-8 são praticamente imprestáveis para esse suporte.”.

Senço (2007, p. 197) menciona a necessidade de definir o Índice de Grupo ao qual o solo pertence, por tratar-se de um classificador quantitativo dos mais conhecidos. O Índice de Grupo – IG é obtido pela equação 15.

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \quad (15)$$

Onde:

<i>IG</i>	é o índice de grupo;
<i>a</i>	é a porcentagem “p” passante na peneira 200 menos 35, sendo que: se $p > 75\%$, adota-se $p = 75$, e se $p < 35\%$, adota-se $p = 35$
<i>b</i>	é a porcentagem “p” passante na peneira 200 menos 15, sendo que: se $p > 55\%$, adota-se $p = 55$, e se $p < 15\%$, adota-se $p = 15$;
<i>c</i>	é o valor do Limite de Liquidez menos 40, sendo que: Se $LL > 60\%$, adota-se 60, e Se $LL < 40\%$, adota-se 40
<i>d</i>	é o valor do Índice de Plasticidade menos 10, sendo que: Se $IP > 30$, adota-se 30, e Se $IP < 10$, adota-se 10

A tabela de classificação sugerida pela HRB e adotada pela AASHTO, mencionada por Senço (2007, p. 206) é apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Tabela de classificação de solos, modelo HRB

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

Fonte: Senço (2007, p. 206).

3.3.7 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação determina a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos compactados seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 7182:2025. A aparelhagem necessária é:

- balanças que permitam pesar nominalmente 10 kg e 200 g, com resoluções de 1 g e 0,01 g, respectivamente;
- peneiras de 19 mm e 4,8 mm;
- estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- cápsulas metálicas para determinação de umidade;
- bandejas metálicas;
- régua de aço biselada;
- espátulas com lâminas flexíveis;
- conjuntos de cilindros de Proctor de tamanhos pequeno e grande, compreendendo o cilindro, base e cilindro complementar (colarinho)

mais disco espaçador para o cilindro grande, conforme especificados na norma ABNT NBR 7185:2025, p. 2 e 3;

- i) soquetes de tamanhos pequeno e grande; conforme especificações nas páginas 4 e 5 da referida norma;
- j) provetas de vidro com capacidade de 1.000 cm³, 200 cm³ e 100 cm³, com graduações de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³, respectivamente;
- k) desempenadeira;
- l) extrator do corpo de prova;
- m) conchas metálicas;
- n) base rígida;
- o) papel filtro com diâmetro igual ao dos moldes empregados;
- p) sacos plásticos.

Inicialmente seleciona-se o cilindro a ser utilizado no ensaio, de acordo com as diretrizes contidas na Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024, apresentada anteriormente na Figura 18. Em seguida, verifica-se a energia de compactação a ser utilizada, de acordo com a Tabela 1 da norma ABNT NBR 7185:2025, apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Energias de compactação

Tabela 1 – Energias de compactação				
Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador mm	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT NBR 7185:2025, p. 6

Para o presente estudo, considerando que os locais definidos para a realização dos ensaios de campo e coleta de amostras correspondem a vias locais com tráfego leve, optou-se pela utilização da energia de compactação normal, com aplicação de

12 golpes por camada. Em relação ao material, dentre as possibilidades listadas na norma ABNT NBR 7182:2025, a opção foi pela realização do ensaio com reuso de material e amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica.

Inicia-se o ensaio fixando o molde cilíndrico à base, colocando-se o disco espaçador, o cilindro complementar e o papel filtro. Coloca-se a amostra na bandeja metálica e com o auxílio da proveta de vidro, adiciona-se a quantidade de água necessária de forma a se obter o teor de umidade desejado, revolvendo o solo de forma a uniformizar a umidade. O solo úmido é então colocado no cilindro em camadas e aplicados os golpes com o soquete perpendicularmente e uniformemente distribuídos sobre a superfície do corpo de prova. Entre a colocação de uma camada e outra, deve-se escarificar levemente a superfície da camada subjacente para melhor aderência entre ambas.

Ao final da última camada, retira-se o cilindro complementar (colarinho) e rasa-se a o solo compactado acima do molde com o auxílio da régua biselada. Retira-se o molde da base e pesa-se o conjunto, obtendo pela subtração da massa do cilindro, a massa úmida do solo compactado. O conjunto então é levado ao extrator para retirada do solo, retirando-se uma amostra do centro do corpo de prova para determinação da umidade do solo ensaiado. O material remanescente então é destorroado e acrescido de um incremento percentual de umidade, repetindo todo o processo até que se obtenham pelo menos cinco pontos para plotagem do gráfico, ficando dois pontos no ramo seco, um próximo à umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação.

Para cada ponto de ensaio deve ser determinada a massa específica aparente seca, usando a equação 16.

$$\rho_d = \frac{M_u \times 100}{V \times (100 + W)} \quad (16)$$

Onde:

ρ_d	é a massa específica aparente seca (g/cm³);
M_u	é a massa úmida do solo compactado (g);
V	é o volume útil do molde cilíndrico (cm³);
W	é o teor de umidade do solo compactado (%).

Com os resultados obtidos em cada ponto, deve ser traçada a curva de compactação com os teores das umidades no eixo das abscissas e as massas específicas aparente secas no eixo das ordenadas. A curva resultante deve ter um formato aproximadamente parabólico. A massa específica aparente seca corresponderá à ordenada máxima da curva de compactação e o teor de umidade ótima será o correspondente à respectiva massa.

3.3.8 Índice de Suporte Califórnia – ISC

O ensaio de ISC fornece dados referentes à capacidade de suporte e expansão de solos, em ensaios de laboratório com a utilização de amostras deformadas. A aparelhagem para execução do ensaio, listada pela norma ABNT NBR 9895:2016 é:

- a) balanças que permitam pesar nominalmente 20 kg, 1.500 g e 200 g com resolução de 1 g, 0,1 g e 0,01 g, respectivamente;
- b) peneiras de 76 mm, 19 mm e 4,8 mm;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- d) cápsulas metálicas para determinação de umidade;
- e) bandejas metálicas;
- f) régua de aço biselada;
- g) espátulas com lâminas flexíveis;
- h) conjuntos de cilindros de Proctor de tamanho grande, compreendendo o cilindro, base perfurada e cilindro complementar (colarinho) mais disco espaçador²;
- i) soquete com massa de 4.536 g e guia com altura de queda de 457 mm²;
- j) prato perfurado com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, com haste central ajustável²;
- k) suporte para relógio comparador²;
- l) disco anelar de aço para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com massa de 2.270 g, diâmetro interno de 54 mm e externo de 149 mm;

² Especificações detalhadas constam no Anexo A, Figuras A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5, Anexo A da norma ABNT NBR 9895:2016.

- m) relógio comparador com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01 mm;
- n) prensa de ISC³;
- o) extrator de corpo de prova;
- p) tanque ou recipiente que permita a imersão total dos corpos de prova;
- q) papel filtro circular com cerca de 150 mm de diâmetro;
- r) provetas de vidro com capacidade de 1.000 cm³, 200 cm³ e 100 cm³, com graduações de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³, respectivamente;
- s) desempenadeira;
- t) conchas metálicas;
- u) base rígida, com massa superior a 100 kg.

A norma deste ensaio recomenda que a quantidade de material seja de 50 kg, devidamente preparada de acordo com a norma ABNT NBR 6457:2024. O ensaio é iniciado com a determinação da massa do cilindro (sem o cilindro complementar), bem como tomando-se as medidas de altura e diâmetro. Fixa-se o cilindro à base perfurada e coloca-se o disco espaçador. Sobre este, coloca-se o papel filtro e fixa-se o cilindro complementar.

Na bandeja metálica, toma-se aproximadamente 6 kg da amostra a ser ensaiada e adiciona-se água com o auxílio da proveta na quantidade necessária para que se obtenha um teor de umidade o mais próximo possível do primeiro ponto do ensaio de compactação. Com o auxílio da desempenadeira e da concha, revolve-se continuamente o material para uma completa homogeneização.

Segue-se com a colocação do solo no cilindro, seguida da compactação através da aplicação do número de golpes de acordo com a energia de compactação adotada. O processo deve ser repetido até que se completem um total de cinco camadas, sendo que a compactação de cada camada deve ser precedida de escarificação da camada subjacente.

Ao final da compactação da última camada, retira-se o cilindro complementar e com o auxílio da régua biselada retira-se o excesso de solo, que deve ser ter no máximo 10 mm de excedente. Remove-se o cilindro da base e pesa-se o conjunto, para obtenção da massa do solo úmido compactado, por subtração da massa do

³ Especificações detalhadas constam no Anexo A, Figuras A.5 e A.6 da norma ABNT NBR 9895:2016.

cilindro. Com uma porção da amostra de solo restante na bandeja, toma-se uma quantidade de solo que deve ser dividida em três cápsulas metálicas para a determinação de umidade de moldagem do corpo de prova, seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 6457:2024. Todo o processo deve ser repetido cinco vezes, sendo que para cada ponto adicional incrementa-se a quantidade de água de modo a se obter um teor de umidade próximo do utilizado no ensaio de compactação para o ponto similar.

Após as moldagens, os moldes devem ser invertidos e novamente fixados nas suas respectivas bases perfuradas. Coloca-se no lugar deixado pelo disco espaçador o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele os discos anelares de sobrecarga. Sobre o cilindro, devem ser fixados os suportes e os relógios comparadores. Anota-se a leitura inicial e coloca-se os cinco corpos de prova no tanque de imersão, onde deverão ficar por um período de 96 horas. Durante este período, a cada 24 horas e no mesmo horário da colocação para imersão devem ser feitas as leituras dos relógios comparadores para o cálculo da expansão do solo.

Terminado o período de imersão, os corpos de prova devem ser retirados do tanque e deixados por um período de 15 minutos para escoar a água. Retira-se então o prato perfurado e recoloca-se as sobrecargas, levando os corpos de prova para prensa para a etapa de penetração do ensaio. As anotações das leituras de carga e penetração devem ser feitas para os tempos e penetrações indicadas na Tabela 3 da norma (ABNT NBR 9895:2016, p. 5).

Os cálculos necessários para este ensaio são efetuados para cada um dos corpos de prova, sendo estes de massa específica aparente seca, expansão, e Índice de Suporte Califórnia. A massa específica aparente seca é determinada de acordo com a equação 16, descrita anteriormente no ensaio de compactação, item 3.2.7. A expansão e o ISC são calculados conforme as equações 17 e 18, respectivamente.

$$Expansão (\%) = \left(\frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial do rel.comparador}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \right) \times 100 \quad (17)$$

$$ISC = \left(\frac{\text{pressão calculada OU pressão corrigida}}{\text{pressão-padrão}} \right) \times 100 \quad (18)$$

No cálculo do ISC, deve ser adotado o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, conforme a Tabela 4 da norma, apresentada na Figura 39.

Figura 39 - Tabela 4, cálculo do ISC

Tabela 4 – Cálculo do índice de suporte Califórnia (ISC)

Penetração mm	Pressão MPa			ISC %
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54			6,9	
5,08			10,35	

Fonte: ABNT NBR 9895:2016, p. 6.

A expressão dos resultados deve contemplar, para cada corpo de prova, um gráfico contendo a curva de compactação, onde o eixo das abscissas apresente os teores de umidade e o eixo das ordenadas apresente as massas específicas aparentes secas correspondentes. Caso a curva apresente inflexão, deve ser efetuada a correção conforme a Figura A.7, constante no anexo A da norma.

A massa específica aparente seca corresponde ao valor máximo da ordenada da curva de compactação. O ISC e a expansão do solo devem ser apresentados graficamente, juntamente com o gráfico da curva de compactação. Os valores correspondentes ao ISC e expansão obtidos em cada corpo de prova servirão para construção da curva, sendo que o valor final do ISC deve ser obtido no gráfico, de acordo com os critérios de projeto.

3.3.9 Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica

Embora o escopo da norma indica este método para ensaios *in situ* de controle de compactação de aterro, a norma norte-americana ASTM D6951/D6951M, a qual é citada nas referências da norma ABNT NBR 17091:2023, claramente especifica que o método do Cone de Penetração Dinâmica é utilizado para estimar o Índice de Suporte Califórnia *in situ*. Os equipamentos necessários para realização do ensaio citados na norma são:

- a) Equipamento de DCP;
- b) Extrator de haste da ponteira.

Este ensaio deve ser necessariamente desenvolvido por duas pessoas, uma para manusear o equipamento e outra para efetuar as leituras e anotações. O ensaio é realizado posicionando-se o equipamento na vertical, perpendicularmente ao solo. Inicia-se com a fixação da ponteira, elevando-se o martelo até a base do punho e soltando-o em queda livre. Aplica-se tantos golpes quantos forem necessários até a cravação da ponteira, sendo que os golpes aplicados nesta etapa não são contabilizados para o cálculo do Índice de Penetração Dinâmica (I_{PD}), apenas a medida da cravação deve ser anotada como sendo a penetração inicial. Em seguida repete-se o procedimento de cravação, sendo que a pessoa responsável pelas leituras deve, a cada 3 golpes, anotar no manuscrito de campo as leituras referentes à penetração. As leituras a cada 3 golpes são realizadas desta forma apenas com o intuito de racionalizar o ensaio.

Caso haja uma penetração inferior a 2,0 mm em cinco golpes sucessivos, ou durante a cravação houver uma deflexão superior a 75,0 mm em relação à vertical, deve-se remover o equipamento e recomeçar o ensaio a uma distância mínima de 30 cm do ponto anterior. A retirada do equipamento pode ser feita com o auxílio do extrator, ou então com o golpeamento do martelo em sentido ascendente.

A norma ABNT NBR 17091:2023 estabelece valores considerados aceitáveis para a relação entre a variação da penetração e o número de golpes, chamado de Índice de Penetração Dinâmica (I_{PD}), como sendo $I_{PD} \leq 6$ para Brita Graduada Simples (BGS), $I_{PD} \leq 17$ para solos e $I_{PD} \leq 22$ para areias. Observa-se que esta informação não está mencionada de forma ostensiva na norma, aparecendo apenas como um campo mostrado no exemplo de tabela de medição⁴. Neste caso, fica subentendido que, caso o I_{PD} ultrapasse ou fique fora dos limites indicados, os testes não são válidos. A norma também não faz menção quanto à profundidade para encerramento do ensaio, apenas cita em seu escopo que o método é aplicável a investigações com no máximo 2 metros de profundidade.

Uma vez encerrado o ensaio, utiliza-se os dados coletados para o cálculo do I_{PD} conforme a equação 3, mostrada no item 2.3 e aplica-se, de acordo com o tipo de

⁴ ABNT NBR 17091:2023, Anexo A, Tabela A.1.

material ensaiado (BGS, solo ou areia), a equação de regressão adequada, de acordo com a Tabela 2, também mostrada no item 2.3. Os resultados também são expressos graficamente, no qual o eixo das abscissas mostra o número de golpes e o eixo das ordenadas mostra a penetração, expressa em milímetros. Exemplos da tabela de medição e do gráfico resultante do DCP foram igualmente mostrados no item 2.3, através das Figuras 7 e 8, respectivamente.

3.3.10 Norma ASTM D6951/D6951M – 09: Método de teste padrão para o uso do Cone de Penetração Dinâmica em pavimentos rasos

Embora este estudo seja embasado nas normas brasileiras, organizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, existe um quesito na norma norte-americana que é fundamental para o resultado dos ensaios deste trabalho: a ausência de um fator limitante para a relação entre o tipo de material ensaiado e a relação entre a variação da penetração e o número de golpes aplicados, ou I_{PD} , conforme a norma ABNT NBR 17091:2023. Este fato amplia consideravelmente a validação dos resultados obtidos através do ensaio de DCP.

A norma ASTM D6951/D6951M – 09 apresenta a equação de regressão 19 como sendo válida para todos os tipos de solo, exceto para solos classificados como CL (argila de baixa compressibilidade) com ISC inferior a 10% e para todos os solos CH (argilas com alta compressibilidade).

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}} \quad (19)$$

Onde: CBR é o Índice de Suporte Califórnia;
 DCP é razão entre a penetração e o número de golpes.

Para os solos classificados como CL – argila de baixa compressibilidade e com ISC inferior a 10%, a norma ASTM define a equação 20 para ser utilizada.

$$CBR = \frac{1}{(0,017019 \times DCP)^2} \quad (20)$$

Em se tratando de argilas com alta compressibilidade (CH), independentemente de eventuais diferenças, para solos enquadrados nestas características, o valor do CBR é calculado através da equação de regressão 21.

$$CBR = \frac{1}{(0,002871 \times DCP)} \quad (21)$$

Observa-se que a norma norte-americana é menos restritiva que a norma brasileira, na qual o I_{PD} é um fator limitante para aplicabilidade do método de ensaio a um conjunto mais restrito de solos. Os solos utilizados neste trabalho foram caracterizados pelos sistemas de classificação SUCS e HBR. Além disso, foram utilizadas as sistemáticas das normas brasileira e norte-americana para análise dos valores do ISC obtidos pelo método do DCP.

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados com as amostras coletadas nos pontos indicados no item 3.3, compreendendo os ensaios de laboratório e os ensaios realizados em campo.

4.1 AVENIDA BELVEDERE

Os resultados para a Avenida Belvedere estão abaixo descritos.

4.1.1 Ensaio de umidade

Realizado de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 6457:2024, a Tabela 7 mostra os resultados para a umidade higroscópica da amostra coletada, indicando um teor de umidade média de 11,06%.

Tabela 7 - Umidade higroscópica, Av. Belvedere

Ponto	Nº da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Umidade média W_{med} (%)
1	39	11,42	29,71	18,29	27,73	16,31	1,98	12,14	11,06
2	44	10,29	25,24	14,95	23,9	13,61	1,34	9,85	
3	66	8,24	20,27	12,03	19,06	10,82	1,21	11,18	

Fonte: Autor (2025).

4.1.2 Limite de Liquidez

Os resultados do ensaio estão expressos na Tabela 8. Em conformidade com a norma ABNT NBR 6459:2016, o Limite de Liquidez para a amostra ensaiada é de 60%.

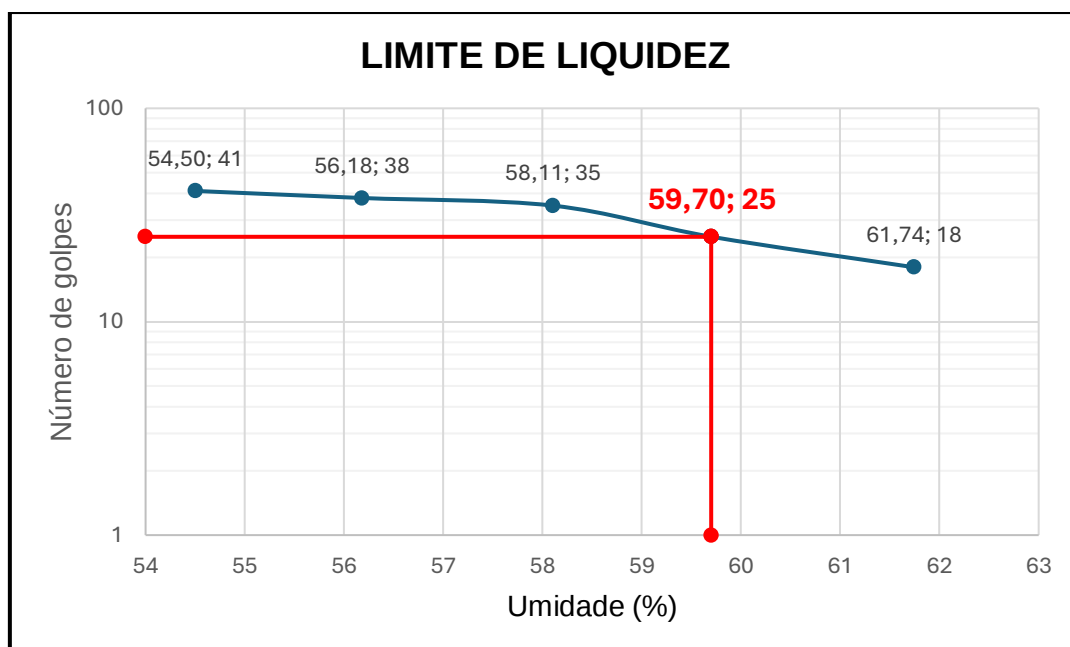
Tabela 8 - Limite de Liquidez, Av. Belvedere

Ponto	Nº da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Número de golpes
1	10	9,14	15,83	6,69	13,47	4,33	2,36	54,50	41
2	11	9,22	19,20	9,98	15,61	6,39	3,59	56,18	38
3	28	11,06	19,74	8,68	16,55	5,49	3,19	58,11	35
4	42	9,97	17,54	7,57	14,71	4,74	2,83	59,70	25
5	54	7,71	16,25	8,54	12,99	5,28	3,26	61,74	18

Fonte: Autor (2025).

Ainda de conforme a referida norma, a expressão gráfica para o Limite de Liquidez da amostra é apresentada na Figura 40.

Figura 40 - Limite de Liquidez, Av. Belvedere



Fonte: Autor (2025).

4.1.3 Limite de Plasticidade

O Limite de Plasticidade para a amostra ensaiada, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 7180:2016 é de 43%. A Tabela 9 mostra os resultados do ensaio.

Tabela 9 - Limite de Plasticidade, Av. Belvedere

to	Nº da cápsula	Tara da Cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Peso do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Peso do solo seco (g)	Peso da água (g)	Umidade (%)	Teor de umidade médio (%)
1	7	10,35	11,93	1,58	11,46	1,11	0,47	42,34	42,55
2	21	9,97	11,31	1,34	10,91	0,94	0,4	42,55	
3	33	11,79	13,24	1,45	12,82	1,03	0,42	40,78	
4	36	7,51	8,56	1,05	8,24	0,73	0,32	43,84	
5	48	8,78	10,07	1,29	9,68	0,9	0,39	43,33	

Fonte: Autor (2025).

4.1.3.1 Índice de Plasticidade

Ainda segundo a norma ABNT NBR 7180:2016, deve ser determinado o Índice de Plasticidade, dado pela diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade, conforme a equação 22.

$$IP = LL - LP \quad (22)$$

Onde: IP é p Índice de Plasticidade;

LL é o Limite de Liquidez;

LP é o Limite de Plasticidade.

Desta forma, o Índice de Plasticidade da amostra de solo da Av. Belvedere é dado por:

$$IP = LL - LP = 60\% - 43\% \quad \therefore \quad IP = 17\%$$

Segundo a classificação qualitativa de Burmister *apud* Das e Sobhan (2019, p. 89), disposta na Tabela 10, com um Índice de Plasticidade de 17%, a amostra de solo da Av. Belvedere, possui uma plasticidade média.

Tabela 10 - Classificação qualitativa de Burmister

IP	Descrição
0	Sem plasticidade
1 – 5	Plasticidade leve
5 – 10	Plasticidade baixa
10 – 20	Plasticidade média
20 – 40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Adaptado de Das e Sobhan (2019, p. 89).

4.1.4 Massa Específica

O ensaio conforme a norma ABNT NBR 17212:2025, indica uma massa específica de $\rho_s = 2,20 \text{ g/cm}^3$ para a amostra da Av. Belvedere, cujos resultados estão indicados na Tabela 11. Os valores grifados em verde são os considerados aceitáveis pela norma.

Tabela 11 - Massa Específica, Av. Belvedere

Ensaio	1	2	3
Ms (g):	50,34	50,34	50,82
Início da imersão (h):	14:45	14:45	14:45
Fim da imersão (h):	14:05	14:50	15:40
M2 (g):	716,06	688,73	679,72
T (°C)	19	19	19
PW(T):	0,99984	0,99984	0,99984
M1 (g):	688,50	661,33	651,69
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,209	2,191	2,230
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,200		

Fonte: Autor (2025).

4.1.5 Análise Granulométrica

Na etapa de peneiramento para o ensaio de análise granulométrica, realizado em conformidade com a norma ABNT NBR 7181:2025, os resultados para a amostra

da Av. Belvedere indicaram um percentual retido acumulado na peneira com abertura de 19,1 mm de 33,12%, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Peneiramento grosso e fino, Av. Belvedere

PENEIRAMENTO AV. BELVEDERE							
Massa da amostra (g)	Peneiras		Massa retida em cada peneira M_r (g)	% da amostra total	Massa retida acumulada $M_{r,acum}$ (g)	% do material retido acumulado	% dos materiais passantes
3184,13	Nº	Abertura (mm)					
PENEIRAMENTO GROSSO	3"	76,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	2"	50,8	118,58	3,72	118,58	3,72	98,38
	1,5"	38,1	271,27	8,52	389,85	12,24	94,67
	1"	25,4	457,37	14,36	847,22	26,61	88,41
	3/4"	19,1	207,48	6,52	1054,70	33,12	85,58
	3/8"	9,5	376,91	11,84	1431,61	44,96	80,42
	4	4,8	632,88	19,88	2064,49	64,84	71,76
PENEIRAMENTO FINO	10	2	1100,22	34,55	3164,71	99,39	56,72
	16	1,2	0,95	0,03	0,95	99,42	55,86
	30	0,6	4,33	0,14	5,28	99,56	51,97
	40	0,42	2,48	0,08	7,76	99,63	49,73
	50	0,3	3,99	0,13	11,75	99,76	46,14
	100	0,15	3,78	0,12	15,53	99,88	42,74
	200	0,074	3,27	0,10	18,80	99,98	39,80
Fundo			0,62	0,02	19,42	100,00	39,24
Σ Massa (g)			3184,13				

Fonte: Autor (2025).

Tendo um percentual retido acumulado superior a 30% na peneira indicada, de acordo com as especificações contidas na Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024 e na Tabela 1 da norma ABNT NBR 9895:2016, não é possível realizar os ensaios de Compactação nem de Índice de Suporte Califórnia para solos com tais características. A Figura 18 apresenta a Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024, indicando não ser possível realizar o ensaio de compactação para este tipo de solo.

Na mesma situação enquadra-se, de forma ainda mais restritiva, a realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia, conforme a Tabela 1 da norma ABNT NBR 9895:2016, apresentada na Figura 41.

Figura 41 - Tabela 1, norma ABNT NBR 9895:2016

Tabela 1 – Quantidades de material		
Peneira mm	Porcentagem de material retido %	Observação
4,8	menor que 7	desprezar o material retido
19	menor que 10	desprezar o material retido
19	maior que 10	ver ^a
19	maior que 30	não ensaiar de acordo com esta Norma
^a Passar o material retido na peneira de 19 mm através da peneira de 76 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19 mm e que passe na de 76 mm, por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na de 19 mm.		

Fonte: ABNT NBR 9895:2016, p. 3

Quando ocorrem casos desta natureza devem ser buscados métodos alternativos para obtenção dos dados fornecidos pelos referidos ensaios. Como esta questão não faz parte do escopo deste trabalho, os ensaios de laboratório realizados para a amostra da Av. Belvedere foram encerrados com a análise granulométrica e os dados foram usados para a classificação da amostra. O resultado referente ao índice de Suporte Califórnia ficou limitado ao obtido *in situ* através do Cone de Penetração Dinâmica.

A Tabela 13 resume o ensaio de granulometria para a amostra da Av. Belvedere.

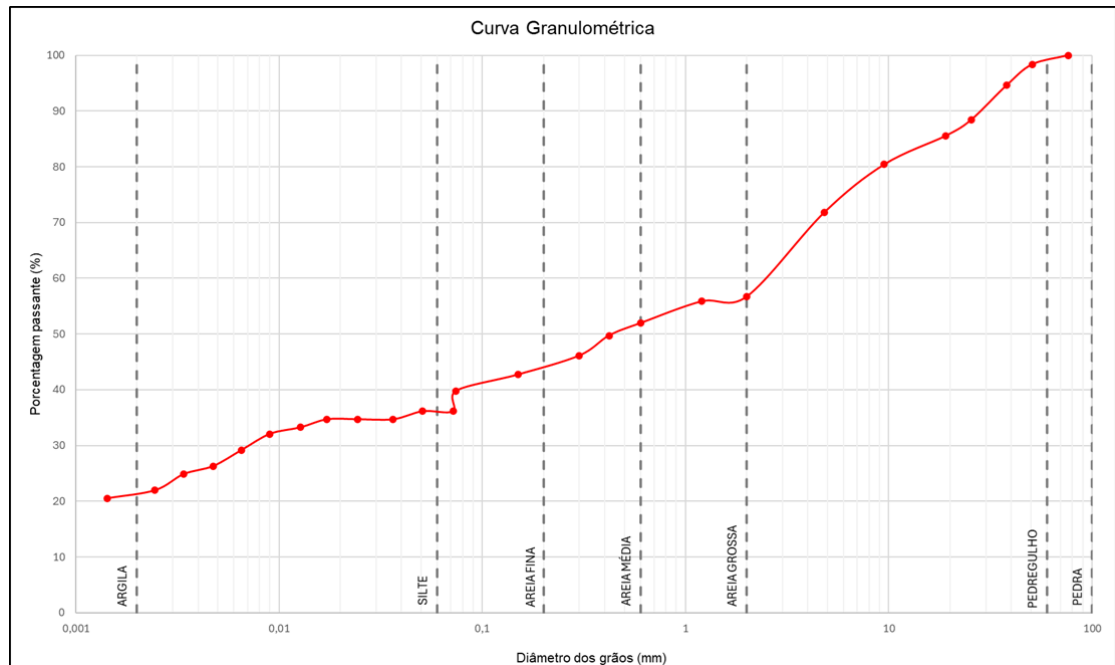
Tabela 13 - Resumo da granulometria, Av. Belvedere

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)					
Pedregulho (>2,00 mm)	Areia grossa (2,00–0,6mm)	Areia média (0,6-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,06mm)	Silte + Argila (<0,074mm)	TOTAL
43,28	4,75	5,82	6,35	39,80	100,00

Fonte: Autor (2025).

A Figura 42 apresenta o gráfico com a curva granulométrica da amostra ensaiada. Todos os demais detalhes encontram-se nas planilhas de cálculo, no Apêndice A.

Figura 42 - Curva granulométrica, Av. Belvedere



Fonte: Autor (2025).

4.1.6 Classificação do solo

A amostra foi classificada segundo os critérios do Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS e do Sistema Rodoviário de Classificação – HRB, sendo adotada, para o presente estudo, a classificação fornecida pelo sistema que melhor representar as características geotécnicas observadas do solo..

