



**INSTITUTO
FEDERAL**

Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

CAMPUS AVANÇADO PIUMHI

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DANIELY DE FÁTIMA BRITO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO DO IFMG – *CAMPUS AVANÇADO PIUMHI*

PIUMHI

2024

DANIELY DE FÁTIMA BRITO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO DO IFMG – *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil ofertado pelo *Campus* Avançado Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Felipe da Silva Alves.

Coorientador: Professor Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo.

PIUMHI

2024

B862c Brito, Daniely de Fátima.
Caracterização física do solo do IFMG - Campus Avançado
Piumhi [manuscrito] / Daniely de Fátima Brito. – 2024.
96 f. : il. color.

Orientador: Felipe da Silva Alves.
Coorientador: Pedro Luiz Teixeira de Camargo.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto
Federal Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*, 2024.

1. Mecânica do solo. 2. Solos - características físicas. 3.
Ensaio - laboratório. 4. Engenharia geotécnica. 5. Solos -
Classificação. I. Alves, Felipe da Silva. II. Camargo, Pedro Luiz
Teixeira de. III. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus
Avançado Piumhi*. IV. Título.

CDD 631.4

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLOGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus
Avançado
Piumhi Diretoria
de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP
37925-000 - Piumhi - MG (37)3371-3353 -
www.ifmg.edu.br

Daniely de Fátima Brito

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO DO IFMG – CAMPUS AVANÇADO PIUMHI

Trabalho de curso apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 23/04/2024 pela banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Piumhi, 26 de abril de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe da Silva Alves, Professor**, em 26/04/2024, às 23:16, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jeferson Monteiro de Andrade, Professor**, em 27/04/2024, às 11:04, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jéssica Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins, Professor(a) Substituto(a)**, em 27/04/2024, às 13:47, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Luiz Teixeira de Camargo, Professor EBTT**, em 29/04/2024, às 17:42, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1911870** e o código CRC **F6E002B6**.

Dedico este trabalho a Deus acima de tudo, e a todos aqueles que me apoiaram ao longo desta jornada. À minha família, pelo amor e incentivo constante. Aos meus amigos, pela paciência e risadas que tornaram os dias mais leves. Aos meus professores e orientadores, pela orientação e sabedoria valiosas. E a todos que acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Felipe da Silva Alves, pela contribuição na elaboração do presente trabalho, aos demais que realizamos juntos e todas as valiosas lições que trouxe para minha vida. Agradeço também ao meu coorientador, Pedro Luiz Teixeira de Camargo (Peixe), pelo suporte neste e em todos projetos que construímos, além de todas as oportunidades que ele me apresentou ao longo da minha carreira acadêmica.

Agradeço imensamente ao IFMG – *Campus* Avançado Piumhi, que me cedeu o local de estudo para coleta das amostras e realização dos ensaios que pude apresentar com este trabalho de conclusão de curso. Também sou grata ao IFMG – *Campus* Formiga pelo apoio inicial na minha jornada, que me auxiliou nos primeiros passos rumo à escrita acadêmica e possibilitou a entrega deste estudo com excelência.

Aos meus familiares: minha mãe, Elizabeth Cristina da Silva Brito; meu pai, Francisco de Paulo Brito; minha irmã, Ana Claudia de Brito e a meu irmão, Gabriel Alexandre Brito; agradeço imensamente pelo apoio e compreensão na realização deste trabalho.

E por fim, agradeço a todos meus amigos, que tiraram um pouco de seu tempo para me ajudar e fazer com que as noites em laboratório fossem cheias de risadas. E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste TCC, minha eterna gratidão, vocês fizeram parte da realização de um sonho.

“A felicidade não é algo pronto. Ela vem de suas
próprias ações”

Dalai Lama

RESUMO

O solo é o meio de sobrevivência de grande parte dos seres vivos, sendo utilizado como um *habitat* ou fonte de recursos naturais. É composto por um aglomerado de partículas sólidas, líquidas e gasosas. A relação entre essas fases contribui para a determinação do seu comportamento, podendo garantir o sucesso ou fracasso de uma obra de Engenharia. Para entender o solo e como as fases dele se relacionam, foi feita a caracterização física do solo do IFMG – *Campus* Avançado Piumhi, buscando o reconhecimento de suas características para o fornecimento de dados para futuras obras que se pretende executar no terreno estudado. Para essa caracterização, foram realizadas as seguintes atividades: identificação tátil-visual, coleta das amostras e realização de ensaios de laboratório: determinação do peso específico aparente natural, teor de umidade, limite de liquidez e limite de plasticidade. A metodologia utilizada, desde a coleta das amostras até a prática dos ensaios, foi feita conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com complementos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os resultados encontrados confirmam o solo silto-argiloso, já esperado para a região, porém apresentam algumas variações comentadas e avaliadas de acordo com autores renomados da Mecânica dos Solos, como Caputo e Pinto, além de comparados a prospecções geotécnicas preexistentes disponibilizadas pelo *campus*.

Palavras-chave: mecânica do solo; solos - características físicas; ensaios - laboratório; engenharia geotécnica; solos - classificação.

ABSTRACT

Soil is the means of survival for most living beings and is used as a habitat or source of natural resources. It is made up of an agglomeration of solid, liquid and gaseous particles. The relationship between these phases helps to determine its behavior, which can guarantee the success or failure of an engineering project. In order to understand the soil and how its phases relate to each other, a physical characterization of the soil at the IFMG - Campus Avançado Piumhi was carried out, seeking to recognize its characteristics in order to provide data for future works to be carried out on the land studied. For this characterization, the following activities were carried out: tactile-visual identification, sample collection and laboratory tests: determination of the natural apparent specific weight, moisture content, liquidity limit and plasticity limit. The methodology used, from collecting the samples to carrying out the tests, was in accordance with the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as supplemented by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). The results found confirm the silty-clay soil expected for the region, but show some variations that have been commented on and evaluated according to renowned soil mechanics authors such as Caputo and Pinto, as well as compared to pre-existing geotechnical surveys made available by the campus.

Keywords: Soil mechanics; Physical Characteristics; Laboratory tests; Geotechnical engineering; Silty-clay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto aérea do IFMG <i>Campus</i> Avançado Piumhi	16
Figura 2 – Foto aérea com demarcações, em preto o Prédio 1, em azul o Prédio 2, em verde o IFMG Sustentável e em vermelho a Quadra a ser construída no <i>Campus</i> Piumhi.	17
Figura 3 – Composição do solo.....	21
Figura 4 - Aparelho de Casagrande	29
Figura 5 – Cinzel	30
Figura 6 – Exemplo de carta de plasticidade.....	33
Figura 7 – Localização da área de estudo	35
Figura 8 – Locação dos pontos e construções do <i>Campus</i> Avançado Piumhi	37
Figura 9 – Limpeza do local do ensaio.....	38
Figura 10 – Posicionamento e cravação do cilindro por queda livre	38
Figura 11– Almofariz (a) e mão de gral (b)	40
Figura 12 – Conjunto de cravação	41
Figura 13 – Balança de campo.....	41
Figura 14– Balança de precisão.....	42
Figura 15– Régua de aço biselada (a) e espátula com lâmina flexível (b).....	42
Figura 16 – Diâmetro interno do cilindro de cravação	43
Figura 17 – Medição da altura do cilindro de cravação	43
Figura 18 – Massa do cilindro de cravação	44
Figura 19 – Realização do ensaio	45
Figura 20 – Cilindro de cravação escavado	45
Figura 21 – Estufa de secagem com amostras de solo.....	46
Figura 22 – Dessecador com sílica gel	46
Figura 23 – Cápsula metálica com tampa	47
Figura 24 – Pinça metálica	47
Figura 25 – Materiais para o ensaio de limite de liquidez.....	48
Figura 26 – Cinzel, no destaque gabarito de calibração	49
Figura 27 – Materiais para o ensaio de limite de plasticidade	50
Figura 28 – Gráfico do limite de liquidez P-01	56
Figura 29 – Gráfico do limite de liquidez P-02.....	56
Figura 30 – Gráfico do limite de liquidez P-03.....	57

Figura 31 – Gráfico do limite de liquidez P-04.....	57
Figura 32 – Gráfico do limite de liquidez P-05.....	58
Figura 33 – Gráfico do limite de liquidez P-06.....	58
Figura 34 – Gráfico do limite de liquidez P-07.....	59
Figura 35 – Gráfico do limite de liquidez P-08.....	59
Figura 36 – Gráfico do limite de liquidez P-09.....	60
Figura 37 – Carta de plasticidade do ponto P-01	64
Figura 38 – Carta de plasticidade do ponto P-02	64
Figura 39 – Carta de plasticidade do ponto P-03	65
Figura 40 – Carta de plasticidade do ponto P-04	65
Figura 41 – Carta de plasticidade do ponto P-05	66
Figura 42 – Carta de plasticidade do ponto P-06	66
Figura 43 – Carta de plasticidade do ponto P-07	67
Figura 44 – Carta de plasticidade do ponto P-08	67
Figura 45 – Carta de plasticidade do ponto P-09	68
Figura 46 – Locação dos pontos de ensaio da primeira sondagem	70
Figura 47 – Locação dos pontos de ensaio da segunda sondagem	71
Figura 48 – Resultados da sondagem SP 01	73
Figura 49 – Continuação dos resultados da sondagem SP 01.....	74
Figura 50 – Resultados da sondagem SP 02.....	76
Figura 51 – Resultados da sondagem SP 03.....	78
Figura 52 – Continuação dos resultados da sondagem SP 03.....	79
Figura 53 – Resultados da sondagem SPT-01.....	81
Figura 54 – Resultados da sondagem SPT-02.....	83
Figura 55 – Resultados da sondagem SPT-03.....	85
Figura 56 – Resultados da sondagem SPT-04.....	87
Figura 57 – Resultados da sondagem SPT-05.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tamanho das partículas	23
Tabela 2 – Peso específico seco típico de solos	28
Tabela 3 – Valores típicos de limite de liquidez e de índice de plasticidade de solos brasileiros	33
Tabela 4 – Coordenadas dos pontos de coleta em metros	36
Tabela 5 – Valores de peso específico aparente natural	52
Tabela 6 – Valores de teor de umidade	52
Tabela 7 – Valores de peso específico aparente seco	53
Tabela 8 – Valores utilizados para cálculo do limite de liquidez	54
Tabela 9 – Limite de liquidez	60
Tabela 10 – Valores do limite de plasticidade para cada amostra de solo	61
Tabela 11 – Valores de limite de plasticidade	62
Tabela 12 – Valores de índice de plasticidade.....	63
Tabela 13 – Tabela resumo dos resultados	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plasticidade em função do IP	32
Quadro 2 – Resumo das classificações	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 O solo	20
3.2 Índices físicos	24
3.2.1 <i>Determinação do peso específico aparente natural</i>	24
3.2.2 <i>Determinação do teor de umidade</i>	26
3.2.3 <i>Determinação do peso específico aparente seco do solo</i>	27
3.3 Limites de consistência	28
3.3.1 <i>Limite de liquidez</i>	28
3.3.2 <i>Limite de plasticidade</i>	30
3.4 Índice de plasticidade	31
4 METODOLOGIA	34
4.1 Coleta das amostras	35
4.2 Preparação das amostras	39
4.3 Ensaio para determinação do peso específico aparente natural	40
4.4 Ensaio para determinação do teor de umidade	46
4.5 Ensaio para determinação do limite de liquidez	47
4.6 Ensaio para determinação do limite de plasticidade	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 Aspectos gerais	51
5.2 Peso específico aparente natural	51
5.3 Teor de umidade	52
5.4 Peso específico aparente seco	53
5.5 Limite de liquidez	54
5.6 Limite de plasticidade	61
5.7 Índice de plasticidade	62
5.8 Resumo dos ensaios	68
5.9 Análises geotécnicas preexistentes	69
5.9.1 <i>Para a obra do galpão de laboratórios</i>	72
5.9.2 <i>Para a obra da quadra</i>	80

6 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, desde o descobrimento¹, o solo tem sido uma das principais fontes de riqueza, seja pela extração de minérios ou pelo uso na agroindústria. O solo desempenha um papel vital como *habitat* para grande parte dos seres vivos e como fonte de recursos naturais. É um sistema complexo, composto por organismos vivos, minerais, água e ar, com funções essenciais relacionadas à manutenção dos ciclos nutricionais e hidrológicos. Essas funções incluem o armazenamento e a recarga dos lençóis freáticos, bem como o fornecimento de água para os cursos superficiais (SOUZA, 2016).

Na agricultura, o manejo do solo desempenha um papel crucial na determinação de suas características. De acordo com Niero (2010), as mudanças nas condições físicas e químicas estão diretamente ligadas à produtividade, que, por sua vez, está relacionada à disponibilidade de nutrientes, água, crescimento das plantas e rendimento agrícola.

Na construção civil, as características do terreno desempenham um papel fundamental na fase de projeto, influenciando a escolha da fundação e, conseqüentemente, a segurança da estrutura. Questões relacionadas à umidade do solo, como a profundidade do lençol freático, capacidade de drenagem e absorção de água, juntamente com a ausência ou deficiência de compactação, podem causar problemas de fundação e impermeabilização em uma edificação (SANTARÉM; RODRIGUES; FIGUEIREDO, 2021).

As características do solo, incluindo sua consistência, afetam seu comportamento sob tensão e deformação. Isso também influencia o regime de água, com a quantidade de partículas finas afetando diretamente a condutividade hidráulica. Além disso, o estado do substrato (compactação ou consistência) desempenha um papel crucial na sua resistência à penetração e compactação. Portanto, seu entendimento permite sua utilização adequada, prevenindo problemas futuros relacionados à umidade e resistência, e reduzindo a demanda energética por meio de decisões mais eficazes para uso de equipamentos mecanizados (ASSIS *et al.*, 2009).

¹ Vários autores discutem sobre o termo “descobrimento”, pois traz uma visão eurocêntrica de poder que não considera o impacto da presença dos europeus nas Américas, a destruição de costumes dos índios e a dizimação de povos que ali viviam. Por isso tendem a utilizar o termo invasão e conquista, pois foram várias as formas de violência, tanto física, quanto cultural causadas aos povos originários (GOMES; ROCHA, 2016).

Adicionalmente, conforme observado por Pinto (2011), o comportamento do solo é influenciado pela sua fração fina, e as sondagens por si só não são suficientes para compreender toda a sua dinâmica. Isso ocorre porque a relação entre a água e as partículas argilosas pode resultar em características distintas em diferentes tipos de materiais geotécnicos. Portanto, a Engenharia propõe uma abordagem indireta por meio de ensaios de laboratório, que se baseiam no estudo do comportamento do solo quando submetido à adição de água, a fim de descrever sua consistência em relação ao teor de umidade (PINTO, 2011).

A escolha deste tema para o estudo é justificada pelo fato de que as características de um terreno podem dificultar ou facilitar a execução de obras de todos os tamanhos, podendo causar complicações para todos os envolvidos no projeto. A partir desta compreensão, acredita-se que é de extrema importância se conhecer em que tipo de base está sendo erguida essa construção (SANTARÉM, RODRIGUES; FIGUEIREDO, 2021).

Neste estudo, é feita uma análise física do solo do Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG *Campus* Avançado Piumhi, localizado na Rua Severo Veloso, número 1880, bairro Nova Esperança, na cidade de Piumhi, Minas Gerais (MG). A Figura 1 apresenta uma imagem aérea do *campus*.

Figura 1 – Foto aérea do IFMG *Campus* Avançado Piumhi



Atualmente, no *Campus Piumhi*, foi concluída a construção de um galpão destinado a laboratórios, destacado pelo marcador azul na Figura 2. Além disso, foi iniciada a construção de uma quadra esportiva, indicada pelo marcador vermelho na mesma figura. Foram conduzidas, para as duas construções, análises do solo com base em sondagem a percussão, também conhecida como sondagem simples de reconhecimento (SPT). Esse método, cuja execução é preconizada pela ANBT NBR 6484:2020, envolve a perfuração de um furo para coletar amostras de solo, a fim de investigar a estratigrafia do terreno e as resistências das camadas de solo.

Figura 2 – Foto aérea com demarcações, em preto o Prédio 1, em azul o Prédio 2, em verde o IFMG Sustentável e em vermelho a Quadra a ser construída no *Campus Piumhi*.



Fonte: IFMG – *Campus Avançado Piumhi*, 2023.

Dessa forma, tem-se como objetivo utilizar os dados previamente coletados pela empresa prestadora de serviços e confrontá-los com os dados do presente trabalho para verificar a concordância com os resultados dos ensaios. Adicionalmente, em relação à construção da quadra esportiva, esta pesquisa fornece informações

relevantes para a futura construção e caracteriza outros pontos do terreno disponível para possíveis projetos de engenharia a serem desenvolvidos no *campus*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo realizar a caracterização física do solo do IFMG – *Campus* Avançado Piumhi.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar amostras de solo na região do *campus*;
- Realizar os seguintes ensaios de caracterização física: peso específico aparente natural, teor de umidade, limite de liquidez e limite de plasticidade;
- Confrontar os resultados dos ensaios supracitados com as informações das prospecções geotécnicas preexistentes;
- Associar teoria à prática.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração deste estudo, inicialmente conduziu-se uma pesquisa bibliográfica, com o objetivo de compreender a estrutura do solo, suas propriedades e o significado de cada uma delas na classificação do solo. Além disso, por meio de revisão da literatura e consulta às normas, foram identificados os procedimentos necessários para realizar os ensaios geotécnicos relevantes na análise.

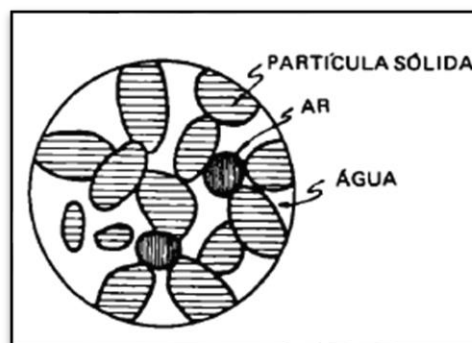
3.1 O solo

Para a realização de uma caracterização de solo, é necessário entender primeiro o que ele é e como é formado. Para Caputo (1988), ele é o resultado de um processo de intemperismo do maciço rochoso, que acontece devido à desintegração mecânica, realizada por agentes físicos, ou pela decomposição química, em que é modificada a composição química e mineralógica da rocha de origem, também conhecida como rocha matriz.

No contexto da Engenharia, o solo pode ser descrito como um conjunto não coeso de grãos minerais e/ou matéria orgânica decomposta, representando a fase sólida, com líquido e gás preenchendo os espaços vazios entre essas partículas sólidas (ALMEIDA, 2005). Ele é amplamente empregado como material de construção em diversos projetos de Engenharia Civil e desempenha um papel crucial no suporte de fundações estruturais (DAS; SOBHAN, 2014).

AABNT NBR 6502:2022, por sua vez, define solo como "Material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica". Em resumo, é o produto da decomposição e desintegração das rochas pela influência de intempéries.

Compreende-se, então, como sendo composto por uma mistura de partículas sólidas, líquidas e gasosas, com proporções variáveis em diferentes tipos de solos. A quantidade de cada fase presente influencia diretamente as características e o comportamento de cada tipo. (CAPUTO, 1988). A Figura 3 ilustra essa composição de partículas no solo.

Figura 3 – Composição do solo

Fonte: CAPUTO, 1988. Pág. 37.

Os vazios do solo podem estar parcialmente ou totalmente preenchidos por água. Esse meio poroso é fundamental para compreender o papel do substrato no armazenamento de água e nutrientes, além da condução hidráulica aos aquíferos e canais fluviais (AMARAL, 2018).

