



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FUNDAÇÃO NORTE-RIO-GRANDENSE DE PESQUISA E CULTURA

**SERVIÇOS DE PESQUISA E EXTENSÃO EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA
(GEOTECH-UFRN)**

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS (LAB SOLOS-UFRN)

RELATÓRIO - Nº 2025-08-011 – GEOTECH-FUNPEC-UFRN:

**PROJETO EXECUTIVO PARA RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO - TRECHO
DE 346m DE RODOVIA LIGANDO O COMPLEXO ISD AO PAX DA EAJ – UFRN,
JUNDIAÍ – MACAÍBA/RN**

NATAL/RN

22 / 08 / 2025

PROJETO EXECUTIVO PARA RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO - TRECHO DE 346m DE RODOVIA LIGANDO O COMPLEXO ISD AO PAX DA EAJ – UFRN, JUNDIAÍ – MACAÍBA/RN

1 INTRODUÇÃO

Este projeto executivo tem como objetivo a recuperação de um trecho de 346 metros da via de acesso ao prédio do Instituto Internacional de Neurociências Edmond e Lily Safra (IIN-ELS), localizado no Instituto Santos Dumont (ISD), no município de Macaíba, Rio Grande do Norte. O ISD está situado na Avenida Alberto Santos Dumont, nº 1.560, Zona Rural, CEP 59.288-899, Macaíba/RN, Brasil.

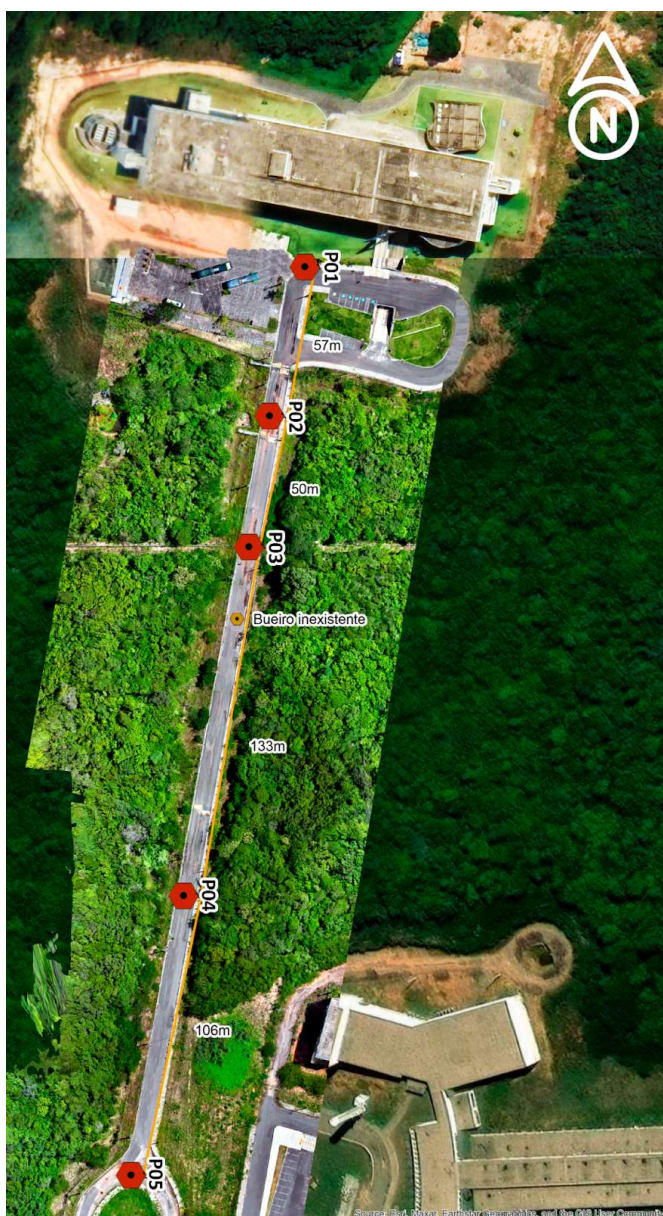
O pavimento atual apresenta defeitos funcionais e estruturais relevantes, como buracos, afundamentos, trincas de fadiga, irregularidades transversais e longitudinais que comprometem o conforto e a segurança dos usuários. Para avaliação da estrutura existente, foram realizados ensaios de campo e de laboratório nas camadas de Base, Regularização do Subleito e Subleito, abrangendo:

- Caracterização conjunta (Análise granulométrica, Teor de umidade de solos, Massa específica dos sólidos, Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez);
- Compactação;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR).

A caracterização granulométrica revelou predominância de solos arenosos siltsos e arenosos argilosos, com aumento no teor de finos nas camadas de Regularização de Subleito e do Subleito (ver resumo na Tabela 1). Todos os materiais de base apresentaram valores de Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade acima das preconizadas em norma. Os resultados (Apêndice 1) indicaram valores de CBR variando entre 2% e 27% nas camadas de base. Esses valores demonstram que o material presente não atende aos requisitos mínimos para uso como Base ($\text{CBR} \geq 60\%$) para o tipo de tráfego solicitado, mas é possível realizar o tratamento da camada para atingir suporte com intuito de aplicação como Sub-base para pavimentos intertravados e subleito para pavimentos flexíveis.

A Figura 01 apresenta a localização dos pontos onde foram extraídas as amostras para os ensaios executados. Em função das características dos perfis observados no campo, nos pontos 1, 3 e 5 foram coletadas duas amostras e nos pontos 2 e 4, três amostras.

Figura 01 - Mapa de Localização da área de projeto.



O reaproveitamento dos materiais já existentes na via com o serviço de reciclagem se torna uma solução mais viável e sustentável, visto que dispensa a necessidade da

procura de bota-fora licenciado para receber o material descartado, como também a procura de jazidas para substituição de solo.

Tabela 1 - Resumo dos ensaios realizados.

Parâmetros		Amostra											
		1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2
Análise granulométrica	Pedregulho	49,8%	9,4%	45,5%	13,1%	17,7%	56,3%	7,9%	35,7%	11,6%	7,1%	52,8%	12,6%
	Areia grossa	11,1%	17,5%	10,6%	21,8%	14,8%	9,0%	15,7%	9,4%	14,6%	12,8%	10,1%	18,6%
	Areia média	8,6%	24,9%	10,5%	18,0%	19,7%	8,7%	22,3%	11,7%	17,9%	24,6%	10,6%	20,5%
	Areia fina	8,4%	16,0%	7,4%	11,0%	13,6%	4,8%	11,4%	8,9%	13,7%	14,8%	7,1%	13,2%
	Silte	10,1%	16,7%	10,5%	15,5%	15,6%	7,3%	18,9%	15,6%	21,9%	19,2%	9,2%	18,5%
	Argila	12,0%	15,5%	15,5%	20,6%	18,7%	13,8%	23,8%	18,7%	20,4%	21,4%	10,3%	16,6%
Consistência do solo	LL	35%	33%	41%	42%	32%	46%	38%	38%	38%	31%	31%	31%
	LP	25%	20%	24%	24%	20%	24%	23%	25%	26%	23%	22%	22%
	IP	10%	13%	17%	18%	12%	22%	16%	13%	12%	8%	9%	9%
Massa específica (g/cm³)		2,693	2,717	2,629	2,616	2,618	2,720	2,680	2,680	2,722	2,670	2,638	2,654
Índice de grupo		0,00	0,96	0,86	3,18	1,15	0,89	4,15	1,18	3,39	1,95	0,00	0,64
Classificação SUCS		GM	SC	SC	SC	SC	GC	SC	SM	SM	SC	SC	SC
Classificação HRB		A-2-4	A-6	A-2-7	A-7-5	A-6	A-1-b	A-6	A-6	A-6	A-4	A-2-4	A-2-4
Compactação	Massa esp. máx. (g/cm³)	2,211	2,031	2,124	1,954	2,000	2,050	1,834	2,052	1,991	1,942	2,154	1,985
	Umidade ótima (%)	6,5	11,0	9,4	13,1	13,8	12,6	13,6	11,1	13,0	11,7	6,3	11,1
CBR	Expansão (%)	0,19	0,06	0,14	1,53	1,02	1,30	0,22	0,09	0,42	0,07	0,19	0,09
	ISC (%)	27,92	6,51	7,40	1,28	2,22	2,76	11,44	11,35	7,30	2,47	31,08	14,06
Espessura da camada		30cm	-	25cm	20cm	-	24cm	-	32cm	08cm	-	20cm	-

Historicamente, o trecho já foi submetido a intervenções, incluindo Tratamento Superficial Duplo (TSD) e aplicação de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Contudo, após certo período, os defeitos, principalmente buracos e afundamentos, retornaram (Figura 1). O tráfego na via é baixo, composto majoritariamente por automóveis de funcionários do complexo e por caminhões de eventuais serviços, usualmente com cargas leves.

A análise do levantamento topográfico prévio, realizado por drone, evidenciou que a área baixa da pista não está devidamente conectada ao bueiro existente. Observou-se que o bueiro foi executado fora da área prevista no projeto original, o que provavelmente contribuiu para o acúmulo de água e drenagem inadequada, agravando os defeitos, especialmente no período chuvoso.

Diante do diagnóstico, considerando a baixa qualidade dos solos de Base e Subleito, além da localização inadequada do bueiro, propõe-se:

- Execução de um novo pavimento sobre o pavimento existente após tratamento;
- Realocação do bueiro em local mais adequado, conforme a área baixa da pista identificada no levantamento topográfico, garantindo adequada drenagem das águas pluviais.

Esta solução visa assegurar maior durabilidade, segurança e conforto ao trecho recuperado, minimizando a reincidência das patologias observadas.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer as especificações técnicas e o dimensionamento necessários para a reabilitação do trecho em estudo, considerando o reaproveitamento das camadas de pavimento existentes como subleito em pavimento flexível ou sub-base em pavimento intertravado. O escopo do projeto inclui a regularização da plataforma, a execução de novas camadas de base, além da aplicação da imprimação e do revestimento a ser executado.

2 DIMENSIONAMENTO

Nesta etapa são apresentados os procedimentos para a determinação do Número N e o dimensionamento das camadas que compõem o pavimento: Subleito, Sub-base (quando aplicável), Base e Revestimento. Busca-se garantir que a estrutura do pavimento atenda aos requisitos de capacidade estrutural e durabilidade, considerando as solicitações previstas ao longo da vida útil do projeto (10 anos). Para este projeto, foram consideradas duas alternativas construtivas:

- **SOLUÇÃO PROPOSTA 1:** Blocos intertravados de concreto;
- **SOLUÇÃO PROPOSTA 2:** Brita Graduada Simples (BGS) com revestimento em Tratamento Superficial Duplo (TSD).

Os blocos intertravados de concreto são elementos pré-fabricados de encaixe, especificados para assentamento em ângulo de 45° em relação ao eixo da via, com espessura de 6 cm, apoiados sobre colchão de areia de 5 cm, assegurando desempenho estrutural adequado. Já o pavimento em BGS + TSD consiste em um material granular estabilizado com brita, indicado para bases de pavimentos flexíveis devido à sua adequada capacidade de suporte e facilidade de execução.

2.1 Cálculo do número N

O número N representa o total de solicitações equivalentes de eixo-padrão (ESAL – *Equivalent Single Axle Load*) que o pavimento receberá ao longo de sua vida de projeto. Para seu cálculo, adotou-se uma metodologia baseada na contagem de tráfego por tipo de veículo, considerando a equivalência de cargas para o eixo-padrão de 8,2 toneladas, determinados conforme os métodos USACE e AASHTO.

Adotou-se para o presente projeto um N estimado de 100.000 eixos-padrão. Esse valor foi utilizado como base para o dimensionamento estrutural das camadas do pavimento, em conformidade com os critérios normativos vigentes.

2.2 Pré-dimensionamento

Com base nos resultados da caracterização geotécnica (Apêndice 1), foi determinado o valor de CBR de projeto. O CBR de projeto (CBRp) (Tabelas 2 e 3) foi calculado a partir do CBR médio, do desvio-padrão e do coeficiente t para 90% de confiabilidade, segundo a equação:

$$CBR_p = CBR - \frac{\sigma x t_{0,90}}{\sqrt{n-1}}$$

Tabela 2 - Tratamento estatístico dos valores de CBR das camadas de Base.

Amostras	5
CBR médio	16,10
Desvio Padrão	12,65
t_{0,90}	1,53
CBRp	6,42

Tabela 3 - CBR de projeto da camada de Subleito.

Amostras	5
CBR médio	7,35
Desvio Padrão	5,30
t_{0,90}	1,53
CBRp	3,29

O valor obtido (6,42%) indica que o material não possui capacidade de suporte suficiente para ser utilizado como material de Base, mas é adequado para desempenhar a função de Subleito em vias de baixo a médio volume de tráfego, desde que devidamente compactado conforme as especificações normativas. Desse modo, para ambas as soluções propostas (01 - Blocos Intertravados ou 02 - BGS + TSD), deverá ser realizada a reutilização do solo da Base pré-existente no local a ser tratado para incorporação nas camadas de cada pavimento.

Nesse contexto, o pavimento existente deverá passar por um tratamento a partir de uma reciclagem profunda. A base existente (30 cm) deverá ser reciclada com adição de brita e o revestimento existente e recomposta até a cota original de altura, constituindo a camada de Sub-base para o pavimento intertravado (Solução proposta 01) ou o novo Subleito para o pavimento flexível (Solução proposta 02). A operação deverá ser realizada com recicladora de pavimento, seguida de conformação da mistura com motoniveladora até a cota definida.

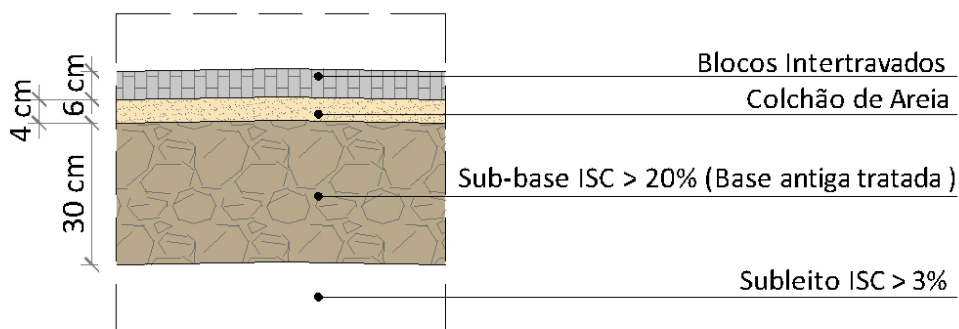
Ressalta-se que o novo Subleito, para a solução 02 (BGS + TSD) de pavimento flexível, ou a camada de Sub-base, para a solução 01 (intertravado), deverá apresentar Índice de Suporte Califórnia (ISC) mínimo de **20%**, visto que as estruturas acima projetadas foram dimensionadas considerando essa condição de suporte.

Solução proposta 1 - Blocos intertravados de concreto

O dimensionamento para a solução proposta 1 foi realizada a partir dos cálculos constantes no Apêndice 2 (Memória de Cálculo de Dimensionamento). A Figura 02 apresenta um detalhe com as cotas dimensionadas para a solução proposta 1. O Apêndice 3 apresenta o perfil longitudinal com as dimensões cotadas para a solução proposta 1. Em síntese, o pavimento com blocos intertravados deverá possuir Subleito com CBR de projeto de 3% para suportar a solicitação do tráfego, com uma Sub-base de CBR de 20% de 28 cm, camada de

assentamento entre 3 e 5 cm (colchão de areia) e revestimento com blocos intertravados de concreto, com Resistência à Compressão Simples (RCS) de 35 MPa, de 6 cm.

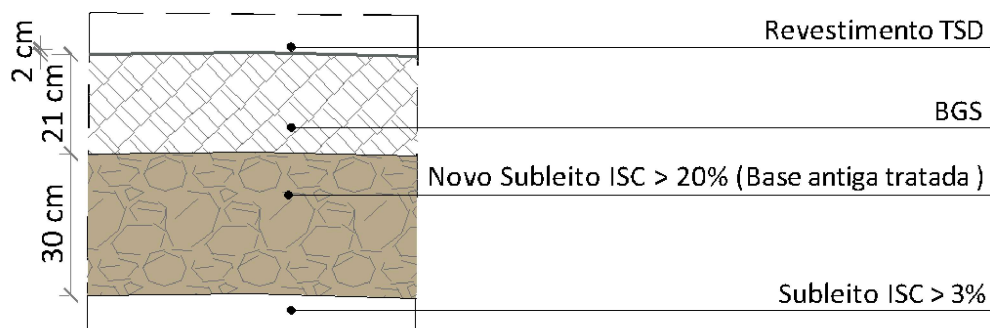
Figura 02 - Detalhe do perfil transversal da solução proposta 1 - blocos intertravados.



Solução proposta 2 - Brita Graduada Simples (BGS) com revestimento em Tratamento Superficial Duplo (TSD)

O dimensionamento para a solução proposta 2 foi realizada a partir dos cálculos constantes no Apêndice 2 (Memória de Cálculo de Dimensionamento). A Figura 03 apresenta um detalhe com as cotas dimensionadas para a solução proposta 2. O Apêndice 3 apresenta o perfil longitudinal com as dimensões cotadas para a solução proposta 2. Em síntese, o pavimento com BGS deverá possuir novo Subleito com CBR de 20% para suportar a solicitação do tráfego com uma camada de base de BGS de 21 cm e revestimento de Tratamento Superficial Duplo (TSD) de 2 cm.

Figura 03 - Detalhe do perfil transversal da solução proposta 2 - BGS + TSD.



3 SERVIÇOS PREVISTOS

3.1 Etapa 1 – Realocação do Bueiro

Nesta etapa será realizada a realocação do bueiro existente, de forma a compatibilizar sua posição e cota com o novo perfil do pavimento. O procedimento compreenderá a escavação controlada do trecho, a desmontagem parcial ou total da estrutura existente (quando necessário) e a posterior reinstalação na posição adequada, assegurando a continuidade do escoamento das águas pluviais e a estabilidade do sistema de drenagem.

O bueiro deverá ser reposicionado conforme o projeto executivo de drenagem, respeitando a declividade mínima de escoamento, o correto alinhamento e a compactação adequada do material de reaterro. A instalação será executada a uma profundidade mínima de **1,0 m**, garantindo recobrimento superior também de **1,0 m** de solo compactado sobre a geratriz superior do bueiro, de modo a proteger a estrutura contra esforços de tráfego e minimizar riscos de recalques diferenciais ou infiltrações.

Durante a execução, deverão ser observados cuidados quanto à proteção lateral e ao controle tecnológico da compactação em camadas sucessivas não superiores a 20 cm, utilizando material granular adequado (preferencialmente brita graduada ou areia grossa).

Recomendações e maquinário:

- Escavadeira hidráulica para abertura de vala e movimentação da estrutura;
- Guincho ou pá carregadeira para o içamento e posicionamento dos elementos do bueiro;
- Motoniveladora para regularização da superfície e conformação do reaterro;
- Rolo compactador vibratório ou pé-de-carneiro para compactação do solo em camadas;
- Controle topográfico para verificação de alinhamento, declividade e cota de assentamento.

3.2 Etapa 2 – Reciclagem da Camada de Base Atual

Nesta etapa, será utilizada a máquina recicladora para pulverizar o revestimento existente junto com o material da base, compondo a mistura reciclada. Para garantir a melhora das propriedades da mistura reciclada, deve-se realizar a estabilização com a adição de determinada porcentagem de agregados graúdos a ser definido pelo projeto da nova mistura.

Esta operação promove a reutilização do material do revestimento e de demais camadas subjacentes, melhora suas características e prepara a superfície para receber as camadas superiores do pavimento.

Recomendações e maquinário:

- Máquina recicladora para pulverizar, misturar e umidificar os materiais que irão compor a nova mistura reciclada.
- Caminhão Pipa para abastecer a recicladora com a água que irá umidificar a mistura a ser compactada.
- Rolos do tipo liso e corrugados (pé de carneiro) para compactação da mistura.