4.1.6.1 Classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS

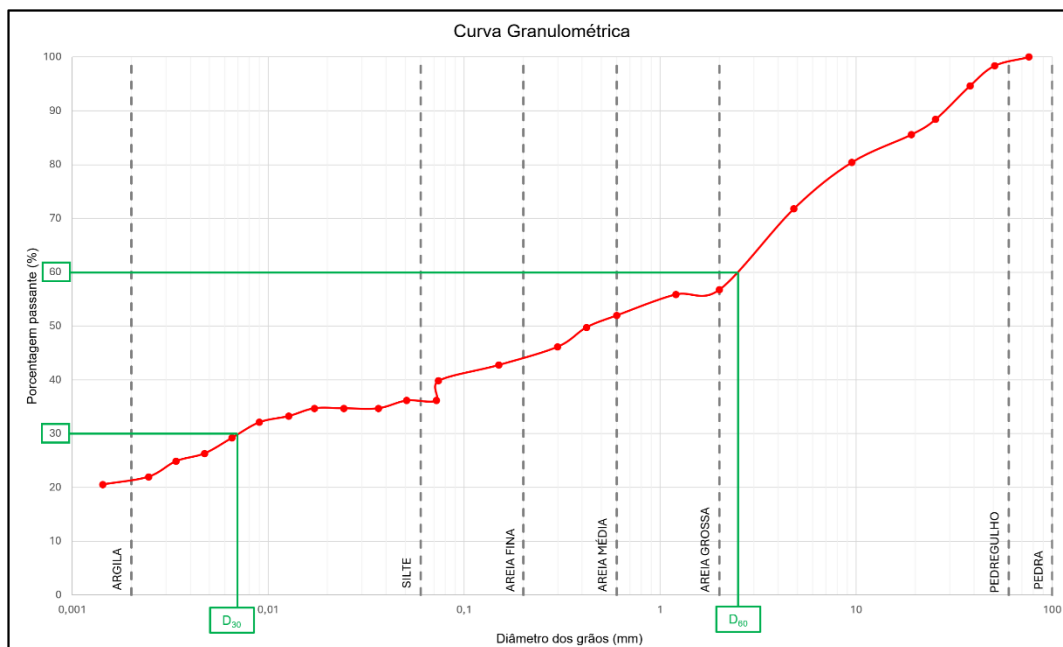
Para classificação por este sistema, são necessários os dados resumidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados para classificação SUCS

Dado	Valor
% de finos: material passante na peneira Nº 200	39,80 %
Limite de Liquidez – LL	60%
Limite de Plasticidade – LP	43%
Índice de Plasticidade – IP	17%

Fonte: Autor (2025).

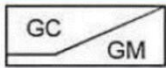
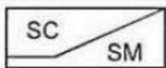
Além dos dados indicados, são necessários o Coeficiente de Não Uniformidade – CNU e o Coeficiente de Curvatura – CC, determinados através das equações 13 e 14, especificadas anteriormente no item 3.2.6. Para os cálculos dos referidos coeficientes, faz-se necessária a determinação gráfica dos diâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , efetuada graficamente conforme a Figura 43.

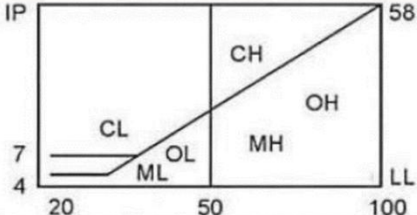
Figura 43 - Determinação gráfica dos diâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} 

Fonte: Autor (2025).

Como é possível observar no gráfico, a curva granulométrica não atingiu 10% do material passante na peneira de 2,0 mm. Neste caso a determinação do diâmetro D_{10} não é possível, ficando a classificação do solo pelo sistema SUCS limitada aos valores indicados na Tabela 14. A Figura 44 mostra a classificação da amostra de acordo com o método SUCS.

Figura 44 - Classificação SUCS, Av. Belvedere

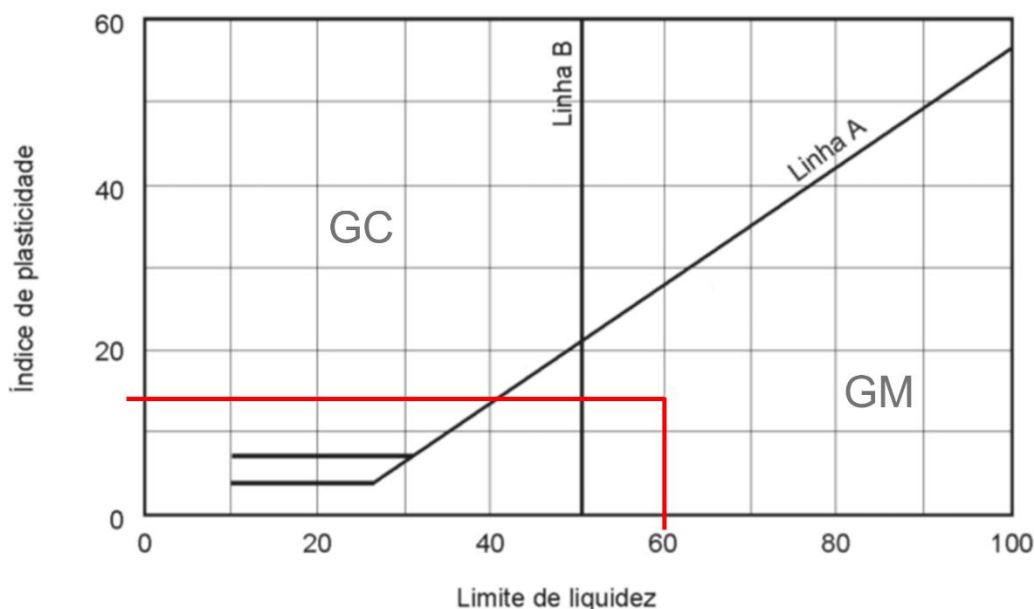
% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3
			GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3
		% P #200 > 12	GC 
			GM
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.
	S > G : S	% P #200 < 5	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3
		SP CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
% P #200 > 12		SC 	
		SM	
	5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.	

% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
		OH	

Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 70 (2025).

Como o percentual de finos passantes na peneira Nº 200 é de 39,80%, valor inferior a 50%, o solo encontra-se na parte superior do gráfico, marcado em vermelho na Figura 45. Ao analisar o resumo da granulometria, observa-se que a amostra contém 43,28% de pedregulho e 16,92% de areias (4,75 de areia grossa + 5,82% de areia média + 6,35% de areia fina). Como a quantidade de pedregulho é superior à de areia, o solo encontra-se na subdivisão superior da tabela, marcada em azul. Utiliza-se novamente o percentual de finos passantes na peneira Nº 200 para enquadrar o solo no terceiro subgrupo, que para a amostra analisada está marcado em verde. Por último, para diferenciar entre as categorias GC ou GM, utiliza-se o Limite de Liquidez e o Índice de Plasticidade, conforme apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Carta de Plasticidade



Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 68 (2025).

Encontrado o quarto subgrupo, a amostra de solo da Av. Belvedere é então classificada como GM – Pedregulho siltoso. Com base na observação visual da curva granulométrica apresentada na Figura 43, embora não tenha sido possível calcular o Coeficiente de Não Uniformidade (CNU) nem o Coeficiente de Curvatura, o desenvolvimento relativamente suave da curva indica que o solo é, na maior parte, bem graduado. Também se observa um “salto” na curva entre os diâmetros 0,07 e 0,08, indicando que neste ponto há uma descontinuidade, o que significa uma granulometria descontínua. Deduz-se, portanto, que este solo é da categoria GM - Pedregulho siltoso de granulometria descontínua.

4.1.6.2 Classificação pelo Sistema Rodoviário de Classificação – HRB

Para classificação por este sistema, além dos dados da Tabela 13, é necessário o cálculo do Índice de Grupo (IG), conforme a equação 15, mostrada no item 3.2.6.2.

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \quad (15)$$

Sendo: $p = 39,8\% \quad \therefore \quad p = 39,8$

$$a = p - 35 = 39,8 - 35 \quad \therefore \quad a = 4,8$$

$$b = p - 15 = 39,8 - 15 \quad \therefore \quad b = 24,8$$

$$c = LL - 40 = 60 - 40 \quad \therefore \quad c = 20$$

$$d = IP - 10 = 17 - 10 \quad \therefore \quad d = 7$$

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d$$

$$IG = 0,2 \times 4,8 + 0,005 \times 4,8 \times 20 + 0,01 \times 24,8 \times 7$$

$$IG = 3,18 \quad \therefore \quad IG = 4$$

A classificação segundo a tabela do sistema HRB é realizada de cima para baixo, da esquerda para a direita e por meio de processo de eliminação. Inicialmente considerando o percentual passante na peneira N° 200 = 39,8%, elimina-se todos os solos granulares tipo A-1, A-2 e A-3, pois o percentual supera os 35% estabelecido pelo sistema. Com um LL = 60%, são eliminados os grupos A-4 e A-6. Com o IP = 17%, elimina-se o grupo A-5, restando para a amostra do solo da Av. Belvedere o grupo A-7. Observa-se que o subgrupo A-7 é dividido em outros dois subgrupos: A-7-5 e A-7-6. Para esta determinação dos subgrupos da categoria A-7, utiliza-se a seguinte relação: se $IP \leq LL - 30$, o solo pertence ao grupo A-7-5; se $IP \geq LL - 30$, o solo pertence ao grupo A-7-6. Para o solo em questão, tem-se:

$$IP = 17\%$$

$$LL = 60\%$$

$$IP \leq LL - 30 \quad \rightarrow \quad 17 \leq 60 - 30 \quad \rightarrow \quad 17 \leq 30$$

O solo então pertence ao grupo A-7-5 (4), considerado como solo argiloso. Segundo a definição de Senço (2007, p. 205), solos pertencentes ao grupo A-7 “[...] apresentam grandes variações de volume quando sujeitos a variações de umidade, o que, em muitos casos, obriga a substituição desses solos do subleito para garantia de estabilidade.”.

A Figura 47 mostra em destaque a tabela de classificação pelo sistema HRB com as características definidas destacadas nas cores vermelha, azul e verde, por ordem de eliminação, respectivamente.

Figura 46 - Classificação HRB, Av. Belvedere

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

• Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfizer os dados será o grupo procurado.

• Solos A-7: Se IP ≤ LL - 30 será A-7-5; Se IP > LL-30, será A-7-6.

Fonte: Autor, adaptado de Senço, 2007, p. 206 (2025).

4.1.6.3 Classificação final

Observa-se que os sistemas utilizados, cada um de acordo com seus parâmetros próprios, enquadraram o mesmo solo em grupos diferentes. Isto não constitui uma falha propriamente dita, apenas mostra que cada sistema utiliza critérios próprios e que nem sempre são coincidentes. Como ressalta Pinto (2006, p. 63), a validade dos sistemas de classificação é muito discutida, mas é necessária para “orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema.”. Cabe ao Engenheiro ou Técnico responsável pela análise selecionar o método de classificação que indique, com a maior exatidão possível, as características do solo.

Isto posto, considerando a grande quantidade de pedregulhos presentes na amostra, o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS mostra-se o mais adequado para esta amostra: GM – Pedregulho siltoso, conforme descrito no item 4.1.6.1.

4.1.7 Ensaio de DCP, Índice de Suporte Califórnia

Devido à impossibilidade de realizar ensaios de compactação e ISC pelos métodos tradicionais, conforme justificado no item 4.1.5, o único valor obtido para o ISC para a amostra da Av. Belvedere é o resultado do ensaio *in situ*, com o Cone de Penetração Dinâmica, cujo resultado está expresso na Tabela 15.

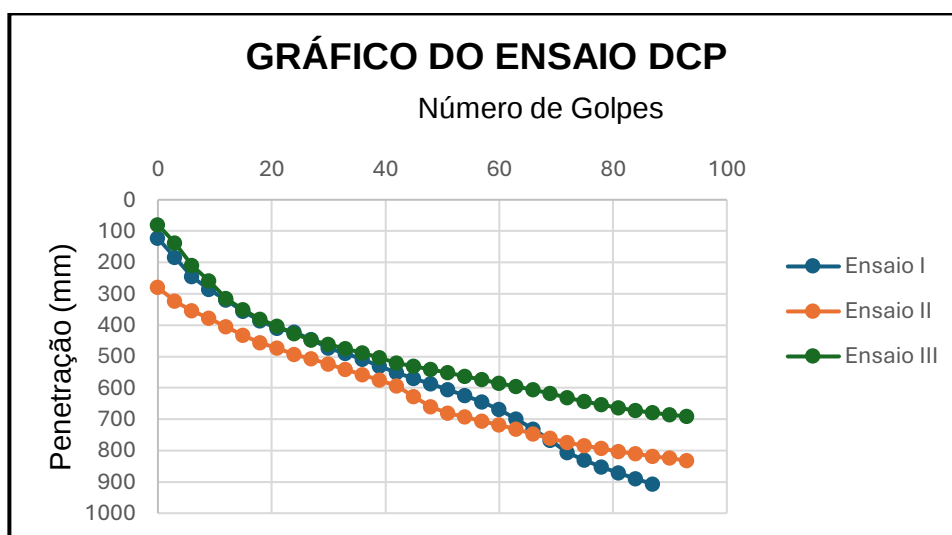
Tabela 15 - Ensaio de DCP *in situ*, Av. Belvedere

Ensaio	Coordenadas do ponto de ensaio (UTM)	I_{PD}	CBR (%)
I	Zona 22J, E489179 m, N6773861 m	9,01	24,89
II	Zona 22J, E489176 m, N6773856 m	5,95	39,65
III	Zona 22J, E489176 m, N6773856 m	6,57	35,46
CBR MÉDIO			33,33

Fonte: Autor (2025).

O valor estimado para o CBR desta amostra é de 33%. A Figura 47 mostra a expressão gráfica dos resultados.

Figura 47 - Gráfico de ensaio de DCP, Av. Belvedere



Fonte: Autor (2025).

4.2 ESTRADA MUNICIPAL JOSÉ DANI

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados para a amostra de solo da Estrada Municipal José Dani, de acordo com as normas aplicáveis.

4.2.1 Ensaio de umidade.

A umidade higroscópica da amostra foi de 10,58%, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Umidade higroscópica, E. M. José Dani

Ponto	N° da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Umidade média W_{med} (%)
1	15	10,68	25,65	14,97	24,11	13,43	1,54	11,47	10,58
2	35	8,26	22,52	14,26	21,21	12,95	1,31	10,12	
3	74	8,98	23,51	14,53	22,17	13,19	1,34	10,16	

Fonte: Autor (2025).

4.2.2 Limite de Liquidez

O ensaio indicou para a amostra um Limite de Liquidez de 44%, conforme dados da Tabela 17.

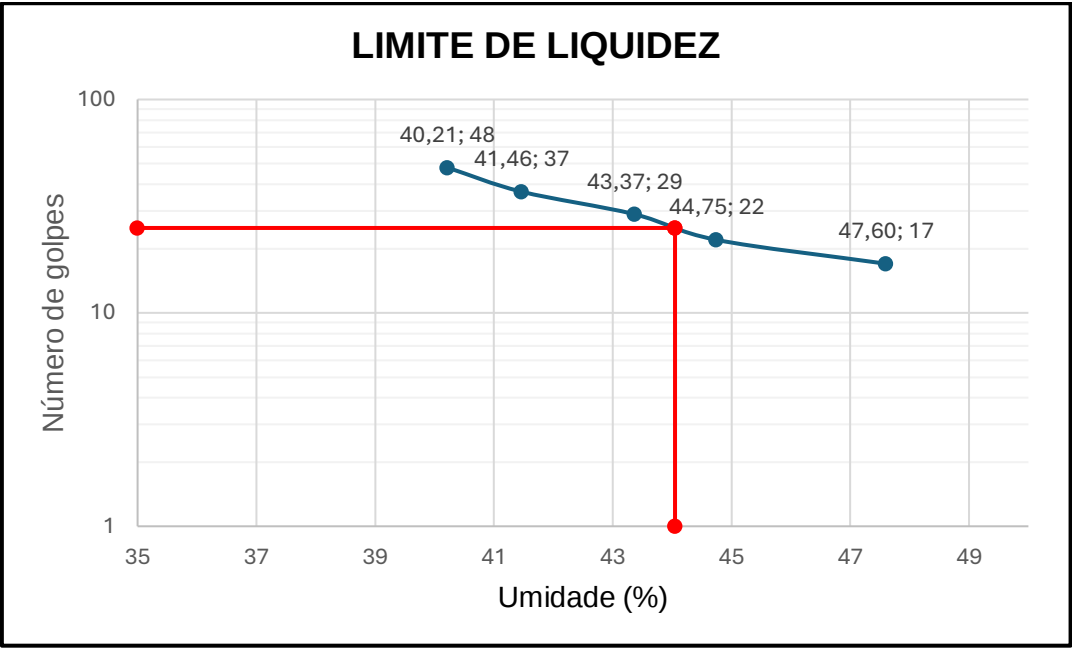
Tabela 17 - Limite de Liquidez, E. M. José Dani

Ponto	N° da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Número de golpes
1	8	9,19	15,78	6,59	13,89	4,70	1,89	40,21	48
2	22	10,26	16,06	5,80	14,36	4,10	1,70	41,46	37
3	33	11,83	19,07	7,24	16,88	5,05	2,19	43,37	29
4	67	8,12	16,66	8,54	14,02	5,90	2,64	44,75	22
5	98	11,10	19,10	8,00	16,52	5,42	2,58	47,60	17

Fonte: Autor (2025).

A expressão gráfica para o Limite de Liquidez está mostrada na Figura 48.

Figura 48 - Limite de Liquidez, E. M. José Dani



Fonte: Autor (2025).

4.2.3 Limite de Plasticidade

O ensaio de Limite de Plasticidade indicou para a amostra um valor de 32%, conforme dados mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Limite de Plasticidade, E. M. José Dani

Ponto	Nº da cápsula	Tara da Cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Peso do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Peso do solo seco (g)	Peso da água (g)	Umidade (%)	Teor de umidade médio (%)
1	25	10,68	11,70	1,02	11,45	0,77	0,25	32,47	32,50
2	26	11,57	12,78	1,21	12,48	0,91	0,30	32,97	
3	69	9,75	10,85	1,10	10,58	0,83	0,27	32,53	
4	76	11,68	12,81	1,13	12,53	0,85	0,28	32,94	
5	86	9,24	10,49	1,25	10,19	0,95	0,30	31,58	

Fonte: Autor (2025).

4.2.3.1 Índice de Plasticidade

O Índice de Plasticidade para a amostra da Estrada Municipal José Dani foi determinado conforme a equação 22, mostrada no item 4.1.3.1.

$$IP = LL - LP = 44\% - 32\% \quad \therefore \quad IP = 12\%$$

De acordo com a classificação qualitativa de Burmister, apresentada na Tabela 10, o solo da Estrada Municipal José Dani apresenta uma plasticidade média.

4.2.4 Massa Específica

O ensaio indicou uma massa específica $\rho_s = 2,20 \text{ g/cm}^3$, sendo os valores considerados como aceitáveis pela norma ABNT NBR 17212:2025 estão grifados em verde na Tabela 19.

Tabela 19 - Massa Específica, E. M. José Dani

Ensaio	1	2	3
Ms (g):	50,34	50,18	50,16
Início da imersão (h):	17:10	17:10	17:10
Fim da imersão (h):	10:45	13:50	15:00
M2 (g):	717,20	689,74	679,48
T (°C)	17	17	17
PW(T):	0,99988	0,99988	0,99988
M1 (g):	688,74	661,55	651,90
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,300	2,282	2,221
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,291		

Fonte: Autor (2025).

4.2.5 Análise Granulométrica

Os resultados do peneiramento da amostra indicaram um percentual de 10,99% de material retido na peneira com abertura de 19,1 mm, ficando o material enquadrado

na Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024, Nota ^a, assim como na Tabela 1 da norma ABNT NBR 9895:2016, Nota ^a, dispostas no item 4.1.5. Quando o percentual de material retido na referida peneira ficar entre 10,01% e 30%, os ensaios de compactação e ISC devem ser feitos com substituição de material, tendo a quantidade de material retido na peneira de 19,1 mm substituído por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm. Este procedimento será descrito com maiores detalhes nos ensaios específicos. O resumo da granulometria para amostra da Estrada Municipal José Dani está descrito na Tabela 20.

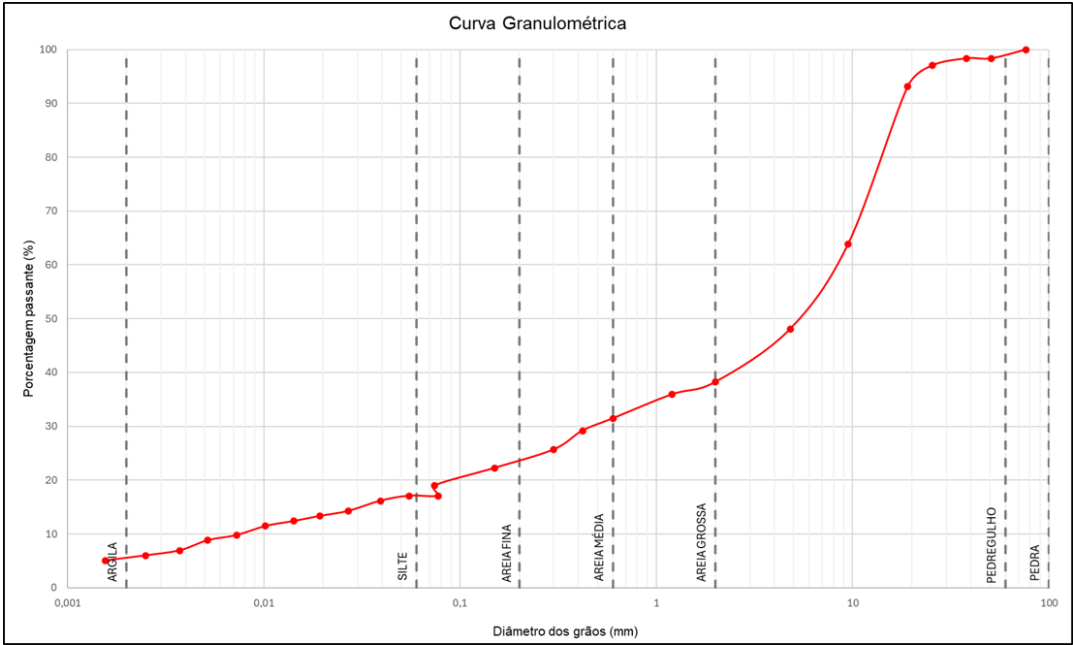
Tabela 20 - Resumo da granulometria, E. M. José Dani

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)					
Pedregulho (>2,00 mm)	Areia grossa (2,00–0,6mm)	Areia média (0,6-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,06mm)	Silte + Argila (<0,074mm)	TOTAL
61,75	6,77	5,78	6,73	18,97	100,00

Fonte: Autor (2025).

A Figura 49 apresenta a curva granulométrica obtida no ensaio, e os resultados detalhados do ensaio encontram-se nas planilhas de cálculo do Apêndice B.

Figura 49 - Curva granulométrica, E. M. José Dani



Fonte: Autor (2025).

4.2.6 Classificação do solo

A amostra de solo da Estrada Municipal José Dani foi classificada de acordo com os sistemas SUCS e HRB.

4.2.6.1 Classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS

A Tabela 21 fornece os dados necessários para a classificação SUCS.

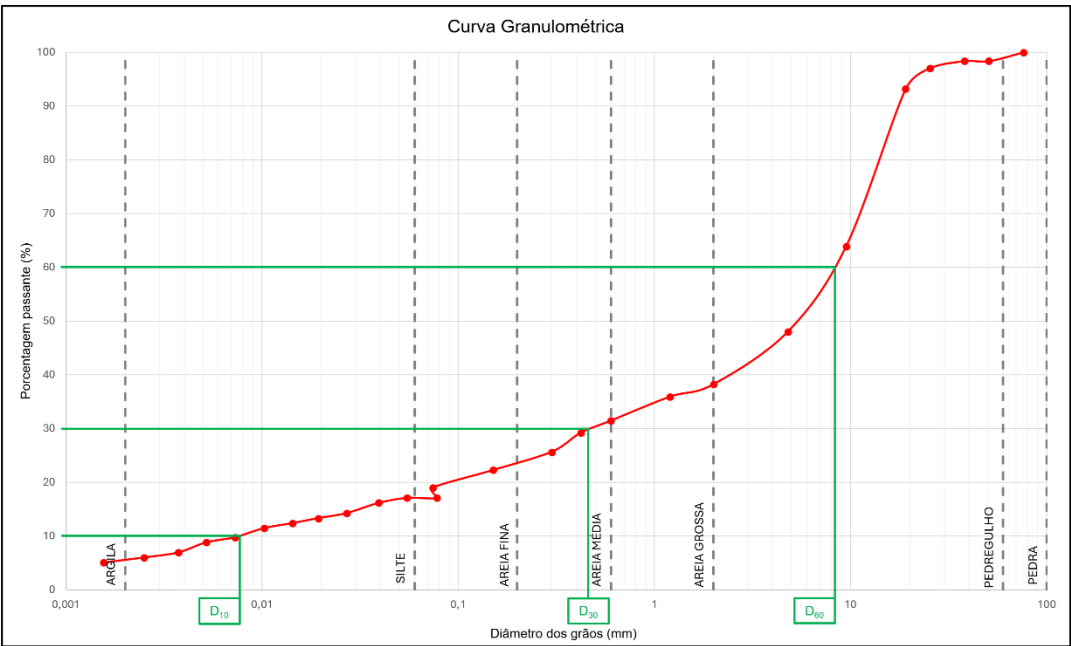
Tabela 21 - Dados para classificação SUCS

Dado	Valor
% de finos: material passante na peneira N° 200	18,97 %
Limite de Liquidez – LL	44%
Limite de Plasticidade – LP	32%
Índice de Plasticidade – IP	12%

Fonte: Autor (2025).

A Figura 50 mostra a determinação gráfica dos diâmetros D₁₀, D₃₀ e D₆₀.

Figura 50 - Determinação gráfica dos diâmetros D₁₀, D₃₀ e D₆₀



Fonte: Autor (2025).

De acordo com o gráfico, $D_{10} = 0,0078 \text{ mm}$, $D_{30} = 0,47 \text{ mm}$ e $D_{60} = 8,2 \text{ mm}$, de forma que os Coeficientes de Não Uniformidade e de Curvatura tenham seus valores calculados pelas equações 13 e 14, apresentadas no item 3.2.6.1.

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{8,2}{0,0078} \quad \therefore \quad CNU = 1051,28$$

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,47^2}{0,0078 \times 8,2} \quad \therefore \quad CC = 3,45$$

O valor do Coeficiente de Não Uniformidade $CNU = 1,051,28$ indica que se trata de um solo não uniforme e o Coeficiente de Curvatura, $CC = 3,45$, por estar fora do intervalo considerado como bem graduado ($1 < CC < 3$) indica que o solo é mal graduado (Pinto, 2006, p. 66), porém apenas levemente, considerando o baixo valor acima do intervalo (0,45).

De posse destas informações utiliza-se a tabela para a classificação preliminar da amostra, conforme a Figura 51.

Figura 51 - Classificação SUCS, E. M. José Dani

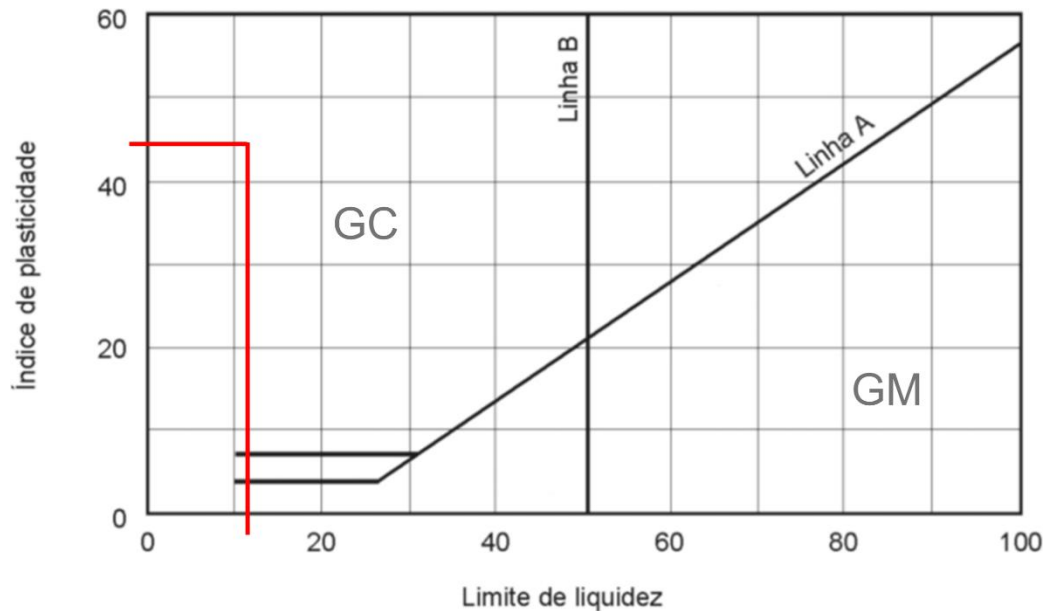
% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW	CNU > 4 e 1 < CC < 3
			GP	CNU < 4 ou 1 > CC > 3
		% P #200 > 12	GC	
			GM	
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.	
	S > G : S	% P #200 < 5	SW	CNU > 6 e 1 < CC < 3
		SP	CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
% P #200 > 12		SC		
		SM		
	5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.		

% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
		OH	

Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 70 (2025).

Novamente faz-se necessário o uso da Carta de Plasticidade, com base no Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade para determinação do subgrupo GC ou GM, apresentada na Figura 52.

Figura 52 - Carta de Plasticidade, E.M. José Dani



Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 68 (2025).

O solo da Estrada Municipal José Dani, de acordo com o sistema SUCS, é da categoria GC – Pedregulho argiloso não uniforme e mal graduado.

4.2.6.2 Classificação segundo o Sistema Rodoviário de Classificação – HRB

Neste método, calcula-se o Índice de Grupo para, juntamente com os dados da Tabela 21, efetuar a classificação.

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \quad (15)$$

Sendo: $p = 18,97\%$; se $p < 35\%$ $\therefore p = 35$

$$a = p - 35 = 35 - 35 \quad \therefore a = 0$$

$$b = p - 15 = 35 - 15 \quad \therefore b = 20$$

$$c = LL - 40 = 44 - 40 \quad \therefore c = 4$$

$$d = IP - 10 = 12 - 10 \quad \therefore d = 2$$

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d$$

$$IG = 0,2 \times 0 + 0,005 \times 0 \times 4 + 0,01 \times 20 \times 2$$

$$IG = 0,4 \quad \therefore \quad IG = 1$$

Segundo o critério descrito no item 4.1.6.2, por eliminação, de cima para baixo e da esquerda para direita, o solo da Estrada Municipal é enquadrado no grupo A-2-7 (1), apresentado na Figura 53.

