

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GERMANO CARDOSO ROSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE INSTALAÇÃO DE BUEIRO TUBULAR METÁLICO  
E BUEIRO CELULAR DE CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO DA OBRA  
DE DUPLICAÇÃO DA BR-386 NO KM 326+540 m**

**São Leopoldo**

**2022**

GERMANO CARDOSO ROSA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE INSTALAÇÃO DE BUEIRO TUBULAR METÁLICO  
E BUEIRO CELULAR DE CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO DA OBRA  
DE DUPLICAÇÃO DA BR-386 NO KM 326+540 m**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Me. Danielle de Souza Clerman Bruxel

São Leopoldo

2022

## AGRADECIMENTOS

É com imensa estima e alegria que agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram na realização desta grande e difícil etapa para concretização do sonho de tornar-me engenheiro civil.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Adenir e Loreci, e minha irmã Giovana, por todo amor, carinho, companheirismo, zelo e principalmente por toda educação que me deram, estando sempre presentes me incentivando.

A minha namorada, e colega de curso, Diéssica Santos, por estar ao meu lado em todos os momentos dando amor, apoio, carinho e sempre disposta a me ajudar. Agradeço especialmente por não ter me deixado desistir deste trabalho e por ter passado incansáveis momentos ao meu lado, tentando tornar a carga desta etapa menos pesada e cansativa.

Ao meu sogro, Antonio Santos (*in memoriam*), manifesto minha enorme gratidão por todas as oportunidades e conhecimento que me deu, principalmente através da chance de trabalhar com você na área da engenharia civil, onde sempre buscou me incentivar e mostrar meu potencial.

A minha orientadora, Danielle Bruxel, pelo apoio, compreensão, paciência e conhecimento transmitido.

## RESUMO

A drenagem rodoviária é considerada um serviço público responsável por proporcionar aos motoristas maior segurança, qualidade e durabilidade nas rodovias e, à população em geral, maior conforto sanitário e segurança a inundações e rupturas de taludes. O presente estudo de caso tem como objetivo principal apresentar uma análise comparativa de maneira quantitativa e qualitativa da execução de rede de drenagem pluvial rodoviária, empregando bueiro simples tubular metálico (BSTM) e bueiro simples celular de concreto (BSCC), juntamente dos custos gerados, período de recorrência, desempenho hidráulico e interferências no trânsito regional. Para isso, acompanhou-se a execução da transposição de talvegue do km 326+540m na obra da BR-386, em Marques de Souza/RS. Esta obra, administrada pela concessionária responsável pela via, abrange a duplicação de 20 quilômetros da rodovia Governador Leonel de Moura Brizola (BR-386), entre os municípios de Marques de Souza (início do trecho, no km 325) e Lajeado (final do trecho, no km 345), pertencentes ao Vale do Taquari, estado do Rio Grande do Sul. Com base nos dados coletados dos projetos de drenagem, memoriais descritivos e visitas em campo, foram realizados cálculos de dimensionamento hidráulico, verificando que ambos os dispositivos de drenagem têm capacidade técnica de atender a demanda da rede, e ainda realizou-se a comparação entre os dois métodos, verificando que o BSCC desenvolve um custo de execução mais baixo em relação ao BSTM. Entretanto, somente estas análises não bastam para concluir qual o melhor método a ser empregado, tendo em vista que é de extrema importância considerar as interferências e os impactos que a obra possa causar ao trânsito, a população e aos estabelecimentos da região. Portanto, do ponto de vista técnico executivo e por se tratar de uma via de grande e importante fluxo, o bueiro simples tubular metálico executado pelo método não destrutivo se adequa melhor ao trecho estudado.

**Palavras-chave:** drenagem; transposição de talvegue; bueiro simples tubular metálico; BSTM; bueiro simples celular de concreto; BSCC; custo; interferência; impacto.

## ABSTRACT

Road drainage is considered as a public service responsible to provide safety for drivers, quality and durability for roads and highways, and, for general population, sanitary comfort, flooding security and avoid talus rupture. This paper seeks to compare, in a quantity and quality manner, the execution of a storm drainage system using a metallic storm drain or a precast concrete box culvert, including generated costs, recurrence time, hydraulic performance and interferences to local traffic. For this purpose, it was followed the execution of a thalweg transposition at km 326+540 of BR-386 highway, Marques de Souza/RS. This construction is managed by the highway concessionaire, comprehend the road duplication of 20 kilometers on Governador Leonel de Brisola (BR-386), between Marques de Souza (km 325) and Lajeado (km 345), that belongs to Vale do Taquari, at Rio Grande do Sul state. Based on collect data from storm drainage Project, descriptive memorial and field visit, it was able to calculate hydraulic sizing, verifying that both construction ways are technical able to provide the drainage network demand, and compare both methods, proving that precast concrete box culvert evolve lower execution costs regarding metallic storm drain. But, only this analysis are not enough to conclude which is the best construction method, in view of it's extremely important considering local traffic, population and local business impacts and interferences. Therefore, from an executive technical point of view, for treating about a busy and important way, the metallic storm drain executed by the non-destructive method fit better to the local studied case.

**Keywords:** drainage; thalweg transposition; metallic storm drain; precast concrete box culvert; costs; interferences; impacts.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Técnicas de Sondagens.....	21
Figura 2 – Fluxograma de Interpretação dos Ensaios de Campo .....	22
Figura 3 – Dispositivos de Drenagem .....	23
Figura 4 – Tipos de Transposição de Talwegues.....	24
Figura 5 – Bueiro com Representação em Corte .....	25
Figura 6 – Bueiro de Greide e de Grotas .....	25
Figura 7 – Ilustração da Execução de Tunnel Liner .....	29
Figura 8 – Geometria das Peças de Tunnel Liner .....	30
Figura 9 – Detalhamento das Peças Metálicas .....	31
Figura 10 – Método Construtivo do Tunnel Liner .....	36
Figura 11 – Assentamento de Bueiro Metálico sobre Solo Irregular .....	37
Figura 12 – Espaçamento Mínimo entre Bueiros Metálicos Paralelos .....	37
Figura 13 – Seção Transversal e Corte – AA de Bueiro Metálico Revestido Internamente em Concreto.....	38
Figura 14 – Detalhamento das chapas corrugadas.....	42
Figura 15 – Ilustração da Execução de BSCC .....	44
Figura 16 – Siglas de Classificação dos Bueiros de Concreto .....	45
Figura 17 – Geometria Tubular das Peças em Concreto .....	45
Figura 18 – Geometria Celular das Peças em Concreto .....	46
Figura 19 – Vista Frontal da Rede de Drenagem Pluvial com Bueiros Tubulares.....	46
Figura 20 – Vista Frontal da Rede de Drenagem Pluvial com Bueiros Celulares.....	46
Figura 21 – Tubo de Concreto com Encaixe Macho e Fêmea .....	48
Figura 22 – Tubo de Concreto com Encaixe Ponta e Bolsa .....	49
Figura 23 – Vista Aérea de Bueiro Tubular em Concreto.....	55
Figura 24 – Fluxograma das Etapas de Pesquisa.....	56
Figura 25 – Delimitação do Trecho de Concessão.....	57
Figura 26 – Demarcação da Extensão da Obra .....	58
Figura 27 – Classificação Climática Koppen .....	60
Figura 28 – Mapa Geológico do RS .....	64
Figura 29 – Tipo de Solo no km 326+540 .....	66
Figura 30 – Mapa de Localização do km 326+540.....	73
Figura 31 – Fluxograma Resumo do Capítulo 4.....	74

Figura 32 – Ilustração de BSTM com Linha de Água para $Tr = 15$ anos.....	80
Figura 33 – Ilustração de BSTM com Linha de Água para $Tr = 25$ anos.....	84
Figura 34 – Detalhe de Pavimento de Rodovia .....	87
Figura 35 – Ilustração de BSCC com Linha de Água para $Tr = 25$ anos.....	91
Figura 36 – Ilustração de BSCC com Linha de Água para $Tr = 50$ anos.....	95
Figura 37 – Escavação de vala .....	96

**LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografia 1 – Bueiro Tubular Metálico .....	30
Fotografia 2 – Peças Metálicas para Bueiro de Greide .....	32
Fotografia 3 – Vista Externa de Bueiro Metálico MP100 com Chapas Unificadas ....	32
Fotografia 4 – Vista Interna das Chapas Metálicas Unificadas por Parafusos .....	33
Fotografia 5 – Escavação Manual de Vala para Bueiro Metálico .....	36
Fotografia 6 – Revestimento Interno de Bueiro Metálico Realizado In Loco .....	39
Fotografia 7 – Boca de Bueiro em Concreto .....	40
Fotografia 8 – Bacia de Amortecimento .....	40
Fotografia 9 – Dissipador de Energia .....	41
Fotografia 10 – Execução de Tunnel Liner e MP100 .....	42
Fotografia 11 – Transposição de Talvegue com Tunnel Liner e MP100/MP152 .....	43
Fotografia 12 – Escoramento Metálico .....	51
Fotografia 13 – Escavação Mecânica de Vala pelo Método Destrutivo .....	52
Fotografia 14 – Berço de Brita para Assentamento de BSTC .....	52
Fotografia 15 – Bueiro de Concreto com Junta Rígida Vedada com Argamassa .....	53
Fotografia 16 – Rede de Drenagem com BSTC .....	53
Fotografia 17 – Reaterro Mecânico de Bueiro em Concreto .....	54
Fotografia 18 – Reaterro e Compactação Manual de Bueiro em Concreto .....	54
Fotografia 19 – Recalque na Transposição de Talvegue do km 326+540 .....	75
Fotografia 20 – Desplacamento de Revestimento Interno do Tunnel Liner .....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da Densidade Demográfica Brasileira.....	17
Gráfico 2 – Precipitação Média .....	59
Gráfico 3 – Coeficiente de Redução de Marston.....	63

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Dados de Projeto para BSTM de 2,40 m e Tr = 15 anos.....	77
Quadro 2 – Resumo dos Resultados para BSTM de 2,40 m e Tr = 15 anos .....	79
Quadro 3 – Dados de Projeto para BSTM de 2,40 m com Tr=25 anos .....	81
Quadro 4 – Resumo dos Resultados para BSTM de 2,40 m e Tr = 25 anos .....	83
Quadro 5 – Dados de Projeto para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 25 anos .....	88
Quadro 6 – Resumo dos Resultados para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 25 anos..	90
Quadro 7 – Dados de Projeto para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 50 anos .....	92
Quadro 8 – Resumo dos Resultados para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 50 anos..	94
Quadro 9 – Comparação entre BSTM e BSCC .....	98

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Parâmetros dos Ensaios e Sondagens dos Solos.....	21
Tabela 2 – Diâmetros, Espessuras e Alturas de Aterro para Chapas Circulares .....	34
Tabela 3 – Nível de Corrosão da Peça Metálica .....	34
Tabela 4 – Nível de Abrasão da Peça Metálica.....	35
Tabela 5 – Dimensões Mínimas e Máximas dos Bueiros Tubulares .....	49
Tabela 6 – Dimensões Mínimas e Máximas dos Bueiros Celulares.....	50
Tabela 7 – Chuva Média Mensal.....	59
Tabela 8 – Tempo de Recorrência Determinado pelo DNIT .....	61
Tabela 9 – Vazões de Projeto .....	63
Tabela 10 – Critérios de Classificação de Rodovias pelo DNIT .....	67
Tabela 11 – Tabela de Relações para Fator Hidráulico de Seções Circulares .....	70
Tabela 12 – Orçamento para Execução de BSTM DN = 2,40 m.....	85
Tabela 13 – Orçamento para Execução de BSCC 2,50 x 2,50 m .....	96

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTC	Associação Brasileira de Fabricantes de Tubos de Concreto
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BSCC	Bueiro Simples Celular de Concreto
BSTM	Bueiro Simples Tubular Metálico
CCR	Concessionária das Rodovias Integradas
CPTU	Piezo Cone Penetration Test
DMT	Distância Média de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
MND	Método Não Destrutivo
MPM	Pressiômetro de Ménard
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SPT	Standard Penetration Test
VDM	Volume Diário Médio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 TEMA .....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 PROBLEMA .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	16
<b>1.4.1 Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.5 JUSTIFICATIVA .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 URBANIZAÇÃO .....	17
2.2 HISTÓRICO .....	18
2.3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA.....	19
2.4 DRENAGEM RODOVIÁRIA .....	22
2.5 DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES.....	24
<b>2.5.1 Bueiros .....</b>	<b>24</b>
2.5.1.1 Método Não Destrutivo.....	28
2.5.1.1.1 <i>Bueiro Metálico.....</i>	<i>29</i>
2.5.1.2 Método Destrutivo .....	43
2.5.1.2.1 <i>Bueiro de Concreto.....</i>	<i>44</i>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>56</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	56
3.2 COLETA DE DADOS .....	57
3.3 ANÁLISE DE DADOS.....	68
<b>3.3.1 Método da Análise Técnica Comparativa.....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.2 Equações .....</b>	<b>68</b>
3.3.2.1 Bueiro Tubular .....	68
3.3.2.2 Bueiro Celular.....	71
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
4.1 ANÁLISE TÉCNICA – BSTM.....	74
<b>4.1.1 Dimensionamento Hidráulico.....</b>	<b>77</b>
4.1.1.1 Tempo de Recorrência de 15 anos .....	77
4.1.1.2 Tempo de Recorrência de 25 anos .....	81

<b>4.1.2 Composição de Custos</b> .....	<b>84</b>
4.2 ANÁLISE TÉCNICA – BSCC.....	85
<b>4.2.1 Dimensionamento Hidráulico</b> .....	<b>88</b>
4.2.1.1 Tempo de Recorrência de 25 anos .....	88
4.2.1.2 Tempo de Recorrência de 50 anos .....	91
<b>4.2.2 Composição de Custos</b> .....	<b>95</b>
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS .....	97
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>100</b>
5.1 SUGESTÕES DE PESQUISA.....	101
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As águas pluviais possuem enorme importância na natureza, fazendo parte do ciclo hidrológico. Elas proporcionam manutenção do ecossistema, biodiversidade urbana e abastecem os corpos hídricos.

Essa água pluvial, que atinge o solo por meio de precipitação, pode ser escoada de duas formas. Inicialmente, quando a quantidade de chuva não ultrapassa o limite de saturação do solo, a água precipitada é absorvida pelo solo. Já, quando a chuva é mais intensa e volumosa, o solo atinge a saturação máxima e o excesso da água precipitada acaba escoando livremente pela superfície, causando diversos problemas.

Afim de evitar e minimizar os efeitos causados pelo acúmulo de água proveniente da chuva, empregam-se dispositivos de drenagem urbana, com o objetivo de destinar esse excesso ao local adequado.

De acordo com Almeida (2020, p.6),

O sistema de drenagem são estruturas instaladas em um determinado local com o intuito de reter, tratar e transpor águas pluviais. Esses sistemas podem ter uma estrutura simples (que concentra apenas o básico), ou complexa, que é capaz de coletar, tratar e distribuir a água para diversos pontos distintos.

O sistema de drenagem é separado em dois grupos, sendo eles a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem coleta a água de forma superficial ou subterrânea de menor dimensão, através de redes de pequeno e médio porte (tubulações, coletores, bueiros, sarjetas, etc.). Já a macrodrenagem, além de compreender a microdrenagem, coleta a água em grandes volumes através de redes de grande porte (galerias, canais naturais ou artificiais, rios, dissipadores de energia, etc.).

O sistema de drenagem urbana é considerado um serviço público que, além de assegurar uma maior durabilidade e qualidade nos pavimentos, proporciona conforto e segurança sanitária à população, protegendo-as principalmente de inundações e desabamentos.

Para que não ocorra carregamento excessivo no sistema de drenagem e ele ultrapasse seu volume de eficiência é sempre importante, na hora de elaborar o

dimensionamento do projeto, considerar uma vida útil prolongada, principalmente visando os efeitos causados pelo crescimento urbano.

### 1.1 TEMA

No sistema de drenagem, que é responsável pelo escoamento das águas pluviais, empregam-se conjuntos de dispositivos de captação e condução. Entre eles, pode-se citar como os mais utilizados: bueiros, tubulações, galerias, drenos, poços de visita, sarjetas, canaletas e estruturas complementares. Cabe a engenharia, projetar o sistema mais adequado de drenagem conforme as características do local considerado.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Entre os componentes de conjuntos de dispositivos de drenagem, descritos no tópico anterior (1.1 Tema), escolheu-se como abordagem principal para esse trabalho de conclusão de curso a análise aprofundada das tubulações, responsáveis pelo transporte correto das águas pluviais. Para isso, serão estudados os métodos de bueiro tubular metálico e bueiro celular de concreto armado.

Este trabalho delimita-se a análise de dados referentes ao km 326+540 da obra de duplicação da BR-386, na qual ao todo o trecho abrange 20 quilômetros desta rodovia, no Vale do Taquari, estado do Rio Grande do Sul. A coleta de dados foi realizada de Fevereiro a Maio de 2022.

### 1.3 PROBLEMA

As águas provenientes das chuvas são causadoras de grandes problemas. Em áreas urbanas, o acúmulo de água nas superfícies e/ou regiões mais baixas causam enchentes que adentram as edificações, gerando riscos à saúde pública, prejuízo em bens materiais e até mesmo manifestações patológicas. Já nas rodovias, esse acúmulo na superfície das pistas pode causar acidentes, interrupção no trânsito, desmoronamentos e danos no pavimento que afetam diretamente na sua durabilidade.

O problema de inundação também está diretamente ligado ao aumento demasiado de áreas impermeáveis nas regiões urbanas, que muitas vezes ocorre sem estudo prévio e seguimento de projeto para construções. Além disso, também se tem muitas vezes os problemas de invasões de áreas indevidas, onde não existe nenhum sistema de captação de água pluvial e esgoto, ou o mesmo não tem capacidade suficiente de atender tamanha demanda.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar e comparar as soluções de drenagem tipo bueiro tubular metálico e bueiro celular de concreto armado a partir do estudo de caso do km 326+540 da obra de duplicação da BR 386, localizada no município de Marques de Souza, estado do Rio Grande do Sul.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar os dispositivos de drenagem bueiro tubular metálico e bueiro celular de concreto armado;
- b) Comparar as técnicas a partir de projeto e execução em campo;
- c) Realizar uma análise técnico-econômica das soluções.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O estudo e dimensionamento correto das tubulações para captação e condução das águas pluviais é de extrema importância, afim de buscar soluções que irão evitar os danos causados pelo excesso da água superficial.

O bom funcionamento do sistema de drenagem urbana é atingido através da ação conjunta de todos os dispositivos da micro e macrodrenagem, para que possam desenvolver com qualidade e precisão as funções definidas no projeto.

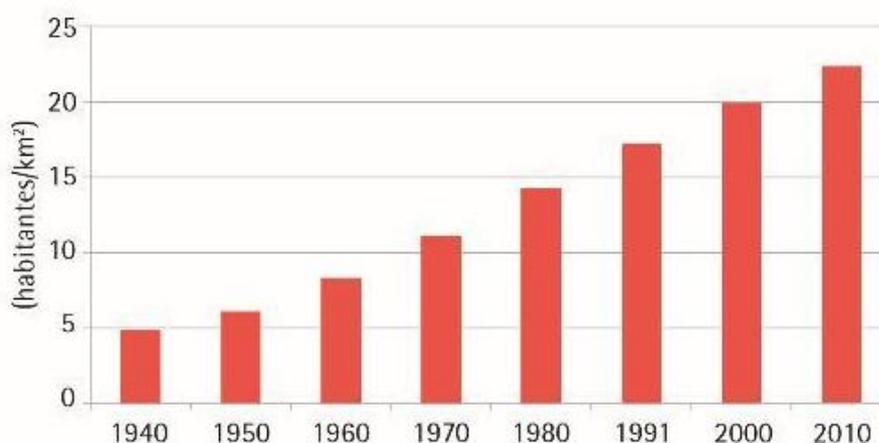
O dimensionamento do sistema, realizado de maneira conjunta por grupos interdisciplinares é muito interessante, pois torna capaz a abrangência de modelos físicos e matemáticos, outorgando a demonstração de enchentes e a avaliação do efeito das ações propostas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 URBANIZAÇÃO

De acordo com as pesquisas realizadas pelo IBGE (2016), a urbanização mundial está se expandindo cada vez mais de forma acelerada, principalmente no último século. Como pode-se notar no Gráfico 1 apresentado abaixo, no Brasil, com o aumento populacional a ocupação territorial se mantém em constante crescimento.

Gráfico 1 – Evolução da Densidade Demográfica Brasileira



Fonte: IBGE, Atlas geográfico escolar (2016)

Porém, além dos inúmeros benefícios que essas evoluções proporcionam para a população, surgem juntamente problemas ambientais, econômicos e sociais. Na maioria das cidades brasileiras, as consequências do desenvolvimento urbano são perceptíveis principalmente nas estações mais chuvosas, período em que ocorrem inundações constantes, atingindo residências, indústrias, comércios e rodovias (TUCCI, 2004).

Todavia, segundo Tucci (2004), é importante ter coerência quando se emprega a urbanização como único agente causador desses problemas acima citados, pois os mesmos só ocorrem quando esta urbanização se desenvolve de maneira espontânea, ou seja, sem política de planejamento e gerenciamento desse desenvolvimento, reduzindo as áreas permeáveis e aumentando ocupações de locais de risco como, por exemplo, áreas ribeirinhas e de encostas.

Diante disto, destaca-se a importância da realização do projeto de drenagem, desenvolvido com base nos dados obtidos através de estudos hidrológicos que

compreendem o dimensionamento, a verificação hidráulica, a funcionalidade e a posição da obra em relação as necessidades da cidade e da população, afim de definir os melhores dispositivos de drenagem a serem empregados (TUCCI, 2004).

## 2.2 HISTÓRICO

No início da construção civil, as civilizações empregavam materiais obtidos na natureza de forma bruta, que eram modelados conforme a demanda de cada construção. Porém, de acordo com a evolução humana, aumentou-se constantemente a necessidade de construções maiores, mais resistentes e com melhores acabamentos. O surgimento do aço e concreto protendido, no período após a Revolução Industrial, foi de grande descoberta e evolução para o setor da engenharia civil (BAEUR, 2017).

(ASSIS, 2002 apud Bernardes, 2017, p. 3), afirma que,

A grande experiência adquirida na construção de túneis ao longo da história foi essencial para o desenvolvimento da engenharia de túneis. A Era das Ferrovias, segundo Assis (2002) foi um dos períodos mais produtivos nesta área. Neste período foram introduzidas novas técnicas de escavação, como foi a utilização do primeiro “shield” (em português: escudo) que permitiu a conclusão do túnel sob o rio Tâmisa em Londres em 1843. A demanda por maior eficiência e segurança nas escavações em quaisquer condições de solo levou a engenharia a desenvolver diversas alternativas e técnicas construtivas para túneis.

Antigamente, dava-se menor importância aos sistemas de drenagem, principalmente quando relacionados as águas pluviais. Dentre os motivos que podem justificar esse pensamento do homem é o fato da distância entre uma construção e outra ser maior, e por consequência haver uma maior área permeável no solo, ou seja, maior expansão capilar. Por sua vez, atualmente, devido ao grande aumento da ocupação de áreas irregulares (encostas, ribeirinhas) e grande proximidade entre os imóveis, o solo diminui cada vez mais sua penetração, fazendo com que a água pluvial acabe permanecendo por um tempo maior sob a superfície do solo (TUCCI, 1997).

Uma das obras de drenagem urbana mais antiga do mundo é a Cloaca Máxima, construída pelo império romano com a função inicial de drenar a água e lixo. Era uma obra de grande porte para a época e pode ser considerada um dos monumentos mais antigos do Fórum Romano. A Cloaca Máxima era um canal de

seção aberta construída em pedra, sendo posteriormente desativada. Tinha como objetivo inicial drenar a água pluvial e o lixo da população romana para dentro do rio Tibre. Muitos séculos depois, o canal foi novamente reaberto e boa parte da sua alvenaria em pedras foi substituída por concreto (LALUPA, 2020).

Segundo Cerqueira (2018),

[...] Literalmente significando “Maior Esgoto”, a Cloaca foi construída por volta de 600 a.C. Ela já estava drenando os dejetos de uma das cidades mais populosas do mundo quando Júlio César se declarou imperador. De fato, o encanamento central, de 100 metros de comprimento, foi construído a mando do quinto rei de Roma, Tarquínio Prisco. Seu propósito original não era libertar as latrinas dos antigos romanos, mas sim drenar os pântanos nas proximidades. Essa ação, mais tarde, acabou liberando o terreno onde seria construído o famoso Foro Romano [...].”

Todavia, com a ampla evolução tecnológica, o processo de drenagem urbana aprimorou-se e passou a ser confeccionado industrialmente, comercializado de diversos formatos e materiais. De acordo com JDM (2021), empresa de pré-fabricados, é possível afirmar que,

A origem dessa categoria foi logo após a guerra civil pelas ferrovias norte-americanas. O grande desenvolvimento de 1915 até 1960 das estradas dos EUA também propiciaram um avanço na produção de tubos de concreto para galerias e bueiros.

De acordo com o histórico informado pela Fermix (2021), empresa de soluções em drenagem, as primeiras peças industrializadas de tubos de concreto foram produzidas em 1830, na Holanda. Algumas décadas após, ainda no século 19, houve uma grande evolução no método de elaboração de projetos de drenagem, nas técnicas construtivas e na produção industrial dos materiais empregados nesse sistema.

Outro fator de grande importância é a criação de normas técnicas, que visam regulamentar as características e desempenho dos materiais, método de execução e testes para verificar a qualidade do produto adquirido.

## 2.3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

A investigação geotécnica tem como objetivo principal avaliar as condições geológicas que afetam a segurança, o custo, o projeto e a execução (MARINHO, 2005).

De acordo com Schnaid (2012, p. 13),

A informação solicitada nem sempre é a informação necessária.  
A informação necessária nem sempre pode ser obtida.  
A informação obtida nem sempre é suficiente.  
A informação suficiente nem sempre é economicamente viável.

Para obter as respostas necessárias para desenvolver um plano de investigação, é preciso realizar as perguntas corretas com base no conhecimento dos condicionantes de projeto.

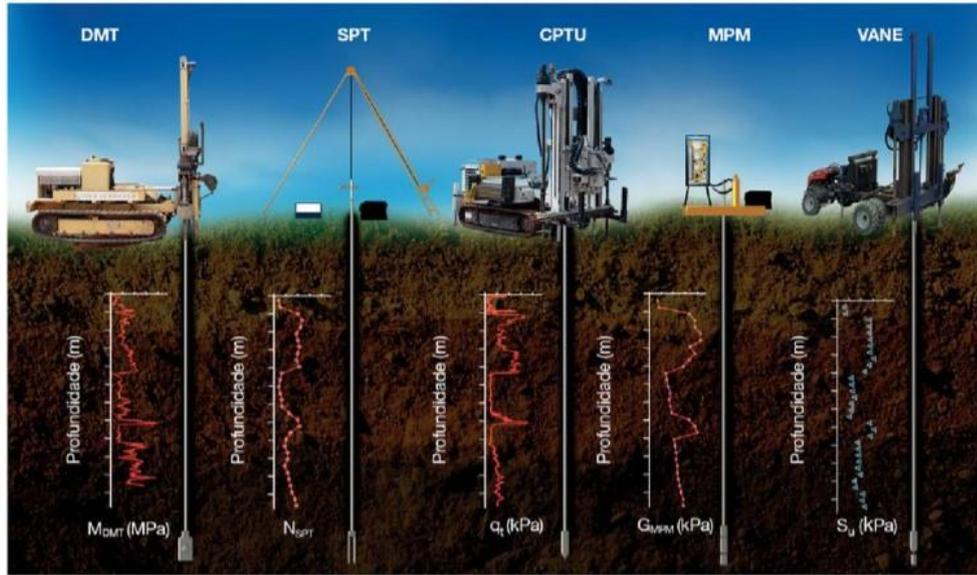
Segundo Schnaid (2012), a abrangência do plano de investigação é influenciada pelas características do meio físico, complexidade da obra (carga, topografia, escavação, obras vizinhas e canalizações) e seus possíveis riscos. Esses fatores são responsáveis por determinar a estratégia adotada na execução do projeto.