Em uma abordagem mais geológica do solo, de acordo com o Manual de Levantamento de Solos (Soil Survey Manual) de 2017, sua definição moderna descreve-o como um corpo natural composto por uma mistura de sólidos, líquidos e gases, que ocupa um espaço específico na superfície da Terra. Além disso, ele apresenta horizontes ou camadas que são modificados quando comparados ao material de origem e é capaz de sustentar o crescimento de plantas enraizadas em seu ambiente natural (ALMEIDA, 2005).

A Geologia, uma área de ciência que estuda os processos que ocorrem no interior e na superfície terrestre, aborda a Terra como um sistema completo. Ela investiga a origem, composição, estrutura e história da Terra, bem como os processos que contribuíram para seu estado atual e aqueles que continuam a moldar o planeta (BRANCO a, 2014).

O que conhecemos hoje como a superfície terrestre é o resultado de vários processos erosivos que ocorreram ao longo do tempo. No que diz respeito ao tempo geológico do solo, estudos indicam que o relevo no Brasil sofreu poucas alterações após o período Cretáceo, o último período da Era Mesozoica, que ocorreu entre 145 milhões e 65 milhões de anos atrás (BRANCO b, 2014). Isso significa que o solo que encontramos hoje começou a se formar em períodos anteriores ao que conhecemos hoje, mas continua a passar por modificações (BRANCO b, 2014).

Esse processo contínuo de mudança, como mencionado por Branco (b 2014), resultou na formação de camadas conhecidas como horizontes, que podem ser classificadas da seguinte forma:

- **Horizonte O:** este horizonte é formado por matéria orgânica em decomposição, resultando em uma coloração mais escura.
- **Horizonte A:** nesta camada, ocorre a mistura de matéria orgânica com substâncias minerais. É altamente influenciada pelo clima e pela atividade biológica, tornando-se um ambiente dinâmico.
- **Horizonte B:** caracterizado por sua coloração mais intensa, o Horizonte B acumula argilas das camadas superiores e pode também conter óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.
- **Horizonte C:** esta camada é caracterizada pela baixa densidade e pela mistura com a rocha-matriz, que permanece relativamente pouco alterada.
- **Horizonte D:** representa a rocha-matriz sem modificações significativas.

Complementarmente, conforme Das e Sobhan (2014), as dimensões dos grãos do solo variam significativamente, e isso exerce uma influência substancial nas suas características físico-hídricas e químicas. Esta variação é de extrema importância, tanto na agricultura, para o cultivo e manejo, quanto na Engenharia, pois está relacionada com o comportamento do solo sob tensões aplicadas.

A classificação do solo de acordo com sua granulometria varia conforme a presença de diferentes tipos de partículas sólidas, sendo denominado como pedregulho, areia, silte ou argila. Para padronizar essa descrição de acordo com as dimensões das partículas, várias instituições desenvolveram suas próprias escalas, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT – na sigla em inglês). No entanto, a mais amplamente utilizada no Brasil é a da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que segue a ABNT NBR 6502:2022, permitindo a classificação de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Tamanho das partículas

Descrição	Tamanho das partículas
Argila	< 2 μm
Silte	2 a 60 μm
Areia fina	60 a 200 μm
Areia média	200 a 600 μm
Areia grossa	600 μm a 2 mm
Pedregulhos	2 a 60 mm

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 6502:2022.

A ABNT NBR 6484:2020 fornece diretrizes frequentemente utilizadas para a classificação tátil-visual de solos. Isso inclui a avaliação por meio da granulometria, da plasticidade, da cor e da origem, que pode ser de residual, transportado e de aterro.

Para a avaliação da granulometria, a ABNT NBR 6484:2020, inicia com a divisão do em solos grossos, compostos por areia e pedregulhos, e os finos que são as argilas e siltes.

Para o ensaio do tato, deve-se tomar uma porção de solo e friccionar a amostra com os dedos permitindo sentir sua aspereza. Como exemplo, as areias tendem a ser bastante ásperas (ABNT NBR 6484:2020). Para detectar grãos de areia com maior precisão, Pinto (2011) sugere que o solo seja umedecido, permitindo a separação dos torrões de argila presentes na amostra. Mesmo a areia fina pode ser percebida ao toque, uma vez que os grãos de argila e silte se tornam escorregadios como sabão quando molhados.

Adicionalmente, a ABNT NBR 6484:2020 define uma paleta de cores que podem ser encontradas no solo, atribuindo nomes como branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, roxo, azul e verde. A nomenclatura deve ser feita com base em duas cores, porém quando as amostras apresentarem mais colorações, deve-se utilizar o termo variegado.

Essas cores podem ser acompanhadas por qualificadores como claro e escuro. No entanto, a interpretação das cores é subjetiva, uma vez que está relacionada à composição mineralógica do solo.

3.2 Índices físicos

3.2.1 Determinação do peso específico aparente natural

O peso específico aparente natural é a relação entre a massa e o volume de uma amostra de solo coletada no campo. Ele está diretamente relacionado à porosidade e à composição orgânica e mineralógica do terreno (EMBRAPA, 2017).

Para começar, é importante destacar a diferença entre massa, que representa a quantidade de matéria em um objeto, e peso, que está relacionado à força da gravidade. De acordo com as normas brasileiras, os primeiros valores são expressos em termos de massa.

A determinação da massa específica aparente natural segue a ABNT NBR 9813:2016, que prescreve o uso do cilindro de cravação no ensaio. Inicialmente, é necessário medir a massa, altura e diâmetro do cilindro e registrá-los como M_c e V_c , respectivamente.

Para realizar o referido ensaio, deve-se posicionar o cilindro com sua parte inferior devidamente lubrificada com óleo em uma superfície plana e livre de partículas soltas. Completa-se a montagem do equipamento e inicia-se a cravação do cilindro por queda livre. A cravação deve ser contínua até que a borda superior do cilindro esteja 1,0 cm abaixo da superfície do solo.

O passo seguinte é desmontar o conjunto de cravação e, usando uma pá e uma picareta, escavar o solo ao redor do cilindro e cortando-o por baixo, a uma profundidade de 5,0 cm abaixo da borda inferior do cilindro. É necessário o uso de uma régua biselada para nivelar as superfícies do corpo do cilindro e remover o excesso.

Se a amostra dentro do cilindro estiver fissurada, amassada, não for representativa do solo, conter pedregulhos, raízes ou outros materiais estranhos, ou se o cilindro não estiver totalmente preenchido ou estiver danificado durante a cravação, a operação deve ser repetida, segundo as referidas Normas.

A massa do cilindro com o material (M_T) deve ser determinada imediatamente, com uma resolução de 1,0 g, para evitar a perda de umidade. Em seguida, remove-se o corpo de prova do cilindro e coleta-se uma amostra do centro para determinar o teor de umidade (w) de acordo com a ABNT NBR 6457:2024.

Para cálculo da massa específica aparente natural do solo, utilizar a equação:

$$\rho_{nat} = \frac{M_t - M_c}{V_c} \quad (1)$$

onde:

- ρ_{nat} é a massa específica aparente natural do solo (g/cm³);
- M_t é a massa do cilindro com a amostra úmida (g);
- M_c é a massa do cilindro (g);
- V_c é o volume interno do cilindro (cm³).

É importante observar que a norma ABNT NBR 9813:2016 determina o peso específico natural em g/cm³, enquanto muitas referências de valores típicos frequentemente utilizam kN/m³ como unidade de medida. No entanto, essa diferença de unidade não impede a análise comparativa, pois é possível realizar a conversão entre essas unidades de medida utilizando a relação estabelecida:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ ton/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3 \quad (2)$$

Essa relação de conversão é aplicável não apenas ao peso específico natural, mas também ao peso específico seco. Portanto, ao longo deste trabalho, as unidades foram convertidas conforme necessário para garantir consistência nas análises e comparações, possibilitando uma interpretação coerente dos resultados.

Pinto (2011) estabelece valores típicos para o peso específico natural, geralmente variando de 19 a 20 kN/m³. Quando o valor é desconhecido, é frequentemente assumido como 20 kN/m³, com possíveis variações de 17 a 21 kN/m³, especialmente para argilas orgânicas, onde os valores podem ser tão baixos quanto 14 kN/m³. Por outro lado, Ortigão (2007) indica que argilas normalmente possuem valores na faixa de 13 a 17 kN/m³, enquanto areias têm um peso específico natural em torno de 17 a 20 kN/m³.

3.2.2 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade representa a relação entre a massa de água e a massa da parte sólida de uma amostra de solo, expresso em percentagem. É um índice fundamental para calcular outros parâmetros físicos (PINTO, 2011).

Para realizar o ensaio de determinação do teor de umidade, a ABNT NBR 6457:2024 determina a quantidade de solo a ser coletada com base no tamanho dos grãos:

- Para grãos menores que 2 mm, use 30 g de massa seca;
- Para grãos de 2 a 20 mm, a faixa é de 30 a 300 g;
- Para grãos visivelmente maiores, de 20 a 76 mm, são necessários de 300 g a 3000 g.

Antes da realização do referido ensaio, deve-se pesar uma cápsula com tampa. A massa correspondente é anotada como M_3 . A porção de solo deve ser colocada nos recipientes com tampa e pesada. A massa encontrada deve ser anotada como M_1 . A cápsula deve então ser aberta para que possa ir à estufa.

Quanto às temperaturas de secagem, a norma estabelece que a faixa ideal é de 105 °C a 110 °C. No entanto, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio da norma DNER-ME 213/94, define uma faixa de 110 °C com uma variação de ± 5 °C. Ambas as normas concordam que a amostra deve permanecer na estufa até que seu peso se torne constante. No entanto, a ABNT recomenda um tempo de secagem que pode variar de 16 a 24 horas, enquanto o DNIT sugere de 15 a 16 horas. É importante ressaltar que esse tempo pode ser influenciado por fatores como a quantidade de solo, o teor de umidade e o tamanho das partículas.

No processo de ensaio, a ABNT NBR 6457:2024 recomenda que a cápsula seja retirada da estufa com o auxílio de uma pinça e transferida para um dessecador até atingir a temperatura ambiente. Isso é feito para evitar variações no peso devido ao fenômeno da flutuação dinâmica.

Após o resfriamento da cápsula com a porção de solo, ela deve ser pesada novamente e registrada como M_2 . Para a determinação do teor de umidade, é necessário realizar pelo menos três ensaios e aplicar a seguinte equação:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (3)$$

onde:

- w é o teor de umidade em porcentagem;
- M_1 é a massa do solo úmido mais o recipiente (g);
- M_2 é a massa de solo seco mais a massa do recipiente (g);
- M_3 é a massa do recipiente (g).

3.2.3 Determinação do peso específico aparente seco do solo

O peso específico aparente seco do solo não pode ser determinado diretamente com ensaios de laboratório, mas segundo a ABNT NBR 9813:2016, é possível determinar a massa específica aparente seca de um solo (ρ_d) com os valores do teor de umidade e da massa específica aparente natural, sendo que a razão entre a massa dos sólidos secos e o volume total corresponde à massa que o solo teria se estivesse seca sem variar o volume, conforme expressa a Equação 4.

$$\rho_d = \rho_{nat} \frac{100}{100+w} \quad (4)$$

onde:

- ρ_d é a massa específica aparente seca do solo (g/cm^3);
- ρ_{nat} é a massa específica aparente natural do solo (g/cm^3);
- w é o teor de umidade em porcentagem.

Como foi mencionado anteriormente, foi utilizada a conversão expressa na equação 2 para avaliar de forma mais assertiva os dados coletados.

O peso específico aparente seco varia geralmente entre 13 e 18 kN/m^3 , e de 5 a 7 kN/m^3 em argilas orgânicas moles (PINTO, 2011). Por outro lado, Das e Sobhan (2014) compilaram valores típicos de peso específico seco para diferentes tipos de solo, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Peso específico seco típico de solos

Tipo de solo	Peso específico seco γ_d (kN/m³)
Areia uniforme fofa	14,5
Areia uniforme compacta	18
Areia siltosa com granulação angular fofa	16
Areia siltosa com granulação compacta	19
Argila rija	17
Argila mole	11,5-14,5
Loess	13,5
Argila orgânica mole	6-8
Till glacial	21

Fonte: Adaptado de DAS, B. M. SOBHAN, K. 2014, tabela 3.2. pág. 56.

3.3 Limites de consistência

Os limites de consistência permitem determinar a transição dos estados do solo. Quando usados em porções finas, eles apresentam uma relação direta com o teor de umidade, constituindo parâmetros importantes sobre a caracterização de um material com comportamento argiloso (SOUZA; RAFULL; VIEIRA, 2000).

O termo “consistência” refere-se ao grau de resistência e plasticidade do solo. Esta característica depende da força das ligações entre as partículas sólidas, quando coesivos possuem uma consistência plástica entre certos teores limites de umidade. Entre os limites de sólido e semissólido, há um teor de umidade que se denomina limite de contração. Entre os estados semissólido e plástico, há o limite de plasticidade. Entre os estados plástico e líquido, há o limite de liquidez (ALMEIDA, 2005).

3.3.1 Limite de liquidez

A norma DNER-ME 122/94 do DNIT descreve o limite de liquidez como sendo:

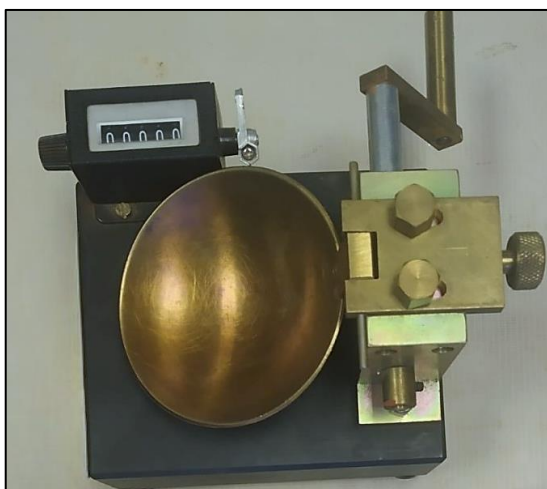
Teor de umidade do solo com o qual se unem, em um centímetro de comprimento, as boas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normalizado (Casagrande), sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base desse aparelho. O limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido (DNIT, 1994, p. 2).

Para a determinação do limite de liquidez, há a ABNT NBR 6459:2017. As referências para o seguinte texto utilizam a referida norma, exceto quando indicado.

Para o ensaio em questão, deve-se tomar uma amostra de cerca de 200 g, preparada com secagem ao ar e passada na peneira de abertura 0,42 mm. Após peneirada, deve-se, com auxílio de uma espátula, revolver continuamente a amostra, adicionando-se água destilada, de acordo com a ABNT NBR 6459:2017. Já a norma do DNIT DNR-ME 122/94, para determinação do limite de liquidez, sugere que sejam adicionados cerca de 15 a 20 cm³ de água destilada para a homogeneização e preparação da pasta para o ensaio.

O tempo gasto na homogeneização deve estar entre 15 e 30 min, sendo que o maior tempo é utilizado para preparação de solos mais argilosos. Ao final, deve-se obter uma pasta com consistência na qual sejam necessários no máximo 35 golpes para fechar a ranhura feita no aparelho Casagrande (Figura 4).

Figura 4 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

A mistura não deve ser feita na concha do aparelho e, após a homogeneização da mistura, deve-se transferi-la para a concha não permitindo que ocorram bolhas de ar. A parte central da mistura, depois de moldada, não deve ultrapassar 10 mm de espessura (ABNT NBR 6459:2017).

Com o auxílio do cinzel (Figura 5), dividir a massa em duas partes iguais abrindo uma ranhura. Se houver dificuldade na obtenção desta abertura, deve-se realizar de passagens sucessivas e cuidadosas do cinzel.

Figura 5 – Cinzel

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

A concha deve ser recolocada no aparelho e golpeada contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Após realizado o procedimento, anotar quantos golpes foram necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de aproximadamente 13 mm, transferir imediatamente uma parte do material da borda que se uniram para o recipiente adequado para determinação do teor de umidade.

Para obtenção do segundo ponto de ensaio, repetir os passos descritos para homogeneização da amostra, obtendo ao final mais três pontos de ensaio. Caso não seja possível a obtenção da ranhura ou o seu fechamento com mais de 25 golpes, considerar a amostra como não apresentando limite de liquidez (NL).

Depois de obtidos os resultados, construir um gráfico sendo as ordenadas o número de golpes e as abscissas o teor de umidade, sendo que a reta que mais se enquadra na linha de pontos é a reta média que deve ser considerada para o cálculo do limite de liquidez.

3.3.2 Limite de plasticidade

O limite de plasticidade é o teor de água que distingue o comportamento moldável do friável. No entanto, devido à variação limitada na maioria dos solos finos, esse índice não é tão representativo quanto o limite de liquidez (SILVA, 2013).

Conforme a norma brasileira ABNT NBR 7180:2016, para determinar o limite de plasticidade, uma amostra de solo deve ser preparada adicionando-se água destilada até que uma pasta homogênea seja obtida. A norma do DNIT DNER-ME

082/94 sugere que sejam adicionados continuamente de 1 a 3 cm³ de água até que a consistência adequada para o ensaio seja alcançada.

Em seguida, a amostra estando preparada, pesando cerca de 10 g, deve ser moldada em uma pequena bola, que deve ser rolada sobre uma placa de vidro esmerilhada com uma certa tensão aplicada pela palma da mão, de modo a obter uma forma cilíndrica. Se a amostra se fragmentar antes de atingir 3 mm de diâmetro, deve-se reajustar a umidade adicionando mais água destilada.

Caso a amostra atinja o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, deve-se amassá-la novamente até se obter uma bola e repetir todo o procedimento já descrito. Quando a amostra se fragmentar com diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm, transferi-la imediatamente para um recipiente adequado para determinação de umidade. Repetir novamente as operações descritas até se obter pelo menos três valores de umidade.

Para expressar os resultados do limite de plasticidade, apenas os valores de umidade obtidos a partir de pelo menos três desses valores devem ser considerados satisfatórios, desde que esses três valores não se difiram da respectiva média mais que 5%. O resultado final do limite de plasticidade deve ser expresso em porcentagem. Se não for possível obter um cilindro com 3 mm de diâmetro, a amostra deve ser considerada como não tendo limite de plasticidade (NP).

3.4 Índice de plasticidade

Segundo a ABNT NBR 7180:2016, o índice de plasticidade (IP) pode ser calculado por meio da relação entre os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) por meio da Equação 6.

$$IP = LL - LP \tag{5}$$

onde:

- *IP* é o índice de plasticidade;
- *LL* é o limite de liquidez;
- *LP* é limite de plasticidade.

Essa relação é empregada para determinar a zona em que o solo se apresenta no estado plástico. Solos com comportamento argiloso podem ter IP máximos, enquanto as areias não apresentam limite de plasticidade. Portanto, não é possível calcular o índice de plasticidade para elas (CAPUTO, 1988). Alguns solos contendo matéria orgânica podem apresentar um LP elevado sem alterar seu LL; logo, o IP pode ter o valor reduzido.

De acordo com Caputo (1988), os índices de plasticidade entre 1 a 7 são considerados fracamente plásticos, de 7 a 15 são classificados como medianamente plásticos e acima de 15 são considerados altamente plásticos.

Outros autores, como Das e Sobhan (2014), consideram intervalos de classificação mais graduados, conforme mostrado na Quadro 1.