Figura 53 - Classificação HRB, E. M. José Dani

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

Fonte: Autor, adaptado de Senço, 2007, p. 206 (2025).

Segundo o sistema HRB, trata-se de uma Areia siltosa ou argilosa.

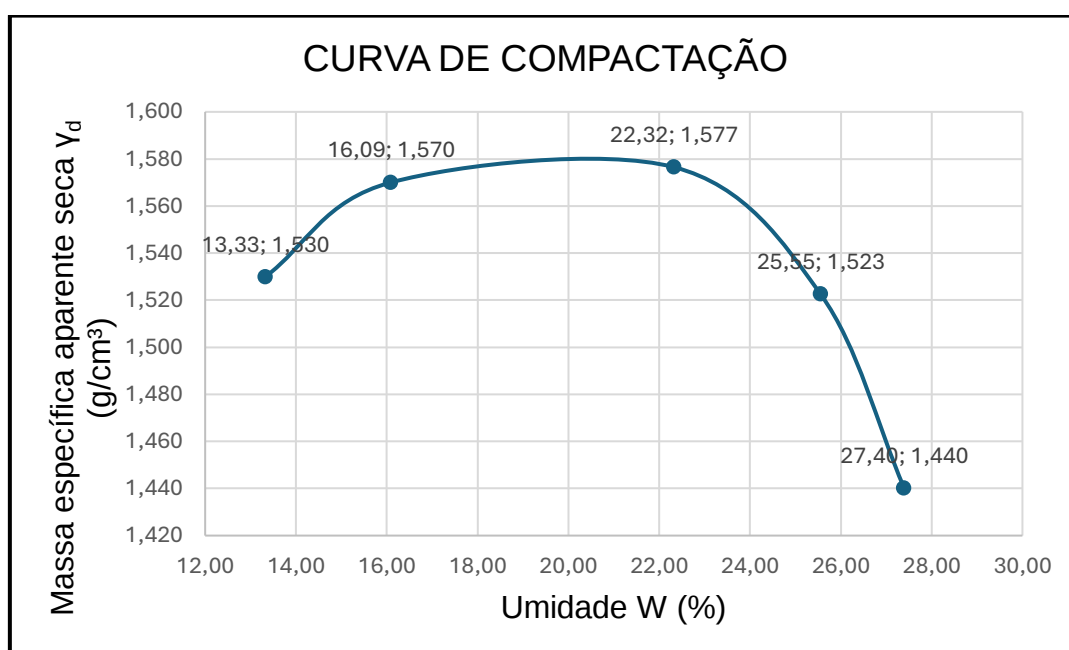
4.2.6.3 Classificação final

Novamente observa-se divergência entre os sistemas de classificação, e considerando a presença de 61,75% de pedregulhos na amostra, conforme indicado na Tabela 20, o sistema SUCS descreve este solo com maior fidelidade. Assim sendo o solo da Estrada Municipal José Dani é do tipo GC – Pedregulho argiloso não uniforme e mal graduado.

4.2.7 Ensaio de compactação

No ensaio de compactação da amostra da Estrada Municipal José Dani foram necessários seis pontos com incrementos de umidade para a obtenção do valor do teor de umidade ótima de compactação e massa específica seca máxima. A curva de compactação indicou um teor de 22% para a umidade ótima e uma massa específica aparente seca máxima de $\rho_s = 1,577 \text{ g/cm}^3$. O gráfico com a curva de compactação é apresentado na Figura 54 e a planilha completa com todos os dados do ensaio encontra-se no Apêndice B.

Figura 54 - Curva de compactação, E. M. José Dani



Fonte: Autor (2025).

Conforme mencionado no item 4.2.5, este ensaio foi realizado com substituição de material devido à porcentagem de material retido na peneira com abertura de 19,1 mm ter sido superior a 10%. Para este procedimento, foi utilizado um conjunto com as peneiras de 76,2 mm, 19,1 mm, 4,8 mm e o fundo. O material foi passado pelo conjunto e eventuais materiais retidos na peneira de 76,2 mm foram descartados. O material restante foi separado em bandejas, uma para o material passante na peneira de 4,8 mm, outra para o material retido nesta e outra para o material retido na peneira de 19,1 mm. O material retido na peneira de 19,1 mm foi pesado e substituído por igual quantidade do material retido na peneira de 4,8 mm. Esta quantidade de material

foi adicionada ao material passante na peneira de 4,8 mm e homogeneizada para realização do ensaio de compactação e posteriormente o ensaio do Índice de Suporte Califórnia. A Figura 55 apresenta o conjunto de peneiras montado sobre o agitador mecânico para a preparação do material com substituição.

Figura 55 - Peneiramento para substituição de material



Fonte: Autor (2025).

A Figura 56 apresenta a separação dos materiais após o peneiramento.

Figura 56 - Separação e substituição de material



Fonte: Autor (2025).

4.2.8 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de ISC foi realizado em conformidade com as diretrizes da norma ABNT NBR 9895:2016. Com base nos resultados do ensaio de compactação, no qual foi determinada o teor de umidade ótima, foram moldados cinco corpos de prova, sendo um no teor de umidade ótima (Ponto 3), dois pontos com teores de umidade inferiores (Ponto 1 e Ponto 2) e mais dois pontos com teores acima da umidade ótima (Ponto 4 e Ponto 5). O ensaio fornece a capacidade de suporte do solo e a expansão sob condições de saturação. Os resultados para os cinco pontos estão expressos na Tabela 22.

Tabela 22 - Ensaio de ISC, E. M. José Dani

Ponto	Umidade (%)	Massa Específica Aparente Seca ρ_d (g/cm ³)	Expansão (%)	ISC (%)
1	18,21	1,568	0,10	7
2	21,35	1,477	0,44	6
3	25,13	1,522	0,14	5
4	24,61	1,505	0,78	8
5	23,47	1,493	0,13	1

Fonte: Autor (2025).

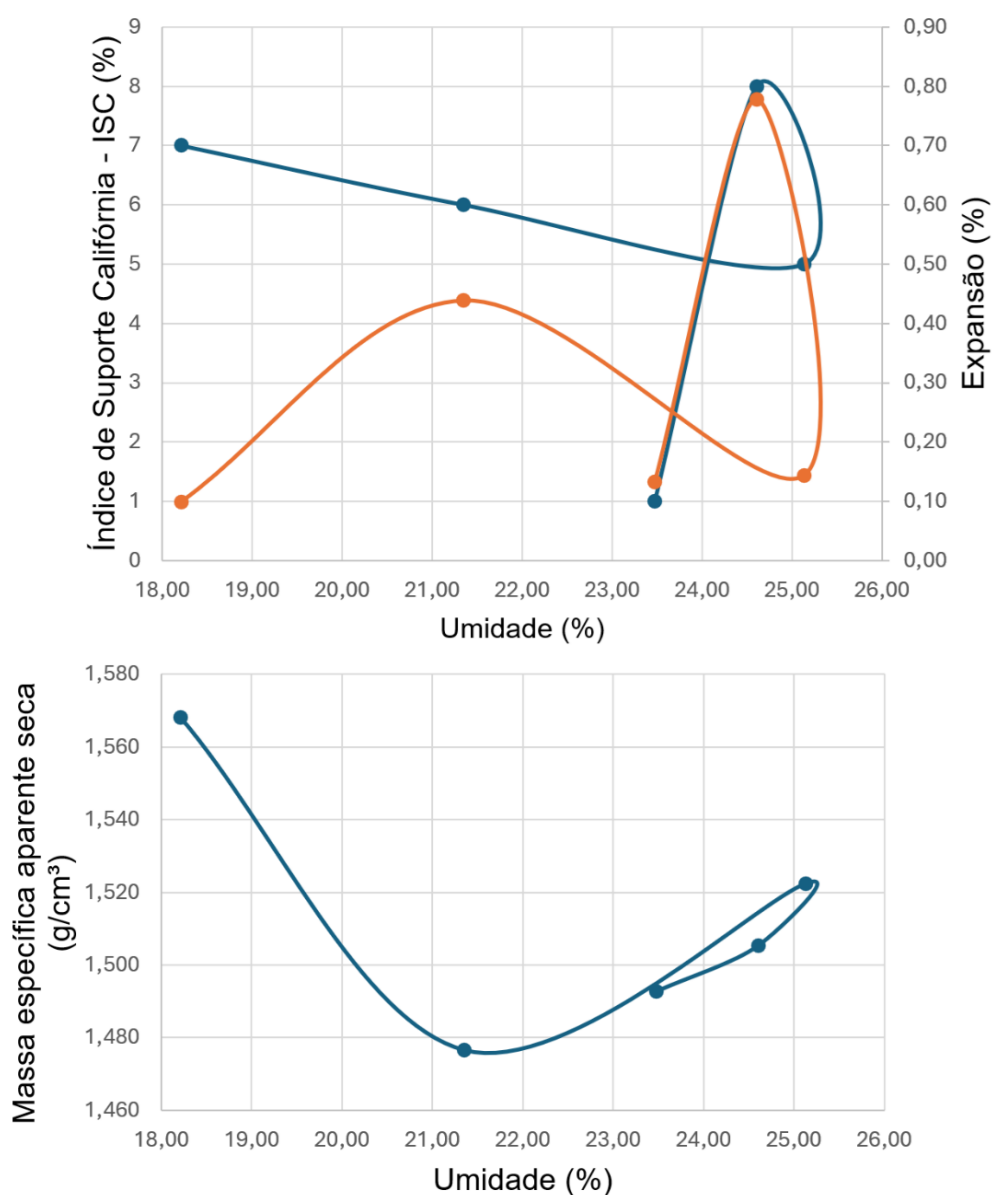
O comportamento esperado para o ensaio de ISC é uma ordem crescente para os teores de umidade, um crescimento da massa específica aparente seca do ponto 1 ao 3 (ápice) seguido de um decréscimo nos pontos 4 e 5. Para expansão, quanto menor o teor de umidade do solo consequentemente maior será sua expansão, e vice-versa. O valor do ISC deve ocorrer proporcionalmente ao crescimento e decréscimo da massa específica, crescendo do ponto 1 ao 2, atingindo seu ápice no ponto 3 e decrescendo nos pontos 4 e 5. Por razões lógicas, o ponto moldado com o teor de umidade ótima deveria apresentar o maior valor de massa específica e o maior valor de ISC.

Como se pode observar através dos valores apresentados na Tabela 22, o comportamento de todos os índices foi totalmente adverso ao esperado, o que denota

falha na execução do ensaio. Em condições normais este ensaio deveria ser refeito, atentando-se para identificação e consequente correção das prováveis causas dos erros observados. Por questões relativas à limitação do prazo para o cumprimento deste trabalho não foi possível repetir este ensaio. Embora os resultados obtidos possam conter inconsistências, foram apresentados neste trabalho para fins de registro.

Os gráficos que correlacionam os dados de massa específica, ISC e expansão em função dos teores de umidade evidenciam, de forma mais clara, a falha do ensaio, conforme apresentado na Figura 57.

Figura 57 - Gráfico ISC, E. M. José Dani



Fonte: Autor (2025).

4.2.9 Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica – DCP

Foram realizados três ensaios com DCP, sendo um ensaio *in situ*, em três pontos próximos ao ponto de coleta de amostra, um ensaio em laboratório nos corpos de prova do ensaio de ISC, após serem colocados na prensa, totalizado cinco pontos. Por último, foi realizado o ensaio de DCP em um corpo de prova moldado em tubo de PCV, totalizando mais três pontos de ensaio.

4.2.9.1 Ensaio de DCP em laboratório, nos corpos de prova do ensaio de ISC

Este ensaio foi realizado utilizando dois critérios: o da norma ABNT NBR 17091:2023 e o da norma ASTM D6951/D6951M-09 (2015), devido ao caráter restritivo imposto pela norma brasileira através do Índice de Penetração Dinâmica (I_{PD}) como validador do ensaio. A norma brasileira claramente é baseada na norma norte-americana, visto que utiliza as mesmas equações de regressão, porém a norma ASTM não faz qualquer menção em relação a um valor mínimo para a razão entre a variação da penetração e o número de golpes (I_{PD}) para considerar o ensaio válido. Desta forma, os dados do ensaio de DCP nos corpos de prova do ensaio de CBR são apresentados de acordo com a norma ABNT e ASTM.

4.2.9.1.1 Ensaio com critérios da norma ABNT NBR 17091:2023

Os resultados deste ensaio são mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Ensaio de DCP, critérios da norma ABNT NBR 17091:2023, E. M. José Dani

Ponto	Penetração		Nº de golpes	I_{PD}	ISC	Nota
	Inicial	Final				
1	79	106	1	27	7	Ensaio inválido, $I_{PD} > 17$
2	99	--	--	--	--	Ensaio inválido, sem I_{PD}
3	47	102	1	55	3	Ensaio inválido, $I_{PD} > 17$
4	104	--	--	--	--	Ensaio inválido, sem I_{PD}
5	88	--	--	--	--	Ensaio inválido, sem I_{PD}

Fonte: Autor (2025).

Os resultados erráticos eram esperados neste ensaio, haja visto que o ensaio de ISC estava incorreto e consequentemente os ensaios de DCP realizados nos mesmos corpos de prova não poderiam apresentar resultados satisfatórios. Nos pontos 1 e 3 foi possível obter um valor para o ISC, mesmo que considerados inválidos por não apresentarem IPD segundo os critérios da norma. Nos demais corpos a penetração inicial atravessou a altura do corpo de prova na totalidade, invalidando o ensaio. Curiosamente, se observarmos o ponto 1 tanto no ensaio de ISC quanto no ensaio de DCP, o valor obtido de 7% é idêntico para ambos, apesar das inconsistências presentes nos resultados do ensaio de CBR.

4.2.9.1.2 Ensaio de acordo com os critérios da norma ASTM D6951/D6951M-09

A norma ASTM D6951/D6951M-09 indica a realização dos cálculos de uma forma diferente da norma brasileira. Os cálculos são realizados com base na penetração e no número de golpes, porém a penetração por milímetro é obtida pela razão da penetração entre leituras e o número de golpes aplicados. A norma também utiliza um “fator de martelo”, sendo 1 para martelos de 8 kg e 2 para martelos de 4,6 kg. O cálculo do ISC é feito através de um índice semelhante ao da norma brasileira, porém sem as restrições de valores aceitáveis. O valor do ISC pode ser obtido tanto pela equação de regressão quanto pela tabela de correlações que a norma traz.

Os valores obtidos estão indicados na Tabela 24.

Tabela 24 - Ensaio DCP, critérios ASTM D6951/D6951M-09, E. M. José Dani

Ponto	Nº de golpes	Penetração cumulativa (mm)	Penetração entre leituras (mm)	Penetração por golpe (mm)	Fator de martelo	Índice DCP	ISC (%)
1	1	106	106	106	1	106	1
2	0	99	--	--	--	--	--
3	1	102	102	102	1	102	1
4	0	104	--	--	--	--	--
5	0	88	--	--	--	--	--

Fonte: Autor (2025).

Igualmente, observa-se que os valores são imprecisos, uma vez que os ensaio de ISC, e consequentemente seus corpos de prova foram erroneamente executados.

4.2.9.2 Ensaio de DCP em laboratório, em corpo de prova moldado em tubo de PVC

O terceiro ensaio com o DCP, desta vez realizado em um corpo de prova moldado em um tubo de PVC com diâmetro nominal de 200 mm, com o teor de umidade ótima obtido no ensaio de compactação, de 22%. A massa de solo utilizada foi de 16.440 g e o volume do corpo de prova ficou em 9.510,19 cm³.

Para que o ensaio fosse realizado nas mesmas condições do ensaio de compactação, foi necessário calcular a energia de compactação utilizada naquele ensaio para que fossem reproduzidas no corpo de prova. O cálculo foi realizado através da equação 16, indicada por Pinto (2006, p. 84).

$$EC = \frac{M \times H \times Ng \times Nc}{V} \quad (16)$$

Onde:	<i>EC</i>	é a Energia de Compactação (g/cm ²);
	<i>M</i>	é a massa do soquete, valor padrão de 4.536 g (ABNT NBR 9895:2016, p. 9);
	<i>H</i>	é a altura de queda do soquete, valor padrão de 457 mm (ABNT NBR 9895:2016, p. 9);
	<i>Ng</i>	é o número de golpes, mantido em 12, de acordo com a energia de compactação adotada (normal);
	<i>Nc</i>	é o número de camadas;
	<i>V</i>	é o volume do solo compactado (corpo de prova).

A expressão foi primeiramente utilizada para determinar o valor da energia de compactação utilizada no ensaio de compactação, e com o valor obtido, a expressão foi novamente utilizada para determinar o número de camadas necessárias. A Energia de Compactação do ensaio de compactação Proctor normal foi de 5.965,33 g/cm² e

com este valor chegou-se a 23 camadas para moldagem do corpo de prova deste ensaio.

Foram realizados três ensaios de DCP no corpo de prova, cujos resultados são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 - Ensaio DCP em corpo de prova de PVC, critério ABNT, E. M. José Dani

Ponto	Penetração		Nº de golpes	I _{PD}	ISC	Nota
	Inicial	Final				
1	31	305	11	24,91	7	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
2	41	310	13	20,69	9	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
3	27	297	12	22,50	8	Ensaio inválido, I _{PD} > 17

Fonte: Autor (2025).

O valor final do ISC é obtido pela média aritmética simples dos valores de cada ponto, chegando-se a um ISC médio de 8%. É necessário observar que os valores parciais e por consequência o valor médio final seriam considerados inválidos por não ter se atingido o IPD aceitável pela norma ABNT NBR 17091:2023.

O mesmo ensaio, utilizando os critérios da norma ASTM D6951/D6951M-09, resulta nos valores para o ISC ficam conforme a Tabela 26.

Tabela 26 - Ensaio DCP em corpo de prova de PVC, critério ASTM, E. M. José Dani

Ponto	Nº de golpes	Penetração cumulativa (mm)	Penetração entre leituras (mm)	Penetração por golpe (mm)	Fator de martelo	Índice DCP	ISC (%)
1	1	305	28	28	1	28	6
2	1	310	20	20	1	20	10
3	12	297	22	22	1	22	9

Fonte: Autor (2025).

O valor final do ISC, igualmente obtido por média aritmética fica em 8%.

Observa-se que o mesmo ensaio, segundo os dois critérios teriam um resultado idêntico, porém dentro dos parâmetros da norma brasileira, o ensaio seria considerado inválido, ao contrário da norma americana.

4.2.9.3 Ensaio de DCP *in situ*

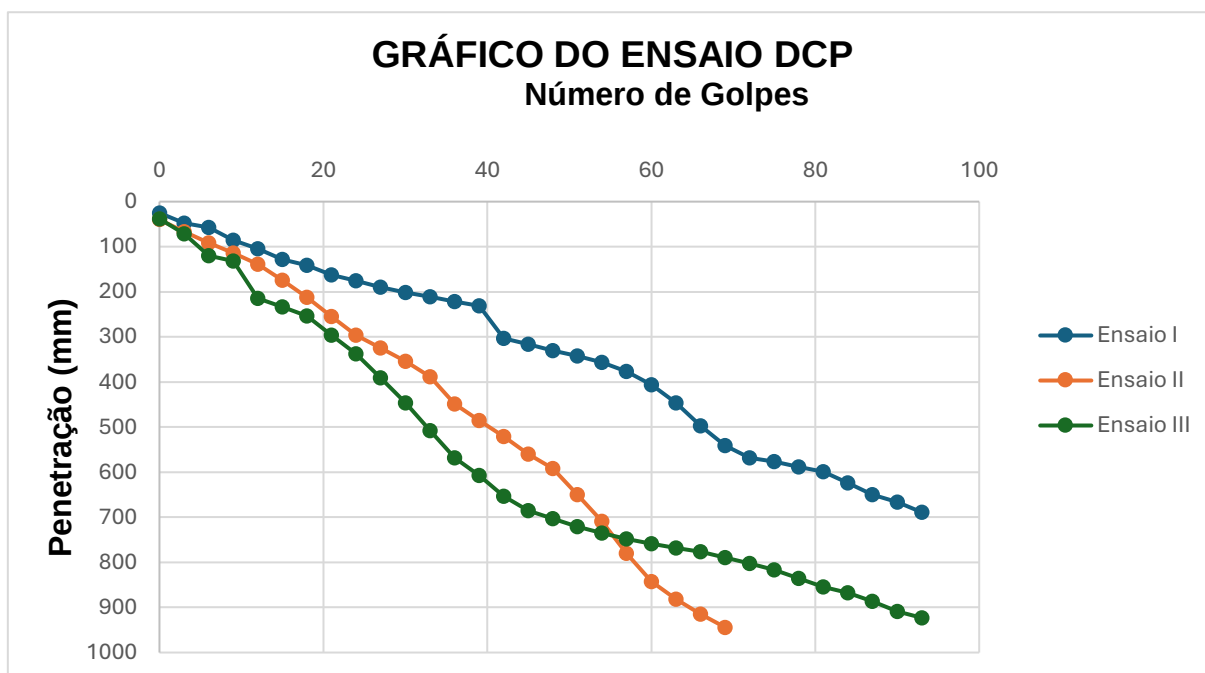
O ensaio *in situ* com DCP na Estrada Municipal José Dani foi realizado em três pontos ao redor do local onde foi coletada a amostra de solo para os ensaios de laboratório. Os detalhes do ensaio estão relacionados na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultados de CBR *in situ* com DCP, Estrada Municipal José Dani

Ensaio	Coordenadas do ponto de ensaio (UTM)	I_{PD}	CBR (%)
I	Zona 22J, E475851 m, N6769885 m	7,14	32,30
II	Zona 22J, E475827 m, N6769989 m	13,10	16,37
III	Zona 22J, E475857 m, N6769863 m	9,52	23,42
CBR MÉDIO			24,03

Fonte: Autor (2025).

Todos os pontos ensaiados tiveram o Índice de Penetração Dinâmica (I_{PD}) dentro dos valores considerados pela norma, que para o caso de solos granulares deve ser menor ou igual a 17 mm/golpe. A média dos resultados indica um ISC de 24%. A Figura 59 mostra o gráfico do ensaio.

Figura 58 - Gráfico do ensaio DCP *in situ*, Estrada Municipal José Dani

Fonte: Autor (2025).

4.2.10 Análise dos resultados

O fato do ensaio de laboratório de ISC apresentar inconsistências impede uma análise comparativa dos resultados obtidos. Apesar disso, destaca-se o fato dos valores de ISC do ponto 1 do ensaio de laboratório ser idêntico ao resultado obtido através do DCP, embora não se descarte o fato de tratar-se apenas de uma coincidência aleatória.

Quanto aos resultados do ensaio de DCP *in situ*, era esperado que os valores obtidos fossem superiores aos registrados em laboratório, uma vez que o DCP avalia o solo no seu estado natural e na sua totalidade, ao passo que o ensaio de ISC em laboratório utiliza apenas uma fração segregada e alterada do solo.

4.3 ESTRADA MUNICIPAL ÂNGELO RUFFATO

Os resultados dos ensaios realizados com a amostra de solo da Estrada Municipal Ângelo Ruffato são a seguir apresentados.

4.3.1 Ensaio de umidade

Após o período de secagem, o ensaio de umidade foi realizado para determinação da umidade higroscópica do material, resultando em um teor de 9,80%, conforme indicado na Tabela 28.

Tabela 28 - Umidade higroscópica, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	N° da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Umidade média W _{med} (%)
1	33	11,79	30,25	18,46	28,61	16,82	1,64	9,75	9,80
2	37	9,30	24,35	15,05	23,00	13,70	1,35	9,85	
3	83	9,45	25,57	16,12	24,13	14,68	1,44	9,81	

Fonte: Autor (2025).

4.3.2 Limite de Liquidez

O ensaio indicou para a amostra um Limite de Liquidez de 45%, por aproximação para o número inteiro mais próximo, conforme a norma ABNT NBR 6459:2016. Os dados do ensaio estão na Tabela 29.

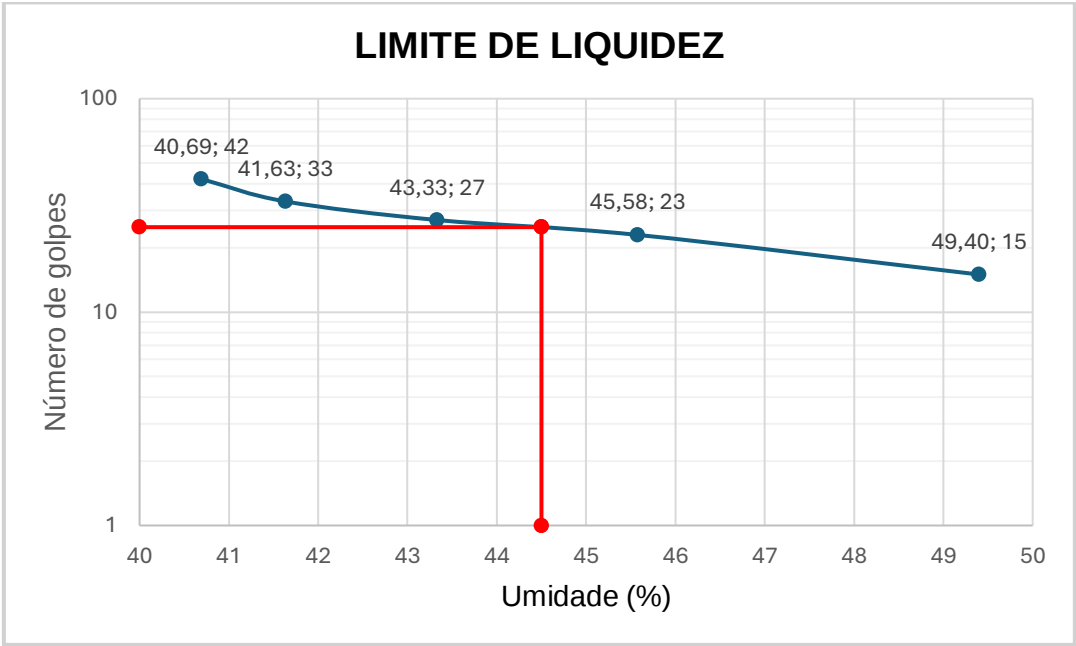
Tabela 29 - Limite de Liquidez, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	N° da cápsula	Tara da cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Massa do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Massa do solo seco (g)	Massa da água (g)	Umidade W (%)	Número de golpes
1	4	8,44	17,36	8,92	14,78	6,34	2,58	40,69	42
2	18	10,64	21,22	10,58	18,11	7,47	3,11	41,63	33
3	26	11,54	21,43	9,89	18,44	6,90	2,99	43,33	27
4	62	11,51	20,23	8,72	17,50	5,99	2,73	45,58	23
5	71	10,78	21,97	11,19	18,27	7,49	3,70	49,40	15

Fonte: Autor (2025).

O resultado gráfico do LL para a Estrada Municipal Ângelo Ruffato é mostrado na Figura 60.

Figura 59 - Limite de Liquidez, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor (2025).

4.3.3 Limite de Plasticidade

O Limite de Plasticidade para a amostra ficou em 31%. Os dados do ensaio estão indicados na Tabela 30.

Tabela 30 - Limite de Plasticidade, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	Nº da cápsula	Tara da Cápsula (g)	Cápsula + solo úmido (g)	Peso do solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	Peso do solo seco (g)	Peso da água (g)	Umidade (%)	Teor de umidade médio (%)
1	13	11,98	12,92	0,94	12,70	0,72	0,22	30,56	31,44
2	25	10,69	11,45	0,76	11,26	0,57	0,30	33,33	
3	63	8,87	9,70	0,83	9,50	0,63	0,20	31,75	
4	70	8,67	9,74	1,07	9,49	0,82	0,25	30,49	
5	86	9,24	10,21	0,97	9,98	0,74	0,23	31,08	

Fonte: Autor (2025).

4.3.4 Índice de Plasticidade

Calculado através da equação 22, a amostra apresenta um Índice de Plasticidade de 14%.

$$IP = LL - LP = 45\% - 31\% \quad \therefore \quad IP = 14\%$$

Segundo a classificação qualitativa de Burmister (Tabela 10), a amostra apresenta uma plasticidade média.

4.3.5 Massa Específica

Através do ensaio foi determinada uma massa específica $\rho_s = 2,272 \text{ g/cm}^3$, porém é necessário observar que os valores não atendem aos critérios considerados aceitáveis pela norma ABNT NBR 17212:2025. O ensaio deveria ser repetido, porém o prazo para entrega deste trabalho impossibilitou a execução de um novo ensaio. Os resultados são mostrados na Tabela 31.

Tabela 31 - Massa Específica, E. M. Ângelo Ruffato

Ensaio	1	2	3
Ms (g):	50,09	50,05	50,07
Início da imersão (h):	13:42	13:42	13:42
Fim da imersão (h):	09:51	10:13	10:59
M2 (g):	717,99	689,49	680,26
T (°C)	19	19	19
PW(T):	0,99984	0,99984	0,99984
M1 (g):	688,50	661,47	651,90
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,216	2,272	2,328
Massa específica ρ_s (g/cm³):	2,272		

Fonte: Autor (2025).

4.3.6 Análise Granulométrica

Em caso análogo às amostras anteriores, o peneiramento da amostra indicou um percentual de 23,59% de material retido na peneira com abertura de 19,1 mm, novamente sendo enquadrado na Tabela 1 da norma ABNT NBR 6457:2024, Nota ^a e na Tabela 1 da norma ABNT NBR 9895:2016, Nota ^a, conforme o item 4.1.5. Os ensaios de compactação e ISC foram feitos com substituição de material, com a quantidade de material retido na peneira de 19,1 mm substituído por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm. O resumo da granulometria para amostra da Estrada Municipal Ângelo Ruffato está disposto na Tabela 32.