As etapas de uma investigação geotécnica consistem em conhecimento do projeto, verificação da morfologia do terreno, estimativa do perfil geotécnico e definição do plano de investigação, a partir da realização de sondagens e ensaios de campo e laboratório (GOBBI, 2022).

Existem diversos métodos de sondagem para reconhecimento de solo, sendo estes DMT, SPT, CPTU, MPM e VANE. É importante destacar que o SPT não pode ser aplicado em solos rochosos, ficando então esse tipo de caso por conta da sondagem rotativa.

A Figura 1 a seguir ilustra como ocorrem as sondagens de solo, listadas anteriormente.

Figura 1 – Técnicas de Sondagens



Fonte: Schnaid (2012)

A Tabela 1 abaixo encontra-se disponível para que possa ser analisado, com maior clareza e exatidão, a aplicação dos ensaios e sondagens para obtenção dos parâmetros do solo.

Tabela 1 – Parâmetros dos Ensaios e Sondagens dos Solos

		Parâmetros												
Grupo	Equipamento	Tipo de solo	Perfil	u	$\phi'$	$S_u$	$D_r$	$m_v$	$c_v$	$K_0$	$G_0$	$\sigma_h$	OCR	$\sigma-\epsilon$
Penetrômetro	Dinâmicos	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-
	Mecânicos	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-
	Elétricos (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-
	Piezocône (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C
	Sísmicos (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B
	Dilatômetro (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C
	Standard Penetration Test (SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-
	Resistividade	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-
Pressiômetro	Pré-furo (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C
	Autoperfurante (SBP)	B	B	A	B	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B
	Cone-pressiômetro (FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A	C	C	C
Outros	Palheta	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B
	Ensaio de placa	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B
	Placa helicoidal	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-
	Permeabilidade	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-
	Ruptura hidráulica	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-
	Sísmicos	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-

Aplicabilidade: A = alta; B = moderada; C = baixa; - = inexistente

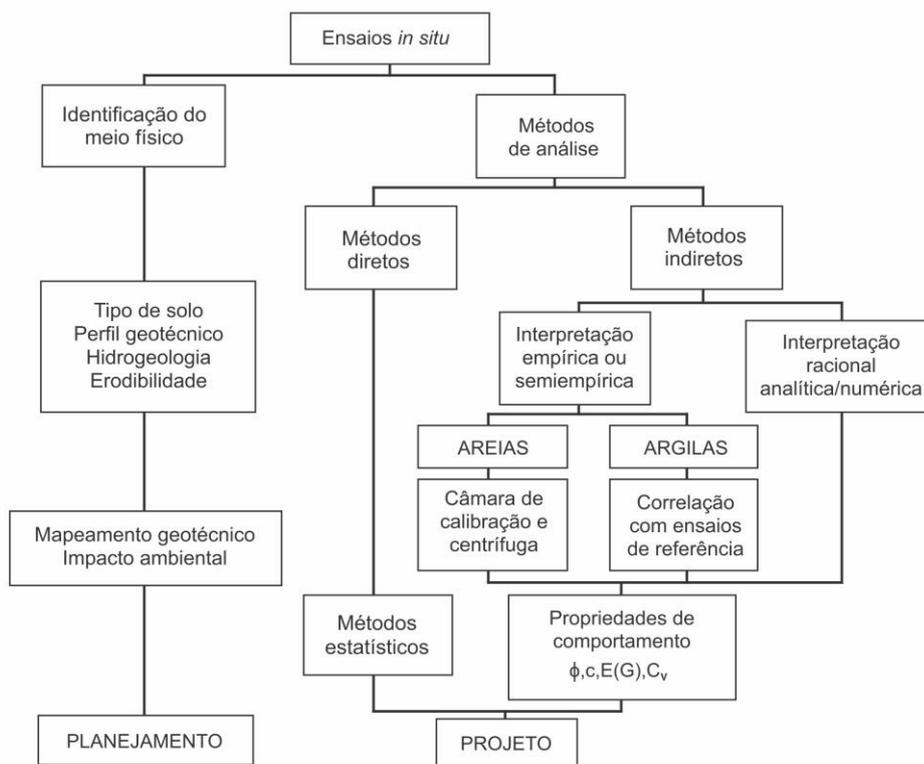
Definição de parâmetros: u = poropressão *in situ*;  $\phi'$  = ângulo de atrito efetivo;  $S_u$  = resistência ao cisalhamento não drenada;  $D_r$  = densidade relativa;  $m_v$  = módulo de variação volumétrica;  $c_v$  = coeficiente de consolidação;  $K_0$  = coeficiente de empuxo no repouso;  $G_0$  = módulo cisalhante a pequenas deformações;  $\sigma_h$  = tensão horizontal; OCR = razão de pré-adensamento;  $\sigma-\epsilon$  = relação tensão-deformação.

Fonte: Lunne, Robertson e Powell (1997).

Fonte: Schnaid (2012)

Ainda, com base em Schnaid (2012), apresenta-se a seguir, através da Figura 2, um fluxograma que tem como função orientar o engenheiro em relação a escolha do método de ensaio e interpretação dos respectivos resultados.

Figura 2 – Fluxograma de Interpretação dos Ensaios de Campo



Fonte: Schnaid (2012)

No Brasil, a sondagem de reconhecimento do solo normalmente custa entre 0,2 e 0,5% do custo total da obra (convencional). É indispensável considerar a investigação geotécnica no custo fixo da obra (SCHNAID, 2012).

## 2.4 DRENAGEM RODOVIÁRIA

De acordo com DNIT (2006), define-se drenagem como a ciência que, por meio de um sistema de drenagem eficiente, afasta a água que chega ao corpo estradal, capturando e transportando o excesso das águas superficiais e profundas para locais que menos afetam a segurança e durabilidade da via.

Contudo, de acordo com Jabôr (2013), o sistema de drenagem é o conjunto de dispositivos que tem como objetivo assegurar a plenitude das estradas e do meio ambiente ao seu redor, além da segurança dos usuários da via.

Segundo o álbum de dispositivos de drenagem do DNIT (2006), divide-se a drenagem rodoviária em:

- a) Drenagem Superficial: valetas de proteção de corte e aterro; sarjetas triangular ou trapezoidal de concreto e de grama; meio-fio; descidas d'água; dissipadores de energia; caixa coletora de sarjeta.
- b) Drenagem Subterrânea: drenos longitudinais profundos e camada drenante para corte em rocha.
- c) Drenagem Subsuperficial: drenos.
- d) Drenagem de Taludes e Encostas: drenos sub-horizontais.
- e) Drenagem Pluvial Urbana: bocas-de-lobo e chaminé dos poços de visita.
- f) Drenagem de Transposição de Talvegues: berços; bueiros metálicos e de concreto.

A Figura 3 abaixo ilustra alguns dos dispositivos de drenagem citados anteriormente, abrangentes do contexto de drenagem rodoviária.

Figura 3 – Dispositivos de Drenagem



Fonte: Faculdade Finom (2014)

Dentre os diversos dispositivos que compõem os sistemas de drenagem acima citados, será enfatizado o bueiro, material produzido industrialmente e disponibilizado no mercado com tipologias e medidas padrões, expostas de maneira mais detalhada nos capítulos a seguir.

## 2.5 DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES

Talvegue, segundo Jabôr (2022), é um canal profundo e sinuoso, por onde percorrem nascentes de um leito ou águas provenientes da chuva.

Conforme especificado pelo DNIT (2006), as águas transpostas pelos talvegues são derivadas de uma bacia e devem atravessar a estrada sem afetar sua estrutura. Isso é possível através da inserção de bueiros, pontes ou pontilhões.

A Figura 4 abaixo demonstra os três tipos de transposição de talvegue existentes.

Figura 4 – Tipos de Transposição de Talvegues



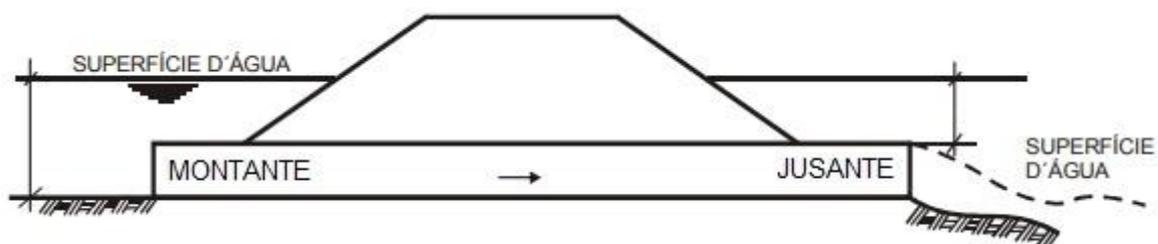
Fonte: Ricardo Venescau (2020)

### 2.5.1 Bueiros

Baseado em DNIT (2006), caracteriza-se bueiro, também conhecido como obra de arte corrente, a estrutura construída para conduzir corpos d'água contidas nos talvegues, de forma longitudinal ou transversal, do sentido montante (ponto de coleta) para jusante (ponto de deságue).

A Figura 5 abaixo ilustra os sentidos de montante e jusante do bueiro.

Figura 5 – Bueiro com Representação em Corte



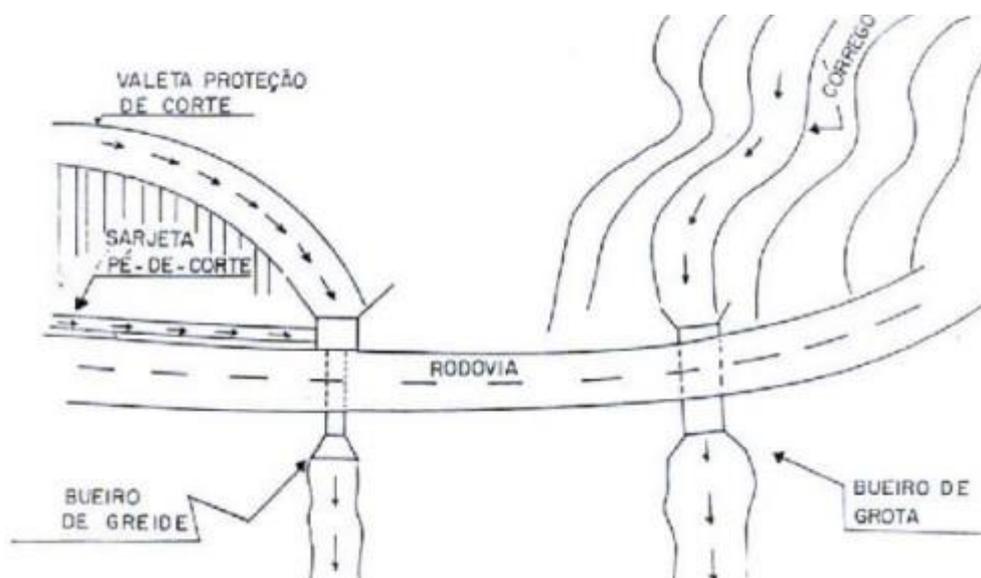
Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

De acordo com DNIT (2006 apud Azevedo, 2017, p. 22), afirma-se que,

“[...] os bueiros são obras que permitem a passagem das águas que acorrem as estradas e são compostos por bocas e corpo. Sendo que o corpo é a parte situada sob os cortes e aterros e as bocas constituem os dispositivos de admissão e lançamento, a jusante e a montante, e são compostas de soleira, muro de testa e alas. São classificados em Bueiro de Greide, que geralmente encaminham as águas precipitadas e recolhidas por dispositivos de drenagem superficial e Bueiro de Grotta, que encaminham as águas de córregos e canais existentes e são localizados no fundo dos talvegues”.

Na Figura 6 a seguir é possível identificar a diferença entre a aplicação do bueiro de grotta e do bueiro de greide.

Figura 6 – Bueiro de Greide e de Grotta



Fonte: Morales (2003)

Os bueiros podem ser executados durante o processo de implantação de uma nova rodovia ou também em uma rodovia já existente que, devido a urbanização,

não atenda mais as necessidades do entorno e acabe sendo necessário redimensionar a drenagem.

DNIT (2006), classifica esse tipo de dispositivo de drenagem e também impõe o método de projeção e execução. Com base nisso, divide-se os bueiros quanto a:

- a) Posição na seção transversal: bueiro de greide ou bueiro de grota;
- b) Forma: tubular, celular, lenticular, elipse, entre outros formatos não tão usuais;
- c) Material: metálico, concreto simples ou armado, polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC);
- d) Rigidez: flexível ou rígido;
- e) Número de “linhas”: simples, duplo ou triplo;
- f) Escondidade: normais quando o eixo do bueiro é ortogonal ao eixo da rodovia, ou escondos quando o eixo longitudinal do bueiro faz um ângulo diferente de zero com o eixo da rodovia.

DNIT (2006), define que, em relação ao dimensionamento hidráulico, os bueiros podem ser considerados como canais, vertedouros ou orifícios. Basicamente, essa definição se consiste na escolha do regime, que varia de acordo com a possibilidade de a obra estar ou não com carga hidráulica a montante, causando transbordamento no bueiro e danos no aterro e pavimentação. Se o elevado nível d'água a montante do bueiro não causar prejuízos, pode-se considerar o bueiro operando como um orifício, devendo ser respeitado a cota de nível máxima a montante. Já nos casos onde não é possível ter carga hidráulica a montante, o bueiro precisa estar operando livre, como um canal.

Contudo, em casos de bueiros atuando como vertedores, considera-se a obra como orifício, onde a altura d'água sobre a borda superior é nula (DNIT, 2006).

Segundo Fernandes (2018), quando os bueiros de greide atuarem como canais, deverá ser definido em qual regime de escoamento ele estará atuando, podendo ser do tipo: regime crítico (quando tem-se o mínimo de energia); regime supercrítico (quando tem-se declividade superior à do regime crítico); regime subcrítico (quando tem-se declividade inferior à do regime crítico).

DNIT (2006), destaca que os bueiros de greide devem ser instalados em:

- a) Bocas de corte, quando o volume de água dos dispositivos de drenagem possa desgastar o terreno natural;

- b) Nos cortes, quando houver escoamento de grande concentração de águas pelas encostas, superando a capacidade das sarjetas;
- c) Sob os aterros, onde neste caso procura-se lançar o bueiro na linha do talvegue. Caso não seja possível, pode-se encontrar um ponto que distancie o eixo do bueiro, o mínimo possível do normal em relação ao eixo da rodovia, com as medidas devidas para as transferências dos canais de entrada e saída de água do bueiro.
- d) Além disso, para dimensionar e desenvolver um projeto de obra de arte corrente, destaca-se como sendo os principais elementos a definir-se (DNIT, 2006):
  - e) Levantamento topográfico, com todas as curvas de nível;
  - f) Estudos geométricos (através de sondagens) e estudos hidrológicos;
  - g) Declividade, que é definida após a escolha da posição do bueiro e pode variar de 0,4 a 5%. Caso a declividade fique superior a 5%, deve-se projetar a execução de bueiro com descida em degraus. Já em casos na qual a velocidade do fluxo na jusante for maior do que a recomendada para a natureza do terreno natural, deve-se prever bacias de amortecimento;
  - h) Seção transversal (ou seção de vazão do bueiro), que depende da descarga da bacia e da declividade definida;
  - i) Comprimento, posicionamento e altura de aterro, através do perfil traçado;
  - j) Fundações, quando necessário;
  - k) Recobrimento do bueiro, que precisa seguir as determinações do Manual do DNIT, que varia de acordo com o dispositivo empregado;
  - l) Escondade, que é definida pela posição do talvegue e não se recomenda valores maiores do que 45°;
  - m) Dispositivos de captação (bocas e caixas) e de dispersão (valas, descidas de água e bacias de amortecimento).

Quando se analisa o processo construtivo de bueiros de greide, existem duas formas distintas de execução, podendo ser pelo método destrutivo (convencional) ou pelo método não destrutivo.

### 2.5.1.1 Método Não Destrutivo

De acordo com Jabôr (2019, p. 106),

Método não destrutivo pode ser definido como o método de execução de um bueiro através de túnel, sem abertura do corpo de aterro de forma a não causar interferência com o tráfego e com a superfície do terreno que se estiver atravessando.

Jabôr (2019), indica a utilização desse método principalmente em casos de:

- a) Rodovias com grande volume de tráfego, onde a execução pelo método convencional causará riscos aos usuários da rodovia;
- b) Onde o aterro seja alto (muitas vezes ultrapassando 6,00m);
- c) Em áreas urbanas para inserção ou recuperação de rede pluvial, vias com grande fluxo de veículos, locais com pouco espaço para execução da obra, entre outros.
- d) Existem várias técnicas de execução pelo método não destrutivo (MND), sendo 5 (cinco) delas mais conhecidas (JABÔR, 2019):
- e) Tunnel Liner: método desenvolvido e com direitos registrados pela empresa ARMCO STACO. São estruturas compostas por chapas de aço corrugadas que formam seções geométricas variadas;
- f) Tunel Bala: método desenvolvido e com direitos registrados pela empresa Completa Engenharia. São estruturas compostas por peças pré-moldadas em concreto de alto desempenho;
- g) MND/PHD: método composto por tubos de PEAD, na qual utiliza-se Sonda Dirigida ou Perfuração Dirigida para execução;
- h) Pipe Jacking: composto por tubos de concreto de alta resistência, na qual executa túneis através do método de cravação;
- i) NATM: New Austrian Tunne-lling Method, é um método mais indicado para obras de maiores dimensões. São estruturas onde a sustentação preliminar é a própria rocha, preservando o maciço, e após escavado é revestido com concreto projetado.

Para definir qual o melhor método a ser empregado, o profissional que desenvolve o projeto deve analisar alguns parâmetros do local da obra como, por exemplo, tipo de solo do maciço a ser atravessado/perfurado, nível do lençol

freático, recobrimento, carga dinâmica que atuará sobre o bueiro e forma e dimensão da seção transversal (JABÔR, 2019).

No presente estudo, considera-se apenas o Tunnel Liner para realizar análise e comparação com o método destrutivo.

A Figura 7 abaixo ilustra a execução do Tunnel Liner, através do método não destrutivo. Nela é possível perceber, de maneira simultânea, operários trabalhando na instalação dos tubos e o trânsito fluindo sem interferências.

Figura 7 – Ilustração da Execução de Tunnel Liner



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

#### 2.5.1.1.1 Bueiro Metálico

Segundo Queiroz (2020), o bueiro metálico é um dispositivo de drenagem executado sem que seja necessário interromper o tráfego da rodovia, através do método conhecido como não destrutivo. Nesse tipo de obra, empregam-se chapas metálicas corrugadas, disponíveis no mercado em peças de diversos diâmetros e espessuras, que são fixadas uma a outra através de parafusos e porcas.

A Fotografia 1 abaixo ilustra a execução de bueiro tubular metálico, localizado na obra de duplicação da BR-386, km 326+540, em Marques de Souza/RS.

Fotografia 1 – Bueiro Tubular Metálico



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Em obras que se empregam bueiros pelo método não destrutivo como o dispositivo responsável por drenar as águas pluviais, é necessário adquirir-se peças confeccionadas em aço corrugado, comercializadas em diversos formatos, diâmetros e espessuras, que variam de acordo com as necessidades especificadas em projeto. Para isso, a Armco Staco disponibiliza no mercado 4 (quatro) opções de produtos, sendo estes MP100, MP152, MP152S e Tunnel Liner.

Bernardes (2017), explica que existem várias aplicações para o Tunnel Liner, podendo ser empregado para passagem de veículos, pedestres, cabos, trens, entre outros, destacando-se a drenagem pluvial como a função mais utilizada.

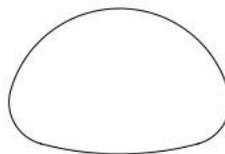
Conforme ilustra a Figura 8 abaixo, atualmente a Armco Staco disponibiliza no mercado as chapas metálicas de Tunnel Liner em três formatos geométricos.

Figura 8 – Geometria das Peças de Tunnel Liner

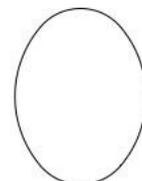
TL ARCO



TL LENTICULAR



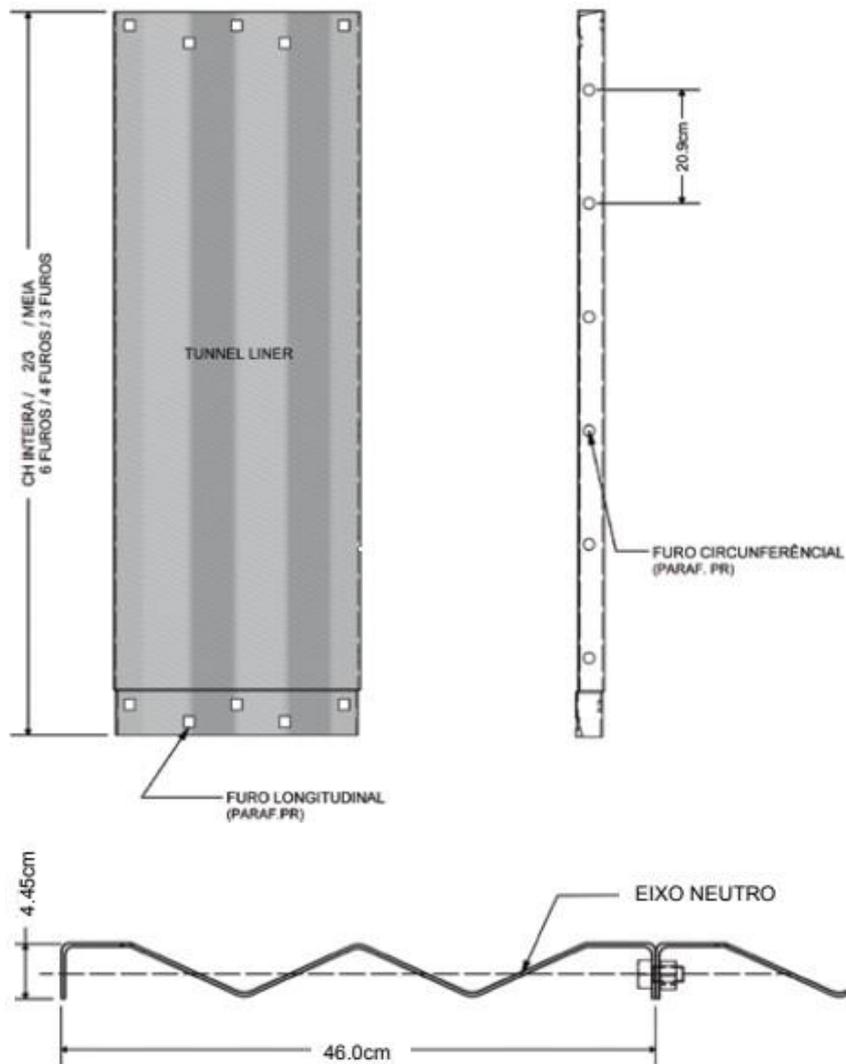
TL ELIPSE VERTICAL



Fonte: Armco Staco (2013)

Por sua vez, a Figura 9 abaixo apresenta o padrão da largura das chapas e dos furos, que servem para unificar as peças metálicas umas nas outras.

Figura 9 – Detalhamento das Peças Metálicas



Fonte: Armco Staco (2013)

De acordo com Armco Staco (2013), as chapas de aço corrugado são comercializadas em módulos de 0,46 metros. A Fotografia 2 a seguir, ilustra os módulos disponíveis no mercado.

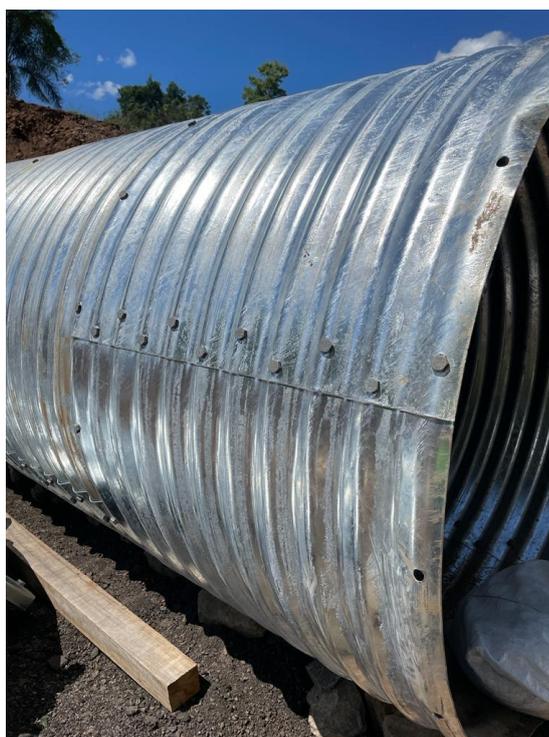
Fotografia 2 – Peças Metálicas para Bueiro de Greide



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Armco Staco (2013), define no Manual de Montagem que os pequenos módulos deverão ser unidos posteriormente por meio de parafusos, porcas e arruelas, já no local da execução da rede de drenagem pluvial, conforme Fotografias 3 e 4 abaixo.