Quadro 1 – Plasticidade em função do IP

IP	Descrição
0	Não plástico
1–5	Ligeiramente plástico
5–10	Plasticidade baixa
10–20	Plasticidade média
20–40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

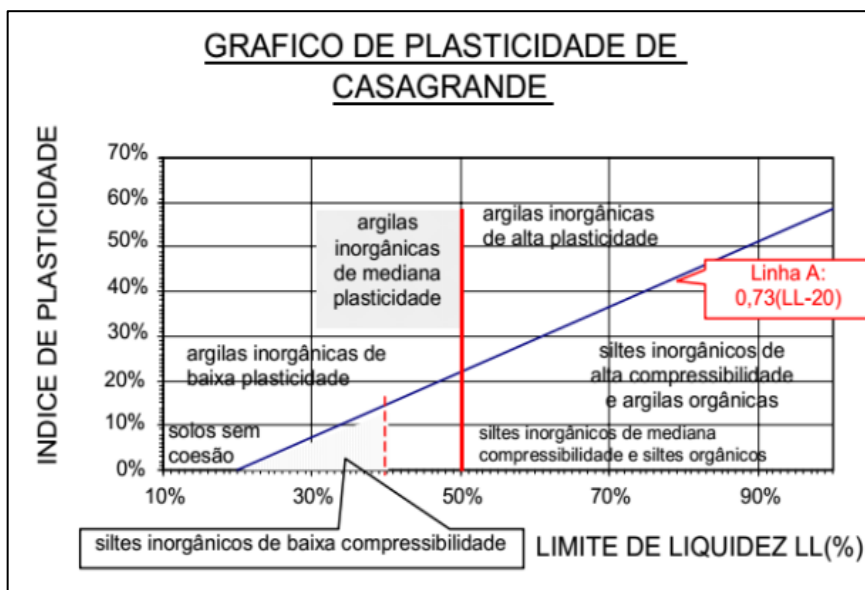
Fonte: Adaptado de DAS, B. M. SOBHAN, K. 2014. pág. 57.

Com base neste índice, pode-se elaborar a carta de plasticidade. Esta é um gráfico que expressa a relação, na maioria das vezes, entre o IP e o LL. Ela abrange os oito principais grupos de solos finos. Esses grupos incluem argilas inorgânicas de alta, média e baixa compressibilidade, siltes inorgânicos de alta, média e baixa compressibilidade, além de argilas e siltes orgânicos (CAPUTO, 1988).

Para determinar a região da carta em que cada solo se encontra, é necessário analisar o LL (no eixo das abscissas) e o IP (no eixo das ordenadas). A carta de plasticidade é de grande importância, pois é usada nos métodos empregados pelo Conselho de Pesquisa de Transporte (TRB), cuja sigla em inglês provém de Transportation Research Board, e pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Essas classificações separam os solos em grupos principais com base nas proporções de suas frações granulométricas: areia, silte e argila, e nos limites de consistência: limite de liquidez e limite de plasticidade (ALMEIDA, 2005).

Conforme ilustrado na Figura 6, as argilas inorgânicas estão acima da linha A, enquanto os siltes inorgânicos estão abaixo, já a linha em vermelho separa os solos de baixa plasticidade de solos com alta plasticidade. Apesar de os solos orgânicos compartilharem a mesma região gráfica com outros, eles são facilmente distinguíveis devido à sua cor e odor característicos (CAPUTO, 1988).

Figura 6 – Exemplo de carta de plasticidade



Fonte: ALMEIDA, 2005. pág. 104.

Além da carta de plasticidade, Pinto (2011), em seu livro Curso Básico de Mecânica dos Solos, apresenta valores que caracterizam alguns solos brasileiros levando em conta o LL e o IP, conforme abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores típicos de limite de liquidez e de índice de plasticidade de solos brasileiros

Solos	LL (%)	IP %
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaiss	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65 a 85	25 a 40
Argila variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Adaptado de Pinto, 2011, pág. 26.

4 METODOLOGIA

O trabalho apresentado corresponde a uma pesquisa aplicada para a obtenção de dados que serão confrontados com prospecções geotécnicas preexistentes e que poderão ser usados para futuras obras do IFMG *Campus* Piumhi.

A coleta e ensaio de amostras de solo neste estudo, são realizados por meio de uma abordagem quali-quantitativa, que combina elementos qualitativos e quantitativos para uma compreensão abrangente das características do solo (MACHADO, 2023). Essa abordagem envolve a coleta de dados qualitativos durante a observação visual e tátil das amostras de solo no campo, permitindo uma avaliação inicial das suas propriedades físicas, como textura, estrutura e umidade.

Posteriormente, as amostras são submetidas a ensaios quantitativos em laboratório, seguindo procedimentos padronizados de acordo com as normas técnicas vigentes. Esses ensaios incluem a determinação de parâmetros físicos, como peso específico aparente, teor de umidade, limite de liquidez e limite de plasticidade, que são medidas quantitativas das propriedades do solo.

Este estudo adota uma abordagem descritiva para investigar as características físicas do solo na região do *campus*. A pesquisa descritiva é utilizada para elencar e analisar as características do solo, tais como textura, umidade, e limites de liquidez e plasticidade, sem buscar estabelecer relações de causa e efeito. Esta abordagem permite uma compreensão detalhada das propriedades do solo, contribuindo para uma análise mais precisa e abrangente dos resultados obtidos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Adicionalmente, este estudo adota uma abordagem metodológica diversificada, que inclui pesquisa documental, experimental e bibliográfica, a fim de alcançar os objetivos propostos. A pesquisa documental foi conduzida por meio da análise de documentos técnicos, normas, relatórios anteriores e outros materiais relevantes relacionados às características físicas do solo na região do *campus* (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Ademais, foram realizados experimentos em laboratório para coletar e analisar amostras de solo, utilizando técnicas como identificação tátil-visual, determinação do teor de umidade, limite de liquidez e limite de plasticidade. Esses experimentos foram realizados de acordo com as normas técnicas e procedimentos descritos no referencial teórico, visando obter resultados confiáveis e consistentes.

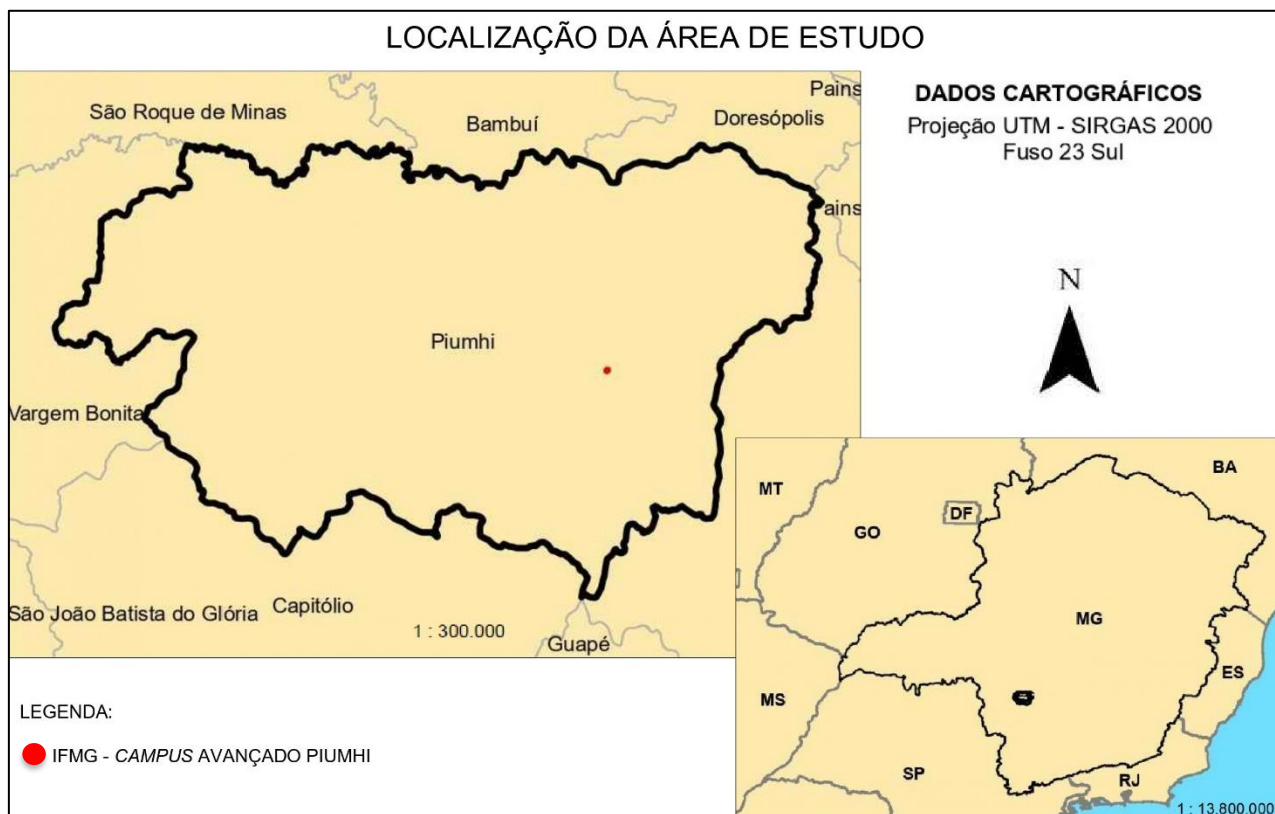
Adicionalmente, é importante ressaltar que este trabalho se baseia em um estudo de caso, concentrando-se na investigação detalhada e contextualizada das características do solo específicas do *Campus* Piumhi.

Por fim, a pesquisa bibliográfica foi realizada para revisão da literatura existente sobre o tema, incluindo estudos anteriores, artigos científicos, livros e outras fontes relevantes. Essa revisão é feita para colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa, com atenção para a seleção e veracidade dos fatos (PRODANOV; FREITAS, 2013). A revisão da literatura ajudou a embasar teoricamente o estudo e a contextualizar os resultados obtidos a partir da pesquisa documental e experimental.

4.1 Coleta das amostras

O local escolhido para a caracterização física do solo foi o IFMG *Campus* Avançado Piumhi, localizado na Rua Severo Veloso, 1880, em Piumhi-MG Figura 7.

Figura 7 – Localização da área de estudo



O levantamento das propriedades do solo decorreu com a análise de resultados dos ensaios de caracterização em campo e laboratório do próprio *Campus Piumhi*, com acompanhamento integral da autora na realização da coleta das amostras e dos ensaios em geral.

Os ensaios de campo e laboratoriais realizados para a determinação dos índices físicos e as demais características do solo foram:

- a) Determinação do peso específico aparente natural;
- b) Determinação do teor de umidade do solo;
- c) Determinação do limite de liquidez;
- d) Determinação do limite de plasticidade.

Para a realização das análises de caracterização, coletaram-se 9 amostras de solo, quantidade suficiente para abranger a área estudada, em três datas: 25 e 27 de fevereiro e 3 de março do ano de 2023. Com a utilização do GPS *Fields Area Measure* foram atribuídos nomes e coordenadas geográficas aos pontos de estudo, registrados no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Este sistema utiliza uma projeção no plano retangular, dividindo o planeta em zonas para simplificar a localização precisa de lugares, Piumhi está localizado na Z 23 S, já as coordenadas Norte – Sul são indicadas pela letra N e na direção Leste – Oeste pela letra E, conforme detalhado na Tabela 4 (CERQUEIRA, 1991).

Tabela 4 – Coordenadas dos pontos de coleta em metros

Ponto	Coordenada E	Coordenada N
P-01	400130.2439	7737470.3749
P-02	400162.3985	7737423.3298
P-03	400219.1058	7737431.4907
P-04	400259.2407	7737391.5608
P-05	400266.1789	7737381.1013
P-06	400280.5686	7737385.2403
P-07	400261.1383	7737419.1933
P-08	400296.005	7737421.2679
P-09	400275.2296	7737459.1437

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Os pontos da Tabela 4 foram locados na imagem de satélite (Figura 8), bem como o galpão de laboratórios (marco azul) e a obra da quadra esportiva (marco verde).

Figura 8 – Locação dos pontos e construções do *Campus Avançado Piumhi*



Fonte: Arquivo próprio feito com Google Earth Pro, 2024.

A obtenção das amostras foi realizada por meio da limpeza da superfície com o auxílio de uma enxada, removendo a cobertura vegetal e evitando a coleta de solo que não fosse representativa, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Limpeza do local do ensaio



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Após a limpeza supracitada, o equipamento para a realização do ensaio de determinação do peso específico aparente natural foi posicionado, conforme descrito na ABNT NBR 6457:2024, sendo feita a cravação, como mostra a Figura 10, a escavação e a retirada do cilindro.

Figura 10 – Posicionamento e cravação do cilindro por queda livre



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Para os demais ensaios, uma porção de solo mais profunda, em torno de 30 cm abaixo da superfície, foi coletada no mesmo local e cuidadosamente acondicionadas e numeradas em sacos *zip locks* para garantir a preservação de suas características originais e manter sua representatividade. Essa prática foi adotada para evitar a contaminação e a perda de umidade das amostras durante o transporte e armazenamento, garantindo a fidelidade dos resultados dos ensaios subsequentes.

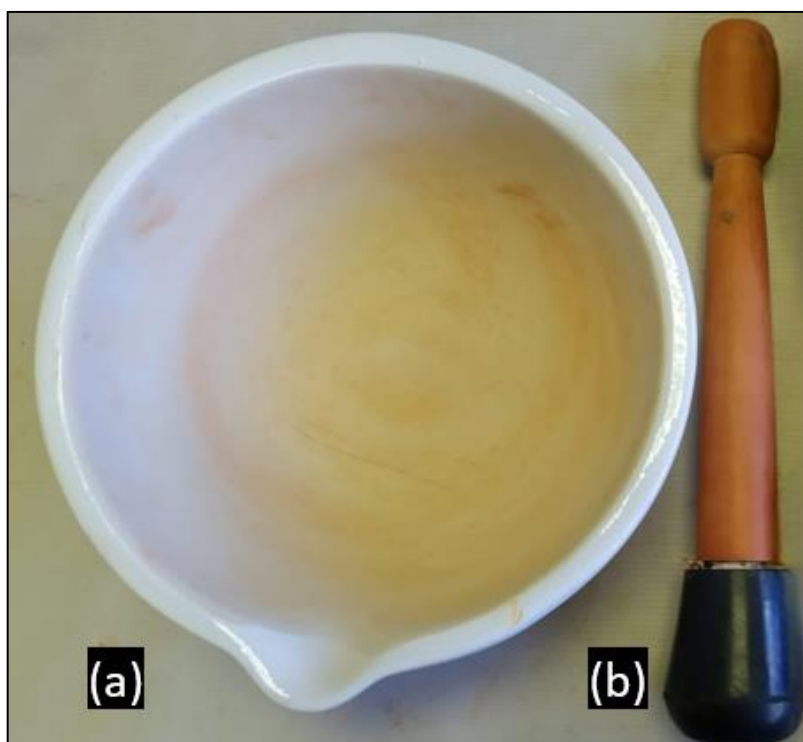
Após a etapa de separação de para os ensaios de laboratório, procedeu-se à identificação tátil-visual. Inicialmente, a cor do solo, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6484:2020, foi observada e avaliada pela pesquisadora. Posteriormente, foram observadas outras características, incluindo o tamanho dos grãos, identificando-se a presença de pedregulhos e grãos maiores visíveis a olho nu. Além disso, o comportamento do solo ao ser friccionado com os dedos foi avaliado para determinar a aspereza e a presença de areia.

4.2 Preparação das amostras

Na realização de ensaios de laboratório, a primeira etapa é a preparação das amostras coletadas em campo. Para isso, baseou-se na ABNT NBR 6457:2024.

Para os ensaios de caracterização, a referida norma determina que uma porção representativa e suficiente de solo deve ser seca ao ar até atingir a umidade higroscópica e os torrões observados devem ser desfeitos utilizando um almofariz e mão de gral, Figura 11 (a) e 11 (b), respectivamente, evitando a quebra dos grãos. Esta preparação é com secagem prévia.

Figura 11– Almofariz (a) e mão de gral (b)



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

O solo a ser ensaiado deve ser limpo, sendo removidos manualmente quaisquer objetos que possam interferir nos resultados, como raízes, conchas, pedregulhos. Em seguida, passa-se o solo em uma peneira com abertura de 4,8 mm, para realização dos primeiros ensaios.

4.3 Ensaio para determinação do peso específico aparente natural

Para a realização do ensaio de determinação da massa específica aparente natural, foi necessária a seguinte aparelhagem, conforme a ABNT 9813:2016:

- a) Equipamento de cravação, incluindo cilindro de cravação (a), colarinho (b), haste guia (c) e soquete de cravação (d) (Figura 12);
- b) Balanças (Figuras 13 e 14);
- c) Pá e picareta;
- d) Régua de aço biselada de 30 cm (Figura 15 a);
- e) Espátulas de lâmina flexível (Figura 15 b).

Figura 12 – Conjunto de cravação



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 13 – Balança de campo



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 14– Balança de precisão

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 15– Régua de aço biselada (a) e espátula com lâmina flexível (b)

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

A realização do ensaio foi feita de acordo com a ABNT NBR 9813:2016, descrita no referencial teórico. Os locais escolhidos para realização do ensaio *in situ* foram os mesmos da coleta das amostras para outros ensaios.

Antes da realização do ensaio, foram determinados o volume interno, por meio do diâmetro interior e da altura do cilindro de cravação e a massa do mesmo por meio de uma balança de precisão, conforme as Figuras 16 a 18.

Figura 16 – Diâmetro interno do cilindro de cravação



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 17 – Medição da altura do cilindro de cravação



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 18 – Massa do cilindro de cravação



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Sendo que a massa do cilindro é de 1017,29 g, a altura de 115 mm (11,5 cm) e o diâmetro interno de 104 mm (10,4 cm), é possível calcular o seu volume de forma a encontrar um valor de 976,91 cm³.

Com esses dados de massa e volume, é possível realizar o ensaio, conforme a Figura 19, escavar e retirar o cilindro cheio, como mostra a Figura 20, e anotar as massas de solo da coleta.

Figura 19 – Realização do ensaio



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 20 – Cilindro de cravação escavado



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

4.4 Ensaio para determinação do teor de umidade

A realização do ensaio ocorreu de acordo com as determinações da ABNT NBR 6457:2024.

A aparelhagem necessária, segundo a referida norma, é:

- a) Estufa com temperatura constante (Figura 21);
- b) Balança (Figura 14);
- c) Dessecador com sílica gel (Figura 22);
- d) Cápsulas metálicas ou vidros de relógio com grampo (Figura 23);
- e) Pinças metálicas (Figura 24);

Figura 21 – Estufa de secagem com amostras de solo



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 22 – Dessecador com sílica gel



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 23 – Cápsula metálica com tampa



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Figura 24 – Pinça metálica



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Foram tomadas três amostras de 30 g de solo para cada ponto analisado, sendo preparadas de acordo com o descrito anteriormente. O ensaio foi realizado conforme o referencial teórico do trabalho, seguindo as determinações da ABNT NBR 6457:2024. As massas obtidas foram anotadas para cálculos em uma planilha eletrônica.