3.3 Etapa 3 – Preparação do Subleito ou Sub-base

Será realizada a regularização e acabamento da superfície após a reciclagem e compactação para atendimento da geometria e abaulamento projetados.

Recomendações e maquinário:

- Motoniveladora para acabamento e regularização da superfície;
- Controle topográfico para garantia do atendimento às cotas de projeto.

3.4 Etapa 4 – Execução da Camada de Base

Aplicação da camada de base utilizando Brita Graduada Simples (BGS), com a recomendação do atendimento a alguma faixa granulométrica da norma DNIT 141/2022-ES, ou Blocos intertravados, conforme o projeto. A espessura compactada prevista é de 21 cm para BGS ou um colchão de areia de 5cm para blocos intertravados de 6 cm.

Recomendações e maquinário:

- Compactação com rolo liso vibratório até alcançar 100% do Proctor Modificado.
- Controle rigoroso da umidade para garantir a eficiência da compactação e o desempenho da camada.

3.5 Etapa 5 – Imprimação

Será aplicada a emulsão asfáltica do tipo EAI (Emulsão Asfáltica para Imprimação) com taxa entre 0,9 e 1,7 L/m² sobre a camada de base, a depender da textura e absorção do material, para promover uma impermeabilização prévia e melhora de aderência com o revestimento a ser executado.

Recomendações e maquinário:

- Caminhão com barra espargidora;
- Controle da taxa aplicada;
- Tempo mínimo de cura da emulsão de 24 horas antes da liberação para o serviço posterior.

3.6 Etapa 6 – Revestimento (Tratamento Superficial Duplo ou Blocos de intertravado)

Para a solução do TSD, será executada a primeira camada do revestimento com uma taxa de RR-2C entre 1,2 e 1,8 L/m² e de agregados entre 20 e 25 kg/m². Após a aplicação desses materiais, deve-se realizar a compactação com rolos lisos do tipo Tandem e Pneumáticos e a varrição do excesso de agregados soltos. Realiza-se a aplicação da segunda camada com taxa da mesma emulsão entre 0,8 e 1,2 L/m² e de agregados entre 10 e 12 kg/m² e os mesmos procedimentos posteriores da primeira camada. Deve-se atender as curvas granulométricas dos agregados conforme preconizado em norma. As taxas de agregados e emulsão devem ser especificadas em projeto.

Para a solução do intertravado, executa a camada de assentamento uniformemente para que sua espessura após compactação (a compactação deve ser realizada após o assentamento dos blocos) se situe entre 3 e 5 cm. A camada de assentamento não deve corrigir irregularidades da base. Posteriormente realiza o rejuntamento com areia e pedrisco,

se necessário pode usar material asfáltico com pedrisco. Finalmente são assentados os blocos de intertravado, conforme procedimentos de norma, e realizada a compactação com sobreposição mínima de 15 cm para evitar degraus. Deve fazer o confinamento do conjunto de areia de assentamento e blocos com guias ou sarjetas.

Recomendações e maquinário:

- Caminhão com barra espargidora (TSD);
- Caminhão distribuidor de agregados (TSD);
- Rolos lisos do tipo Tandem e rolos pneumáticos (TSD);
- Vassoura mecânica (TSD);
- Placa vibratória (Intertravado).

3.7 Considerações Técnicas Complementares

- O pavimento existente será reaproveitado como Subleito, com reforço adequado, reduzindo custos e impactos ambientais;
- Os solos predominantes, conforme ensaios, são arenosos siltosos e arenosos argilosos, exigindo atenção no controle da umidade de compactação;
- O controle tecnológico da obra será realizado por ensaios de compactação e densidade in situ (Speedy e frasco de areia), conforme normas DNIT.
- A utilização da solução do intertravado é vantajosa, pois garantirá um aumento do nível do greide da via o mais próximo do nível atual, evitando intervenções na calçada e dispositivos de drenagem existentes. Também tem como fatores positivos a questão estética, conforto térmico e fácil manutenção se comparada com a solução usando revestimento asfáltico.

4 EQUIPE TÉCNICA

Olavo Francisco dos Santos Júnior

Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Solos e do Projeto GEOTECH (UFRN/FUNPEC).

Oswaldo de Freitas Neto

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Vice Coordenador do Projeto GEOTECH (UFRN/FUNPEC).

Débora Mendes Gomes

Técnica do Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN.

Diogo Gomes Pereira Batista

Técnico do Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN.

George Luis Moraes Rolemberg

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Pedro Júlio Castro dos Santos

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Richard Souza Viana

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Iago Miranda Beserra Gurgel Sena

Graduando do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

João Victor Nóbrega Pimentel

Graduando do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

Shirley Buse de Oliveira

Graduanda do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

APÊNDICE 1 - Relatório Técnico de Ensaios



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
FUNDAÇÃO NORTE-RIO-GRANDENSE DE PESQUISA E CULTURA

SERVIÇOS DE PESQUISA E EXTENSÃO EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA (GEOTECH-UFRN)
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS (LAB SOLOS-UFRN)

RELATÓRIO - Nº 2025-08-010 – GEOTECH-FUNPEC-UFRN:
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO, COMPACTAÇÃO E CBR DE AMOSTRAS DO
MUNICÍPIO DE MACAÍBA/RN - ISD

NATAL/RN
22 / 08 / 2025

1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados de ensaios de caracterização conjunta, compactação e *California Bearing Ratio* (CBR) de amostras de solo referentes a pavimentação de solo do Instituto Santos Dumont, localizadas no município de Macaíba/RN. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A coleta das amostras do solo foram do tipo “deformadas”. As amostras foram identificadas de acordo com a numeração a seguir:

- Ponto 01:
 - Amostra 1.1 Base (Figura 01);
 - Amostra 1.2 Subleito (Figura 01);
- Ponto 02:
 - Amostra 2.1 Base (Figura 02);
 - Amostra 2.2 Regularização de Subleito (Figura 02);
 - Amostra 2.3 Subleito (Figura 02);
- Ponto 03:
 - Amostra 3.1 Base (Figura 03);
 - Amostra 3.2 Subleito (Figura 03);
- Ponto 04:
 - Amostra 4.1 Base (Figura 04);
 - Amostra 4.2 Regularização de Subleito (Figura 04);
 - Amostra 4.3 Subleito (Figura 04);
- Ponto 05:
 - Amostra 5.1 Base (Figura 05);
 - Amostra 5.2 Subleito (Figura 05);

A localização dos pontos foi representada no mapa da Figura 06. A Figura 07 apresenta um perfil esquemático com as profundidades das amostras coletadas de acordo com os níveis de Base, Regularização de Subleito e/ou Subleito. Para cada amostra, foram realizados os seguintes ensaios:

- Caracterização conjunta (Análise granulométrica, Teor de umidade de solos, Massa específica dos sólidos, Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez);
- Compactação;

- Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR).

Figura 01 - Ponto 01: Amostra 1.1 (A) e Amostra 1.2 (B), respectivamente.

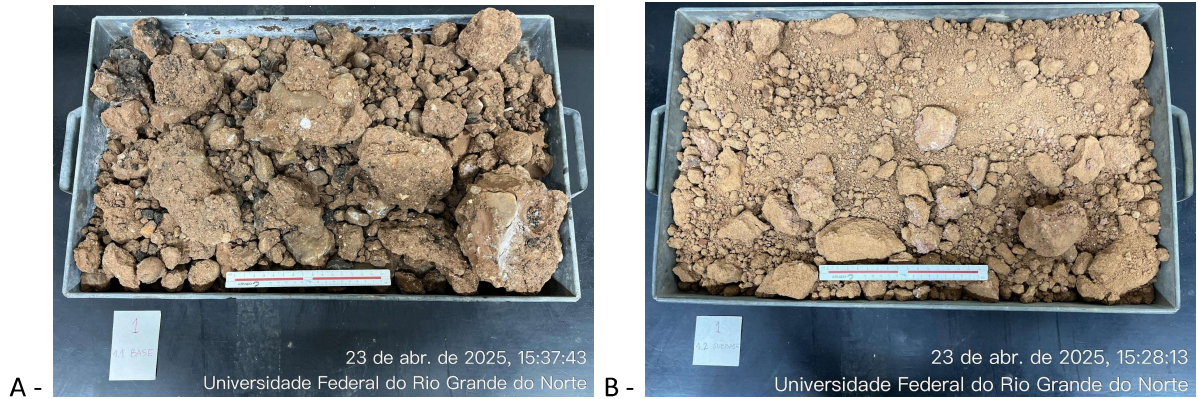


Figura 02 - Ponto 02: Amostra 2.1 (A), Amostra 2.2 (B) e Amostra 2.3 (C), respectivamente.

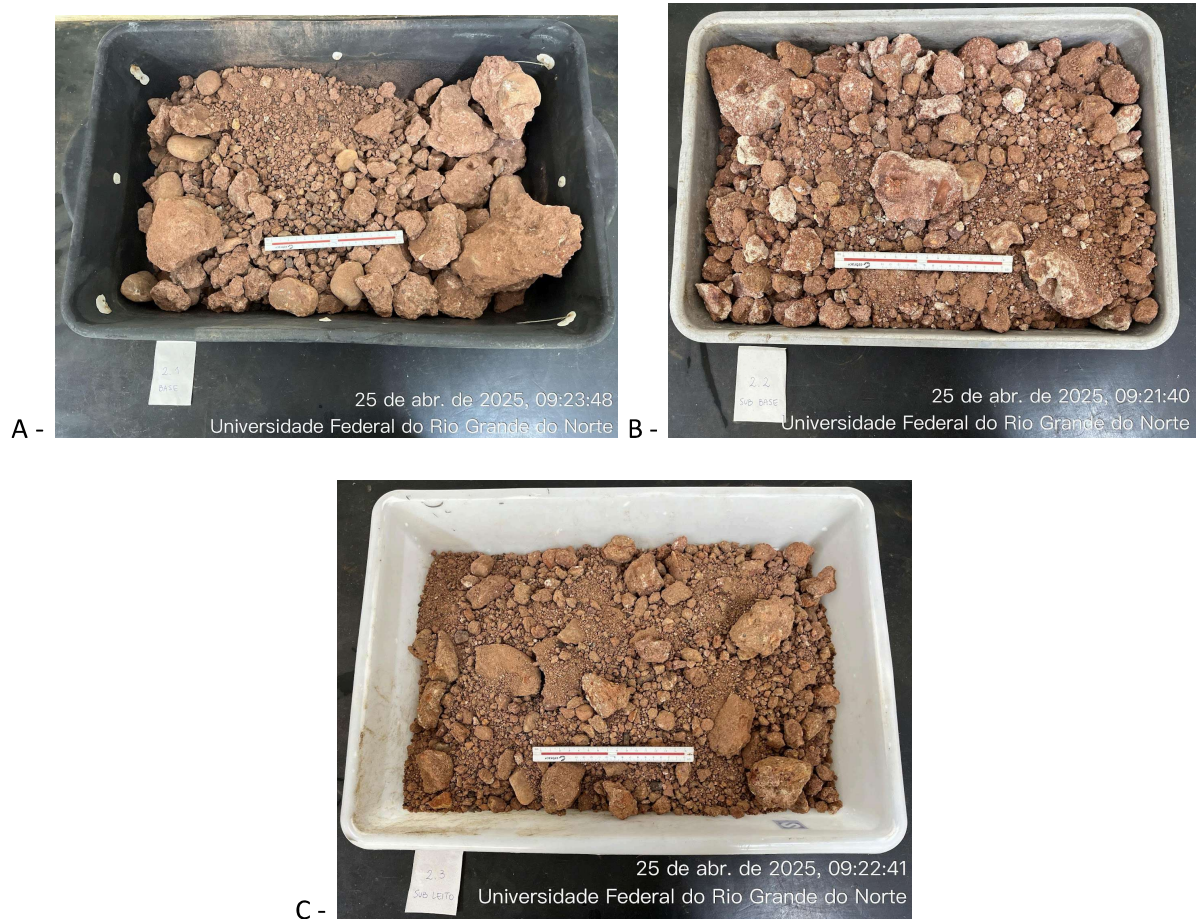


Figura 03 - Ponto 03: Amostra 3.1 (A) e Amostra 3.2 (B), respectivamente.



Figura 04 - Ponto 04: Amostra 4.1 (A), Amostra 4.2 (B) e Amostra 4.3 (C), respectivamente.

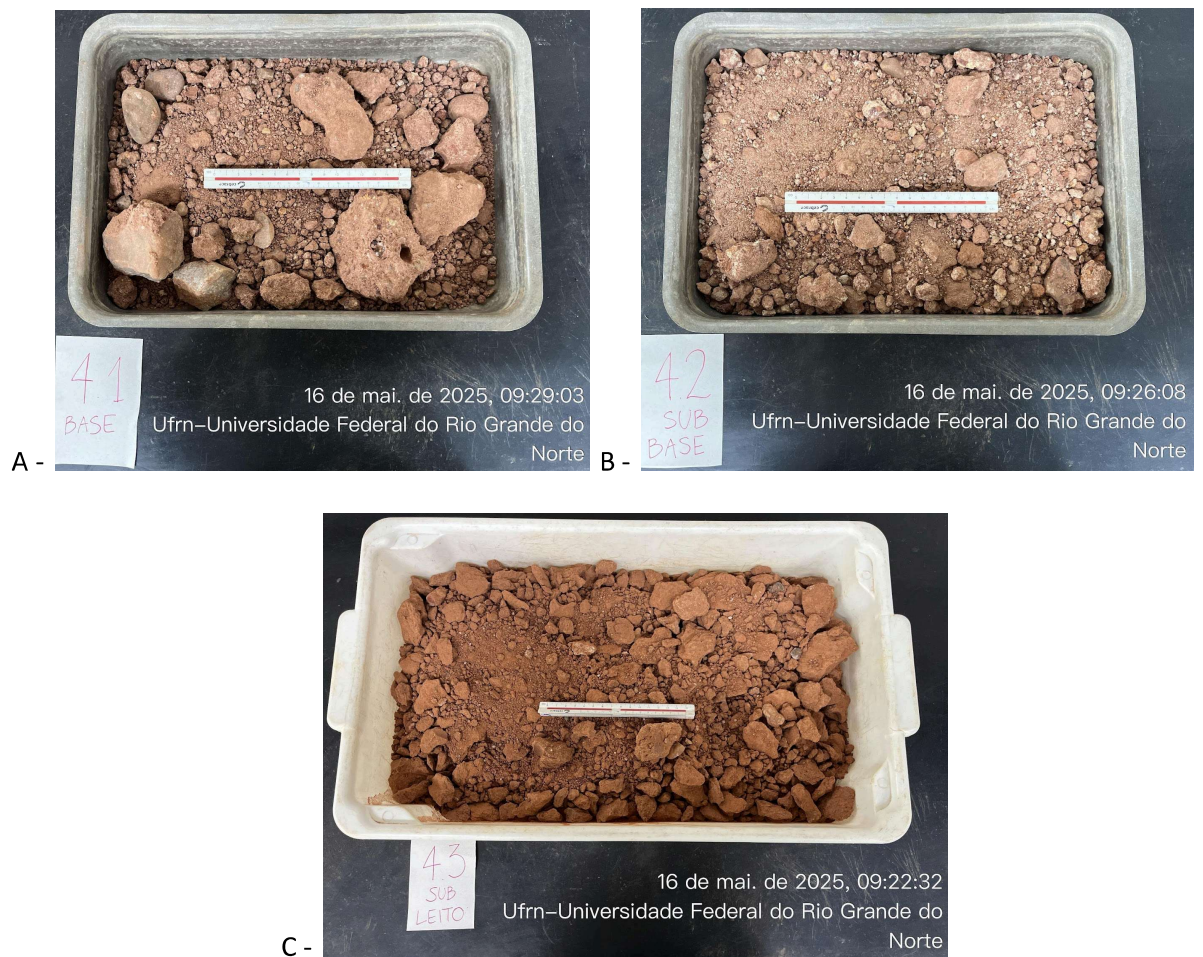


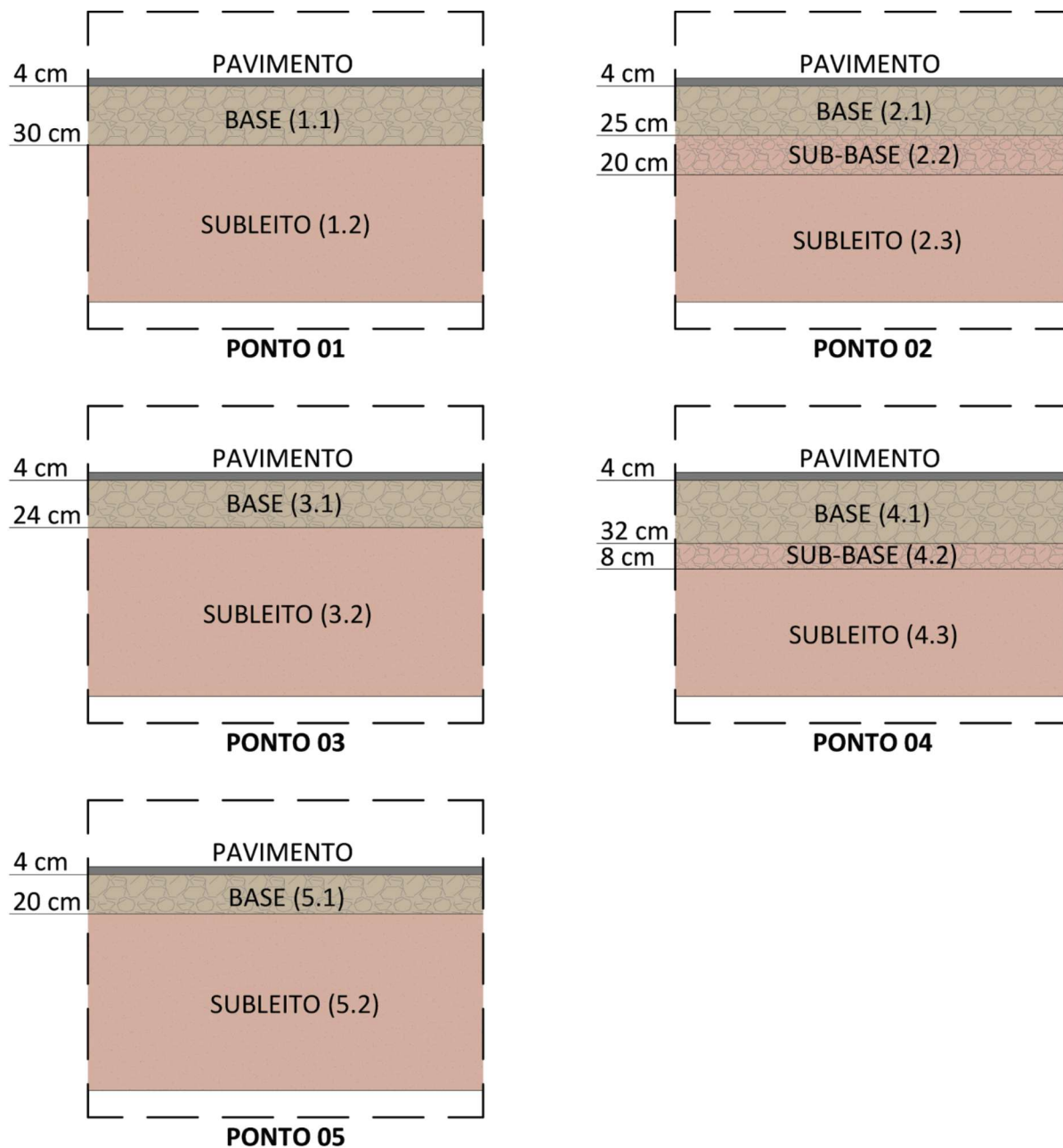
Figura 05 - Ponto 05: Amostra 5.1 (A) e Amostra 5.2 (B), respectivamente.



Figura 06 - Mapa de localização dos pontos de coleta.



Figura 07 - Perfil esquemático das amostras de solo.



2 MÉTODOS E REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Os documentos relacionados a seguir foram utilizados para os procedimentos de preparação de amostras e execução dos referidos ensaios.