Fotografia 3 – Vista Externa de Bueiro Metálico MP100 com Chapas Unificadas



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 4 – Vista Interna das Chapas Metálicas Unificadas por Parafusos



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Os diâmetros desse tipo de tubulação podem variar de 1,20 a 5,00 metros e a espessura de 2,20 a 6,50 milímetros, dependendo diretamente do local que será realizado a instalação (rodovia ou ferrovia), conforme demonstra a Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Diâmetros, Espessuras e Alturas de Aterro para Chapas Circulares

Diâmetro [m]	Área [m <sup>2</sup> ]	Perímetro [m]	ALTURA DE ATERRO [m]											
			Mínima	Máxima										
				Rodovia	Rodovia					Ferrovia				
			Ferrovia	Espessura [mm]					Espessura [mm]					
				2.2	2.7	3.4	3.9	4.7	6.5	2.7	3.4	3.9	4.7	6.5
1.20	1.13	3.77	1.20	9.00	12.90	15.50	22.10	26.50	41.30	12.90	15.50	22.10	26.50	41.00
1.40	1.54	4.40	1.20	7.70	11.00	13.40	18.90	22.70	35.40	11.00	13.40	18.90	22.70	35.40
1.60	2.01	5.03	1.20	6.70	9.60	11.60	16.60	19.90	30.00	9.60	11.60	16.60	19.90	30.00
1.80	2.54	5.65	1.50	6.00	8.60	10.30	14.70	17.70	27.50	8.00	10.30	14.70	17.70	27.50
2.00	3.14	6.28	1.50	5.40	7.70	9.30	13.20	15.90	24.80	6.90	9.00	13.20	15.90	24.80
2.20	3.80	6.91	1.80	4.90	7.00	8.40	12.00	14.50	22.50		7.90	12.00	14.50	22.50
2.40	4.52	7.54	1.90	4.50	6.40	7.70	11.00	13.20	20.60		7.00	11.00	13.20	20.60
2.60	5.31	8.17	2.10	4.10	5.90	7.10	10.20	12.20	19.00		6.40	10.20	12.20	19.00
2.80	6.16	8.80	2.20	3.80	5.50	6.60	9.40	11.30	17.70		5.50	9.20	11.30	17.70
3.00	7.07	9.42	2.30	3.60	5.10	6.20	8.80	10.60	16.50		4.70	8.30	10.60	16.50
3.20	8.04	10.05	2.40		4.80	5.80	8.30	9.90	15.40		4.00	7.80	9.90	15.40
3.40	9.08	10.68	2.50		4.50	5.40	7.80	9.30	14.60			7.00	9.10	14.60
3.60	10.18	11.31	2.60		4.30	5.10	7.30	8.80	13.70			6.60	8.30	13.70
3.80	11.34	11.94	2.70		4.00	4.90	6.90	8.30	13.00			6.20	7.80	13.00
4.00	12.57	12.57	2.80		3.10	4.60	6.60	7.90	12.40			5.10	7.20	12.40
4.20	13.85	13.19	2.90			4.40	6.30	7.50	11.80			4.80	6.80	11.80
4.40	15.21	13.82	3.00			4.20	6.00	7.20	11.20			4.20	6.40	11.20
4.60	16.62	14.45	3.10			4.00	5.70	6.90	10.70			4.00	6.10	10.70
4.80	18.10	15.08	3.20				5.50	6.60	10.30				5.10	10.30
5.00	19.63	15.71	3.30				5.30	6.30	9.90				4.80	9.90

Fonte: Armco Staco (2013)

Os níveis de corrosão das peças metálicas variam de acordo com a classificação de agressividade e pH da água existente no solo. Já a abrasão varia de acordo com a sedimentação do solo. Essas informações são definidas através das Tabelas 3 e 4 abaixo, que estão diretamente relacionadas a durabilidade das peças (ARMCO STACO, 2013).

Tabela 3 – Nível de Corrosão da Peça Metálica

NÍVEL DE CORROSÃO			
A	Baixo	pH = 5.8 a 8.0	R > 2000 ohm-cm
B	Moderado	pH = 5.0 a 5.8	R = 1500/2000 ohm-cm
C	Elevado	pH = 5.0 a 4.0	R < 1500 ohm-cm
D	Muito elevado	pH < 4.0	R < 1500 ohm-cm

Fonte: Armco Staco (2013)

Tabela 4 – Nível de Abrasão da Peça Metálica

NÍVEL DE ABRASÃO		
1	Não abrasivo	Sem sedimentação em qualquer velocidade
2	Baixo	Baixa sedimentação de areia e cascalho $V < 1.5$ m/s
3	Moderado	Sedimentos de areia e pequenas pedras com $V = 1.5$ a $4.5$ m/s
4	Elevado	Sedimentação forte de cascalho e pedras com $V > 4.5$ m/s

Fonte: Armco Staco (2013)

As peças que compõem esse sistema construtivo são produzidas em chapas corrugadas de aço e podem receber revestimento galvanizado ou resina epóxi (ARMCO STACO, 2013).

Para drenagem pluvial (níveis A, 1 e 2), as chapas galvanizadas recebem um tratamento por imersão a quente e revestimento com zinco em camada de  $128\mu\text{m}$  (duas faces), onde o revestimento irá proteger o aço da peça de corrosão e prolongar a vida útil do bueiro (ARMCO STACO, 2013).

Por sua vez, para ambientes mais agressivos, analisados em relação à composição do solo e da água que percorre pelo bueiro (níveis B, C, 1 e 2), as chapas recebem um revestimento Epoxy HR® com camada de  $180\mu\text{m}$  de espessura interna e  $140\mu\text{m}$  de espessura externa, estabelecem proteção contra os agentes corrosivos. Podem ser empregadas em locais para drenar travessias de cursos de água, áreas urbanas ou onde as chapas galvanizadas não possuem capacidade técnica de suprir as necessidades (ARMCO STACO, 2013).

De acordo com Armco Staco (2013), uma das maiores produtoras desse tipo de material e que tem o serviço de bueiro metálico reconhecido mundialmente como Tunnel Liner (patente registrada), é possível afirmar que as principais etapas de execução desse dispositivo de drenagem são:

“A escavação do solo através de equipamentos mecânicos automatizados ou simples equipamentos manuais; remoção do material escavado; montagem das chapas de revestimento aparafusadas; preenchimento de eventuais vazios. Algumas técnicas específicas podem ser necessárias, no caso da presença de água no nível da escavação [...]. Em função da dimensão da obra – aérea de escavação e comprimento do túnel – e também da sua complexidade, o executante do túnel deverá projetar e prever os recursos a serem adotados para garantir a segurança e a rapidez da sua execução.” (ARMCO STACO, 2013, p. 8)

A Figura 10 ilustra o método de escavação e montagem do bueiro metálico de maneira não destrutiva, conforme o processo definido anteriormente, por meio do Manual de Montagem da Armco Staco.

Figura 10 – Método Construtivo do Tunnel Liner



Fonte: Armco Staco (2013)

A execução do bueiro metálico deverá ser de maneira manual quando em diâmetros menores e poderá contar com o apoio de máquinas de menor porte quando em diâmetros maiores (ARMCO STACO, 2013).

A Fotografia 5 abaixo apresenta a escavação para instalação do *Tunnel Liner*, sendo realizada de forma manual.

Fotografia 5 – Escavação Manual de Vala para Bueiro Metálico

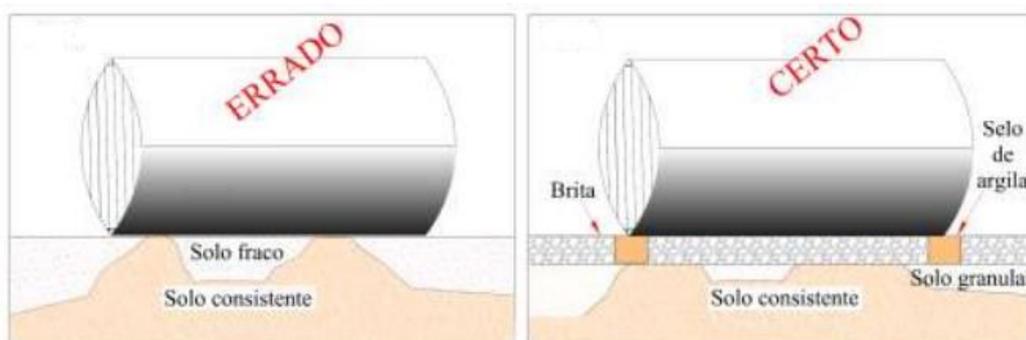


Fonte: Registrada pelo autor (2022)

É importante observar que os bueiros metálicos são formados por peças flexíveis, devendo-se então serem assentados em solo estável, cuidando-se para jamais serem colocados sobre bases rígidas de concreto ou rocha (ARMCO STACO, 2019).

Em casos de solos irregulares e de baixa resistência, deve-se estabilizar o local com a inserção de material granular (geralmente brita) e execução de selo de argila a montante e a jusante da rede de drenagem, conforme demonstra a Figura 11 a seguir (ARMCO STACO, 2019).

Figura 11 – Assentamento de Bueiro Metálico sobre Solo Irregular

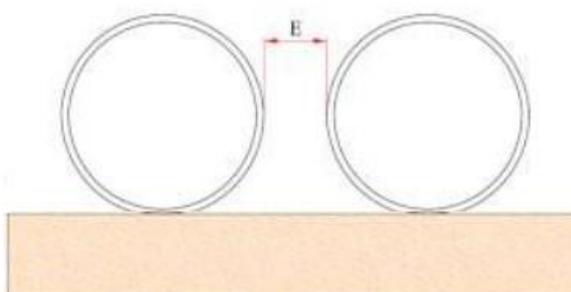


Fonte: Adaptado de Armco Staco (2019)

Armco Staco (2019) define que, quando os bueiros metálicos forem formados por duas ou mais linhas paralelas, deve-se obedecer um espaçamento mínimo entre as estruturas, conforme especifica a Figura 12.

Figura 12 – Espaçamento Mínimo entre Bueiros Metálicos Paralelos

DIÂMETRO OU VÃO	ESPAÇO MÍNIMO (E) ENTRE AS ESTRUTURAS
de 0,60m a 1,80m	1/2 diâmetro
mais de 1,80m	0,90m

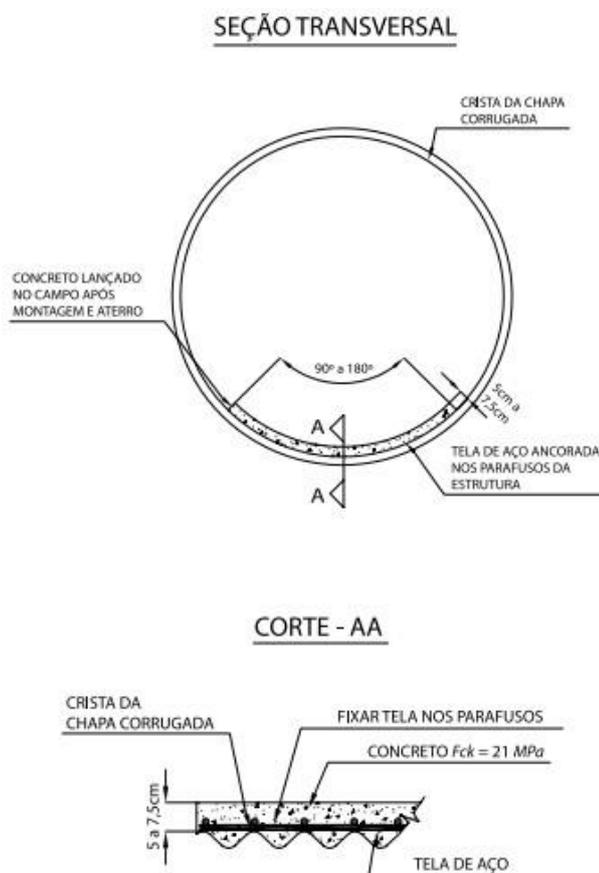


Fonte: Adaptado de Armco Staco (2019)

Em casos que, após a escavação e montagem do bueiro, restar um vazio entre o solo e a tubulação metálica, deverá preencher-se com material flexível e que possua uma boa resistência a compressão, com o objetivo de evitar futuros recalques. O material empregado neste preenchimento varia de acordo com o local, o diâmetro do bueiro e o método de execução, podendo ser: manual, onde deve-se preencher os vazios externos com material argiloso, por meio de soquetes; ou mecânico, onde deve-se preencher os vazios externos com argamassa fluída, por meio de furos específicos existentes nas chapas para inserção do bico de injeção (ARMCO STACO, 2015).

Ainda, de acordo com Armco Staco (2013), é necessário revestir-se a parte interna da rede de drenagem com um pavimento em concreto, cobrindo de 90° a 180° da calha inferior, afim de proporcionar aumento na vida útil e melhorar a eficiência do escoamento da água. A Figura 13 e Fotografia 6 abaixo ilustram esse revestimento.

Figura 13 – Seção Transversal e Corte – AA de Bueiro Metálico Revestido Internamente em Concreto



Fonte: Armco Staco (2013)

Fotografia 6 – Revestimento Interno de Bueiro Metálico Realizado In Loco



Fonte: Registrada pelo autor (2022)

Ainda sobre a aplicação do pavimento de concreto na parte interna do bueiro metálico, é importante destacar como recomendações de aplicação: utilização de cimento Portland CP II E; concreto com fck de 21 MPa; agregado (brita 1) com diâmetro máximo de 19 mm; relação água cimento máximo de 0,50 l/kg; armaduras com cobrimento interno de no mínimo 3 cm; cobertura de 90° a 180° da calha inferior do bueiro (ARMCO STACO, 2013).

Após a montagem do bueiro, também é necessário complementar o início e final desse sistema de drenagem com outros dispositivos como, por exemplo, bocas e alas em concreto, bacias de amortecimento, dissipadores de energia e drenos (ARMCO STACO, 2019). As Fotografias 7, 8 e 9 abaixo ilustram alguns destes dispositivos complementares do bueiro de greide.

Fotografia 7 – Boca de Bueiro em Concreto



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 8 – Bacia de Amortecimento



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 9 – Dissipador de Energia



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

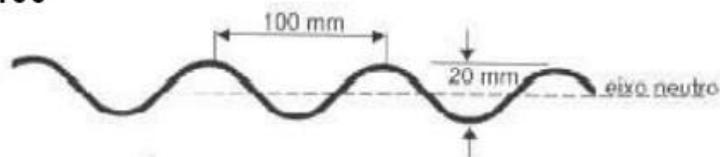
De acordo com a ARMCO STACO (2019), o que diferencia o MP100/MP152 do Tunnel Liner são as propriedades das seções metálicas, diferenças nas espessuras das chapas e, principalmente, o método de execução.

Ao contrário do Tunnel Liner, que exige escavação subterrânea de forma manual e/ou mecânica para não afetar a via existente, o MP100/MP152 é montado de maneira externa no ambiente sem necessidade de escavação, porém, por sua vez, deve-se considerar o recebimento de aterro e compactação posterior a execução, sob o bueiro já instalado (ARMCO STACO, 2019).

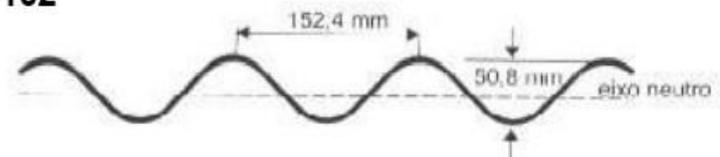
A Figura 14 abaixo ilustra a diferença da seção geométrica das chapas metálicas MP100 e MP152, onde uma possui 100mm de ondulação e a outra aproximadamente 152mm.

Figura 14 – Detalhamento das chapas corrugadas

**MP100**



**MP152**



Fonte: Adaptado de ARMCO STACO (2013)

A Fotografia 10 apresenta a seguir ilustra a possibilidade de execução de bueiro misto, onde existe a ligação do Tunnel Liner ao MP100, na mesma rede de drenagem pluvial.

Fotografia 10 – Execução de Tunnel Liner e MP100



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Essa execução de maneira mista pode ser geralmente observada em obras de duplicação de rodovia, onde realiza-se transposição de talvegue. Conforme demonstra a Fotografia 11 abaixo, a parte da transposição que se encontra abaixo

do pavimento já existente, emprega-se o Tunnel Liner e, na parte da transposição que se encontra no local livre onde futuramente passará a nova parte da via, emprega-se o MP100/MP152.

Fotografia 11 – Transposição de Talvegue com Tunnel Liner e MP100/MP152



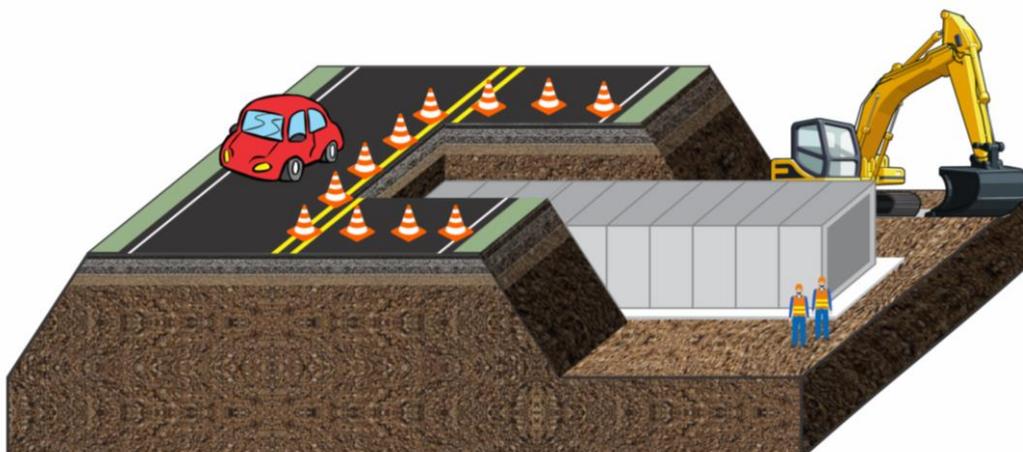
Fonte: Registrada pelo autor (2021)

#### 2.5.1.2 Método Destrutivo

A maior parte das obras de drenagem de águas pluviais são executadas empregando bueiros em concreto, através do método destrutivo. Para isso, é necessário adquirir-se peças pré-moldadas, comercializadas em diversos formatos, diâmetros e espessuras, que variam de acordo com as necessidades do projeto (JABÔR, 2019).

A Figura 15 abaixo ilustra a execução do bueiro celular em concreto, através do método destrutivo. Nela é possível perceber que é necessário interferir no trânsito, bloqueado o fluxo de veículos em uma das pistas de rodagem para que seja possível remover o pavimento existente e realizar a escavação de vala para que os operários possam instalar as peças que compõem a rede de drenagem.

Figura 15 – Ilustração da Execução de BSCC



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 2.5.1.2.1 Bueiro de Concreto

O bueiro de concreto é um dispositivo de drenagem implantado através do método destrutivo, na qual aplica-se para diversas finalidades.

Conforme especifica a ABTC (2021, p. 6),

Os tubos e as aduelas pré-moldados em concreto são peças autoportantes, largamente utilizadas em redes de infraestrutura e saneamento básico, como redes de drenagem, redes de esgoto e efluentes industriais, pontes e passagens de pessoas ou animais, galerias técnicas (visitáveis e não visitáveis), poços de visita ou inspeção de redes.

Os tubos produzidos em concreto podem ou não possuir armaduras e estão disponíveis para comercialização com diversas propriedades diferentes como, por exemplo, diâmetros e formas de encaixe (tipos de juntas). Os materiais e métodos de execução devem atender as exigências das normas regulamentadoras e manuais técnicos como a NBR 8890, NBR 15396 e DNIT IPR - 724.

De acordo com NBR 15645 (2008, p. 4),

As obras de execução do sistema de drenagem pluvial e esgoto sanitário devem obedecer rigorosamente às plantas, desenhos e detalhes de projeto, às recomendações específicas dos fabricantes dos materiais a serem empregados e aos demais elementos que a fiscalização venha a fornecer.

Os bueiros produzidos em concreto são classificados de diversas maneiras, dentre elas quanto ao seu formato e número de linhas. Para peças com formato

circular denominam-se de bueiro tubular (tubo); para as peças com formato quadrado ou retangular denominam-se de bueiro celular, também conhecidos como galeria ou aduela; e além destas existem as peças com formatos especiais. Já em relação a quantidade de linhas, os bueiros serão simples quando tiverem somente uma linha de tubos ou aduela, e duplos ou triplos quando tiverem 2 ou 3 linhas de tubos ou aduela (DNIT, 2006).

Não é recomendado executar-se rede de drenagem pluvial contendo mais de 3 linhas de tubos ou aduelas, devido ao fato de causar alagamento na pista (MORALES, 2003).

As Figuras 16, 17, 18, 19 e 20 abaixo ilustram os formatos, número de linha dos tubos e suas devidas siglas de identificação técnica e comercial.

Figura 16 – Siglas de Classificação dos Bueiros de Concreto

TUBULARES	[	BSTC – Bueiro Simples Tubular de Concreto	
		BDTC – Bueiro Duplo Tubular de Concreto	
		BTTC – Bueiro Triplo Tubular de Concreto	
CELULARES	[	BSCC – Bueiro Celular de Concreto	
		BDCC – Bueiro Duplo Celular de Concreto	
		BTCC – Bueiro Triplo Celular de concreto	
EM ARCO	[	Arco Simples	
		Arco Duplo	

Fonte: Morales (2003)

Figura 17 – Geometria Tubular das Peças em Concreto



Fonte: Copel Pré-Moldados (2021)

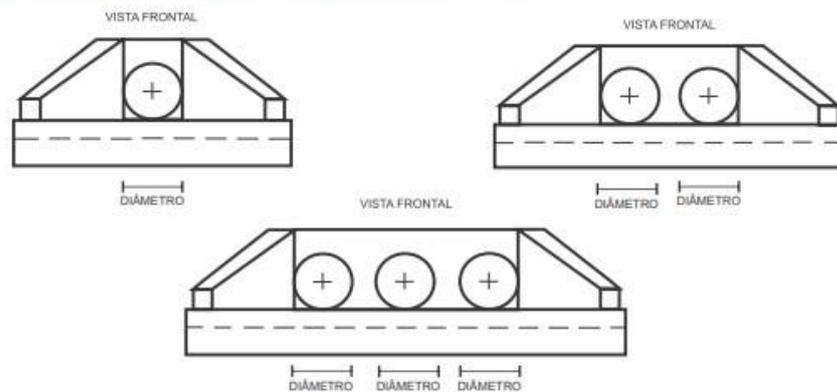
Figura 18 – Geometria Celular das Peças em Concreto



Fonte: Jabôr (2019)

Figura 19 – Vista Frontal da Rede de Drenagem Pluvial com Bueiros Tubulares

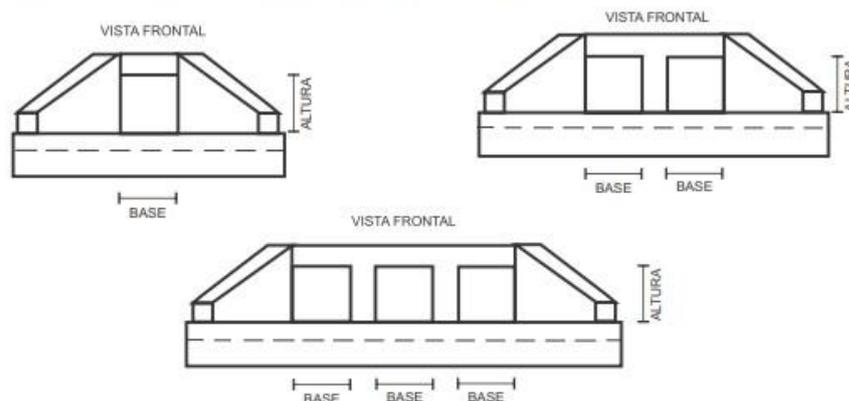
**Bocas de Bueiros Tubulares Simples, Dupla e Tripla**



Fonte: Jabôr (2019)

Figura 20 – Vista Frontal da Rede de Drenagem Pluvial com Bueiros Celulares

**Bocas de Bueiros Celulares Simples, Dupla e Tripla**



Fonte: Copel Pré-Moldados (2021)

O bueiro celular em concreto, além de pré-moldado, pode ser executado “in loco”, apesar deste método não ser o mais comum. O pré-moldado se torna o preferido do mercado para drenagem pluvial, devido ao fato de proporcionar maior agilidade, menor demanda de profissionais em campo, obra mais enxuta e canteiro mais limpo.

Segundo Concrenorte (2017), deve-se atentar na definição do tubo de concreto a ser empregado, seguindo as definições de projeto em relação ao local de instalação e finalidade da rede. Vale ressaltar que existe diferença entre o tubo de concreto para rede de captação de drenagem de água pluvial e rede de escoamento de esgoto e este fato também deve ser considerado na definição, afim de evitar inúmeros problemas como, por exemplo, retrabalho, aumento do custo, contaminação do solo e desabamento.

As tubulações para execução de rede pluvial diferenciam-se da rede cloacal (esgoto sanitário) pelo fato de não transportarem lixo, detritos e contaminantes juntamente da água. Por esse fato, a drenagem pluvial precisa ser um sistema independente, e permite a utilização de tubos mais simples quando comparados aos tubos de esgoto sanitário (CONCRENORTE, 2017).

Em relação aos tubos de concreto para rede de drenagem pluvial, é necessário escolher se o material será produzido em concreto simples, conhecido pela sigla PS, ou em concreto armado, conhecido pela sigla PA, sendo este último mais resistente devido conter aço em sua composição (CONCRENORTE, 2017).

De acordo com ABTC (2021), a resistência mecânica dos tubos é classificada de acordo com a carga que a peça suporta, sendo a NBR 8890 responsável por realizar esta identificação e padronização.

NBR 8890 (2007), define que os tubos simples são divididos em duas classes, sendo elas PS1 e PS2. A sigla PS, conforme explicado anteriormente, apontam que as peças são para conduzir água pluvial e não possuem armadura em sua confecção. Já as numerações 1 e 2 apontam qual é a classe de resistência mecânica.

NBR 8890 (2007), define que os tubos armados são divididos em quatro classes, sendo elas PA1, PA2, PA3 e PA4. A sigla PA, conforme explicado anteriormente, apontam que as peças são para conduzir água pluvial e devem obrigatoriamente possuir aço em sua confecção. As numerações 1, 2, 3 e 4, da

mesma forma que no tubo simples, servem para apontar a classe de resistência mecânica da peça.

Referente a numeração de classificação de resistência mecânica, é interessante destacar que quanto maior for esta graduação (número), maior será a resistência. Ou seja, PS2 é mais resistente que PS1 e PA4 é mais resistente que PA2 (ABTC, 2021).

Ainda, é importante destacar que o tubo em concreto armado pode ser fabricado contendo reforço estrutural em diferentes materiais, sendo estes: armados com telas e barras de aço; reforçados com fibra de aço; armados e com reforço secundário de fibras de aço (ABTC, 2021).

De acordo com NBR 8890 (2007), os tubos utilizados para execução de redes de drenagem de águas pluviais podem possuir as juntas do tipo rígidas ou elásticas. A junta elástica é a união entre as peças de tubo que permite ocorrer deflexão, enquanto a junta rígida não permite deflexão.

Para garantir a estanqueidade, as peças com junta elástica utilizam anel de borracha e as peças rígidas utilizam argamassa (NBR 8890, 2007).

Em relação ao encaixe dos tubos de concreto, visando ligar uma peça a outra e formar a rede de drenagem pluvial, encontram-se dois tipos disponíveis no mercado, sendo eles Macho e Fêmea, representado pela sigla MF, ou Ponta e Bolsa, representado pela sigla PB (ABTC, 2021).

ABTC (2021), afirma que os tubos com encaixe ponta e bolsa são muito utilizados no Brasil, devido ao fato de proporcionarem ao sistema de drenagem mais segurança em relação a infiltrações e vazamentos.

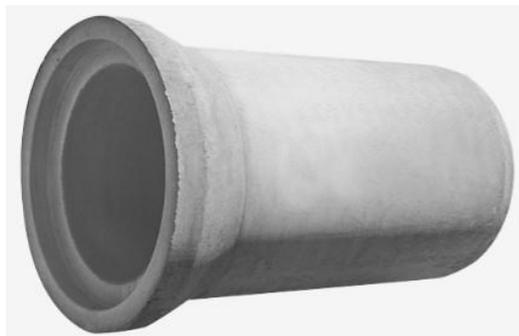
As Figuras 21 e 22 abaixo ilustram a diferença entre os encaixes do tipo MF e PB nas tubulações de concreto, podendo ambas serem do tipo simples ou armado.

Figura 21 – Tubo de Concreto com Encaixe Macho e Fêmea



Fonte: Construsinos (2021)

Figura 22 – Tubo de Concreto com Encaixe Ponta e Bolsa



Fonte: Construsinos (2021)

As dimensões das peças de bueiro em concreto, variam de acordo com o formato e demais características. Sendo assim, peças tubulares tem sua dimensão expressada em diâmetro, que varia de 200 a 600 mm para PS e de 300 a 2.000 mm para PA, e comprimento útil mínimo, que pode ser 950 ou 1.000 mm. Já as peças celulares, possuem seção transversal quadrada ou retangular com junta rígida do tipo macho e fêmea, comprimento útil mínimo de 1 m e dimensões internas (tanto da base como da altura) que variam de 0,50 m em 0,50 m, com limite máximo de 4 m ABTC (2021).