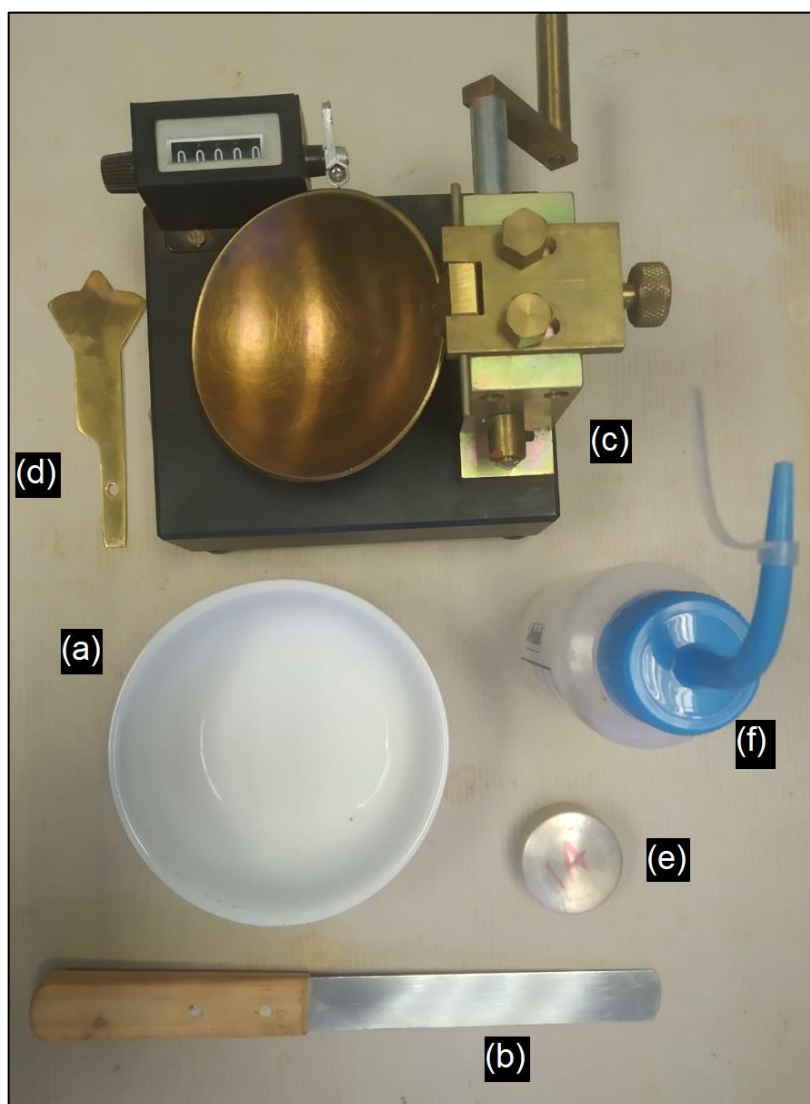
4.5 Ensaio para determinação do limite de liquidez

Para o limite de liquidez, foi tomada uma porção de 100 g de material preparado de acordo com a ABNT NBR 6457:2024.

Os aparelhos utilizados para a execução do ensaio são:

- a) Estufa capaz de manter a temperatura de 105 °C a 110 °C (Figura 21);
- b) Recipiente para a preparação do solo (Figura 25 a);
- c) Espátula (Figura 25 b);
- d) Aparelho de Casagrande (Figura 25 c);
- e) Cinzel (Figura 25 d);
- f) Recipientes que evitem a perda de água (Figura 25 e);
- g) Balança (Figura 14);
- h) Pisseta com água (Figura 25 f);
- i) Cinzel com destaque no gabarito para verificação de altura de queda da concha (Figura 26).

Figura 25 – Materiais para o ensaio de limite de liquidez



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

O aparelho de Casagrande foi verificado e calibrado conforme indicado pela norma ABNT NBR 6459:2017, utilizando o cinzel com gabarito destacado na figura 26. O ensaio foi realizado como descrito no referencial e utilizando a norma supracitada. O número de golpes foi registrado e os valores do teor de umidade para cara ponto foram calculados por meio de planilha eletrônica e marcados em uma tabela. Para a obtenção do valor de umidade para 25 golpes, foi utilizado o método de construção da reta média, como determina a norma ABNT NBR 6459:2017.

Figura 26 – Cinzel, no destaque gabarito de calibração



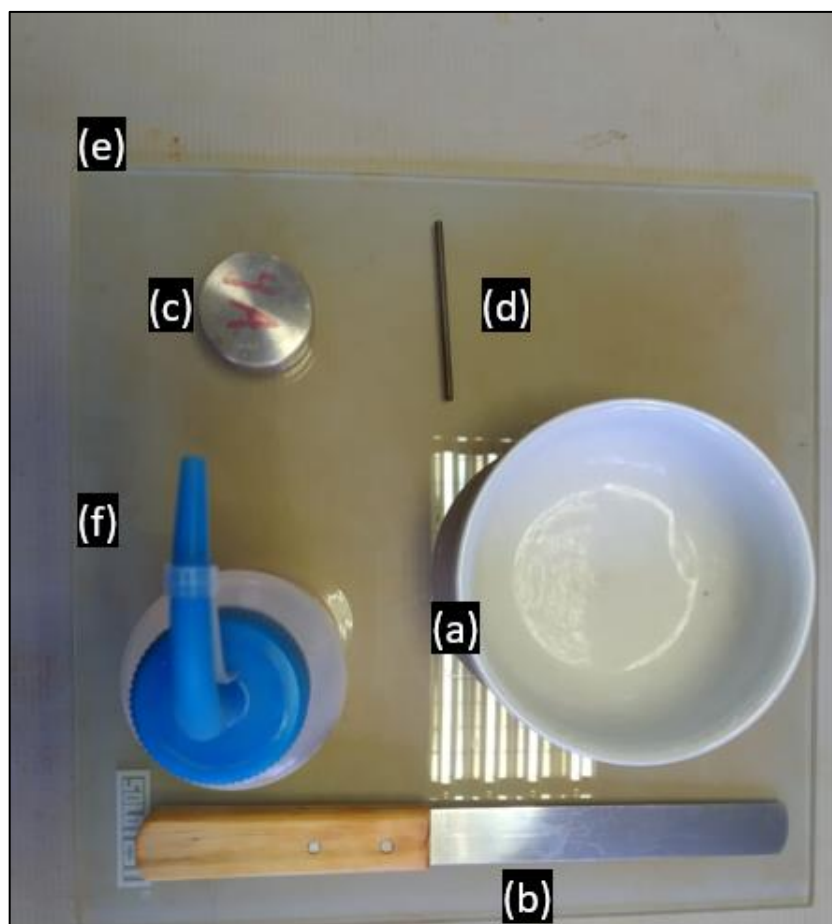
Fonte: Arquivo próprio, 2023.

4.6 Ensaio para determinação do limite de plasticidade

Para o ensaio do limite de plasticidade, foram tomados 50 g do solo que passou na peneira de 0,42 mm, sendo realizado conforme a ABNT NBR 7180:2016, descrita neste trabalho. A aparelhagem empregada foi:

- a) Estufa (Figura 21);
- b) Recipiente para a homogeneização da amostra (Figura 27 a);
- c) Espátula (Figura 27 b);
- d) Recipientes que evitem perda de umidade (Figura 27 c);
- e) Balança (Figura 14);
- f) Gabarito cilíndrico (Figura 27 d);
- g) Placa de vidro de superfície esmerilhada de 30 cm de lado (Figura 27 e);
- h) Pisseta com água (Figura 27 f).

Figura 27 – Materiais para o ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Arquivo próprio, 2023.

As massas foram registradas para o cálculo do teor de umidade, o que possibilitou a determinação do limite de plasticidade. Os resultados foram obtidos através de uma planilha eletrônica, que calculou a média dos valores de cinco ensaios, os quais foram então registrados em uma tabela.

Para concluir essa seção, é importante ressaltar o cuidado e precisão que foram empregados nessa etapa. Com os ensaios seguindo meticulosamente os parâmetros das normas para estabelecer uma base sólida para a próxima fase do estudo, onde serão analisados e discutidos de maneira detalhada os resultados obtidos com a metodologia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa, são apresentados os resultados da análise tátil-visual e dos ensaios de caracterização, peso específico aparente natural, teor de umidade, limite de liquidez e limite de plasticidade, bem como as outras informações deduzidas a partir deles: peso específico aparente seco e índice de plasticidade. São realizados comentários sobre cada ensaio, discutindo suas implicações e destacando os principais pontos observados.

Adicionalmente, ao término dessa seção, é feita uma análise comparativa entre os diferentes ensaios e as análises geotécnicas preexistentes do campus, buscando identificar padrões e relações entre as propriedades do solo estudadas. A partir desses resultados, é possível obter uma compreensão mais aprofundada do comportamento do solo, contribuindo para a tomada de decisões no contexto do projeto em questão.

5.1 Aspectos gerais

Na análise tátil-visual, foi observada uma pequena quantidade de areia. Quanto à cor, o vermelho prevalece em todas as amostras de solo, característica típica de solos em processo de laterização, comum em regiões tropicais e climas úmidos. Esse processo envolve a remoção da sílica coloidal por lixiviação, bem como o enriquecimento do solo com óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, podendo apresentar variações em tons, como amarelo, marrom e alaranjado (CAPUTO, 1988).

5.2 Peso específico aparente natural

Os valores do peso específico aparente na condição natural, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de peso específico aparente natural

Ponto	Peso específico aparente natural (kN/m ³) γ_{nat}
P-01	16,67
P-02	15,73
P-03	16,19
P-04	17,04
P-05	17,87
P-06	16,62
P-07	17,02
P-08	16,56
P-09	18,35

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Os resultados dos ensaios de peso específico aparente natural revelaram que a maioria dos valores obtidos está dentro do intervalo esperado para solos dessa região, de 13 a 20 kN/m³, indicando uma consistência satisfatória com as características geotécnicas conhecidas do local. Porém, para autores como Pinto (2011) alguns valores encontrados, destacados na Tabela 5, apresentaram uma ligeira tendência de estar abaixo do limite mínimo aceitável, de 17 a 21 kN/m³, o que sugere uma variação natural nos atributos físicos do solo. Essa oscilação, pode ser atribuída a diferentes fatores, como variações na composição do solo ou na técnica de coleta das amostras. No entanto, essas diferenças não comprometem significativamente a adequação dos valores para as análises geotécnicas em questão, e os resultados ainda são considerados válidos para os propósitos do estudo.

5.3 Teor de umidade

O ensaio para a determinação do teor de umidade apresentou os resultados dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de teor de umidade

(continua)

Ponto	Teor de umidade (%)
P-01	27,53
P-02	29,95
P-03	31,46

Tabela 6 (continuação) – Valores de teor de umidade

Ponto	Teor de umidade (%)
P-04	30,76
P-05	27,19
P-06	22,98
P-07	28,10
P-08	34,41
P-09	29,18

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Os valores encontrados por meio do ensaio são satisfatórios, pois situam-se entre 10 e 40%, o que é um valor típico para solos brasileiros, segundo Pinto (2011). Isso é um indício de que a proporção entre a água e os sólidos está dentro dos valores estimados.

5.4 Peso específico aparente seco

Os resultados da determinação do peso específico aparente seco estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de peso específico aparente seco

Ponto	Peso específico aparente seco (kN/m³) γ_d
P-01	13,07
P-02	12,11
P-03	12,32
P-04	13,03
P-05	14,05
P-06	13,51
P-07	13,29
P-08	12,32
P-09	14,21

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Os valores de referência para esse peso específico foram apresentados por Pinto (2011) como sendo de 13 a 18 kN/m³. Já Das e Sobhan (2014) são mais amplos, trazendo uma faixa de 6 a 21 kN/m³.

Os resultados do peso específico aparente seco demonstraram uma distribuição consistente, com a maioria das medidas situadas dentro da faixa considerada usual para solos desse tipo. Contudo, algumas das avaliações mostraram uma leve tendência abaixo do padrão esperado. Estes pontos foram destacados na Tabela 7. Essa variação pode ser atribuída a diversas razões, incluindo flutuações naturais nas propriedades do solo ou influências externas durante o processo de coleta e análise das amostras. Apesar dessas pequenas discrepâncias, os resultados permanecem dentro de um intervalo aceitável, sendo considerados adequados para as análises geotécnicas realizadas neste estudo.

5.5 Limite de liquidez

O limite de liquidez foi obtido por meio de cálculos e gráficos feitos com o auxílio de planilhas eletrônicas. Os resultados para os pontos coletados estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores utilizados para cálculo do limite de liquidez

(continua)

Ponto	Amostra	Teor de umidade (%)	Nº de golpes
P-01	a	56,83	16,00
	b	55,58	20,00
	c	54,72	26,00
	d	53,89	28,00
	e	52,06	35,00
P-02	a	52,83	15,00
	b	50,87	24,00
	c	49,73	26,00
	d	48,99	30,00
	e	48,17	35,00
P-03	a	61,54	15,00
	b	60,43	20,00
	c	57,65	26,00
	d	57,48	28,00
	e	56,45	34,00
P-04	a	62,09	16,00
	b	61,57	21,00
	c	59,62	27,00
	d	56,56	33,00
	e	50,45	35,00

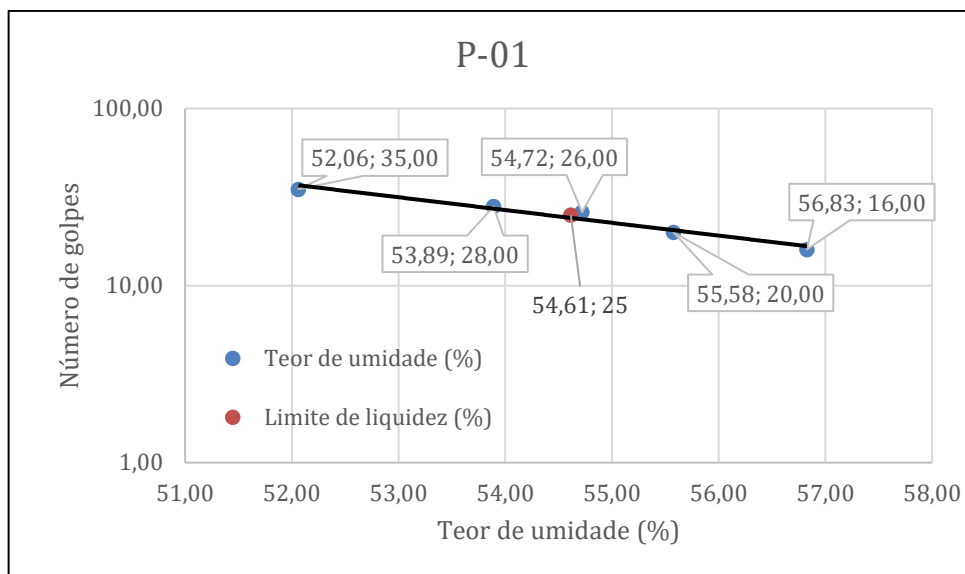
Tabela 8 (continuação) – Valores utilizados para cálculo do limite de liquidez

Ponto	Amostra	Teor de umidade (%)	Nº de golpes
P-05	a	54,70	16,00
	b	54,17	18,00
	c	53,33	24,00
	d	52,53	31,00
	e	51,30	35,00
P-06	a	50,92	16,00
	b	49,84	20,00
	c	49,50	23,00
	d	48,25	29,00
	e	46,68	35,00
P-07	a	63,02	16,00
	b	61,97	22,00
	c	59,44	27,00
	d	58,46	31,00
	e	53,81	35,00
P-08	a	60,93	17,00
	b	59,44	19,00
	c	57,08	24,00
	d	56,43	28,00
	e	56,05	35,00
P-09	a	56,81	16,00
	b	55,11	20,00
	c	53,16	25,00
	d	50,49	28,00
	e	49,68	34,00

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

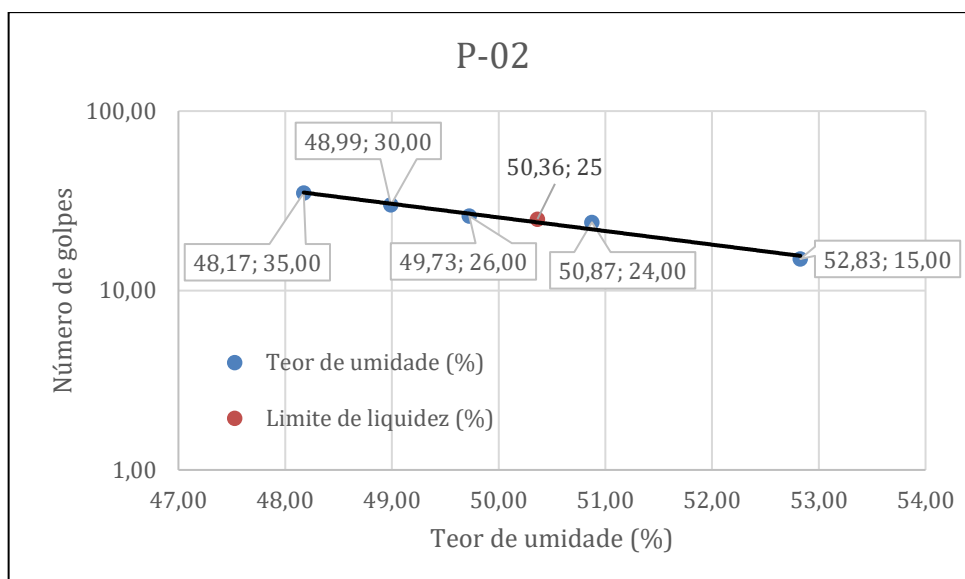
Foi utilizado o método descrito pela ABNT NBR 6459:2017 que determina a obtenção do limite de liquidez na reta que mais se ajusta aos pontos obtidos no ensaio. Os gráficos foram então construídos com a ajuda de planilha eletrônica e apresentados nas Figuras 28 a 36, demonstrando o decréscimo do número de golpes de acordo com o aumento da umidade, de forma que a linha preta represente a reta com os dados coletados no ensaio e o ponto em laranja represente o limite de liquidez.

Figura 28 – Gráfico do limite de liquidez P-01



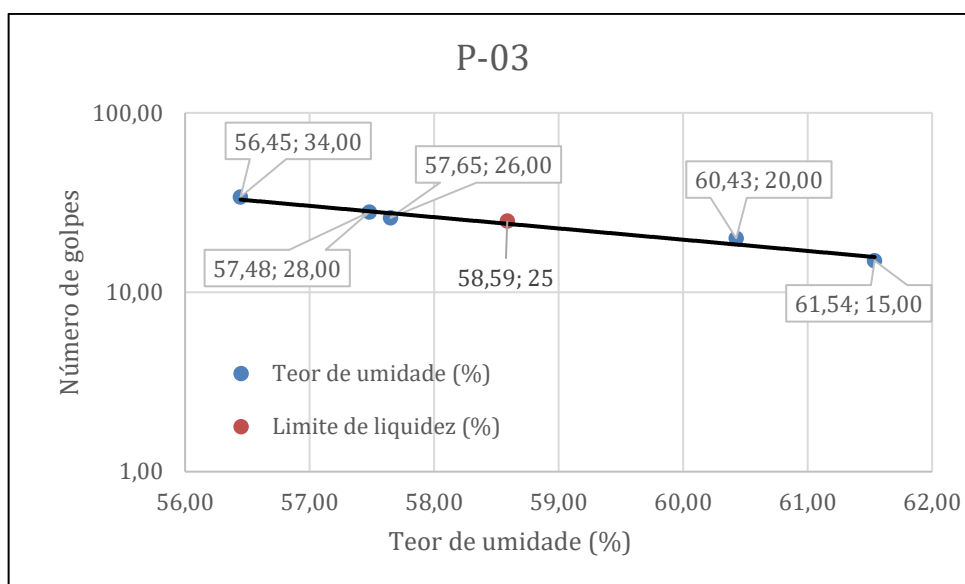
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 29 – Gráfico do limite de liquidez P-02



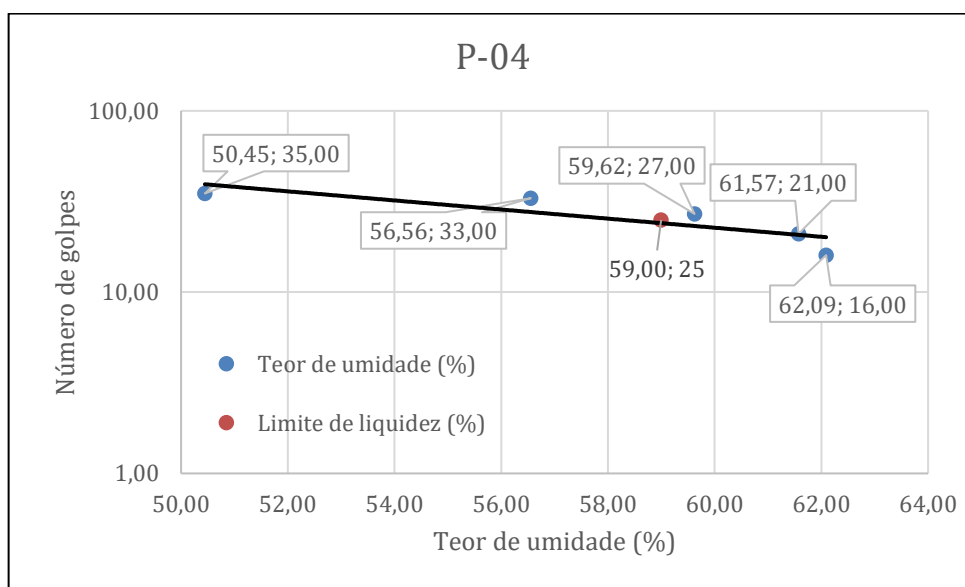
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 30 – Gráfico do limite de liquidez P-03