- ABNT NBR 6457, Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade;
- ABNT NBR 7181, Solo - Análise granulométrica;

- ABNT NBR 17212, Solos - Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0mm;
- ABNT NBR 7180, Solo - Determinação do limite de plasticidade;
- ABNT NBR 6459, Solo - Determinação do limite de liquidez;
- ABNT NBR 7182, Solo - Ensaio de Compactação;
- ABNT NBR 9895, Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio;
- DNIT 141/2022-ES, Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço;
- DNIT 108/2009-ES, Terraplenagem - Aterros - Especificação de Serviço.

A preparação das amostras foi feita com secagem prévia ao ar. A análise granulométrica de solo foi realizada através da combinação de peneiramento e sedimentação. A determinação da massa específica dos sólidos foi realizada por meio de picnômetro com 02 repetições para obtenção de média final. A determinação dos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) foi utilizada para o cálculo do índice de plasticidade (IP), onde $IP = LL - LP$; considerando o solo como Não Plástico na impossibilidade de realização dos procedimentos normativos para o LL ou LP.

Os ensaios de compactação foram realizados com reuso do material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível, além disso, foi adotada a energia modificada para as amostras de base (1.1, 2.1, 3.1, 4.1 e 5.1) e a energia intermediária para as amostras de Regularização de Subleito e Subleito (2.2, 2.3, 3.2, 4.2, 4.3 e 5.2) no processo de execução dos ensaios. As mesmas energias foram utilizadas nos respectivos ensaios de CBR para cada amostra. Para o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) foram utilizadas as amostras deformadas de material passante na peneira #19mm de acordo com a NBR 6457.

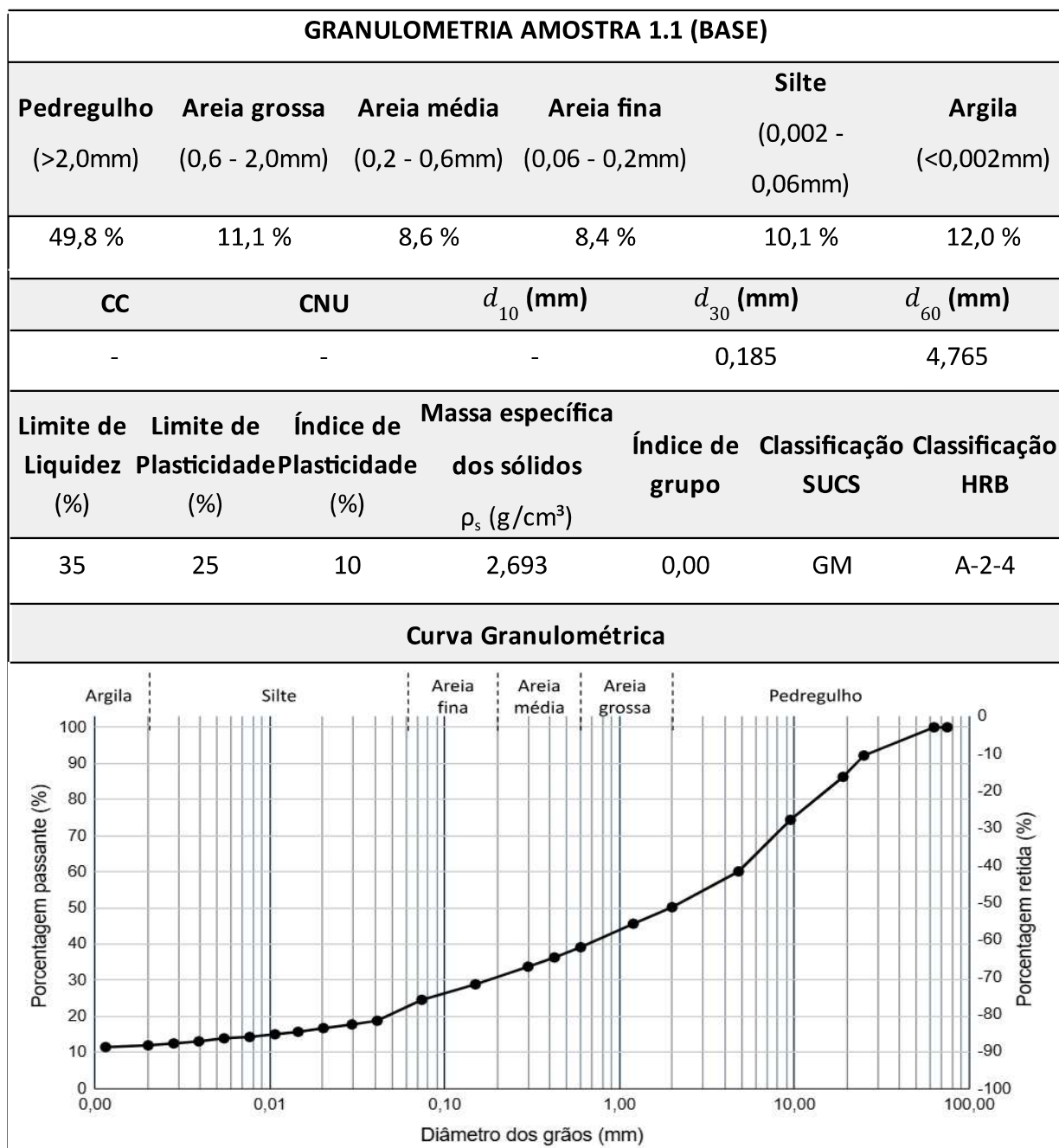
3 RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO CONJUNTA

Nesta seção são apresentados os resultados dos ensaios de Caracterização conjunta, Compactação e CBR realizados em frações de solo ou corpos de prova moldados a partir de amostras do tipo “deformadas”. A caracterização conjunta compreende a análise granulométrica de solo, a determinação da massa específica dos sólidos, a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade. Desse modo, foi possível caracterizar as amostras e identificá-las de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS).

3.1 AMOSTRA 1.1 BASE

O Quadro 01 traz os percentuais granulométricos da Amostra 1.1, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **GM (Pedregulho Siltoso)** e **A-2-4**, respectivamente.

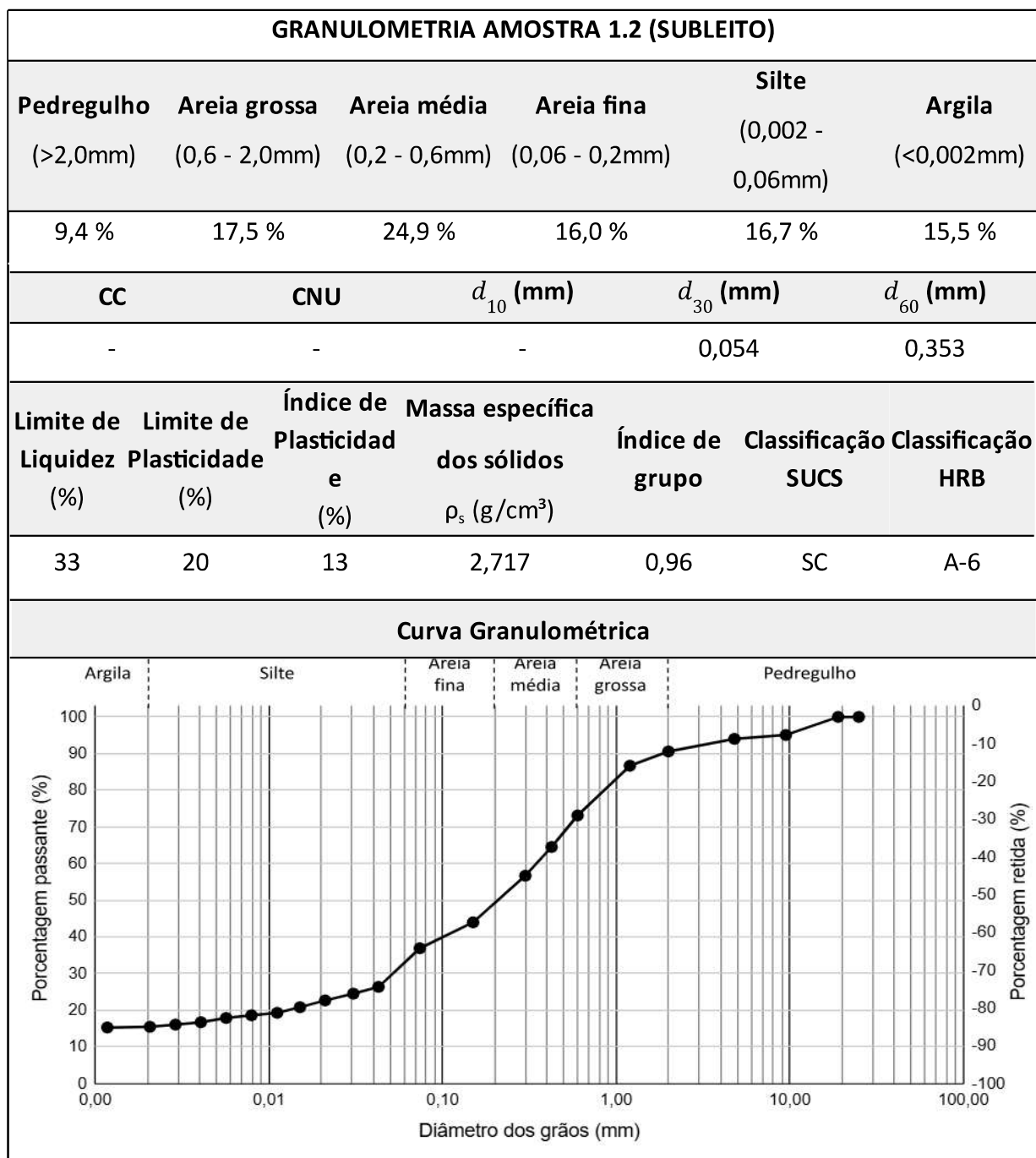
Quadro 01 - Caracterização conjunta da Amostra 1.1 (Base).



3.2 AMOSTRA 1.2 SUBLEITO

O Quadro 02 traz os percentuais granulométricos da Amostra 1.2, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-6**, respectivamente.

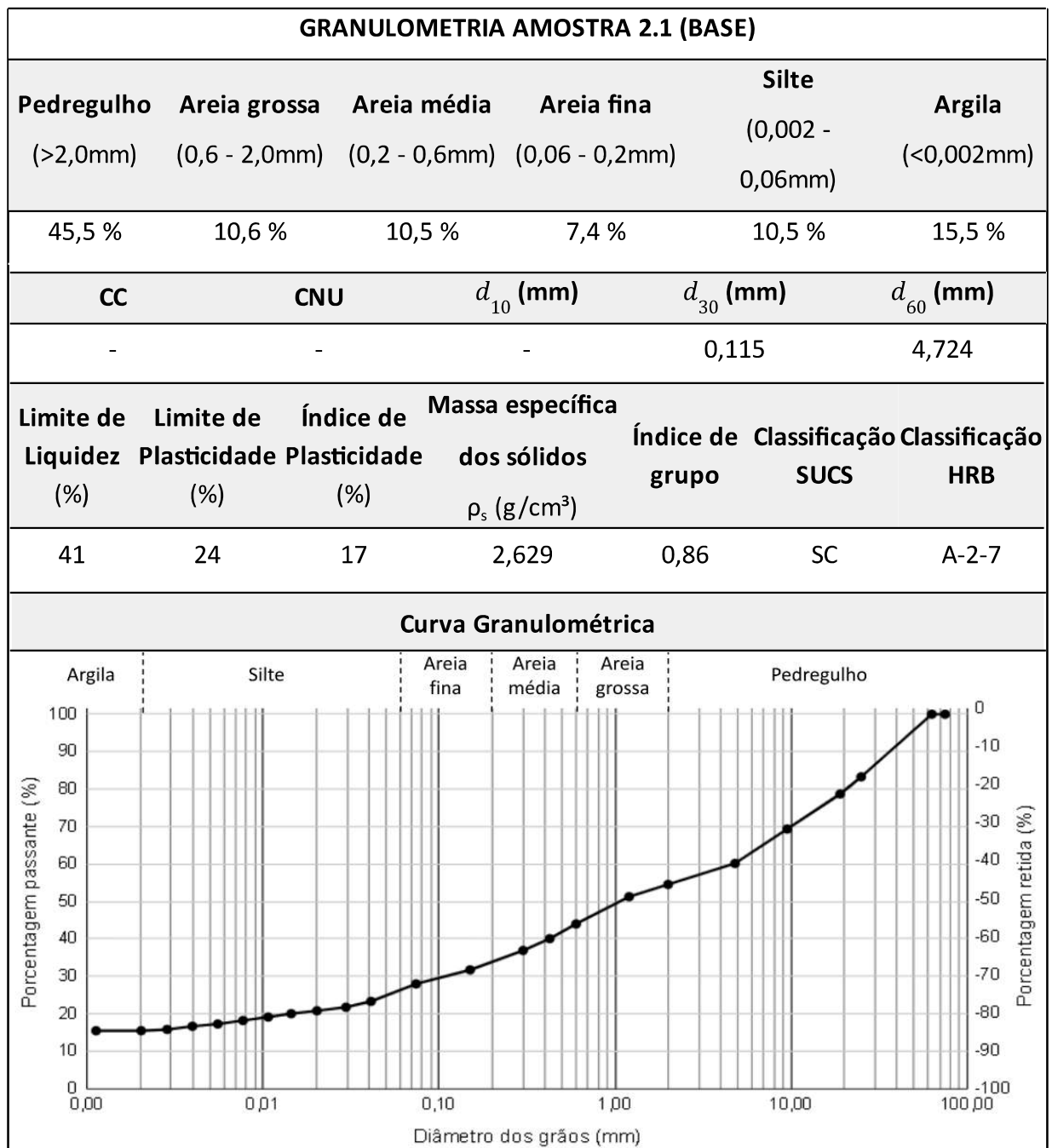
Quadro 02 - Caracterização conjunta da Amostra 1.2 (Subleito).



3.3 AMOSTRA 2.1 BASE

O Quadro 03 traz os percentuais granulométricos da Amostra 2.1, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-2-7**, respectivamente.

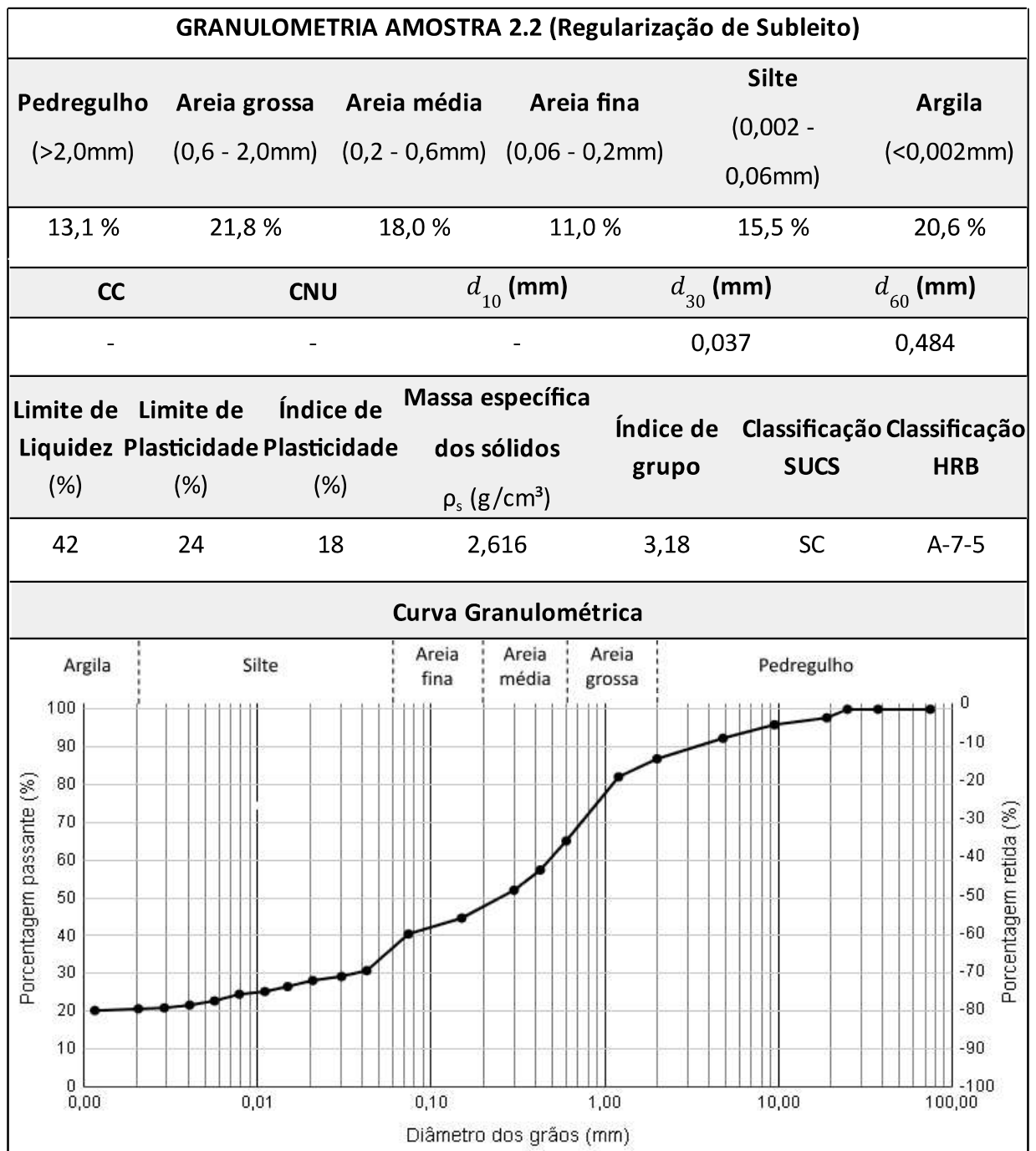
Quadro 03 - Caracterização conjunta da Amostra 2.1 (Base).



3.4 AMOSTRA 2.2 REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO

O Quadro 04 traz os percentuais granulométricos da Amostra 2.2, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-7-5**, respectivamente.