Contudo, as juntas rígidas de bueiros celulares devem ser executadas com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 e aditivo que impeça a retração, na face interna e externa da peça.

As Tabelas 5 e 6 apresentam quadros de dimensões comercializadas, tanto das peças tubulares como das peças celulares.

Tabela 5 – Dimensões Mínimas e Máximas dos Bueiros Tubulares

Presença de Reforço	Sem armação		Com armação / reforço estrutural	
Classes de resistência	PS1 e PS 2		PA1, PA2, PA3 e PA4	
Tipo de Encaixe	Macho e Fêmea	Ponta e Bolsa	Macho e Fêmea	Ponta e Bolsa
Diâmetros permitidos na NBR 8890	500 e 600mm	de 200 a 600mm	de 500 a 2000mm	de 300 a 2000 mm
Comprimento útil mínimo do tubo	950mm	1000mm	950mm	1000mm

Fonte: ABTC (2021)

Tabela 6 – Dimensões Mínimas e Máximas dos Bueiros Celulares

Largura (l)	Altura (a)	Largura (l)	Altura (a)
1	1	–	–
1,5	1	1	1,5
2	1	1	2
2,5	1	1	2,5
3	1	1	3
3,5	1	1	3,5
4	1	1	4
1,5	1,5	–	–
2	1,5	1,5	2
2,5	1,5	1,5	2,5
3	1,5	1,5	3
3,5	1,5	1,5	3,5
4	1,5	1,5	4
2	2	–	–
2,5	2	2	2,5
3	2	2	3
3,5	2	2	3,5
4	2	2	4
2,5	2,5	–	–
3	2,5	2,5	3
3,5	2,5	2,5	3,5
4	2,5	2,5	4
3	3	–	–
3,5	3	3	3,5
4	3	3	4
3,5	3,5	–	–
4	3,5	3,5	4
4	4	–	–

Fonte: ABTC (2021)

Para realizar a execução das redes de drenagem pluvial com o assentamento das peças pré-moldadas em concreto, é necessário escavar vala a céu aberto (geralmente de forma mecanizada), remover o solo excedente, regularizar o fundo da vala e, indispensavelmente, executar um apoio para colocação dos tubos, sendo esse o berço em brita ou concreto.

Segundo ARTERIS ES (2015), o processo de execução deve seguir os seguintes requisitos,

“ [...]. Para bueiros tubulares com berço de concreto, a primeira etapa de concretagem deve ser realizada até altura tal que permita o assentamento dos tubos nas bolsas e em pontos intermediários colocados nos tubos, de modo a mantê-los na cota prevista em projeto. A segunda etapa de concretagem deve ser realizada garantindo a perfeita aderência com o concreto da primeira etapa. O concreto vertido deve ser vibrado, de forma a garantir um perfeito envolvimento dos tubos pelo berço. No assentamento de bueiros sobre berço de brita, a primeira camada de brita deve atingir à superfície inferior dos tubos, fazendo com que eles se acomodem no berço

mediante pequenos movimentos dos tubos, ajudados, se for o caso, por retirada de material na posição das bolsas dos tubos. Após o posicionamento correto dos tubos, em alinhamento e cota, deve ser completado o enchimento do berço, acomodando-se e compactando-se o material cuidadosamente, de modo a garantir que o berço envolva completamente os tubos até as alturas correspondentes, especificadas em projeto. Os tubos devem ser assentados de montante para a jusante, de acordo com o alinhamento e elevações indicadas no projeto, e com as bolsas montadas no sentido contrário ao fluxo de escoamento. ”

Vale ressaltar que, o método de execução anteriormente informado, também se aplica para casos de execução de rede de drenagem com tubo de encaixe tipo macho e fêmea (ARTERIS ES, 2015).

Escoramento trata-se de qualquer estrutura que possui a finalidade de deixar estável os taludes das escavações de vala. Nem toda abertura de vala exige escoramento para propor condições de trabalho, porém deve-se destacar que “é obrigatório o escoramento de valas com profundidade superior a 1,25 m, conforme determina a NR 18 do Ministério do Trabalho”, de acordo com NBR 15645 (2008, p. 11).

A Fotografia 12 apresentada abaixo demonstra um escoramento metálico inserido dentro de uma vala já escavada para posterior execução de rede de drenagem pluvial.

Fotografia 12 – Escoramento Metálico



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

As Fotografias 13, 14, 15, 16, 17 e 18 e a Figura 23 abaixo ilustram algumas etapas do processo construtivo das redes de drenagem pluvial rodoviária.

Fotografia 13 – Escavação Mecânica de Vala pelo Método Destrutivo



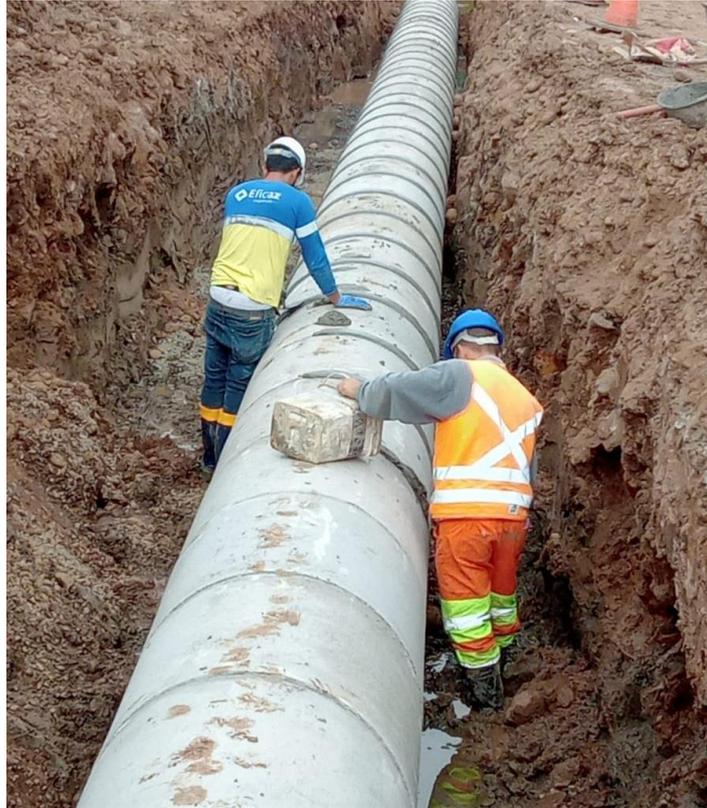
Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 14 – Berço de Brita para Assentamento de BSTC



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 15 – Bueiro de Concreto com Junta Rígida Vedada com Argamassa



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 16 – Rede de Drenagem com BSTC



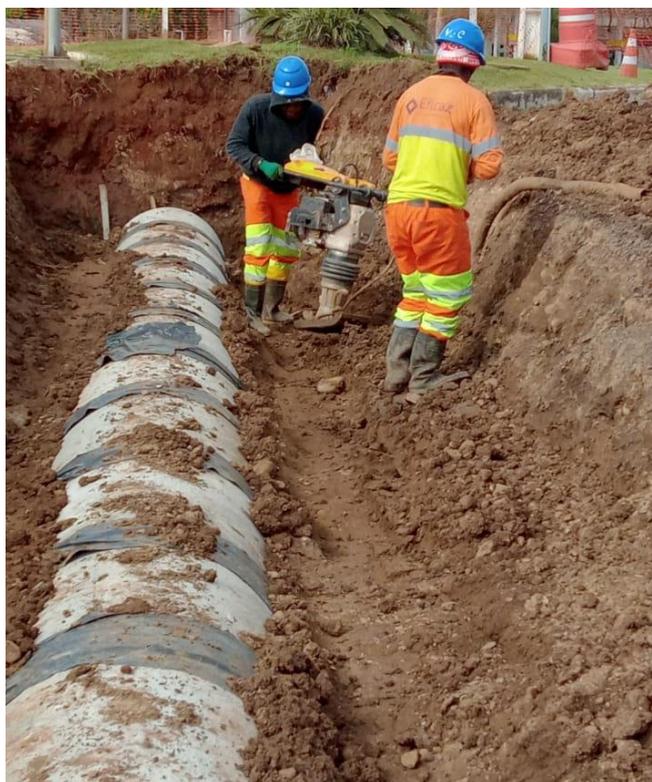
Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 17 – Reaterro Mecânico de Bueiro em Concreto



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Fotografia 18 – Reaterro e Compactação Manual de Bueiro em Concreto



Fonte: Registrada pelo autor (2021)

Figura 23 – Vista Aérea de Bueiro Tubular em Concreto



Fonte: CCR Via Sul (2021)

### 3 METODOLOGIA

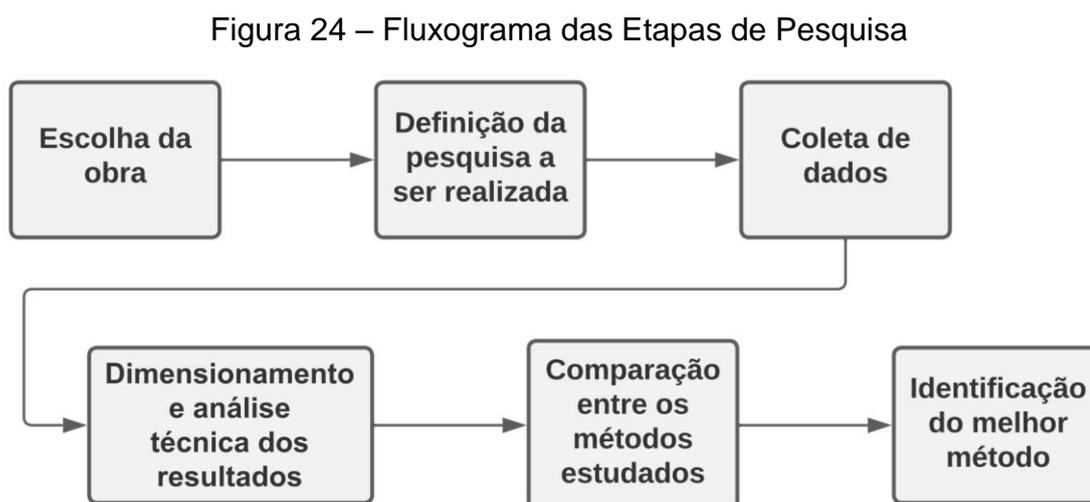
O presente trabalho para conclusão do curso de graduação em Engenharia Civil foi desenvolvido por meio de um estudo de caso na obra de duplicação da rodovia BR-386, com foco direcionado para o km 326+540, localizada no município de Marques de Souza/RS.

O município de Marques de Souza é pertencente ao Vale do Taquari, região centro leste do estado do Rio Grande do Sul, possui limites municipais com Lajeado, Pouso Novo, Progresso e Travesseiro e se encontra a 132 km de Porto Alegre (capital do estado).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa desenvolvida trata-se de um estudo exploratório, onde comparou-se de forma quantitativa e qualitativa a instalação de bueiro tubular metálico e bueiro celular de concreto armado. Para isso, foram verificadas as composições de preços e as diversas interferências e impactos que esses sistemas de drenagem poderiam ocasionar no local da obra e seu entorno.

A Figura 24 ilustrada abaixo apresenta, por meio de fluxograma, as etapas de desenvolvimento desta pesquisa.

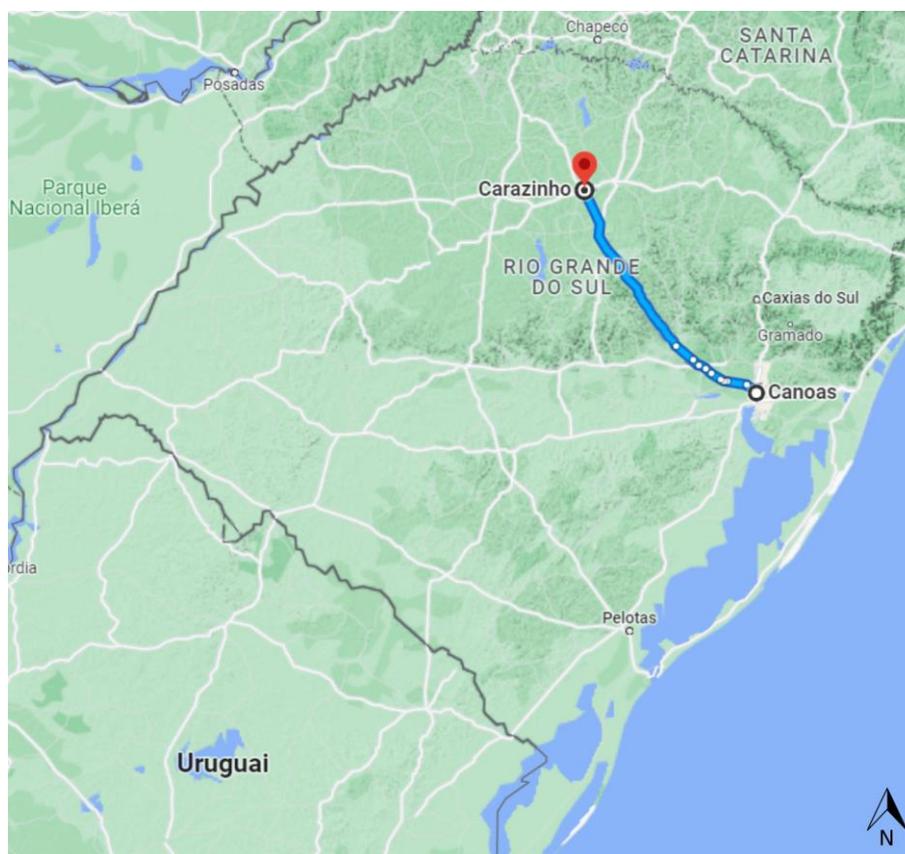


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

### 3.2 COLETA DE DADOS

A obra analisada para desenvolver o estudo de caso é de iniciativa privada, com recursos da Concessionária das Rodovias Integradas do Sul S.A., popularmente conhecida como CCR ViaSul. A concessão compreende o recolhimento das tarifas de pedágio e as manutenções do trecho que abrange 265,8 quilômetros da BR-386 no estado do Rio Grande do Sul, indo do município de Canoas (região metropolitana) até Carazinho, conforme demonstrado na Figura 25 abaixo.

Figura 25 – Delimitação do Trecho de Concessão



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022)

Para execução da obra, a Concessionária contratou uma empresa terceirizada para realizar a execução dos serviços abrangentes no escopo da obra.

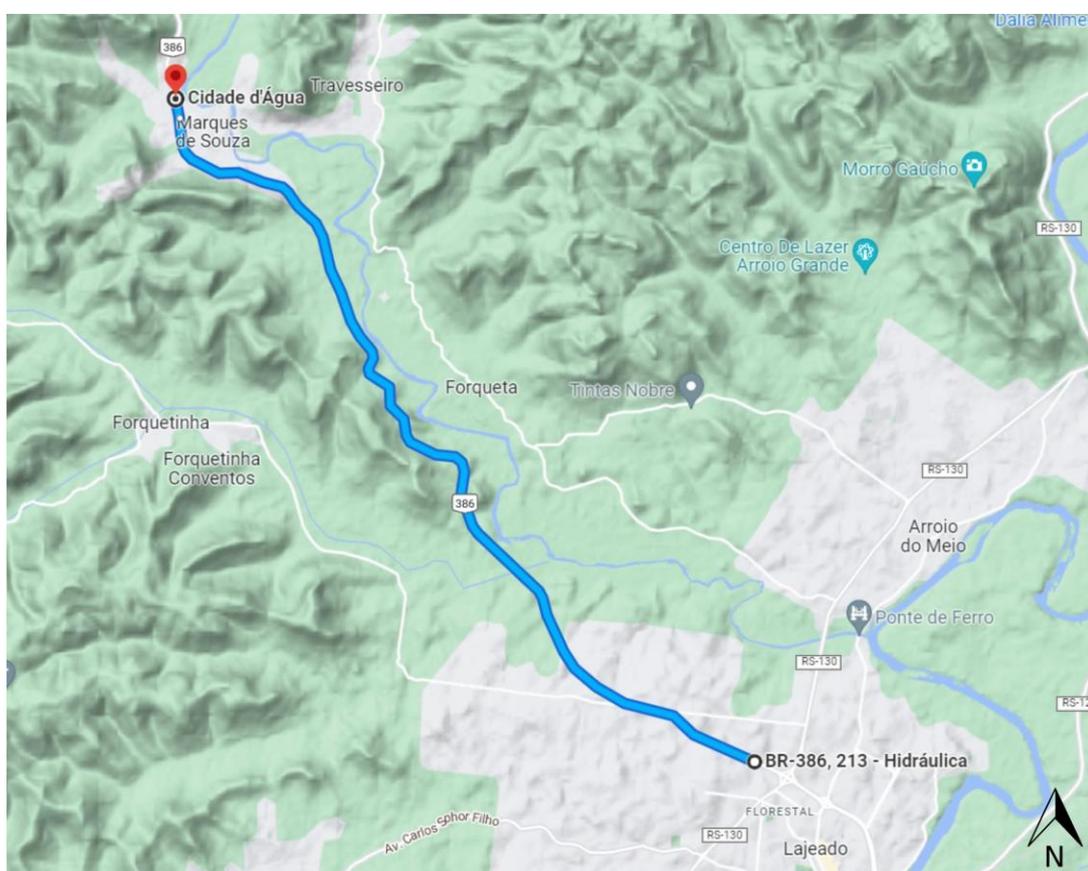
Os dados apresentados neste estudo foram retirados de memoriais descritivos, projetos e reuniões realizadas com os engenheiros responsáveis.

A obra teve início em 02 de julho de 2021 e, conforme informado pelo setor de engenharia da Concessionária, o prazo de execução do contrato se encerrará após 18 meses da data início (janeiro de 2023).

O objetivo desta obra é duplicar 20 quilômetros da rodovia BR-386, entre os municípios de Marques de Souza e Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com a Concessionária responsável pela rodovia, em 2021 transportava-se por ali cerca de 40% dos grãos produzidos na região, movimentando o agronegócio.

O mapa apresentado abaixo, através da Figura 26, localiza o trecho da obra na qual será realizada a duplicação.

Figura 26 – Demarcação da Extensão da Obra

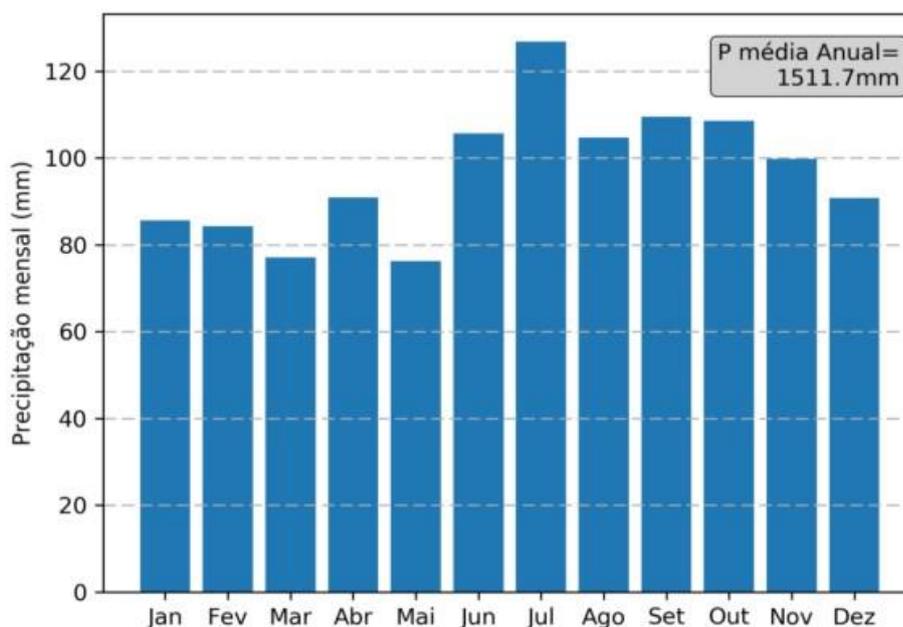


Fonte: Adaptado de Google Maps (2022)

Esta obra de duplicação abrange inúmeros serviços em toda a extensão do trecho e seu entorno como, por exemplo, a alteração e ampliação do sistema de drenagem (desde a profunda até a superficial), terraplanagem, pavimentação, sinalização e obras de arte especial (pontes).

O Gráfico 2 e a Tabela 7 apresentadas abaixo encontram-se no memorial descritivo de estudos hidrológicos da obra de duplicação da BR-386, na qual utilizou como fonte de dados o posto pluviométrico Porto Garibaldi, situado no município de Montenegro/RS.

Gráfico 2 – Precipitação Média



Fonte: Sondotécnica (2020)

Tabela 7 – Chuva Média Mensal

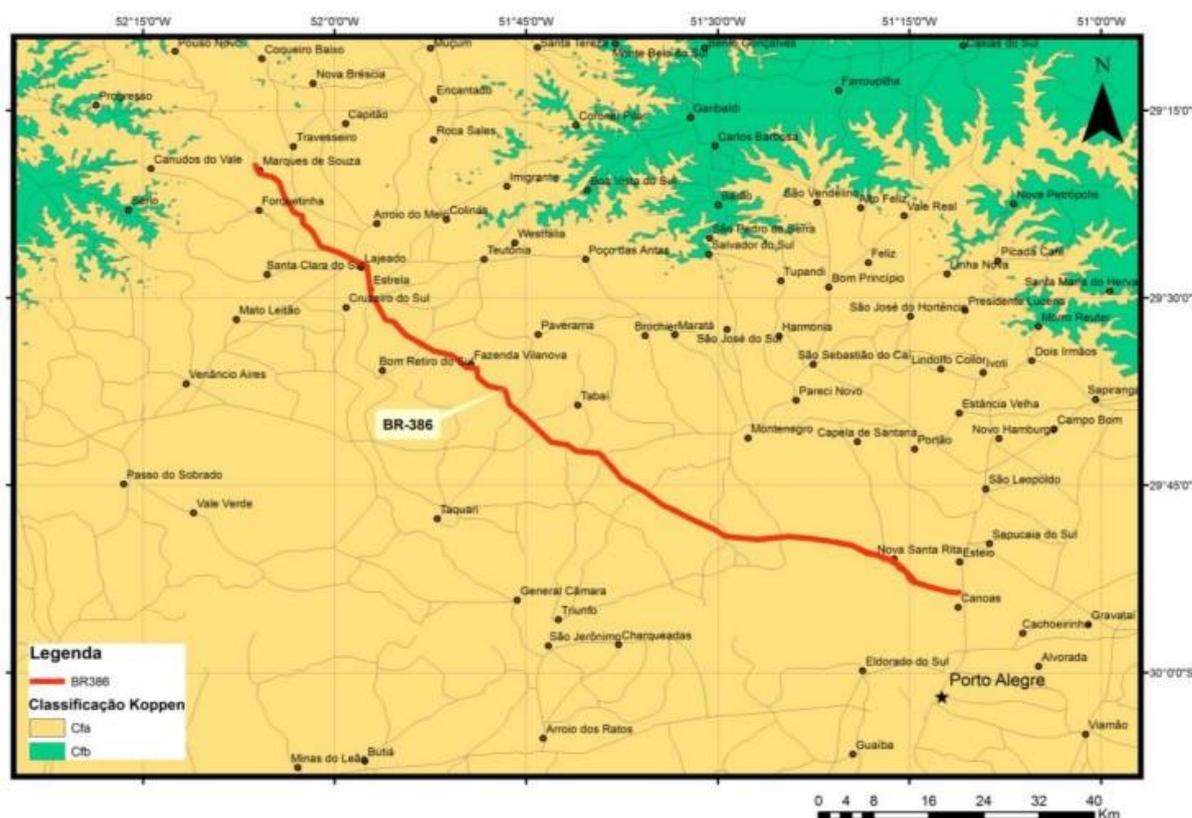
Quadro 3.1 Número Médio de Dias de Chuva por Mês		
Meses	02951024	
	Dias de Chuva no Mês	>30 mm
Janeiro	5,63	0,744
Fevereiro	5,88	0,767
Março	5,51	0,535
Abril	5,37	0,977
Mai	4,93	0,674
Junho	6,05	0,837
Julho	6,72	1,395
Agosto	6,42	1,116
Setembro	6,49	1,070
Outubro	6,14	1,070
Novembro	5,46	1,000
Dezembro	5,28	0,860

Fonte: Sondotécnica (2020)

De acordo com os dados de precipitação média anual e dias de chuva no mês, medidas pelo posto pluviométrico Porto Garibaldi, foi possível verificar que em um histórico de 33 anos a precipitação média anual é de 1.511,7 mm e, que o mês mais chuvoso do ano é julho, tendo aproximadamente 7 dias de chuva durante o mês. Utilizou-se o posto de Porto Garibaldi devido ao fato de ser o único na extensão da rodovia que possui os dados pluviométricos necessários para realizar os estudos hidrológicos da obra.

Segundo a classificação Koppen (sistema global de classificação climática), demonstrada na Figura 27, o local da obra pertence a uma região climática de classificação Cfa, onde o clima é temperado úmido com verão quente.

Figura 27 – Classificação Climática Koppen



Fonte: Sondotécnica (2020)

Para obter o tempo de recorrência e tempo de concentração, seguiu-se as instruções contidas no manual “Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – IPR-726 – 2006”, elaborado pelo DNIT. Sendo assim, conforme demonstra a Tabela 8 a seguir, para bueiros celular atuando como canal,

considerou-se o tempo de recorrência da enchente do dispositivo projetado sendo no mínimo 25 anos.

Tabela 8 – Tempo de Recorrência Determinado pelo DNIT

<b>Espécie</b>	<b>Período de recorrência ( anos)</b>
Drenagem superficial	5 a 10
Drenagem subsuperficial	10
Bueiros Tubulares	15 (como canal)
	25 (como orifício)
Bueiro Celular	25 (como canal)
	50 ( como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: Manual IPR-726 do DNIT (2006)

Em relação a velocidade admissível de escoamento do fluido drenado pelo bueiro, deve-se ressaltar que, de acordo com DNIT IPR – 724 (2006, p. 44),

“[...] não havendo interferência a jusante do bueiro, considera-se que para as declividades superiores a crítica, junto à boca de saída, tem-se um fluxo uniforme em regime supercrítico, o que poderá acarretar velocidades excessivas. Há, todavia uma restrição para esta velocidade, que nos casos dos tubos de concreto, é de 4,5 m/s. Atingido o limite de início da erosão das paredes de concreto, admite-se o recurso de procurar outro tipo de tubo com maior resistência à erosão, ou investigar a declividade possível de instalação do conduto para que não seja ultrapassada a velocidade limite de erosão do material [...]”.

Ainda, segundo DNIT (2006), a velocidade de escoamento não deve ultrapassar 4,5 m/s (limite de erosão do concreto) e nem ser menor que 1,0 m/s. Contudo, caso a velocidade exceda o limite, é possível diminuir a declividade do bueiro, afim de tentar resolver este problema.

Já referente altura de linha de água calculada, é importante ter o cuidado de que a mesma esteja entre 20 % e 85 % da seção do bueiro.