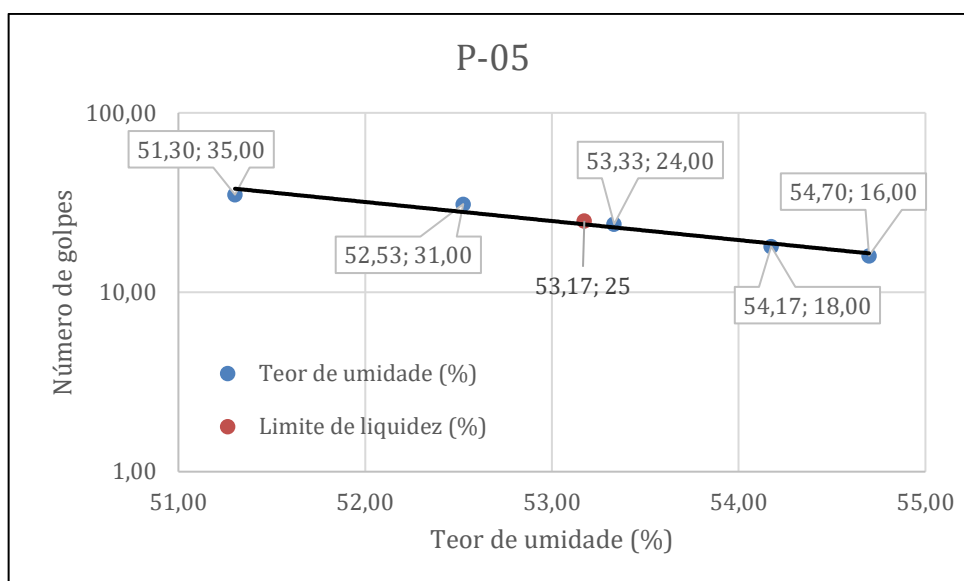
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 31 – Gráfico do limite de liquidez P-04



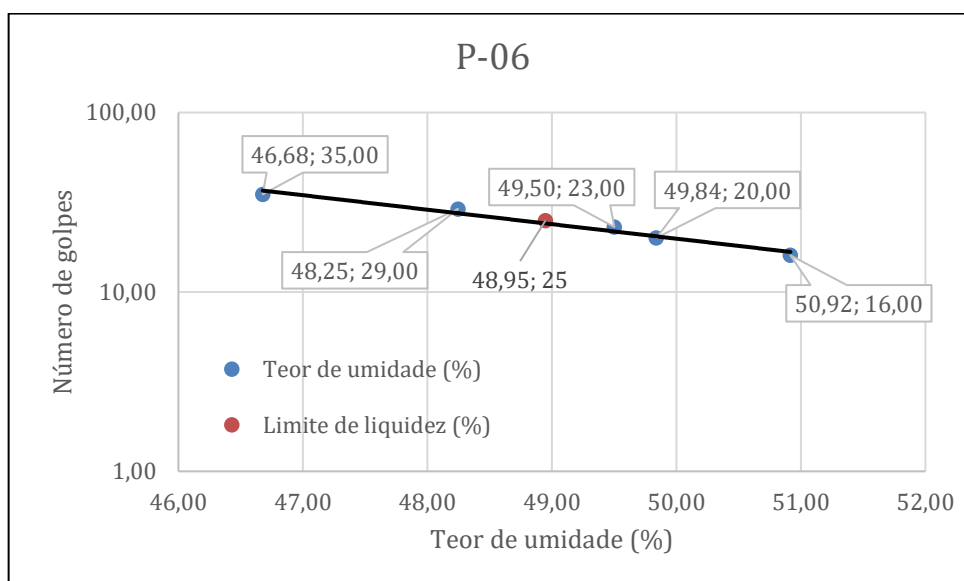
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 32 – Gráfico do limite de liquidez P-05



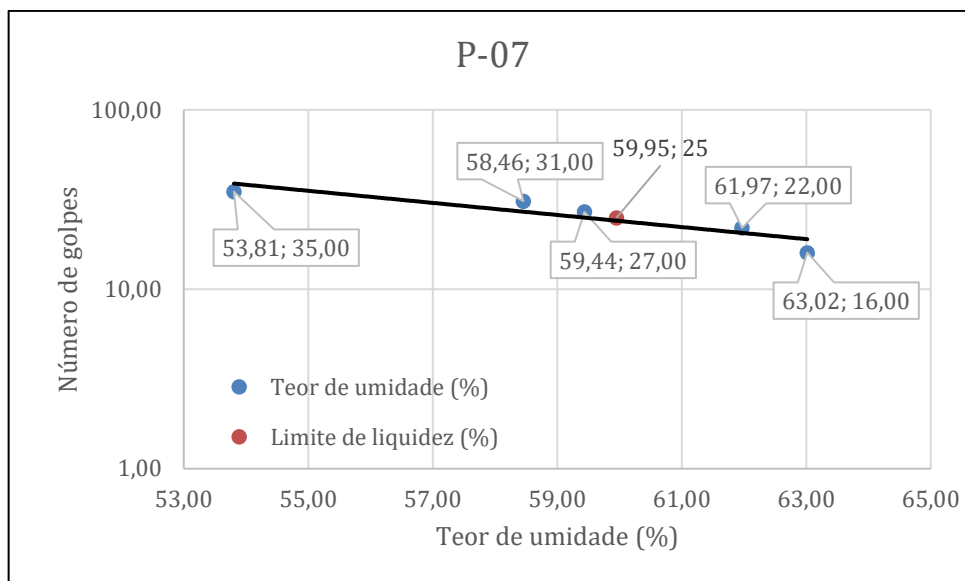
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 33 – Gráfico do limite de liquidez P-06



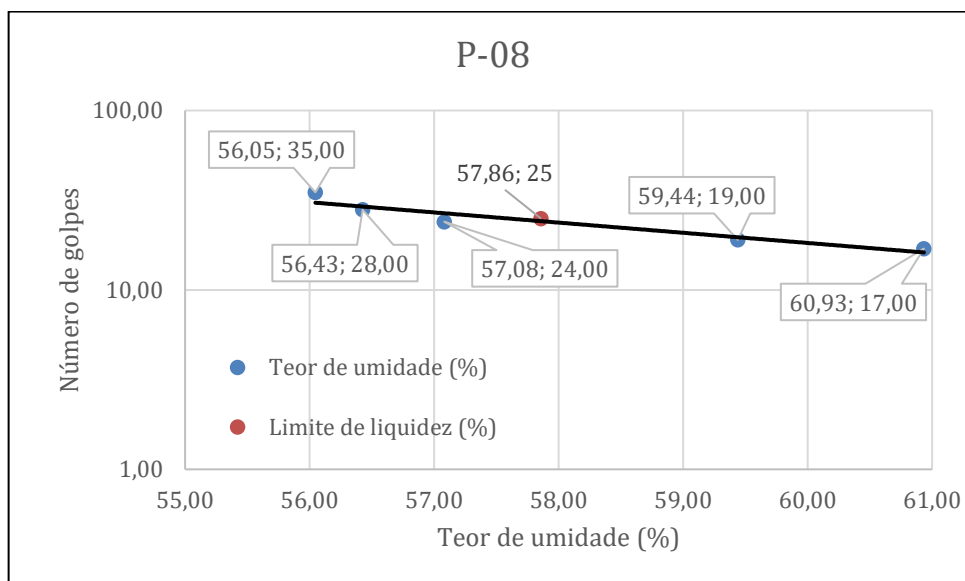
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 34 – Gráfico do limite de liquidez P-07

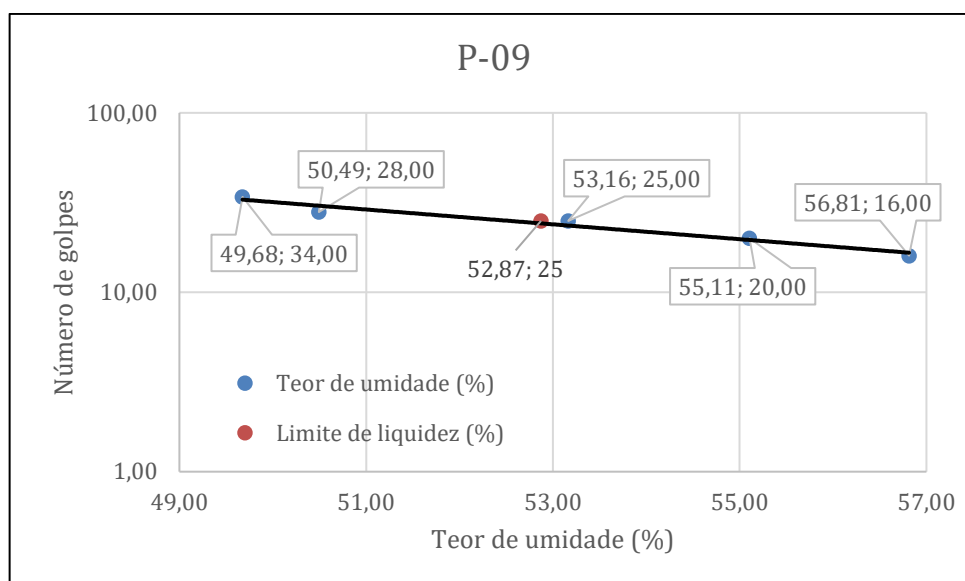


Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 35 – Gráfico do limite de liquidez P-08



Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 36 – Gráfico do limite de liquidez P-09

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Com o auxílio do recurso de criação de gráficos da planilha, foi possível obter as equações das retas de cada local de coleta do ensaio, sendo assim os valores de limite de liquidez para 25 golpes foram calculados conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Limite de liquidez

Ponto	Limite de liquidez (%)
P-01	54,61
P-02	50,36
P-03	58,59
P-04	59,00
P-05	53,17
P-06	48,95
P-07	59,95
P-08	57,86
P-09	52,87

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Esses valores são utilizados para determinação de outros parâmetros importantes dentro da mecânica dos solos, como a carta de plasticidade.

5.6 Limite de plasticidade

O ensaio de limite de plasticidade para cada ponto foi feito, sendo obtidos os dados da Tabela 10.

Tabela 10 – Valores do limite de plasticidade para cada amostra de solo

(continua)

Ponto	Amostra ensaiada	Teor de umidade (%)
P-01	a	39,84
	b	39,73
	c	41,18
	d	43,48
	e	40,31
P-02	a	40,11
	b	38,85
	c	39,50
	d	40,80
	e	39,47
P-03	a	45,75
	b	49,06
	c	45,14
	d	45,93
	e	51,16
P-04	a	43,21
	b	38,38
	c	41,32
	d	43,45
	e	42,96
P-05	a	44,12
	b	43,28
	c	40,37
	d	41,43
	e	43,26
P-06	a	35,45
	b	33,11
	c	33,33
	d	33,33
	e	32,68
P-07	a	44,30
	b	46,63
	c	37,78
	d	44,95
	e	43,84

Tabela 10 (continuação) – Valores do limite de plasticidade para cada amostra de solo

Ponto	Amostra ensaiada	Teor de umidade (%)
P-08	a	46,82
	b	43,24
	c	45,35
	d	46,82
	e	43,68
P-09	a	38,10
	b	41,06
	c	38,46
	d	39,42
	e	41,25

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

O limite de plasticidade para cada ponto foi obtido por meio da média dos valores dos 5 ensaios realizados. Os valores do limite foram expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de limite de plasticidade

Ponto	Limite de plasticidade (%)
P-01	39,96
P-02	40,14
P-03	45,61
P-04	43,21
P-05	43,55
P-06	33,26
P-07	44,36
P-08	46,33
P-09	40,58

Fonte: Arquivo próprio, 2023.

Esses valores são utilizados para determinação de outros parâmetros importantes dentro da mecânica dos solos, como a carta de plasticidade.

5.7 Índice de plasticidade

Com os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, foi possível calcular o índice de plasticidade do solo (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores de índice de plasticidade

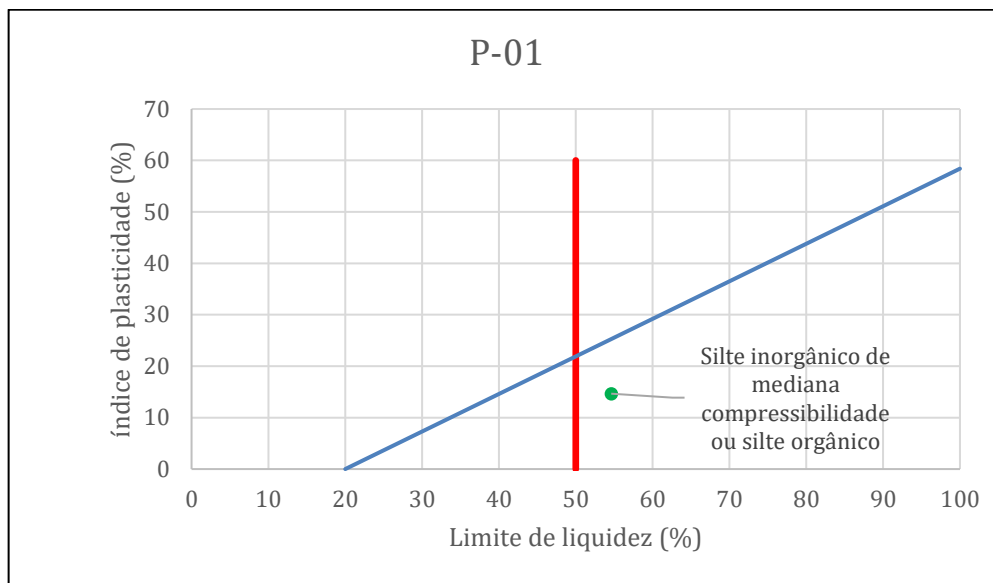
Ponto	Índice de plasticidade (%)
P-01	14,65
P-02	10,23
P-03	12,98
P-04	15,79
P-05	9,62
P-06	15,69
P-07	15,59
P-08	11,53
P-09	12,30

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

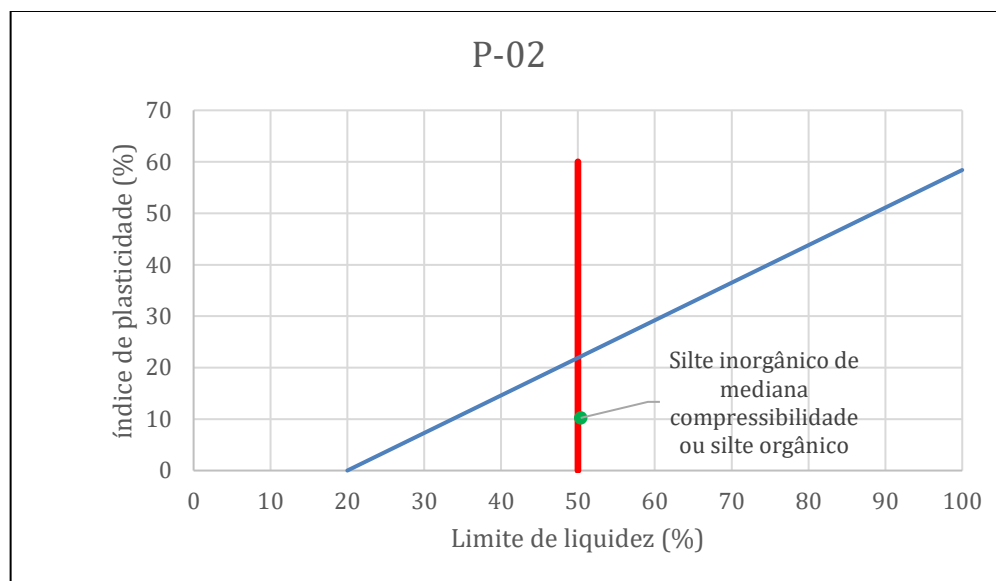
Nota-se que a maioria dos pontos analisados apresentou índice de plasticidade entre 7% e 15%. Isto representa solos medianamente plásticos, com base nos dados apresentados no referencial. Já os pontos P-04, P-06 e P-07 apresentaram índices de plasticidade mais altos, acima de 15%, indicando que são mais plásticos, segundo Caputo (1988). Já observando os dados descritos por Das e Sobhan (2014), maioria dos solos tem plasticidade média, exceto o P-05, que apresenta plasticidade baixa conforme destaque na Tabela 12.

Neste estudo, as características dos solos também foram avaliadas por meio de cartas de plasticidade, que representam graficamente a relação entre o índice de plasticidade (IP) e o limite de liquidez (LL). Foram elaborados gráficos, com auxílio de uma planilha eletrônica, que estão dispostos nas Figuras 37 a 45, mostrando a variação nas propriedades dos solos ao longo da área de estudo. As imagens das cartas de plasticidade foram analisadas para identificar padrões e relações entre as propriedades dos solos em cada ponto de coleta.

Nos gráficos a seguir, o ponto em verde é a intercessão entre o limite de liquidez e o índice de plasticidade dos solos analisados, já a linha em vermelho representa o limite entre solos de baixa e alta plasticidade e a linha em azul representa a linha A, delimitando a divisão entre argilas, acima dela, e siltes, abaixo.