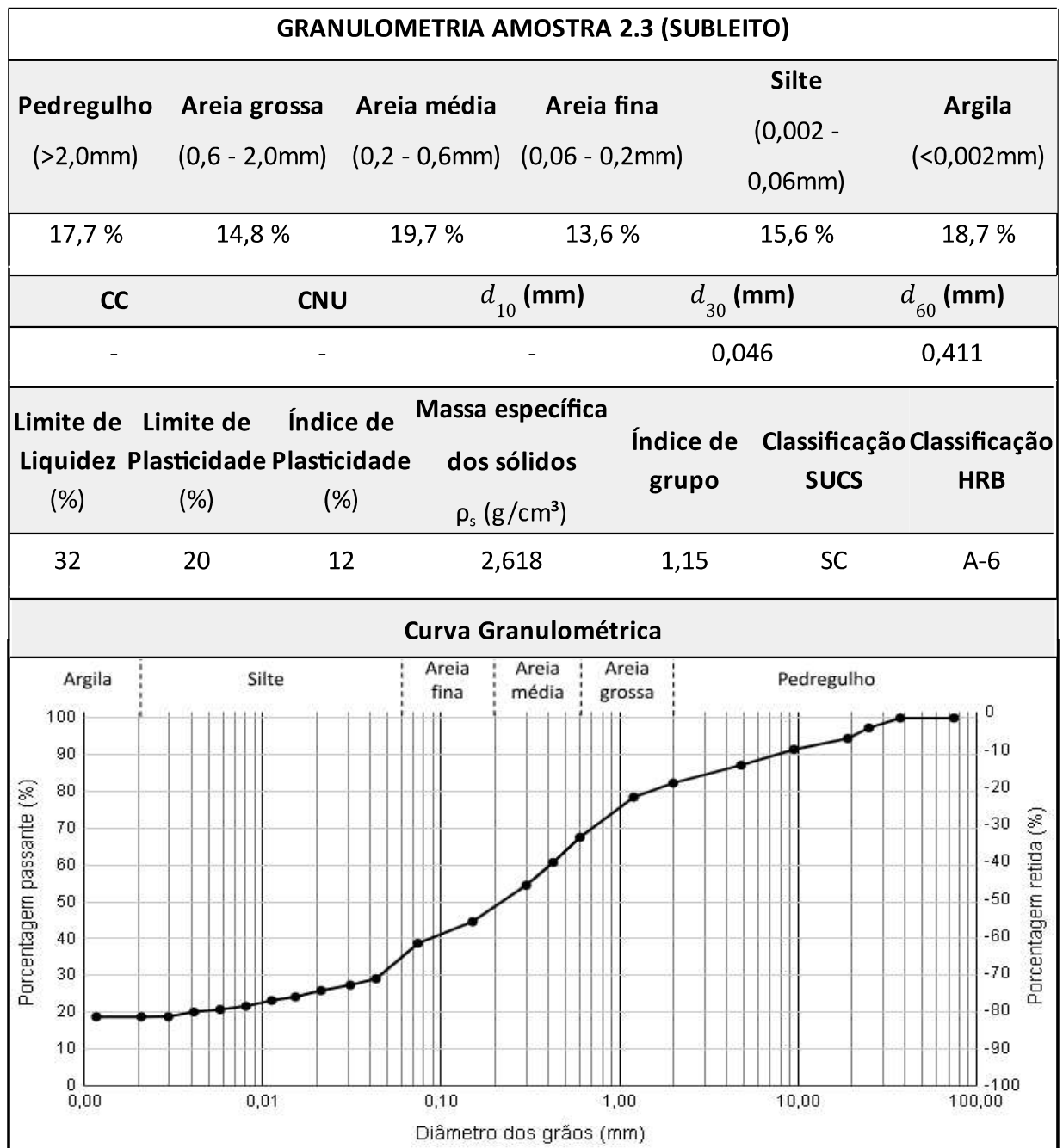
Quadro 04 - Caracterização conjunta da Amostra 2.2 (Regularização de Subleito).



3.5 AMOSTRA 2.3 SUBLEITO

O Quadro 05 traz os percentuais granulométricos da Amostra 2.3, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-6**, respectivamente.

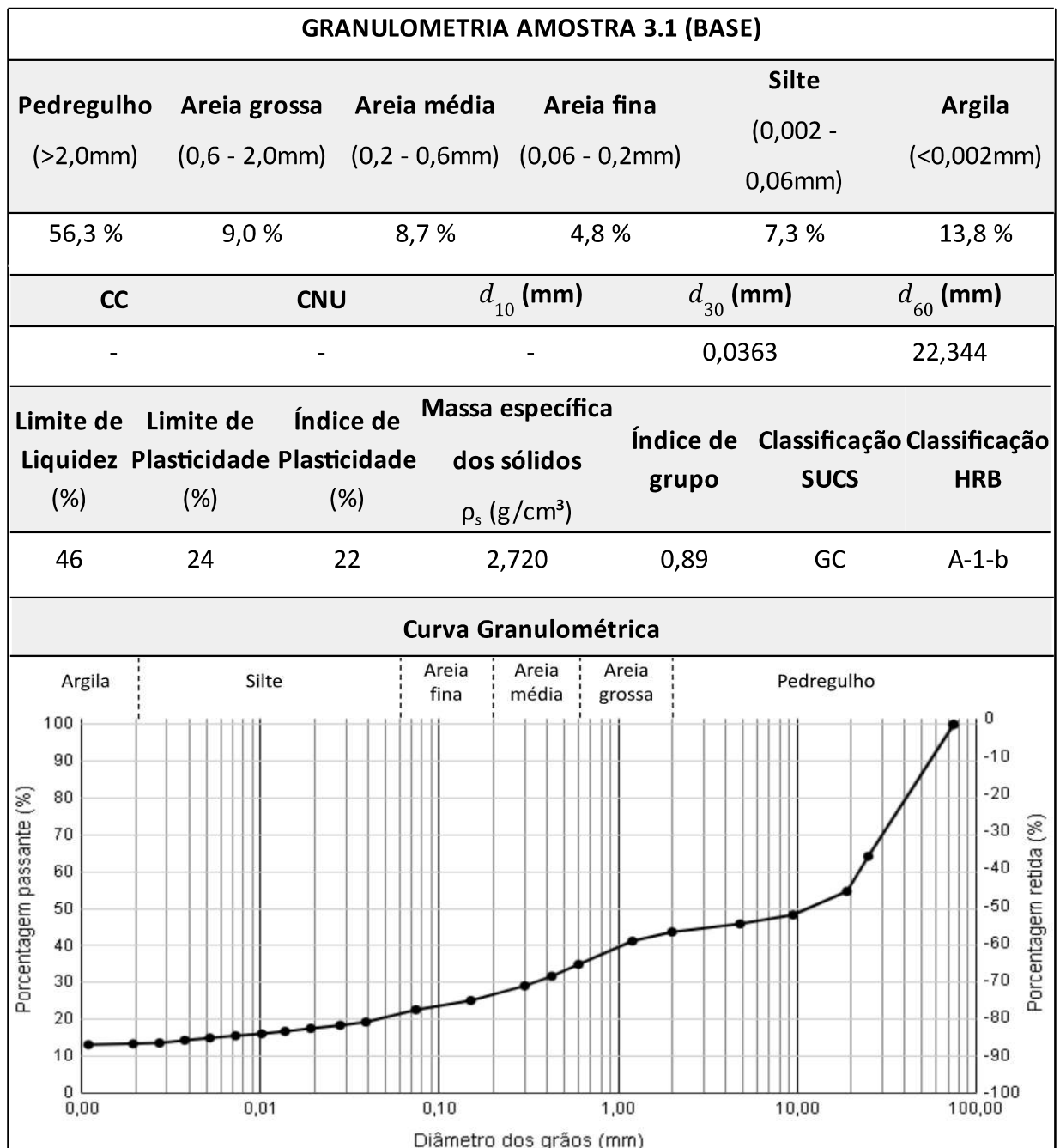
Quadro 05 - Caracterização conjunta da Amostra 2.3 (Subleito).



3.6 AMOSTRA 3.1 BASE

O Quadro 06 traz os percentuais granulométricos da Amostra 3.1, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **GC (Pedregulho Argiloso)** e **A-1-b**, respectivamente.

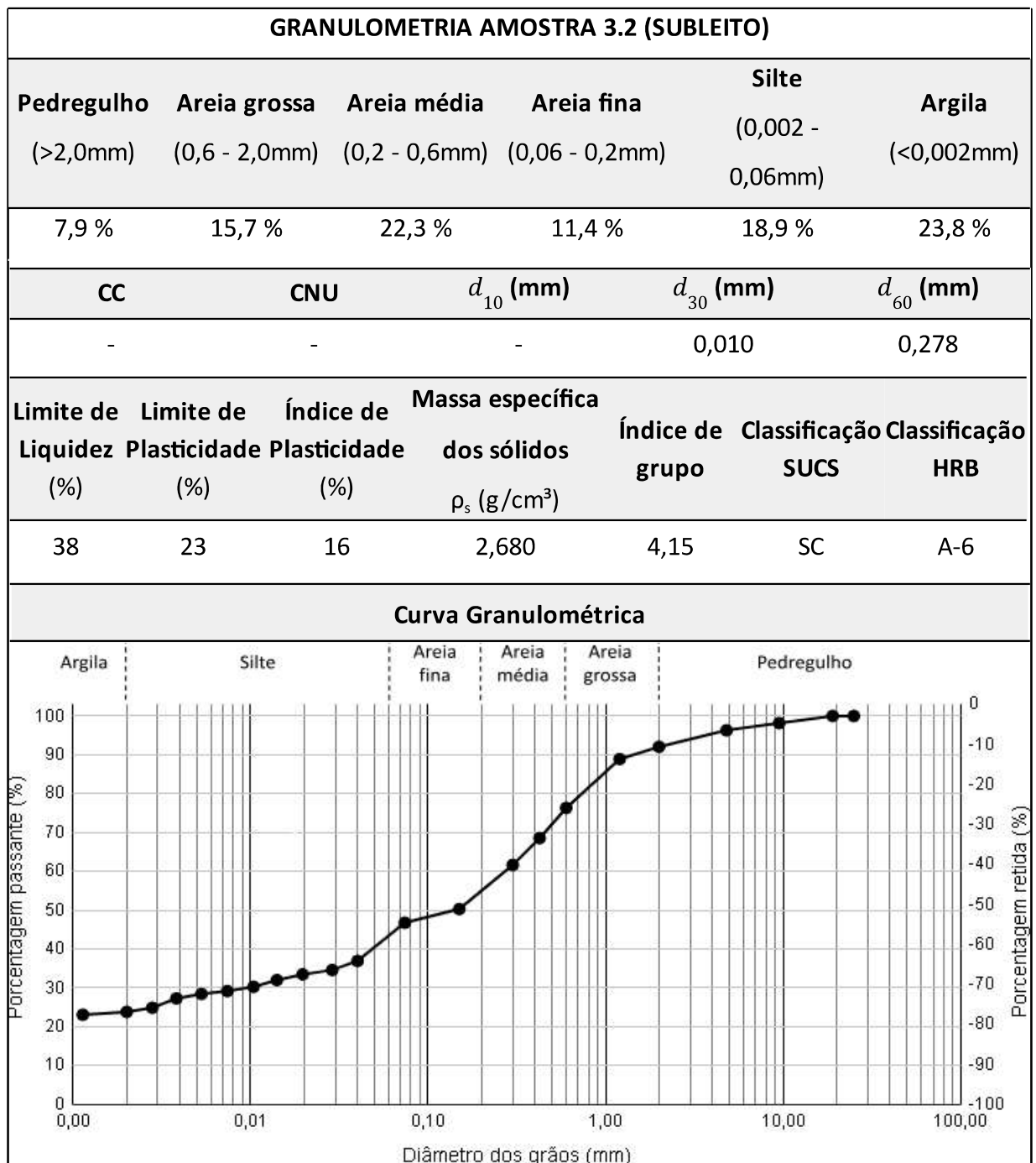
Quadro 06 - Caracterização conjunta da Amostra 3.1 (Base).



3.7 AMOSTRA 3.2 SUBLEITO

O Quadro 07 traz os percentuais granulométricos da Amostra 3.2, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-6**, respectivamente.

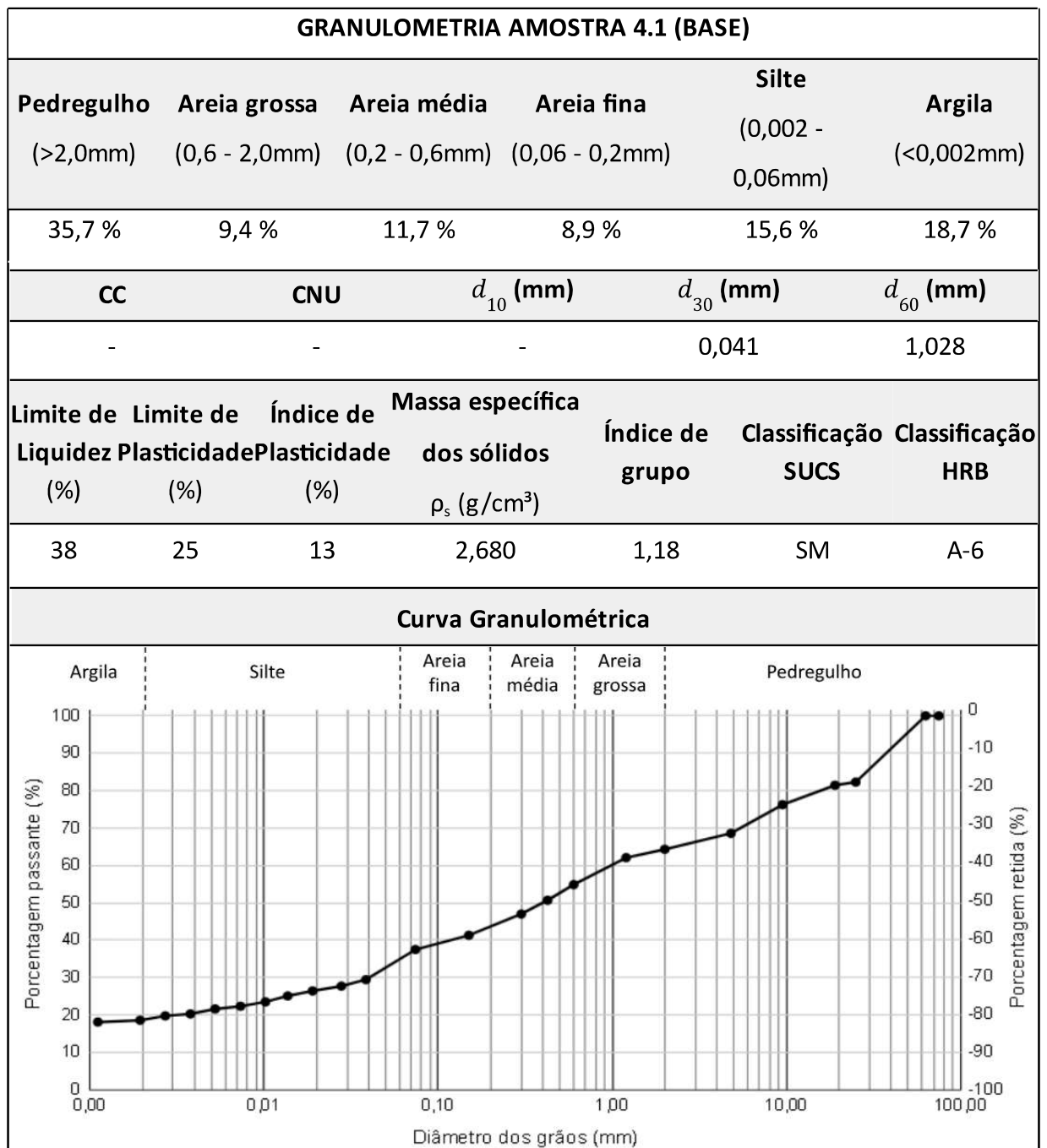
Quadro 07 - Caracterização conjunta da Amostra 3.2 (Subleito).



3.8 AMOSTRA 4.1 BASE

O Quadro 08 traz os percentuais granulométricos da Amostra 4.1, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SM (Areia Siltosa)** e **A-6**, respectivamente.

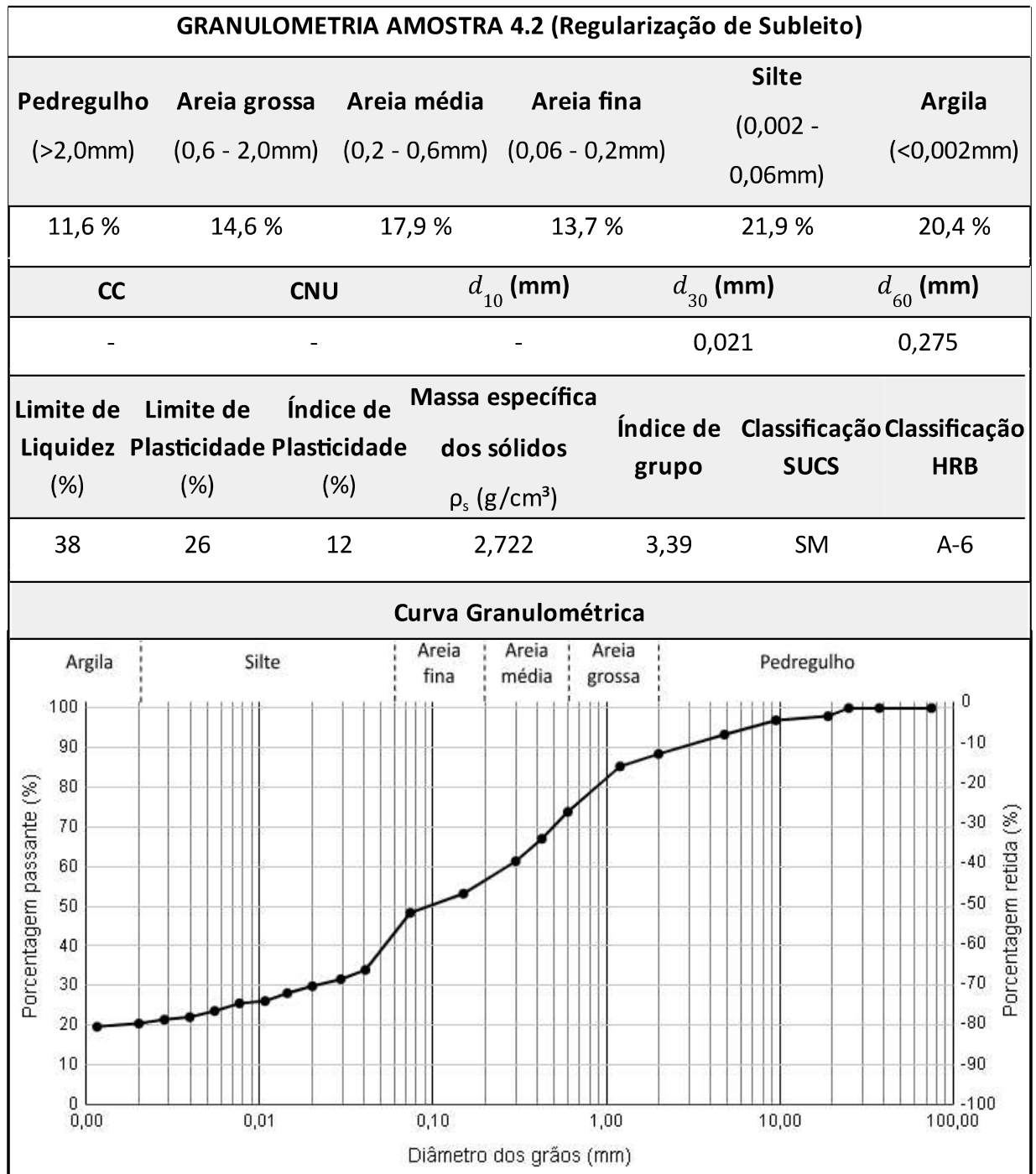
Quadro 08 - Caracterização conjunta da Amostra 4.1 (Base).



3.9 AMOSTRA 4.2 REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO

O Quadro 09 traz os percentuais granulométricos da Amostra 4.2, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SM (Areia Siltosa)** e **A-6**, respectivamente.