Quando se deseja analisar a resistência à compressão dos bueiros celulares, é necessário seguir os requisitos especificados pela ABNT NBR 15396 (2018, p. 8), “Na produção das aduelas deve ser usado concreto com classe de resistência característica à compressão mínima C25 (fck maior ou igual a 25 MPa). Na data de manuseio é requerido fck maior ou igual a 20 MPa”. Deve-se ressaltar que essa

resistência é determinada através de ensaios realizados em corpo de prova cilíndricos com 28 dias de idade, seguindo todas as especificações de ensaio contidas na NBR 5739:2007.

No Anexo A está apresentado o ensaio de resistência à compressão realizado em laboratório em março/2022, correspondente a um corpo de prova moldado de uma aduela com dimensões de 2,50x2,50x1,00x0,15 m e 28 dias de idade. Conforme é possível identificar no laudo do ensaio, a peça pré-moldada em concreto rompeu quando atingiu uma carga de 27.115,86 kgf e alcançou uma resistência a compressão de 33,7 MPa aos 28 dias.

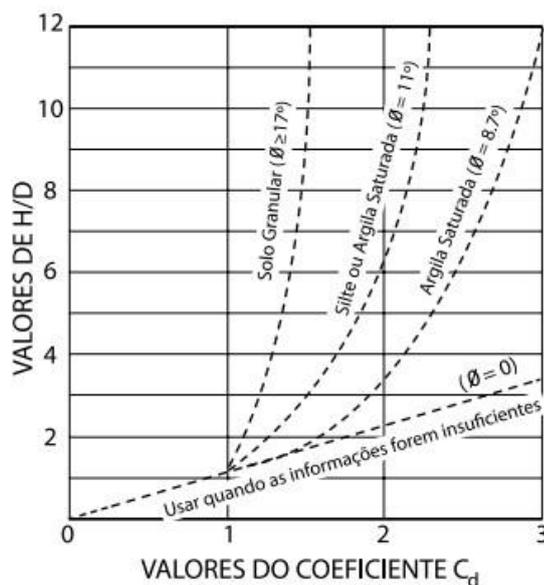
Quando se deseja analisar a resistência à compressão dos bueiros metálicos, é necessário seguir os requisitos especificados pela AASTHO e manual do fornecedor.

De acordo com Armco Staco (2013, p. 5),

“A capacidade de suporte de estruturas flexíveis de aço corrugado, como no caso do Tunnel Liner, em função da resistência da sua seção e do confinamento do solo adjacente, impedem deformações na estrutura. Nesta situação, apenas esforços de compressão atuam nas chapas do Tunnel Liner com dimensionamento baseado na teoria do anel de compressão. O carregamento atuante no Tunnel Liner depende do tipo de solo. Em solos granulares, com baixa coesão, as cargas consideram o ângulo de atrito interno do solo e o diâmetro do túnel. Em solos coesivos, argilosos ou silte-argilosos, o carregamento deve considerar também os esforços de cisalhamento no solo sobre o teto do túnel. A fórmula geral para o cálculo de esforços atuantes, definida pela AASTHO, divide as solicitações entre a carga viva e carga morta. A carga viva é função do tipo e da profundidade do túnel; a carga morta é função do peso específico do solo, da altura de recobrimento e do coeficiente de redução da Fórmula de Marston [...]”.

O Gráfico 3 abaixo deve ser utilizado para definir o coeficiente de redução de Marston ( $C_d$ ).

Gráfico 3 – Coeficiente de Redução de Marston



Fonte: Armco Staco (2013)

Por fim, quando não se tiver informações suficientes, admite-se a pior hipótese para  $C_d$  (Coeficiente de Redução de Marston), ou seja,  $C_d = H/D$ . Sendo assim, a carga morta atuante será a mesma do peso da coluna de solo, que se encontra sobre o material (ARMCO STACO, 2013).

Nos Anexos B e C estão apresentados os certificados de qualidade dos bueiros metálicos do tipo Tunnel Liner e MP100, elaborados pelo fornecedor Armco Staco, que possui o material registrado (patenteado).

Vazões de projeto referem-se a demanda que o dispositivo de drenagem projetado deverá atender para determinado tempo de recorrência (intervalo médio de tempo onde um dado evento pode ocorrer ou ser superado). Analisando o km 326+540 da obra de duplicação da BR-386 e levando em consideração as características físicas e geométricas da bacia, definiu-se um  $T_r$  de 15, 25 e 50 anos, conforme demonstra a Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Vazões de Projeto

QUADRO RESUMO - VAZÕES DE PROJETO											
Estaca (km)	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E GEOMÉTRICAS DAS BACIAS					VAZÃO DE PROJETO					
	Área (ha)	Comprimento (km)	Desnível (m)	Tempo Concentração (min)	Coef. Escoamento	Tr = 15 anos		Tr = 25 anos		Tr = 50 anos	
						i (mm/min)	Qp (m³/s)	i (mm/min)	Qp (m³/s)	i (mm/min)	Qp (m³/s)
326+540	119,460	1,63	320,41	17,67	0,35	2,00	13,94	2,15	15,01	2,38	16,60

Fonte: Sondotécnica (2020)

Considerando as informações de localização do bueiro e analisando o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, é possível identificar que a região da obra pertence a Província Paraná, sendo a estratigrafia K1 $\alpha$  cx e K1 $\beta$  gr.

Segundo o Mapa Geológico do RS (2006, p. 1), define-se,

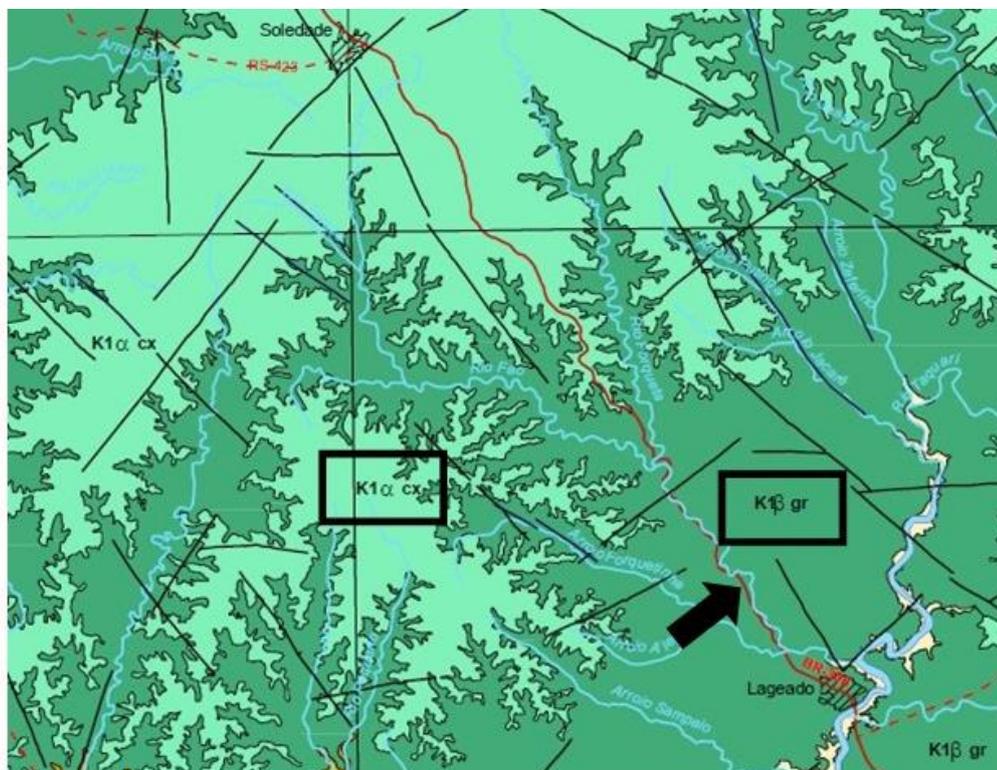
“[...] Fácies Caxias (K1 $\alpha$  cx): derrames de composição intermediária a ácida, riolacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte de mineralizações da região [...]”.

Ainda, segundo o mesmo Mapa Geológico do RS (2006, p. 1), define-se,

“[...] Fácies Gramado (K1 $\beta$  gr): derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e pahoehe comuns, intercalações com os arenitos Botucatu [...]”.

A Figura 28 abaixo ilustra, de maneira parcial, o Mapa Geológico do RS e demarca as estratigrafias do local estudado.

Figura 28 – Mapa Geológico do RS



Fonte: CPRM (2006)

Para estudo do solo do km 326+540, a concessionária da rodovia responsável pela obra contratou uma empresa terceirizada que realizou, em 24 de abril de 2019, uma sondagem a percussão (SPT) com profundidade limite de camada em 8,45m, valor este definido pelo cliente. Após analisar o perfil da sondagem, concluiu-se que o solo na referido km, dentro do limite de 8,45m, é composto por quatro camadas diferentes de material.

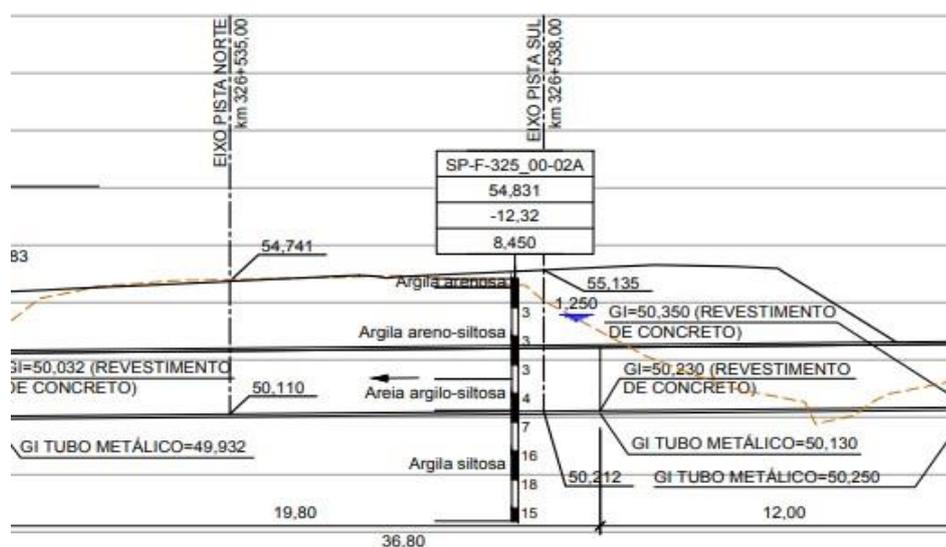
Na primeira camada do solo, de 0 a 0,30m, foi encontrado um solo de aterro (AT) do tipo argila arenosa, de coloração marrom escura. Já na próxima camada, de 0,30 até 3,50m, foi encontrado um solo também de aterro e coloração marrom escura, porém do tipo argila areno-siltosa com finos pedregulhos. Contudo, seguindo com a análise da sondagem SPT, na terceira camada com profundidade de 3,50 a 4,60m, encontrou-se um solo de aterro do tipo areia argilo-siltosa com coloração marrom escura. Por fim, na última camada da sondagem, que vai de 4,60 a 8,45m, o solo é residual de rocha (SR), do tipo argila siltosa com coloração marrom escura.

O solo residual é originado da rocha sã intemperizada através de processo químico, na qual permanece “in situ”, forma o manto de intemperismo e possui uma grande relação com a rocha de origem.

Nesta sondagem SPT realizada, também foi possível observar que o nível de água do solo é de 1,25m e a umidade natural chega a atingir 49,97%. Além disso, observou-se que a consistência do solo vai de mole a rijo.

A Figura 29 é uma parte do projeto de drenagem do km 326+540, onde projetou-se uma transposição de talvegue com BSTM. Analisando esta Figura, é possível observar os tipos de solo existentes no trecho e algumas informações referente a sondagem SPT realizada.

Figura 29 – Tipo de Solo no km 326+540



Fonte: Sondotécnica (2020)

Segundo ANTT (2005), o VDM (volume diário médio) é o número médio de veículos que trafegam por dia em uma determinada rodovia, multiplicado pelo coeficiente da categoria na qual a via se enquadra. Este coeficiente multiplicador é definido por meio do impacto gerado pelas diferentes categorias veiculares (motocicleta, automóveis, caminhões, ônibus, etc.).

Todavia, empregando o método de definição do VDM informado anteriormente, definiu-se que para BR-386, no trecho do km 325 a 345, um VDM de 12.699 veículos.

De acordo com o Manual de Implantação Básica de Rodovia, DNIT, IPR-742 (2010):

“Existem basicamente quatro critérios para a classificação das rodovias, conforme se apresenta a seguir:

a) Quanto à sua administração ou jurisdição: federais, estaduais, municipais e particulares.

Em determinados casos, ante circunstâncias específicas, trechos integrantes da malha rodoviária sob jurisdição federal têm a sua administração repassada para a responsabilidade de outro órgão rodoviário, por delegação do DNIT.

b) Quanto à sua classificação funcional:

Arteriais - Compreendem as rodovias cuja função principal é a de propiciar mobilidade;

Coletoras - Englobam as rodovias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e acesso;

Locais - Abrangem as rodovias cuja função principal é oferecer condição de acesso.

c) Quanto às suas características físicas: não pavimentadas, pavimentadas, com pistas simples ou duplas.

d) Quanto ao seu padrão técnico: dividem-se em classes. [...]”

Analisando o trecho que vai do km 325 a 345 da BR-386 é possível verificar que a rodovia se trata de uma via que atende um elevado número de mobilidade e transporte de cargas (VDM>10.000), faixas de rolamento largas, acostamento externo e possibilidade de cruzamento com vias coletoras e locais.

Antes da execução da obra, a rodovia no trecho em questão era de pista simples, porém com a entrega da obra de duplicação o trecho passará a ser composto de pista dupla, além de diversas melhorias como canteiro central, aumento do acostamento, passagem de pedestres em desnível e maior controle dos acessos das vias coletoras e locais.

Com base nas informações descritas acima do trecho em análise, é possível utilizar a Tabela 10 apresentada a seguir para definir a classe de projeto e demais características da obra.

Tabela 10 – Critérios de Classificação de Rodovias pelo DNIT

CLASSE DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA	VELOCIDADE DE PROJETO POR REGIÃO (km/h)		
			Plana	Ondulada	Montanhosa
<b>0</b>	Via Expressa – controle total de acesso	Decisão administrativa	120	100	80
<b>I</b>	<b>A</b> Pista dupla – Controle parcial de acesso	O volume de tráfego previsto reduzirá o nível de serviço em uma rodovia de pista simples abaixo do nível "C"	100	80	60
	<b>B</b> Pista simples	Volume horário de projeto VHP > 200 Volume médio diário VMD > 1400			
<b>II</b>	Pista simples	Volume médio diário VMD 700 - 1400	100	70	50
<b>III</b>	Pista simples	Volume médio diário VMD 300 - 700	80	60	40
<b>IV</b>	Pista simples	Volume médio diário VMD < 300	80 – 60	60 – 40	40 – 30

Fonte: DNIT (2010)

Com isso, conclui-se que a o trecho da obra (após finalizada), se trata de uma via arterial com classe de projeto I-A, onde a velocidade de projeto considerada é de 100 km/h e a velocidade regulamentada pelo órgão de trânsito responsável é de 80 km/h.

### 3.3 ANÁLISE DE DADOS

Para desenvolver a análise dos dados obtidos e informados no capítulo 3.2 acima, foram realizadas reuniões com engenheiros e demais responsáveis pela execução da obra, estudo dos arquivos fornecidos pelos mesmos como, por exemplo, projetos de engenharia e memoriais descritivos, e ainda realizadas pesquisas complementares em normas regulamentadoras da ABNT e manuais de execução.

#### 3.3.1 Método da Análise Técnica Comparativa

Conforme já caracterizado anteriormente, o estudo realizado é exploratório, afim de comparar de maneira qualitativa e quantitativa a execução de transposição de talvegue em BSTM e BSCC, no km 326+540 da obra de duplicação da rodovia BR-386.

Portanto, para obter os resultados necessários para realizar a comparação técnica entre estes dois materiais distintos, empregados para execução de drenagem pluvial rodoviária, foi preciso, além das visitas em campo e dos dados da obra coletados, estudar normas regulamentadoras da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), manual de drenagem de rodovias do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), manual de execução de BSTM da Armco Staco (fornecedor do material), guia do consumidor da ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) e livros escritos por autores de grande referência na área.

Todavia, além das informações teóricas referenciadas em normas, livros e manuais, para desenvolver a análise comparativa também foi necessário realizar-se vários cálculos, utilizando as inúmeras equações especificadas no tópico 3.3.2.

#### 3.3.2 Equações

##### 3.3.2.1 Bueiro Tubular

Para obter os valores de vazão máxima admissível, velocidade de escoamento e altura de lâmina de água do bueiro tubular metálico, utilizaram-se as

equações que se encontram descritas a seguir, adaptadas com base nas fórmulas de Manning (equação hidráulica de movimento uniforme), raio hidráulico e área de seções circulares, obtidas através do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (IPR – 724, 2006).

Para o cálculo da área de canais circulares, empregou-se a equação 1 demonstrada abaixo.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1)$$

Sendo A a área em m<sup>2</sup> e D o diâmetro em m.

Para calcular o raio hidráulico, empregou-se a equação 2, utilizada para canais circulares.

$$R_h = \frac{D}{4} \quad (2)$$

Sendo Rh o raio hidráulico em m e D o diâmetro em m.

A declividade longitudinal crítica de canais circulares é calculada pela equação 3 a seguir.

$$I_{\text{crítica}} = 32,82 \times \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad (3)$$

Sendo I<sub>crítica</sub> a declividade crítica em m/m, n o coeficiente de rugosidade de Manning e D o diâmetro em m.

A vazão é calculada pela equação de Manning, retirada do DNIT (2006).

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I} \quad (4)$$

Sendo Q a vazão em m<sup>3</sup>/s, n o coeficiente de rugosidade de Manning, A a área em m<sup>2</sup>, Rh o raio hidráulico em m e I a declividade em m/m.

A velocidade admissível de projeto é calculada através da equação 5, conforme apresentada a seguir.

$$V = \frac{((Rh/D) \times D)^{\frac{2}{3}}}{n \times \sqrt{I}} \quad (5)$$

Sendo V a velocidade em m/s, Rh/D é o fator de relação entre raio hidráulico e diâmetro, D o diâmetro em m, n o coeficiente de rugosidade de Manning e I a declividade em m/m.

O fator hidráulico de seções circulares é calculado pela equação 6 apresentada abaixo.

$$F_h = \frac{Q \times n}{\frac{g}{D^3} \times \sqrt{I}} \quad (6)$$

Sendo Fh o fator hidráulico, Q a vazão em m³/s, n o coeficiente de rugosidade de Manning, D o diâmetro em m e I a declividade em m/m.

Após ter encontrado o Fh, deve-se utilizar a tabela de relações para fator hidráulico de seções circulares e encontrar o fator h/D, afim de definir qual a lâmina de água que escoo pelo conduto para determinada vazão e velocidade.

Portanto, a Tabela 11 abaixo apresenta a tabela de apoio do Fh.

Tabela 11 – Tabela de Relações para Fator Hidráulico de Seções Circulares

FH de 0.001 a 0.080			FH de 0.081 a 0.250			FH de 0.251 a 0.333		
FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D
0.0001	0.0066	0.01	0.0820	0.1935	0.35	0.2511	0.2933	0.68
0.0002	0.0132	0.02	0.0864	0.1978	0.36	0.2560	0.2948	0.69
0.0005	0.0197	0.03	0.0910	0.2020	0.37	0.2610	0.2962	0.70
0.0009	0.0262	0.04	0.0956	0.2062	0.38	0.2658	0.2975	0.71
0.0015	0.0326	0.05	0.1003	0.2102	0.39	0.2705	0.2988	0.72
0.0022	0.0389	0.06	0.1050	0.2142	0.40	0.2752	0.2998	0.73
0.0031	0.0451	0.07	0.1099	0.2182	0.41	0.2798	0.3008	0.74
0.0041	0.0513	0.08	0.1148	0.2220	0.42	0.2842	0.3017	0.75
0.0052	0.0575	0.09	0.1197	0.2258	0.43	0.2886	0.3024	0.76
0.0065	0.0635	0.10	0.1248	0.2295	0.44	0.2928	0.3031	0.77
0.0080	0.0695	0.11	0.1298	0.2331	0.45	0.2969	0.3036	0.78
0.0095	0.0755	0.12	0.1350	0.2366	0.46	0.3009	0.3040	0.79
0.0113	0.0813	0.13	0.1401	0.2401	0.47	0.3047	0.3042	0.80
0.0131	0.0871	0.14	0.1453	0.2435	0.48	0.3083	0.3043	0.81
0.0152	0.0929	0.15	0.1506	0.2468	0.49	0.3118	0.3043	0.82
0.0173	0.0986	0.16	0.1558	0.2500	0.50	0.3151	0.3041	0.83
0.0196	0.1042	0.17	0.1612	0.2531	0.51	0.3183	0.3038	0.84
0.0220	0.1097	0.18	0.1665	0.2562	0.52	0.3212	0.3033	0.85
0.0246	0.1152	0.19	0.1718	0.2592	0.53	0.3239	0.3026	0.86
0.0273	0.1206	0.20	0.1772	0.2621	0.54	0.3264	0.3018	0.87
0.0301	0.1259	0.21	0.1826	0.2649	0.55	0.3286	0.3007	0.88
0.0331	0.1312	0.22	0.1879	0.2676	0.56	0.3305	0.2995	0.89
0.0362	0.1364	0.23	0.1933	0.2703	0.57	0.3322	0.2980	0.90
0.0394	0.1416	0.24	0.1987	0.2728	0.58	0.3335	0.2963	0.91
0.0427	0.1466	0.25	0.2041	0.2753	0.59	0.3345	0.2944	0.92
0.0461	0.1516	0.26	0.2094	0.2776	0.60	0.3351	0.2921	0.93
0.0497	0.1566	0.27	0.2147	0.2799	0.61	0.3353	0.2895	0.94
0.0534	0.1614	0.28	0.2200	0.2821	0.62	0.3349	0.2865	0.95
0.0572	0.1662	0.29	0.2253	0.2842	0.63	0.3339	0.2829	0.96
0.0610	0.1709	0.30	0.2306	0.2862	0.64	0.3222	0.2787	0.97
0.0650	0.1756	0.31	0.2388	0.2882	0.65	0.3294	0.2735	0.98
0.0691	0.1802	0.32	0.2409	0.2899	0.66	0.3248	0.2666	0.99
0.0733	0.1847	0.33	0.2460	0.2917	0.67	0.3117	0.2500	1.00
0.0776	0.1891	0.34						

Fonte: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005)

A altura de lâmina de água de seções circulares é calculada pela equação 7 definida abaixo.

$$y = D \times (h/D) \quad (7)$$

Sendo  $y$  a lâmina de água em m,  $D$  o diâmetro em m e  $h/D$  é o fator de relação entre lâmina de água e diâmetro (retirado da tabela de apoio de fator hidráulico).

### 3.3.2.2 Bueiro Celular

Para obter os valores de vazão máxima admissível, velocidade de escoamento e altura de lâmina de água do bueiro celular de concreto armado (aduela), utilizaram-se as equações que se encontram descritas a seguir, adaptadas com base nas fórmulas de Manning (equação hidráulica de movimento uniforme), raio hidráulico e área de seções retangulares, obtidas através do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (IPR – 724, 2006).

Para calcular a área de canais retangulares, emprega-se a equação 8 abaixo.

$$A_m = B \times H \quad (8)$$

Sendo  $A_m$  a área em  $m^2$ ,  $B$  a base em m e  $H$  a altura em m.

Para definir o perímetro molhado de canais retangulares, utiliza-se a equação 9 abaixo.

$$P_m = B + (2 \times H) \quad (9)$$

Sendo  $P_m$  o perímetro molhado em m,  $B$  a base em m e  $H$  a altura em m.

Já para definir o raio hidráulico de canais retangulares, deve-se utilizar a equação 10 descrita abaixo.

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (10)$$

Sendo  $R_h$  o raio hidráulico em m,  $A_m$  a área em  $m^2$  e  $P_m$  o perímetro molhado em m.

A declividade crítica de canais retangulares é calculada pela equação 11 a seguir.

$$I_{\text{crítica}} = 34,75 \times \frac{n^2}{B^{\frac{1}{3}}}$$
(11)

Sendo  $I_{\text{crítica}}$  a declividade crítica em m/m,  $n$  o coeficiente de rugosidade de Manning e  $B$  a base em m.

A vazão é calculada pela seguinte equação 12, retirada do DNIT (2006).

$$Q = 1,705 \times B \times H^{1.5}$$
(12)

Sendo  $Q$  a vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $B$  a base em m e  $H$  a altura em m.

A lâmina de água (altura do líquido acima do fundo do canal), simbolizada pela letra “ $y$ ” e expressada em metros, é definida pela fórmula 13 abaixo.

$$H = \frac{Q}{V \times B}$$
(13)

Sendo  $H$  a altura em m,  $Q$  a vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $V$  a velocidade em m/s e  $B$  a base em m.

A velocidade admissível de projeto é definida através da equação 14, conforme descrito abaixo.

$$V = 2,56 \times \sqrt{B}$$
(14)

Sendo  $V$  a velocidade em m/s e  $B$  a base em m.

## 4 RESULTADOS

Os resultados apresentados neste capítulo referem-se ao dispositivo de drenagem do km 326+540 na obra de duplicação da rodovia BR-386, localizada na cidade Marques de Souza/RS, conforme demonstra a Figura 30 a seguir.

Figura 30 – Mapa de Localização do km 326+540

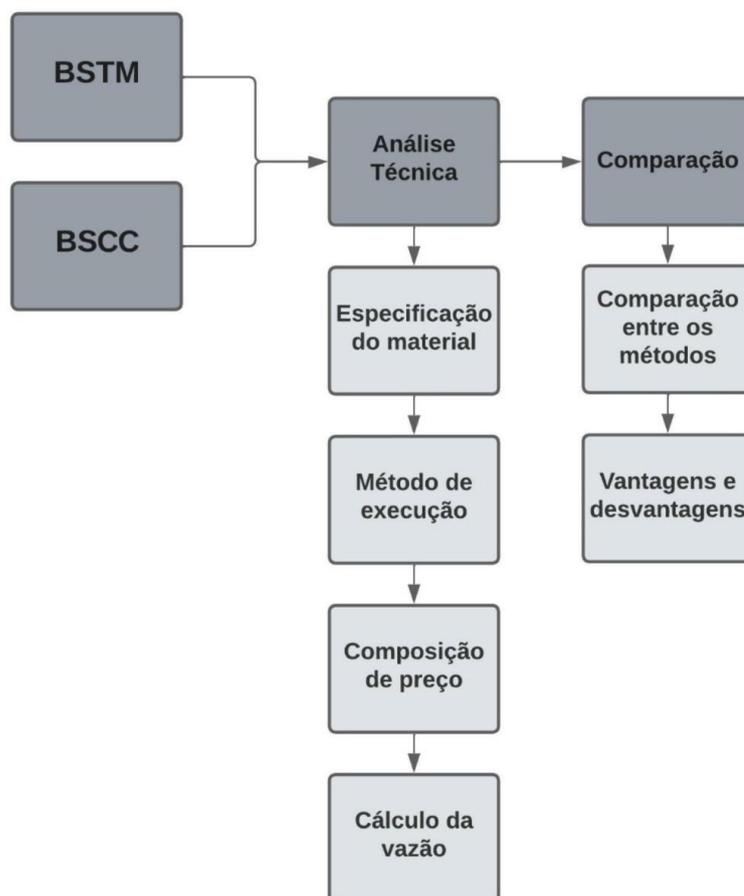


Fonte: Adaptado de Google Maps (2022)

Todavia, para o km 326+540, segundo projeto de drenagem da obra, empregou-se a execução de uma travessia de talvegue com bueiro simples tubular metálico, também conhecido como BSTM. Sendo assim, no local estudado os dados de projeto e/ou da execução são apenas do método de BSTM, sendo então o método do BSCC considerado pelo autor meramente para fins comparativos.

