



Cliente:

**AMFRI – Associação dos Municípios da Região da Foz
do Rio Itajaí**

Contrato:

N.º 04/2026

Objeto:

**Projetos Executivos de Macrodrenagem para passagem
do Ribeirão da Murta sob a BR-101 e sob a Rua Dr.
Reinaldo Schmithausen.**

**RELATÓRIO TÉCNICO
DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO BR-101**

Junho/2026

(Revisão 01)



LITORAL ENGENHARIA LTDA.

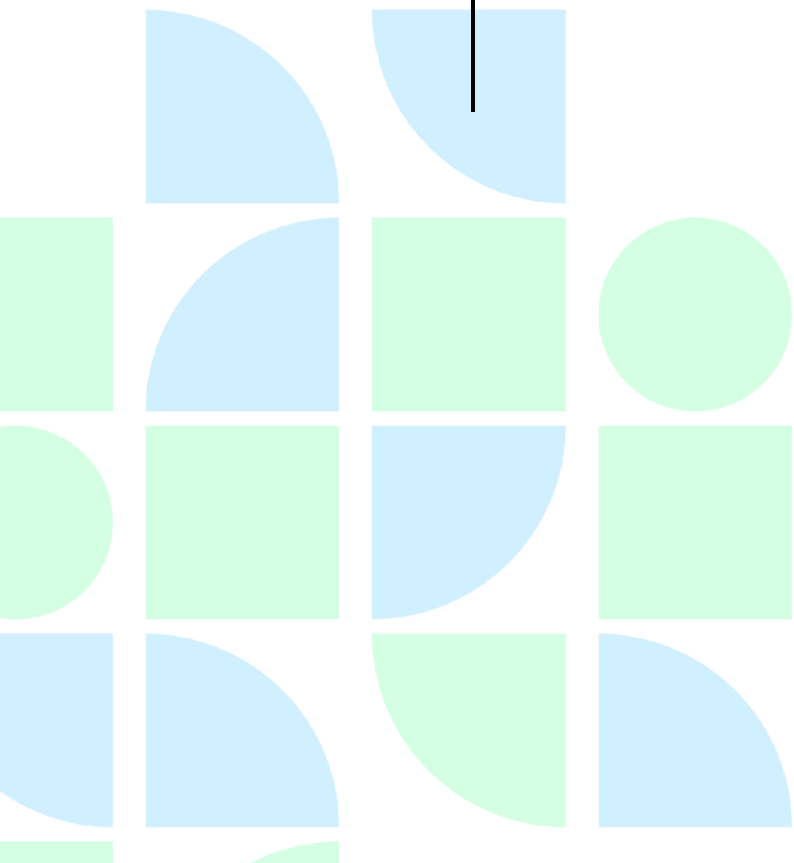
CNPJ: 08.250.465/0001-02

Resp. Técnico: Eng. Civil Marcos Roberto Stramari – CREA-SC 076439-2

Contrato nº 04/2026 de 10/02/2026

ÍNDICE DE REVISÕES

REV	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
00	Emissão Inicial dos projetos executivos
01	Incorporação dos ensaios laboratoriais de ISC/CBR do subleito; adoção de CBR de projeto = 6% e redimensionamento da Estrutura Tipo 2.
02	



OBJETIVO

Apresentar os Projetos Executivos de Macrodrenagem para Transposição do Ribeirão da Murta sob a BR-101 e sob a Rua Dr. Reinaldo Schmithausen, conforme Alternativa 02 apresentada no Estudo Técnico Preliminar recebido, junto ao Ofício n.º 068/2026 de 06/04/2026, contendo os seguintes serviços.

1. Levantamento Planialtimétrico;
2. Sondagem CBR;
3. Sondagem SPT;
4. Projeto de recomposição de pavimentação em asfalto, terraplenagem, geométrico, sinalização, memorial descritivo;
5. Projeto de calçada acessível;
6. Projeto de drenagem (microdrenagem pluvial), inclusive memorial e dimensionamento;
7. Projeto de contenções em gabiões para contenção das entradas e saídas das travessias;
8. Projeto de transposição de talvegues com implantação de galerias celulares em concreto;
9. Projeto de drenagem (desassoreamento de valas), inclusive memorial e dimensionamento;
10. Memorial descritivo e cadernos de especificações técnicas;
11. Memorial quantitativo, orçamento estimativo e cronograma físico-financeiro
12. ART/RRT



1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	DOCUMENTOS E INFORMAÇÕES DE REFERÊNCIA	9
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO	11
4.	CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS DE IMPLANTAÇÃO	12
5.	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	17
5.1	Espessura total do pavimento (H_{sl}).....	17
5.2	Espessura mínima do revestimento betuminoso	18
5.3	Coeficientes de equivalência estrutural (K).....	19
5.4	Inequações de dimensionamento	19
5.5	Espessuras mínimas das camadas	20
5.6	Fator climático regional	20
6.	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	21
6.1	Dimensionamento sobre a plataforma de apoio ($CBR \geq 20\%$)	22
7.	ESTRUTURAS PROJETADAS.....	24
7.1	Estrutura Tipo 1 – Trechos sobre galerias	24
7.2	Estrutura Tipo 2 - Trechos fora das galerias	25
7.3	Transição entre as seções.....	28
8.	VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO	29
8.1	Verificação sobre a plataforma com $CBR \geq 20\%$	29
8.2	Verificação da Estrutura Tipo 1	29

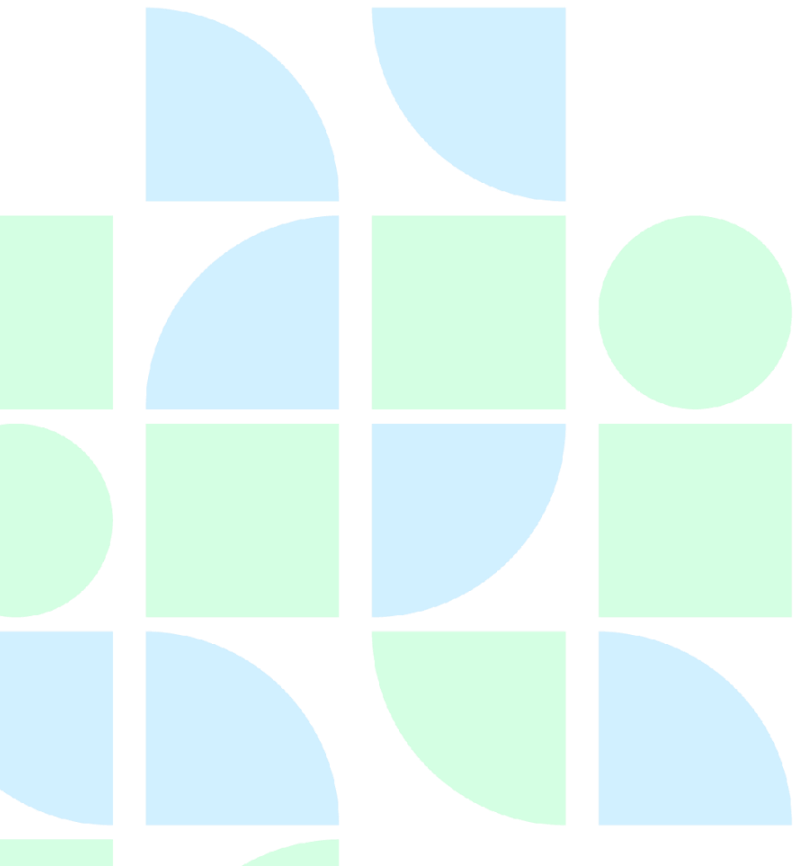


8.3 Verificação da Estrutura Tipo 2 30

9. MATERIAIS, ESPECIFICAÇÕES E CRITÉRIOS EXECUTIVOS..... 32

9.1 Especificações complementares 33

10. REFERÊNCIAS 34



ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do pavimento – BR-101 (tráfego muito pesado).	25
Figura 2 - Estrutura do pavimento – BR-101 (trechos fora das galerias).....	27

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Índice N do SPT nas sondagens SPT-07 e SPT-08.....	12
Quadro 2 - Resumo dos ensaios de ISC/CBR do subleito, por material	14
Quadro 3 - Espessura total do pavimento em material granular Hsl (cm)	18
Quadro 4 - Espessura mínima do revestimento	18
Quadro 5 - Coeficientes de Equivalência Estrutural	19
Quadro 6 - Espessuras mínimas construtivas das camadas	20
Quadro 7 - Materiais e critérios de aceitação por camada	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Verificação da estrutura adotada sobre a plataforma (CBR $\geq 20\%$)	29
Tabela 2 - Verificação da Estrutura Tipo 2 sobre o subleito natural (CBR = 6%).	30

1. INTRODUÇÃO

O presente Relatório Técnico integra os Projetos Executivos de Macrodrenagem para passagem do Ribeirão da Murta sob a BR-101 e sob a Rua Dr. Reinaldo Schmithausen, elaborados para a AMFRI – Associação dos Municípios da Região da Foz do Rio Itajaí, no âmbito do Contrato n.º 04/2026.