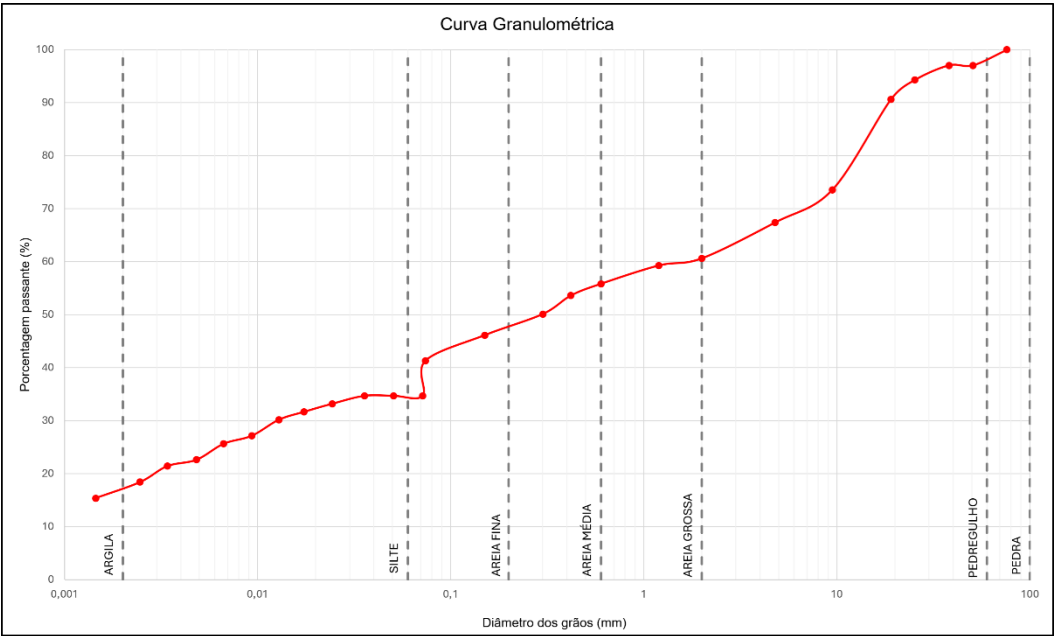
Tabela 32 - Resumo da granulometria, E. M. Ângelo Ruffato

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)					
Pedregulho (>2,00 mm)	Areia grossa (2,00–0,6mm)	Areia média (0,6-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,06mm)	Silte + Argila (<0,074mm)	TOTAL
39,35	4,80	5,70	8,82	41,32	100,00

Fonte: Autor (2025).

O gráfico com a curva granulométrica obtida através do ensaio é apresentado na Figura 60.

Figura 60 - Curva granulométrica, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor (2025).

4.3.7 Classificação do solo

Foram utilizados os sistemas SUCS e HRB para classificação do solo, sendo que a classificação final foi adotada de acordo com o sistema que descrever com mais propriedade as características da amostra analisada.

4.3.7.1 Classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS

Os dados para classificação SUCS estão compilados na Tabela 33.

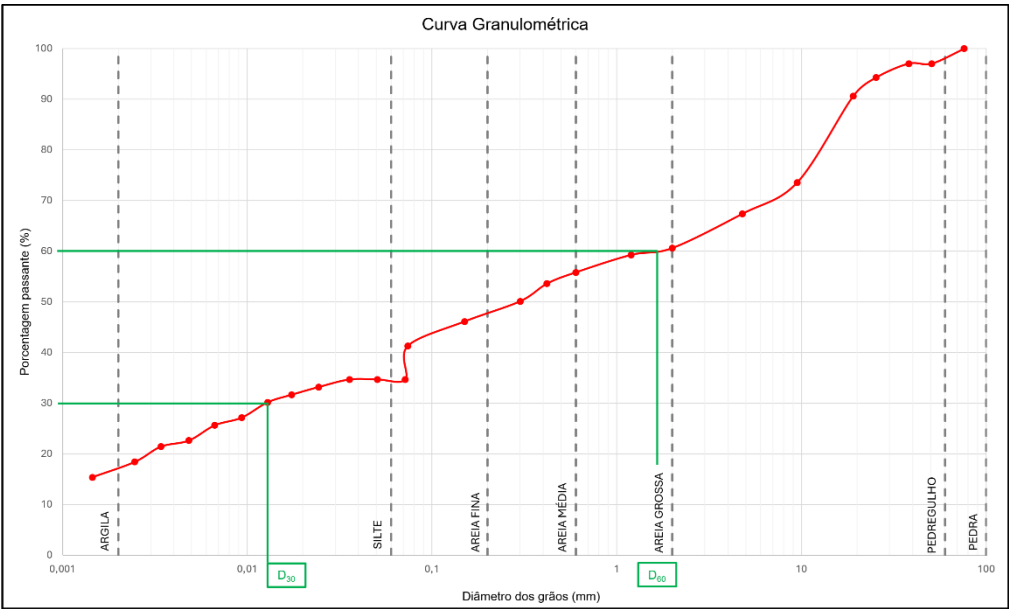
Tabela 33 - Dados para classificação SUCS

Dado	Valor
% de finos: material passante na peneira N° 200	41,32 %
Limite de Liquidez – LL	45%
Limite de Plasticidade – LP	31%
Índice de Plasticidade – IP	14%

Fonte: Autor (2025).

A Figura 61 apresenta a determinação gráfica dos diâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} .

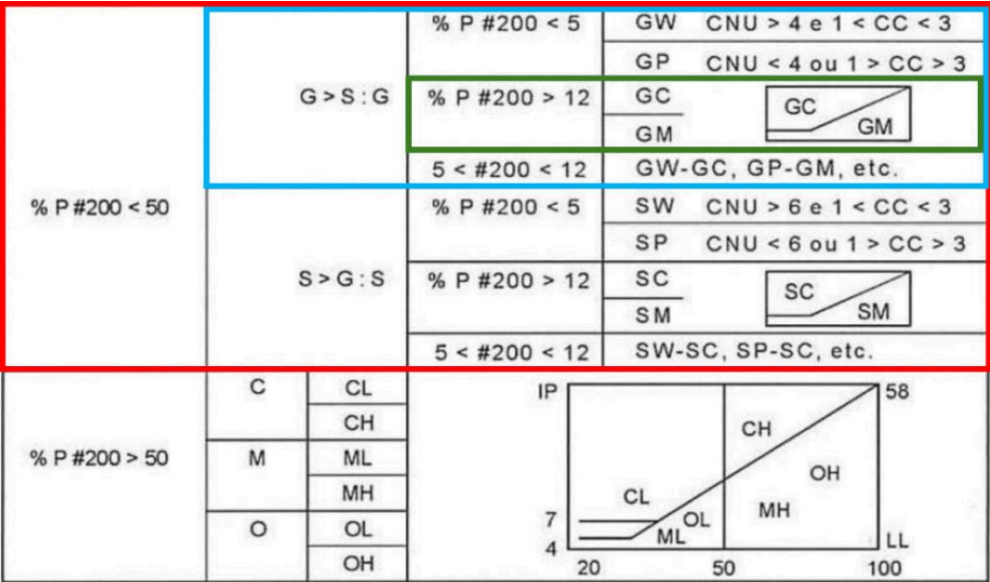
Figura 61 - Determinação gráfica dos diâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60}



Fonte: Autor (2025).

A amostra não atingiu o percentual correspondente ao diâmetro efetivo – D_{10} ., impossibilitando o cálculo dos Coeficientes de Não Uniformidade e Curvatura. A Figura 62 apresenta a classificação preliminar SUCS.

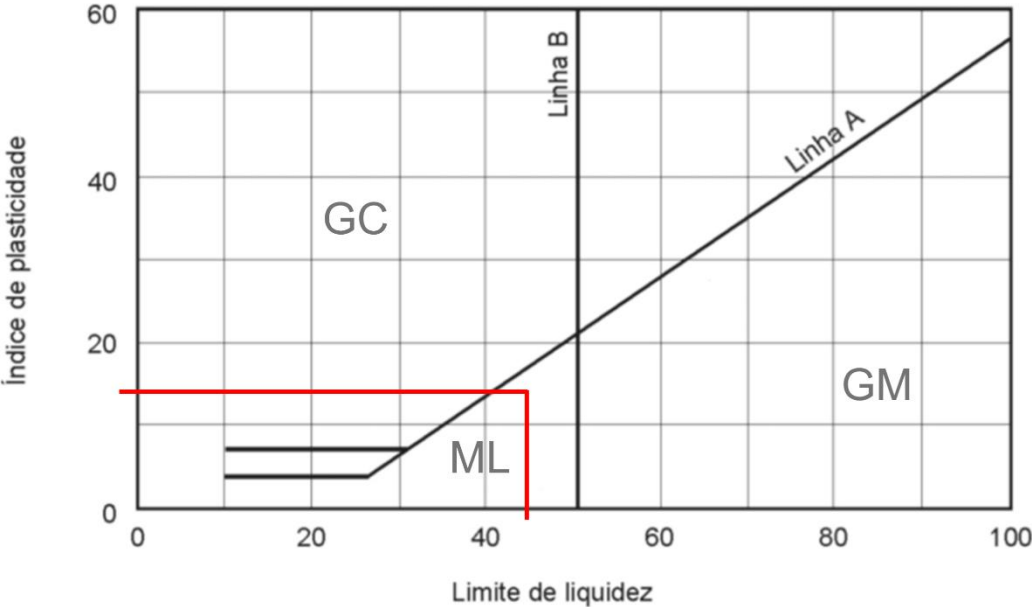
Figura 62 - Classificação SUCS, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 70 (2025).

A Figura 64 mostra a determinação, através da Carta de Plasticidade, do subgrupo GC ou GM ao qual a amostra pertence.

Figura 63 - Carta de Plasticidade, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor, adaptado de Pinto, 2006, p. 70 (2025).

De acordo com o sistema SUCS, a amostra é do tipo GM – Pedregulho siltoso com baixa compressibilidade. A observação visual da curva granulométrica denota descontinuidade.

4.3.7.2 Classificação segundo o Sistema Rodoviário de Classificação – HRB

O Índice de grupo para esta classificação é obtido através da equação 15.

$$\begin{aligned}\text{Onde: } p &= 39,35\% ; \text{ se } p < 35\% \quad \therefore \quad p = 39,35 \\ a &= p - 35 = 39,35 - 35 \quad \therefore \quad a = 4,35 \\ b &= p - 15 = 39,35 - 15 \quad \therefore \quad b = 24,35 \\ c &= LL - 40 = 45 - 40 \quad \therefore \quad c = 5 \\ d &= IP - 10 = 14 - 10 \quad \therefore \quad d = 4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}IG &= 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \\ IG &= 0,2 \times 4,35 + 0,005 \times 4,35 \times 5 + 0,01 \times 24,35 \times 4 \\ IG &= 1,95 \quad \therefore \quad IG = 2\end{aligned}$$

Pela classificação do sistema HRB, a amostra pertence ao grupo A-7-5 (2). Segundo Senço (2007, p. 205), são solos com semelhantes aos do grupo A-6, podendo conter solos argilosos, areia e pedregulho. São sujeitos à grandes variações de volume, com alto grau de instabilidade e fracos para subleito.

A Figura 65 mostra a tabela com a classificação do solo em questão.

Figura 64 - Classificação HRB, E. M. Ângelo Ruffato

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

• Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfizer os dados será o grupo procurado.

• Solos A-7: Se IP ≤ LL - 30 será A-7-5; Se IP > LL-30, será A-7-6.

Fonte: Autor, adaptado de Senço, 2007, p. 206 (2025).

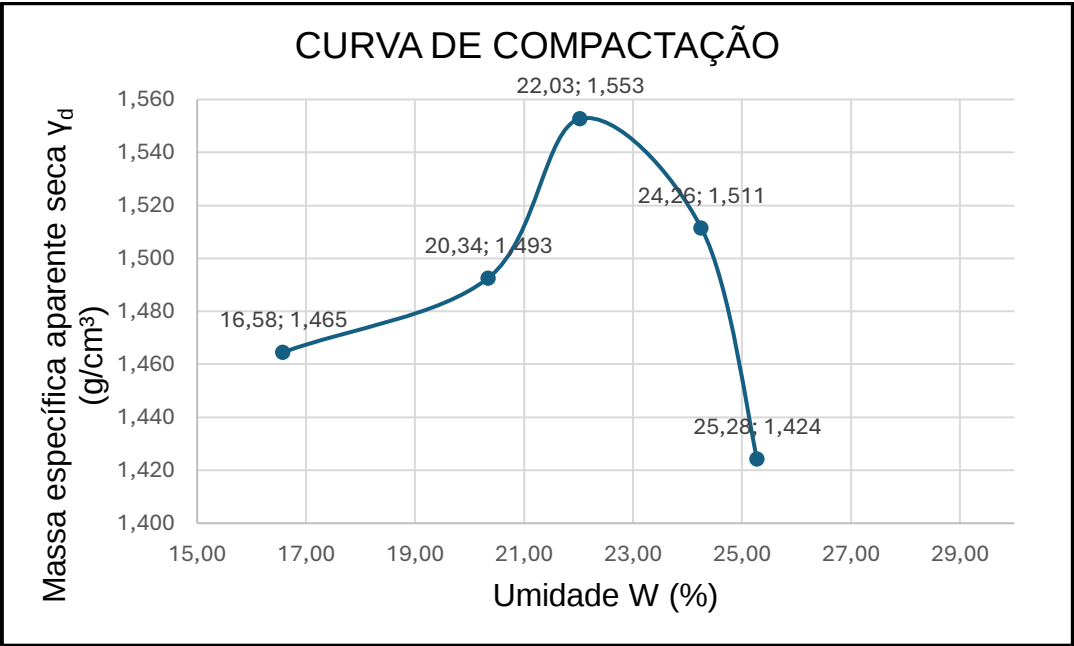
4.3.7.3 Classificação final

Novamente, a classificação SUCS aparenta descrever de forma mais fidedigna as qualidades da amostra, sendo considerada como GM – Pedregulho siltoso com baixa compressibilidade.

4.3.8 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação foi desenvolvido com substituição de material, em virtude da quantidade retida na peneira de 19,1 mm. O procedimento para substituição de material foi realizado conforme descrito anteriormente no item 4.2.7. O ensaio indicou um teor de umidade ótima de 22% e uma massa específica aparente seca máxima de $\rho_s = 1,553 \text{ g/cm}^3$. O gráfico é apresentado na Figura 65.

Figura 65 - Curva de compactação, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor (2025).

4.3.9 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2.8. A Tabela 34 resume os resultados dos valores obtidos para ponto.

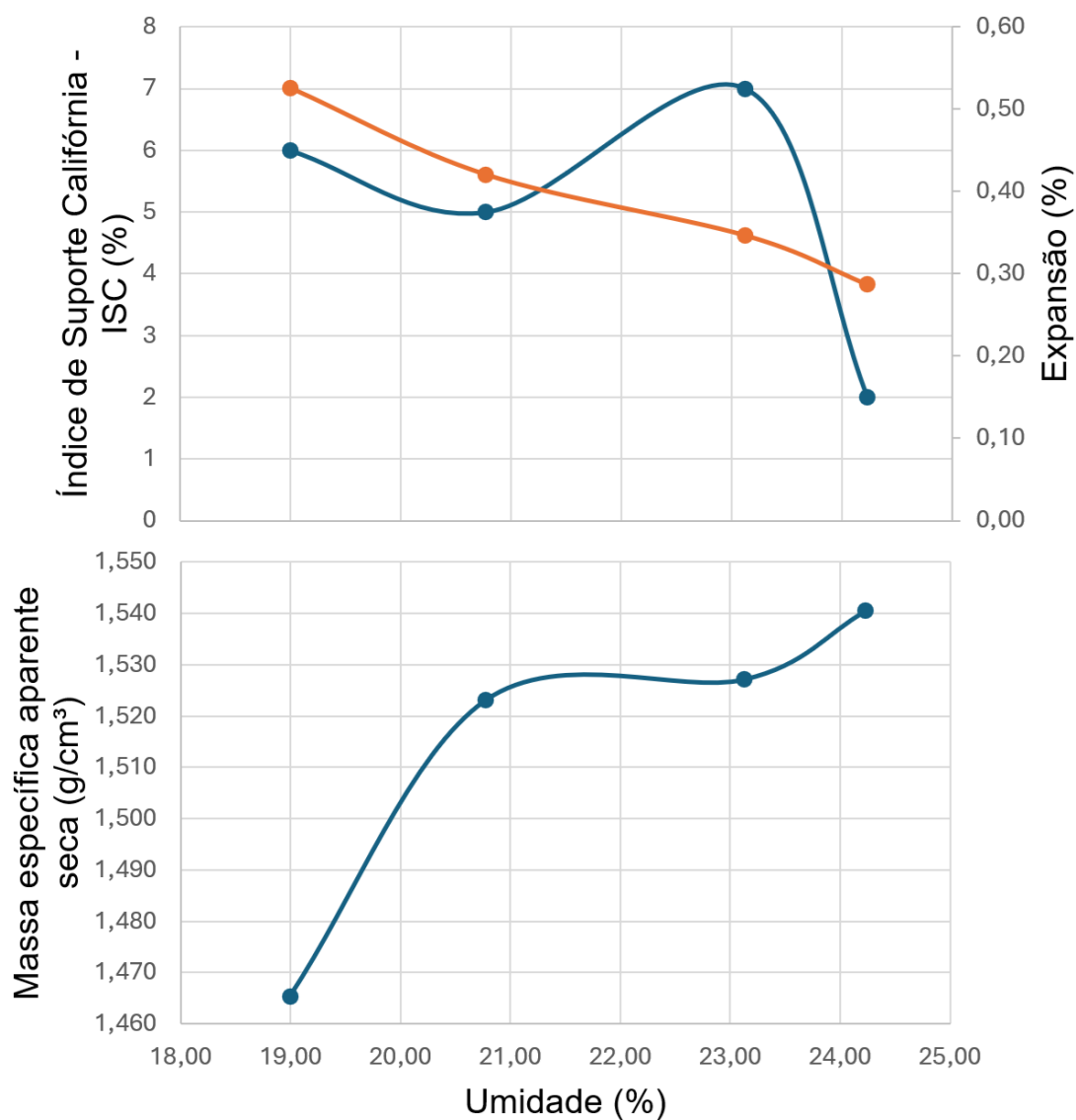
Tabela 34 - Ensaio ISC, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	Umidade (%)	Massa Específica Aparente Seca ρ_d (g/cm³)	Expansão (%)	ISC (%)
1	18,99	1,465	0,53	6
2	20,77	1,523	0,42	5
3	23,12	1,527	0,35	7
4	24,23	1,541	0,29	2
5	26,69	1,478	0,32	1

Fonte: Autor (2025).

A Figura 66 apresenta a expressão gráfica dos resultados.

Figura 66 - Gráficos ISC, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor (2025).

4.3.10 Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica – DCP

Os ensaios com o DCP foram realizados nos corpos de prova do ensaio de ISC, em um molde feito com tubo de PVC, além do ensaio realizado *in situ*, cujos resultados estão apresentados individualmente.

4.3.10.1 Ensaio de DCP em laboratório, nos corpos de prova do ensaio de ISC

Considerando a questão da validação do ensaio através do IPD, de acordo com a norma ABNT NBR 17091:2023, o ensaio foi realizado e os resultados analisados sob os critérios da norma brasileira e da norma ASTM D6951/D6951M-09 (2015).

4.3.10.1.1 Ensaio com critérios da norma ABNT NBR 17091:2023

A Tabela 35 mostra os resultados segundo os critérios da norma brasileira.

Tabela 35 - Ensaio de DCP, critérios da norma ABNT NBR 17091:2023, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	Penetração		Nº de golpes	I _{PD}	ISC	Nota
	Inicial	Final				
1	37	100	9	25,50	7	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
2	95	--	--	--	--	Ensaio inválido, sem I _{PD}
3	48	105	1	57	3	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
4	74	104	1	30	6	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
5	75	--	--	--	--	Ensaio inválido, sem I _{PD}

Fonte: Autor (2025).

4.3.10.1.2 Ensaio DCP, critérios ASTM D6951/D6951M-09, E. M. Ângelo Ruffato

Os mesmos resultados mostrados na Tabela 35 foram analisados de acordo com a norma norte-americana, cujos valores são mostrados na Tabela 36.

Tabela 36 - Ensaio DCP, critérios ASTM D6951/D6951M-09, E. M. Ângelo Ruffato

(continua)

Ponto	Nº de golpes	Penetração cumulativa (mm)	Penetração entre leituras (mm)	Penetração por golpe (mm)	Fator de martelo	Índice DCP	ISC (%)
1	1	88	23	23	1	23	8

(conclusão)

Ponto	Nº de golpes	Penetração cumulativa (mm)	Penetração entre leituras (mm)	Penetração por golpe (mm)	Fator de martelo	Índice DCP	ISC (%)
1	1	88	23	23	1	23	8
2	0	95	--	--	--	--	--
3	1	105	105	105	1	105	1
4	1	104	104	104	1	104	1
5	0	75	--	--	--	--	--

Fonte: Autor (2025).

A comparação entre os resultados analisados conforme os critérios das duas normas revela a presença de imprecisões em ambos os casos, destacando-se, por exemplo, que os pontos 2 e 5 não apresentaram valores de penetração representativos para o cálculo do ISC. Considerando ambos os ensaios realizados nos corpos de prova do ensaio de ISC, é possível concluir que o ensaio de DCP não é válido para ser realizado em corpos de prova nestas condições, pois é necessário que a haste atinja uma determinada profundidade de penetração – o que significa que o corpo de prova requer uma altura compatível para a precisão do ensaio.

Outra hipótese poderia estar relacionada à energia de compactação utilizada, que para todos os ensaios deste trabalho foi a energia normal, com a aplicação de doze golpes com o soquete para a compactação e moldagem dos corpos. Uma possibilidade a ser explorada em estudos futuros é a utilização de uma energia de compactação distinta, preferencialmente a energia modificada. Ressalta-se, contudo, que essa abordagem deverá ser objeto de novas investigações.

4.3.10.2 Ensaio de DCP em laboratório, em corpo de prova moldado em tubo de PVC

Para este terceiro ensaio novamente foi moldado um corpo de prova em um tubo de PVC com diâmetro nominal de 200 mm. O teor de umidade de moldagem utilizado foi de 22%, correspondente à umidade ótima de compactação anteriormente

determinada. Foi utilizada uma massa de solo de 16.130 g e o volume do corpo de prova ficou em 9.371,45 cm³. Igualmente foi adotada a energia de compactação Proctor normal, determinada por meio da Equação 16. A partir dessa equação, calculou-se que seriam necessárias 23 camadas para alcançar a energia desejada, aplicando-se 12 golpes de soquete por camada. Os resultados obtidos foram analisados com base nos critérios estabelecidos tanto pela norma ABNT NBR 17091:2023 quanto pela norma ASTM D6951/D6951M-09 (2015).

Tabela 37 - Ensaio de DCP em corpo de prova de PVC, critério ABNT, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	Penetração		Nº de golpes	I _{PD}	ISC	Nota
	Inicial	Final				
1	83	305	4	55,50	3	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
2	88	295	4	51,75	3	Ensaio inválido, I _{PD} > 17
3	89	310	4	55,25	3	Ensaio inválido, I _{PD} > 17

Fonte: Autor (2025).

Os resultados analisados sob os critérios da norma norte-americana são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Ensaio de DCP em corpo de prova de PVC, critério ASTM, E. M. Ângelo Ruffato

Ponto	Nº de golpes	Penetração cumulativa (mm)	Penetração entre leituras (mm)	Penetração por golpe (mm)	Fator de martelo	Índice DCP	ISC (%)
1	1	305	30	30	1	30	6
2	1	295	55	55	1	55	3
3	1	310	35	35	1	35	5

Fonte: Autor (2025).

4.3.11 Ensaio de DCP *in situ*

O ensaio *in situ* com DCP foi realizado em três pontos próximos local de coleta da amostra para ensaio em laboratório. Os resultados do ensaio estão indicados na Tabela 39.

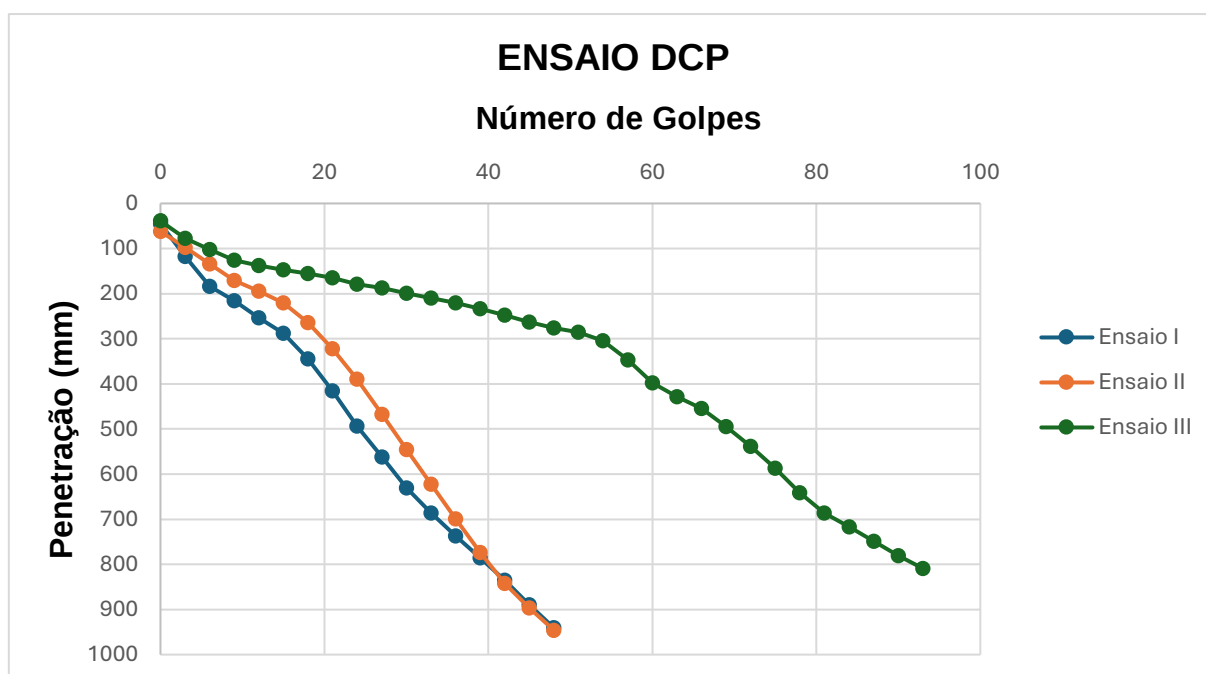
Tabela 39 - Resultados de CBR *in situ* com DCP, Estrada Municipal Ângelo Ruffato

Ensaio	Coordenadas do ponto de ensaio (UTM)	I_{PD}	CBR (%)
I	Zona 22J, E475851 m, N6769885 m	18,67	11,01
II	Zona 22J, E475827 m, N6769989 m	18,42	11,18
III	Zona 22J, E475857 m, N6769863 m	8,28	27,37
CBR			27,37

Fonte: Autor (2025).

No ensaio de campo na E. M. Ângelo Ruffato, apenas um dos ensaios atendeu aos critérios da norma, ficando com um I_{PD} abaixo de 17. Os pontos 1 e 2, apesar de terem valores de CBR calculados, segundo a norma não seriam válidos. Sendo considerado somente o ponto 3 válido, o CBR para o local de coleta da Estrada Municipal Ângelo Ruffato é de 27%. A Figura 68 mostra o gráfico do ensaio.

Figura 67 - Gráfico DCP in situ, E. M. Ângelo Ruffato



Fonte: Autor (2025).

4.3.12 Análise dos resultados

Os resultados do ensaio de ISC em laboratório aparentemente estão coerentes, com exceção de pequenos desvios. Os ensaios com o DCP nos corpos de prova, porém, não apresentaram resultados coerentes com os resultados do ensaio de ISC. A Tabela 40 compara os resultados dos ensaios para uma melhor visualização.

Tabela 40 - Resultados comparados de ISC e DCP nos corpos de prova do ISC

Ponto	ISC – Ensaio de Laboratório (%)	ISC – Ensaio com DCP em Laboratório (%)	
		Critério ABNT	Critério ASTM
1	6	7	8
2	5	--	--
3	7	3	1
4	2	6	1
5	1	--	--

Fonte: Autor (2025).

É possível observar que, com exceção do Ponto 1, cujos valores dos ensaios possuem maior proximidade, todos os demais são demasiadamente díspares, sem contar o fato de que para os Pontos 2 e 5 não foram obtidos valores representativos nos ensaios com DCP, visto que a penetração inicial, em ambos os casos, atravessou de 80 a 100% da altura do corpo de prova. Uma correta avaliação sobre as possíveis causas das disparidades dos resultados somente poderá ser feita com a repetição dos ensaios e comparação dos resultados.

As discrepâncias entre os resultados não se limitaram aos ensaios nos corpos de prova submetidos à imersão de 96 horas para o ensaio laboratorial de ISC. Os corpos de prova moldados nos tubos de PVC, com o mesmo teor de umidade ótima do ensaio Proctor normal, e sem terem sido submetidos à imersão também apresentaram distanciamentos consideráveis nos resultados. Para uma melhor análise, a Tabela 41 relaciona os resultados dos ensaios com o DCP nos corpos de prova moldados em tubos de PVC com diâmetros nominais de 20mm.

Tabela 41 – Resultados dos ensaios de DCP em corpos de prova com tubo de PVC

Ponto	ISC, critério ABNT (%)	ISC, critério ASTM (%)
1	4	6
2	4	10
3	4	9

Fonte: Autor (2025).

Os resultados do ensaio com o DCP nos corpos de prova moldados em tubos de PVC, segundo os critérios da norma ABNT NBR 17091:2032 mostraram-se coerentes, porém no caso do solo da Estrada Municipal Ângelo Ruffato, quando calculados de acordo com os critérios da norma ASTM D6951/D6951M-09 (2015) mostraram-se discrepantes entre si e em relação aos resultados obtidos de acordo com os critérios da norma brasileira.

Vários fatores podem ter contribuído para resultados desconformes, desde falhas na execução dos ensaios até as próprias características dos materiais. Foi cogitada a possibilidade da imersão dos corpos de prova terem tido alguma influência nos resultados, porém esta hipótese poderia ser desconsiderada, visto que os ensaios realizados nos corpos de prova moldados nos tubos de PVC também apresentaram discrepância entre os valores. Entende-se que para uma segura avaliação e obtenção de respostas para os resultados divergentes, os ensaios aqui realizados devam ser repetidos para que, na medida do possível, possam ser identificadas as prováveis causas de tais divergências.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fabricação do equipamento de Cone de Penetração Dinâmica – DCP foi realizada com sucesso, atendendo aos requisitos técnicos estabelecidos para sua operação. Embora o projeto tenha sido fundamentado nas especificações disponíveis na normativa brasileira vigente, a escassez de detalhes técnicos específicos na referida regulamentação demandou a busca por informações complementares em documentação internacional. Essa abordagem permitiu assegurar a conformidade do equipamento para a adequada utilização em ensaios para determinação do Índice de Suporte Califórnia – ISC do solo *in situ*.

Foram realizados os procedimentos de preparação das amostras seguidos dos ensaios prévios de caracterização, classificação e compactação que constituíram as etapas essenciais para a condução dos testes de ISC e DCP nos corpos de prova utilizados na avaliação de resistência do solo. Todos os ensaios seguiram as diretrizes das normas aplicáveis, e essas etapas permitiram obter informações detalhadas sobre as propriedades físicas e mecânicas das amostras, garantindo que as condições de preparação e compactação estivessem adequadas para a realização dos ensaios subsequentes.