A Figura 31 abaixo apresenta, em forma de fluxograma, um resumo do desenvolvimento dos tópicos deste capítulo 4.

Figura 31 – Fluxograma Resumo do Capítulo 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os resultados apresentados neste capítulo seguem os procedimentos detalhados anteriormente no tópico 3.3 (análise de dados), ou seja, emprega-se os referenciais teóricos e equações conforme já especificados.

#### 4.1 ANÁLISE TÉCNICA – BSTM

Existem diversas tubulações metálicas comercializadas pela Armco Staco como, por exemplo, *Tunnel Liner*, MP100, MP152 e MP152S. Suas aplicações variam de acordo com o local e finalidade de uso, podendo todos esses citados anteriormente serem empregados para drenagem pluvial rodoviária.

No caso da rede de drenagem pluvial do km 326+540 da obra de duplicação da BR-386, em Marques de Souza, empregou-se tubos do tipo *Tunnel Liner* e também MP100. Esse dimensionamento de rede mista, utilizando duas tubulações metálicas diferentes, foi possível devido a ambas terem o mesmo diâmetro e pode

ser justificado devido a uma parte da rede haver a necessidade de ser feita através do método não destrutivo (MND).

O *Tunnel Liner* permitiu que a transposição de talvegue fosse realizada e a tubulação fosse instalada sem a necessidade de remover o pavimento da faixa já existente no local. Já para a parte da rede que se encontra no local onde estarão as duas novas faixas, realizou-se a continuação da rede com a instalação do MP100, devido ao fato da montagem não precisar ser interna, mas sim externamente e levando aterro posterior a passagem dos tubos.

O que torna mais vantajoso executar a rede sendo parte em *Tunnel Liner* e parte em MP100, ao invés de toda ela em *Tunnel Liner*, é o fato de o MP100 ser um material mais barato para aquisição e ainda, seu processo construtivo proporcionar um menor tempo, menor dificuldade e menor custo de execução.

Após 6 (seis) meses da execução da transposição de talvegue do km 326+540, o autor deste estudo de caso realizou nova visita técnica ao local para conferência e registros fotográficos. Nesse momento, foi possível já perceber a presença de recalque diferencial na rede, conforme apresenta a Fotografia 19 abaixo.

Fotografia 19 – Recalque na Transposição de Talvegue do km 326+540



Fonte: Registrada pelo autor (2022)

Todavia, fazendo uma análise técnica deste recalque na rede, é possível verificar que o mesmo ocasionou um desnível parcial na parte onde instalou-se o *Tunnel Liner*. Já referente ao agente causador desta manifestação patológica, destacam-se problemas no método de execução como, por exemplo, a falta de remoção do solo fraco de fundação e após realização da estabilização do solo com material granular (brita) e selo de argila nas duas extremidades do *Tunnel Liner*.

Ainda, analisando a Fotografia 19 acima, é possível perceber que a tubulação é revestida internamente em concreto, sendo esse revestimento 1/3 da calha (circunferência) e espessura que varia entre 8 e 10 cm acima da corrugação da peça metálica.

Contudo, conforme demonstra a Fotografia 20 a seguir, é possível analisar que além do desnível, o recalque diferencial ocasionou também o deslocamento do revestimento interno do *Tunnel Liner*.

Fotografia 20 – Deslocamento de Revestimento Interno do Tunnel Liner



Fonte: Registrada pelo autor (2022)

#### 4.1.1 Dimensionamento Hidráulico

Para dimensionamento e verificação da transposição de talvegue projetado com bueiro tubular metálico, deve-se realizar todos os cálculos considerando o tempo de recorrência de 15 e 25 anos, conforme definido pelo DNIT (2006).

##### 4.1.1.1 Tempo de Recorrência de 15 anos

Considerando o tempo de recorrência ( $T_r$ ) como 15 anos, retirou-se do memorial descritivo de drenagem pluvial da obra de duplicação da BR-386 os dados informados no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Dados de Projeto para BSTM de 2,40 m e  $T_r = 15$  anos

Vazão de Projeto ( $Q_{proj}$ )	13,94 m <sup>3</sup> /s
Diâmetro do Tubo (D)	2,40 m
Coefficiente de Manning (n)	0,021
Declividade de Projeto (I)	0,0100 m/m

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Destaca-se que o coeficiente de manning empregado nos cálculos foi obtido através da média entre o tubo metálico sem revestimento, e o tubo em concreto. Obtendo-se assim, para tubo metálico revestido parcialmente em concreto, utiliza-se manning de 0,021.

Com base nas equações apresentadas no capítulo 3.3 e utilizando os dados informados no quadro acima, realizou-se os cálculos detalhados a seguir, afim de dimensionar e verificar o bueiro tubular metálico para  $T_r = 15$  anos.

I. Área:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 2,40^2}{4}$$

$$A = 4,524 \text{ m}^2$$

II. Raio hidráulico:

$$R_h = \frac{D}{4}$$

$$R_h = \frac{2,40}{4}$$

$$R_h = 0,60 \text{ m}$$

III. Declividade crítica:

$$I_{\text{crítica}} = 32,82 \times \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}$$

$$I_{\text{crítica}} = 32,82 \times \frac{0,021^2}{\sqrt[3]{2,40}}$$

$$I_{\text{crítica}} = 0,0108 \text{ m/m}$$

$$I_{\text{crítica}} > I_{\text{projeto}} \rightarrow 0,0108 \text{ m/m} < 0,0100 \text{ m/m} \rightarrow \text{Subcrítico}$$

IV. Vazão:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = \frac{1}{0,021} \times 4,524 \times 0,60^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0,0100}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 15,325 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} > Q_{\text{projeto}} \rightarrow 15,325 \text{ m}^3/\text{s} > 13,94 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

V. Velocidade:

$$V = \frac{((Rh/D) \times D)^{\frac{2}{3}}}{n \times \sqrt{I}}$$

$$V_{\text{projeto}} = \frac{((0,284) \times 2,40)^{\frac{2}{3}}}{0,021 \times \sqrt{0,0100}}$$

$$V_{\text{projeto}} = 3,84 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{projeto}} < V_{\text{máx}} \rightarrow 3,84 \text{ m/s} < 4,50 \text{ m/s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

VI. Fator hidráulico:

$$F_h = \frac{Q \times n}{D^3 \times \sqrt{I}}$$

$$F_h = \frac{13,94 \times 0,021}{2,40^3 \times \sqrt{0,0100}}$$

$$F_h = 0,284$$

$$\frac{R_h}{D} = 0,3017$$

$$\frac{h}{D} = 0,75$$

VII. Lâmina de água:

$$y = D \times (h/D)$$

$$y = 2,40 \times (0,75)$$

$$y = 1,80 \text{ m}$$

Após o desenvolvimento dos cálculos acima, foi possível elaborar o Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Resumo dos Resultados para BSTM de 2,40 m e Tr = 15 anos

Vazão de Projeto	13,94 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Atendida	15,33 m <sup>3</sup> /s
Diâmetro do Tubo	2,40 m
Área do Tubo	4,524 m <sup>2</sup>
Declividade de Projeto	0,0100 m/m
Declividade Crítica	0,0108 m/m
Velocidade de Projeto	3,84 m/s
Velocidade Crítica	> 4,50 m/s
Altura Lâmina de Água	1,80 m / 75 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tendo em vista que a declividade de projeto ficou abaixo da declividade crítica, considerou-se o dimensionamento no regime subcrítico.

Em relação a velocidade de escoamento, considera-se como velocidade máxima admissível 4,5 m/s, pois a partir disso começa a ocorrer erosão no revestimento de concreto do material. Sendo assim, como a velocidade calculada foi de 3,84 m/s, é possível afirmar que o bueiro atende à demanda de escoamento sem atingir a velocidade crítica.

O BSTM analisado possui vazão máxima (limite de atendimento) calculada em 15,33 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão de projeto, ou seja, vazão que percorre pelo bueiro é de 13,94 m<sup>3</sup>/s. Com isso, verifica-se que, para um período de recorrência de 15 anos, o bueiro tubular metálico estará atendendo a vazão da rede de drenagem pluvial.

Conforme visto anteriormente, o DNIT limita a altura da linha de água em 80% da altura total do bueiro, para que o mesmo consiga atuar como canal. Portanto, para um Tr de 15 anos, se terá 1,80 m de altura de linha de água, correspondente a 75% do bueiro tubular, fazendo então que o tubo tenha capacidade de atender a demanda da rede pluvial. Para que se tenha um melhor entendimento desta altura de linha de água apresenta-se a Figura 32 abaixo, que ilustra parcialmente a rede de drenagem com o bueiro celular atuando na demanda de Tr = 15 anos.

Figura 32 – Ilustração de BSTM com Linha de Água para Tr = 15 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, analisando os resultados informados no Quadro 2 e comparando-os com os valores mínimos e máximos impostos pelo DNIT com os valores encontrados nos cálculos, é possível concluir que o BSTM de DN = 2,40 m e Tr = 15 anos tem capacidade suficiente para atender todas as demandas da rede de drenagem pluvial para qual ele se encontra dimensionado.

#### 4.1.1.2 Tempo de Recorrência de 25 anos

Considerando o tempo de recorrência ( $T_r$ ) como 25 anos, retirou-se do memorial descritivo de drenagem pluvial da obra de duplicação da BR-386 os dados informados no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Dados de Projeto para BSTM de 2,40 m com  $T_r=25$  anos

Vazão de Projeto ( $Q_{proj}$ )	15,01 m <sup>3</sup> /s
Diâmetro do Tubo (D)	2,40 m
Coefficiente de Manning (n)	0,021
Declividade de Projeto (I)	0,0100 m/m

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Destaca-se que o coeficiente de manning empregado nos cálculos foi obtido através da média entre o tubo metálico sem revestimento, e o tubo em concreto. Obtendo-se assim, para tubo metálico revestido parcialmente em concreto, utiliza-se manning de 0,021.

Com base nas equações apresentadas no capítulo 3.3 e utilizando os dados informados no quadro acima, realizou-se os cálculos detalhados a seguir, afim de dimensionar e verificar o bueiro tubular metálico para  $T_r = 25$  anos.

I. Área:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 2,40^2}{4}$$

$$A = 4,524 \text{ m}^2$$

II. Raio hidráulico:

$$R_h = \frac{D}{4}$$

$$R_h = \frac{2,40}{4}$$

$$R_h = 0,60 \text{ m}$$

III. Declividade crítica:

$$I_{\text{crítica}} = 32,82 \times \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}$$

$$I_{\text{crítica}} = 32,82 \times \frac{0,021^2}{\sqrt[3]{2,40}}$$

$$I_{\text{crítica}} = 0,0108 \text{ m/m}$$

$$I_{\text{crítica}} > I_{\text{projeto}} \rightarrow 0,0108 \text{ m/m} < 0,0100 \text{ m/m} \rightarrow \text{Subcrítico}$$

IV. Vazão:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = \frac{1}{0,021} \times 4,524 \times 0,60^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0,0100}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 15,325 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} > Q_{\text{projeto}} \rightarrow 15,325 \text{ m}^3/\text{s} > 15,01 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

V. Velocidade:

$$V = \frac{((Rh/D) \times D)^{\frac{2}{3}}}{n \times \sqrt{I}}$$

$$V_{\text{projeto}} = \frac{((0,305) \times 2,40)^{\frac{2}{3}}}{0,021 \times \sqrt{0,0100}}$$

$$V_{\text{projeto}} = 3,84 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{projeto}} < V_{\text{máx}} \rightarrow 3,86 \text{ m/s} < 4,50 \text{ m/s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

VI. Fator hidráulico:

$$F_h = \frac{Q \times n}{D^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{I}}$$

$$F_h = \frac{15,01 \times 0,021}{2,40^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{0,0100}}$$

$$F_h = 0,305$$

$$\frac{R_h}{D} = 0,3042$$

$$\frac{h}{D} = 0,80$$

VII. Lâmina de água:

$$y = D \times (h/D)$$

$$y = 2,40 \times (0,80)$$

$$y = 1,92 \text{ m}$$

Após o desenvolvimento dos cálculos acima, foi possível elaborar o Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 – Resumo dos Resultados para BSTM de 2,40 m e Tr = 25 anos

Vazão de Projeto	15,01 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Atendida	15,33 m <sup>3</sup> /s
Diâmetro do Tubo	2,40 m
Área do Tubo	4,524 m <sup>2</sup>
Declividade de Projeto	0,0100 m/m
Declividade de Crítica	0,0108 m/m
Velocidade de Projeto	3,86 m/s
Velocidade Crítica	> 4,50 m/s
Altura Lâmina de Água	1,92 m / 80 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tendo em vista que a declividade de projeto ficou abaixo da declividade crítica, considerou-se o dimensionamento no regime subcrítico.

Em relação a velocidade de escoamento, considera-se como velocidade máxima admissível 4,5 m/s, pois a partir disso começa a ocorrer erosão no revestimento de concreto do material. Sendo assim, como a velocidade calculada foi de 3,86 m/s, é possível afirmar que o bueiro atende à demanda de escoamento sem atingir a velocidade crítica.

O BSTM analisado possui vazão máxima (limite de atendimento) calculada em 15,33 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão de projeto, ou seja, vazão que percorre pelo bueiro é de 15,01 m<sup>3</sup>/s. Com isso, verifica-se que, para um período de recorrência de

25 anos, o bueiro tubular metálico estará atendendo a vazão da rede de drenagem pluvial.

Conforme visto anteriormente, o DNIT limita a altura da linha de água em 85% da altura total do bueiro, para que o mesmo consiga atuar como canal. Portanto, para um Tr de 25 anos, se terá 1,92 m de altura de linha de água, correspondente a 80% do bueiro tubular, fazendo então que o tubo tenha capacidade de atender a demanda da rede pluvial. Para que se tenha um melhor entendimento desta altura de linha de água apresenta-se a Figura 33 abaixo, que ilustra parcialmente a rede de drenagem com o bueiro celular atuando na demanda de Tr = 25 anos.

Figura 33 – Ilustração de BSTM com Linha de Água para Tr = 25 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, analisando os resultados informados no Quadro 4 e comparando-os com os valores mínimos e máximos impostos pelo DNIT com os valores encontrados nos cálculos, é possível concluir que o BSTM de DN = 2,40 m e Tr = 25 anos tem capacidade suficiente para atender todas as demandas da rede de drenagem pluvial para qual ele se encontra dimensionado.

#### 4.1.2 Composição de Custos

Para fins comparativos entre os dois métodos executivos (destrutivo e não destrutivo), o autor se baseou no SICRO/RS (Sistema de Custos Referenciais de Obras) de Janeiro/2022 para analisar a composição de preço do serviço e, a partir disso desenvolveu uma tabela orçamentária com as quantidades de projeto, referente a execução da transposição de talvegue do km 326+540 da duplicação da rodovia BR-386.

Os Anexos D e E apresentam o relatório analítico de composição de custo, para *Tunnel Liner* e MP100 respectivamente, na qual compreendem a execução do serviço com utilização de tubo corrugado metálico. Nestes anexos é possível identificar a composição unitária detalhada referente a equipamentos, mão de obra, material, atividades auxiliares (como ventilação e iluminação provisória), tempo fixo e momento de transporte.

A Tabela 12 abaixo apresenta cálculo orçamentário referente a execução da rede de drenagem empregando bueiro simples tubular metálico com diâmetro de 2,40 m, baseada no SICRO/RS. O valor de R\$ 372.029,14 (trezentos e setenta e dois mil e vinte e nove reais com quatorze centavos) refere-se ao custo total para execução dos 36,80 m de extensão desta rede.

Tabela 12 – Orçamento para Execução de BSTM DN = 2,40 m

SICRO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	V. UNIT.	TOTAL
605510	Bueiro metálico sem interrupção de tráfego - D = 2,40 m - chapa galvanizada - escavado em material de 1ª categoria - aterro rodoviário máximo = 4,50 m	m	19,8	R\$ 11.882,63	R\$ 235.276,07
605669	Bueiro metálico com chapas múltiplas MP 100 galvanizadas - D = 2,40 m - brita comercial	m	17	R\$ 7.654,72	R\$ 130.130,24
5501876	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço em leito natural - com carregadeira e caminhão basculante de 14 m³	m³	89,57	R\$ 8,07	R\$ 722,83
-	Transporte chapas metálicas (Rio de Janeiro/RJ à Marques de Souza/RS)	vb	1	R\$ 5.900,00	R\$ 5.900,00
				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 372.029,14</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As quantidades empregadas na Tabela 12 acima foram levantadas do documento “Projeto de Drenagem – Perfil dos Bueiros (folha 03/38)”, que se encontra no Anexo F deste estudo de caso.

#### 4.2ANÁLISE TÉCNICA – BSCC

Conforme descrito anteriormente, o projeto emprega a execução de BSTM para o km 326+540. Porém, para fins de comparação, o autor deste estudo optou por analisar a substituição do BSTM (bueiro simples tubular metálico) por BSCC (bueiro simples celular de concreto).

O material escolhido para realizar a viabilidade dessa travessia foi o bueiro celular de concreto armado (aduela) com dimensões internas de 2,50 x 2,50 m, comprimento útil de 1 m, espessura das paredes de 0,15 m, encaixe do tipo

macho/fêmea (MF), junta rígida (JR) e confeccionada seguindo orientações do DNIT (2006) e NBR 15396.

Para definir qual material seria empregado na comparação com o método de BSTM que foi realmente executado no local da obra, o autor realizou diversos cálculos utilizando as equações informadas no capítulo 3.3.2 acima, afim de verificar qual material atenderia as necessidades da rede de drenagem pluvial para os devidos tempo de recorrência de projeto.

Os materiais analisados foram bueiro tubular de concreto armado no diâmetro limite de comercialização (2,00 m) e número de linhas até atender a demanda da rede, e também bueiro celular de concreto armado de dimensões comercializadas variadas, até encontrar a primeira que fosse capaz de atender a demanda da rede. Com isso, após as diversas tentativas de cálculos tentando encontrar o método que tivesse capacidade hidráulica suficiente, obteve-se dois dispositivos em concreto possíveis para a rede, sendo eles BDTC (bueiro duplo tubular em concreto armado) DN = 2,00 m e BSCC (bueiro simples celular em concreto armado) dimensões 2,50x2,50 m.

Todavia, de acordo com Tomaz (2013), é recomendado, sempre que possível, executar bueiros utilizando só uma linha de peça. Isso se justifica devido ao fato de, quando tiver bueiro duplo ou triplo, ocorrerá problemas de assoreamento, somente um irá operar corretamente e os demais poderão ter acúmulos de sedimentos, sendo então diferente o escoamento entre eles.

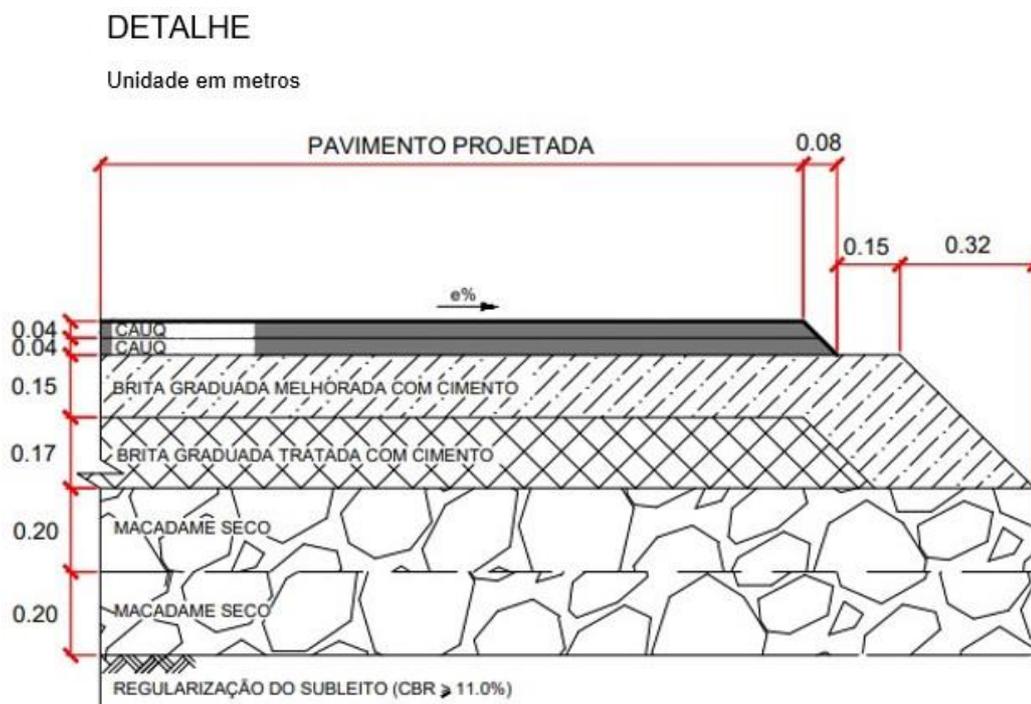
Por esse fato, o autor definiu então por comparar a execução da rede empregando BSTM e BSCC invés de BDTC, pois para utilizar o tubular em concreto seriam necessários duas linhas paralelas de bueiro, o que tecnicamente não é o mais recomendável, então optou-se pelo celular em concreto de linha única.

Conforme já citado, a execução de BSCC é através do método destrutivo, criando a necessidade de remoção do pavimento já existente na via para a execução da transposição de talvegue da rede de drenagem pluvial. Sendo assim, deve-se cortar o pavimento asfáltico na largura de projeto, de forma que seja suficiente para realizar a escavação da vala utilizada para o assentamento do bueiro em concreto, e após recompôr novamente as camadas de aterro e pavimento.

Considerando a situação de remoção do pavimento, a Figura 34 a seguir demonstra as camadas do pavimento asfáltico a serem recompostas no km 326+540 da BR-386, empregando-se a execução de BSCC com remoção de pavimento

existente para passagem da rede de drenagem rodoviária que coletará a água pluvial do local.

Figura 34 – Detalhe de Pavimento de Rodovia



Fonte: Canhedo Beppu Engenheiros Associados (2020)

Todavia, o fato explicado acima, ou seja, a destruição do pavimento já existente, acarretará em demais danos e custos para obra que emprega execução de BSCC. Isso ocorre porque, para realizar a transposição de talvegue (travessia), ou deverá ser realizado um desvio de tráfego por outra via, ou caso não seja possível esse método, deverá ser bloqueada uma das pistas até a execução por completo da rede naquele trecho, inclusive considerando a restituição do pavimento removido para liberar a via e permitir o tráfego por ali novamente, para então repetir todo o procedimento na segunda parte da rede, interditando então a outra faixa para finalização dos serviços.

No caso do local onde se encontra o km 326+540 na BR-386, em Marques de Souza/RS, não se identificou nenhuma via secundária próxima que fosse possível utilizar como via de desvio de tráfego para execução da travessia da rede de drenagem pluvial. Com isso, o único método disponível foi considerar o bloqueio parcial da rodovia, ou seja, proibir o fluxo de veículos no sentido da via que se

estaria sendo executada a rede de drenagem, durante todo o período necessário para o mesmo, e após liberação desta faixa o bloqueio da outra.

#### 4.2.1 Dimensionamento Hidráulico

Para dimensionamento e verificação da transposição de talvegue projetado com bueiro celular em concreto, deve-se realizar todos os cálculos considerando o tempo de recorrência de 25 e 50 anos, conforme definido pelo DNIT (2006).

##### 4.2.1.1 Tempo de Recorrência de 25 anos

Considerando o tempo de recorrência ( $T_r$ ) como 25 anos, retirou-se do memorial descritivo de drenagem pluvial da obra de duplicação da BR-386 os dados informados no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5 – Dados de Projeto para BSCC de 2,50 x 2,50 m e  $T_r = 25$  anos

Vazão de Projeto ( $Q_{proj}$ )	15,01 m <sup>3</sup> /s
Base (B)	2,50 m
Altura (H)	2,50 m
Coefficiente de Manning (n)	0,015
Declividade de Projeto (I)	0,0060 m/m

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base nas equações apresentadas no capítulo 3.3 e utilizando os dados informados no quadro acima, realizou-se os cálculos detalhados a seguir, afim de dimensionar e verificar o bueiro celular de concreto para  $T_r = 25$  anos.

I. Área molhada:

$$A_m = B \times H$$

$$A_m = 2,50 \times 1,48$$

$$A_m = 3,71 \text{ m}^2$$

II. Perímetro molhado:

$$P_m = B + (2 \times H)$$

$$P_m = 2,50 + (2 \times 1,48)$$

$$P_m = 5,47 \text{ m}$$

III. Raio hidráulico:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

$$R_h = \frac{3,71}{5,47}$$

$$R_h = 0,678 \text{ m}$$

IV. Declividade crítica:

$$I_{\text{crítica}} = 34,75 \times \frac{n^2}{B^3}$$

$$I_{\text{crítica}} = 34,75 \times \frac{0,015^2}{2,50^3}$$

$$I_{\text{crítica}} = 0,0058 \text{ m/m}$$

$$I_{\text{crítica}} < I_{\text{projeto}} \rightarrow 0,0058 \text{ m/m} < 0,0060 \text{ m/m} \rightarrow \text{Supercrítico}$$

V. Vazão:

$$Q = 1,705 \times B \times H^{1,5}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 1,705 \times 2,50 \times 2,50^{1,5}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 16,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} > Q_{\text{projeto}} \rightarrow 16,85 \text{ m}^3/\text{s} > 15,01 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

VI. Lâmina de água:

$$Q = A \times V$$

$$H = \frac{Q}{V \times B}$$

$$H = \frac{15,01}{4,05 \times 2,50}$$

$$H = 1,48 \text{ m}$$

$$y = 1,48 \text{ m}$$

VII. Velocidade:

$$V = 2,56 \times \sqrt{B}$$

$$V = 2,56 \times \sqrt{2,50}$$

$$V_{\text{projeto}} = 4,05 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{projeto}} < V_{\text{máx}} \rightarrow 4,05 \text{ m/s} < 4,50 \text{ m/s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

Após o desenvolvimento dos cálculos acima, foi possível elaborar o Quadro 6 abaixo.

Quadro 6 – Resumo dos Resultados para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 25 anos

Vazão de Projeto	15,01 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Atendida	16,85 m <sup>3</sup> /s
Dimensões Galeria (B x H)	2,50 x 2,50 m
Área Galeria	6,25 m <sup>2</sup>
Declividade de Projeto	0,0060 m/m
Declividade de Crítica	0,0058 m/m
Velocidade de Projeto	4,05 m/s
Velocidade Crítica	> 4,50 m/s
Altura Lâmina de Água	1,48 m / 59 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tendo em vista que a declividade de projeto ficou acima da declividade crítica, considerou-se o dimensionamento no regime supercrítico.

Em relação a velocidade de escoamento, considera-se como velocidade máxima admissível 4,5 m/s, pois a partir disso começa a ocorrer erosão no concreto do material. Sendo assim, como a velocidade calculada foi de 4,05 m/s, é possível afirmar que o bueiro atende à demanda de escoamento sem atingir a velocidade crítica.