O documento trata do dimensionamento do pavimento flexível da BR-101, no trecho inserido na área de intervenção, considerando sua relação direta com a transposição do Ribeirão da Murta e com a implantação das galerias sob o sistema viário.

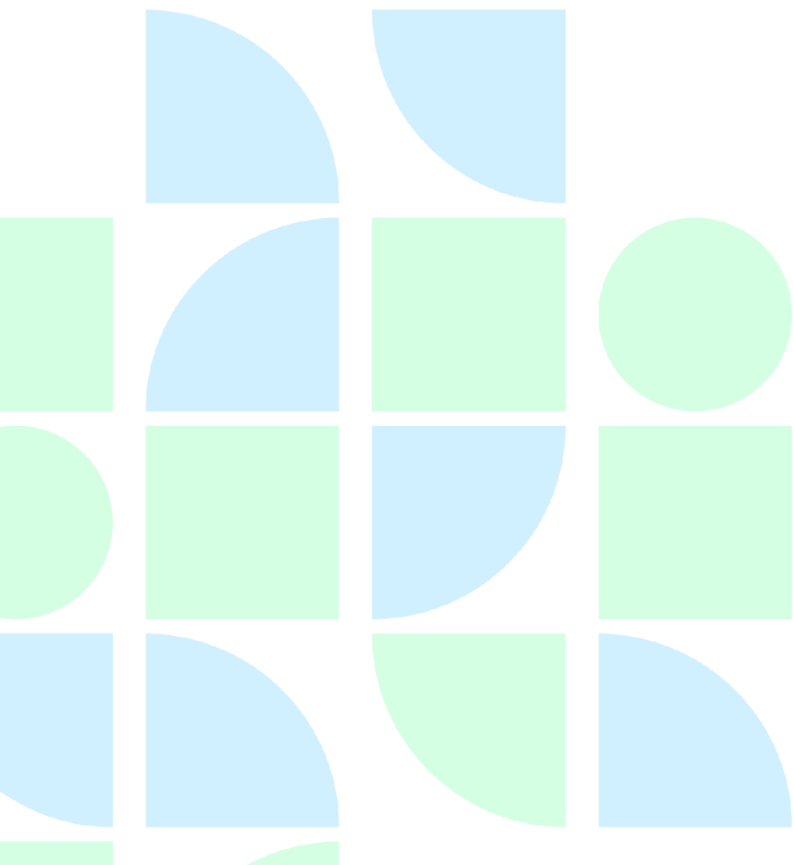
A solução de pavimentação foi desenvolvida a partir das condições geotécnicas identificadas nas sondagens SPT-07 e SPT-08, dos resultados laboratoriais de Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR, dos condicionantes de implantação das galerias, da caracterização da via como rodovia federal sujeita a tráfego muito pesado e dos critérios aplicáveis ao dimensionamento de pavimentos flexíveis.

O dimensionamento foi conduzido com base no Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT, associado ao método do Eng. Murillo Lopes de Souza, com apoio nas recomendações do Manual de Pavimentação do DNIT e nas diretrizes da Instrução de Projeto IP-05/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo.

Em razão das condições locais, o relatório diferencia os trechos de pavimento apoiados sobre o reaterro compactado das galerias daqueles implantados fora delas, nos acessos e segmentos correntes, onde o pavimento deverá ser apoiado sobre o subleito natural regularizado e compactado. Essa distinção orienta a definição das estruturas, das camadas de apoio, dos reforços necessários e das recomendações aplicáveis.

Ressalta-se que, nesta revisão, a capacidade de suporte do subleito foi revista a partir dos ensaios laboratoriais de Índice de Suporte Califórnia - ISC/CBR, conforme o Caderno de Caracterização de Solos - A.L. Buguiski / Litoral Engenharia, 2026, substituindo a estimativa anterior baseada apenas em correlação com o SPT.

Quanto ao tráfego, na ausência de estudo específico de contagem volumétrica, composição da frota ou projeção de solicitações para o trecho analisado, mantém-se a premissa conservadora compatível com a função viária da BR-101, adotando-se a condição de tráfego muito pesado e número $N = 5 \times 10^7$.



2. DOCUMENTOS E INFORMAÇÕES DE REFERÊNCIA

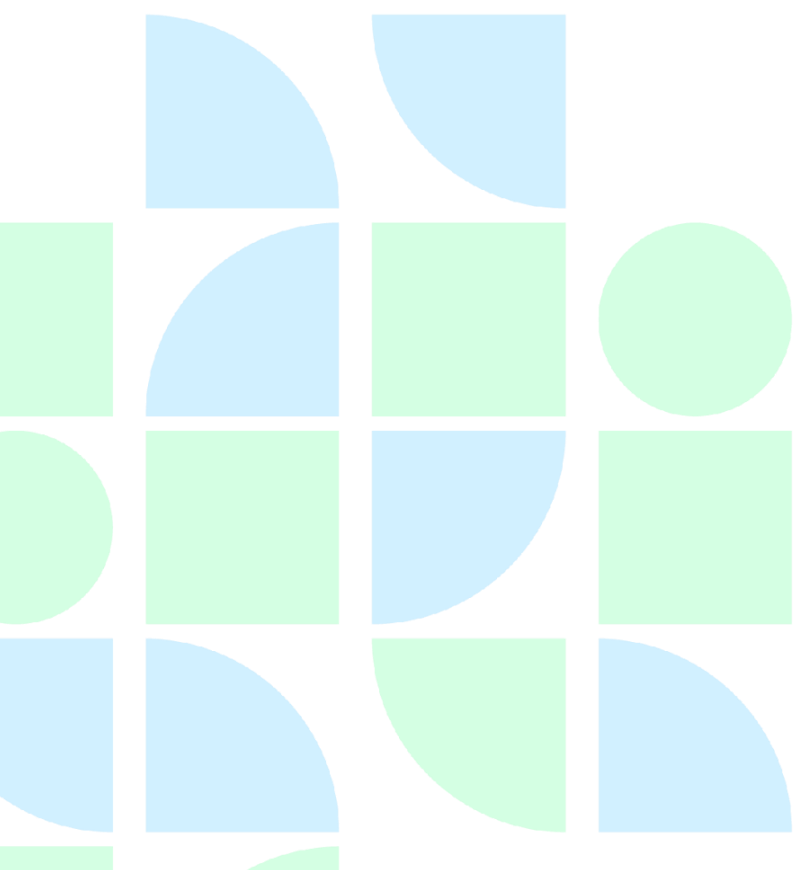
A elaboração do presente Relatório Técnico teve como base os documentos, informações de projeto e referências técnicas disponibilizadas para o desenvolvimento dos Projetos Executivos de Macrodrenagem para passagem do Ribeirão da Murta sob a BR-101 e sob a Rua Dr. Reinaldo Schmithausen, no município de Itajaí/SC.

Foram considerados, como principais documentos e informações de referência:

- Contrato n.º 04/2026, celebrado com a AMFRI – Associação dos Municípios da Região da Foz do Rio Itajaí;
- Peças gráficas integrantes dos Projetos Executivos de Macrodrenagem do Ribeirão da Murta;
- Informações geométricas e de implantação das galerias de drenagem projetadas sob o sistema viário;
- Sondagens de simples reconhecimento SPT-07 e SPT-08, representativas do trecho analisado e determinações laboratoriais de ISC/CBR consideradas para a região da BR-101;
- Caderno de Caracterização de Solos – A.L. Buguiski / Litoral Engenharia, Rev.00, 25/06/2026;
- Informações relativas à caracterização da via, considerada como BR-101, rodovia federal sujeita a tráfego muito pesado;
- Critérios de dimensionamento de pavimentos flexíveis estabelecidos pelo DNIT, pelo método do Eng. Murillo Lopes de Souza;
- Diretrizes da Instrução de Projeto IP-05/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo;
- Recomendações do Manual de Pavimentação do DNIT;
- Normas técnicas e especificações de serviço aplicáveis às camadas de pavimentação, terraplenagem, regularização do subleito, reforço, sub-base, base, revestimento asfáltico, imprimação, pintura de ligação e geossintéticos;



- Referências técnicas relacionadas ao emprego de geogrelhas, geotêxteis, reforço de subleito, controle tecnológico, drenagem, tratamento de solos moles e verificação complementar de estruturas de pavimento.



3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

A área de intervenção localiza-se na região do Ribeirão da Murta, no município de Itajaí/SC, no trecho abrangido pelos Projetos Executivos de Macrodrenagem para passagem do curso d'água sob a BR-101 e sob a Rua Dr. Reinaldo Schmithausen.

A solução de pavimentação analisada está diretamente relacionada à implantação das estruturas de drenagem projetadas, uma vez que parte do sistema viário será executada sobre as galerias e parte sobre trechos de acesso ou segmentos correntes apoiados em subleito natural de baixa capacidade de suporte.

A via objeto deste estudo corresponde à BR-101, rodovia federal inserida no contexto das intervenções previstas para a transposição do Ribeirão da Murta. Em função de sua importância regional, de suas características operacionais e da circulação de veículos comerciais, a via foi considerada como **rodovia**, sujeita a **tráfego muito pesado**.