Os ensaios de ISC e DCP foram conduzidos de acordo com os procedimentos estabelecidos, seguindo normas e critérios técnicos pertinentes às metodologias adotadas. No entanto, os resultados obtidos apresentaram-se insatisfatórios e insuficientes para estabelecer uma correlação significativa entre as duas variáveis. Essa limitação pode estar relacionada às condições específicas das amostras, que devido às suas características físicas e composição granulométrica, foi necessário realizar os ensaios de compactação e ISC com substituição de material. Uma provável causa para a falha nos resultados obtidos está relacionada à homogeneização das amostras durante o processo de substituição de material. A inadequada uniformidade na preparação das amostras pode ter comprometido a consistência das propriedades físicas e mecânicas, influenciando negativamente a representatividade dos ensaios realizados. Outra provável causa para a falha nos ensaios de DCP está relacionada à energia de compactação adotada. Se ao invés da energia normal se tivesse empregado a energia modificada, é possível que os resultados dos ensaios de DCP nesses corpos de prova tivessem sido mais satisfatórios. A utilização da energia modificada poderia ter proporcionado uma compactação mais adequada às condições

específicas das amostras, potencialmente aumentando a resistência à penetração da haste do DCP e provavelmente possibilitando atingir o I_{PD} necessário para validação do ensaio.

Embora não tenha sido possível estabelecer uma correlação definitiva entre os resultados obtidos a partir das amostras analisadas, acredita-se que a investigação relacionada aos resultados do DCP e do ensaio de ISC encontra-se em seus estágios iniciais. As divergências de opiniões entre autores e profissionais acerca deste tema, somadas aos resultados obtidos neste estudo, evidenciam a necessidade de realização de estudos mais abrangentes e aprofundados.

Adicionalmente, acredita-se que o Cone de Penetração Dinâmica possui potencial para se consolidar como uma ferramenta valiosa em obras de pavimentação rodoviária, bem como em intervenções de menor porte. Sua aplicação pode ser especialmente útil em situações que demandem uma avaliação rápida das condições do solo ou na elaboração de projetos, desde que futuramente seja possível estabelecer uma correlação confiável entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos.

O fato de o ensaio de Cone de Penetração Dinâmica ser amplamente utilizado no exterior e reconhecido como uma ferramenta prática e eficiente para avaliar a capacidade de suporte do solo em projetos de engenharia civil constitui um argumento relevante para a realização de estudos mais aprofundados sobre o método.

Os resultados obtidos neste trabalho são inconclusivos, o que, embora não seja surpreendente, reforça a insuficiência de uma análise baseada em apenas três amostras para validar um método. Assim, este estudo fornece mais um argumento para incentivar novas pesquisas na área. Espera-se que, apesar de suas limitações, a contribuição deste trabalho, ao levantar dúvidas e questionamentos, possa estimular outros estudantes e pesquisadores a desenvolverem investigações adicionais sobre essa ferramenta.

6 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Durante a realização dos ensaios para este trabalho, surgiram inúmeros questionamentos e dúvidas em relação não apenas à validade dos resultados, mas também em relação aos métodos de obtenção. Dentre inúmeras conjecturas, acredita-se na possibilidade de condução de novos estudos, mais amplos e aprofundados para uma melhor compreensão dos problemas relacionados à Geotecnia, especialmente em solos brasileiros. As sugestões para novas pesquisas são:

- a) Revisão, ampliação e adequação da norma ABNT NBR 17091:2023 ao cenário brasileiro. Foi cogitada a necessidade de maior clareza em relação a quesitos tais como o estabelecimento de limites de profundidade máxima e mínima para que se obtenham resultados válidos, maior clareza em relação ao caráter validador imposto pelo Índice de Penetração Dinâmica (IPD) e até mesmo eventuais ajustes nas equações de regressão para o cálculo do ISC;
- b) Novos e amplos estudos comparativos entre os valores obtidos através do DCP, adotando o caminho inverso ao realizado neste trabalho: ao invés de ensaiar o DCP nos corpos de prova do ISC, realizar o ensaio em campo e, no mesmo local, coletar uma amostra indeformada de solo e ensaiá-la na prensa de CBR;
- c) Estudos para determinação de métodos alternativos aos ensaios de compactação e ISC, em caso de solos com porcentagem de material retido na peneira de 19,1 mm superior a 30%, como foi o caso constatado na Avenida Belvedere.

Estas são apenas meras sugestões entre muitas outras possibilidades, e espera-se que tais questionamentos possam se reverter em estudos que venham a ampliar os horizontes do conhecimento desta área.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1883 – 16**: Standard test method for California Bearing Ratio (CBR) of laboratory-compacted soils. West Conshohocken, PA, EUA, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D6951/D6951M-09**: Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications. West Conshohocken, PA, EUA, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação de teor de umidade. 3. ed. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do índice de plasticidade. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. 3. ed. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solos – Ensaio de compactação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. ERRATA 1. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069**: Solo – Ensaio de penetração de cone in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17091**: Solos – Ensaio do cone de penetração dinâmica. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17212**: Solos – Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,00 mm. Rio de Janeiro, 2025.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Informática Técnico-

científica. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 3. ed. ver. e atual, 1981. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR – 719. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 3. ed. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Norma DNIT 172/2016 – ME**. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_172_2016_me-1.pdf. Acesso em: 03 mai. 2024.

CARVALHO PAULO DE ALMEIDA, Gil. **Caracterização física e classificação dos solos**. 2004. 145 f. Notas de aula. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Faculdade de Engenharia. Departamento de Transportes. Juiz de Fora, 2004. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/CARACTERIZACAO%20FISICA%20E%20CLASSIFICACAO%20DOS%20SOLOS.pdf>. Acesso em: 06 JUL 2025.

CRRI – Central Road Research Institute. **Dynamic cone penetrometer (DCP)**. Nova Deli, Índia, c2024. Disponível em: <https://crridom.gov.in/node/337>. Acesso em: 15 nov. 2024.

DONE, Simon; SAMUEL, Piouslin. User Manual: Measurement of Road Pavement Strength by Dynamic Cone Penetrometer. **UK Department for International Development – DFID**. Berkshire, Reino Unido, 2004. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08cd8ed915d622c001609/R81571.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ENSAIOS para solos. **Biopdi - Equipamentos para Ensaio de Materiais**, © 2024. Prensa CBR / Marshall. Disponível em: <https://biopdi.com.br/ensaio-para-solos/prensa-cbr-prensa-marshall/>. Acesso em: 28 abr. 2024.

FELEKE, Gebremariam G.; ARAYA, Alemgena A. Prediction of CBR using DCP for local subgrade materials. **International Conference on Transport and Road Research**. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a09dcc40f0b652dd001b8e/61280-GG_FelekeAA_Araya-PredictionCBRUsingDCPLocalSubgradeMaterials-ICTRR2016-ReCAP.pdf. Acesso em: 09 ago. 2024.

JONES, Colin. Improved Measurement of Pavement Strength by Dynamic Cone Penetrometer. **UK Department for International Development – DFID**. Berkshire, Reino Unido, 2004. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08cc040f0b64974001404/R81572.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

KASANGAKI, G. J. Determination of in situ bearing capacity of soil using dynamic cone penetrometer. **International Society for soil mechanics and geotechnical engineering**. Disponível em: https://www.issmge.org/uploads/publications/51/79/53_124_AdW.pdf. Acesso em 10 out. 2025.

LIVNEH, M. In-situ CBR testing by indirect methods. **International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**. Disponível em: https://www.issmge.org/uploads/publications/1/33/1989_01_0062.pdf. Acesso em: 01 mai. 2024.

MINAS GERAIS. Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais. **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária. Volume IV – Estudos Geológicos e Geotécnicos**. Belo Horizonte: Diretoria de Projetos – DER/MG, 2022. Disponível em: https://www.der.mg.gov.br/index.php?preview=1&option=com_dropfiles&format=&task=frontfile.download&catid=77&id=26214&Itemid=1000000000000. Acesso em: 24 abr. 2024.

MINNESOTA. Department of Transportation. Office of Minnesota Road Research (Mn/ROAD). **User guide to the dynamic cone penetrometer**. Maplewood, MN, 2000. Disponível em: https://www.dot.state.mn.us/materials/researchdocs/User_Guide.pdf. Acesso em: 07 out. 2024.

PAIGE-GREEN, P; DU PLESSIS, L. The use and interpretation of the dynamic cone penetrometer (DCP) test. **The Council for Scientific and Industrial Research**. Pretoria, África do Sul, v. 2, 2009. Disponível em: https://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/handle/10204/3692/Paige-Green_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y Pretoria, África do Sul, 2009. Acesso em: 06 abr. 2024.

PAIGE-GREEN, P; VAN ZYL, G. D. Research background to the DCP-DN Pavement Design Method for Low Volume Sealed Roads. 2019. 54 p. Disponível em: <https://www.research4cap.org/ral/PaigeGreenVanZyl-2019-ResearchBackgroundDCPDNPavementDesignMethodLVSR-AfCAP-RAF2128A-190911.pdf>. Acesso em: 27 out. 24.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Diretoria de Gestão e Projetos. **Instruções de serviço para projetos finais de engenharia**. Porto Alegre: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2023. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/202302/27144121-2023-02-daer-instrucoes-servico-projeto-rev02.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Unidade de Normas e Pesquisas / DAER. **Manual de ensaios**. Porto Alegre: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, v. 1, 2001. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27154711-manual-de-ensaios-vol-i.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Unidade de Normas e Pesquisas / DAER. **Manual de ensaios**. Porto Alegre: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, v. 2, 2001. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27154706-manual-de-ensaios-vol-ii.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SAGAR, C. P.; BADIGER, Mohoan; MAMATHA, K. H.; DINESH, S. V. Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer Index. **Materials today: proceedings**. v. 60, 2022, p. 223–228. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321082109>. Acesso em: 06 abr. 2024.

SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes – Departamento de Estradas de Rodagem. **Instrução de projeto IP-DE-P00/001: projeto de pavimentação**. São Paulo: Diretoria de Engenharia, 2006. Disponível em: https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/IP-DE-P00-001_A.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

SOUZA, Murilo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, IPR, 1981 (IPR. Publ. 667).

THACH NGUYEN, Bao; MOHAJERANI, Abbas. A new dynamic cone penetrometer to predict CBR for fine-grained subgrade soils in laboratory and field conditions. **International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**. Disponível em: https://www.issmge.org/uploads/publications/89/82/2_1_6.pdf. Acesso em: 03 mai. 2024.

THACH NGUYEN, Bao; MOHAJERANI, Abbas. Determination of CBR for fine-grained soils using a dynamic lightweight cone penetrometer. **The international journal of pavement engineering**. v. 16 (2), 2015, p. 180-189. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2014.937807>. Acesso em: 10 abr. 2024.

WU, Shin; SARGAND, Shad. **Use of dynamic cone penetrometer in subgrade and base acceptance**. Athens, Estados Unidos, Ohio University, Russ College of Engineering and Technology em cooperação com Ohio Research Institute for Transportation and the Environment, 2007. Disponível em: <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/39670>. Acesso em: 29 mai 2025.

OBRAS CONSULTADAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 541 p. ISBN 978-85-86238-56-7.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. **Mecânica dos solos: teoria e aplicações**. Atualização Paulo José Rocha de Albuquerque, Jean Rodrigo Garcia. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. ISBN 978-85-216-3802-5.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Cengage, 2019. 712 p. ISBN 978-85-221-2828-0.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos solos: introdução à engenharia geotécnica**. Volume 2. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. ISBN 978-85-7975-128-8.

MASSAD, Faïçal. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. ISBN 978-85-7975-200-1.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. ISBN 978-85-86235-51-2.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**: Volume 1. 2. ed. ampl. São Paulo: PINI, 2007. 763 p. ISBN 978-85-7266-199-7.

TOLEDO, Maria Cristina M. de; OLIVEIRA, Sonia Maria B. de; MELFI, Adolpho J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, Wilson (Org); TOLEDO, Maria Cristina M. de (Org); FAIRCHILD, Thomas Rich (Org); TAIOLI, Fabio (Org). **Decifrando a terra**. 2000. Reimpressão, São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 139-166.

APÊNDICE A – PLANILHAS DE CÁLCULO, AVENIDA BELVEDERE

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE ABNT NBR 6457:2024 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha
---	--

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Av. Belvedere, São Luiz, Caxias do Sul, RS		X:	475846
		Y:	6773942

Data do ensaio:	19/05/2025	Temperatura (°C):	20	Umidade (%):	70
-----------------	------------	-------------------	----	--------------	----

ENSAIO 1									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	39	11,42	29,71	18,29	27,73	16,31	1,98	12,14	
2	44	10,39	25,24	14,85	23,90	13,51	1,34	9,92	
3	66	8,24	20,27	12,03	19,06	10,82	1,21	11,18	

ENSAIO 2									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

ENSAIO 3									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

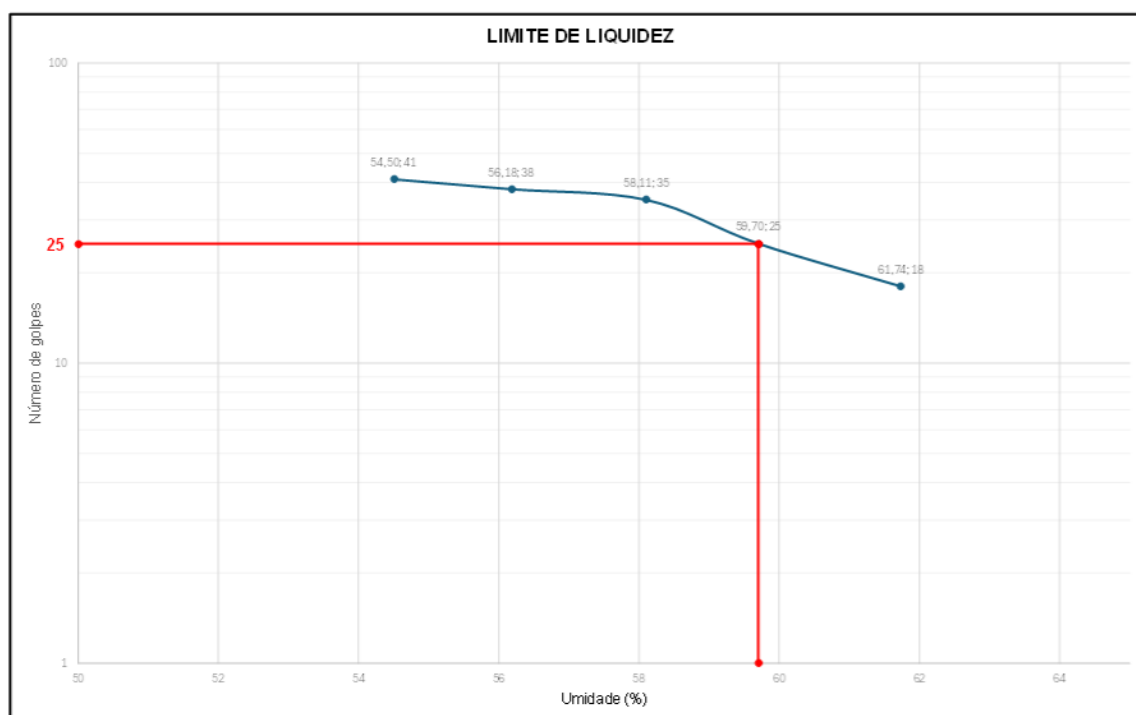
ENSAIO 4									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ			
	ABNT NBR 6459:2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez			
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI			
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha			

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:					Coordenadas UTM	Zona:	22J
Av. Belvedere, São Luiz, Caxias do Sul, RS						X:	475846
						Y:	6773942
Data do ensaio:	20/05/2025	Equipamento:	CASA1	Temperatura ambiente (°C):	20,7	Umidade (%):	73

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	39	11,42	29,71	18,29	27,73	16,31	1,98	12,14	11,08
2	44	10,39	25,24	14,85	23,90	13,51	1,34	9,92	
3	66	8,24	20,27	12,03	19,06	10,82	1,21	11,18	

LIMITE DE LIQUIDEZ									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Número de golpes:
1	10	9,14	15,83	6,69	13,47	4,33	2,36	54,50	41
2	11	9,22	19,20	9,98	15,61	6,39	3,59	56,18	38
3	28	11,06	19,74	8,68	16,55	5,49	3,19	58,11	35
4	42	9,97	17,54	7,57	14,71	4,74	2,83	59,70	25
5	54	7,71	16,25	8,54	12,99	5,28	3,26	61,74	18



Determinação gráfica do Limite de Liquidez	Série 2:		Serie 3:	
	X	Y	X	Y
	50	25	59,7	1
	59,7	25	59,7	25

RESULTADO:	
Valor truncado (%)	59,70
LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	60

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE		
	ABNT NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Av. Belvedere, São Luiz, Caxias do Sul, RS	X:		475846
	Y:		6773942

Data do ensaio:	20/05/2025	Temperatura (°C):	20,7	Umidade (%):	73
-----------------	------------	-------------------	------	--------------	----

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	39	11,42	29,71	18,29	27,73	16,31	1,98	12,14	11,08
2	44	10,39	25,24	14,85	23,90	13,51	1,34	9,92	
3	66	8,24	20,27	12,03	19,06	10,82	1,21	11,18	

Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	7	10,35	11,93	1,58	11,46	1,11	0,47	42,34	42,57
2	21	9,97	11,31	1,34	10,91	0,94	0,30	42,55	
3	33	11,79	13,24	1,45	12,82	1,03	0,42	40,78	
4	36	7,51	8,56	1,05	8,24	0,73	0,32	43,84	
5	48	8,78	10,07	1,29	9,68	0,90	0,39	43,33	

Valores satisfatórios:	5%	▲	▼
ABNT NBR 7180:2016, p.2, item 5.1.1	2,128411826	44,70	40,44

RESULTADOS		
LIMITE DE LIQUIDEZ	LL =	60
LIMITE DE PLASTICIDADE	LP =	43
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	IP =	17

	DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA		
	ABNT NBR 17212:2025 - Solos - Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Av. Belvedere, São Luiz, Caxias do Sul, RS		X:	475846
		Y:	6773942

Data do ensaio:	22/05/2025	Temperatura (°C):	18,7	Umidade (%):	63
-----------------	------------	-------------------	------	--------------	----

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	5	8,63	19,36	10,73	18,31	9,68	1,05	10,85	10,64
2	37	9,31	19,85	10,54	18,81	9,50	1,04	10,95	
3	83	9,46	24,56	15,10	23,17	13,71	1,39	10,14	

DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³)			
Ensaio	1	2	3
Massa do solo seco $\rightarrow M_s$ (g):	50,34	50,34	50,82
Início da imersão (h):	14h45	14h45	14h45
Fim da imersão (h):	14h05	14h55	15h45
Massa do balão volumétrico + solo + água $\rightarrow M_2$ (g):	716,06	688,73	679,72
Temperatura do ensaio $\rightarrow T$ (°C):	19	19	19
Massa específica da água (Tabela A.1) $\rightarrow \rho_{w(T)}$ (°C):	0,99984	0,99984	0,99984
Massa do balão volumétrico + água (Calibração) $\rightarrow M_1$ (g):	688,50	661,37	651,69
Massa específica dos sólidos $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³):	2,209	2,191	2,230
Massa específica dos sólidos $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³):	2,200		

	ENSAIO DE GRANULOMETRIA			
	ABNT NBR 7181:2025 - Solo - Análise granulométrica			
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI			
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha			

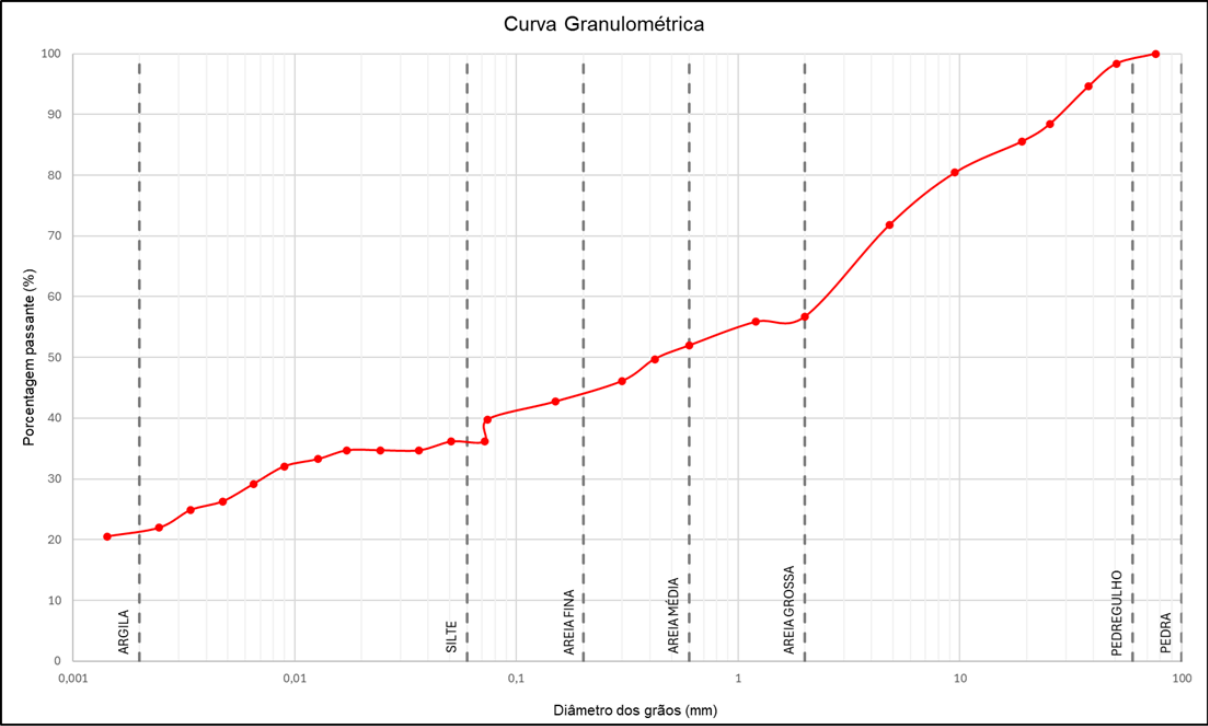
AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:				Coordenadas UTM	Zona:	22J
Av. Belvedere, São Luiz, Caxias do Sul, RS					X:	475848
					Y:	6773942
Data do ensaio:	22/05/2025	Temperatura (°C):	18,1	Umidade (%):		64

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	39	11,42	29,71	18,29	27,73	16,31	1,98	12,14	11,08
2	44	10,39	25,24	14,85	23,90	13,51	1,34	9,92	
3	66	8,24	20,27	12,03	19,06	10,82	1,21	11,18	

PENEIRAMENTO									
Massa da amostra seca à temperatura ambiente → M_k (g):			8000,00	Massa do material seco retido na peneira # 2,00mm → M_b (g):			1100,22		
Umidade higroscópica → W (decimal):			0,1108	Massa total da amostra seca → M_{qt} (g):			7311,74		
Material retido acumulado na peneira # 2,00mm → $M_{r(2,00mm)}$ (g):			3164,71	% de material que passa na peneira # 2,00mm → N (%):			56,72		
Massa do material úmido submetido à sedimentação e peneiramento → M_u (g):			70,00						
Massa da amostra (g):	Peneiras:		Massa do material retido em cada peneira → M_r (g):	Percentual da amostra total (%):	Massa do material retido acumulado → $M_{r,acum.}$ (g):	Porcentagem do material retido acumulado (%):	Porcentagem dos materiais que passam Q_p e Q_s (%):	Dados para o gráfico - Peneiramento Grosso	
3184,13	Nº:	Abertura (mm):						Peneiras / Abertura (mm):	% Passante:
PENEIRAMENTO GROSSO	3"	76,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,074	39,80
	2"	50,8	118,58	3,72	118,58	3,72	98,38	0,15	42,74
	1,5"	38,1	271,27	8,52	389,85	12,24	94,67	0,3	46,14
	1"	25,4	457,37	14,36	847,22	26,61	88,41	0,42	49,73
	3/4"	19,1	207,48	6,52	1054,70	33,12	85,58	0,6	51,97
	3/8"	9,5	376,91	11,84	1431,61	44,96	80,42	1,2	55,86
	4	4,8	632,88	19,88	2064,49	64,84	71,76	2	56,72
PENEIRAMENTO FINO	10	2	1100,22	34,55	3164,71	99,39	56,72	4,8	71,76
	16	1,2	0,95	0,03	0,95	99,42	55,86	9,5	80,42
	30	0,6	4,33	0,14	5,28	99,56	51,97	19,1	85,58
	40	0,42	2,48	0,08	7,76	99,63	49,73	25,4	88,41
	50	0,3	3,99	0,13	11,75	99,76	46,14	38,1	94,67
	100	0,15	3,78	0,12	15,53	99,88	42,74	50,8	98,38
	200	0,074	3,27	0,10	18,80	99,98	39,80	76,2	100,00
	Fundo		0,62	0,02	19,42	100,00	39,24		
	Σ Massa (g):		3184,13						

ATENÇÃO!	Se $10,01 \leq \%$ acumulado na peneira # 19,1 mm $\leq 30,00$	Ver Tabela 1, Nota 3, ABNT NBR 6457:2024 e NBR 9895:2016
	Se % acumulado na peneira # 19,1 mm $\geq 30,01$	Não ensaiar compactação nem CBR (Tabela 1, NBR 6457 e NBR 9895)

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silt + Argila	TOTAL
	(> 2,00 mm)	2,00 - 0,6 mm	0,6 - 0,2 mm	0,2 - 0,06 mm	(< 0,074 mm)	
	43,28	4,75	5,82	6,35	39,80	



SEDIMENTAÇÃO									
Densímetro Nº:	1	Proveta Nº:	-	Defloculante:	Hexametáfosfato de sódio				
Massa específica dos sólidos: ρ_s (g/cm³)		2,271	Massa de solo seco submetido à sedimentação: M_s (g)		70	Porcentagem de material que passa na peneira com abertura de 2,00 mm: N (%)		56,72	
Início da sedimentação:		Temperatura: T (°C)	Leitura no densímetro na suspensão: L	Leitura do densímetro no meio dispersor: L_{md}	Altura de queda das partículas: Z (cm)	Diâmetro das partículas do solo em suspensão: d (mm)	Viscosidade da água: μ (g/cm² x s) Tabela 2, NBR 7181. Multiplicar por 10^{-6}	Massa específica da água: ρ_{md} (g/cm³): Tabela A.1, NBR 17212	Porcentagem de material em suspensão P (%):
Intervalos de tempo:									
t (s)	min, h								
30	0,5min	20	1,030	1,0050	10,66	0,0719596661	0,00001029	0,9982	36,14224976
60	1min	20	1,030	1,0050	10,66	0,0508831679	0,00001029	0,9982	36,14224976
120	2min	20	1,029	1,0050	10,93	0,0364326383	0,00001029	0,9982	34,69655977
240	4min	20	1,029	1,0050	9,76	0,0243439167	0,00001029	0,9982	34,69655977
480	8min	20	1,029	1,0050	9,76	0,0172137486	0,00001029	0,9982	34,69655977
900	15min	20	1,028	1,0050	10,02	0,0127374875	0,00001029	0,9982	33,25086978
1800	30min	21	1,027	1,0048	10,29	0,0090112571	0,00001003	0,998	32,08927548
3600	1h	21	1,025	1,0048	10,82	0,0065339578	0,00001003	0,998	29,19834976
7200	2h	21	1,023	1,0048	11,36	0,0047340938	0,00001003	0,998	26,30742404
14400	4h	21	1,022	1,0048	11,62	0,0033856009	0,00001003	0,998	24,86196118
28800	8h	21	1,020	1,0048	12,16	0,0024489758	0,00001003	0,998	21,97103546
86400	24h	21	1,019	1,0048	12,42	0,0014289528	0,00001003	0,998	20,52557260

	ENSAIO DCP - CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA							
	ABNT NBR 17091:2023 - Solos - Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica							
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI							
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha							

Obra / Localização: AV BELVEDERE, SÃO LUIZ, CAXIAS DO SUL - RS				Tipo: ☐ BGS (Brita Graduada Simples) ☒ Solo ☐ Areia			
--	--	--	--	---	--	--	--

ENSAIO I			ENSAIO II			ENSAIO III		
Coord. UTM	X: 489179 Y: 6773861		Coord. UTM	X: 489176 Y: 6773856		Coord. UTM	X: 489176 Y: 6773856	
Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS
0	123	Penetração Inicial	0	280	Penetração Inicial	0	80	Penetração Inicial
3	184		3	323		3	138	
6	245		6	354		6	210	
9	286		9	379		9	259	
12	321		12	406		12	315	
15	356		15	433		15	351	
18	387		18	457		18	381	
21	410		21	473		21	403	
24	423		24	494		24	427	
27	446		27	508		27	448	
30	474		30	524		30	462	
33	491		33	541		33	475	
36	510		36	558		36	489	
39	531		39	575		39	504	
42	551		42	594		42	521	
45	570		45	629		45	532	
48	588		48	661		48	541	
51	606		51	682		51	552	
54	625		54	693		54	563	
57	645		57	706		57	574	
60	670		60	718		60	586	
63	700		63	733		63	596	
66	733		66	747		66	607	
69	768		69	761		69	619	
72	807		72	774		72	631	
75	831		75	785		75	643	
78	853		78	794		78	654	
81	872		81	803		81	665	
84	890		84	811		84	673	
87	907		87	819		87	680	
90			90	824		90	687	
93			93	833		93	691	
-----	907	Penetração Final	-----	833	Penetração Final	-----	691	Penetração Final
	87	Nº de Golpes		93	Nº de Golpes		93	Nº de Golpes
BSG	I_{PD} calculado (mm/golpe):	9,01	Solo	I_{PD} calculado (mm/golpe):	5,95	Areia	I_{PD} calculado (mm/golpe):	6,57
	ISC (%)	24,89		ISC (%)	39,65		ISC (%)	35,46

VALORES ACEITÁVEIS (mm/golpe): BSG: $I_{PD} \leq 6$ SOLO: $I_{PD} \leq 17$ AREIA: $I_{PD} \leq 22$			
---	--	--	--

Cálculo DCP	$I_{PD} = \frac{(\text{Penetração Final} - \text{Penetração Inicial})}{N^{\circ} \text{ de Golpes}}$	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO ASTM D6951: ISC (ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA)	$ISC = \frac{292}{I_{PD}^{1,12}}$