O BSCC analisado possui vazão máxima (limite de atendimento) calculada em 16,85 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão que percorre pelo bueiro é de 15,01 m<sup>3</sup>/s (retirada do projeto de drenagem do BSTM). Com isso, verifica-se que, para um período de recorrência de 25 anos, o bueiro celular de concreto armado estará atendendo a vazão da rede de drenagem pluvial.

Conforme visto anteriormente, o DNIT limita a altura da linha de água em 85% da altura total do bueiro, para que o mesmo consiga atuar como canal. Portanto, para um Tr de 25 anos, se terá 1,48 m de altura de linha de água, correspondente a 59% do bueiro celular (aduela), fazendo então que tenha capacidade de atender a demanda da rede pluvial. Para que se tenha um melhor entendimento desta altura de linha de água apresenta-se a Figura 35 abaixo, que ilustra parcialmente a rede de drenagem com o bueiro celular atuando na demanda de Tr = 25 anos.

Figura 35 – Ilustração de BSCC com Linha de Água para Tr = 25 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, analisando os resultados informados no Quadro 6 e comparando-os com os valores mínimos e máximos impostos pelo DNIT com os valores encontrados nos cálculos, é possível concluir que o BSCC de dimensão 2,50 x 2,50 m e Tr de 25 anos tem capacidade suficiente para atender todas as demandas da rede de drenagem pluvial para qual ele se encontra dimensionado.

#### 4.2.1.2 Tempo de Recorrência de 50 anos

Considerando o tempo de recorrência (Tr) como 50 anos, retirou-se do memorial descritivo de drenagem pluvial da obra de duplicação da BR-386 os dados informados no Quadro 7 a seguir.

Quadro 7 – Dados de Projeto para BSCC de 2,50 x 2,50 m e  $T_r = 50$  anos

Vazão de Projeto ( $Q_{proj}$ )	16,60 m <sup>3</sup> /s
Base (B)	2,50 m
Altura (H)	2,50 m
Coefficiente de Manning (n)	0,015
Declividade de Projeto (I)	0,0060 m/m

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base nas equações apresentadas no capítulo 3.3 e utilizando os dados informados no quadro acima, realizou-se os cálculos detalhados a seguir, afim de dimensionar e verificar o bueiro celular de concreto para  $T_r = 50$  anos.

I. Área:

$$A_m = B \times H$$

$$A_m = 2,50 \times 1,64$$

$$A_m = 4,10 \text{ m}^2$$

II. Perímetro molhado:

$$P_m = B + (2 \times H)$$

$$P_m = 2,50 + (2 \times 1,64)$$

$$P_m = 5,78 \text{ m}$$

III. Raio hidráulico:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

$$R_h = \frac{4,10}{5,78}$$

$$R_h = 0,709 \text{ m}$$

IV. Declividade crítica:

$$I_{crítica} = 34,75 \times \frac{n^2}{B^3}$$

$$I_{crítica} = 34,75 \times \frac{0,015^2}{2,50^3}$$

$$I_{\text{crítica}} = 0,0058 \text{ m/m}$$

$$I_{\text{crítica}} < I_{\text{projeto}} \rightarrow 0,0058 \text{ m/m} < 0,0060 \text{ m/m} \rightarrow \text{Supercrítico}$$

V. Vazão:

$$Q = 1,705 \times B \times H^{1,5}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 1,705 \times 2,50 \times 2,50^{1,5}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} = 16,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx tubo}} > Q_{\text{projeto}} \rightarrow 16,85 \text{ m}^3/\text{s} > 16,60 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

VI. Lâmina de água:

$$Q = A \times V$$

$$H = \frac{Q}{V \times B}$$

$$H = \frac{16,60}{4,05 \times 2,50}$$

$$H = 1,64 \text{ m}$$

$$y = 1,64 \text{ m}$$

VII. Velocidade:

$$V = \frac{1}{n} \times \left( \frac{A}{P_m} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

$$V = 2,56 \times \sqrt{B}$$

$$V = 2,56 \times \sqrt{2,50}$$

$$V_{\text{projeto}} = 4,05 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{projeto}} < V_{\text{máx}} \rightarrow 4,05 \text{ m/s} < 4,50 \text{ m/s} \rightarrow \text{ATENDE}$$

Após o desenvolvimento dos cálculos acima, foi possível elaborar o Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 – Resumo dos Resultados para BSCC de 2,50 x 2,50 m e Tr = 50 anos

Vazão de Projeto	16,60 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Atendida	16,85 m <sup>3</sup> /s
Dimensões Galeria (B x H)	2,50 x 2,50 m
Área Galeria	6,25 m <sup>2</sup>
Declividade de Projeto	0,0060 m/m
Declividade de Crítica	0,0058 m/m
Velocidade de Projeto	4,05 m/s
Velocidade Crítica	> 4,50 m/s
Altura Lâmina de Água	1,64 m / 66 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tendo em vista que a declividade deve ser superior a 0,0058 m/m, considerou-se pelo autor para fins de cálculos de verificação, a declividade da rede de BSCC sendo de 0,0060 m/m, afim de propor um bom escoamento da água que é transportada pelo bueiro.

Em relação a velocidade de escoamento, considera-se como velocidade máxima admissível 4,5 m/s, pois a partir disso começa a ocorrer erosão no concreto do material. Sendo assim, como a velocidade calculada foi de 4,05 m/s, é possível afirmar que o bueiro atende à demanda de escoamento sem atingir a velocidade crítica.

O BSCC analisado possui vazão máxima (limite de atendimento) calculada em 16,85 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão que percorre pelo bueiro é de 16,06 m<sup>3</sup>/s (retirada do projeto de drenagem do BSTM). Com isso, verifica-se que, para um período de recorrência de 50 anos, o bueiro celular de concreto armado estará atendendo a vazão da rede de drenagem pluvial.

Conforme visto anteriormente, o DNIT limita a altura da linha de água em 85% da altura total do bueiro, para que o mesmo consiga atuar como canal. Portanto, para um Tr de 50 anos, se terá 1,64 m de altura de linha de água, correspondente a 66% do bueiro celular (aduela), fazendo então que tenha capacidade de atender a demanda da rede pluvial. Para que se tenha um melhor entendimento desta altura de linha de água apresenta-se a Figura 36 abaixo, que ilustra parcialmente a rede de drenagem com o bueiro celular atuando na demanda de Tr = 50 anos.

Figura 36 – Ilustração de BSCC com Linha de Água para Tr = 50 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, analisando os resultados informados no Quadro 8 e comparando-os com os valores mínimos e máximos impostos pelo DNIT com os valores encontrados nos cálculos, é possível concluir que o BSCC de dimensão 2,50 x 2,50 m e Tr de 50 anos tem capacidade suficiente para atender todas as demandas da rede de drenagem pluvial para qual ele se encontra dimensionado.

#### 4.2.2 Composição de Custos

Conforme já informado anteriormente, utilizou-se os relatórios de composição de custo unitário do SICRO do Rio Grande do Sul, data-base Janeiro de 2022 como base para analisar a execução do serviço e desenvolver uma tabela orçamentária, porém desta vez considerando-se o emprego de BSCC para execução da transposição de talvegue no km 326+540 da obra de duplicação da BR-386, em Marques de Souza/RS, invés da utilização de BSTM conforme realmente consideram os projetos de drenagem da referida obra.

Os Anexos G, H, I, J, K, L, M e N apresentam os relatórios analíticos de composição de custo do SICRO/RS, na qual compreendem a execução do serviço com utilização de bueiro simples celular em concreto armado (BSCC). Estes anexos compreendem a composição unitária detalhada referente aos equipamentos, mão de obra, material, atividades auxiliares, tempo fixo e momento de transporte.

A Tabela 13 apresentada a seguir é baseada no SICRO/RS e compõe o cálculo orçamentário referente a execução da rede de drenagem pluvial rodoviária utilizando na execução bueiro simples celular em concreto armado com dimensões de 2,50 x 2,50 m. O valor final de R\$ 197.569,26 (cento e noventa e sete mil e

quinhentos e sessenta e nove reais com vinte e seis centavos), refere-se ao custo total para execução dos 36,80 m de extensão da rede.

Tabela 13 – Orçamento para Execução de BSCC 2,50 x 2,50 m

SICRO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	V. UNIT.	TOTAL
2004504	Escavação mecânica de vala para drenagem com valetadeira em material de 1ª categoria	m³	681,75	R\$ 12,97	R\$ 8.842,30
2106292	Escoramento contínuo de valas com tábuas de 2,5 x 30 cm e longarinas de 6 x 16 cm - estroncas a cada metro não incluídas - profundidade de até 4 m - madeira com utilização de 3 vezes - confecção, instalação e retirada	m²	252,5	R\$ 123,29	R\$ 31.130,73
6817859	Corpo de BSCC - seção fechada de 2,5 x 2,5 m - pré-moldado - altura do aterro de 1,00 a 2,50 m - areia e brita comerciais	m	36,8	R\$ 2.789,21	R\$ 102.642,93
4815671	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	528	R\$ 15,22	R\$ 8.036,16
4011282	Base ou sub-base de macadame hidráulico com brita comercial	m³	19,2	R\$ 141,72	R\$ 2.721,02
4011278	Base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento com brita comercial	m³	15,3	R\$ 205,60	R\$ 3.145,68
4011351	Imprimação com asfalto diluído	m²	117	R\$ 3,34	R\$ 390,78
4011471	Concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial	t	11,7	R\$ 480,06	R\$ 5.616,70
5214012	Manutenção/recomposição de sinalização - pintura de faixa com tinta acrílica - espessura de 0,4 mm	m²	1,8	R\$ 23,87	R\$ 42,97
-	Sinalização Noturna	vb	1	R\$ 35.000,00	R\$ 35.000,00
				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 197.569,26</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Na Figura 37 abaixo, é apresentado a forma de escavação da vala, considerada na Tabela 13, referente ao orçamento de execução de BSCC.

Figura 37 – Escavação de vala



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As quantidades que foram utilizadas para montar a Tabela 13 apresentada anteriormente foram levantadas com base no documento “Projeto de Drenagem –

Perfil dos Bueiros (folha 03/38)", que se encontra no Anexo F deste estudo de caso. Vale ressaltar que esse projeto citado é referente a execução da transposição de talvegue para o km 326+540 em estudo, porém considerando emprego do método de bueiro tubular metálico. Contudo, para fins de cálculos de dimensionamento de rede, as quantidades se manterão as mesmas.

### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS

Por se tratar de um estudo comparativo, havia a necessidade de se encontrar um método de execução de transposição de talvegue diferente do considerado em projeto (BSTM), mas que também atendesse as necessidades hidráulicas da rede de drenagem, para que assim se tornasse possível realizar a análise qualitativa e quantitativa entre os diferentes métodos.

Sendo assim, tendo em vista que o bueiro considerado pelo projeto de drenagem do km 326+540, referente a obra de duplicação da BR-386, foi o tubular metálico executado em linha única (simples) com diâmetro de 2,40 m, optou-se por tentar considerar como o método admitido para comparação, o bueiro tubular em concreto armado de diâmetro mais próximo possível do tubo metálico, considerando que para tubos em concreto o maior diâmetro comercializado é de 2,00 m.

Contudo, após realização dos cálculos de dimensionamento hidráulico, empregando as equações do capítulo 3.3.2, verificou-se que o bueiro em concreto, mesmo considerando o seu maior diâmetro, não atenderia as demandas da rede se executado em linha única. Com isso, considerando a execução em linha múltipla de bueiros (duplo), se tornaria possível suprir a necessidade, mas devido ao fato de não ser tecnicamente interessante executar redes múltiplas, exceto em casos onde não se encontram outras alternativas. Sendo assim, buscou-se um novo formato de bueiro, produzido em concreto armado, na tentativa de viabilizar o dimensionamento da rede em linha única, sendo necessário repetir novamente os cálculos de dimensionamento hidráulico e ajustar as equações para serem aplicáveis a bueiro celular em concreto armado, também conhecido como aduela ou galeria.

Os bueiros celulares são comercializados em diversas dimensões, variando a cada 0,50m. Para atender a demanda da rede, a aduela de menor dimensão, admitida através de cálculos, foi de 2,50 x 2,50 m, com comprimento da peça em 1 m e espessura da parede com 0,15 m.

Portanto, analisou-se as vantagens e desvantagens do método projetado e do método considerado para fins comparativos, sendo eles respectivamente, BSTM 2,40m e BSCC 2,50 x 2,50m, conforme demonstra o Quadro 9 abaixo.

Quadro 9 – Comparação entre BSTM e BSCC

ITEM AVALIADO	MÉTODO	
	BSTM	BSCC
Execução mais mecanizada		X
Maior produtividade		X
Maior disponibilidade de mão de obra no mercado		X
Menor remoção e movimentação de solo	X	
Menor custo no transporte da peça	X	
Menor custo de fabricação da peça		X
Transposição sem desvio de pista	X	
Transposição sem interrupção de via	X	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Realizando uma análise comparativa entre os métodos, com base no Quadro 9, é possível identificar uma maior produtividade no BSCC, devido ao fato de empregar mais equipamentos, acelerando os processos de execução do serviço. Já, analisando o BSTM, identifica-se um processo executivo mais lento, principalmente pelo fato da escavação ser realizada de forma manual.

Devido ao BSTM ainda não ser um método tão empregado na drenagem pluvial rodoviária, acaba-se tendo mais facilidade de encontrar no mercado de trabalho mão de obra especializada para execução de BSCC do que de BSTM.

Pelo fato do BSCC ser realizado por método mecanizado, se torna necessário executar escavação de vala de maior dimensão para o assentamento das peças pré-fabricadas que compõe a rede de drenagem e maior quantidade de reaterro e movimentação de solo excedente. Enquanto isso, para o BSTM, por ser um método manual, escava-se somente a quantidade necessária para a instalação das chapas metálicas, não necessitando de reaterro e gerando baixa demanda de solo para bota-fora. Sendo assim, do ponto de vista financeiro em relação ao transporte de movimentação de solo, se torna mais vantajoso o BSTM.

Também é interessante ressaltar que, a menor movimentação com transporte de solo excedente, se torna vantajoso em locais onde esse fluxo de caminhões e máquinas poderia ser extremamente prejudicial para o sistema viário.

Verificando-se a questão do custo de transporte, somente em relação as peças pré-fabricadas para instalação da rede (tubo metálico e aduela de concreto), é possível concluir que o BSCC terá seu custo com transporte refletindo de forma muito mais significativa no momento de efetuar a compra do material com o fornecedor, tendo em vista que as aduelas em concreto ocupam maior espaço no caminhão, podendo ser transportadas poucas unidades por carga (variando de acordo com as dimensões), enquanto as chapas metálicas são adquiridas desmontadas e ocupam menor espaço para serem transportadas, necessitando assim de uma menor quantidade de fretes para entrega dos materiais adquiridos.

Ainda, com base nas Tabelas 12 e 13 apresentadas anteriormente (orçamentos para execução do serviço), é possível afirmar que o tubo metálico corrugado possui valor comercial muito mais elevado do que a aduela de concreto armado, sendo o material empregado na fabricação de cada peça um dos motivos que justifica essa grande diferença no preço. Entretanto, vale ressaltar que o tubo metálico ainda recebe, durante sua produção, um revestimento de zinco ou resina epóxi para evitar corrosão da peça, aumentando ainda mais o custo de fabricação do material.

Já referente ao processo executivo, o BSTM permite executar a transposição da rede de drenagem sem bloquear a via e afetar o trânsito de veículos. Entretanto, no caso do BSCC, para executar esta mesma drenagem, devido a necessidade de remover o pavimento já existente para passagem do bueiro, precisa-se criar um desvio de trânsito por uma via secundária ou interferir de forma parcial no fluxo de veículos do local, interditando uma das pistas de rodagem. Sendo assim, a execução do BSCC acaba afetando toda a população que por ali trafega.

De acordo com Chama Neto (2008), o desempenho dos tubos de concreto depende da resistência do material (tubo), enquanto dos tubos flexíveis (metálicos) dependem da resistência do sistema solo-tubo.

## 5 CONCLUSÃO

Após comparações técnicas do BSTM (bueiro simples tubular metálico) e BSCC (bueiro simples celular de concreto) feitas anteriormente no capítulo 2, a partir de projeto a aplicação em campo, viu-se que ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens, variando de acordo com o local instalado.

Na situação do local desse estudo de caso, onde analisa-se o km 326+540 da obra de duplicação da rodovia BR-386/RS, podem ser aplicados os dois métodos executivos, com objetivo de executarem a mesma função, que é promover o escoamento da água pluvial afim de evitar alagamentos, acidentes, rupturas de taludes e manifestações patológicas no pavimento.

Conforme verificado nos cálculos de dimensionamento hidráulico, desenvolvidos no capítulo 4, conclui-se que tanto o BSTM 2,40 m quanto o BSCC 2,50x2,50 m atendem as vazões, velocidades e alturas de lâmina de água da rede de drenagem, dimensionada para o km 326+540 da BR-386. Essa afirmação é baseada na comparação entre os parâmetros impostos pelas normas regulamentadoras e os resultados de capacidade hidráulica dos materiais, obtidos nos cálculos realizados para os períodos de recorrência definidos no projeto de drenagem, sendo para o BSTM 15 e 25 anos e para o BSCC 25 e 50 anos.

Referente a forma de execução dos dois métodos de transposição de talvegue, onde o BSTM emprega o método não destrutivo e o BSCC emprega o método destrutivo, é de grande relevância informar que, analisando somente o caso do km 326+540 da obra de duplicação da BR-386, o bueiro metálico se torna uma solução muito mais atraente. Isso se deve ao fato da rodovia Governador Leonel de Moura Brizola (BR-386, trecho RS), ser responsável por movimentar alto fluxo de veículos da região do vale do Taquari e, ainda transportar-se por ela grande parte da produção agrícola, oriunda do norte do estado, até a região metropolitana. Portanto, uma interferência no tráfego, causada pelo bloqueio de uma das faixas de rodagem para remoção do pavimento e execução da rede de drenagem, pode acarretar em enormes filas de congestionamento e prejuízo para o mercado econômico da região.

Para que o BSCC tivesse capacidade de ser empregado na execução da rede de drenagem e não afetar o alto e importante fluxo de veículos da região da obra, seria necessário ter-se alguma via secundária próxima que possibilitasse um desvio de trânsito, para redirecionar o deslocamento dos veículos por esta via alternativa de

forma provisória. Porém, estudou-se o mapa viário do entorno, não sendo então encontradas alternativas de estrada próximas para desvio.

Ainda, com o emprego do bueiro metálico pelo MND, se torna possível executar a transposição da rede de drenagem sem causar nenhum tipo de interferência na via, podendo assim os veículos transitarem normalmente sem serem afetados pela execução da obra.

Realizou-se também uma análise econômica calculada com base nos parâmetros do SICRO/RS de Janeiro/2022, comparando os custos que englobam a execução do BSTM e BSCC no km 326+540m. Conforme verificado nas tabelas orçamentárias, apresentadas no capítulo 4, o custo para execução do BSTM DN 2,40m totalizou-se em R\$ 372.029,14 (trezentos e setenta e dois mil e vinte e nove reais com quatorze centavos), enquanto para execução do BSCC 2,50x2,50m totalizou-se em R\$ 197.569,26 (cento e noventa e sete mil e quinhentos e sessenta e nove reais com vinte e seis centavos). Concluindo, mesmo que o BSTM seja financeiramente mais inviável que o BSCC, devido exigir um maior investimento para sua execução, ele se torna a melhor opção para o caso estudado, motivado pelo grande impacto que a interferência no trânsito, gerada pelo BSCC, causaria naquele local.

Entretanto, é de extrema importância destacar que as afirmações apresentadas neste estudo de caso aplicam-se somente para o km 326+540 da BR-386, no município de Marques de Souza, estado do Rio Grande do Sul. Caso deseje-se fazer esta análise comparativa para outro local, se recomenda realizar novos estudos, de acordo com região de execução da obra.

## 5.1 SUGESTÕES DE PESQUISA

Para o desenvolvimento de estudos futuros, recomenda-se realizar pesquisas relacionadas a abordagem deste estudo de caso, indicando-se como temas complementares:

- I. Verificação da viabilidade de execução de BSTM e BSCC em outros trechos da obra de duplicação da rodovia BR-386;
- II. Verificação da viabilidade de execução de BSTM e BSCC em outras estradas do Brasil;

- III. Verificação do método que apresente melhor custo-benefício, aplicado para drenagem pluvial de vias com menor fluxo de veículos.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15396. **Aduelas (Galerias Celulares) de Concreto Armado Pré-moldadas – Requisitos e Métodos de Ensaio**. 3ª ed. Rio de Janeiro: 2018.

ABNT NBR 15645. **Execução de Obras de Esgoto Sanitário e Drenagem de Águas Pluviais utilizando-se Tubos e Aduelas de Concreto**. 1ª ed. Rio de Janeiro: 2008.

ABNT NBR 5739. **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: 2007.

ABNT NBR 8890. **Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários – Requisitos e Métodos de Ensaio**. 2ª ed. Rio de Janeiro: 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Concessões de Rodovias Federais – Relatório Anual**. 1ª ed. Brasília: 2010.

ARMCO STACO. **Orientação de Montagem para Execução de Túneis pelo Processo Não Destrutivo “Sistema Tunnel Liner Plate-Armco Staco”**. Ed. 2015. Disponível em: [https://daejudiai.com.br/wp-content/uploads/2019/06/TP02118-ANEXO\\_X\\_I\\_4Orientacao.Montagem\\_Tunnel.Liner\\_.pdf](https://daejudiai.com.br/wp-content/uploads/2019/06/TP02118-ANEXO_X_I_4Orientacao.Montagem_Tunnel.Liner_.pdf). Acesso em: 28 mar. 2022.

ARMCO STACO. **Tunnel Liner**. Ed. 2013. Disponível em: [https://www.armcostaco.com.br/armco/upload/download/folder\\_TL\\_novaID\\_web.pdf](https://www.armcostaco.com.br/armco/upload/download/folder_TL_novaID_web.pdf). Acesso em: 17 set. 2021.

ARTERIS. **Bueiros tubulares para transposição de talvegues**. 1ª ed. São Paulo: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO (ABTC). **Perguntas Frequentes**. São Paulo. Disponível em: <https://www.abtc.com.br/perguntas-frequentes>. Acesso em: 04 mar. 2022.

AZEVEDO, Gabriella Araujo. **Proposta de Readequação do Sistema de Drenagem no Quilômetro 29,1 da Rodovia MG-167**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG), Varginha, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/126/1/TCC-2%20-%20Gabriella%20Araujo%20Azevedo.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2022

BERNARDES, Pedro Resende. **Análise Tensão X Deformação de Tunnel Liner – Estudo De Caso**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG), Varginha, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/127/1/TCC%20%20PEDRO%20RESE NDE%20BERNARDES.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2022

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ. 724, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ. 742, 2010.

ENGENHARIA COMPARTILHADA. **Saiba quais materiais eram empregados na engenharia da antiguidade**. São Paulo: 2017. Disponível em: <https://engenhariacompartilhada.com.br/Noticia/Exibir/1875349#:~:text=Exemplos%20disso%20s%C3%A3o%20a%20pedra,apresenta%20relativa%20facilidade%20de%20manuseio>. Acesso em: 06 mai. 2022.

FERMIX SOLUÇÕES EM DRENAGEM. **Histórico dos Tubos de Concretos**. Disponível em: <https://www.fermixtubos.com.br/produtos/tubos-de-concreto/historico-dos-tubos-de-concretos>. Acesso em: 02 out. 2021.

FERNANDES, Renato de Oliveira. **Drenagem de Rodovias - Dimensionamento de Bueiros**. Cariri: 2012. Disponível em: [http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=dimensionamento\\_bueiros-parte-ii.pdf](http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=dimensionamento_bueiros-parte-ii.pdf). Acesso em: 13 jan. 2022.

GEOTUNEL. **Execução de Tunnel Liner**. Disponível em: <https://www.geotunel.com.br/execucao-tunnel-liner>. Acesso em: 17 set. 2021.

GRUPO CONCRENORTE. **Tubos de concreto: saiba como escolher**. Araguaína. Disponível em: <https://concrenorte.com.br/tubos-de-concreto-saiba-como-escolher/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas Geográfico Escolar**. 7ª ed. Rio de Janeiro: 2016.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias – Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. Ed. 2019.

JESUS DE MARI. **Inventado após uma Guerra Civil: Tubos de Galerias e Bueiros**. 2018. Disponível em: <https://www.jesusedemari.com.br/saiba-mais-sobre-tubos-de-concreto>. Acesso em: 22 set. 2021.

JORNAL CIÊNCIA. **Roma ainda está usando um dos primeiros sistemas de Esgoto mais Antigos do Mundo**. 2018. Disponível em: <https://www.jornalciencia.com/roma-ainda-esta-usando-um-dos-primeiros-sistemas-de-esgoto-mais-antigos-do-mundo>. Acesso em: 03 dez. 2021.

MARINHO, F. A. M. **Investigação Geotécnica Para Quê?**. Vol. 2. São Paulo: 2005. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/222204/mod\\_resource/content/0/Marinho%20-%20Investiga%C3%A7%C3%A3o%20-%20COBRAE2005-Final.pdf#:~:text=A%20investiga%C3%A7%C3%A3o%20na%20geotecnia%2C%20mais,execu%C3%A7%C3%A3o%20do%20mesmo%20ou%20remedia%C3%A7%C3%B5es](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/222204/mod_resource/content/0/Marinho%20-%20Investiga%C3%A7%C3%A3o%20-%20COBRAE2005-Final.pdf#:~:text=A%20investiga%C3%A7%C3%A3o%20na%20geotecnia%2C%20mais,execu%C3%A7%C3%A3o%20do%20mesmo%20ou%20remedia%C3%A7%C3%B5es). Acesso em: 04 mar. 2022.

MONTES CLAROS. **Tubos de concreto: entenda a nomenclatura e saiba qual escolher**. São Paulo: 2017. Disponível em: <https://cimentomontesclaros.com.br/tubos-de-concreto-saiba-qual-escolher/>. Acesso em: 07 mai. 2022.

TUCCI, Carlos E. M. **Água no Meio Urbano**. Rio Grande do Sul: 1997. Disponível em: [http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf](http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf). Acesso em: 23 fev. 2022

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. Vol. 1. Rio Grande do Sul: 2004. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/63/2ad4eeedd7a7c343e9e3761021390984\\_7960253b5475402462f2cae2b731c23f.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/63/2ad4eeedd7a7c343e9e3761021390984_7960253b5475402462f2cae2b731c23f.pdf). Acesso em: 09 abr. 2022

VENESCAU, Ricardo. **Drenagem Rodoviária – Entenda a Transposição de Talwegues com Bueiros**. 2020. Disponível em: <http://engenhariarodoviaria.com.br/drenagem-rodoviaria-transposicao-de-talwegues/>. Acesso em: 17 set. 2021.