Até a presente fase de projeto, não foram disponibilizados estudos específicos de contagem volumétrica, composição da frota ou projeção de tráfego para o trecho analisado. Dessa forma, adotou-se **critério conservador de dimensionamento**, compatível com a função viária prevista e com as referências técnicas aplicáveis.

Para fins de dimensionamento do pavimento flexível, a BR-101 foi enquadrada na categoria de **tráfego muito pesado**, conforme classificação da Instrução de Projeto IP-05/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo. Para essa condição, foi considerado o número característico de solicitações equivalentes do eixo-padrão de 80 kN igual a **$N = 5 \times 10^7$** , correspondente ao período de projeto adotado.

4. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS DE IMPLANTAÇÃO

A caracterização geotécnica do trecho foi realizada com base nas sondagens de simples reconhecimento **SPT-07 e SPT-08**, representativas da área analisada, e nas determinações laboratoriais de Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR realizadas para os materiais de subleito e incorporadas à presente revisão.

As sondagens SPT permitem avaliar o perfil geotécnico em profundidade, especialmente quanto à presença de solos moles, nível d'água e possibilidade de recalques por adensamento. Já os ensaios de ISC/CBR representam a capacidade de suporte do subleito regularizado e compactado, sendo utilizados diretamente para o dimensionamento estrutural do pavimento.

O quadro a seguir apresenta o resumo dos índices de resistência à penetração *N*, correspondentes aos golpes nos 30 cm finais do ensaio SPT.

Quadro 1 - Índice N do SPT nas sondagens SPT-07 e SPT-08.

Profundidade (m)	SPT-07	SPT-08	Consistência
1	2	2	muito mole a mole
2	3	3	muito mole a mole
3	3	3	muito mole a mole
4	4	3	muito mole a mole
5	2	4	muito mole a mole
6	2	4	muito mole a mole
7	3	3	muito mole a mole
8	4	2	muito mole a mole
9	3	4	muito mole a mole
10	4	4	muito mole a mole

Fonte: Litoral Engenharia / A.L. Buguiski, NBR 6484:2020

Os perfis geotécnicos indicam a ocorrência de **argila muito mole a mole até a profundidade investigada de 10,00 m**, com **nível d'água identificado a aproximadamente 2,00 m de profundidade**.

Na **sondagem SPT-07**, verificou-se a presença de argila-arenosa muito mole a mole de 0,00 m a 3,00 m, sobreposta a argila muito mole a mole até 10,00 m. Na **sondagem SPT-08**, identificou-se argila muito mole a mole de 0,00 m a 2,45 m, sobreposta a argila-arenosa muito mole a média até 10,00 m.

As sondagens foram encerradas por solicitação da contratante, e não por impenetrabilidade, indicando que a camada de solo mole pode prosseguir em profundidade. Essa condição representa um condicionante relevante para o projeto, especialmente quanto à possibilidade de recalques por adensamento, à estabilidade da plataforma de trabalho e à execução das camadas de pavimentação.

Na fase inicial do projeto (Revisão 00), em razão da indisponibilidade de ensaios laboratoriais, a capacidade de suporte do subleito havia sido estimada por correlação com os baixos índices N do SPT e com a consistência observada nos materiais investigados. Para solos com índice *N* entre 1 e 4, classificados como de consistência muito mole a mole, a literatura técnica indica valores de CBR tipicamente baixos, entre 1% e 3%, tendo-se adotado, naquela fase e de forma conservadora, CBR = 2% para o subleito natural.

Na presente revisão, essa estimativa foi substituída pelos resultados de ensaios laboratoriais de Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR) executados sobre amostras coletadas ao longo do trecho de intervenção, conforme o **Caderno de Caracterização de Solos - A.L. Buguiski / Litoral Engenharia, Revisão 00, de 25/06/2026**. Foram realizadas 16 determinações de ISC na energia do Proctor Normal, com imersão de 96 h e medida de expansão, conforme ABNT NBR 9895:2025, e ensaios de compactação conforme a ABNT NBR 7182:2025. O ISC de projeto foi tomado no ponto ótimo, correspondente a 100% do Proctor Normal, compatível com a exigência de grau de compactação da regularização do subleito (DNIT 137/2010-ES).

Os resultados evidenciam dois materiais de subleito distintos ao longo do corredor. Predomina uma **areia siltosa**, representada pelas amostras 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 16, 18 e 20, com ISC no ponto ótimo entre 10,2% e 12,1% (média de 11,2%) e baixa expansão. Em pontos da porção central ocorre uma **argila**

siltosa, representada pelas amostras 3, 5, 7, 12 e 14, com ISC no ponto ótimo entre 6,4% e 6,8% (média de 6,6%) e expansão no ponto ótimo entre 1,14% e 1,31%. O quadro a seguir sintetiza os resultados por material.

Quadro 2 - Resumo dos ensaios de ISC/CBR do subleito, por material

Material do subleito	Nº de ensaios	ISC ótimo – faixa (%)	ISC ótimo – média (%)	Expansão no ponto ótimo (%)
Areia siltosa (predominante)	11	10,2 – 12,1	11,2	0,09 – 0,15
Argila siltosa (porção central)	5	6,4 – 6,8	6,6	1,14 – 1,31 *
Subleito de projeto (governante)	—	—	6,0 (adotado)	≤ 2,0 (exig.)

* Nas amostras de argila siltosa, a expansão no ramo seco da compactação chegou a aproximadamente 2,3%, reduzindo-se para a faixa de 1,14% a 1,31% na umidade ótima. Fonte: Caderno de Caracterização de Solos – A.L. Buguiski / Litoral Engenharia, 2026.

Cabe distinguir, na interpretação desses resultados, duas grandezas que respondem a solicitações diferentes. O ISC de laboratório, obtido após imersão, representa o suporte do **subleito regularizado e compactado** e governa a espessura estrutural do pavimento. Já os baixos índices do SPT, com valores entre 2 e 4 até a profundidade investigada, caracterizam a presença de **argila mole natural em profundidade**, condição associada a recalques por adensamento e à trabalhabilidade da plataforma durante a obra.

As duas informações são, portanto, complementares e não conflitantes. Os ensaios de ISC/CBR justificam a revisão do CBR de projeto para fins de dimensionamento estrutural do pavimento, enquanto as sondagens SPT mantêm a necessidade de atenção às condições de solo mole em profundidade, especialmente quanto ao tratamento de recalques e à eventual necessidade de plataforma de trabalho nos pontos em que a argila mole saturada ocorra na cota de implantação.

Dessa forma, para o **dimensionamento estrutural do subleito natural**, correspondente à Estrutura Tipo 2, aplicável aos trechos fora das galerias, adota-se, de forma conservadora, o valor característico do material



mais desfavorável identificado nos ensaios, correspondente a **CBR = 6%**. Esse valor é inferior ao menor ISC medido para a argila siltosa, de 6,4%, e coincide com uma linha da tabela de dimensionamento utilizada. Os segmentos com predominância de areia siltosa, que apresentam $ISC \geq 10,2\%$, ficam, assim, a favor da segurança.

Quanto à expansão, os segmentos em argila siltosa atendem ao limite de 2% para subleito (DNIT 137/2010-ES) desde que a compactação seja conduzida na umidade ótima ou ligeiramente acima. A compactação no ramo seco eleva a expansão a valores superiores ao limite de referência e, portanto, deve ser evitada. Em pontos em que a expansão medida exceda 2% ou em que ocorra a argila mole saturada na cota de implantação, recomenda-se substituição localizada do material de subleito ou tratamento geotécnico específico.

Além das condições geotécnicas, constitui condicionante essencial de implantação a **presença das galerias de drenagem** projetadas sob o sistema viário. As galerias totalizam aproximadamente **11,90 m de largura** e apresentam comprimento que avança além da largura das pistas, interferindo diretamente na definição da estrutura de apoio do pavimento.

Na travessia das galerias, o pavimento não se apoia diretamente sobre o subleito natural, mas sobre o reaterro compactado executado acima da estrutura de drenagem. Por serem as galerias mais largas que as pistas, toda a faixa carregada pelo tráfego repousa sobre material competente, sem efeito de borda no trecho da travessia.

Assim, a condição de apoio difere conforme o trecho. Sobre as galerias, o pavimento apoia-se em **reaterro compactado com $CBR \geq 20\%$** , constituindo plataforma de engenharia para a Estrutura Tipo 1. Fora das galerias, com a confirmação laboratorial do subleito e adoção de CBR de projeto igual a 6%, o pavimento é dimensionado **diretamente sobre o subleito natural regularizado e compactado**, dispensando, por motivo estrutural, a construção de plataforma reforçada até $CBR \geq 20\%$.