APÊNDICE B – PLANILHAS DE CÁLCULO, ESTRADA MUNICIPAL JOSÉ
DANI

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE		
	ABNT NBR 6457:2024 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade.		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:		Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS			X:	475846
			Y:	6769878

Data do ensaio:	06/06/2025	Temperatura (°C):	16	Umidade (%):	70
-----------------	------------	-------------------	----	--------------	----

ENSAIO 1									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	15	10,68	25,65	14,97	24,11	13,43	1,54	11,47	10,58
2	35	8,26	22,52	14,26	21,21	12,95	1,31	10,12	
3	74	8,98	23,51	14,53	22,17	13,19	1,34	10,16	

ENSAIO 2									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

ENSAIO 3									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

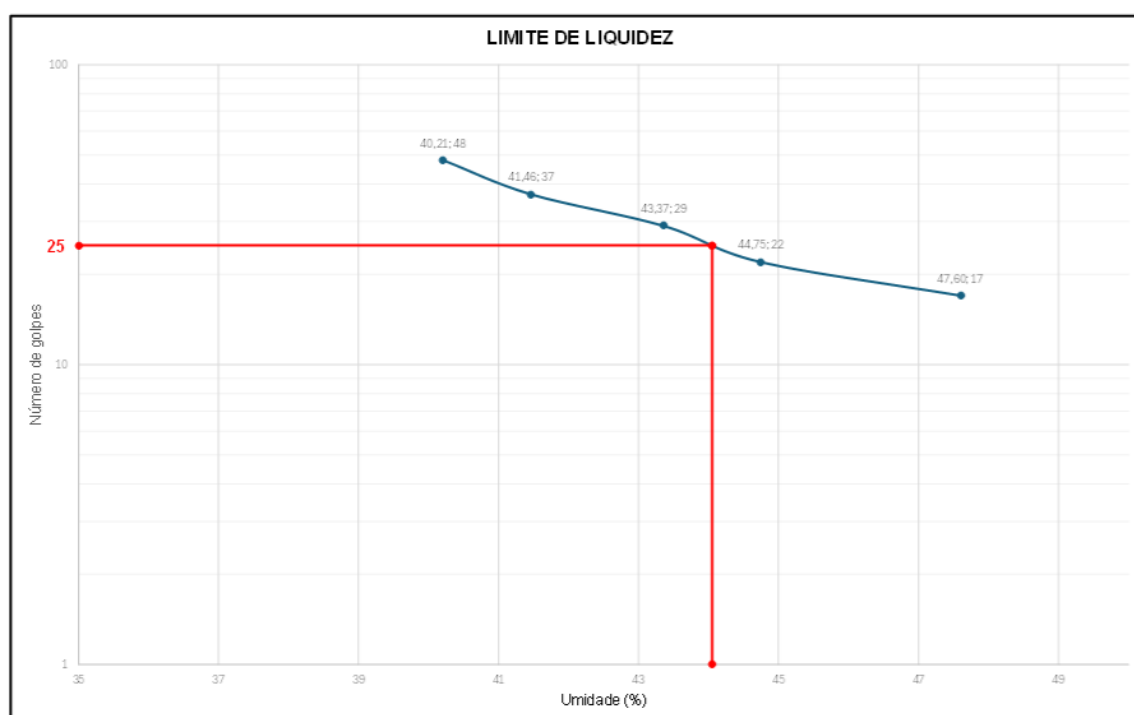
ENSAIO 4									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ		
	ABNT NBR 6459:2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:					Coordenadas UTM	Zona:	22J	
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS						X:	475846	
						Y:	6769878	
Data do ensaio:	10/06/2025	Equipamento:	CASA1	Temperatura ambiente (°C):	14,8	Umidade (%):	62	

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	15	10,68	25,65	14,97	24,11	13,43	1,54	11,47	10,58
2	35	8,26	22,52	14,26	21,21	12,95	1,31	10,12	
3	74	8,98	23,51	14,53	22,17	13,19	1,34	10,16	

LIMITE DE LIQUIDEZ									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Número de golpes:
1	8	9,19	15,78	6,59	13,89	4,70	1,89	40,21	48
2	22	10,26	16,06	5,80	14,36	4,10	1,70	41,46	37
3	33	11,83	19,07	7,24	16,88	5,05	2,19	43,37	29
4	67	8,12	16,66	8,54	14,02	5,90	2,64	44,75	22
5	98	11,10	19,10	8,00	16,52	5,42	2,58	47,60	17



Determinação gráfica do Limite de Liquidez	Série 2:		Série 3:	
	X	Y	X	Y
	35	25	44,05	1
	44,05	25	44,05	25

RESULTADO:	
Valor truncado (%)	44,05
LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	44

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE		
	ABNT NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS	X:		475846
	Y:		6769878

Data do ensaio:	10/06/2025	Temperatura (°C):	14,8	Umidade (%):	62
-----------------	------------	-------------------	------	--------------	----

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	15	10,68	25,65	14,97	24,11	13,43	1,54	11,47	10,58
2	35	8,26	22,52	14,26	21,21	12,95	1,31	10,12	
3	74	8,98	23,51	14,53	22,17	13,19	1,34	10,16	

Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	25	10,68	11,70	1,02	11,45	0,77	0,25	32,47	32,50
2	26	11,57	12,78	1,21	12,48	0,91	0,30	32,97	
3	69	9,75	10,85	1,10	10,58	0,83	0,27	32,53	
4	76	11,68	12,81	1,13	12,53	0,85	0,28	32,94	
5	86	9,24	10,49	1,25	10,19	0,95	0,30	31,58	

Valores satisfatórios:	5%	▲	▼
ABNT NBR 7180:2016, p.2, item 5.1.1	1,624848098	34,12	30,87

RESULTADOS		
LIMITE DE LIQUIDEZ	LL =	44
LIMITE DE PLASTICIDADE	LP =	32
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	IP =	12

	DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA ABNT NBR 17212:2025 - Solos - Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI Orientadora: Pro^{fa} M^a Cinthia Cristina Morais Rocha
---	---

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS		X:	475846
		Y:	6769878

Data do ensaio:	12/06/2025	Temperatura (°C):	15,9	Umidade (%):	57
-----------------	------------	-------------------	------	--------------	----

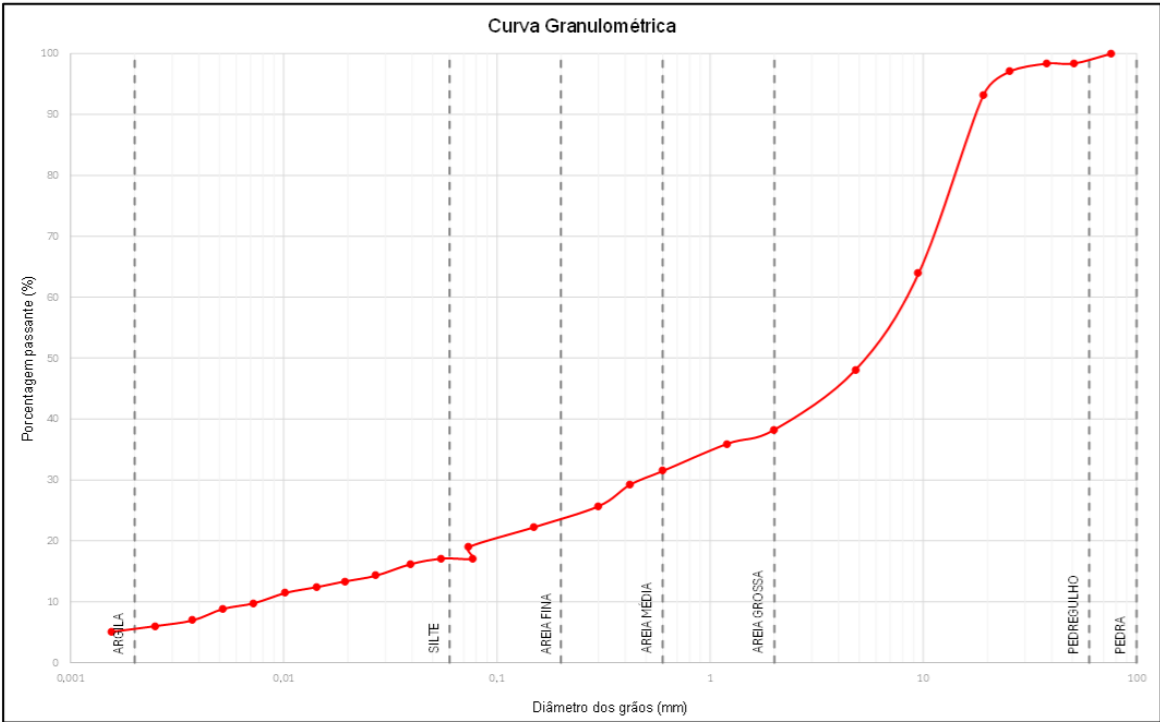
UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	37	9,31	25,33	16,02	23,73	14,42	1,60	11,10	11,00
2	68	8,13	20,04	11,91	18,87	10,74	1,17	10,89	
3	83	9,45	22,35	12,90	21,07	11,62	1,28	11,02	

DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS → ρ_s (g/cm³)			
Ensaio	1	2	3
Massa do solo seco → M_s (g):	50,34	50,18	50,16
Início da imersão (h):	17h10	17h10	17h10
Fim da imersão (h):	10h45	13h50	15h00
Massa do balão volumétrico + solo + água → M_2 (g):	717,20	689,74	679,48
Temperatura do ensaio → T (°C):	17	17	17
Massa específica da água (Tabela A.1) → $\rho_{w(T)}$ (°C):	0,99988	0,99988	0,99988
Massa do balão volumétrico + água (Calibração) → M_1 (g):	688,74	661,55	651,90
Massa específica dos sólidos → ρ_s (g/cm³):	2,300	2,282	2,221
Massa específica dos sólidos → ρ_s (g/cm³):	2,291		

	ENSAIO DE GRANULOMETRIA	
	ABNT NBR 7181:2025 - Solo - Análise granulométrica	
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI	
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha	

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:					Coordenadas UTM	Zona:	22J		
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS						X:	475846		
						Y:	6769878		
Data do ensaio:			Temperatura (°C):				Umidade (%):		
UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	37	9,31	25,33	16,02	23,73	14,42	1,60	11,10	11,00
2	68	8,13	20,04	11,91	18,87	10,74	1,17	10,89	
3	83	9,45	22,35	12,90	21,07	11,62	1,28	11,02	
PENEIRAMENTO									
Massa da amostra seca à temperatura ambiente → M_s (g):				8000,00	Massa do material seco retido na peneira # 2,00mm → M_g (g):			714,06	
Umidade higroscópica → W (decimal):				0,1100	Massa total da amostra seca → M_{st(t)} (g):			7277,87	
Material retido acumulado na peneira # 2,00mm → M_{r(2,0mm)} (g):				4494,07	% de material que passa na peneira # 2,00mm → N (%):			38,25	
Massa do material úmido submetido à sedimentação e peneiramento → M_u (g):				70,00					
Massa da amostra (g):	Peneiras:		Massa do material retido em cada peneira → M_r (g):	Percentual da amostra total (%) :	Massa do material retido acumulado → M_{r,acum} (g):	Porcentagem do material retido acumulado (%)	Porcentagem dos materiais que passam Q_g e Q_i (%) :	Dados para o gráfico - Peneiramento Grosso	
4529,88	Nº:	Abertura (mm):						Peneiras / Abertura (mm):	% Passante:
PENEIRAMENTO GROSSO	3"	76,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,074	18,97
	2"	50,8	118,20	2,61	118,20	2,61	98,38	0,15	22,27
	1,5"	38,1	0,00	0,00	118,20	2,61	98,38	0,3	25,70
	1"	25,4	97,19	2,15	215,39	4,75	97,04	0,42	29,19
	3/4"	19,1	282,55	6,24	497,94	10,99	93,16	0,6	31,48
	3/8"	9,5	2128,75	46,99	2626,69	57,99	63,91	1,2	35,93
	4	4,8	1153,32	25,46	3780,01	83,45	48,06	2	38,25
PENEIRAMENTO FINO	10	2	714,06	15,76	4494,07	99,21	38,25	4,8	48,06
	16	1,2	3,82	0,08	3,82	99,29	35,93	9,5	63,91
	30	0,6	7,34	0,16	11,16	99,46	31,48	19,1	93,16
	40	0,42	3,77	0,08	14,93	99,54	29,19	25,4	97,04
	50	0,3	5,76	0,13	20,69	99,67	25,70	38,1	98,38
	100	0,15	5,65	0,12	26,34	99,79	22,27	50,8	98,38
	200	0,074	5,44	0,12	31,78	99,91	18,97	76,2	100,00
Fundo			4,03	0,09	35,81	100,00	16,53		
Σ Massa (g):			4529,88						

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte + Argila	TOTAL
	(> 2,00 mm)	2,00 - 0,6 mm	0,6 - 0,2 mm	0,2 - 0,06 mm	(< 0,074 mm)	
	61,75	6,77	5,78	6,73	18,97	



SEDIMENTAÇÃO									
Densímetro N°:	1	Proveta N°:	-	Defloculante:	Hexametáfosfato de sódio				
Massa específica dos sólidos: ρ_s (g/cm³)		2,389	Massa de solo seco submetido à sedimentação: M_s (g)		70	Porcentgem de material que passa na peneira com abertura de 2,00 mm: N (%)			38,25
Início da sedimentação:		Temperatura: T (°C)	Leitura no densímetro na suspensão: L	Leitura do densímetro no meio dispersor: L_{md}	Altura de queda das partículas: Z (cm)	Diâmetro das partículas do solo em suspensão: d (mm)	Viscosidade da água: μ (g/cm² x s) Tabela 2, NBR 7181. Multiplicar por 10⁻⁶	Massa específica da água: ρ_{md} (g/cm³): Tabela A.1, NBR 17212	Porcentagem de material em suspensão P (%):
Intervalos de tempo:									
t (s)	min, h								
30	0,5min	16	1,024	1,0058	12,26	0,0776320167	0,00001138	0,9999	17,10368804
60	1min	16	1,024	1,0058	12,26	0,0548941255	0,00001138	0,9999	17,10368804
120	2min	16	1,023	1,0058	12,53	0,0392411000	0,00001138	0,9999	16,16392496
240	4min	16	1,021	1,0058	11,89	0,0270297213	0,00001138	0,9999	14,28439881
480	8min	16	1,020	1,0058	12,16	0,0193286904	0,00001138	0,9999	13,34463573
900	15min	16	1,019	1,0058	12,42	0,0142657893	0,00001138	0,9999	12,40487265
1800	30min	16	1,018	1,0058	12,69	0,0101964929	0,00001138	0,9999	11,46510957
3600	1h	17	1,016	1,0056	13,22	0,0072646614	0,00001109	0,99988	9,77339531
7200	2h	17	1,015	1,0056	13,49	0,0051890831	0,00001109	0,99988	8,83364576

	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	
	ABNT NBR 7182:2025 - Solos - Ensaio de compactação	
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI	
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha	

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:			Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS				X:	475846
				Y:	6769878
Data do ensaio:	02/07/2025	Temperatura (°C):	12,4	Umidade (%):	48

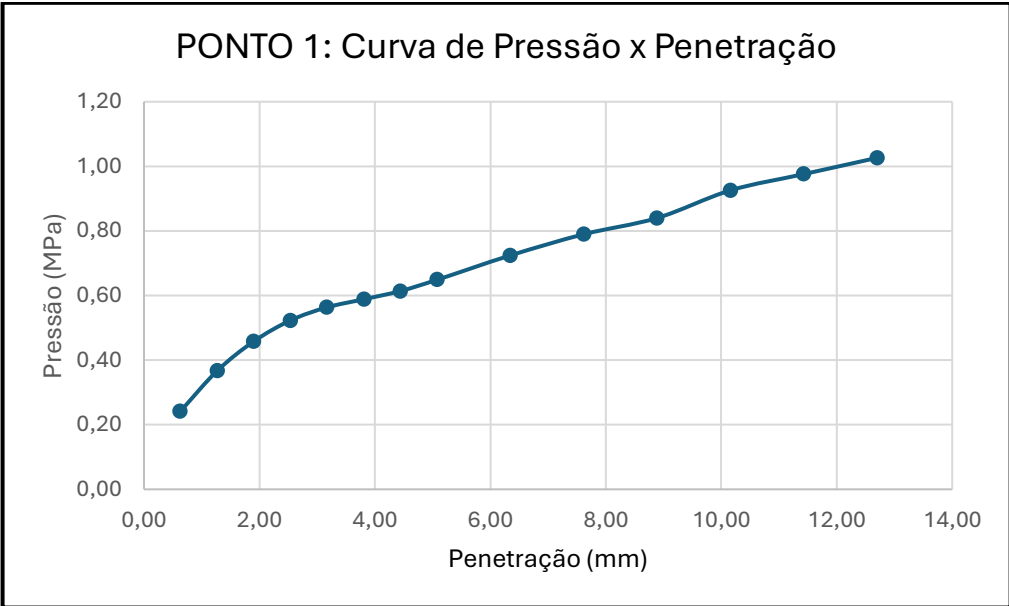
DADOS GERAIS DO ENSAIO							
h_{DE} (mm):	63,58	→ Ao utilizar o cilindro grande, desmontar a altura do disco para fazer das medições de altura (h_1 , h_2 e h_3). Se cilindro pequeno, $h_{DE} = 0$				Cilindro (P / G):	G
h_1 (mm)	177,75	ϕ_1 (mm)	152,26	Número do cilindro:	PROC6	Soquete (P / G):	G
h_2 (mm)	177,63	ϕ_2 (mm)	152,46	Massa do cilindro (g):	4908,00	Energia do ensaio (N / I / M):	N
h_3 (mm)	177,70	ϕ_3 (mm)	152,35	Volume do cilindro (mm³)	2080411,27	Número de camadas:	5
h (mm)	114,11	ϕ (mm)	152,36	Volume do cilindro (cm³)	2080,41	Número de golpes:	12

UMIDADE HIGROSCÓPICA								
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%)
1	101	10,46	31,11	20,65	30,39	19,93	0,72	3,61
2	111	8,50	33,28	24,78	32,31	23,81	0,97	4,07
3	115	11,06	38,08	27,02	37,31	26,25	0,77	2,93
								3,54

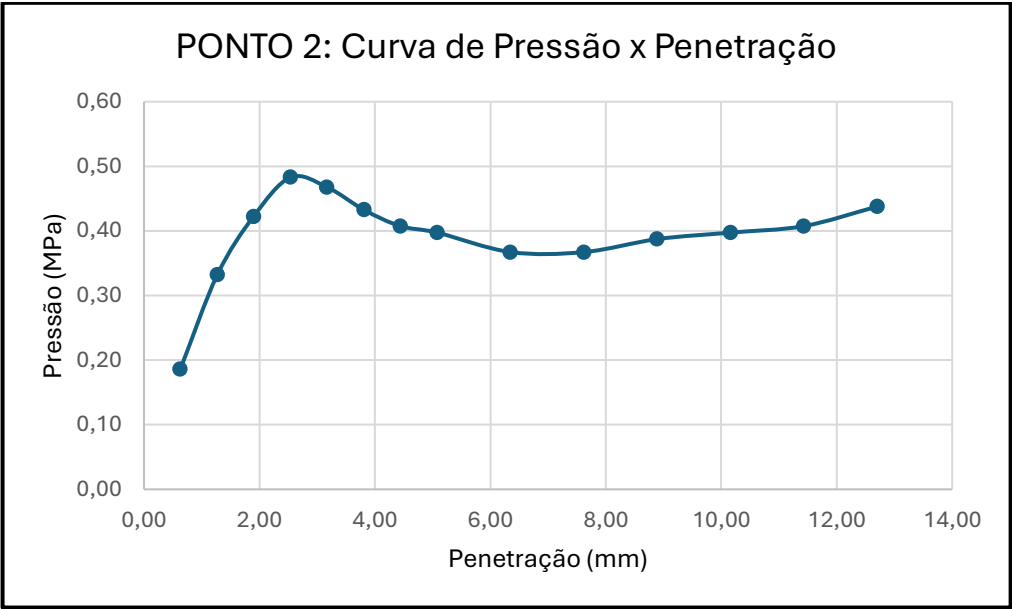
ADIÇÃO DE ÁGUA								
Ponto:		1	2	3	4	5	6	7
Massa de solo (g):		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	
Umidade desejada (%):		14	16	18	20	22	24	
Reúso de material? (S/N):		S	S	S	S	S	S	
Água a ser adicionada:	g:	700,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
	ml:	700,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO													
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo úmido (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):	Massa do cilindro + solo (g):	Massa do solo compactado (g):	Massa específica do solo úmido $\rightarrow \gamma_u$ (g/cm3)	Massa específica do solo seco $\rightarrow \gamma_s$ (g/cm3)
1	102	8,72	22,92	21,19	14,20	12,47	1,73	13,87	13,33	8515,00	3607,00	1,73	1,530
	104	11,35	29,11	26,93	17,76	15,58	2,18	13,99					
	105	8,51	23,60	21,97	15,09	13,46	1,63	12,11					
2	107	10,14	26,31	24,43	16,17	14,29	1,88	13,16	16,09	8700,00	3792,00	1,82	1,570
	110	9,83	25,11	22,80	15,28	12,97	2,31	17,81					
	114	8,17	22,94	20,76	14,77	12,59	2,18	17,32					
3	121	9,45	23,42	21,34	13,97	11,89	2,08	17,49	22,32	8920,00	4012,00	1,93	1,577
	126	9,04	25,92	22,52	16,88	13,48	3,40	25,22					
	127	9,26	25,96	22,70	16,70	13,44	3,26	24,26					
4	120	10,31	29,46	25,72	19,15	15,41	3,74	24,27	25,55	8885,00	3977,00	1,91	1,523
	123	11,78	27,84	24,65	16,06	12,87	3,19	24,79					
	125	9,68	23,87	20,80	14,19	11,12	3,07	27,61					
5	88	10,76	24,47	21,48	13,71	10,72	2,99	27,89	27,40	8725,00	3817,00	1,83	1,440
	91	10,41	22,40	19,75	11,99	9,34	2,65	28,37					
	124	9,54	26,25	22,81	16,71	13,27	3,44	25,92					
6					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
7					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
8					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					

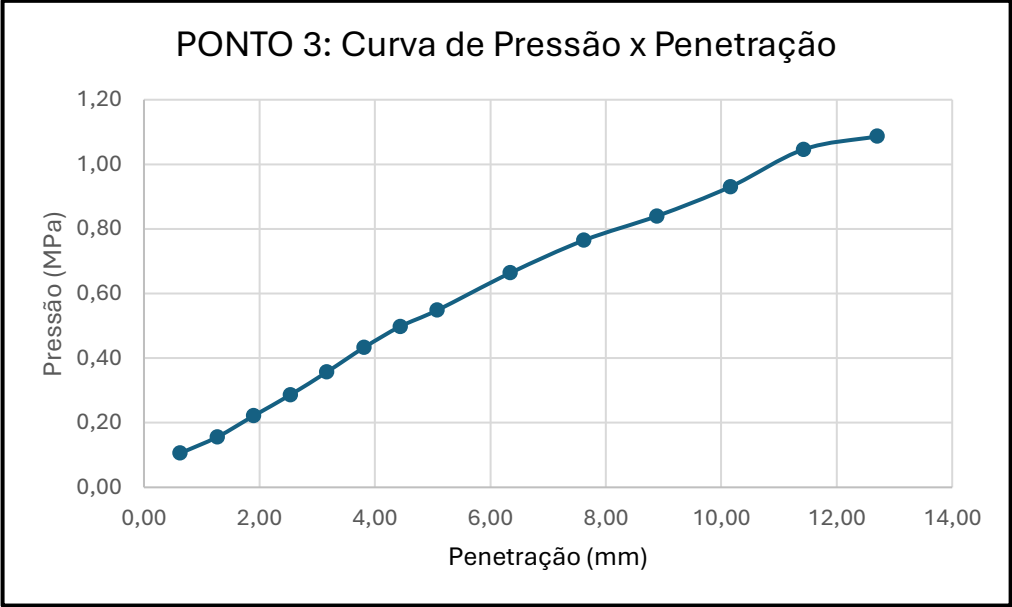
		ENSAIO DE CBR																													
		ABNT NBR 9895:2016 - Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio																													
		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI																													
		Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha																													
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="6">AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Coordenadas UTM</td> <td>Zona:</td> <td colspan="2">22J</td> </tr> <tr> <td colspan="6" rowspan="2">Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS</td> <td>X:</td> <td colspan="2">475846</td> </tr> <tr> <td>Y:</td> <td colspan="2">6769878</td> </tr> </table>										AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:						Coordenadas UTM	Zona:	22J		Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS						X:	475846		Y:	6769878	
AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:						Coordenadas UTM	Zona:	22J																							
Estrada Municipal José Dani, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS							X:	475846																							
							Y:	6769878																							
Data do ensaio:		30/06/2025		Temperatura (°C):		14,1		Umidade (%):		59																					
UMIDADE HIGROSCÓPICA																															
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):																						
1	68	8,16	19,32	11,16	18,93	10,77	0,39	3,62	3,26																						
2	75	8,96	22,66	13,70	22,29	13,33	0,37	2,78																							
3	86	9,24	19,65	10,41	19,31	10,07	0,34	3,38																							
ADIÇÃO DE ÁGUA																															
Ponto:		1	2	3	4	5																									
Massa de solo (g):		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00																									
Umidade desejada (%):		12	14	16	18	20																									
	g:	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00																									
	ml:	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00																									
DADOS GERAIS DO ENSAIO																															
h_{DE} (mm):	63,58	-- Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):					PONTO 1																								
h₁ (mm):	177,84	Ø₁ (mm):	152,52	Número do cilindro:		PROC5																									
h₂ (mm):	177,74	Ø₂ (mm):	152,67	Massa do cilindro (g):		4576,00																									
h₃ (mm):	177,65	Ø₃ (mm):	152,22	Volume do cilindro (mm³):		2084420,44																									
h (mm):	114,16	Ø (mm):	152,47	Volume do cilindro (cm³):		2084,42																									
h (mm):	114,16	Ø (mm):	152,47	Volume do cilindro (cm³):		2084,42																									
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ_d (g/cm³)	1,577	Número de golpes:		12																						
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO																															
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):																						
1	27	7,86	20,25	12,39	18,39	10,53	1,86	17,66	18,21																						
2	73	10,13	25,92	15,79	23,59	13,46	2,33	17,31																							
3	74	9,01	21,49	12,48	19,44	10,43	2,05	19,65																							
EXPANSÃO																															
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)																						
0h	30/06/2025	17h30	0,007	0,000	0,10	0,63	48,00	470,72	0,24																						
24h	01/07/2025	17h30	0,088	0,081		1,27	73,00	715,89	0,37																						
48h	02/07/2025	17h30	0,107	0,019		1,90	91,00	892,41	0,46																						
72h	03/07/2027	17h30	0,113	0,006		2,54	104,00	1019,89	0,52																						
96h	04/07/2025	14h30	0,120	0,007		3,17	112,00	1098,34	0,56																						
						3,81	117,00	1147,38	0,59																						
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8440,00		4,44	122,00	1196,41	0,61																						
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3864,00		5,08	129,00	1265,06	0,65																						
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	144,00	1412,16	0,72																						
CÁLCULO DO ISC						7,62	157,00	1539,64	0,79																						
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	167,00	1637,71	0,84																						
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	184,00	1804,42	0,93																						
2,54	0,52	0,52	6,9	7,58		11,43	194,00	1902,49	0,98																						
5,08	0,65	0,65	10,35	6,27		12,70	204,00	2000,56	1,03																						
RESULTADOS PARCIAIS:																															
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p_d (g/cm³):				1,568		EXPANSÃO (%):		0,10		ISC (%):	7																				



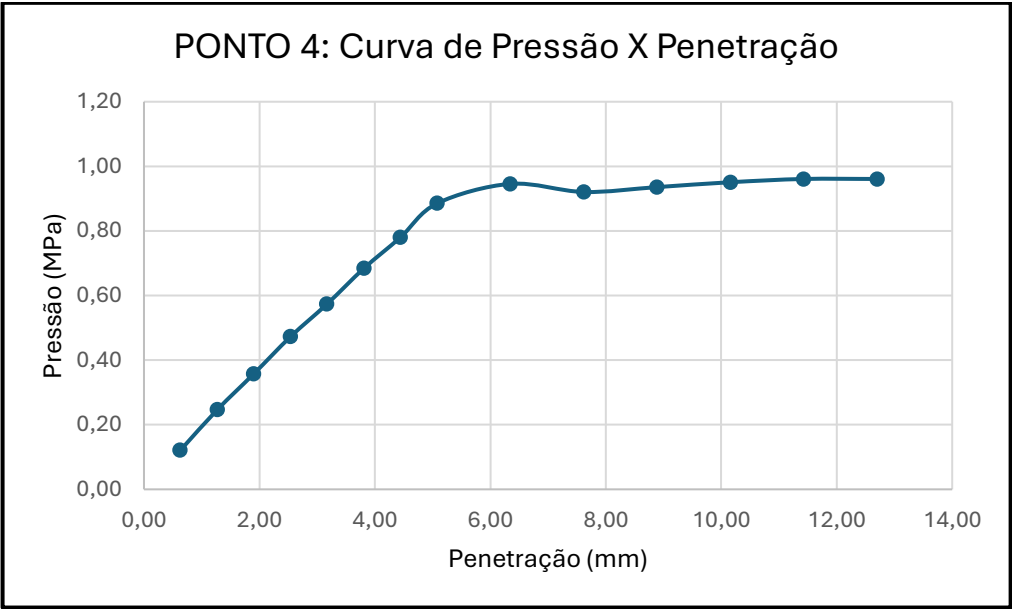
DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 2			
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,46	Ø ₁ (mm):	152,65	Número do cilindro:	PROC4				
h ₂ (mm):	177,52	Ø ₂ (mm):	152,32	Massa do cilindro (g):	4840,00				
h ₃ (mm):	177,60	Ø ₃ (mm):	151,96	Volume do cilindro (mm³):	2076100,35	Umidade do ponto (%):	16		
h (mm):	113,95	Ø (mm):	152,31	Volume do cilindro (cm³):	2076,10	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,577	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	14	9,30	22,92	13,62	20,44	11,14	2,48	22,26	21,35
2	30	8,55	22,25	13,70	19,93	11,38	2,32	20,39	
3	67	8,11	22,12	14,01	19,65	11,54	2,47	21,40	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	37,00	362,85	0,19
0h	30/06/2025	17h30	0,080	0,000	0,44	1,27	66,00	647,24	0,33
24h	01/07/2025	17h30	0,520	0,440		1,90	84,00	823,76	0,42
48h	02/07/2025	17h30	0,560	0,040		2,54	96,00	941,44	0,48
72h	03/07/2027	17h30	0,570	0,010		3,17	93,00	912,02	0,47
96h	04/07/2025	14h30	0,580	0,010		3,81	86,00	843,37	0,43
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8560,00		4,44	81,00	794,34	0,41
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3720,00		5,08	79,00	774,73	0,40
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	73,00	715,89	0,37
CÁLCULO DO ISC						7,62	73,00	715,89	0,37
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	77,00	755,11	0,39
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	79,00	774,73	0,40
2,54	0,48	0,48	6,9	7,00		11,43	81,00	794,34	0,41
5,08	0,40	0,40	10,35	3,84		12,70	87,00	853,18	0,44
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,477	EXPANSÃO (%):		0,44	ISC (%):	6