Figura 37 – Carta de plasticidade do ponto P-01

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Figura 38 – Carta de plasticidade do ponto P-02

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

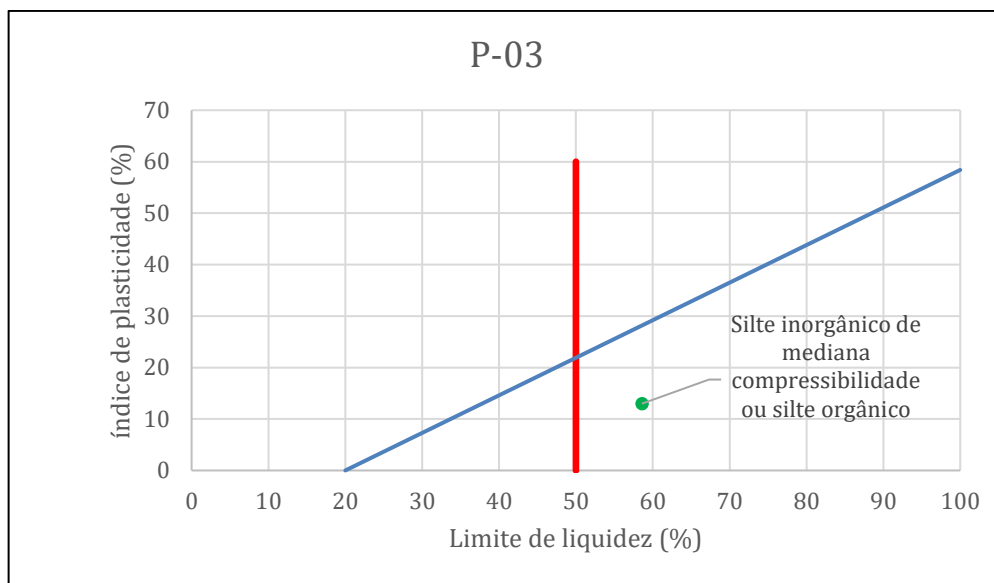
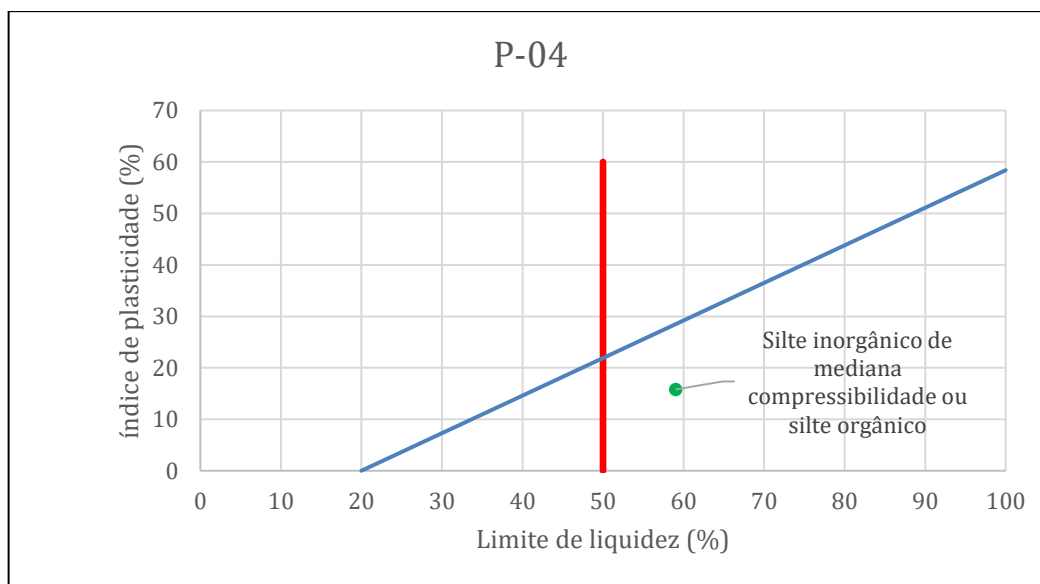
Figura 39 – Carta de plasticidade do ponto P-03**Figura 40** – Carta de plasticidade do ponto P-04

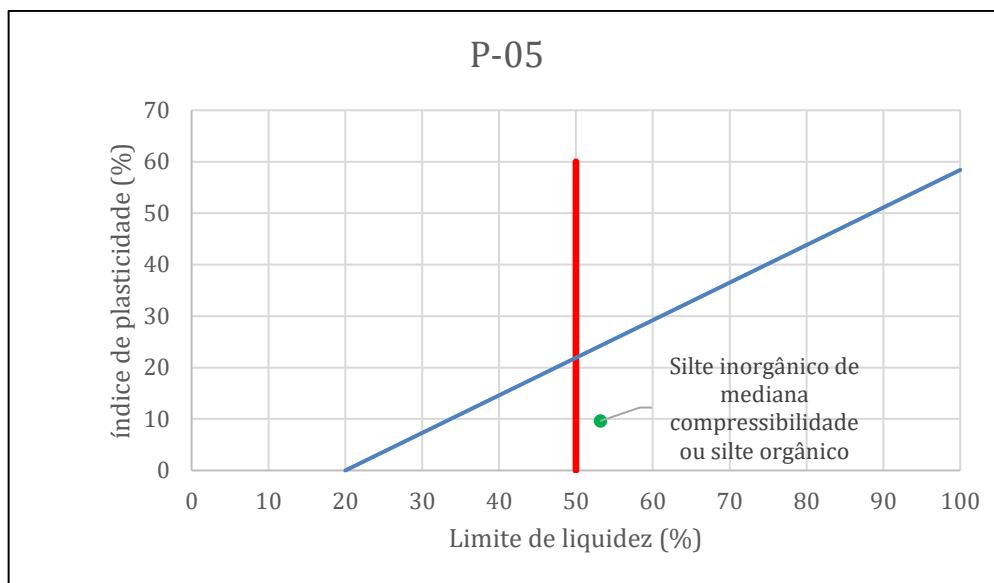
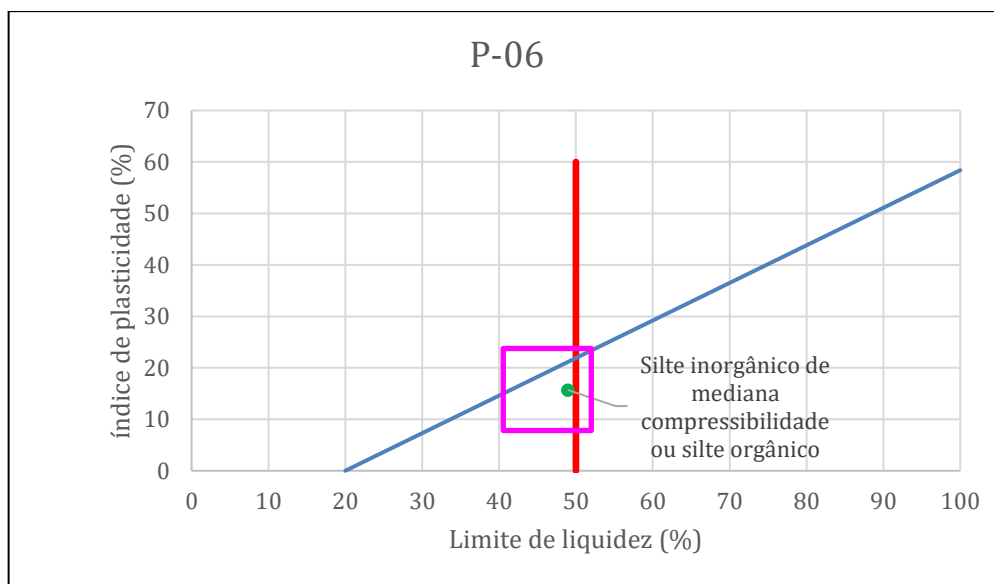
Figura 41 – Carta de plasticidade do ponto P-05**Figura 42** – Carta de plasticidade do ponto P-06

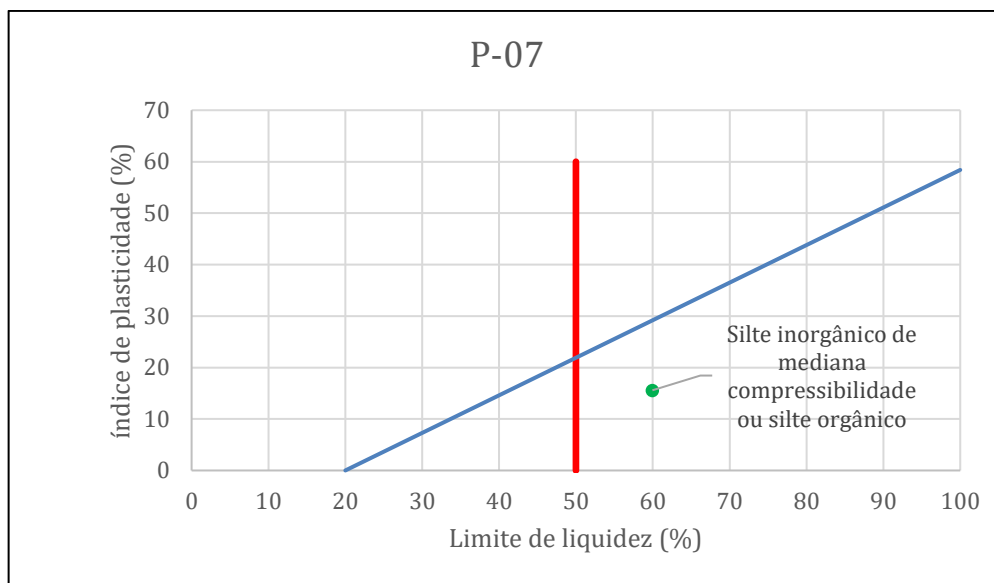
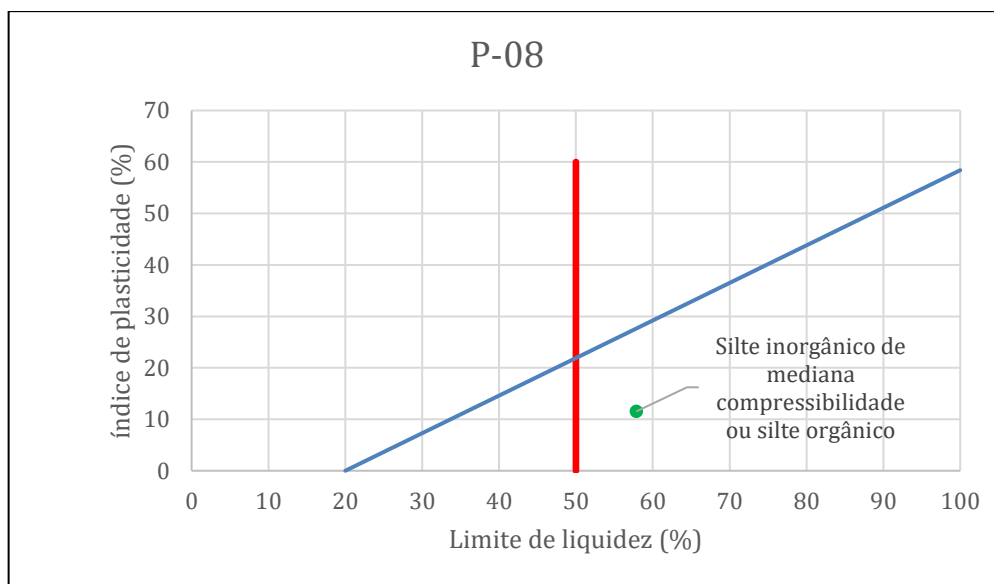
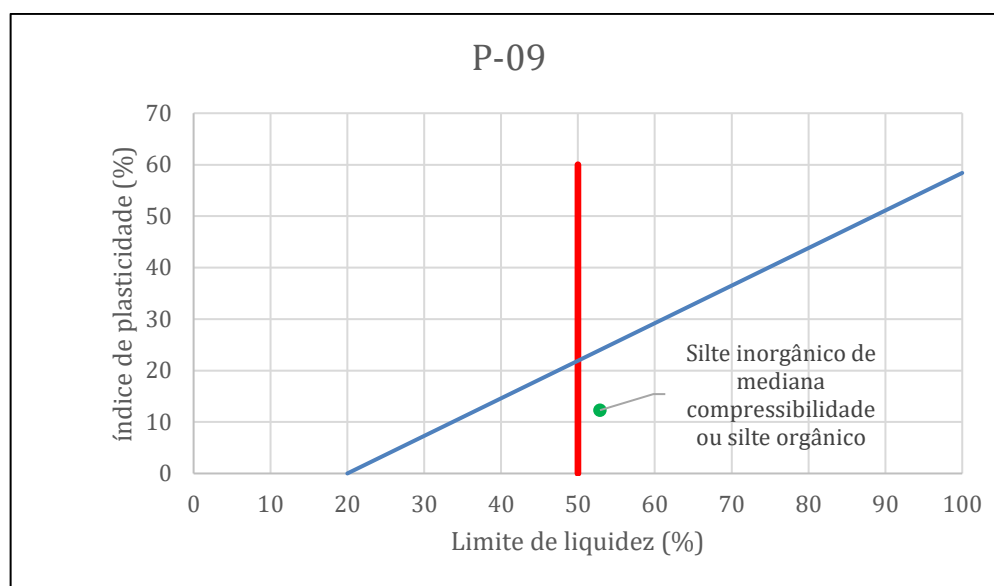
Figura 43 – Carta de plasticidade do ponto P-07**Figura 44** – Carta de plasticidade do ponto P-08

Figura 45 – Carta de plasticidade do ponto P-09

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

Ao analisar a carta de plasticidade para todos os pontos, observa-se que a maioria deles apresentou resultados semelhantes, indicando que a região da carta onde se encontra a intercessão do limite de liquidez e o índice de plasticidade, pertence a solos compostos por silte inorgânico de média compressibilidade, pois os siltes orgânicos apresentam odor e coloração não encontrados no objeto de estudo deste trabalho. No entanto, uma variação foi identificada em um dos pontos, sugerindo que no ponto P-06 o solo apresenta maior plasticidade, pois está à esquerda da linha que separa os solos de baixa e alta plasticidade, conforme destaque em rosa na Figura 42.

5.8 Resumo dos ensaios

Para facilitar a visualização dos dados obtidos nos ensaios, foi feita uma tabela resumo apresentados os resultados obtidos (Tabela 13).

Tabela 13 – Tabela resumo dos resultados

Ponto	Peso esp. ap. nat. (kN/m ³) γ_{nat}	Teor de umidade (%)	Peso esp. ap. seco (kN/m ³) γ_d	Lim. liquidez (%)	Lim. plasticidade (%)	Índice de plasticidade
P-01	16,67	27,53	13,07	54,98	39,96	14,65
P-02	15,73	29,95	12,11	49,96	40,14	10,23
P-03	16,19	31,46	12,32	57,92	45,61	12,98
P-04	17,04	30,76	13,03	60,18	43,21	15,79
P-05	17,87	27,19	14,05	53,07	43,55	9,62
P-06	16,62	22,98	13,29	49,00	33,26	15,69
P-07	17,02	28,10	13,29	59,99	44,36	15,59
P-08	16,56	34,41	12,32	56,80	46,33	11,53
P-09	18,35	29,18	14,21	53,16	40,58	12,30

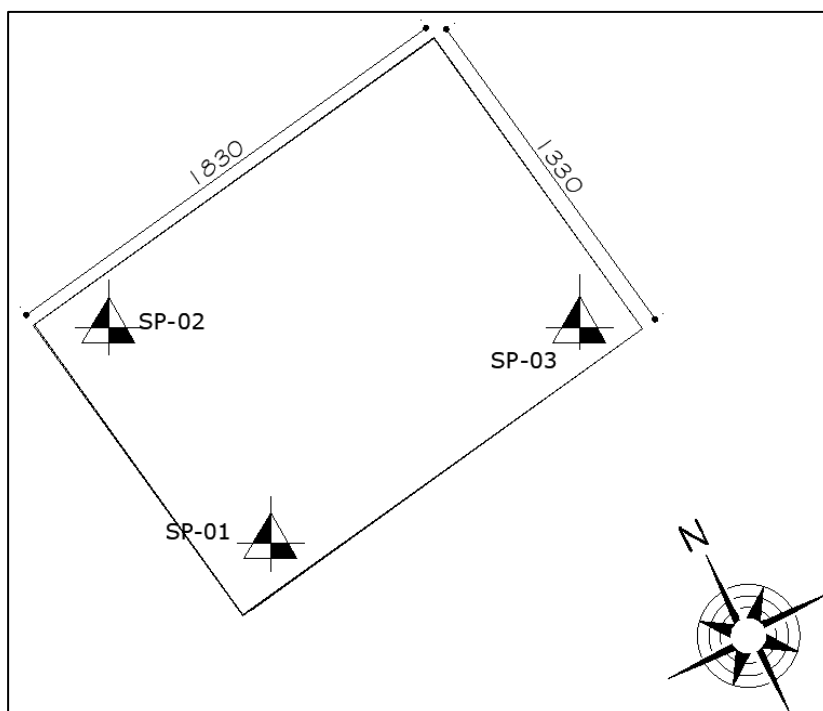
Fonte: Arquivo próprio, 2024.

5.9 Análises geotécnicas preexistentes

Para complementar o estudo do solo, o IFMG – *Campus* Avançado Piumhi disponibilizou dois relatórios de sondagem a percussão (SP), realizadas nos terrenos antes das construções. A primeira análise foi feita no ano de 2019, em três pontos, observados na Figura 46, para a obra do galpão de laboratórios. Já a segunda, feita por outra empresa no ano de 2023, conta com cinco pontos de sondagem para a obra da quadra, que podem ser constatados na Figura 47.

Como a sondagem também traz resultados das primeiras camadas do solo, as do *Campus* Piumhi foram utilizadas para comparar com os ensaios realizados no laboratório e descritos neste trabalho.

Figura 46 – Locação dos pontos de ensaio da primeira sondagem



Fonte: IFMG – *Campus Avançado Piumhi*, 2019.

Figura 47 – Locação dos pontos de ensaio da segunda sondagem

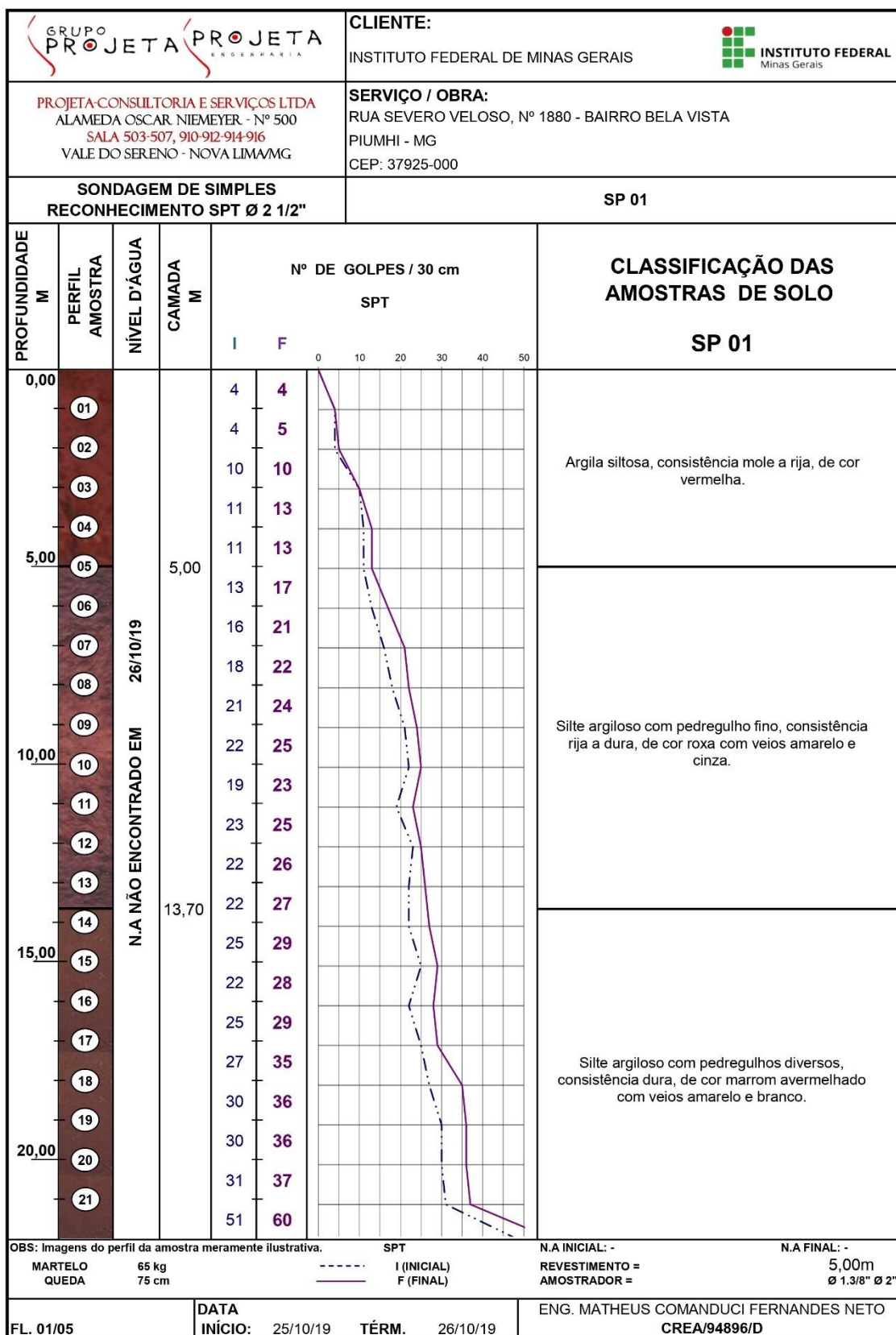


Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

5.9.1 Para a obra do galpão de laboratórios

O primeiro ponto de sondagem a ser analisado é o SP 01. A amostra de solo P-05 para os ensaios de laboratório foi coletada logo ao lado desse ponto. Com os dados fornecidos pelo IFMG das Figuras 48 e 49, é possível perceber que há a presença de uma argila siltosa nos primeiros 5 m prospectados. No estudo do índice de plasticidade, há indicações da presença de silte e argila, sendo de média compressibilidade, o que confirmam os estudos da sondagem.