Nos trechos fora das galerias, a eventual necessidade de plataforma de trabalho, geossintéticos, substituição localizada de material ou tratamento de



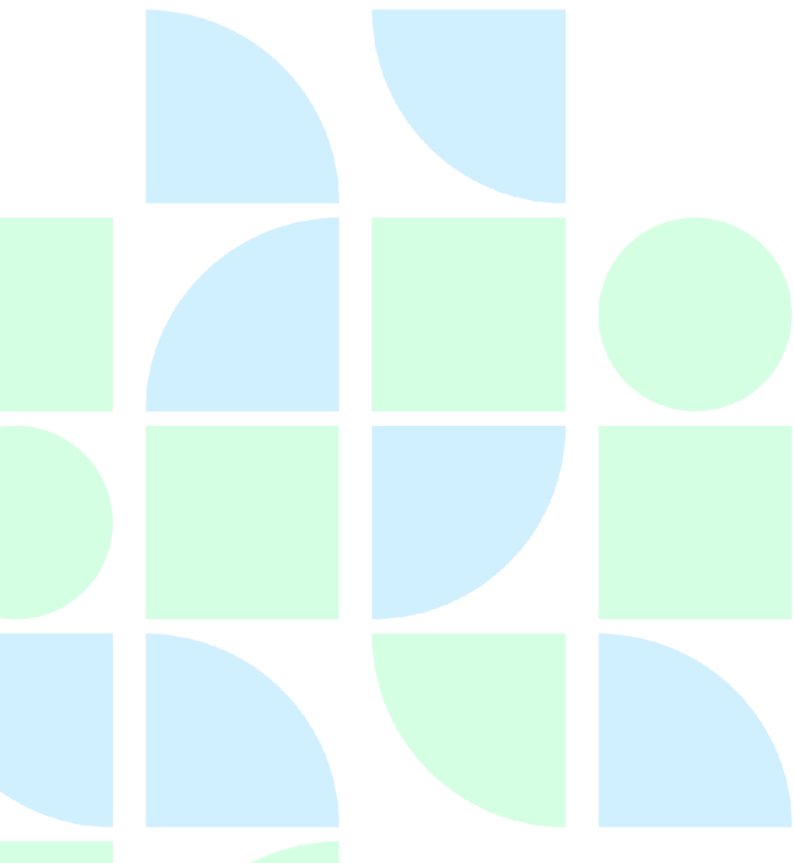
recalques deverá ser definida em função das condições efetivamente encontradas em campo, especialmente onde houver argila mole saturada na cota de subleito ou em profundidade capaz de comprometer a estabilidade e o desempenho da estrutura.

As duas condições de apoio correspondem, respectivamente, a:

a) nos trechos sobre as galerias, ao topo do reaterro compactado, constituído por material granular selecionado, executado acima da estrutura de drenagem, com $\text{CBR} \geq 20\%$;

b) nos acessos e demais trechos fora das galerias, ao topo do subleito natural regularizado e compactado, com CBR de projeto igual a 6%, admitindo-se plataforma de trabalho e/ou tratamento geotécnico apenas onde houver necessidade técnica decorrente da presença de argila mole saturada, baixa trabalhabilidade ou risco de recalques.

A diferenciação entre essas condições de apoio resultou na definição de duas estruturas de pavimento: **Estrutura Tipo 1**, aplicável aos trechos sobre as galerias, e **Estrutura Tipo 2**, aplicável aos trechos fora das galerias.



5. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O dimensionamento da estrutura de pavimento flexível foi conduzido com base no **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT**, conhecido como método do Eng. Murillo Lopes de Souza, com apoio nas recomendações do **Manual de Pavimentação do DNIT** (IPR, 3ª ed., 2006) e nas diretrizes da **Instrução de Projeto IP-05/2004** da Prefeitura Municipal de São Paulo.

O método considera, como parâmetros principais, o número de solicitações equivalentes do eixo-padrão durante o período de projeto, representado pelo número N , e a capacidade de suporte do subleito, expressa pelo Índice de Suporte Califórnia — CBR.

Para o presente relatório, considerando a BR-101 como rodovia federal sujeita a tráfego muito pesado, adotou-se o enquadramento na categoria de **tráfego muito pesado**, com número característico de solicitações equivalentes do eixo-padrão de 80 kN igual a $N = 5 \times 10^7$.

A capacidade de suporte do subleito natural foi confirmada em ensaios laboratoriais de ISC/CBR, adotando-se **CBR de projeto = 6%** (valor característico da argila siltosa; a areia siltosa apresenta $CBR \geq 10\%$). Sobre as galerias, considera-se ainda a plataforma de reaterro compactado com **CBR $\geq 20\%$** , empregada no dimensionamento da Estrutura Tipo 1.

5.1 Espessura total do pavimento (H_{SL})

A espessura total necessária do pavimento, expressa em material granular equivalente, é definida em função do par $N \times CBR$. As espessuras das camadas são determinadas por meio das inequações de equivalência estrutural, considerando os coeficientes estruturais dos materiais empregados e as espessuras mínimas construtivas aplicáveis.

Para o dimensionamento, foram adotados os seguintes parâmetros principais:

Quadro 3 - Espessura total do pavimento em material granular Hsl (cm)

CBR (%)	Médio	Meio pesado	Pesado	Muito pesado	Corredor de ônibus ¹
2	95	100	113	119	110/119
3	75	78	88	92	85/92
4	64	67	76	80	73/80
5	57	60	68	71	65/71
6	51	53	60	63	58/63
7	48	49	55	61	53/59
8	44	45	51	55	50/55
9	40	43	48	51	47/51
10	39	40	45	46	43/46
12	34	35	39	40	38/40
15	30	30	34	35	33/35
20	26	25	28	30	27/30

Fonte: IP-05/2004 / DNIT.

5.2 Espessura mínima do revestimento betuminoso

A espessura mínima do revestimento asfáltico é definida em função do número N considerado no dimensionamento, conforme tabela a seguir.

Quadro 4 - Espessura mínima do revestimento

N (número de solicitações)	Tráfego	Espessura mínima do revestimento (cm)
$2 \times 10^6 \leq N < 5 \times 10^6$	Meio pesado	Concreto asfáltico, 5,0
$5 \times 10^6 \leq N < 1 \times 10^7$	-----	Concreto asfáltico, 7,5
$1 \times 10^7 \leq N < 5 \times 10^7$	Pesado	Concreto asfáltico, 10,0
$N \geq 5 \times 10^7$	Muito pesado	Concreto asfáltico, 12,5
----	Faixa exclusiva de ônibus	Concreto asfáltico, mínimo 10,0

Fonte: IP-05/2004 / DNIT.

¹ Corredor de ônibus: volume médio / volume elevado

Para a condição de tráfego muito pesado, correspondente a $N \geq 5 \times 10^7$, adota-se revestimento em **concreto asfáltico usinado a quente – CAUQ**, com espessura de **12,5 cm**.

Essa espessura será considerada para a estrutura de rolamento da BR-101, tanto nos trechos apoiados sobre as galerias quanto nos trechos fora delas.

5.3 Coeficientes de equivalência estrutural (K)

Os coeficientes de equivalência estrutural representam a contribuição relativa de cada material para a capacidade estrutural do pavimento.

Quadro 5 - Coeficientes de Equivalência Estrutural

Material da camada (base ou revestimento)	Coeficiente K
Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)	2,0
Pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Revestimento betuminoso por penetração	1,2
Brita graduada simples (BGS) / material granular	1,0
Solo-cimento ou BGTC (RC 7 dias > 4,5 MPa)	1,7
Solo-cimento ou BGTC (RC 7 dias entre 2,8 e 4,5 MPa)	1,4
Solo-cimento (RC 7 dias entre 2,1 e 2,8 MPa)	1,2
Sub-base / reforço granular ou estabilizado	$\leq 1,0$

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT

5.4 Inequações de dimensionamento

O dimensionamento das camadas do pavimento é verificado por meio das inequações de equivalência estrutural:

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{SB}$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{SB} \cdot K_{SB} \geq H_{REF}$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{SB} \cdot K_{SB} + h_{REF} \cdot K_{REF} \geq H_{SL}$$

Onde:

- R = espessura do revestimento;
- B = espessura da base;
- h_{SB} = espessura da sub-base;
- h_{REF} = espessura do reforço;
- K_R , K_B , K_{SB} e K_{REF} = coeficientes estruturais das respectivas camadas;
- H_{SL} = espessura total requerida em material granular equivalente.

5.5 Espessuras mínimas das camadas

Além das espessuras obtidas pelas inequações de dimensionamento, devem ser respeitadas as espessuras mínimas construtivas das camadas, em função da classe de tráfego.

Quadro 6 - Espessuras mínimas construtivas das camadas

Tráfego	N	Base granular (mín.)	Sub-base granular (mín.)
Meio pesado	2×10^6	15,0 cm	10,0 cm
Pesado	2×10^7	15,0 cm	10,0 cm
Muito pesado	5×10^7	20,0 cm	10,0 cm

Fonte: IP-05/2004 / DNIT.

Esses valores representam limites mínimos construtivos, podendo ser ampliados em função da verificação estrutural, da condição de apoio, da necessidade de reforço do subleito ou das exigências executivas.

5.6 Fator climático regional

Para o presente dimensionamento, adotou-se o fator climático regional $F_r = 1,0$. Esse valor foi considerado compatível com a metodologia empregada e com as condições de dimensionamento adotadas para o projeto.

6. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O dimensionamento do pavimento foi desenvolvido considerando as condições geotécnicas do trecho da BR-101 e os critérios estabelecidos para tráfego muito pesado. Com a confirmação laboratorial da capacidade de suporte do subleito (CBR de projeto = 6%, governado pela argila siltosa), o pavimento é dimensionado em duas condições de apoio: diretamente sobre o subleito natural regularizado, nos trechos fora das galerias (Estrutura Tipo 2), e sobre o reaterro compactado com CBR $\geq 20\%$, nos trechos sobre as galerias (Estrutura Tipo 1).

Para o subleito natural confirmado em ensaio (CBR = 6%), a espessura total requerida em material granular equivalente, para tráfego muito pesado, é de $H_{SL} = 63 \text{ cm}$ (Quadro 3). Para referência, o valor estimado anteriormente (CBR = 2%) conduzia a $H_{SL} = 119 \text{ cm}$; a confirmação laboratorial reduz substancialmente a espessura estrutural necessária.

Considerando a estrutura mínima formada por revestimento, base e sub-base, tem-se:

- **Revestimento em CAUQ:** $12,5 \text{ cm} \times 2,0 = 25 \text{ cm}$;
- **Base em BGS:** $20 \text{ cm} \times 1,0 = 20 \text{ cm}$;
- **Sub-base granular:** $20 \text{ cm} \times 1,0 = 20 \text{ cm}$.

Assim, a contribuição equivalente dessas camadas corresponde a:

$$25 + 20 + 20 = 65 \text{ cm}$$

Como a soma das contribuições ($25 + 20 + 20 = 65 \text{ cm}$) é superior à espessura total requerida ($H_{SL} = 63 \text{ cm}$), a estrutura formada por revestimento, base e sub-base atende ao dimensionamento sobre o subleito natural (CBR = 6%), não sendo necessário reforço estrutural granular adicional. A sub-base foi adotada em 20 cm ($\geq$ mínimo construtivo de 10 cm) para suprir a diferença entre H_{SL} e a estrutura de rolamento (revestimento + base = 45 cm equivalentes).

A espessura física da seção sobre o subleito natural resulta, portanto, em $12,5 + 20 + 20 = 52,5 \text{ cm}$ (revestimento + base + sub-base), correspondente à Estrutura Tipo 2 detalhada no item 7.

Embora o suporte estrutural esteja atendido pelo subleito ensaiado, ressalta-se que o método de pavimentação não contempla os recalques por adensamento, expressivos na camada de argila mole saturada com cerca de 10 m identificada nas sondagens SPT-07 e SPT-08. Por isso, nos trechos em que a argila mole saturada ocorra na cota de subleito, mantém-se a execução de plataforma de trabalho sobre geossintéticos e o tratamento de recalques, dimensionados pelos critérios de solo mole e não pela capacidade de suporte estrutural.

Nos trechos sobre as galerias, o apoio é constituído pelo reaterro compactado com CBR $\geq 20\%$ (Estrutura Tipo 1, descrita no item 7), executado acima da estrutura de drenagem, com material selecionado e controle tecnológico adequado. Nos trechos fora das galerias, o pavimento apoia-se diretamente sobre o subleito natural regularizado (CBR = 6%), com sub-base granular e, onde houver argila mole saturada, plataforma de trabalho sobre geossintéticos e tratamento de recalques (Estrutura Tipo 2, descrita no item 7).

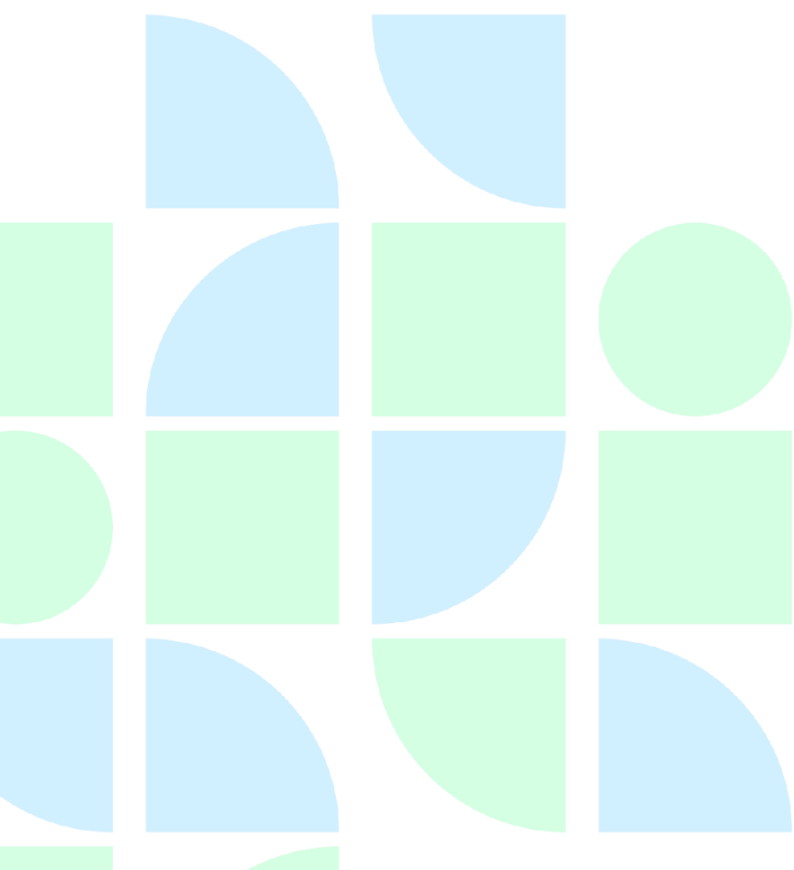
6.1 Dimensionamento sobre a plataforma de apoio (CBR $\geq 20\%$)

Sobre a plataforma com CBR $\geq 20\%$, a espessura total exigida é $H_{SL} = 30$ cm (Quadro 3). A plataforma cumpre a função de sub-base/reforço, e o pavimento é dimensionado diretamente sobre ela.

- **Revestimento** – para o revestimento, em função da classe de tráfego muito pesado, adota-se concreto asfáltico usinado a quente — CAUQ, com espessura de 12,5 cm.
Considerando o coeficiente estrutural do CAUQ igual a 2,0, a contribuição equivalente do revestimento é: $12,5 \times 2,0 = 25$ cm;
- **Base** – A espessura da base é obtida pela inequação de equivalência estrutural:

$$\begin{aligned}
 R \cdot K_R + B \cdot K_B &\geq H_{SL} \\
 (12,5 \times 2,0) + (B \times 1,0) &\geq 30 \\
 25 + B &\geq 30 \\
 B &\geq 5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

O valor calculado para base é inferior à espessura mínima construtiva estabelecida para tráfego muito pesado. (Quadro 6 – 20 cm). Adota-se, portanto, a espessura mínima: **B = 20 cm de brita graduada simples (BGS)**.



7. ESTRUTURAS PROJETADAS

O pavimento da BR-101 apresenta duas estruturas distintas, definidas em função da condição de apoio disponível no trecho de implantação. Em ambas as situações, a estrutura de rolamento (revestimento + base) é a mesma, dimensionada sobre plataforma com CBR $\geq 20\%$ (já descrito no item 6); o que varia é a constituição do apoio sob a base.

7.1 Estrutura Tipo 1 – Trechos sobre galerias

A Estrutura Tipo 1 aplica-se aos trechos em que o pavimento será executado sobre as galerias de drenagem projetadas. Nessa condição, o apoio da estrutura de pavimento será constituído pelo reaterro compactado executado acima das galerias, o qual deverá apresentar **CBR $\geq 20\%$** no topo da plataforma.

Como as galerias possuem largura total aproximada de 11,90 m e avançam além da largura das pistas, considera-se que toda a faixa carregada pelo tráfego estará apoiada sobre material competente, reduzindo a possibilidade de efeito de borda no trecho da travessia.

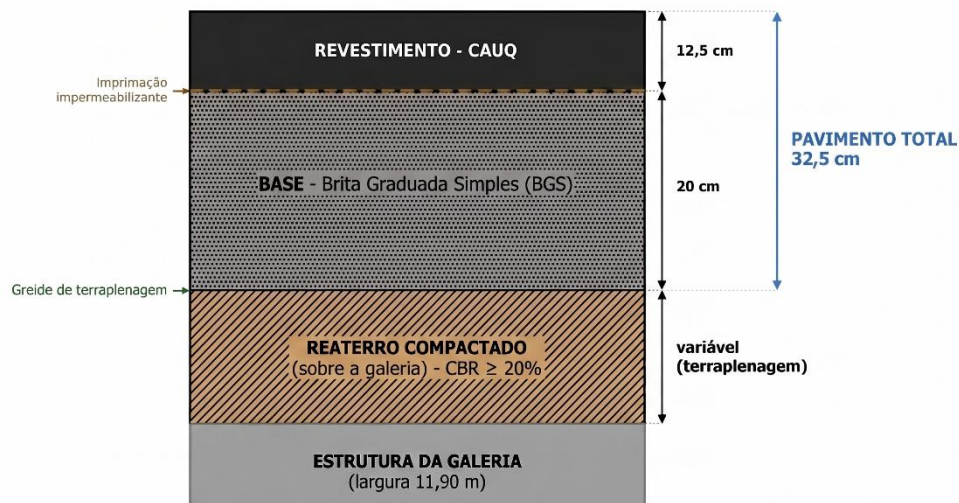
A seção da Estrutura Tipo 1 é composta por:

- **Revestimento:** concreto asfáltico usinado a quente — CAUQ, espessura de 12,5 cm;
- **Imprimação:** imprimação impermeabilizante sobre a base, antes da execução do revestimento;
- **Base:** brita graduada simples — BGS, espessura de 20 cm;
- **Apoio:** reaterro compactado sobre a galeria, com CBR $\geq 20\%$, em espessura definida no projeto de terraplenagem.