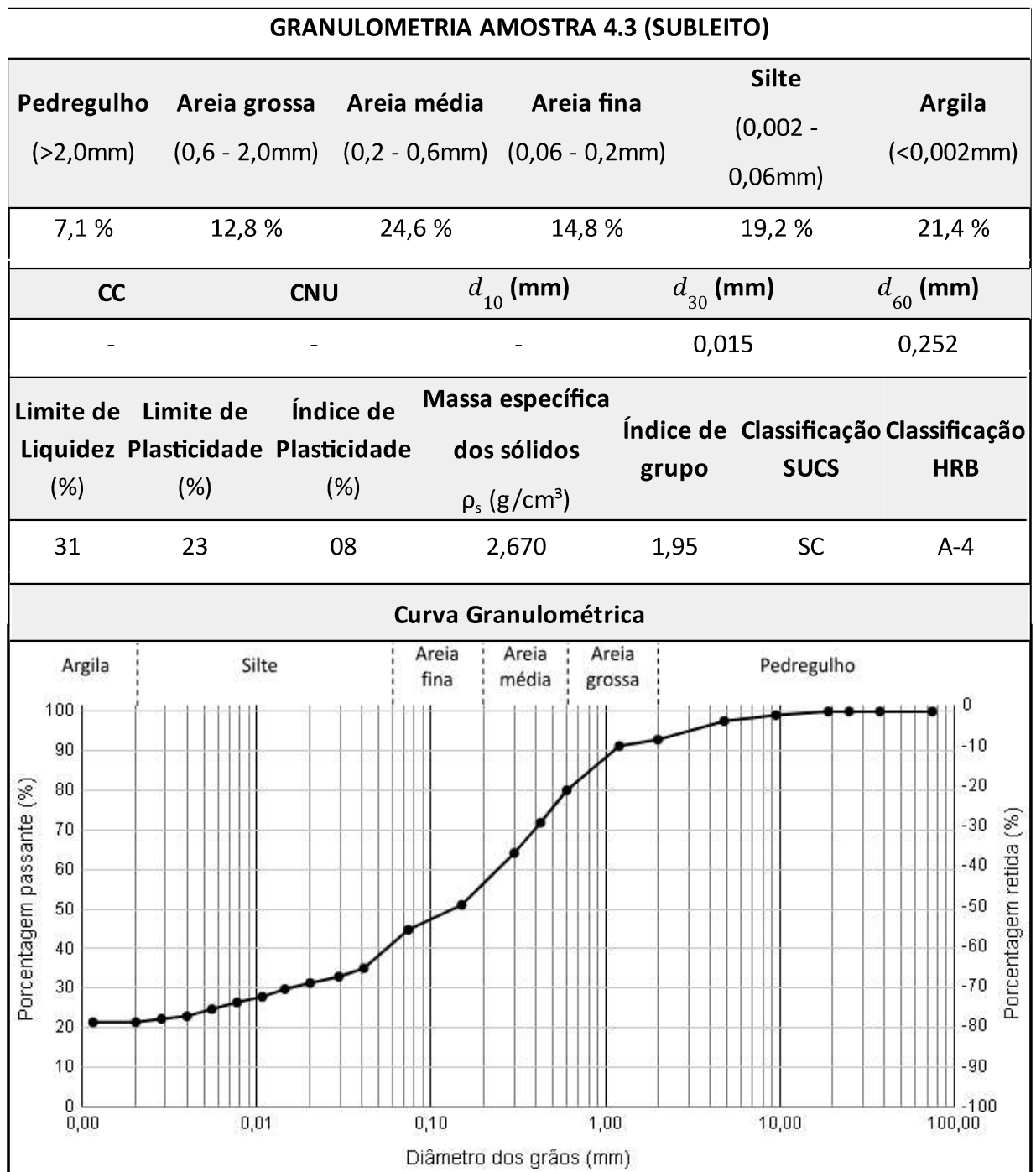
Quadro 09 - Caracterização conjunta da Amostra 4.2 (Regularização de Subleito).



3.10 AMOSTRA 4.3 SUBLEITO

O Quadro 10 traz os percentuais granulométricos da Amostra 4.3, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-4**, respectivamente.

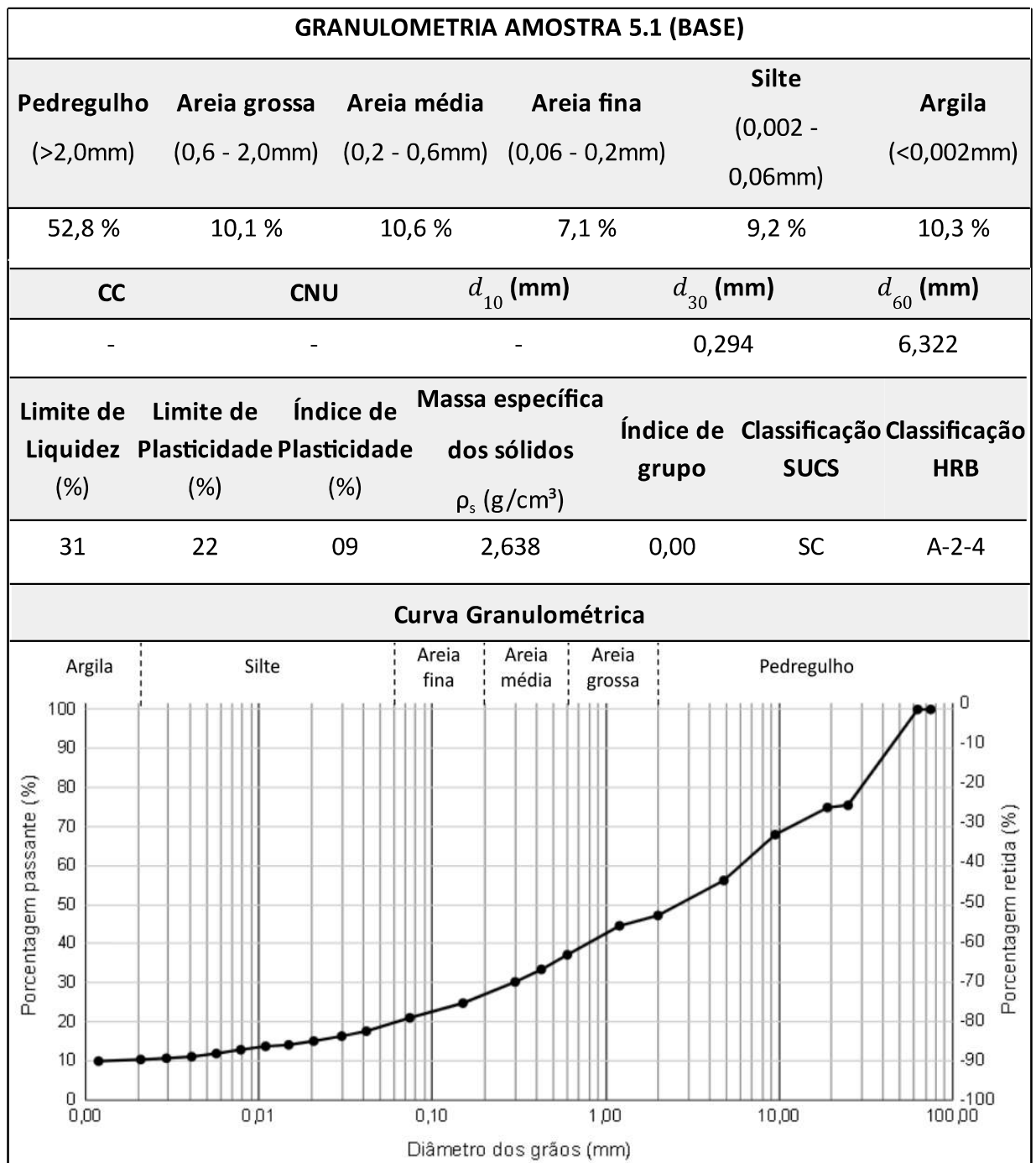
Quadro 10 - Caracterização conjunta da Amostra 4.3 (Subleito).



3.11 AMOSTRA 5.1 BASE

O Quadro 11 traz os percentuais granulométricos da Amostra 5.1, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-2-4**, respectivamente.

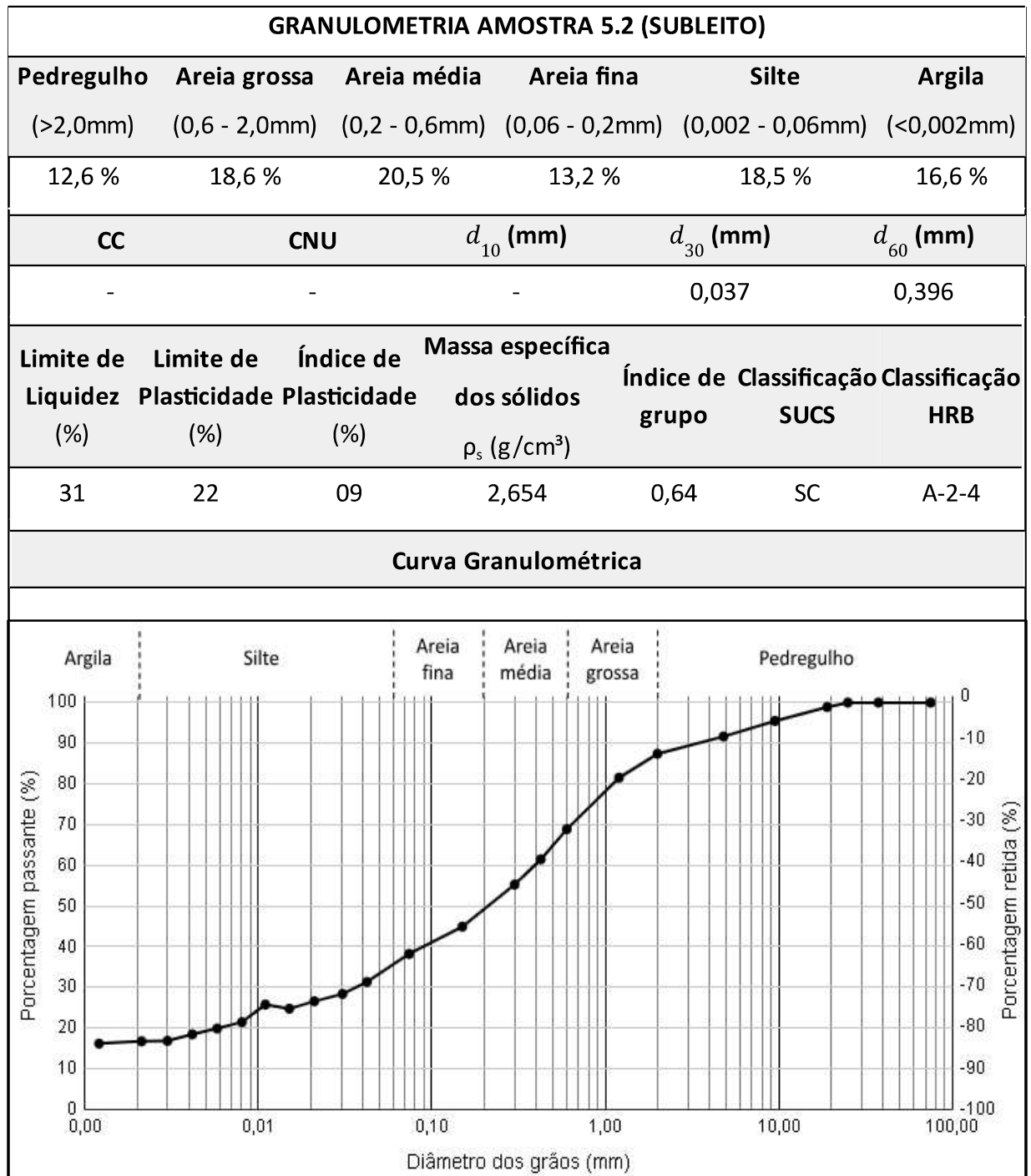
Quadro 11 - Caracterização conjunta da Amostra 5.1 (Base).



3.12 AMOSTRA 5.2 SUBLEITO

O Quadro 12 traz os percentuais granulométricos da Amostra 5.2, a curva granulométrica, o Coeficiente de Curvatura (CC), Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), e os diâmetros de referência d_{10} , d_{30} e d_{60} obtidos. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência, massa específica dos sólidos e classificação da amostra pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e *Highway Research Board* (HRB), a qual se enquadrou como: **SC (Areia Argilosa)** e **A-2-4**, respectivamente.

Quadro 12 - Caracterização conjunta da Amostra 5.2 (Subleito).



4 RESULTADOS: COMPACTAÇÃO

Nesta seção são apresentados os resultados dos ensaios de Compactação. Os resultados dos ensaios de compactação foram expressos através do traçado da curva de compactação. Para tanto, utilizou-se como coordenadas cartesianas normais os teores de umidade e as massas específicas aparentes secas correspondentes, conforme Figuras 08 a 19. As Tabelas 01 a 12 apresentam os dados referentes a massa específica aparente seca máxima, o valor da umidade ótima e a energia de compactação adotada para cada amostra ensaiada.

Com base nas normas DNIT 141/2022-ES e DNIT 108/2009-ES foram definidas as energias de compactação para os ensaios utilizando base (modificada) e subleito (intermediária), respectivamente.

Figura 08 - Curva de Compactação da Amostra 1.1 (Base).

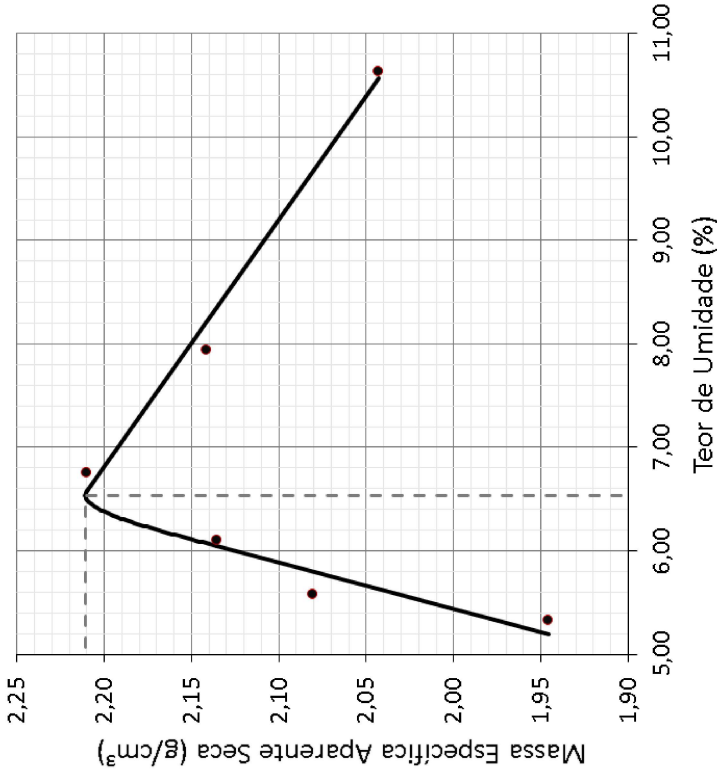


Tabela 01 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 1.1 (Base).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
1.1 (Base)	2,211	6,5	Modificada

Figura 09 - Curva de Compactação da Amostra 1.2 (Subleito).

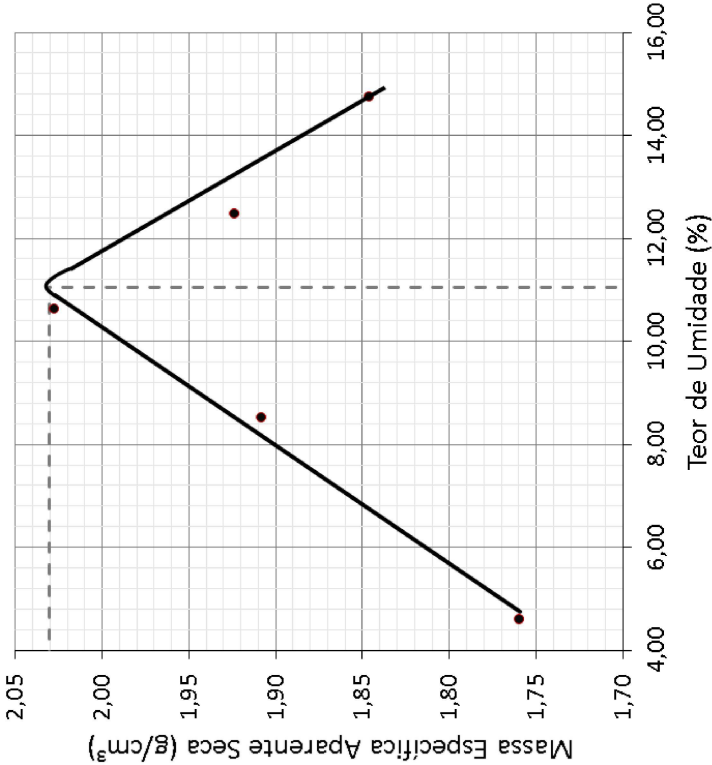


Tabela 02 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 1.2 (Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
1.2 (Subleito)	2,031	11,0	Intermediária

Figura 10 - Curva de Compactação da Amostra 2.1 (Base).

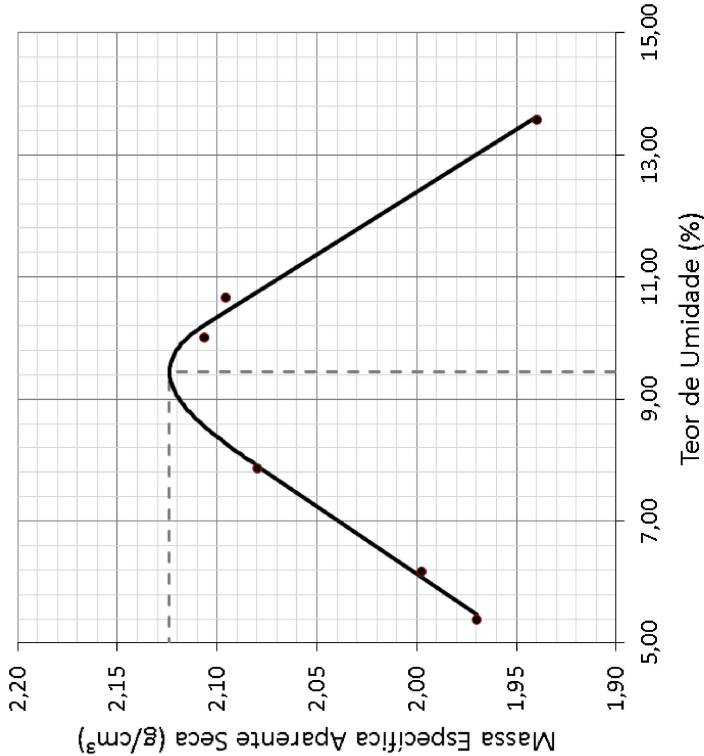


Tabela 03 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 2.1 (Base).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
2.1 (Base)	2,124	9,4	Modificada

Figura 11 - Curva de Compactação da Amostra 2.2 (Regularização de Subleito).

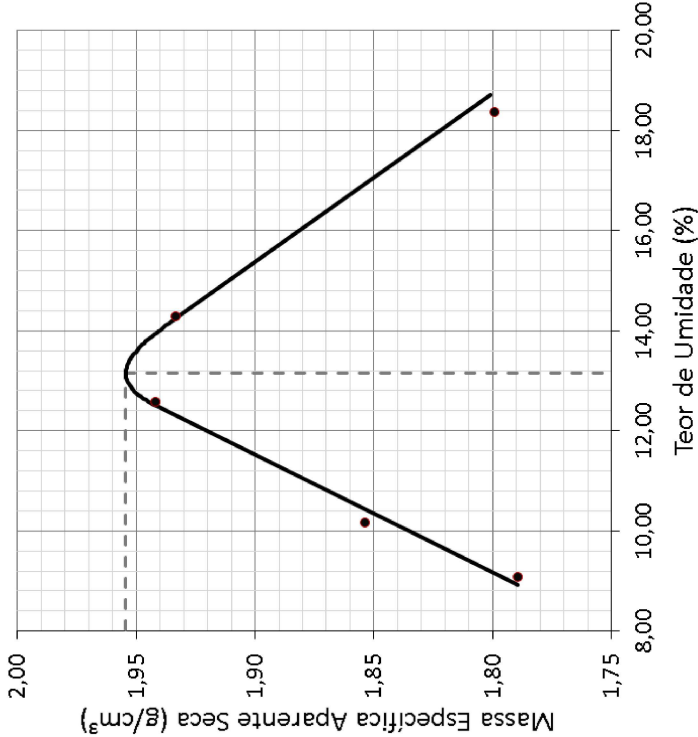


Tabela 04 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 2.2 (Regularização de Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
2.2 (Base)	1,95	14,0	Modificada

2.2		
Regularização de Subleito)	1,954	13,1 Intermediária

Figura 12 - Curva de Compactação da Amostra 2.3 (Subleito).