Figura 48 – Resultados da sondagem SP 01



Fonte: Grupo Projeta, 2019.

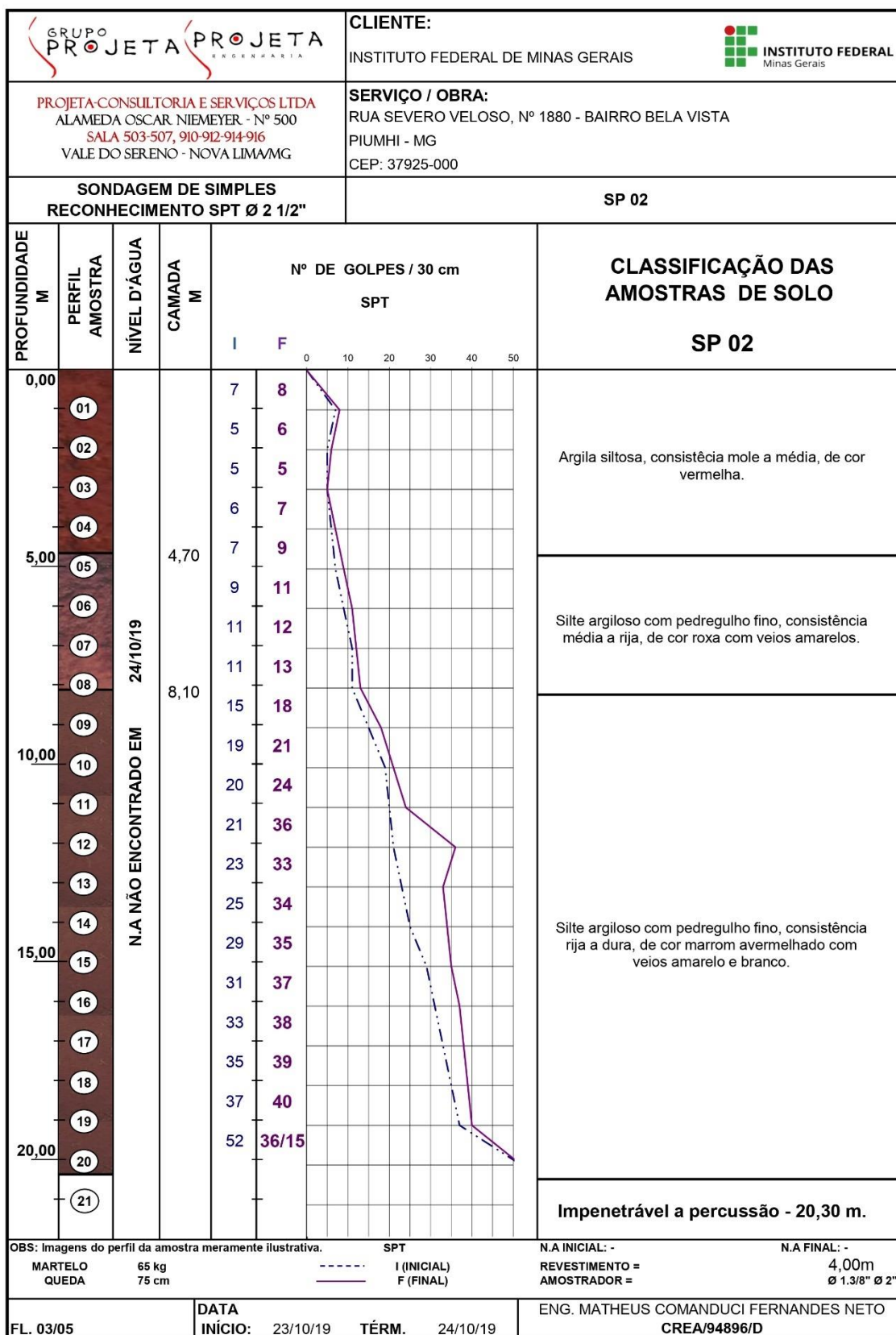
Figura 49 – Continuação dos resultados da sondagem SP 01

GRUPO PROJETA PROJETA ENGENHARIA		CLIENTE:		INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS		INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	
PROJETA-CONSULTORIA E SERVIÇOS LTDA ALAMEDA OSCAR NIEMEYER - Nº 500 SALA 503-507, 910-912-914-916 VALE DO SERENO - NOVA LIMA/MG				SERVIÇO / OBRA: RUA SEVERO VELOSO, Nº 1880 - BAIRRO BELA VISTA PIUMHI - MG CEP: 37925-000			
SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO SPT Ø 2 1/2"				SP 01			
PROFUNDIDADE M	PERFIL AMOSTRA	NÍVEL D'ÁGUA	CAMADA M	Nº DE GOLPES / 30 cm SPT		CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO	
				I	F	SP 01	
20,00	(21)			31	37	Silte argiloso com pedregulhos diversos, consistência dura, de cor marrom avermelhado com veios amarelo e branco.	
	(22)			51	30/15		
	(23)		23,30	56	33/15		
25,00	(24)					Impenetrável a percussão - 23,30 m.	
30,00							
35,00							
40,00							
OBS: Imagens do perfil da amostra meramente ilustrativa.				SPT		N.A INICIAL: -	
MARTELO	65 kg			-----	I (INICIAL)	REVESTIMENTO =	
QUEDA	75 cm			-----	F (FINAL)	AMOSTRADOR =	
						N.A FINAL: -	
						5,00m	
						Ø 1.3/8" Ø 2"	
FL. 02/05				DATA		ENG. MATHEUS COMANDUCI FERNANDES NETO	
				INÍCIO: 25/10/19	TÉR.M. 26/10/19	CREA/94896/D	

Fonte: Grupo Projeta, 2019.

O próximo ponto de sondagem, SP 02, está localizado na região do ponto de coleta da amostra de solo denominado P-04. Assim como na primeira discussão, o solo e suas características não mudaram, apresentando a mesma denominação, cor e praticamente a mesma profundidade de camada superficial, como se pode analisar na Figura 50.

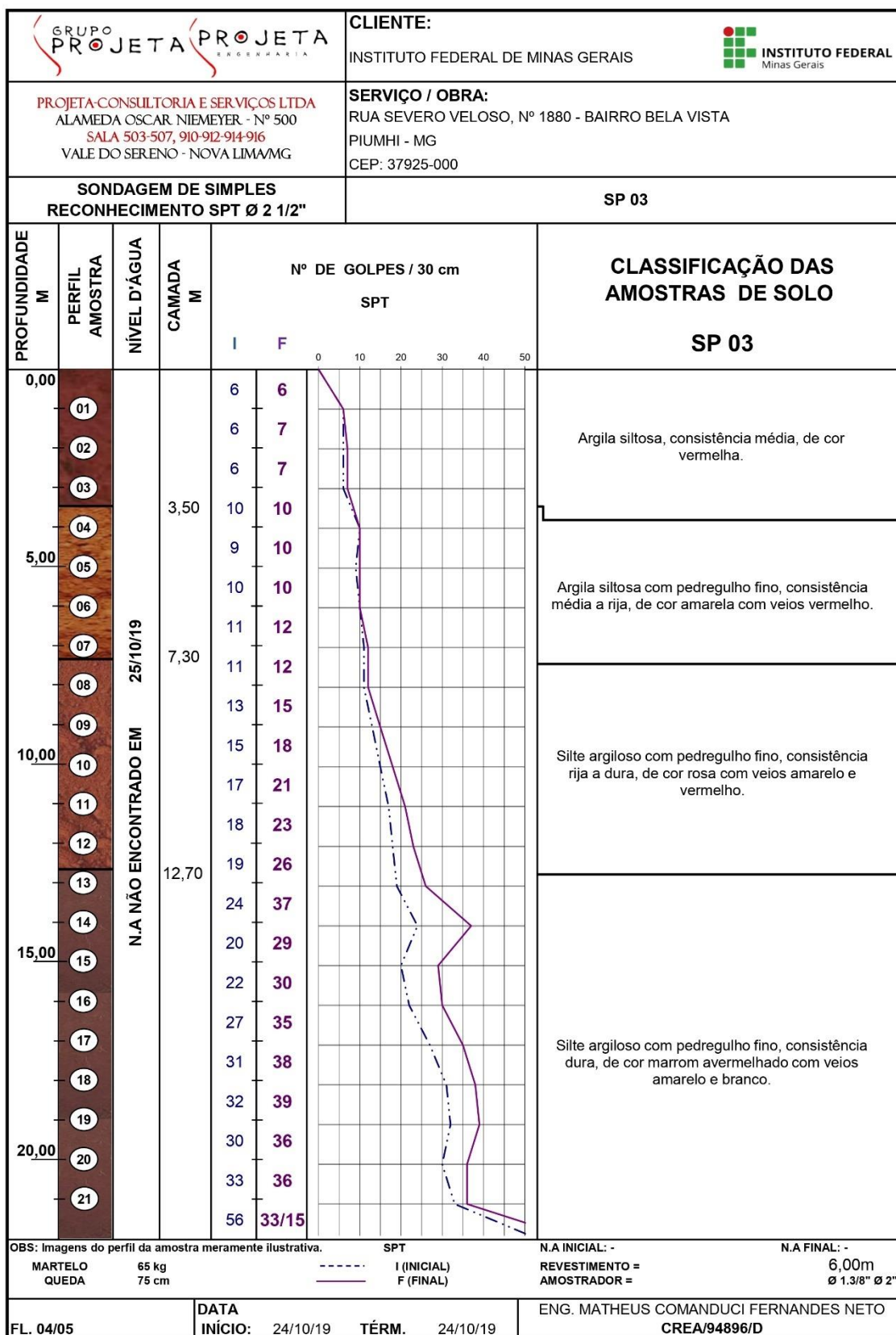
Figura 50 – Resultados da sondagem SP 02



Fonte: IFMG – Grupo Projeta, 2019.

O último ponto de sondagem, SP 03, localiza-se próximo ao ponto de coleta da amostra de solo P-06. Assim como nos pontos anteriores, o solo e suas características não mudaram, apresentando a mesma denominação e cor, primeira camada mais rasa e consistência mole, variando a granulometria e coloração ao longo da profundidade, como mostra as Figuras 51 e 52.

Figura 51 – Resultados da sondagem SP 03



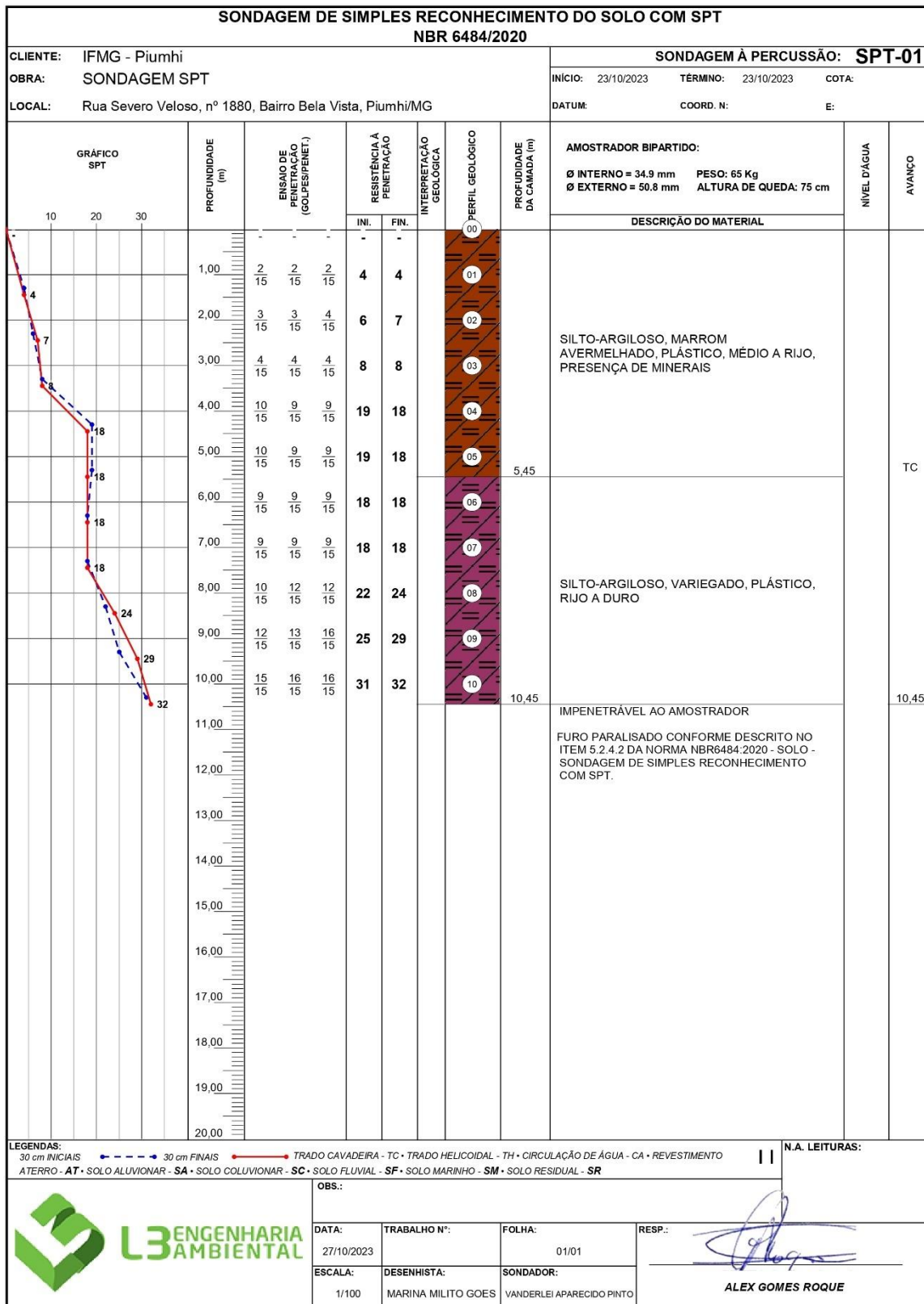
Fonte: Grupo Projeta, 2019.

5.9.2 Para a obra da quadra

Os cinco pontos de sondagem foram coletados bem próximos. O ponto correspondente coletado para a caracterização física do solo foi o P-03, que está localizado no mesmo quadrante.

O primeiro ponto analisado é o SPT-01 (Figura 53). Assim como nas outras análises, será levada em consideração a primeira camada de solo, que permanece até 5,45 m de profundidade. Essa camada apresenta um solo de composição silto-argilosa, marrom avermelhada, plástico e com consistência média a rija e presença de minerais.

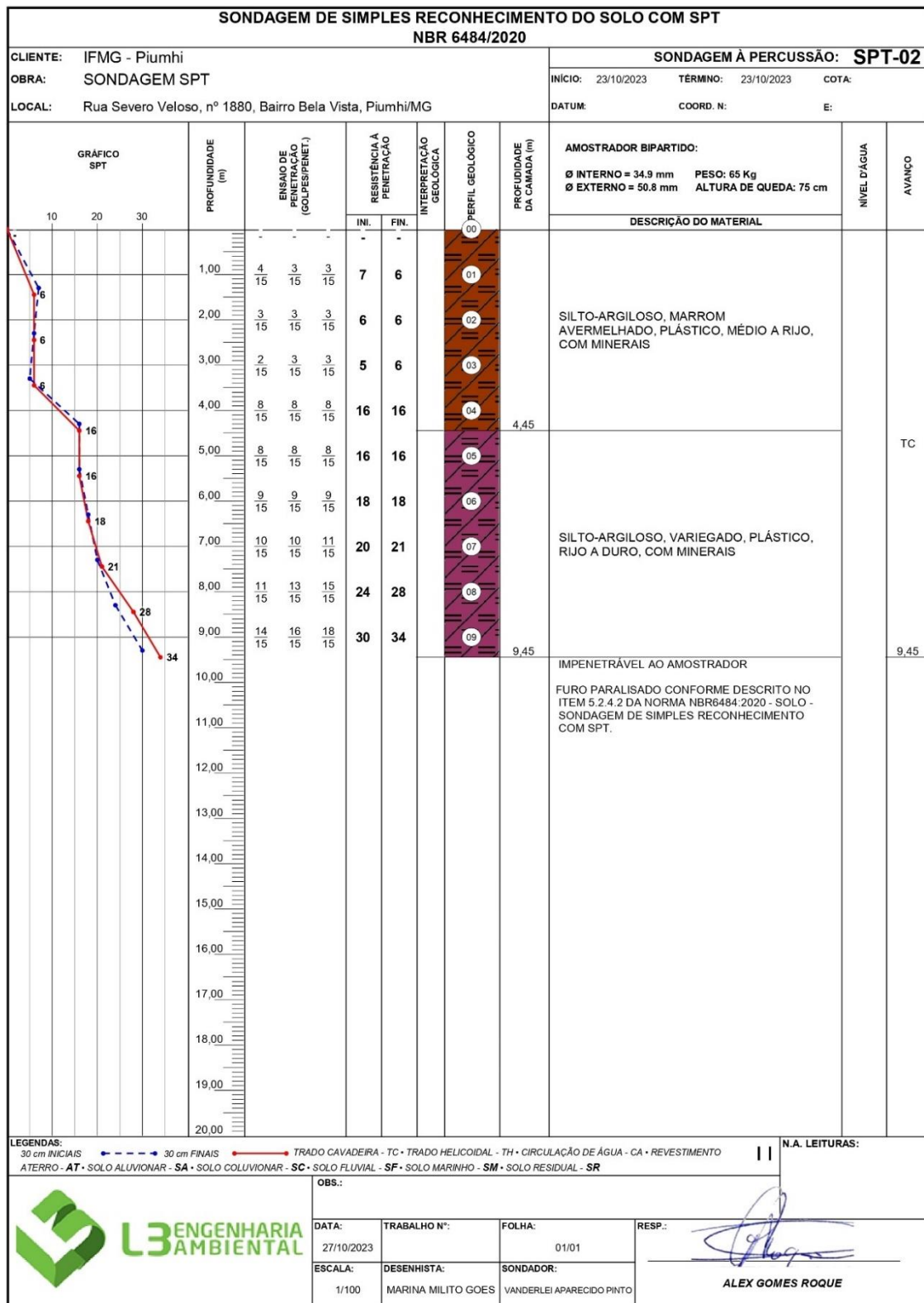
Figura 53 – Resultados da sondagem SPT-01



Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

A segunda sondagem foi feita no ponto analisado SPT-02 (Figura 54). A primeira camada de solo permanece até 5,45 m de profundidade. Essa camada apresenta a mesma composição: um solo silto-argiloso, de marrom avermelhada, plástico e com consistência média a rija e presença de minerais.