A espessura da estrutura de pavimento propriamente dita, composta por revestimento e base, é de **32,5 cm**.

Figura 1 - Estrutura do pavimento – BR-101 (tráfego muito pesado).

ESTRUTURA DO PAVIMENTO TIPO 1 - RODOVIA (sobre as galerias)



Trecho sobre as galerias: o pavimento (revestimento + base) apoia-se no reaterro compactado, que cumpre a função de sub-base/reforço. A galeria (largura 11,90 m) é mais larga que as pistas – toda a faixa carregada repousa sobre material competente. Cotas em centímetros.

Fonte: Elaboração própria.

7.2 Estrutura Tipo 2 - Trechos fora das galerias

A Estrutura Tipo 2 aplica-se aos trechos fora das galerias, incluindo acessos e segmentos correntes. Nessa condição, o pavimento é implantado sobre o subleito natural regularizado, constituído por areia siltosa (predominante) e argila siltosa, com **CBR de projeto = 6%** (valor característico da argila siltosa; a areia siltosa apresenta $\text{CBR} \geq 10\%$). Onde as sondagens indicarem argila mole saturada na cota de subleito, aplica-se tratamento de recalques e plataforma de trabalho, conforme adiante.

Com a capacidade de suporte do subleito confirmada em laboratório ($\text{CBR} = 6\%$), a estrutura de rolamento é dimensionada diretamente sobre o subleito natural regularizado, acrescida de sub-base granular, dispensando o reforço estrutural granular com geogrelha previsto na fase preliminar. O emprego de geossintéticos (geotêxtil separador e, quando necessário, geogrelha) fica reservado aos trechos em que ocorra argila mole saturada na cota de subleito, com função de separação e plataforma de trabalho.

Como o subleito ensaiado ($\text{CBR} = 6\%$) já atende ao dimensionamento, não é necessário reforço estrutural granular com geogrelha. A espessura total requerida ($H_{SL} = 63 \text{ cm}$) é integralmente suprida pela estrutura de revestimento, base e sub-base ($25 + 20 + 20 = 65 \text{ cm}$ equivalentes), conforme o item 6. O eventual emprego de geogrelha tem função de plataforma de trabalho e separação sobre solo mole, e não de redução de espessura estrutural.

A seção da Estrutura Tipo 2 é composta por:

- **Revestimento:** concreto asfáltico usinado a quente — CAUQ, espessura de 12,5 cm;
- **Imprimação:** imprimação impermeabilizante sobre a base;
- **Base:** brita graduada simples — BGS, espessura de 20 cm;
- **Sub-base:** camada granular, espessura de 20 cm;
- **Geossintéticos:** nos trechos com argila mole saturada, geotêxtil separador assente no subleito e, quando necessário, geogrelha, constituindo plataforma de trabalho;
- **Subleito natural:** subleito natural regularizado (areia siltosa / argila siltosa), CBR de projeto = 6%; onde ocorrer argila mole saturada, objeto de tratamento de recalque.

A espessura total física da seção, considerando revestimento, base e sub-base, é de **52,5 cm**.

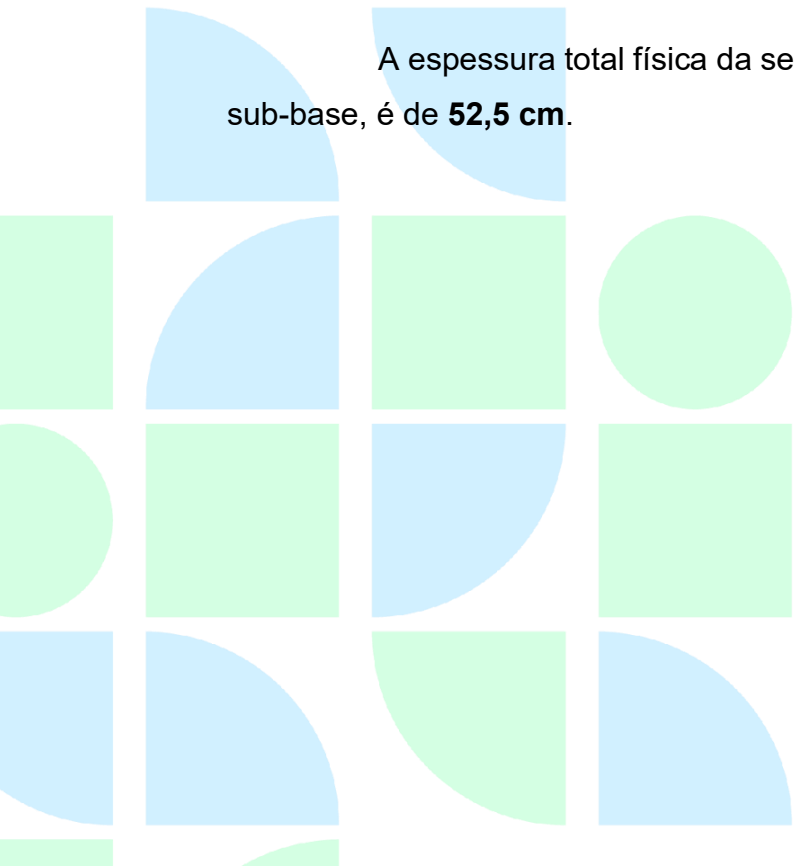
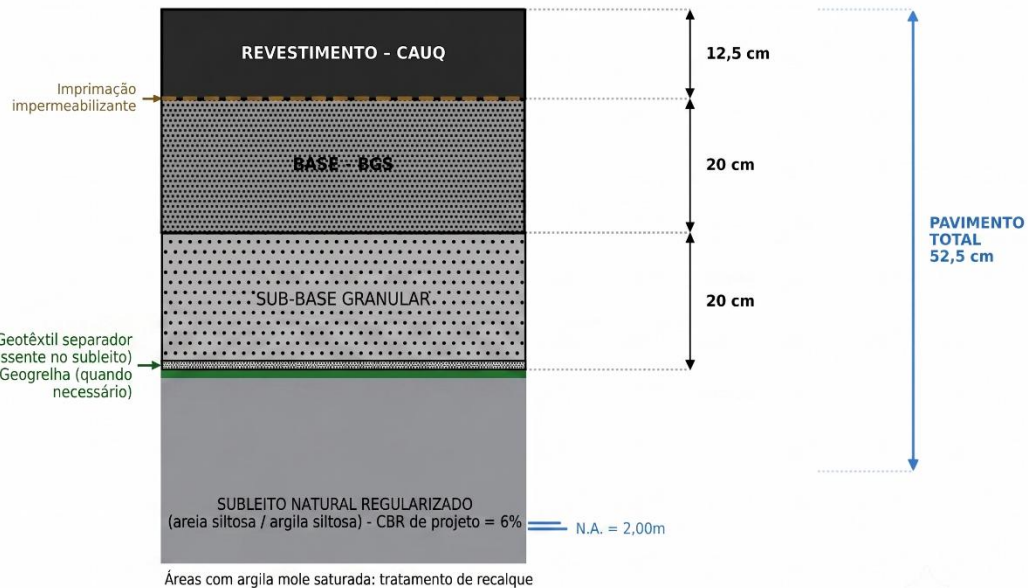


Figura 2 - Estrutura do pavimento – BR-101 (trechos fora das galerias).

ESTRUTURA DO PAVIMENTO TIPO 2 - RODOVIA (fora das galerias)



Notas: Geotêxtil separador e geogrelha (quando aplicável) constituem plataforma de trabalho sobre o subleito mole. Áreas com argila mole saturada requerem tratamento de recalque específico (como geodrenos + pré-carga). Cotas em cm.

Fonte: Elaboração própria.

Nos trechos com argila mole saturada, o geotêxtil separador assente no subleito evita a contaminação das camadas granulares pelo solo mole, mantendo a integridade e a capacidade drenante do sistema e constituindo, com a sub-base, plataforma de trabalho para execução. A geogrelha, quando empregada, atua por intertravamento do agregado na separação e estabilização da plataforma sobre o solo mole, e não como camada de redução de espessura estrutural, uma vez que o suporte do subleito (CBR = 6%) já atende ao dimensionamento.