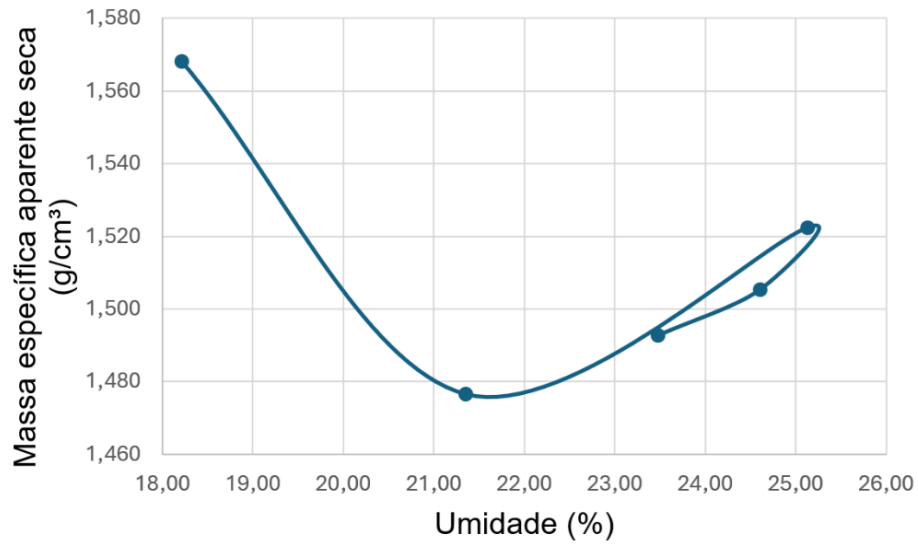
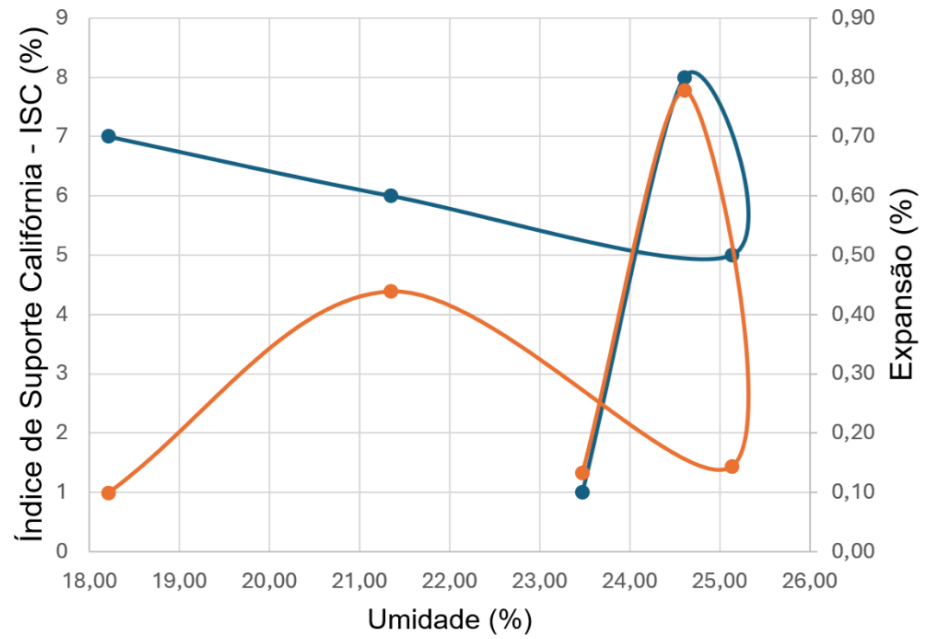
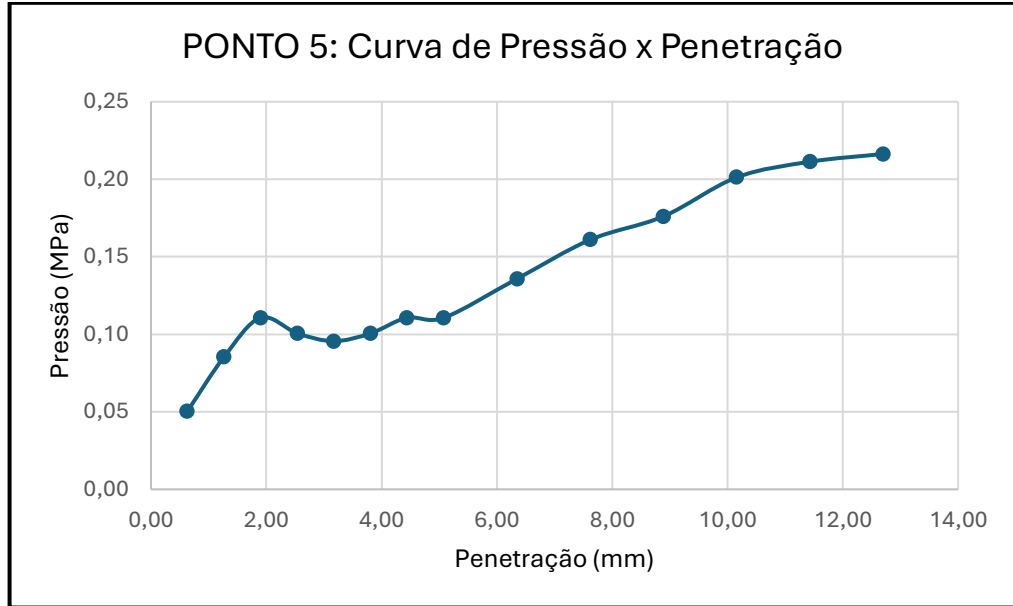
DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 3				
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):								
h ₁ (mm):	177,70	Ø ₁ (mm):	152,67	Número do cilindro:	PROC12					
h ₂ (mm):	177,70	Ø ₂ (mm):	152,51	Massa do cilindro (g):	4794,00					
h ₃ (mm):	177,75	Ø ₃ (mm):	152,57	Volume do cilindro (mm³):	2087032,74	Umidade do ponto (%):	18			
h (mm):	114,14	Ø (mm):	152,58	Volume do cilindro (cm³):	2087,03	Energia do ensaio (N / l / M):	N			
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,577	Número de camadas:	5		
							Número de golpes:	12		
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO										
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):	
1	9	8,46	20,84	12,38	18,49	10,03	2,35	23,43	25,13	
2	49	9,76	21,63	11,87	19,19	9,43	2,44	25,87		
3	72	7,87	20,53	12,66	17,91	10,04	2,62	26,10		
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO				
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)	
						0,63	21,00	205,94	0,11	
0h	30/06/2025	17h30	0,000	0,000	0,14	1,27	31,00	304,01	0,16	
24h	01/07/2025	17h30	0,159	0,159		1,90	44,00	431,49	0,22	
48h	02/07/2025	17h30	0,160	0,001		2,54	57,00	558,98	0,29	
72h	03/07/2027	17h30	0,179	0,019		3,17	71,00	696,27	0,36	
96h	04/07/2025	14h30	0,164	-0,015			3,81	86,00	843,37	0,43
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8770,00		4,44	99,00	970,86	0,50	
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3976,00		5,08	109,00	1068,92	0,55	
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	132,00	1294,48	0,66	
CÁLCULO DO ISC						7,62	152,00	1490,61	0,76	
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	167,00	1637,71	0,84	
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	185,00	1814,23	0,93	
2,54	0,29	0,29	6,9	4,155747122		11,43	208,00	2039,78	1,05	
5,08	0,55	0,55	10,35	5,297970015		12,70	216,00	2118,24	1,09	
RESULTADOS PARCIAIS:										
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,522	EXPANSÃO (%):		0,14	ISC (%):	5	



DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 4			
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,98	Ø ₁ (mm):	151,98	Número do cilindro:	PROC7				
h ₂ (mm):	177,98	Ø ₂ (mm):	151,43	Massa do cilindro (g):	4806,00				
h ₃ (mm):	177,92	Ø ₃ (mm):	151,17	Volume do cilindro (mm³):	2062614,72	Umidade do ponto (%):	20		
h (mm):	114,38	Ø (mm):	151,53	Volume do cilindro (cm³):	2062,61	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,577	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	18	10,66	24,17	13,51	21,54	10,88	2,63	24,17	24,61
2	81	11,06	26,47	15,41	23,23	12,17	3,24	26,62	
3	85	9,60	24,99	15,39	22,11	12,51	2,88	23,02	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	24,00	235,36	0,12
0h	30/06/2025	17h30	0,010	0,000	0,78	1,27	49,00	480,53	0,25
24h	01/07/2025	17h30	0,900	0,890		1,90	71,00	696,27	0,36
48h	02/07/2025	17h30	0,910	0,010		2,54	94,00	921,83	0,47
72h	03/07/2027	17h30	0,940	0,030		3,17	114,00	1117,96	0,57
96h	04/07/2025	14h30	0,900	-0,040		3,81	136,00	1333,70	0,68
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8675,00		4,44	155,00	1520,03	0,78
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3869,00		5,08	176,00	1725,97	0,89
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	188,00	1843,65	0,95
CÁLCULO DO ISC						7,62	183,00	1794,62	0,92
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	186,00	1824,04	0,94
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	189,00	1853,46	0,95
2,54	0,47	0,47	6,9	6,85		11,43	191,00	1873,07	0,96
5,08	0,89	0,89	10,35	8,55		12,70	191,00	1873,07	0,96
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,505	EXPANSÃO (%):		0,78	ISC (%):	8



DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 5			
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,69	Ø ₁ (mm):	152,76	Número do cilindro:	PROC14				
h ₂ (mm):	177,72	Ø ₂ (mm):	152,39	Massa do cilindro (g):	4818,00				
h ₃ (mm):	177,86	Ø ₃ (mm):	152,84	Volume do cilindro (mm³):	2089953,98	Umidade do ponto (%):	22		
h (mm):	114,18	Ø (mm):	152,66	Volume do cilindro (cm³):	2089,95	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,577	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	46	8,22	24,07	15,85	21,05	12,83	3,02	23,54	23,47
2	70	8,70	26,00	17,30	23,16	14,46	2,84	19,64	
3	84	8,30	24,74	16,44	21,22	12,92	3,52	27,24	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	10,00	98,07	0,05
0h	30/06/2025	17h30	0,000	0,000	0,13	1,27	17,00	166,71	0,09
24h	01/07/2025	17h30	0,179	0,179		1,90	22,00	215,75	0,11
48h	02/07/2025	17h30	0,145	-0,034		2,54	20,00	196,13	0,10
72h	03/07/2027	17h30	0,125	-0,020		3,17	19,00	186,33	0,10
96h	04/07/2025	14h30	0,151	0,026		3,81	20,00	196,13	0,10
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8670,00		4,44	22,00	215,75	0,11
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3852,00		5,08	22,00	215,75	0,11
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	27,00	264,78	0,14
CÁLCULO DO ISC						7,62	32,00	313,81	0,16
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	35,00	343,23	0,18
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	40,00	392,27	0,20
2,54	0,10	0,10	6,9	1,458156885	0,000000000	11,43	42,00	411,88	0,21
5,08	0,11	0,11	10,35	1,069315049		12,70	43,00	421,69	0,22
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,493	EXPANSÃO (%):		0,13	ISC (%):	1



	ENSAIO DCP - CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA							
	ABNT NBR 17091:2023 - Solos - Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica							
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI							
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha							

Obra / Localização: ESTRADA MUNICIPAL JOSÉ DANI, DESVIO RIZZO, CAXIAS DO SUL - RS				Tipo:		☐ BGS (Brita Graduada Simples) ☒ Solo ☐ Areia	
--	--	--	--	-------	--	---	--

ENSAIO I			ENSAIO II			ENSAIO III		
Coord. UTM	X: 475851 Y: 6769885		Coord. UTM	X: 475827 Y: 6769989		Coord. UTM	X: 475857 Y: 6769863	
Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS
0	25	Penetração Inicial	0	40	Penetração Inicial	0	38	Penetração Inicial
3	48		3	67		3	71	
6	57		6	92		6	120	
9	86		9	114		9	132	
12	104		12	139		12	215	
15	128		15	174		15	233	
18	141		18	212		18	254	
21	162		21	255		21	296	
24	175		24	296		24	338	
27	190		27	325		27	391	
30	201		30	354		30	447	
33	211		33	388		33	508	
36	222		36	449		36	568	
39	231		39	486		39	607	
42	303		42	521		42	654	
45	316		45	560		45	685	
48	331		48	592		48	703	
51	342		51	650		51	721	
54	356		54	709		54	735	
57	377		57	780		57	748	
60	406		60	843		60	759	
63	446	63	882	63	768			
66	497	66	915	66	776			
69	541	69	944	69	789			
72	568	72		72	803			
75	577	75		75	817			
78	588	78		78	836			
81	599	81		81	854			
84	624	84		84	868			
87	650	87		87	887			
90	667	90		90	909			
93	689	93		93	923			
-----	689	Penetração Final	-----	944	Penetração Final	-----	923	Penetração Final
	93	Nº de Golpes		69	Nº de Golpes		93	Nº de Golpes
BSG	I_{PD} calculado (mm/golpe):	7,14	Solo	I_{PD} calculado (mm/golpe):	13,10	Areia	I_{PD} calculado (mm/golpe):	9,52
	ISC (%)	32,30		ISC (%)	16,37		ISC (%)	23,42

VALORES ACEITÁVEIS (mm/golpe): BSG: $I_{PD} \leq 6$ SOLO: $I_{PD} \leq 17$ AREIA: $I_{PD} \leq 22$			
---	--	--	--

Cálculo DCP	$I_{PD} = \frac{(\text{Penetração Final} - \text{Penetração Inicial})}{N^{\circ} \text{ de Golpes}}$	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO ASTM D6951: ISC (ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA)	$ISC = \frac{292}{I_{PD}^{1,12}}$
-------------	--	---	-----------------------------------

APÊNDICE C – PLANILHAS DE CÁLCULO, ESTRADA MUNICIPAL ÂNGELO RUFFATO

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE		
	ABNT NBR 6457:2024 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade.		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:		Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS			X:	477034
			Y:	6768391

Data do ensaio:	27/05/2025	Temperatura (°C):	15	Umidade (%):	89
------------------------	------------	--------------------------	----	---------------------	----

ENSAIO 1									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	33	11,79	30,25	18,46	28,61	16,82	1,64	9,75	9,80
2	37	9,30	24,35	15,05	23,00	13,70	1,35	9,85	
3	83	9,45	25,57	16,12	24,13	14,68	1,44	9,81	

ENSAIO 2									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

ENSAIO 3									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

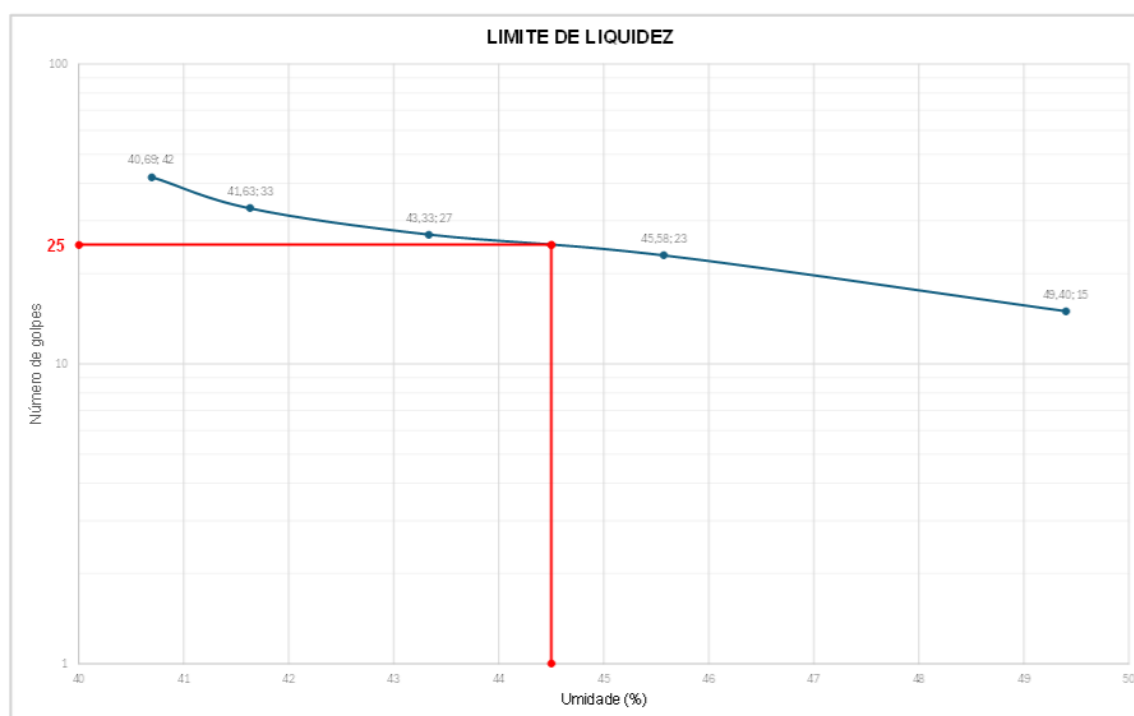
ENSAIO 4									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
2				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	
3				0,00		0,00	0,00	#DIV/0!	

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ		
	ABNT NBR 6459:2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez		
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI		
	Orientadora: Profª M ^{sc} Cinthia Cristina Moraes Rocha		

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:					Coordenadas UTM	Zona:		22J	
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS						X:		477034	
						Y:		6768391	
Data do ensaio:	28/05/2025	Equipamento:	CASA1	Temperatura ambiente (°C):	19,5	Umidade (%):	78		

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	33	11,79	30,25	18,46	28,61	16,82	1,64	9,75	9,80
2	37	9,30	24,35	15,05	23,00	13,70	1,35	9,85	
3	83	9,45	25,57	16,12	24,13	14,68	1,44	9,81	

LIMITE DE LIQUIDEZ									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Número de golpes:
1	4	8,44	17,36	8,92	14,78	6,34	2,58	40,69	42
2	18	10,64	21,22	10,58	18,11	7,47	3,11	41,63	33
3	26	11,54	21,43	9,89	18,44	6,90	2,99	43,33	27
4	62	11,51	20,23	8,72	17,50	5,99	2,73	45,58	23
5	71	10,78	21,97	11,19	18,27	7,49	3,70	49,40	15



Determinação gráfica do Limite de Liquidez	Série 2:		Série 3:	
	X	Y	X	Y
	40	25	44,5	1
	44,5	25	44,5	25

RESULTADO:	
Valor truncado (%)	44,50
LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	45

	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE ABNT NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha
---	--

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS		X:	477034
		Y:	6768391

Data do ensaio:	28/05/2025	Temperatura (°C):	19,5	Umidade (%):	78
------------------------	------------	--------------------------	------	---------------------	----

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	33	11,79	30,25	18,46	28,61	16,82	1,64	9,75	9,80
2	37	9,30	24,35	15,05	23,00	13,70	1,35	9,85	
3	83	9,45	25,57	16,12	24,13	14,68	1,44	9,81	

Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	13	11,98	12,92	0,94	12,70	0,72	0,22	30,56	31,44
2	25	10,69	11,45	0,76	11,26	0,57	0,30	33,33	
3	63	8,87	9,70	0,83	9,50	0,63	0,20	31,75	
4	70	8,67	9,74	1,07	9,49	0,82	0,25	30,49	
5	86	9,24	10,21	0,97	9,98	0,74	0,23	31,08	

Valores satisfatórios:	5%	▲	▼
ABNT NBR 7180:2016, p.2, item 5.1.1	1,572038066	33,01	29,87

RESULTADOS		
LIMITE DE LIQUIDEZ	LL =	45
LIMITE DE PLASTICIDADE	LP =	31
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	IP =	14

	DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA ABNT NBR 17212:2025 - Solos - Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha
---	---

AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:	Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS		X:	477034
		Y:	6768391

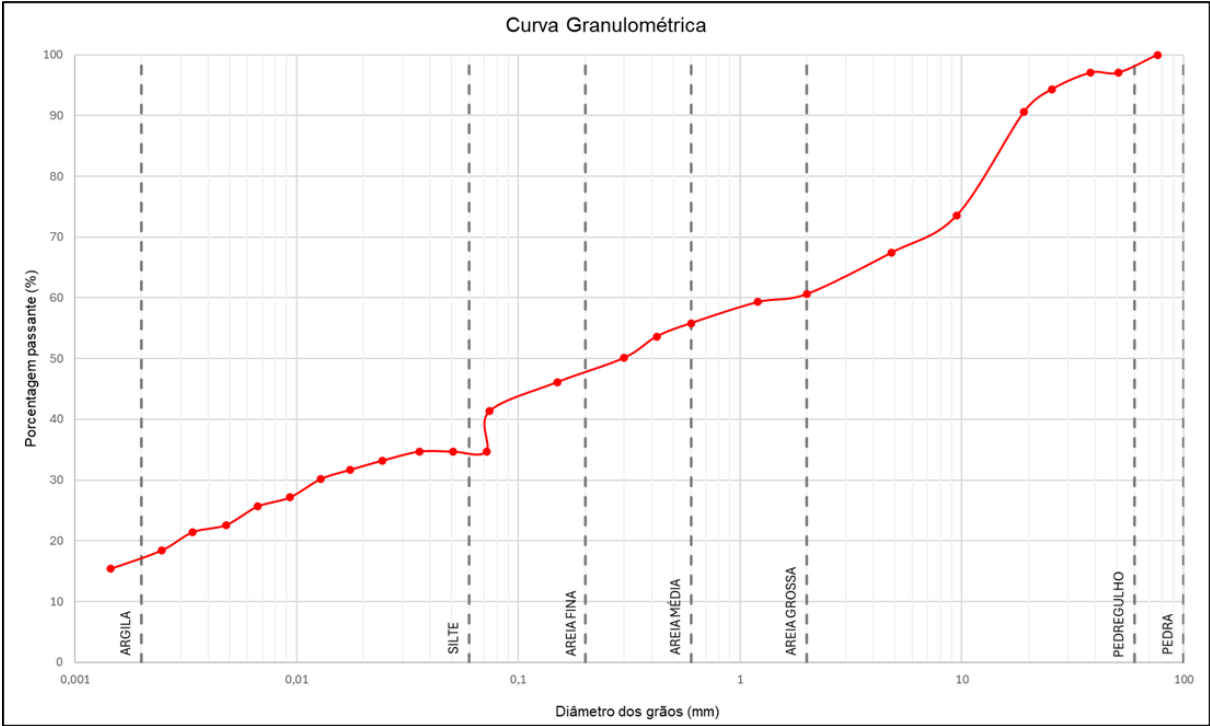
Data do ensaio:	29/05/2025	Temperatura (°C):	16,3	Umidade (%):	55
-----------------	------------	-------------------	------	--------------	----

UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	15	10,68	24,81	14,13	23,44	12,76	1,37	10,74	10,75
2	67	8,11	24,86	16,75	23,23	15,12	1,63	10,78	
3	69	9,74	27,90	18,16	26,14	16,40	1,76	10,73	

DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³)			
Ensaio	1	2	3
Massa do solo seco $\rightarrow M_s$ (g):	50,09	50,05	50,07
Início da imersão (h):	13h42	13h42	13h42
Fim da imersão (h):	09h51	10h13	10h59
Massa do balão volumétrico + solo + água $\rightarrow M_2$ (g):	715,99	689,49	680,26
Temperatura do ensaio $\rightarrow T$ (°C):	19	19	19
Massa específica da água (Tabela A.1) $\rightarrow \rho_{w(T)}$ (°C):	0,99984	0,99984	0,99984
Massa do balão volumétrico + água (Calibração) $\rightarrow M_1$ (g):	688,50	661,47	651,69
Massa específica dos sólidos $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³):	2,216	2,272	2,328
Massa específica dos sólidos $\rightarrow \rho_s$ (g/cm³):	2,272		

	ENSAIO DE GRANULOMETRIA										
	ABNT NBR 7181:2025 - Solo - Análise granulométrica										
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI										
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha										
AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:							Coordenadas UTM	Zona:	22J		
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS								X:	477034		
								Y:	6768391		
Data do ensaio:		04/06/2025		Temperatura (°C):		19,1		Umidade (%):		76	
UMIDADE HIGROSCÓPICA											
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):		
1	30	8,54	23,59	15,05	22,27	13,73	1,32	9,61	9,40		
2	65	9,24	22,50	13,26	21,45	12,21	1,05	8,60			
3	79	12,27	23,40	11,13	22,39	10,12	1,01	9,98			
PENEIRAMENTO											
Massa da amostra seca à temperatura ambiente → M_t (g):				8000,00		Massa do material seco retido na peneira # 2,00mm → M_g (g):				498,49	
Umidade higroscópica → W (decimal):				0,0940		Massa total da amostra seca → M_{st} (g):				7355,58	
Material retido acumulado na peneira # 2,00mm → M_{r(2,0mm)} (g):				2894,67		% de material que passa na peneira # 2,00mm → N (%):				60,65	
Massa do material úmido submetido à sedimentação e peneiramento → M_u (g):				70,03							
Massa da amostra (g):	Peneiras:		Massa do material retido em cada peneira → M_r (g):	Percentual da amostra total (%) :	Massa do material retido acumulado → M_{r,acum.} (g):	Porcentagem do material retido acumulado (%)	Porcentagem dos materiais que passam Q_g e Q_t (%) :	Dados para o gráfico - Peneiramento Grosso			
2917,09	Nº:	Abertura (mm):						Peneiras / Abertura (mm):	% Passante:		
PENEIRAMENTO GROSSO	3"	76,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,074	41,32		
	2"	50,8	215,74	7,40	215,74	7,40	97,07	0,15	46,15		
	1,5"	38,1	0,00	0,00	215,74	7,40	97,07	0,3	50,14		
	1"	25,4	202,70	6,95	418,44	14,34	94,31	0,42	53,64		
	3/4"	19,1	269,73	9,25	688,17	23,59	90,64	0,6	55,84		
	3/8"	9,5	1254,08	42,99	1942,25	66,58	73,59	1,2	59,31		
	4	4,8	453,93	15,56	2396,18	82,14	67,42	2	60,65		
PENEIRAMENTO FINO	10	2	498,49	17,09	2894,67	99,23	60,65	4,8	67,42		
	16	1,2	1,41	0,05	1,41	99,28	59,31	9,5	73,59		
	30	0,6	3,66	0,13	5,07	99,41	55,84	19,1	90,64		
	40	0,42	2,33	0,08	7,40	99,49	53,64	25,4	94,31		
	50	0,3	3,69	0,13	11,09	99,61	50,14	38,1	97,07		
	100	0,15	4,21	0,14	15,30	99,76	46,15	50,8	97,07		
	200	0,074	5,10	0,17	20,40	99,93	41,32	76,2	100,00		
	Fundo		2,02	0,07	22,42	100,00	39,41				
	Σ Massa (g):		2917,09								

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte + Argila	TOTAL
	(> 2,00 mm)	2,00 - 0,6 mm	0,6 - 0,2 mm	0,2 - 0,06 mm	(< 0,074 mm)	
	39,35	4,80	5,70	8,82	41,32	



SEDIMENTAÇÃO									
Densímetro Nº:	1	Proveta Nº:	-	Defloculante:	Hexametáfosfato de sódio				
Massa específica dos sólidos: ρ_s (g/cm³)		2,342	Massa de solo seco submetido à sedimentação: M_s (g)		70,03	Porcentagem de material que passa na peneira com abertura de 2,00 mm: N (%)		60,65	
Início da sedimentação:		Temperatura: T (°C)	Leitura no densímetro na suspensão: L	Leitura do densímetro no meio dispersor: L_{md}	Altura de queda das partículas: Z (cm)	Diâmetro das partículas do solo em suspensão: d (mm)	Viscosidade da água: μ (g/cm² x s) Tabela 2, NBR 7181. Multiplicar por 10⁻⁶	Massa específica da água: ρ_{md} (g/cm³): Tabela A.1, NBR 17212	Porcentagem de material em suspensão P (%):
Intervalos de tempo:									
t (s)	min, h								
30	0,5min	20	1,028	1,0050	11,19	0,0717500318	0,00001029	0,9982	34,71381876
60	1min	20	1,028	1,0050	11,19	0,0507349340	0,00001029	0,9982	34,71381876
120	2min	20	1,028	1,0050	11,19	0,0358750159	0,00001029	0,9982	34,71381876
240	4min	20	1,027	1,0050	10,29	0,0243259466	0,00001029	0,9982	33,20452229
480	8min	20	1,026	1,0050	10,56	0,0174252502	0,00001029	0,9982	31,69522583
900	15min	20	1,025	1,0050	10,82	0,0128813108	0,00001029	0,9982	30,18592936
1800	30min	20	1,023	1,0050	11,36	0,0093329856	0,00001029	0,9982	27,16733642
3600	1h	20	1,022	1,0050	11,62	0,0066745117	0,00001029	0,9982	25,65803995
7200	2h	20	1,020	1,0050	12,16	0,0048280107	0,00001029	0,9982	22,63944702
14400	4h	21	1,019	1,0048	12,42	0,0034063558	0,00001003	0,9988	21,44158340
28800	8h	21	1,017	1,0048	12,96	0,0024604623	0,00001003	0,9988	18,42164208
86400	24h	21	1,015	1,0048	13,49	0,0014493042	0,00001003	0,9988	15,40170076

	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	
	ABNT NBR 7182:2025 - Solos - Ensaio de compactação	
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI	
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha	