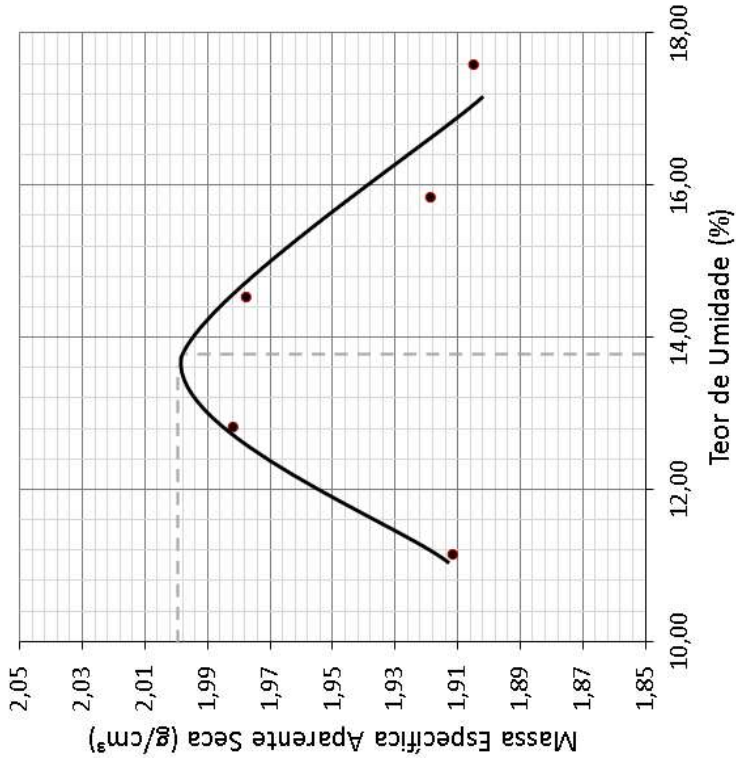


Tabela 05 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 2.3 (Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
2.3 (Subleito)	2,000	13,8	Intermediária

Figura 13 - Curva de Compactação da Amostra 3.1 (Base).

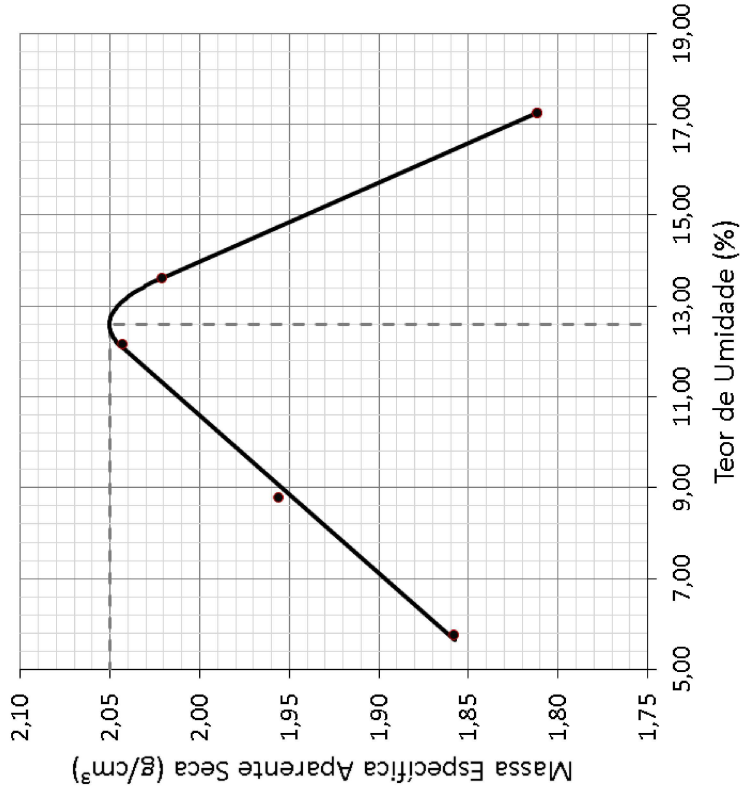


Tabela 06 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 3.1 (Base).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
3.1 (Base)	2,050	12,6	Modificada

Figura 14 - Curva de Compactação da Amostra 3.2 (Subleito).

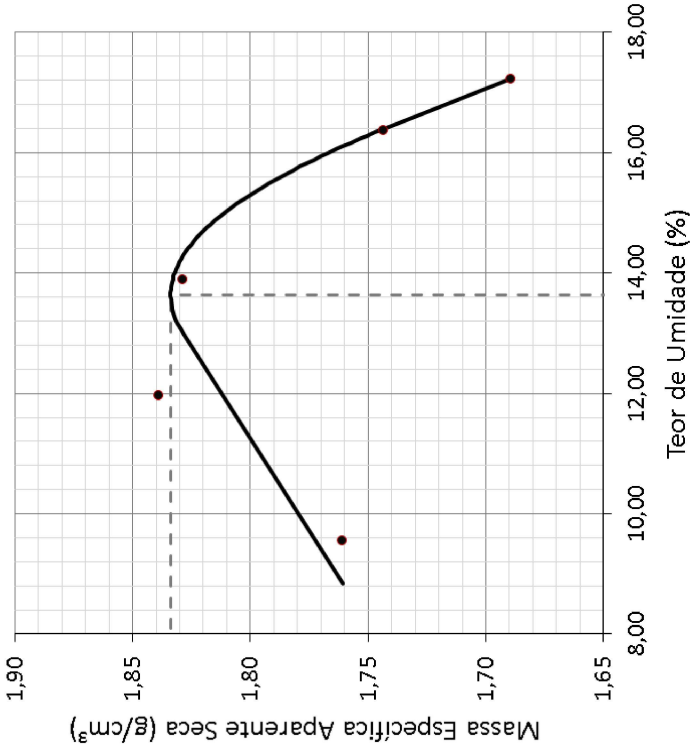


Tabela 07 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 3.2 (Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
3.2 (Subleito)	1,834	13,6	Intermediária

Figura 15 - Curva de Compactação da Amostra 4.1 (Base).

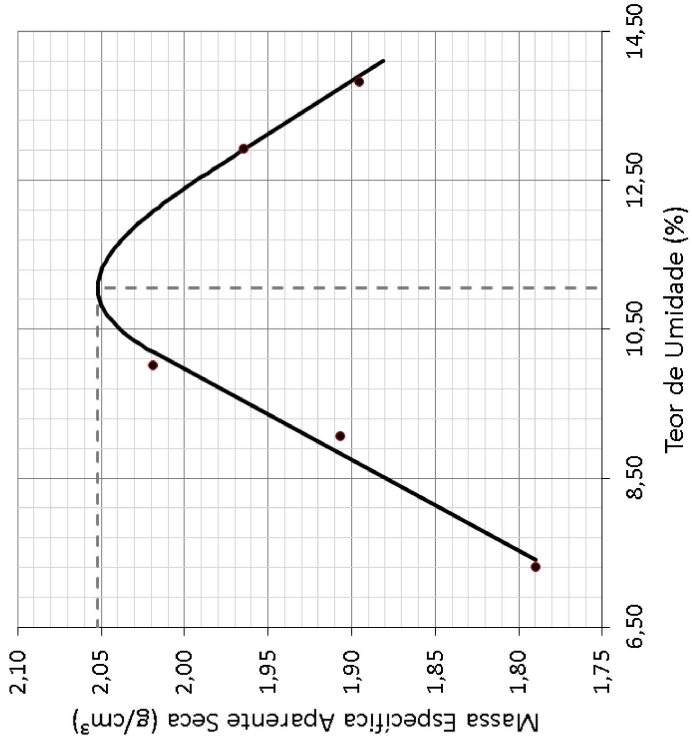


Tabela 08 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 4.1 (Base).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
4.1 (Base)	2,052	11,1	Modificada

Figura 16 - Curva de Compactação da Amostra 4.2 (Regularização de Subleito).

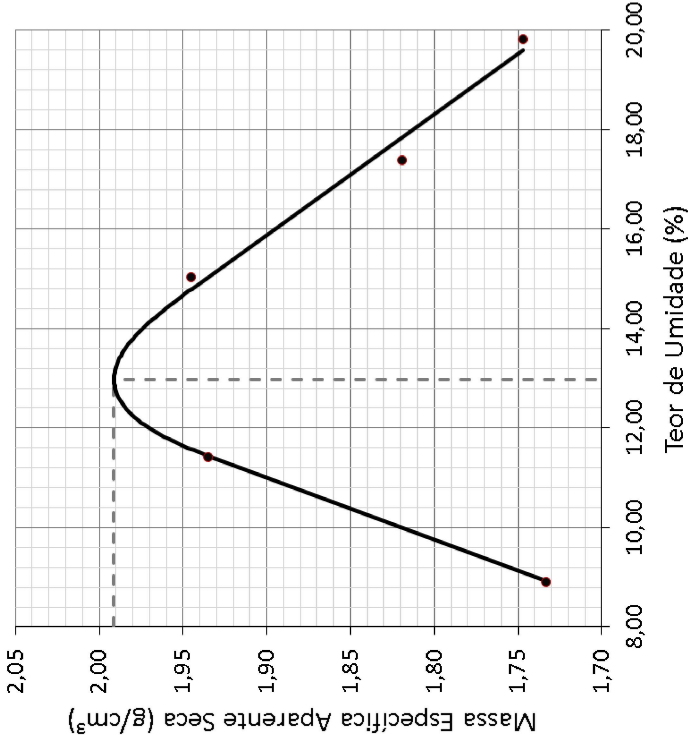


Tabela 09 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 4.2 (Regularização de Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
---------	---	-------------------	------------------------

4.2	1,991	13,0	Intermediária
(Regularização da Amostra 4.3 (Subleito))			

Figura 17 - Curva de Compactação da Amostra 4.3 (Subleito).

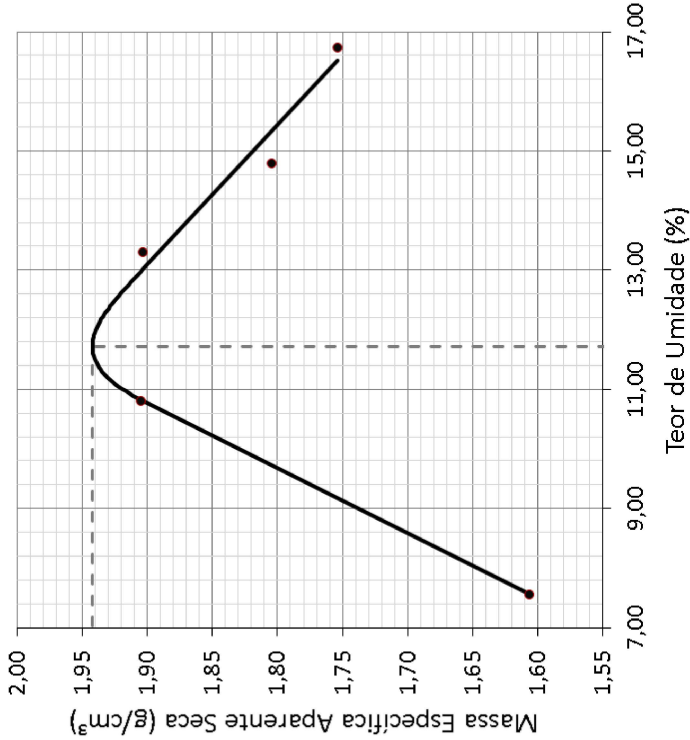


Tabela 10 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 4.3 (Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
4.3 (Subleito)	1,942	11,7	Intermediária

Figura 18 - Curva de Compactação da Amostra 5.1 (Base).

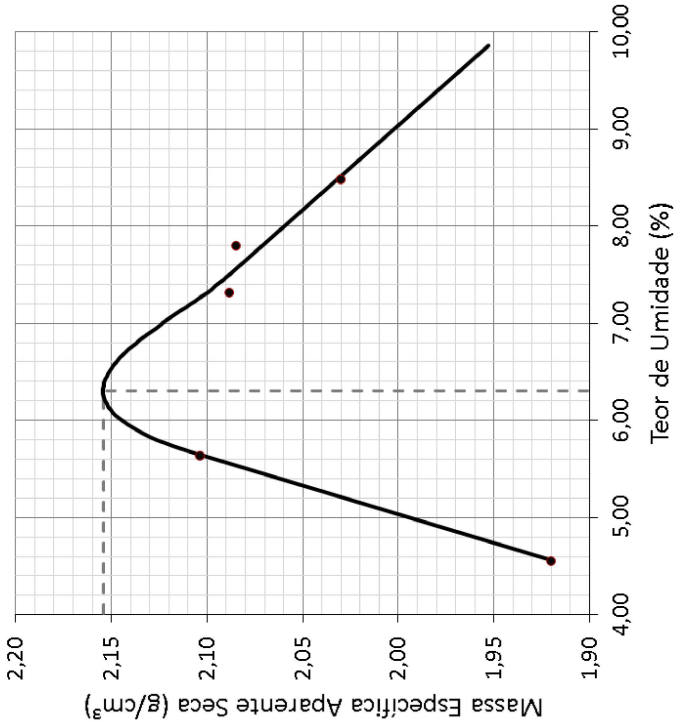


Tabela 11 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 5.1 (Base).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
5.1 (Base)	2,154	6,3	Modificada

Figura 19 - Curva de Compactação da Amostra 5.2 (Subleito).

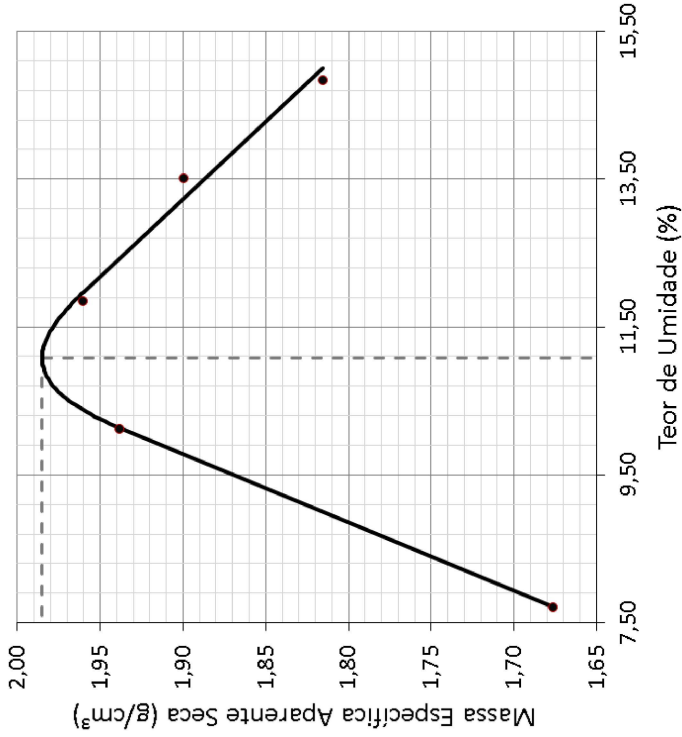


Tabela 12 - Densidade, umidade ótima e energia de compactação da Amostra 5.2 (Subleito).

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade ótima (%)	Energia de compactação
5.2 (Subleito)	1,985	11,1	Intermediária

5 RESULTADOS: ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - CBR

Os ensaios de CBR foram realizados a partir de corpos de prova moldados na umidade ótima obtida através dos ensaios de compactação. Foram utilizadas as respectivas energias de compactação para cada tipo de amostra, a saber: energia modificada para as amostras do tipo Base e energia intermediária para as amostras do tipo Regularização de Subleito e Subleito. Em seguida, na fase de expansão do corpo de prova, o mesmo permaneceu submerso em água durante 4 dias, período após o qual mediu-se a expansão máxima. As Tabelas 13 a 24 apresentam os principais resultados dos ensaios realizados, incluindo as leituras da fase de expansão, os dados referentes à fase de penetração do corpo de prova em uma prensa para aferição da atuação das cargas e determinação do ISC ou CBR. Conforme a NBR 9895, para o CBR de cada material ensaiado deve-se adotar o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

Tabela 13 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 1.1 (Base).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	19/05/25	16h	0,00	
1	20/05/25	16h	0,17	
2	21/05/25	16h	0,18	
3	22/05/25	16h	0,19	
4	23/05/25	16h	0,19	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	60	1174,20	0,61
1,0	1,27	103	2015,71	1,05
1,5	1,90	134	2622,38	1,37
2,0	2,54	170	3326,90	1,74
2,5	3,17	202	3953,14	2,06
3,0	3,81	225	4403,25	2,30
3,5	4,44	250	4892,50	2,55
4,0	5,08	283	5538,31	2,89
5,0	6,35	325	6360,25	3,32
6,0	7,62	366	7162,62	3,74
7,0	8,89	409	8004,13	4,18
8,0	10,16	460	9002,20	4,70
9,0	11,43	495	9687,15	5,05
10,0	12,70	540	10567,80	5,51

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 1.1
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	1,736	1,736	6,90	25,16
5,08	2,890	2,890	10,35	27,92

Tabela 14 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 1.2 (Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	19/05/25	16h	0,06	
1	20/05/25	16h	0,06	
2	21/05/25	16h	0,06	
3	22/05/25	16h	0,06	
4	23/05/25	16h	0,06	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	7	136,99	0,07
1,0	1,27	18	352,26	0,18
1,5	1,90	26	508,82	0,27
2,0	2,54	34	665,38	0,35
2,5	3,17	43	841,51	0,44
3,0	3,81	52	1017,64	0,53
3,5	4,44	60	1174,20	0,61
4,0	5,08	66	1291,62	0,67
5,0	6,35	84	1643,88	0,86
6,0	7,62	95	1859,15	0,97
7,0	8,89	104	2035,28	1,06
8,0	10,16	127	2485,39	1,30
9,0	11,43	140	2739,80	1,43
10,0	12,70	154	3013,78	1,57

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 1.2
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,347	0,347	6,90	5,03
5,08	0,674	0,674	10,35	6,51

Tabela 15 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 2.1 (Base).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	19/05/25	16h	0,00	
1	20/05/25	16h	0,12	
2	21/05/25	16h	0,13	
3	22/05/25	16h	0,13	
4	23/05/25	16h	0,14	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	17	332,69	0,17
1,0	1,27	28	547,96	0,29
1,5	1,90	36	704,52	0,37
2,0	2,54	46	900,22	0,47
2,5	3,17	54	1056,78	0,55
3,0	3,81	62	1213,34	0,63
3,5	4,44	65	1272,05	0,66
4,0	5,08	75	1467,75	0,77
5,0	6,35	90	1761,30	0,92
6,0	7,62	110	2152,70	1,12
7,0	8,89	120	2348,40	1,23
8,0	10,16	137	2681,09	1,40
9,0	11,43	151	2955,07	1,54
10,0	12,70	165	3229,05	1,68

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 2.1
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,470	0,470	6,90	6,81
5,08	0,766	0,766	10,35	7,40

Tabela 16 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 2.2 (Regularização de Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	19/05/25	16h	0,00	
1	20/05/25	16h	0,15	
2	21/05/25	16h	1,52	
3	22/05/25	16h	1,52	
4	23/05/25	16h	1,53	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	3	58,71	0,03
1,0	1,27	4	78,28	0,04
1,5	1,90	5	97,85	0,05
2,0	2,54	6	117,42	0,06
2,5	3,17	8	156,56	0,08
3,0	3,81	9	176,13	0,09
3,5	4,44	12	234,84	0,12
4,0	5,08	13	254,41	0,13
5,0	6,35	15	293,55	0,15
6,0	7,62	17	332,69	0,17
7,0	8,89	22	430,54	0,22
8,0	10,16	26	508,82	0,27
9,0	11,43	29	567,53	0,30
10,0	12,70	33	645,81	0,34

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 2.2
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,061	0,061	6,90	0,89
5,08	0,133	0,133	10,35	1,28

Tabela 17 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 2.3 (Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	26/05/25	16h	0,00	
1	27/05/25	16h	0,11	
2	28/05/25	16h	0,90	
3	29/05/25	16h	1,02	
4	30/05/25	16h	1,02	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	8	156,56	0,08
1,0	1,27	12	234,84	0,12
1,5	1,90	13	254,41	0,13
2,0	2,54	15	293,55	0,15
2,5	3,17	16	313,12	0,16
3,0	3,81	18	352,26	0,18
3,5	4,44	20	391,40	0,20
4,0	5,08	21	410,97	0,21
5,0	6,35	24	469,68	0,25
6,0	7,62	27	528,39	0,28
7,0	8,89	30	587,10	0,31
8,0	10,16	33	645,81	0,34
9,0	11,43	35	684,95	0,36
10,0	12,70	38	743,66	0,39