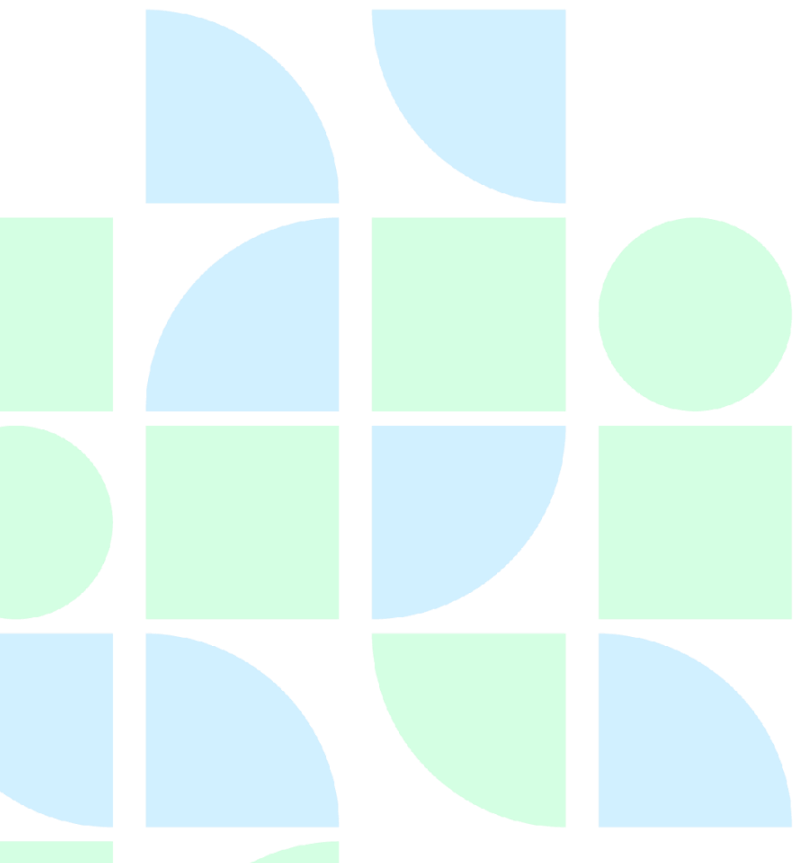
A adoção da geogrelha não elimina, contudo, a necessidade de tratamento dos recalques associados à camada de argila mole. Dessa forma, devem ser previstos estudos e soluções específicas para tratamento de recalques, tais como geodrenos verticais com pré-carga/sobrecarga temporária, aterro de conquista ou outra solução geotécnica compatível com as condições locais e com o cronograma executivo.

7.3 Transição entre as seções

No encontro entre os trechos sobre as galerias e os trechos fora das galerias, deve ser prevista solução de transição adequada, tendo em vista a diferença de rigidez entre as áreas apoiadas sobre a estrutura de drenagem e os acessos implantados sobre solo mole.

Os trechos sobre as galerias tendem a apresentar menor deformabilidade e menor recalque, enquanto os trechos em solo mole estão sujeitos a recalques por adensamento. Essa diferença pode ocasionar desníveis localizados, desconforto ao tráfego, fissuração do revestimento e redução da vida útil do pavimento.

Para minimizar esse risco, recomenda-se a adoção de lajes de transição, cunhas de aterro ou outra solução que promova variação gradual da rigidez ao longo do encontro entre as estruturas. A solução final deverá ser compatibilizada com o projeto geotécnico, com o projeto estrutural das galerias e com o tratamento previsto para o subleito mole.



8. VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO

A verificação do dimensionamento foi realizada considerando as espessuras adotadas para as estruturas de pavimento e os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais previstos.

8.1 Verificação sobre a plataforma com $\text{CBR} \geq 20\%$

Sobre a plataforma de apoio com $\text{CBR} \geq 20\%$, a espessura total requerida em material granular equivalente é de $H_{SL} = 30 \text{ cm}$.

Para a estrutura superior adotada:

Tabela 1 - Verificação da estrutura adotada sobre a plataforma ($\text{CBR} \geq 20\%$)

Camada	Espessura física	Coeficiente K	Espessura equivalente
Revestimento em CAUQ	12,5 cm	2,0	25 cm
Base em BGS	20 cm	1,0	20 cm
Total Equivalente	----	----	45 cm

Fonte: IP-05/2004 / DNIT.

A espessura equivalente total da estrutura é:

$$12,5 \times 2,0 + 20 \times 1,0 = 45 \text{ cm}$$

Como:

$$45 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm}$$

Conclui-se que a estrutura adotada atende à espessura total requerida para a plataforma com $\text{CBR} \geq 20\%$.

8.2 Verificação da Estrutura Tipo 1

A Estrutura Tipo 1, aplicável aos trechos sobre as galerias, é apoiada sobre reaterro compactado com $\text{CBR} \geq 20\%$. Assim, a verificação corresponde à condição apresentada no item anterior.

A estrutura composta por 12,5 cm de CAUQ e 20 cm de BGS apresenta espessura equivalente total de **45 cm**, superior à espessura requerida

de **30 cm**. Portanto, a Estrutura Tipo 1 atende aos critérios de dimensionamento adotados.

8.3 Verificação da Estrutura Tipo 2

Para os trechos fora das galerias, o dimensionamento considera o subleito natural com **CBR = 6%**, para o qual a espessura total requerida é de **H_{SL} = 63 cm**.

A contribuição da estrutura superior e da sub-base é:

- revestimento em CAUQ: $12,5 \text{ cm} \times 2,0 = 25 \text{ cm}$;
- base em BGS: $20 \text{ cm} \times 1,0 = 20 \text{ cm}$;
- sub-base granular: $20 \text{ cm} \times 1,0 = 20 \text{ cm}$.

Assim, a contribuição equivalente é:

$$25 + 20 + 20 = 65 \text{ cm}$$

Como a contribuição equivalente (65 cm) é superior à espessura total requerida ($H_{SL} = 63 \text{ cm}$), a Estrutura Tipo 2, composta por revestimento, base e sub-base apoiados diretamente sobre o subleito natural ($\text{CBR} = 6\%$), atende ao dimensionamento sem necessidade de reforço estrutural granular com geogrelha.

A verificação da Estrutura Tipo 2 é apresentada a seguir:

Tabela 2 - Verificação da Estrutura Tipo 2 sobre o subleito natural ($\text{CBR} = 6\%$).

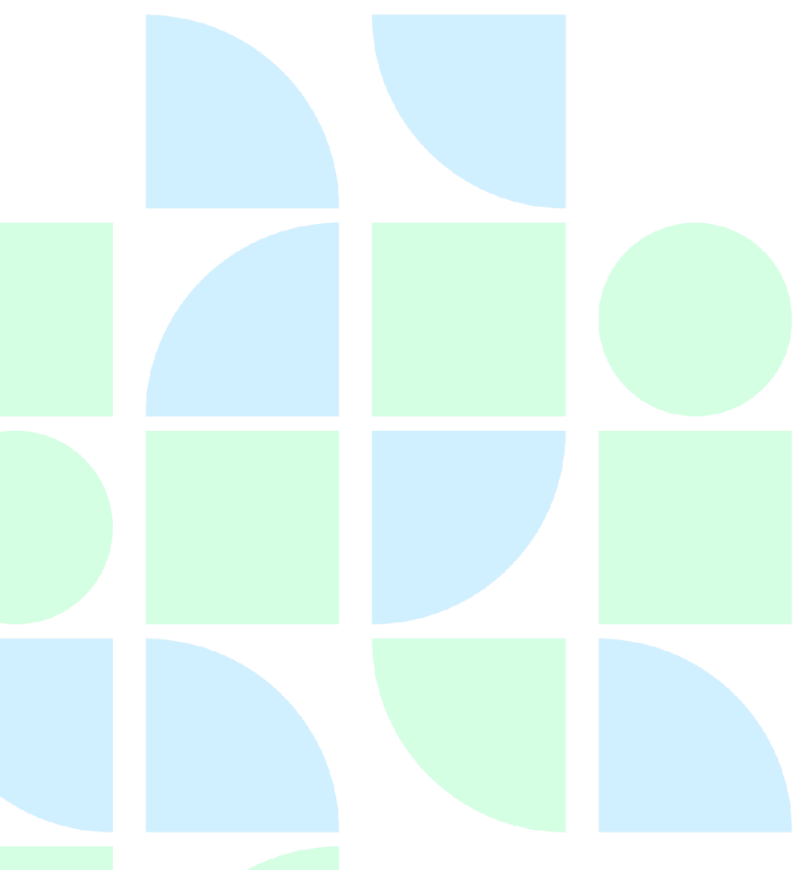
Camada	Espessura física	Equivalência	Esp. Equiv. (cm)
Revestimento em CAUQ	12,5 cm	$K = 2,0$	25 cm
Base em BGS	20 cm	$K = 1,0$	20 cm
Sub-base granular	20 cm	$K = 1,0$	20 cm
Total (espessura física 52,5 cm)	52,5 cm	-----	$\Sigma = 65 \geq 63 \text{ cm}$

Fonte: IP-05/2004 / DNIT.