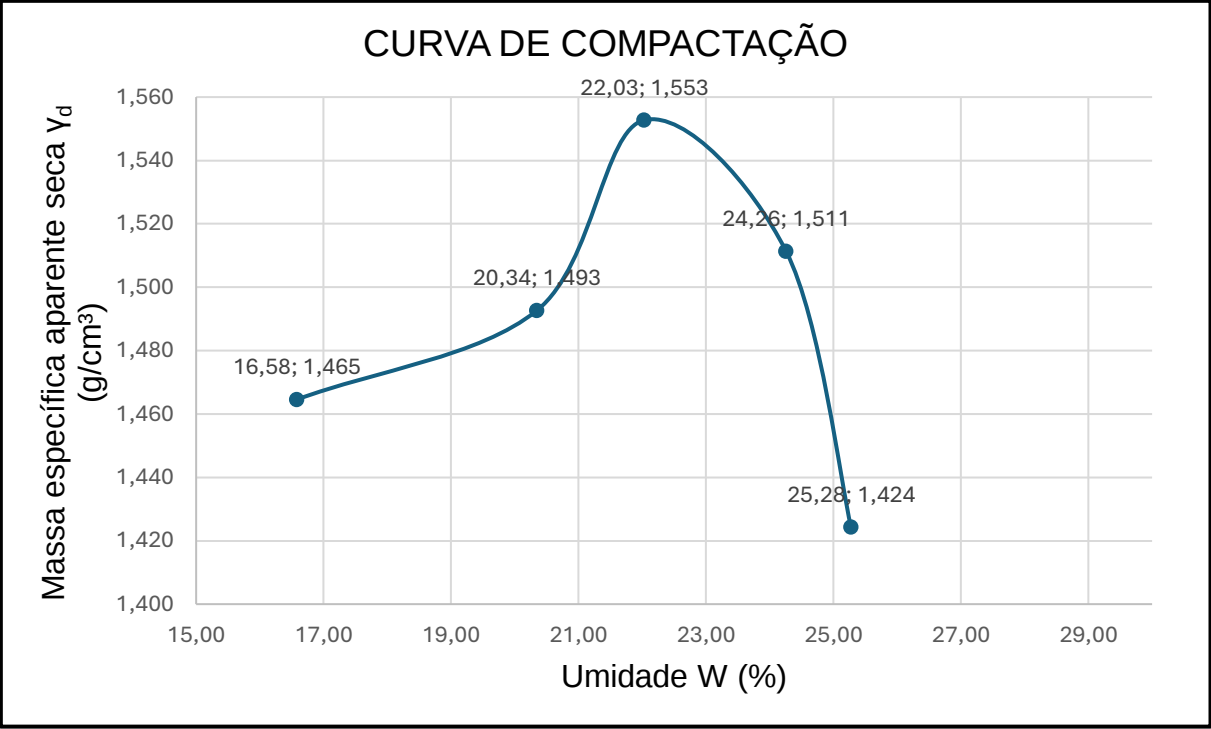
AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:		Coordenadas UTM	Zona:	22J
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS			X:	477034
Data do ensaio:		01/07/2025	Temperatura (°C):	14
			Umidade (%):	43

DADOS GERAIS DO ENSAIO							
h_{cil} (mm):	63,68	* Ao utilizar o cilindro grande, se considerar a altura do molde, não se aplica a correção de altura (h_1 , h_2 e h_3). Se cilindro pequeno, $h_{cil} = 0$.				Cilindro (P / G):	G
h_1 (mm):	177,75	$\varnothing_1$ (mm):	152,26	Número do cilindro:	PROC8	Soquete (P / G):	G
h_2 (mm):	177,83	$\varnothing_2$ (mm):	152,46	Massa do cilindro (g):	4908,00	Energia do ensaio (N / l / M):	N
h_3 (mm):	177,70	$\varnothing_3$ (mm):	152,36	Volume do cilindro (mm³):	2080411,27	Número de camadas:	5
h (mm):	114,11	$\varnothing$ (mm):	152,36	Volume do cilindro (cm³):	2080,41	Número de golpes:	12

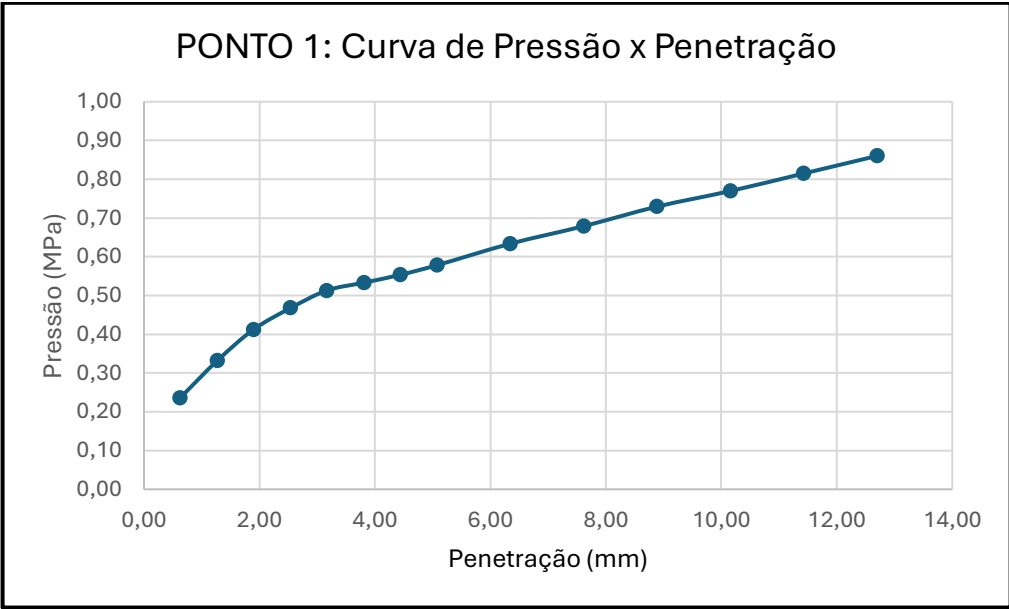
UMIDADE HIGROSCÓPICA									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Massa do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):
1	41	10,50	24,98	14,48	24,51	14,01	0,47	3,36	3,33
2	53	10,75	29,07	18,32	28,48	17,73	0,69	3,33	
3	60	10,97	25,64	14,67	25,17	14,20	0,47	3,31	

ADIÇÃO DE ÁGUA								
Ponto:	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa de solo (g):	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00			
Umidade desejada (%):	16	18	20	22	24			
Reúso de material? (S/N):	S	S	S	S	S			
Água a ser adicionada:								
g:	800,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
ml:	800,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00

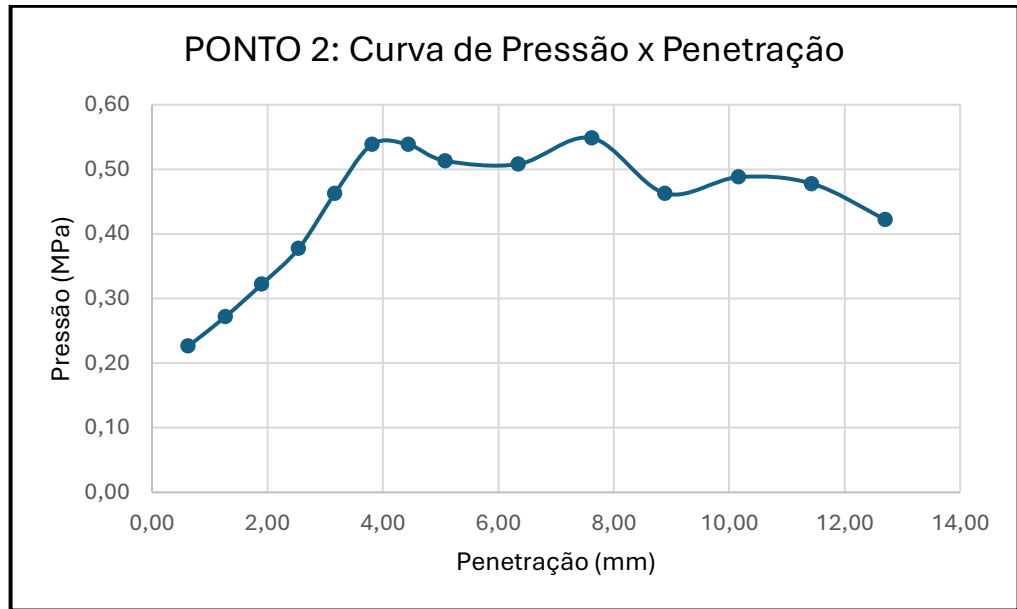
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO													
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Massa do solo úmido (g):	Massa do solo seco (g):	Massa da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):	Massa do cilindro + solo (g):	Massa do solo compactado (g):	Massa específica do solo úmido $\rightarrow V_u$ (g/cm³)	Massa específica do solo seco $\rightarrow V_s$ (g/cm³)
1	19	9,66	25,07	23,16	15,41	13,50	1,91	14,15	16,58	8460,00	3552,00	1,71	1,46
	51	11,35	22,77	21,07	11,42	9,72	1,70	17,49					
	64	9,28	22,20	20,22	12,92	10,94	1,98	18,10					
2	6	13,06	26,06	23,91	13,00	10,85	2,15	19,82	20,34	8645,00	3737,00	1,80	1,49
	17	8,28	20,17	18,16	11,89	9,88	2,01	20,34					
	44	10,40	21,75	19,79	11,35	9,39	1,96	20,87					
3	23	8,71	22,01	19,85	13,30	11,14	2,16	19,38	22,03	8650,00	3942,00	1,89	1,55
	35	8,25	21,87	19,33	13,62	11,08	2,54	22,92					
	50	8,82	19,70	17,61	10,88	8,79	2,09	23,78					
4	8	9,18	21,53	19,06	12,35	9,88	2,47	25,00	24,26	8815,00	3807,00	1,88	1,51
	40	12,41	26,23	23,49	13,82	11,08	2,74	24,73					
	65	9,23	22,42	19,95	13,19	10,72	2,47	23,04					
5	5	8,62	19,38	17,02	10,76	8,40	2,36	28,10	25,28	8620,00	3712,00	1,78	1,42
	28	11,04	24,92	22,75	13,88	11,71	2,17	18,53					
	52	11,62	26,22	22,92	14,60	11,30	3,30	29,20					
6					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
7					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
8					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!		-4908,00	-2,36	#DIV/0!
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					
					0,00	0,00	0,00	#DIV/0!					



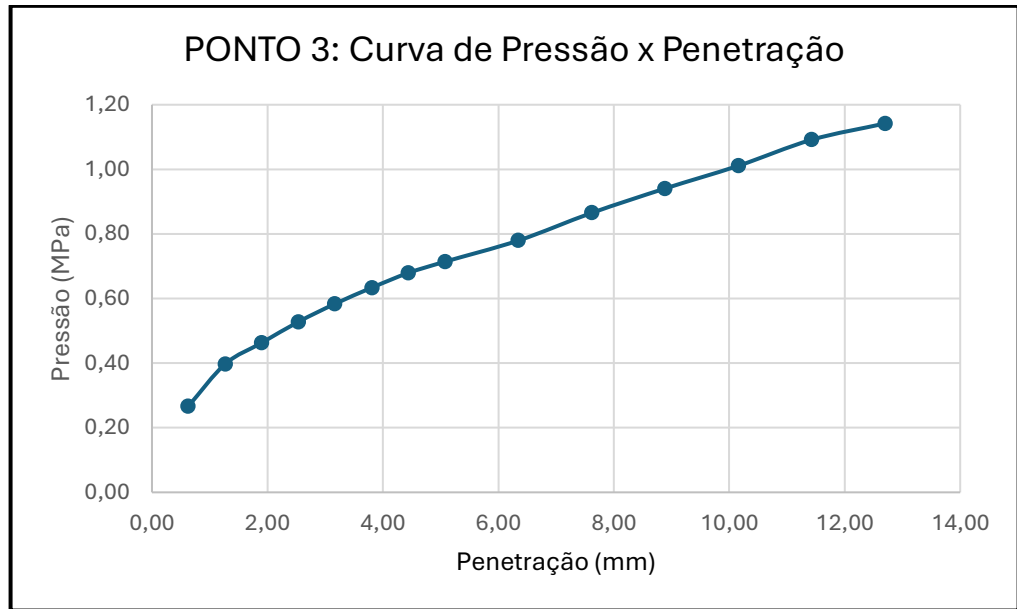
		ENSAIO DE CBR																													
		ABNT NBR 9895:2016 - Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio																													
		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI																													
		Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Morais Rocha																													
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Coordenadas UTM</td> <td style="text-align: center;">Zona:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">22J</td> </tr> <tr> <td colspan="6" rowspan="2" style="text-align: center;">Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS</td> <td style="text-align: center;">X:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">477034</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Y:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">6768391</td> </tr> </table>										AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:						Coordenadas UTM	Zona:	22J		Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS						X:	477034		Y:	6768391	
AMOSTRA / OBRA / ENDEREÇO:						Coordenadas UTM	Zona:	22J																							
Estrada Municipal Ângelo Ruffato, Desvio Rizzo, Caxias do Sul, RS							X:	477034																							
							Y:	6768391																							
Data do ensaio:		30/06/2025		Temperatura (°C):		13,9		Umidade (%):		63																					
UMIDADE HIGROSCÓPICA																															
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):																						
1	101	10,46	34,27	23,81	33,56	23,10	0,71	3,07	2,87																						
2	104	11,36	35,02	23,66	34,37	23,01	0,65	2,82																							
3	107	10,14	35,80	25,66	35,12	24,98	0,68	2,72																							
ADIÇÃO DE ÁGUA																															
Ponto:		1	2	3	4	5																									
Massa de solo (g):		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00																									
Umidade desejada (%):		14	16	18	20	22																									
g:		700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00																									
ml:		700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00																									
DADOS GERAIS DO ENSAIO																															
h _{DE} (mm):		63,58		-- Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):				PONTO 1																							
h ₁ (mm):		177,82		Ø ₁ (mm):		152,53						Número do cilindro:		PROC10																	
h ₂ (mm):		177,49		Ø ₂ (mm):		152,50						Massa do cilindro (g):		4826,00																	
h ₃ (mm):		177,53		Ø ₃ (mm):		152,60						Volume do cilindro (mm³):		2084050,15																	
h (mm):		114,03		Ø (mm):		152,54						Volume do cilindro (cm³):		2084,05																	
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16		γ _d (g/cm³)						1,553		Número de golpes:																	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO																															
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W_{med} (%):																						
1	110	9,84	26,97	17,13	24,33	14,49	2,64	18,22	18,99																						
2	111	8,50	26,30	17,80	23,32	14,82	2,98	20,11																							
3	127	9,27	30,26	20,99	26,96	17,69	3,30	18,65																							
EXPANSÃO																															
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)																						
						0,63	47,00	460,91	0,24																						
0h	30/06/2025	13h30	0,060	0,000	0,53	1,27	66,00	647,24	0,33																						
24h	01/07/2025	13h30	0,600	0,540		1,90	82,00	804,15	0,41																						
48h	02/07/2025	13h30	0,630	0,030		2,54	93,00	912,02	0,47																						
72h	03/07/2027	13h30	0,650	0,020		3,17	102,00	1000,28	0,51																						
96h	04/07/2025	09h45	0,660	0,010		3,81	106,00	1039,50	0,53																						
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8460,00		4,44	110,00	1078,73	0,55																						
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3634,00		5,08	115,00	1127,76	0,58																						
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	126,00	1235,64	0,63																						
CÁLCULO DO ISC						7,62	135,00	1323,90	0,68																						
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	145,00	1421,96	0,73																						
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	153,00	1500,42	0,77																						
2,54	0,47	0,47	6,9	6,78		11,43	162,00	1588,68	0,81																						
5,08	0,58	0,58	10,35	5,59		12,70	171,00	1676,94	0,86																						
RESULTADOS PARCIAIS:																															
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,465		EXPANSÃO (%):		0,53	ISC (%):		6																				



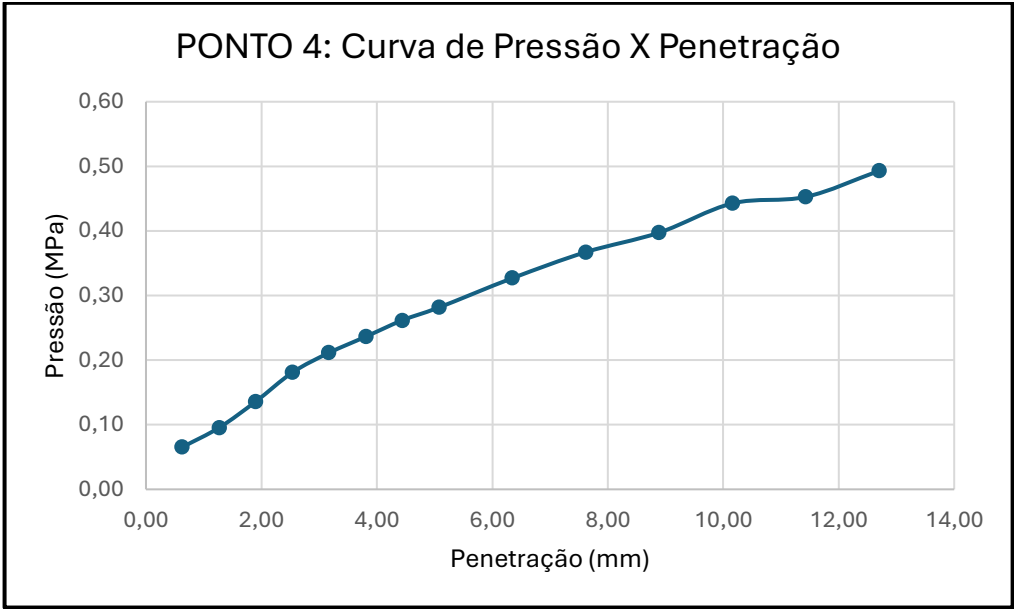
DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 2			
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,68	Ø ₁ (mm):	152,33	Número do cilindro:	PROC11				
h ₂ (mm):	177,60	Ø ₂ (mm):	152,38	Massa do cilindro (g):	4818,00				
h ₃ (mm):	177,82	Ø ₃ (mm):	152,35	Volume do cilindro (mm³):	2080441,77	Umidade do ponto (%):	16		
h (mm):	114,12	Ø (mm):	152,35	Volume do cilindro (cm³):	2080,44	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,553	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	120	10,32	30,28	19,96	27,03	16,71	3,25	19,45	20,77
2	125	9,68	28,86	19,18	25,53	15,85	3,33	21,01	
3	126	9,07	27,80	18,73	24,44	15,37	3,36	21,86	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	45,00	441,30	0,23
0h	30/06/2025	13h30	0,040	0,000	0,42	1,27	54,00	529,56	0,27
24h	01/07/2025	13h30	0,460	0,420		1,90	64,00	627,63	0,32
48h	02/07/2025	13h30	0,500	0,040		2,54	75,00	735,50	0,38
72h	03/07/2027	13h30	0,510	0,010		3,17	92,00	902,21	0,46
96h	04/07/2025	09h45	0,520	0,010		3,81	107,00	1049,31	0,54
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8645,00		4,44	107,00	1049,31	0,54
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3827,00		5,08	102,00	1000,28	0,51
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	101,00	990,47	0,51
CÁLCULO DO ISC						7,62	109,00	1068,92	0,55
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	92,00	902,21	0,46
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	97,00	951,25	0,49
2,54	0,38	0,38	6,9	5,47		11,43	95,00	931,63	0,48
5,08	0,51	0,51	10,35	4,96		12,70	84,00	823,76	0,42
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,523	EXPANSÃO (%):		0,42	ISC (%):	5



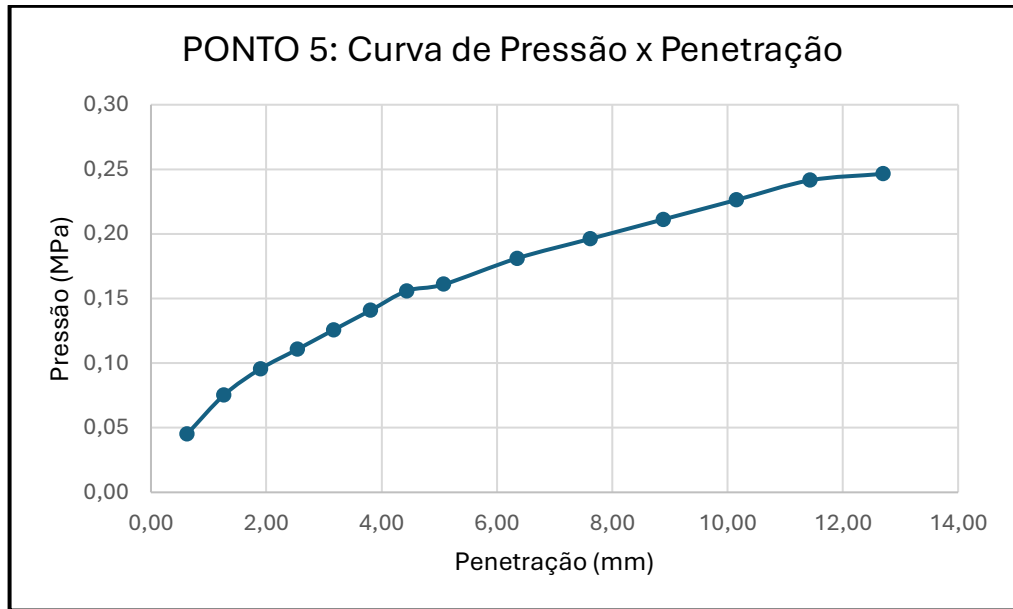
DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 3			
h _{DE} (mm):	63,58	-- Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	178,99	Ø ₁ (mm):	152,13	Número do cilindro:	PROC13				
h ₂ (mm):	178,88	Ø ₂ (mm):	152,34	Massa do cilindro (g):	4900,00		Umidade do ponto (%):	18	
h ₃ (mm):	178,96	Ø ₃ (mm):	152,33	Volume do cilindro (mm³):	2100716,07		Energia do ensaio (N / l / M):	N	
h (mm):	115,36	Ø (mm):	152,27	Volume do cilindro (cm³):	2100,72		Número de camadas:	5	
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,553	Número de golpes:		12
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	106	9,24	28,73	19,49	25,05	15,81	3,68	23,28	23,12
2	121	9,47	28,84	19,37	25,04	15,57	3,80	24,41	
3	123	11,78	32,20	20,42	28,56	16,78	3,64	21,69	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
					0,35	0,63	53,00	519,75	0,27
0h	30/06/2025	13h30	0,010	0,000		1,27	79,00	774,73	0,40
24h	01/07/2025	13h30	0,370	0,360		1,90	92,00	902,21	0,46
48h	02/07/2025	13h30	0,405	0,035		2,54	105,00	1029,70	0,53
72h	03/07/2027	13h30	0,405	0,000		3,17	116,00	1137,57	0,58
96h	04/07/2025	09h45	0,410	0,005		3,81	126,00	1235,64	0,63
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8850,00		4,44	135,00	1323,90	0,68
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3950,00		5,08	142,00	1392,54	0,71
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	155,00	1520,03	0,78
CÁLCULO DO ISC						7,62	172,00	1686,74	0,87
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	187,00	1833,84	0,94
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	201,00	1971,14	1,01
2,54	0,53	0,53	6,9	7,66		11,43	217,00	2128,04	1,09
5,08	0,71	0,71	10,35	6,90		12,70	227,00	2226,11	1,14
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,527	EXPANSÃO (%):		0,35	ISC (%):	7



DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 4			
h _{DE} (mm):	63,58	-- Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,41	Ø ₁ (mm):	152,30	Número do cilindro:	PROC8				
h ₂ (mm):	177,46	Ø ₂ (mm):	152,31	Massa do cilindro (g):	4832,00				
h ₃ (mm):	177,72	Ø ₃ (mm):	152,29	Volume do cilindro (mm³):	2075888,47	Umidade do ponto (%):	20		
h (mm):	113,95	Ø (mm):	152,30	Volume do cilindro (cm³):	2075,89	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,553	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	102	8,74	23,64	14,90	20,78	12,04	2,86	23,75	24,23
2	103	13,15	30,73	17,58	27,13	13,98	3,60	25,75	
3	114	8,17	24,90	16,73	21,75	13,58	3,15	23,20	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	13,00	127,49	0,07
0h	30/06/2025	13h30	0,006	0,000	0,29	1,27	19,00	186,33	0,10
24h	01/07/2025	13h30	0,303	0,297		1,90	27,00	264,78	0,14
48h	02/07/2025	13h30	0,343	0,040		2,54	36,00	353,04	0,18
72h	03/07/2027	13h30	0,326	-0,017		3,17	42,00	411,88	0,21
96h	04/07/2025	09h45	0,333	0,007		3,81	47,00	460,91	0,24
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8805,00		4,44	52,00	509,95	0,26
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3973,00		5,08	56,00	549,17	0,28
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	65,00	637,43	0,33
CÁLCULO DO ISC						7,62	73,00	715,89	0,37
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	79,00	774,73	0,40
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	88,00	862,99	0,44
2,54	0,18	0,18	6,9	2,62		11,43	90,00	882,60	0,45
5,08	0,28	0,28	10,35	2,72		12,70	98,00	961,05	0,49
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,541	EXPANSÃO (%):		0,29	ISC (%):	2



DADOS GERAIS DO ENSAIO						PONTO 5			
h _{DE} (mm):	63,58	← Descontar a altura do disco espaçador das alturas medidas do cilindro (h ₁ , h ₂ e h ₃):							
h ₁ (mm):	177,79	Ø ₁ (mm):	152,47	Número do cilindro:	PROC9				
h ₂ (mm):	177,96	Ø ₂ (mm):	152,47	Massa do cilindro (g):	4810,00				
h ₃ (mm):	177,77	Ø ₃ (mm):	152,47	Volume do cilindro (mm³):	2086185,40	Umidade do ponto (%):	22		
h (mm):	114,26	Ø (mm):	152,47	Volume do cilindro (cm³):	2086,19	Energia do ensaio (N / l / M):	N		
COMPACTAÇÃO:		Umidade ótima (%):		16	γ _d (g/cm³)	1,553	Número de camadas:	5	
							Número de golpes:	12	
UMIDADE DO SOLO ENSAIADO									
Ponto:	Nº da cápsula:	Tara da cápsula (g):	Cápsula + solo úmido (g):	Peso do solo úmido (g):	Cápsula + solo seco (g):	Peso do solo seco (g):	Peso da água (g):	Umidade W (%):	Umidade média W _{med} (%):
1	105	8,51	26,74	18,23	22,79	14,28	3,95	27,66	26,69
2	115	11,06	29,55	18,49	25,80	14,74	3,75	25,44	
3	116	9,44	23,05	13,61	20,16	10,72	2,89	26,96	
EXPANSÃO						PENETRAÇÃO			
Tempo	Data	Hora	Leitura no deflectômetro (mm)	Diferença de leitura no deflectômetro (mm)	Expansão (mm)	Penetração (mm)	Carga (kg)	Carga (N)	Pressão (MPa)
						0,63	9,00	88,26	0,05
0h	30/06/2025	13h30	0,000	0,000	0,32	1,27	15,00	147,10	0,08
24h	01/07/2025	13h30	0,290	0,290		1,90	19,00	186,33	0,10
48h	02/07/2025	13h30	0,356	0,066		2,54	22,00	215,75	0,11
72h	03/07/2027	13h30	0,340	-0,016		3,17	25,00	245,17	0,13
96h	04/07/2025	09h45	0,364	0,024		3,81	28,00	274,59	0,14
Massa do cilindro + solo úmido compactado (g):				8715,00		4,44	31,00	304,01	0,16
Massa do solo úmido compactado M _w (g):				3905,00		5,08	32,00	313,81	0,16
Área do pistão de penetração (mm²):				1949,38		6,35	36,00	353,04	0,18
CÁLCULO DO ISC						7,62	39,00	382,46	0,20
Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)	Fator de correção "C"	8,89	42,00	411,88	0,21
	Calculada	Corrigida	Padrão			10,16	45,00	441,30	0,23
2,54	0,11	0,11	6,9	1,603972573	0,000000000	11,43	48,00	470,72	0,24
5,08	0,16	0,16	10,35	1,555367344		12,70	49,00	480,53	0,25
RESULTADOS PARCIAIS:									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA p _d (g/cm³):				1,478	EXPANSÃO (%):		0,32	ISC (%):	1



	ENSAIO DCP - CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA							
	ABNT NBR 17091:2023 - Solos - Ensaio do Cone de Penetração Dinâmica							
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II - MARCELO PONTICELLI							
	Orientadora: Profª Mª Cinthia Cristina Moraes Rocha							

Obra / Localização: ESTRADA MUNICIPAL ÂNGELO RUFFATO, DESVIO RIZZO, CAXIAS DO SUL, RS				Tipo: ☐ BGS (Brita Graduada Simples) ☒ Solo ☐ Areia			
---	--	--	--	---	--	--	--

ENSAIO I			ENSAIO II			ENSAIO III		
Coord. UTM	X: 477044 Y: 6768382		Coord. UTM	X: 477049 Y: 6768390		Coord. UTM	X: 477050 Y: 6768381	
Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS	Nº de Golpes	Penetração (mm)	OBS
0	45	Penetração Inicial	0	62	Penetração Inicial	0	39	Penetração Inicial
3	118		3	97		3	78	
6	184		6	134		6	102	
9	216		9	171		9	126	
12	253		12	195		12	138	
15	288		15	220		15	147	
18	345		18	264		18	156	
21	416		21	322		21	165	
24	494		24	389		24	179	
27	562		27	467		27	187	
30	631		30	546		30	199	
33	686		33	623		33	210	
36	737		36	699		36	221	
39	785		39	774		39	234	
42	835		42	842		42	248	
45	890		45	897		45	263	
48	941		48	946		48	276	
51			51			51	285	
54			54			54	305	
57			57			57	347	
60			60			60	398	
63			63			63	429	
66			66			66	454	
69			69			69	495	
72			72			72	539	
75			75			75	587	
78			78			78	641	
81			81			81	686	
84			84			84	717	
87			87			87	749	
90			90			90	781	
93			93			93	809	
-----	941	Penetração Final	-----	946	Penetração Final	-----	809	Penetração Final
	48	Nº de Golpes		48	Nº de Golpes		93	Nº de Golpes
BSG	I_{PD} calculado (mm/golpe):	18,67	Solo	I_{PD} calculado (mm/golpe):	18,42	Areia	I_{PD} calculado (mm/golpe):	8,28
	ISC (%)	11,01		ISC (%)	11,18		ISC (%)	27,37

VALORES ACEITÁVEIS (mm/golpe): BSG: $I_{PD} \leq 6$ SOLO: $I_{PD} \leq 17$ AREIA: $I_{PD} \leq 22$			
---	--	--	--

Cálculo DCP	$I_{PD} = \frac{(\text{Penetração Final} - \text{Penetração Inicial})}{N^{\circ} \text{ de Golpes}}$		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO ASTM D6951: ISC (ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA)	$ISC = \frac{292}{I_{PD}^{1,12}}$