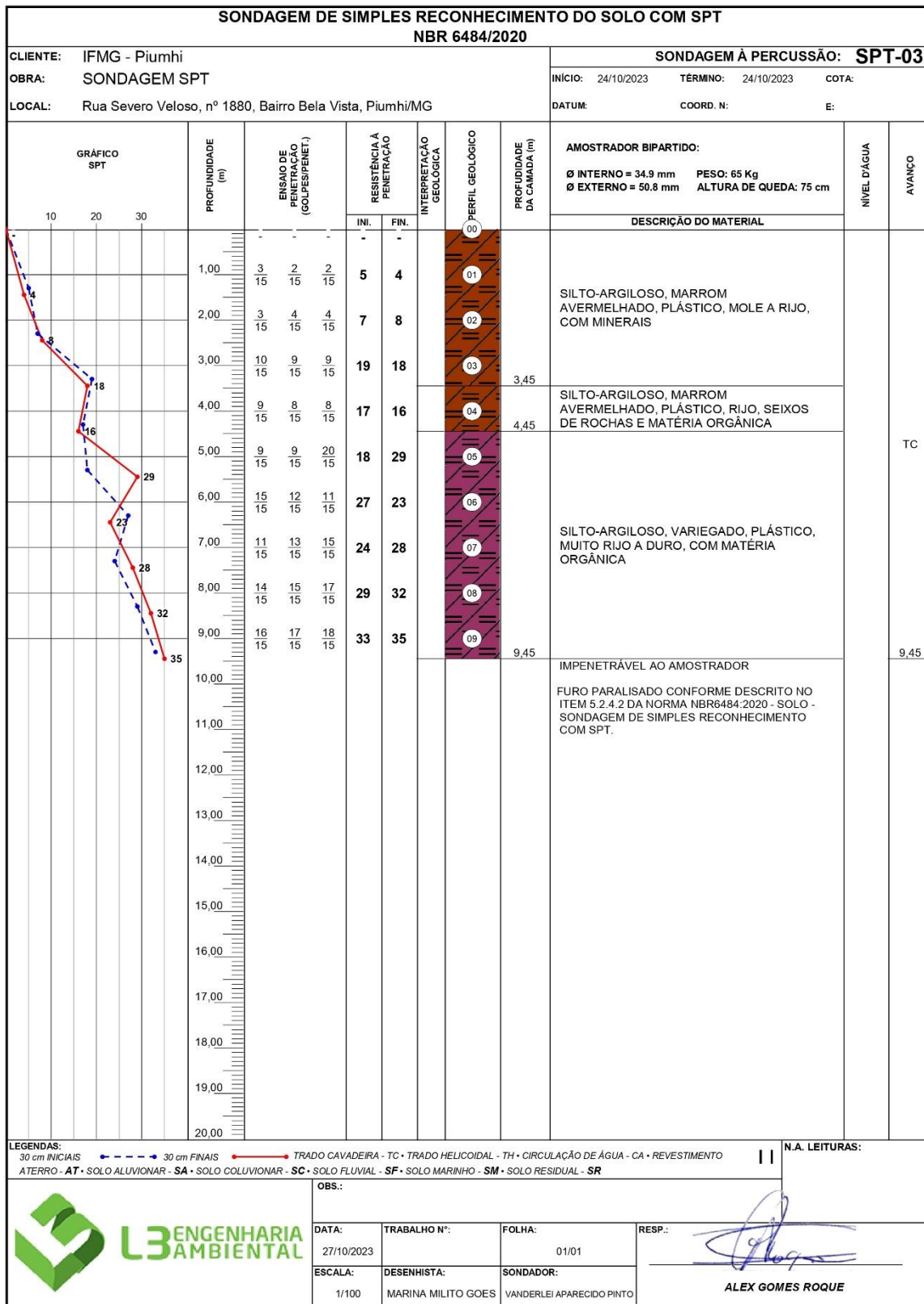
Figura 54 – Resultados da sondagem SPT-02



Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

A terceira sondagem foi feita no ponto SPT-03 (Figura 55), apresentando uma primeira camada de solo mais rasa, que permanece até 3,45 m de profundidade, constituída de solo silto-argiloso, marrom avermelhado, plástico e com consistência mole a rija e presença de minerais. E uma segunda camada de 3,45 m a 4,45 m, com características um pouco diferenciadas, como a consistência que é rija e a presença de seixos e matéria orgânica.

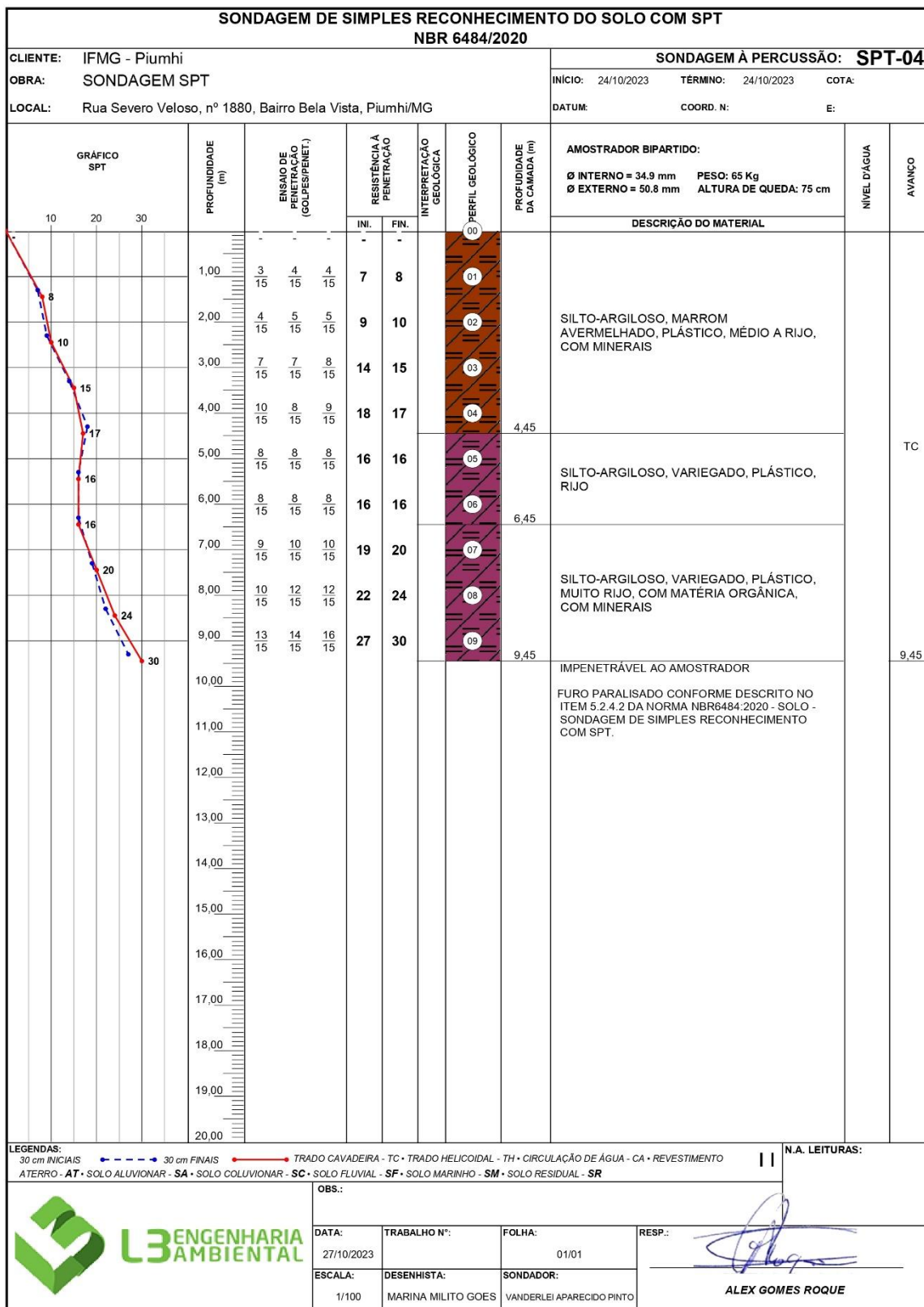
Figura 55 – Resultados da sondagem SPT-03



Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

A quarta sondagem foi feita no ponto SPT-04 (Figura 56) e apresenta as mesmas características das primeiras camadas dos outros pontos analisados: um solo silto-argiloso, marrom avermelhado, plástico e com consistência média a rija e com presença de minerais.

Figura 56 – Resultados da sondagem SPT-04

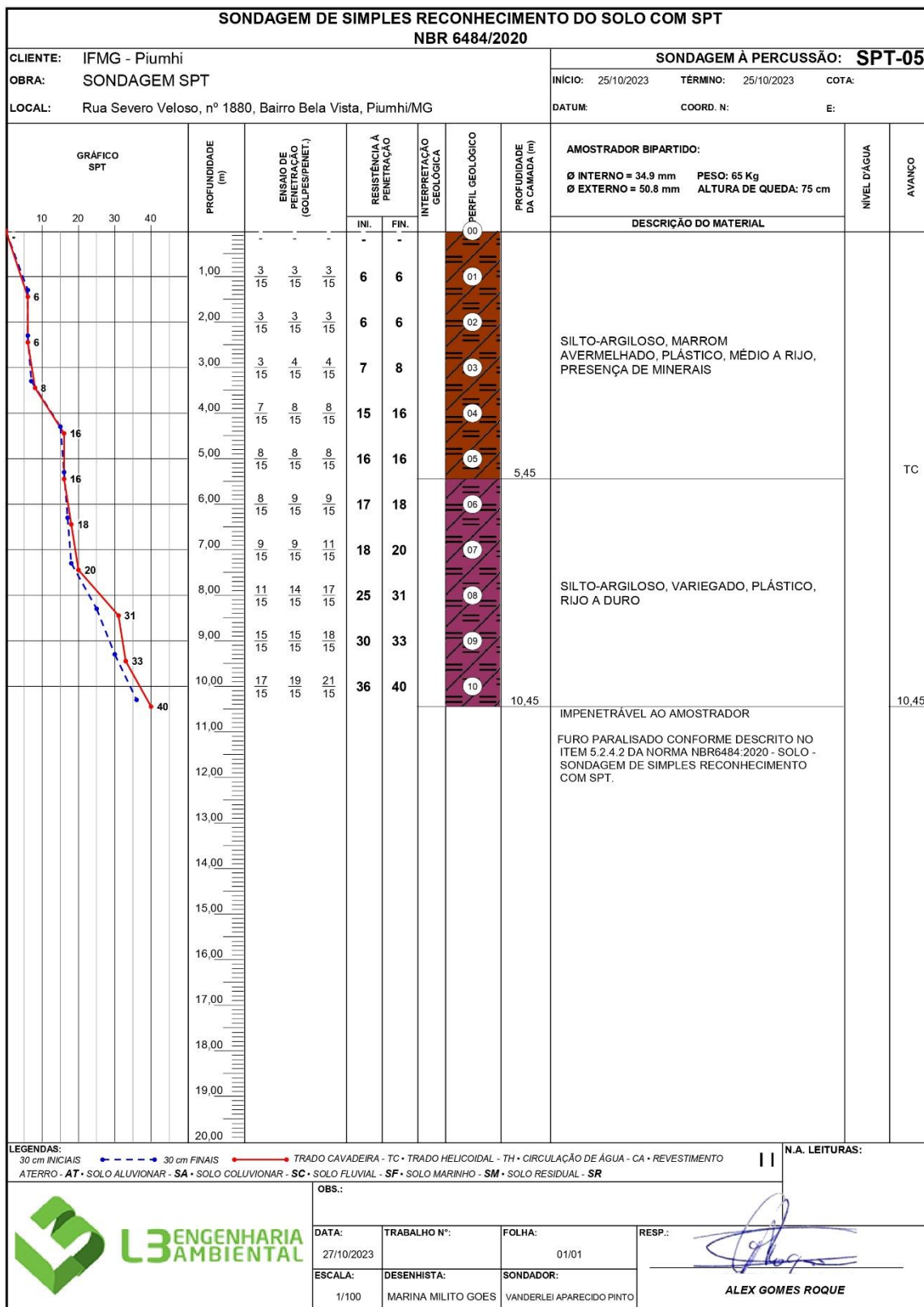


❖ Rua Napoleão Selmi Dei, 789, Vila Harmonia, Araraquara, SP, CEP: 14.802-500 • www.l3ambiental.com.br • (16) 3461-1366 • (16) 3214-2029 • (16) 99757-9998 ❖

Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

A quinta e última sondagem foi feita no ponto SPT-05 (Figura 57) e apresenta as mesmas características das primeiras camadas dos outros pontos analisados: um solo silto-argiloso, marrom avermelhado, plástico e com consistência média a rija e com presença de minerais.

Figura 57 – Resultados da sondagem SPT-05



Fonte: L3 Engenharia Ambiental, 2023.

Dado que os resultados nos diversos pontos não demonstraram variações significativas, é possível deduzir que, em todas as áreas de coleta para análise laboratorial, há predominância de argila siltosa. Conseqüentemente, podemos atribuir as características intermediárias de argila e silte. Para a conveniência da comparação com resultados já disponíveis, a escolha foi feita para elaborar o Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo das classificações

Ponto	Classificação de acordo com a carta de plasticidade	Classificação preexistente
P-01	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	-
P-02	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	-
P-03	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	Silte argiloso de consistência mole a rija e cor marrom avermelhada
P-04	Silte inorgânico de alta compressibilidade, com alta plasticidade e cor vermelha	Argila siltosa de consistência mole a rija e cor vermelha
P-05	Silte inorgânico de média compressibilidade, com consistência e cor vermelha	Argila siltosa de consistência mole a média e cor vermelha
P-06	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	Argila siltosa de média consistência e cor vermelha
P-07	Silte inorgânico de alta compressibilidade, com alta plasticidade e cor vermelha	-
P-08	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	-
P-09	Silte inorgânico de média compressibilidade, com média plasticidade e cor vermelha	-

Fonte: Arquivo próprio, 2024.

As análises estão em concordância com os ensaios executados, os quais classificaram o solo em termos de argila e silte para todos os pontos de ensaio. No entanto, ao avaliar a carta de plasticidade, os resultados sugerem que o solo se enquadra como um silte inorgânico de média compressibilidade. Essas variações podem ser atribuídas à presença das duas frações finas nas amostras, o que possivelmente conduziu a interpretações divergentes. Tal fato pode ser confirmado por meio das análises dos pontos de sondagem coletados.

Essa Classificação influencia diretamente em alguns fatores como o comportamento mecânico, alterando a resistência, a compressibilidade e a expansividade. Já na drenagem e permeabilidade os solos com diferentes classificações podem ter taxas de drenagem e permeabilidade distintas. Isso é importante para projetos de drenagem, fundações e sistemas de escoamento de água. A compactação e estabilidade são afetadas pela classificação e pelas características das frações finas presentes. Variações na classificação podem exigir diferentes técnicas de compactação e podem influenciar na estabilidade de taludes e aterros (MARTINEZ et al., 2003).

6 CONCLUSÃO

A importância deste trabalho é evidente no contexto do estudo e da compreensão aprofundada das propriedades do solo no IFMG – *Campus* Avançado Piumhi. Os resultados obtidos fornecem informações valiosas sobre a composição e comportamento do solo, que permitiu um estudo detalhado das características que influenciam diretamente em projetos de infraestrutura e construção civil.

As análises feitas de acordo com os ensaios apresentaram resultados satisfatórios quando comparados às preexistentes, porém, devido à proximidade do tamanho dos grãos de silte e argila, as características podem se assemelhar, levando a interpretações equivocadas de amostras. No presente trabalho, a classificação quanto ao tamanho dos grãos levou a dois resultados distintos que foram confirmados, apresentando-se misturados, pois as amostras possuem os dois tamanhos de grãos.

Para uma melhor distinção entre os tamanhos das partículas, sugere-se, em uma próxima caracterização física do solo, a realização de ensaios de granulometria completos, sendo ele composto pelo ensaio de granulometria por peneiramento e por sedimentação das amostras, para que possam ser determinadas as porções de areia, silte argila e grãos maiores.

Dessa forma, o objetivo de realizar a caracterização física do solo foi atingido com sucesso, pois as amostras foram devidamente coletadas e representam bem a região do *campus*. Adicionalmente, os ensaios planejados foram realizados de acordo com as normas vigentes e puderam ser confrontados com as análises geotécnicas preexistentes, o que permitiu uma associação direta entre a teoria estudada nas matérias de mecânica dos solos e sua aplicação prática.

Em geral a caracterização do solo do IFMG – *Campus* Avançado Piumhi trouxe bons resultados tanto em relação aos ensaios quanto no desenvolvimento prático de laboratório, visto que as matérias de mecânica dos solos que tratavam dos tópicos abordados nesse trabalho foram vistas no ensino remoto durante a pandemia de COVID-19. Dessa forma, grande parte do conteúdo abordado em sala de aula pode ser executado, desde a coleta e preparação das amostras aos ensaios de caracterização.

Além de todo o aprendizado adquirido com a realização desse trabalho, os dados coletados servirão como valioso auxílio para o planejamento e execução de projetos de infraestrutura, construção e manutenção, contribuindo significativamente

para o contínuo aprimoramento e desenvolvimento do IFMG – *Campus Avançado* Piumhi.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. R. **Caracterização físico-hídrica dos solos da bacia do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG**. Instituto de Geociências da UFMG. Belo Horizonte. 2018.
- ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de engenharia. Departamento de transportes. 2005.
- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. C. **Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água**. Engenharia Agrícola. Scielo. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/7K3zRKFkjSqTYBTfMZDTMND/?lang=pt>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9813**: Solo – Determinação da massa específica aparente *in situ*, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BRANCO, P. M. **O Geólogo e a Geologia**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/O-Geologo-e-a-Geologia-1116.html>. Acesso em: 23 de jul. de 2020.
- BRANCO, P. M. **Os Solos**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Os-Solos-2620.html>. Acesso em: 23 de jul. de 2020.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6ª ed. Volume 1. Rio de Janeiro. Editora LTC. 1988.
- CERQUEIRA, F. C. Sistema de Coordenadas UTM. **Revista Tecnologia**, v. 1, 1991.

DAS, B. M. SOBHAN, K. **Principles of geotechnical engineering**. 8th ed. Cengage Learning. 2014.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNER-ME 082/94**: Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: DNIT. 2005. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me082-94.pdf>. Acesso em: 23 de ago. de 2020.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNER-ME 122/94**: Solos – determinação do limite de liquidez- método de referência. Rio de Janeiro: DNIT. 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me122-94.pdf>. Acesso em: 23 de ago. de 2020.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNER-ME 213/94**: Solo - Determinação do teor de umidade. Pág., 3. Rio de Janeiro: DNIT. 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me213-94.pdf>. Acesso em: 26 de ago. de 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Distrito Federal. 2018.

GOMES, A. M.; ROCHA, R. B. Descobrimento/achamento, encontro/contato e invasão/conquista: a visão dos índios na descoberta da América Portuguesa. **identidade!** v. 21, n. 1, p. 91-109, 2016.

MACHADO, J. R. F. **Metodologias de pesquisa: um diálogo quantitativo, qualitativo e quali-quantitativo**. Devir Educação, v. 7, n. 1, 2023.

MARTINEZ, G. S. et al. **Estudo do comportamento mecânico de solos lateríticos da formação barreiras**. 2003.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação 10 por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3ª ed. Oficina de Textos. São Paulo. 2011.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTARÉM, S.S.; RODRIGUES, F.A.; FIGUEIREDO, S. C. G. **Engenharia Civil: Inovação e tecnologia no contexto da era contemporânea**. Vol.3. FAMETRO. Editora Poisson. Belo Horizonte, 2021.

SILVA, A. C. S. **Definição de padrões de plasticidade de solos através do cone de penetração, por comparação com o método de Casagrande**. Porto, 2013.

Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/47139531.pdf>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

Soil Survey Manual. Soil Science Division Staff. Washington, D.C. USDA Handbook n.18. 2017. Disponível em:

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/scientists/?cid=nrcs142p2_054262. Acesso em: 23 de jul. de 2020.

SOUZA, S.S. **Caracterização Física e Qualidade do Solo em Reservas**

Ambientais na Serra Do Curral, MG. Universidade Federal de São João Del Rei. Sete Lagoas. 2016. Disponível em:

[https://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Saulo%2025_2_16\(3\).pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Saulo%2025_2_16(3).pdf). Acesso em: 26 de jul. de 2020.

SOUZA, C. M. A. RAFULL, L. Z. L. VIERA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Vol.4. No.3. Campina Grande. 2000. Disponível em:https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000300024. Acesso em 25 de jul. de 2020.