A soma das contribuições equivalentes (65 cm) atende à espessura total requerida para o subleito natural com $\text{CBR} = 6\%$ (63 cm). Dessa forma, a Estrutura Tipo 2 atende aos critérios de dimensionamento adotados, sem



necessidade de reforço estrutural com geogrelha; os geossintéticos e o tratamento de recalques permanecem previstos nos trechos com argila mole saturada.



9. MATERIAIS, ESPECIFICAÇÕES E CRITÉRIOS EXECUTIVOS

Os materiais previstos para execução das camadas do pavimento deverão atender às especificações técnicas aplicáveis do DNIT (indicadas no Quadro 7), às normas brasileiras pertinentes e aos requisitos estabelecidos em projeto. Os valores de CBR, expansão, plasticidade e granulometria dos materiais de jazida, base, sub-base, reaterro e plataforma de trabalho deverão ser confirmados em laboratório sobre os materiais efetivamente selecionados. Para o subleito natural regularizado e compactado da Estrutura Tipo 2, foi adotado CBR de projeto igual a 6%, conforme os ensaios de ISC/CBR considerados para a região da rodovia.

Quadro 7 - Materiais e critérios de aceitação por camada

Camada	Material	Norma DNIT	CBR	Expansão	Plasticidade	Granulometria
Revestimento	Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)	DNIT 031/2006-ES	—	—	—	Faixa C - rolamento
Base	Brita graduada simples (BGS)	DNIT 141/2010-ES	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$	$LL \leq 25\%$; $IP \leq 6\%$	Faixas A-F; EA $\geq 30\%$; LA $\leq 50\%$
Sub-base	Solo-brita ou material estabilizado granulometricamente	DNIT 139/2010-ES	$\geq 20\%$	$\leq 1,0\%$	IG = 0	Faixa da norma
Plataforma de trabalho / estabilização do solo mole, quando necessária	Material granular selecionado como brita graduada, bica corrida, solo-brita ou rachão, associado a geossintéticos quando previsto em projeto	DNIT 138/2010-ES e especificação de projeto	$\geq 20\%$ ou conforme projeto geotécnico	$\leq 1,0\%$	Não plástico, preferencialmente	Bem graduado e drenante
Reaterro sobre galerias (Tipo 1)	Material granular selecionado e compactado	DNIT 108/2009-ES	$\geq 20\%$, no topo	$\leq 1,0\%$	Baixa plasticidade	Material selecionado e drenante
Subleito natural regularizado e compactado (referência da Estrutura Tipo 2)	Areia siltosa e argila siltosa do subleito, adotando-se a argila siltosa como material governante	DNIT 137/2010-ES; ABNT NBR 7182:2025; ABNT NBR 9895:2025	$\geq 6\%$	$\leq 2,0\%$	Conforme caracterização laboratorial; materiais expansivos ou inadequados deverão ser tratados ou substituídos	Conforme material existente e caracterização laboratorial

Fonte: Elaborado pela Litoral Engenharia, com base nas especificações de serviço do DNIT, nos ensaios do Caderno de Caracterização de Solos – A.L. Buguiski / Litoral Engenharia, 2026, e nas premissas do projeto.

9.1 Especificações complementares

- **Revestimento (CAUQ):** faixa C do DNIT, dosagem Marshall/Superpave, ligante asfáltico modificado por polímero, recomendado para tráfego muito pesado, ou CAP 50/70, conforme definição de projeto; estabilidade e teor de vazios conforme DNIT 031/2006-ES.
- **Imprimação:** ligante asfáltico para imprimação (asfalto diluído tipo CM-30 ou emulsão de imprimação), taxa definida por ensaio de absorção da base, conforme DNIT 144/2014-ES; pintura de ligação entre camadas asfálticas (DNIT 145/2012-ES), se houver mais de uma camada.
- **Geossintéticos:** geogrelha de estabilização ou de plataforma de trabalho, quando necessária; abertura compatível com o agregado para intertravamento; rigidez/resistência à tração conforme o método do fabricante e o projeto e geotêxtil não tecido separador (gramatura da ordem de 200 a 300 g/m², dimensionado por critério de separação/filtração) — ensaios conforme normas ABNT/ISO de geossintéticos. Admite-se geocomposto que reúna reforço e separação.
- **Drenagem:** dado o nível d'água raso ($\approx 2,00$ m), todas as camadas granulares devem ser drenantes e com saída de água; o rachão, quando empregado na plataforma de trabalho sobre solo mole, poderá atuar como colchão drenante.
- **Regularização e compactação:** regularização do subleito conforme DNIT 137/2010-ES e reaterro conforme DNIT 108/2009-ES; compactação na energia especificada em projeto, compatibilizada com a energia adotada nos ensaios de ISC/CBR e com as especificações aplicáveis.

10. REFERÊNCIAS

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes — DNIT. **Manual de Pavimentação**. IPR-719. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT 031/2006-ES — Pavimentos flexíveis — Concreto asfáltico — Especificação de serviço.

DNIT 108/2009-ES — Terraplenagem — Aterros — Especificação de serviço.

DNIT 137/2010-ES — Pavimentação — Regularização do subleito — Especificação de serviço.

DNIT 138/2010-ES — Pavimentação — Reforço do subleito — Especificação de serviço.

DNIT 139/2010-ES — Pavimentação — Sub-base estabilizada granulometricamente — Especificação de serviço.

DNIT 141/2010-ES — Pavimentação — Base estabilizada granulometricamente — Especificação de serviço.

DNIT 144/2014-ES — Pavimentação asfáltica — Imprimação — Especificação de serviço.

DNIT 145/2012-ES — Pavimentação asfáltica — Pintura de ligação — Especificação de serviço.

DNIT-ME 049 — Solos — Determinação do Índice de Suporte Califórnia — ISC/CBR.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. **Instrução de Projeto IP-05/2004 — Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. São Paulo, 2004.

ABNT NBR 6484:2020 — Solo — Sondagens de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio.

ABNT NBR 7182:2025 — Solo — Ensaio de compactação.

ABNT NBR 9895:2025 — Solo — Índice de Suporte Califórnia — Método de ensaio.

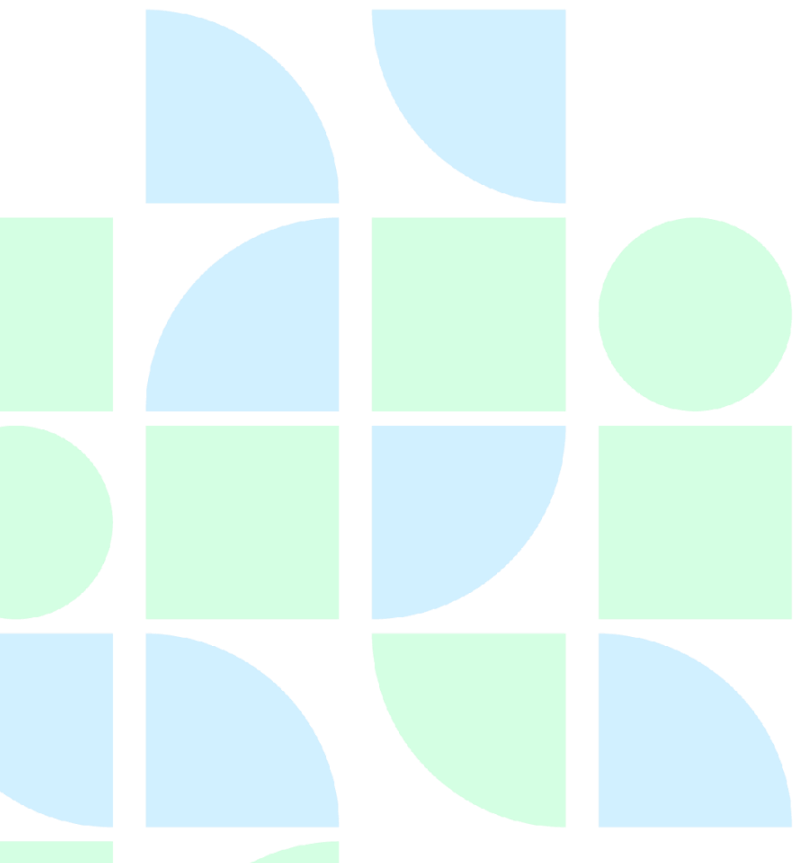


ABNT NBR ISO 10318 — Geossintéticos — Termos e definições.

ABNT NBR ISO 10319 — Geossintéticos — Ensaio de tração de faixa larga.

A.L. BUGUISKI. **Relatório de Caracterização de Amostras de Solos — Litoral Engenharia — Itajaí/SC.** Revisão 00. 25 jun. 2026.

LITORAL ENGENHARIA / A.L. BUGUISKI. **Relatório de Simples Reconhecimento SPT — Itajaí/SC.** 2026.



Itajaí, 26 de junho de 2026.

Marcos Roberto Stramari
Engenheiro Civil CREA-SC 076439-2
Responsável Técnico
Litoral Engenharia Ltda.