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 2.3
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,153	0,153	6,90	2,22
5,08	0,214	0,214	10,35	2,07

Tabela 18 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 3.1 (Base).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	26/05/25	16h	0,00	
1	27/05/25	16h	1,22	
2	28/05/25	16h	1,24	
3	29/05/25	16h	1,28	
4	30/05/25	16h	1,30	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	8	156,56	0,08
1,0	1,27	10	195,70	0,10
1,5	1,90	13	254,41	0,13
2,0	2,54	17	332,69	0,17
2,5	3,17	20	391,40	0,20
3,0	3,81	22	430,54	0,22
3,5	4,44	25	489,25	0,26
4,0	5,08	28	547,96	0,29
5,0	6,35	33	645,81	0,34
6,0	7,62	37	724,09	0,38
7,0	8,89	42	821,94	0,43
8,0	10,16	48	939,36	0,49
9,0	11,43	53	1037,21	0,54
10,0	12,70	60	1174,20	0,61

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 3.1
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,174	0,174	6,90	2,52
5,08	0,286	0,286	10,35	2,76

Tabela 19 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 3.2 (Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR			
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)
Início	26/05/25	16h	0,00
1	27/05/25	16h	0,23
2	28/05/25	16h	0,23
3	29/05/25	16h	0,22
4	30/05/25	16h	0,22

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	24	469,68	0,25
1,0	1,27	45	880,65	0,46
1,5	1,90	59	1154,65	0,60
2,0	2,54	75	1467,75	0,77
2,5	3,17	85	1663,45	0,87
3,0	3,81	100	1957,00	1,02
3,5	4,44	106	2074,42	1,08
4,0	5,08	116	2270,12	1,18
5,0	6,35	127	2485,39	1,30
6,0	7,62	142	2778,94	1,45
7,0	8,89	150	2935,50	1,53
8,0	10,16	156	3052,92	1,59
9,0	11,43	162	3170,34	1,65
10,0	12,70	170	3326,90	1,74

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 3.2
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,766	0,766	6,90	11,10
5,08	1,184	1,184	10,35	11,44

Tabela 20 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 4.1 (Base).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	02/06/25	12h	0,00	
1	03/06/25	12h	0,09	
2	04/06/25	12h	0,09	
3	05/06/25	12h	0,09	
4	06/06/25	12h	0,09	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	26	508,82	0,27
1,0	1,27	42	821,94	0,43
1,5	1,90	58	1135,06	0,59
2,0	2,54	71	1389,47	0,72
2,5	3,17	85	1663,45	0,87
3,0	3,81	95	1859,15	0,97
3,5	4,44	106	2074,42	1,08
4,0	5,08	115	2250,55	1,17
5,0	6,35	130	2544,10	1,33
6,0	7,62	145	2837,65	1,48
7,0	8,89	164	3209,48	1,67
8,0	10,16	177	3463,89	1,81
9,0	11,43	187	3659,59	1,91
10,0	12,70	205	4011,85	2,09

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 4.1
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,725	0,725	6,90	10,51
5,08	1,174	1,174	10,35	11,35

Tabela 21 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 4.2 (Regularização de Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	19/05/25	16h	0,00	
1	20/05/25	16h	0,04	
2	21/05/25	16h	0,41	
3	22/05/25	16h	0,42	
4	23/05/25	16h	0,42	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	19	371,83	0,19
1,0	1,27	27	528,39	0,28
1,5	1,90	38	743,66	0,39
2,0	2,54	47	919,79	0,48
2,5	3,17	54	1056,78	0,55
3,0	3,81	60	1174,20	0,61
3,5	4,44	70	1369,90	0,71
4,0	5,08	74	1448,18	0,76
5,0	6,35	80	1565,60	0,82
6,0	7,62	86	1683,02	0,88
7,0	8,89	90	1761,30	0,92
8,0	10,16	101	1976,57	1,03
9,0	11,43	106	2074,42	1,08
10,0	12,70	116	2270,12	1,18

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 4.2
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,480	0,480	6,90	6,95
5,08	0,756	0,756	10,35	7,30

Tabela 22 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 4.3 (Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	02/06/25	12h30	0,00	
1	03/06/25	13h30	0,07	
2	04/06/25	14h30	0,07	
3	05/06/25	15h30	0,07	
4	06/06/25	16h30	0,07	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	4	78,28	0,04
1,0	1,27	6	117,42	0,06
1,5	1,90	10	195,70	0,10
2,0	2,54	13	254,41	0,13
2,5	3,17	16	313,12	0,16
3,0	3,81	21	410,97	0,21
3,5	4,44	23	450,11	0,23
4,0	5,08	25	489,25	0,26
5,0	6,35	29	567,53	0,30
6,0	7,62	34	665,38	0,35
7,0	8,89	38	743,66	0,39
8,0	10,16	43	841,51	0,44
9,0	11,43	47	919,79	0,48
10,0	12,70	53	1037,21	0,54

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 4.3
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,133	0,133	6,90	1,92
5,08	0,255	0,255	10,35	2,47

Tabela 23 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 5.1 (Base).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	02/06/25	12h30	0,00	
1	03/06/25	13h30	0,18	
2	04/06/25	14h30	0,19	
3	05/06/25	15h30	0,19	
4	06/06/25	16h30	0,19	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	75	1467,75	0,77
1,0	1,27	115	2250,55	1,17
1,5	1,90	160	3131,20	1,63
2,0	2,54	192	3757,44	1,96
2,5	3,17	230	4501,10	2,35
3,0	3,81	263	5146,91	2,69
3,5	4,44	290	5675,30	2,96
4,0	5,08	315	6164,55	3,22
5,0	6,35	240	4696,80	2,45
6,0	7,62	384	7514,88	3,92
7,0	8,89	435	8512,95	4,44
8,0	10,16	482	9432,74	4,92
9,0	11,43	507	9921,99	5,18
10,0	12,70	560	10959,20	5,72

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 5.1
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	1,960	1,960	6,90	28,41
5,08	3,216	3,216	10,35	31,08

Tabela 24 - Principais resultados do ensaio CBR da Amostra 5.2 (Subleito).

LEITURAS DA FASE DE EXPANSÃO PARA CBR				
Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Expansão (%)	
Início	09/06/25	15h	0,00	
1	10/06/25	16h	0,02	
2	11/06/25	17h	0,02	
3	12/06/25	18h	0,09	
4	13/06/25	19h	0,09	

LEITURAS DA FASE DE PENETRAÇÃO PARA CBR				
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	40	782,80	0,41
1,0	1,27	64	1252,48	0,65
1,5	1,90	79	1546,48	0,81
2,0	2,54	95	1859,15	0,97
2,5	3,17	106	2074,42	1,08
3,0	3,81	116	2270,12	1,18
3,5	4,44	126	2465,82	1,29
4,0	5,08	134	2622,38	1,37
5,0	6,35	145	2837,65	1,48
6,0	7,62	155	3033,35	1,58
7,0	8,89	164	3209,48	1,67
8,0	10,16	172	3366,04	1,76
9,0	11,43	178	3483,46	1,82
10,0	12,70	191	3737,87	1,95

PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)			ISC / CBR (%) AMOSTRA 5.2
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,970	0,970	6,90	14,06
5,08	1,368	1,368	10,35	13,22

6 RESUMO

Essa seção apresenta um resumo comparativo das amostras estudadas, destacando os principais dados obtidos nos ensaios realizados. A Tabela 25 reúne os resultados mais relevantes da caracterização conjunta, dos ensaios de compactação e dos ensaios de CBR, permitindo uma avaliação integrada do comportamento dos solos.

Tabela 25 - Resumo dos ensaios realizados.

Amostra													
Parâmetros	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	
Análise granulométrica	Pedregulho	49,8%	9,4%	45,5%	13,1%	17,7%	56,3%	7,9%	35,7%	11,6%	7,1%	52,8%	12,6%
	Areia grossa	11,1%	17,5%	10,6%	21,8%	14,8%	9,0%	15,7%	9,4%	14,6%	12,8%	10,1%	18,6%
	Areia média	8,6%	24,9%	10,5%	18,0%	19,7%	8,7%	22,3%	11,7%	17,9%	24,6%	10,6%	20,5%
	Areia fina	8,4%	16,0%	7,4%	11,0%	13,6%	4,8%	11,4%	8,9%	13,7%	14,8%	7,1%	13,2%
	Silte	10,1%	16,7%	10,5%	15,5%	15,6%	7,3%	18,9%	15,6%	21,9%	19,2%	9,2%	18,5%
	Argila	12,0%	15,5%	15,5%	20,6%	18,7%	13,8%	23,8%	18,7%	20,4%	21,4%	10,3%	16,6%
Consistência do solo	LL	35%	33%	41%	42%	32%	46%	38%	38%	31%	31%	31%	
	LP	25%	20%	24%	24%	20%	24%	23%	25%	26%	23%	22%	
	IP	10%	13%	17%	18%	12%	22%	16%	13%	12%	8%	9%	
Massa específica (g/cm³)	2,693	2,717	2,629	2,616	2,618	2,720	2,680	2,680	2,722	2,670	2,638	2,654	
Índice de grupo	0,00	0,96	0,86	3,18	1,15	0,89	4,15	1,18	3,39	1,95	0,00	0,64	
Classificação SUCS	GM	SC	SC	SC	SC	GC	SC	SM	SM	SC	SC	SC	
Classificação HRB	A-2-4	A-6	A-2-7	A-7-5	A-6	A-1-b	A-6	A-6	A-6	A-4	A-2-4	A-2-4	
Compactação	Massa esp. máx. (g/cm³)	2,211	2,031	2,124	1,954	2,000	2,050	1,834	2,052	1,942	2,154	1,985	
	Umidade ótima	6,5 %	11,0 %	9,4 %	13,1 %	13,8 %	12,6 %	13,6 %	11,1 %	11,7 %	6,3 %	11,1 %	
CBR	Expansão	0,19%	0,06%	0,14%	1,53%	1,02%	1,30%	0,22%	0,09%	0,07%	0,19%	0,09%	
	ISC	27,92%	6,51%	7,40%	1,28%	2,22%	2,76%	11,44%	11,35%	2,47%	31,08%	14,06%	
Altura de base	30cm	-	25cm	20cm	-	24cm	-	32cm	08cm	-	20cm	-	

Nota: LL = Limite de Liquidez, LP = Limite de Plasticidade, IP = Índice de Plasticidade.

7 EQUIPE TÉCNICA

Olavo Francisco dos Santos Júnior

Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Solos e do Projeto GEOTECH (UFRN/FUNPEC).

Oswaldo de Freitas Neto

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Vice Coordenador do Projeto GEOTECH (UFRN/FUNPEC).

Débora Mendes Gomes

Técnica do Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN.

Diogo Gomes Pereira Batista

Técnico do Laboratório de Mecânica dos solos da UFRN.

George Luis Moraes Rolemberg

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Pedro Júlio Castro dos Santos

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Richard Souza Viana

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Iago Miranda Beserra Gurgel Sena

Graduando do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

João Victor Nóbrega Pimentel

Graduando do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

Shirley Buse de Oliveira

Graduanda do Programa Graduação em Engenharia Civil da UFRN.

APÊNDICE 2 - Memória de Cálculo de Dimensionamento

SOLUÇÃO PROPOSTA 1: Pavimento Intertravado

1. Dimensionamento empírico

Conforme número N (USACE) = $5,31 \times 10^4$ calculado, a via de projeto é classificada como VIA LOCAL e será utilizado para fins de dimensionamento o número N = $1,0 \times 10^5$, de acordo com a tabela da Instrução de Projeto IP-06/2004 (DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO).

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente/Veículo	N	N característico
			Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,5	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,5	$1,40 \times 10^4$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,3	$1,40 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,9	$1,00 \times 10^7$ a $3,30 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	>10000	1001 a 2000	5,9	$3,30 \times 10^7$ a $6,70 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12	-	<500	-	$3,00 \times 10^6$	10^7
	VOLUME PESADO	12	-	>500	-	$5,00 \times 10^7$	5×10^7

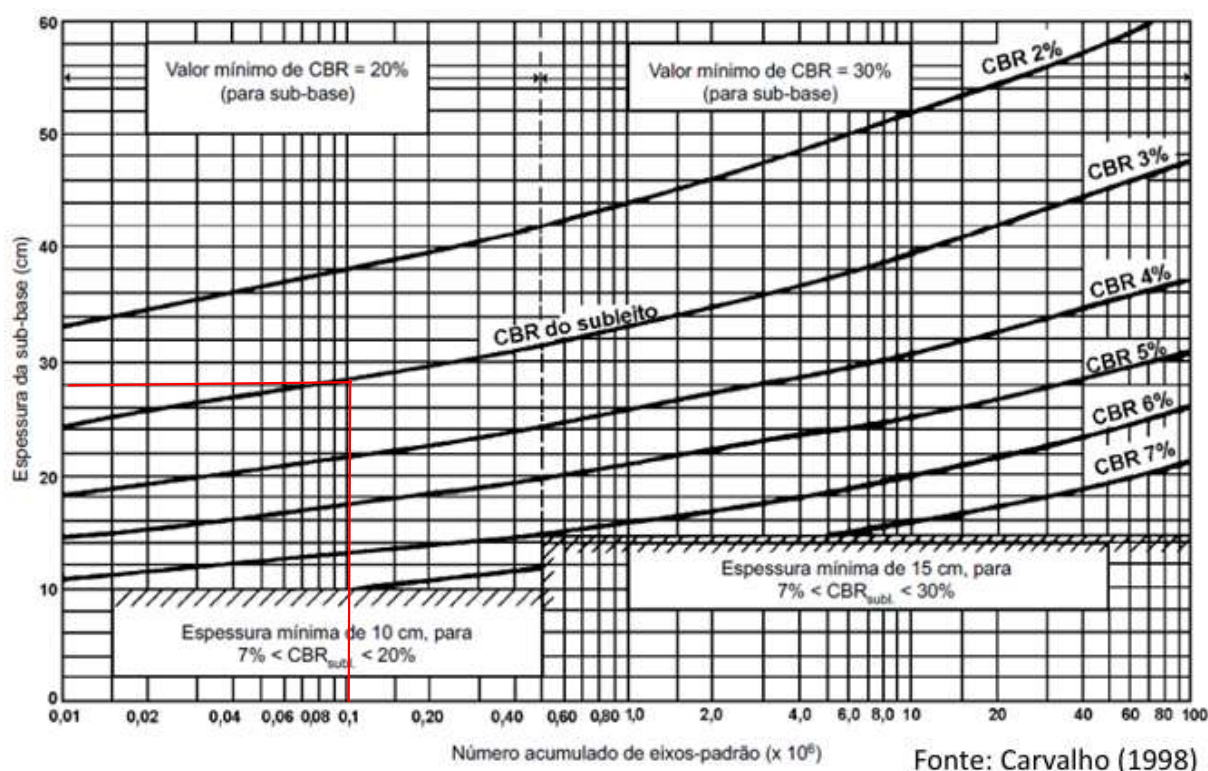
A referida Instrução de Projeto dispõe de dois procedimentos para o dimensionamento do pavimento intertravado, A e B. O procedimento a ser adotado será o A, visto que para as seguintes condições esse procedimento é recomendado:

Procedimento A (ABCP/ET-27)

Sua utilização é mais recomendada para vias com as seguintes características:

- Vias de tráfego leve com "N" típico até 10^6 solicitações do eixo simples padrão, por não necessitar de utilização da camada de base, gerando portanto estruturas esbeltas e economicamente mais viáveis em relação ao procedimento B.
- Vias de tráfego meio pesado a pesado com "N" típico superior a $1,5 \times 10^6$ em função do emprego de bases cimentadas, sendo tecnicamente mais adequado do que o procedimento B.

O método A prevê que vias com número $N < 1,5 \times 10^6$ não é necessário o uso de uma camada de base. Devido a esse fator, o pavimento a ser dimensionado não contará com essa camada. Para a camada de sub-base, a sua espessura será dimensionada inicialmente de forma empírica pelo gráfico a seguir, no qual é determinada a sua espessura em função do número N de projeto e do CBR de projeto do subleito.



O CBR de projeto já calculado é de 3,29%. A fim de dimensionamento, será utilizada a curva de 3%. Interpolando os dados no gráfico, temos uma espessura mínima de 28 cm para a camada de sub-base. A camada de sub-base será composta pela camada de base do pavimento atual tratada granulometricamente, a partir da reciclagem desse material com adição de agregados graúdos, com a finalidade de atender um CBR mínimo de 20%.

A camada de assentamento deverá ter a espessura entre 3 e 5 cm, após a compactação, composto por areia, ou eventualmente pó de pedra, contendo no máximo de 5% do seu peso de siltes e argilas e no máximo de 10% do seu peso retido na peneira de 4,8 mm. Os blocos de revestimento tem suas espessuras definidas em função do número N de projeto. Para a via a ser projetada, os blocos de concreto terão espessura de 6 cm com as devidas especificações.

Espessura e resistência dos blocos de revestimento

Tráfego	Espessura do Revestimento	Resistência à Compressão Simples
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

As peças de concreto pré-moldadas mais utilizadas em pavimentação urbana são as definidas como sendo de formato geométrico regular, com comprimento máximo de 40 cm, largura mínima de 10 cm e altura mínima de 6 cm, devendo também ser estabelecida uma relação de forma entre as dimensões. As variações máximas permissíveis nas dimensões são de 3 mm no comprimento e largura e de 5 mm na altura das peças. Blocos com outras formas poderão ser contemplados, desde que atendam ao estabelecido nesta norma.

A estrutura dimensionada empiricamente tem a seguinte composição:

Camadas	Espessura (cm)
Blocos	6,0
Areia	3,0 - 5,0
Sub-Base Cbr $\geq 20\%$	28,0
Subleito Cbr $\geq 3\%$	-

2. Análise Mecanicista

A fim de garantir o comportamento adequado do pavimento em relação ao atendimento aos critérios de deformação permanente no topo do subleito e deflexão admissível, se faz necessária a análise mecanicista do pavimento. Os Módulos de Resiliência (MR) dos materiais, como também os Coeficientes de Poisson (μ), foram estimados a partir das seguintes tabelas propostas pelo DER-SP (2006) e Silva (2016).

Material	Intervalo de Valores do Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento Portland	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos	
- revestimento (CAP 50-70)	2000 – 5000
- revestimento (CAP 30-45)	2500 – 4500
- binder (CAP 50-70)	2000 – 3000
- binder (CAP 30-45)	2500 – 4500
Materiais granulares	
- brita graduada	150 – 300
- macadame hidráulico	250 – 450
Materiais estabilizados quimicamente	
- solo-cimento	5000 – 10000
- brita graduada tratada com cimento	7000 – 18000
- concreto compactado com rolo	7000 – 22000
Concreto de cimento Portland	30000 – 35000
Solos finos em base e sub-base	150 – 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito	
- solos de comportamento laterítico (LA, LA', LG')	100 – 200
- solos de comportamento não laterítico	25 – 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço do subleito	200 – 400
Concreto de cimento Portland (reforço de subleito)	28000 – 45000

Material	Módulos de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson
Bloco de concreto + camada de assentamento	350 – 3200	0,15 – 0,20
CCR (cimento, 100 kg/m ³)	10000 – 18000	0,15 – 0,20
BGTC (íntegra)	10000 – 18000	0,15 – 0,20
BGTC (degradada por fadiga)	< 2000 – 10000	0,15 – 0,25
BGS (Camadas de Base)	300 – 500	0,35 – 0,40
BGS (Camadas de Sub-base)	60 – 150	0,35 – 0,40
Rachão	150 – 250	0,35 – 0,40
Bica Corrida	80 – 160	0,35 – 0,40

Material	MR (MPa)	μ
Blocos de concreto + assentamento	27000	0,20
Sub-base	150	0,35
Subleito	10 x CBR (5) = 50	0,40

Além do MR do bloco de concreto em si (E1), Se faz necessário calcular o Módulo de Elasticidade do Bloco em Flexão (E2) e do Módulo de Elasticidade do Bloco em Cisalhamento

(E3), para calcular o Módulo de Elasticidade *in-situ* ($E_{in-situ}$), que é o parâmetro a ser utilizado na análise mecanicista. Os blocos de concreto a serem utilizados possuem 40 cm de comprimento, 20 cm de largura, 6 cm de espessura, e abertura de juntas de 1,5 mm.

MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO
E_1

MÓDULO DE ELASTICIDADE DO BLOCO EM FLEXÃO
$E_2 = E_1 * 2^{2,5*(L-1,2)}$

MÓDULO DE ELASTICIDADE DO BLOCO EM CISALHAMENTO
$E_3 = 1,5 * L^3 * h^{-2} * G$ $G = 10521 - 5210 * fa$

MÓDULO DE ELASTICIDADE DO BLOCO IN SITU
$E_{in situ} = \frac{1}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{1}{E_3}}$

Legenda:

L = Comprimento do bloco (m)

h = Espessura do bloco (m)

G = Módulo de cisalhamento ($\frac{MPa}{m}$)

fa = Abertura de juntas (mm)

L = Comprimento do bloco (m)

$E_1 = 27000 \text{ MPa}$

$E_2 = 27000 * 2^{2,5*(0,2-1,2)} = 4772,97 \text{ MPa}$

$E_3 = 1,5 * 0,2^3 * 0,06^{-2} * (10521 - 5210 * 1,5) = 9020 \text{ MPa}$

$E_{in situ} = 1/(1/27000 + 1/4772,97 + 1/9020) = 2797,87 \text{ MPa}$

2.1. Deformação Permanente

$$N = K * \left(\frac{1}{\varepsilon_v}\right)^n$$

Equação	Autor	Ano	K	n
1	Dormon & Metcalf	1965	$6,069 \times 10^{-10}$	4,762

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE. Utilizando o AEMC, a maior deformação vertical no topo do subleito (ϵ_v) foi de $6,35 \times 10^{-4}$ m/m. Como $N_{dp} > N_{projeto}$, a estrutura ATENDE.

$$N_{dp} = 6,069 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{6,35 \times 10^{-4}} \right)^{4,762} = 1,02 \times 10^6 > 1,0 \times 10^5$$

2.2. Deflexão Admissível

$$\log D_{adm} = k - n \times \log N$$

Equação	Autor	K	n
1	DNER-PRO 011/79	3,01	0,176

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE. Utilizando o AEMC, a maior deflexão na superfície do pavimento foi de $59,96 \times 0,01$ mm. Como $D_{adm} > D_{projeto}$, a estrutura ATENDE.

$$D_{adm} = 10^{3,01 - 0,176 \times \log(10^5)} = 134,90 \times 0,01 \text{ mm} > 59,96 \times 0,01 \text{ mm}$$

3. Estrutura Final

A estrutura do pavimento após a análise mecanicista apresenta a seguinte composição:

Camadas	Espessura (cm)
Blocos	6,0
Areia	3,0 - 5,0
Sub-Base Cbr $\geq 20\%$	28,0
Subleito Cbr $\geq 5\%$	-

SOLUÇÃO PROPOSTA 2: Reciclagem da base para uso como subleito (CBR $\geq 20\%$) + Base de Brita Graduada Simples (BGS) + Tratamento Superficial Duplo (TSD)

1. Dimensionamento empírico

Conforme número N (USACE) = $5,31 \times 10^4$ calculado, será utilizado para fins de dimensionamento o número N = $1,0 \times 10^5$, tendo em vista que foi o valor adotado no projeto de implantação e garante uma maior confiabilidade ao dimensionamento a ser realizado.

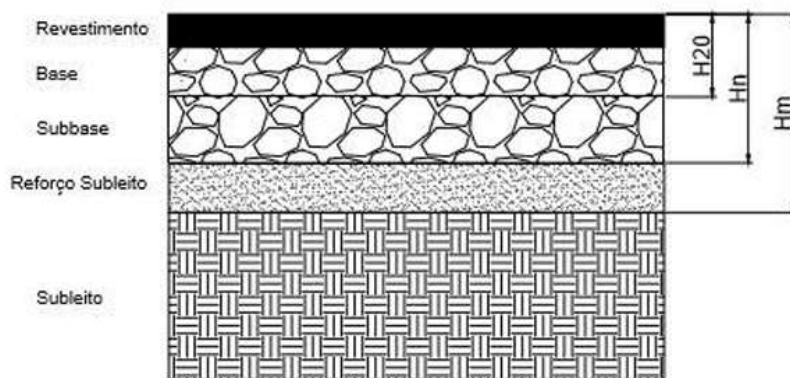
A camada de base do pavimento existente na via será tratada com estabilização granulométrica, a partir de uma reciclagem profunda do pavimento, no qual o material após o procedimento deve atingir um CBR mínimo de 20% a ser utilizado como subleito da nova estrutura. O dimensionamento pelo método do DNER (1981) se baseia em um método empírico pelas seguintes fórmulas:

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$R \times Kr + B \times Kb \geq H20$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks \geq Hn$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks + hn \times kn \geq Hm$$



Utilizando a camada de base reciclada com CBR $\geq 20\%$ como subleito, teremos uma camada total a ser executada de material granular de:

$$Ht = H20 = 77,67 \times (10^5)^{0,0482} \times 20^{-0,598} = 23 \text{ cm}$$

Pelo número "N" ser menor ou igual a 10^6 , será utilizado Tratamento Superficial Duplo (TSD) como revestimento.

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Conforme tabela mostrada a seguir, os coeficientes K para o TSD e BGS são 1,2 e 1,0, respectivamente.

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento pré-misturado por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

O TSD tendo uma espessura de 2 cm, pode-se definir a espessura da camada de BGS pela fórmula:

$$1,2 \times 2 + 1 \times B \geq 23\text{cm} \quad B \geq 20,6\text{cm} \rightarrow 21\text{cm}$$

Pelo dimensionamento empírico, a estrutura do pavimento terá a seguinte composição:

Camadas	Espessura (cm)
TSD	2,0
BGS	21,0
Subleito $\geq 20\%$ (Base reciclada)	-

2. Análise Mecanicista

A fim de garantir o comportamento adequado do pavimento em relação ao atendimento aos critérios de deformação permanente no topo do subleito e deflexão admissível, se faz necessária a análise mecanicista do pavimento.

Os Módulos de Resiliência (MR) dos materiais, como também os Coeficientes de Poisson (μ), foram estimados a partir das seguintes tabelas propostas pelo DER-SP (2024).

Material	Intervalo de Valores do Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento Portland	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos	
- revestimento (CAP 50-70)	3000 – 6500
- revestimento (CAP 30-45)	2500 – 4500
- revestimento (ligante modificado com polímero)	3500 - 10500
- revestimento (ligante modificado com borracha)	1700-6500
- binder (CAP 50-70)	2500 – 4000
- binder (CAP 30-45)	2000 – 3000
- pré-misturado a quente	2000 – 2500
- pré-misturado a frio	1000 – 1400
Materiais granulares	
- brita graduada sobre camada granular	200 – 380
- brita graduada sobre camada cimentada	350 – 450
- macadame seco	100 – 300
- solo-brita	150 – 350
Materiais estabilizados quimicamente	
- solo-cimento	400 – 11000
- brita graduada tratada com cimento	7000 – 15000
- reciclado com cimento	4000 – 7000
- reciclado com espuma	800 – 2000
- concreto compactado com rolo	7000 – 29500
Concreto de cimento Portland	30000 – 35000
Solos finos em base e sub-base	150 – 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito	
- solos de comportamento laterítico (LA, LA', LG')	100 – 200
- solos de comportamento não laterítico	25 – 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço do subleito	200 – 400

Para os solos do subleito recomendam-se as seguintes correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte ISC:

- solos lateríticos arenosos (LA') e lateríticos argilosos (LG'):

$$MR=22 \times ISC^{0.8} \text{ (MPa)}$$

- solos não lateríticos siltosos (NS') e não lateríticos argilosos (NG'):

$$MR=18 \times ISC^{0.64} \text{ (MPa)}$$

- solos arenosos pouco ou não coesivos (LA, NA e NA'):

$$MR=14 \times ISC^{0.7} \text{ (MPa)}$$

Material	MR (MPa)	μ
TSD	1000	0,30
Base (BGS)	250	0,35
Subleito (Base reciclada; Solos arenosos pouco ou não coesivos)	$14 \times CBR^{0.7} (20) = 114 \text{ MPa}$	0,40

2.1. Deformação Permanente

$$N = K \times \left(\frac{1}{\varepsilon_v} \right)^n$$

Equação	Autor	Ano	K	n
1	Dormon & Metcalf	1965	$6,069 \times 10^{-10}$	4,762

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE. Utilizando o AEMC, a maior deformação vertical no topo do subleito (ε_v) foi de $9,88 \times 10^{-4} \text{ m/m}$. Como $N_{dp} > N_{projeto}$, a estrutura ATENDE.

$$N_{dp} = 6,069 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{9,88 \times 10^{-4}} \right)^{4,762} = 1,24 \times 10^5 > 1,0 \times 10^5$$

2.2. Deflexão Admissível

$$\log D_{adm} = k - n \times \log N$$

Equação	Autor	K	n
1	DNER-PRO 011/79	3,01	0,176

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE. Utilizando o AEMC, a maior deflexão na superfície do pavimento foi de $73,70 \times 0,01 \text{ mm}$. Como $D_{adm} > D_{projeto}$, a estrutura ATENDE.

$$D_{adm} = 10^{3,01 - 0,176 \times \log(10^5)} = 134,90 \times 0,01 \text{ mm} > 99,48 \times 0,01 \text{ mm}$$

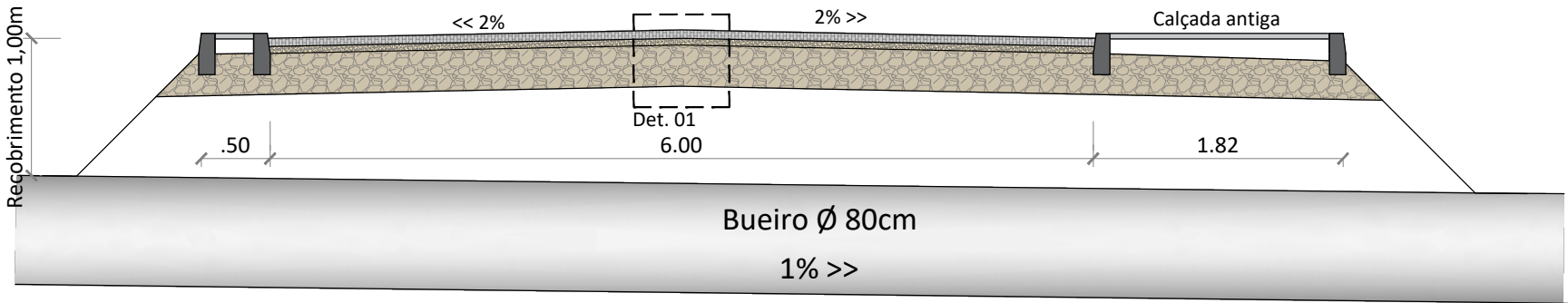
3. Estrutura Final

A estrutura do pavimento após a análise mecanicista apresenta a seguinte composição:

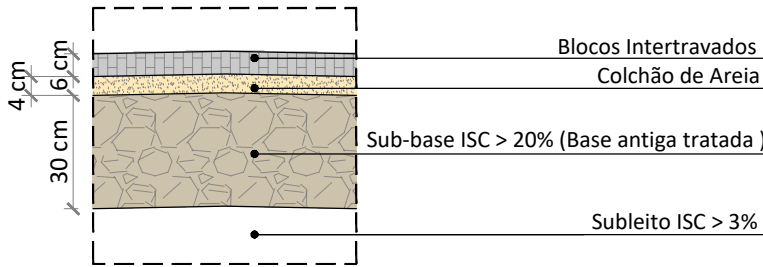
Camadas	Espessura (cm)
TSD	2,0
BGS	21,0
Subleito $\geq$ 20% (Base reciclada)	-

APÊNDICE 3 - Seções transversais das soluções propostas

SEÇÃO TIPO SOLUÇÃO 01 BLOCO INTERTRAVADO 6 cm

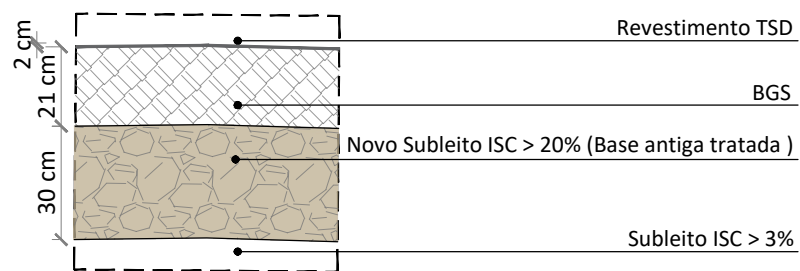
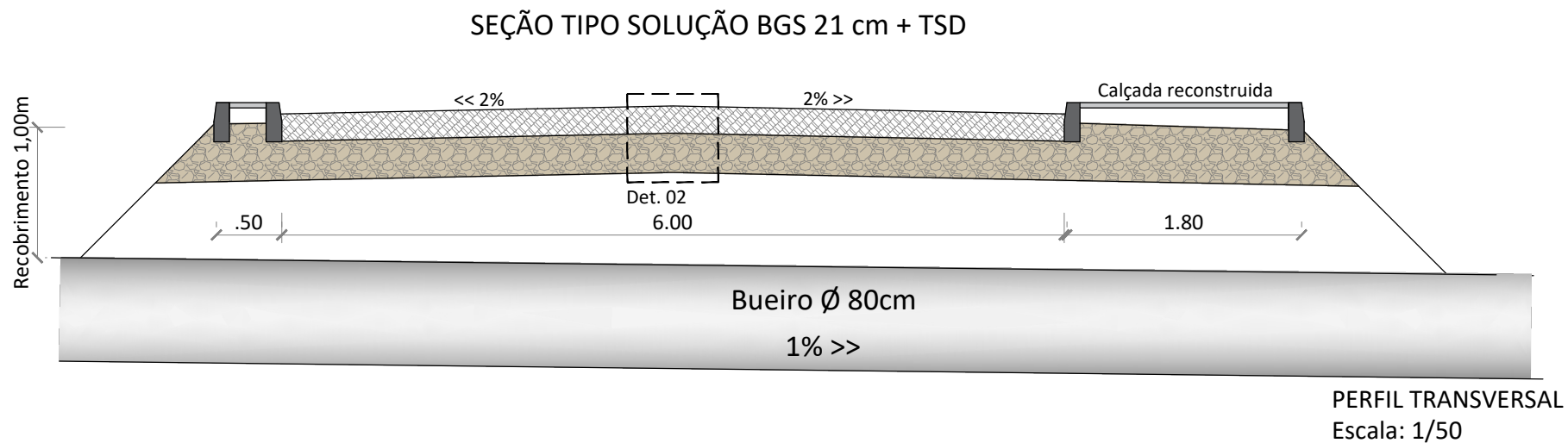


PERFIL TRANSVERSAL
Escala: 1/50



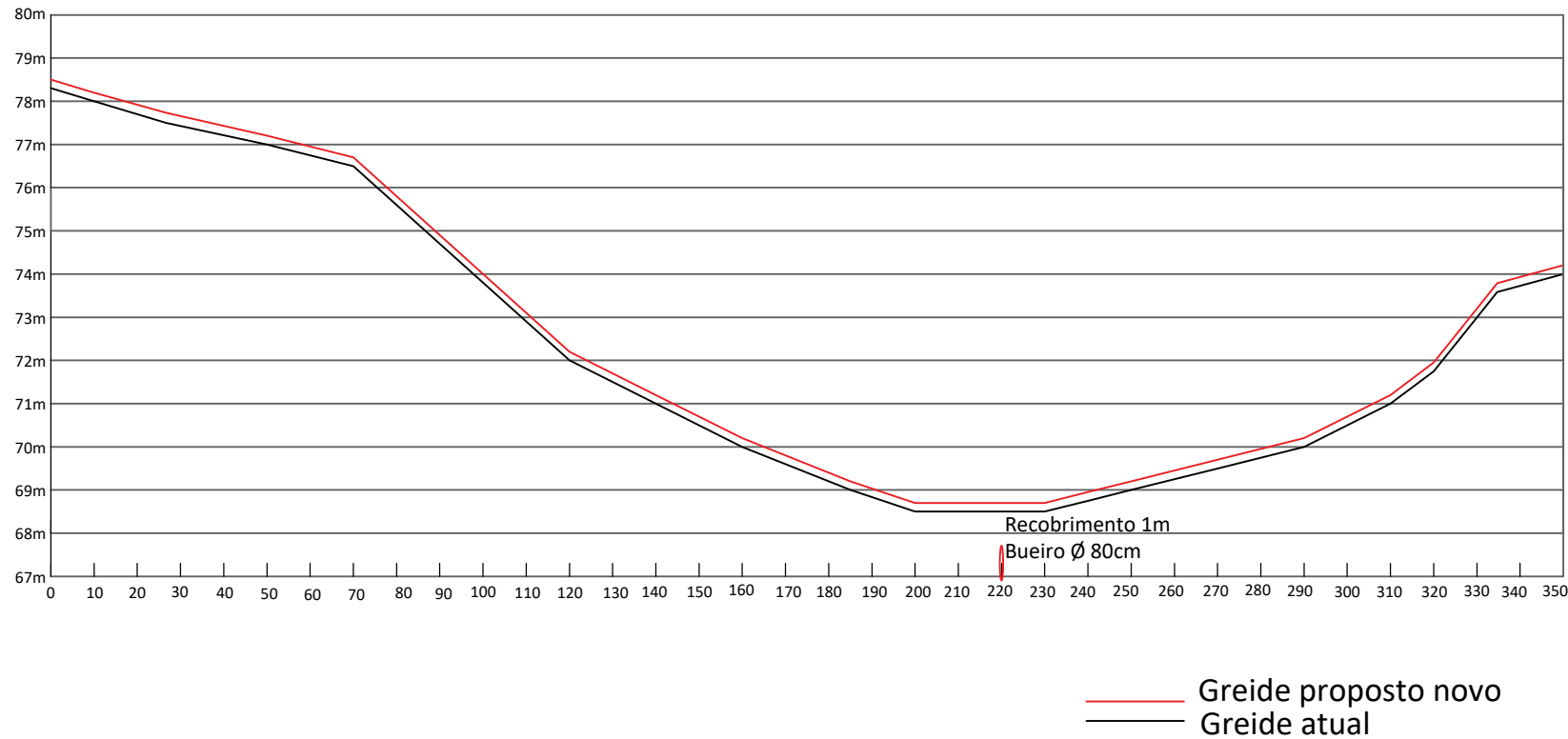
DETALHE 01
Escala: 1/20

PROJETO:	Projeto Executivo para recuperação de pavimento - ISD	ASSUNTO:	Solução Proposta 01 Bloco Intertravado de 6 cm	PRANCHA:	01/03
ENDEREÇO:	Escola Agrícola de Jundiá - Macaíba/RN	ESCALA:	Indicadas		
AUTOR DO PROJETO:	Laboratório de Mecânica dos Solos - UFRN	DATA:	agosto/2025		



PROJETO: Projeto Executivo para recuperação de pavimento - ISD ENDEREÇO: Escola Agrícola de Jundiá - Macaíba/RN AUTOR DO PROJETO: Laboratório de Mecânica dos Solos - UFRN	ASSUNTO: Solução Proposta 02 BGS 21 cm + TSD			PRANCHA: 02/03
	ESCALA: Indicadas			
	DATA: agosto/2025			

Perfil Longitudinal



PROJETO:	Projeto Executivo para recuperação de pavimento - ISD	ASSUNTO:	Perfil Longitudinal	PRANCHA:	03/03
ENDEREÇO:	Escola Agrícola de Jundiá - Macaíba/RN	ESCALA:	Horizontal 1:1 Vertical 10:1		
AUTOR DO PROJETO:	Laboratório de Mecânica dos Solos - UFRN	DATA:	agosto/2025		