**ANEXO A - Ensaio de Resistência - Aduela 2,50 x 2,50 x 1,00 x 0,15**



# ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 5739:2007

VELOCIDADE DE ENSAIO: 0,32 MPa/s (Norma: 0,3 à 0,6 MPa/s)

Pedido / Laudo: \_\_\_\_\_ / 650

Cliente: Construsinos

Moldados em: 23/02/2022

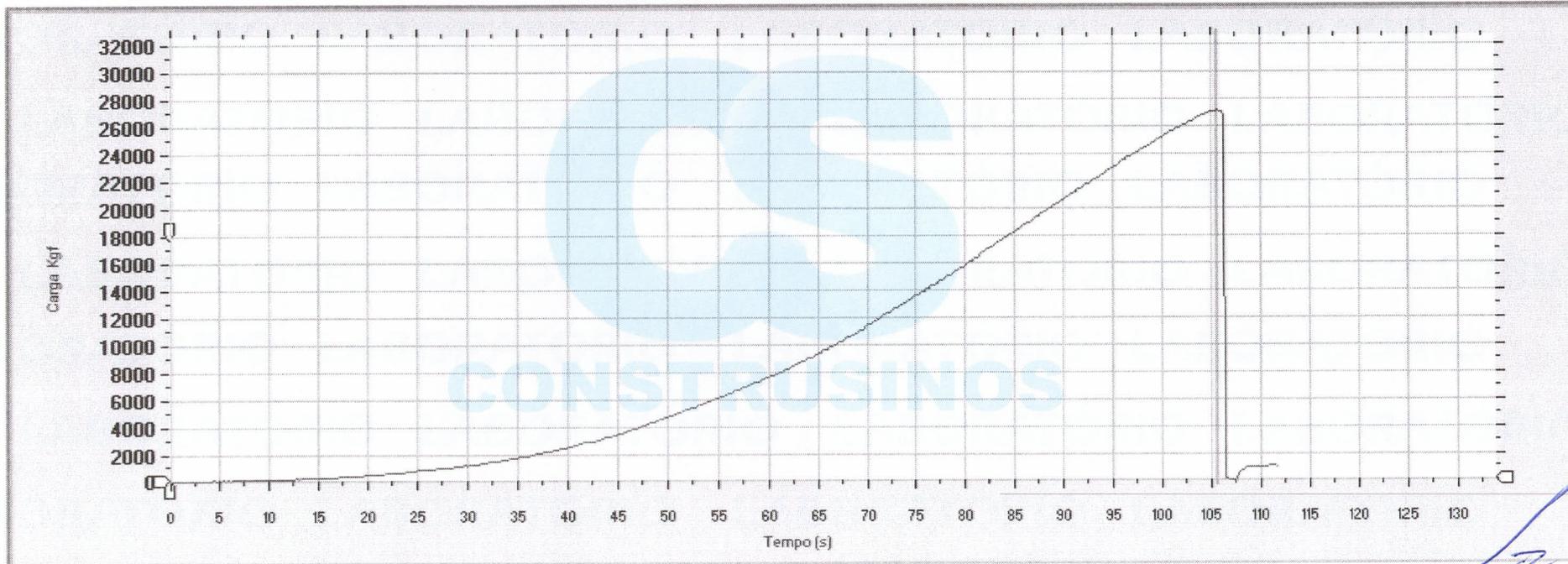
Obra: Interno

Recebidos em: 23/03/2022

Idade: 28 dias      Capeamento:  Enxofre     Argamassa     Corte com serra

Ensaaiados em: 23/03/2022

Identificação	Dimensões (mm)				Relação h/D	Fator de Correção	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)		Slump (cm)	Resistência (MPa)	
	Altura (h)		Diâmetro (D)					Lida	Corrigida		No Ensaio	Corrigido
CP 01	199.1	199.2	100.2	100.1	1,99	1,00	78,85	27114,89	27115,86		33,7	33,7
	199,2		100,2									



Inscrição com Tinta:	Data de fabricação : 23/02/2022
Inscrição no Selo:	Laudo de controle interno de qualidade
Inscrição em Baixo Relevo:	
Observações:	Corpo de Prova moldado de uma Aduela de 2,50x2,50x1,00x0,15m

*[Handwritten Signature]*  
Téc. de Laboratório  
Construsinos

Preenchido por: Gabriel Rese      Prensa: STORRER P2      Laborarista: Gabriel Rese      Revisor: Gabriel Rese

## **ANEXO B - Certificado de Qualidade MP100**



ARMCO STACO S.A.  
INDÚSTRIA METALÚRGICA  
ESTRADA JOÃO PAULO, 740 - CEP 21512-002  
BAIRRO HONÓRIO GURGEL - RIO DE JANEIRO - RJ  
BRASIL - TELEFONE: (55 21) 2472-9100  
FAX: (55 21) 3372-1160

CERTIFICADO DE QUALIDADE

QUALITY CERTIFICATE

CLIENTE - CUSTOMER

Nº DO CERTIFICADO

Nº OF

Data Emissão

165/21

43441

07/12/2021

CERTIFICAMOS QUE O MATERIAL FOI PRODUZIDO,  
INSPECIONADO E ENSAIADO DE ACORDO COM A NORMA  
ESPECIFICADA OU PEDIDA

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL WAS PRODUCED,  
INSPECTED AND TESTED IN ACCORDANCE WITH STANDARD

PRODUTO / ESPECIFICAÇÕES - PRODUCT / SPECIFICATIONS

-MP100 CIRCULAR C.SIMPLES GALVANIZADO 2.20 X 1.60

-CONJ. MP100 CIRCULAR SIMPLES GALVANIZADO ESPESSURA 2.20MM X DIAMETRO 2.20M

ENSAIOS - TESTES

**Especificação Material:**

- 1 - Propriedades mecânicas: ASTM-A760 e ASTM-A761
- 2 - Composição química: ASTM-A760 e ASTM-A761
- 3 - Fixação: ASTM-A307

**Especificações: Revestimento**

- 4 - Galvanização: ASTM-A761, ASTM-A123 e ASTM-A153
- 5 - Aparência Visual bi-cromato amarelo

**Ensaio e inspeção:**

- 6 - Quantidade de amostra ASTM-A123 e ASTM-A153
- 7 - Espessura de revestimento: ASTM-E376

OBSERVAÇÕES - REMARKS

Produto Conforme Nota Fiscal Eletrônica n° 60.436

PREPARADO POR - PREPARED BY

VISTO - AUTHORIZED SIGNATURE

FOLHA  
SHEET

  
Raphael Costa  
Inspetor da Qualidade

  
Haendel Santiago  
Analista da Qualidade

1/1

## **ANEXO C - Certificado de Qualidade Tunnel Liner**



ARMCO STACO S.A.  
INDÚSTRIA METALÚRGICA  
ESTRADA JOÃO PAULO, 740 - CEP 21512-002  
BAIRRO HONÓRIO GURGEL - RIO DE JANEIRO - RJ  
BRASIL - TELEFONE: (55 21) 2472-9100  
FAX: (55 21) 3372-1160

CERTIFICADO DE QUALIDADE

QUALITY CERTIFICATE

CLIENTE - CUSTOMER

Nº DO CERTIFICADO

Nº OF

Data Emissão

166/21

43441

07/12/2021

CERTIFICAMOS QUE O MATERIAL FOI PRODUZIDO,  
INSPECIONADO E ENSAIADO DE ACORDO COM A NORMA  
ESPECIFICADA OU PEDIDA

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL WAS PRODUCED,  
INSPECTED AND TESTED IN ACCORDANCE WITH STANDARD

PRODUTO / ESPECIFICAÇÕES - PRODUCT / SPECIFICATIONS

-TUNNEL LINER CIRCULAR GALVANIZADO 2.20 X 1.60

-TUNNEL LINER CIRCULAR GALVANIZADO 2.20 X 1.60F

-TUNNEL LINER CIRCULAR GALVANIZADO 2.20 X 2.20

-TUNNEL LINER CIRCULAR GALVANIZADO 2.20 X 2.20F

ENSAIOS - TESTES

**Especificação do material:**

- 1- Matéria prima segundo a norma NM-144-2:98
- 2-Determinação das propriedades mecânicas: Segundo a norma AASTHO Section 15-15.4.2
- 3- Composição química conforme norma ASTM A569

**Especificações do revestimento:**

- 4- Material e processo segundo a Norma ABNT NBR-6323
- 5 - Revestimento segundo a norma ABNT NBR-6970
- 6 - Aspecto visual Bi-cromatizado Amarelo

**Ensaio e Inspeção:**

- 7 - Quantidade de amostras: ABNT NBR-5425
- 8 - Inspeção dimensional: Projeto ARMCO STACO SA
- 9 - Espessura de camada de revestimento: ABNT NBR-7399
- 10 - Aderência do revestimento: ABNT NBR-7398

OBSERVAÇÕES - REMARKS

Produto Conforme Nota Fiscal Eletrônica nº 60.436

PREPARADO POR - PREPARED BY

VISTO - AUTHORIZED SIGNATURE

FOLHA  
SHEET

Raphael Costa  
Inspetor da Qualidade

Haendel Santiago  
Analista da Qualidade

1/1

## **ANEXO D - Composição Bueiro Metálico 2,40 m**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul

## Custo Unitário de Referência

Janeiro/2022

Produção da equipe

0,19800 m

0605510 Bueiro metálico sem interrupção de tráfego - D = 2,40 m - chapa galvanizada - escavado em material de 1ª categoria - aterro

Valores em reais (R\$)

rodoviário máximo = 4,50 m

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9066 Grupo gerador - 13/14 kVA	1,00000	1,00	0,00	15,1193	3,6618	15,1193
E9740 Quadro tubular contraventado para andaime de 1 x 1 x 1 m com capacidade de 2 t	2,00000	1,00	0,00	0,1451	0,1137	0,2902
E9510 Ventilador centrífugo baixa pressão com capacidade de 58 m³/min - 3,68 kW	1,00000	1,00	0,00	1,8553	1,1947	1,8553
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>17,2648</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9801 Ajudante	8,00000	h	19,8498		158,7984	
P9830 Montador	3,00000	h	27,1430		81,4290	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>						<b>240,2274</b>
<b>Custo horário total de execução</b>						<b>257,4922</b>
<b>Custo unitário de execução</b>						<b>1.300,4657</b>
Custo do FIC						-
Custo do FIT						-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M2506 Chapa metálica corrugada galvanizada para tunnel liner - E = 2,2 mm e D = 2,4 m	1,00000	m	7.835,0267		7.835,0267	
M1797 Fita de espuma EPDM para vedação com adesivo em uma face - E = 4 mm e L = 40 mm	26,39092	m	2,8070		74,0793	
<b>Custo unitário total de material</b>						<b>7.909,1060</b>
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
0605604 Argamassa de solo-cimento com 10% de cimento e material de jazida - preparo e injeção em tunnel liner	0,78540	m³	263,7200		207,1257	
4816000 Escavação manual de tunnel liner em material de 1ª categoria	5,30929	m³	393,9100		2.091,3824	
4816003 Iluminação provisória para tunnel liner	1,00000	m	39,0400		39,0400	
0605606 Sistema de escoramento telescópico regulável para tunnel liner	4,52389	m³	9,8700		44,6508	
4816004 Ventilação provisória para tunnel liner	1,00000	m	36,9900		36,9900	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>						<b>2.419,1889</b>
<b>Subtotal</b>						<b>11.628,7606</b>
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
4816000 Escavação manual de tunnel liner em material de 1ª categoria - Caminhão basculante 6 m³	5915476	9,95492	t	24,9400		248,2757
M2506 Chapa metálica corrugada galvanizada para tunnel liner - E = 2,2 mm e D = 2,4 m - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,19300	t	29,0000		5,5970
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>						<b>253,8727</b>
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
4816000 Escavação manual de tunnel liner em material de 1ª categoria - Caminhão basculante 6 m³	9,95492	tkm	5914314	5914329	5914344	
M2506 Chapa metálica corrugada galvanizada para tunnel liner - E = 2,2 mm e D = 2,4 m - Caminhão carroceria 15 t	0,19300	tkm	5914449	5914464	5914479	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>						<b>11.882,63</b>

Obs:

## **ANEXO E - Composição Bueiro Metálico MP100 2,40 m**

**SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO**  
**Custo Unitário de Referência**

 Rio Grande do Sul  
 Janeiro/2022

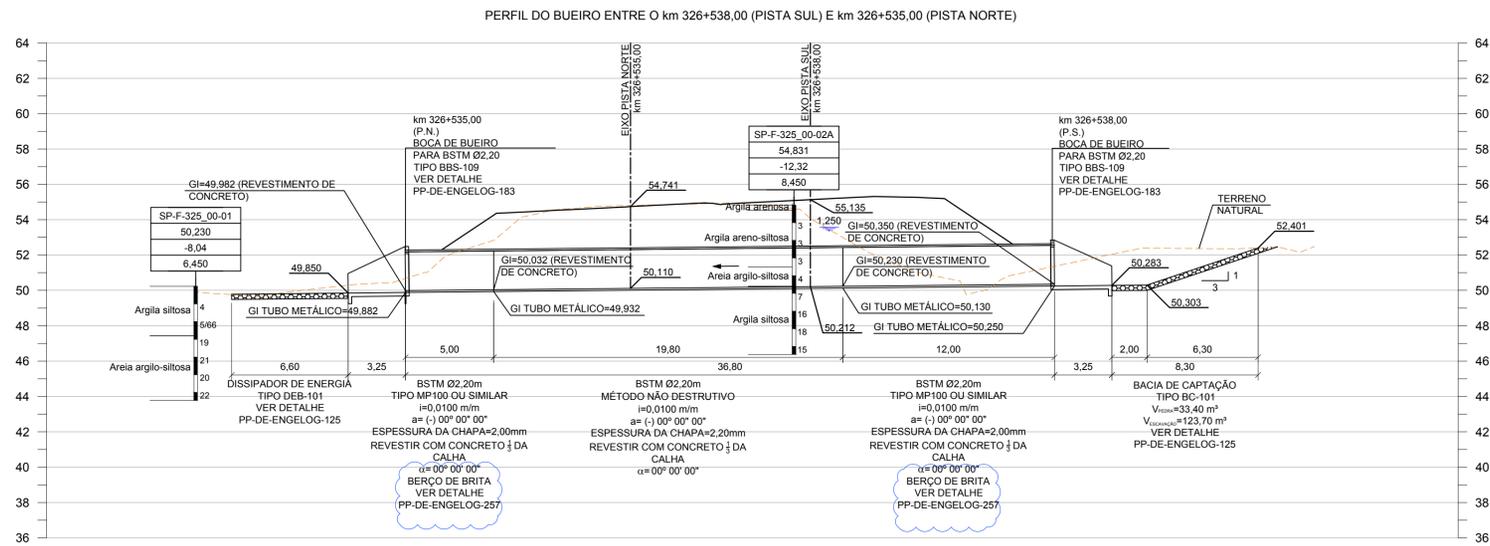
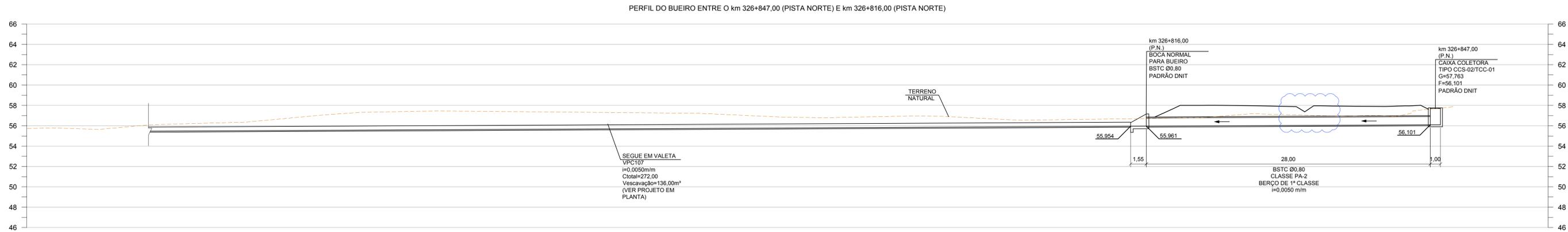
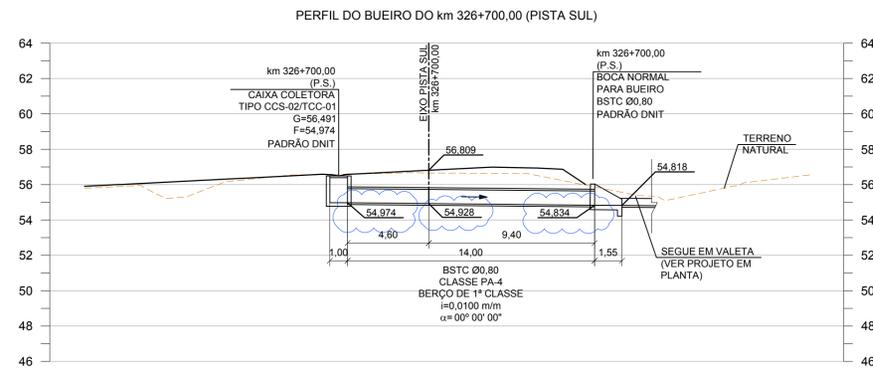
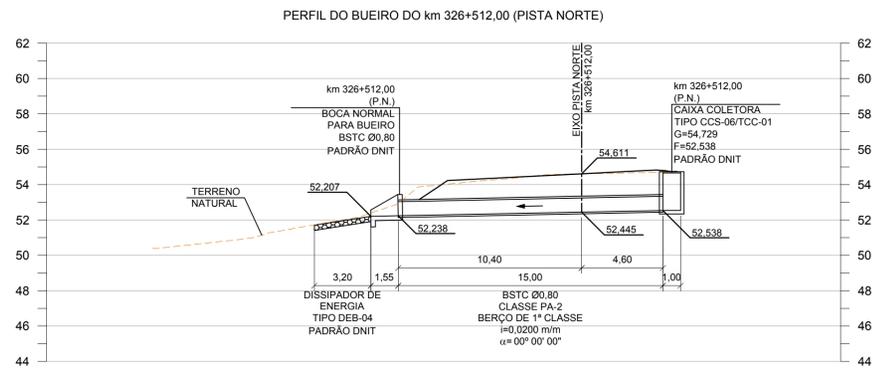
Produção da equipe 0,71000 m

**0605669 Bueiro metálico com chapas múltiplas MP 100 galvanizadas - D = 2,40 m - brita comercial**
**Valores em reais (R\$)**

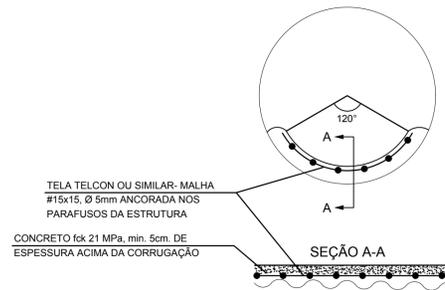
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9686 Caminhão carroceria com guindauto com capacidade de 20 t.m - 136 kW	1,00000	1,00	0,00	266,3352	100,5009	266,3352
E9740 Quadro tubular contraventado para andaime de 1 x 1 x 1 m com capacidade de 2 t	2,00000	1,00	0,00	0,1451	0,1137	0,2902
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>266,6254</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9801 Ajudante	6,00000	h	19,8498		119,0988	
P9830 Montador	2,00000	h	27,1430		54,2860	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>					<b>173,3848</b>	
<b>Custo horário total de execução</b>					<b>440,0102</b>	
<b>Custo unitário de execução</b>					<b>619,7327</b>	
<b>Custo do FIC</b>					-	
<b>Custo do FIT</b>					-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M2549 Chapa múltipla metálica corrugada galvanizada tipo MP 100 ou similar - E = 2,70 mm e D = 2,40 m	1,00000	m	6.917,1280		6.917,1280	
<b>Custo unitário total de material</b>					<b>6.917,1280</b>	
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
2003850 Lastro de brita comercial compactado com soquete vibratório - espalhamento manual	1,02000	m³	110,2300		112,4346	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>					<b>112,4346</b>	
<b>Subtotal</b>					<b>7.649,2953</b>	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M2549 Chapa múltipla metálica corrugada galvanizada tipo MP 100 ou similar - E = 2,70 mm e D = 2,40 m - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,18700	t	29,0000		5,4230
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>					<b>5,4230</b>	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M2549 Chapa múltipla metálica corrugada galvanizada tipo MP 100 ou similar - E = 2,70 mm e D = 2,40 m - Caminhão carroceria 15 t	0,18700	tkm	5914449	5914464	5914479	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>						<b>7.654,72</b>

Obs:

## **ANEXO F - Projeto de Drenagem - Perfil de Bueiros**



**DETALHE DO REVESTIMENTO DO TUBO METÁLICO SEM ESCALA**



**ESPECIFICAÇÕES DOS TUBOS METÁLICOS:**

- DEVE SER GARANTIDO ACABAMENTO PERFEITAMENTE LISO PARA ATENDER À RUGOSIDADE DE PROJETO.
- OS TUBOS METÁLICOS DEVERÃO ESTAR EM CONFORMIDADE COM AS SEGUINTES REFERÊNCIAS NORMATIVAS:
  - AASHTO M167 - ESPECIFICAÇÃO PARA CHAPA DE AÇO CORRUGADA ESTRUTURAL, REVESTIDA DE ZINCO, PARA TUBULAÇÃO PARAFUSADA.
  - ASTM A760 - ESPECIFICAÇÃO PARA TUBOS DE AÇO CORRUGADO METÁLICO REVESTIDO PARA ESGOTOS E DRENAGEM.
  - ASTM A449 - ESPECIFICAÇÃO PARA PARAFUSOS SEXTAVADOS, PARAFUSOS E PREGOS, AÇO, TRATADO PELO CALOR, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO 120/105/90 ksi MÍNIMA, USO GERAL.
  - ASTM A307 - ESPECIFICAÇÃO PARA PARAFUSOS DE AÇO CARBONO E PREGOS, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO 60.000 psi.
  - ASTM A563 - ESPECIFICAÇÃO PARA PORCAS DE AÇO CARBONO.

**NOTAS:**

- COTAS E DIMENSÕES EM METRO, EXCETO INDICAÇÃO CONTRÁRIA;
- OS TUBOS DE CONCRETO ARMADO DEVERÃO ESTAR DE ACORDO COM A NORMA NBR 8890/2007 DA ABNT;
- PARA DETALHES DE BERÇOS E ASSENTAMENTO DE BUEIROS TUBULARES, VER DESENHO PP-DE-ENGELOG-186;
- TODOS OS BUEIROS EXISTENTES A SEREM UTILIZADOS, DEVERÃO SER LIMPOS, DESOBRUÍDOS E CASO NECESSÁRIO REFORMADOS;
- A FUNDAÇÃO DOS BUEIROS A SEREM IMPLANTADOS DEVERÃO SER VERIFICADOS POR TÉCNICO ESPECIALIZADO E APROVADO PELA FISCALIZAÇÃO DA OBRA;
- PARA DISPOSITIVOS DE DRENAGEM PADRÃO DNIT, VER ALBUM DE PROJETOS - TIPO DE DISPOSITIVO DE DRENAGEM (PUBLICAÇÃO IPR-736);
- PARA DISPOSITIVOS DE DRENAGEM PADRÃO ENGELOG, VER CADERNO DE PROJETO PADRÃO DE DRENAGEM DA ENGELOG;
- O TUBO DE PEAD DEVERÁ SER ENVOLVIDO POR SOLO COMPACTADO A 95% DO PROCTOR NORMAL ATÉ ALTURA MÍNIMA DE 30cm ACIMA DA GERATRIZ SUPERIOR E NA LARGURA MÍNIMA DE 30cm NAS LATERAIS DO TUBO.

**ABREVIações:**

- B(n)TC Ø = BUEIRO (\*) TUBULAR DE CONCRETO
- B(n)TM Ø = BUEIRO (\*) TUBULAR METÁLICO
- B(n)CC Ø = BUEIRO (\*) CELULAR DE CONCRETO
- \* n = NÚMERO DE LINHAS
- n = S (SIMPLES), D (DUPLO), T (TRIPLO), Q (QUÁDRUPLO)
- CX = CAIXA COLETORA
- PV = POÇO DE VISITA
- CT = CAIXA DE TRANSIÇÃO
- i = DECLIVIDADE (m/m)
- Ø = DIÂMETRO (m)
- G = COTA DO PONTO MAIS BAIXO DA GRELHA DA CAIXA COLETORA
- F = COTA DA GERATRIZ INFERIOR INTERNA DO TUBO OU FUNDO DA VALETA
- T = COTA DO TOPO DO POÇO DE VISITA/CAIXA

**DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:**

- VSL-386RS-325-345-DPL-EXE-DE-H2-001 A 035 - DUPLICAÇÃO - PROJETO DE DRENAGEM km 325+400 AO km 345+800

Rev.	Descrição	Data	Resp. Técnico/Projetista
1	EXCLUSÃO DA CAIXA COLETORA DO km326+831(P.N.)	24/07/2020	Homero V. de Menezes Côrtes - CREA:2001792638
0	EMISSÃO INICIAL	17/06/2020	Homero V. de Menezes Côrtes - CREA: 2001792638




PROJETISTA: SONDOTÉCNICA II RIS

TÍTULO: DUPLICAÇÃO  
PROJETO DE DRENAGEM - PERFIL DOS BUEIROS  
km 325+400 AO km 345+800

RODOVIA: BR-386/RS TRECHO: km 325+400 AO km 345+800

CÓDIGO VIA SUL: VS-BR386/RS-0325.40-DUP-A1-DR/DE/E-103.R1

Nº DESENHO ANTT: VSL-386RS-325-345-DPL-EXE-DE-H2-103-R01

ESCALA: 1:200 FOLHA: 03/38

**ANEXO G - Escavação Mecânica de Vala para Drenagem com Valetadeira em  
Material de 1ª Categoria**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul

FIC 0,03505

Custo Unitário de Referência

Janeiro/2022

Produção da equipe

13,74000 m³

2004504 Escavação mecânica de vala para drenagem com valetadeira em material de 1ª categoria

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9119 Minicarregadeira sobre pneus com valetadeira - 55,40 kW	1,00000	1,00	0,00	153,8118	62,3064	153,8118
				Custo horário total de equipamentos		153,8118
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	1,00000	h	18,3351		18,3351	
			Custo horário total de mão de obra		18,3351	
			Custo horário total de execução		172,1469	
			Custo unitário de execução		12,5289	
			Custo do FIC		0,4391	
			Custo do FIT		-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
			Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
			Custo total de atividades auxiliares			
			Subtotal		12,9680	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
				Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT		Custo Unitário	
			LN	RP	P	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total		12,97	

Obs:

**ANEXO H - Escoramento Contínuo de Valas com Tábuas de 2,5 x 30 cm e  
Longarinas de 6 x 16 cm**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul

## Custo Unitário de Referência

Janeiro/2022

Produção da equipe 1,00000 m²

2106292 Escoramento contínuo de valas com tábuas de 2,5 x 30 cm e longarinas de 6 x 16 cm - estroncas a cada metro não incluídas -

Valores em reais (R\$)

profundidade de até 4 m - madeira com utilização de 3 vezes - confecção, instalação e retirada

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
Custo horário total de equipamentos						
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9801 Ajudante	3,00000	h	19,8498		59,5494	
P9808 Carpinteiro	1,50000	h	22,9334		34,4001	
Custo horário total de mão de obra					93,9495	
Custo horário total de execução					93,9495	
Custo unitário de execução					93,9495	
Custo do FIC					-	
Custo do FIT					-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M1811 Longarina de madeira de primeira - L = 16 cm e E = 6 cm	0,40425	m	30,2262		12,2189	
M1205 Prego de ferro	0,08621	kg	12,8993		1,1120	
M0286 Tábua - E = 2,5 cm e L = 30 cm	1,51594	m	10,2666		15,5635	
Custo unitário total de material					28,8944	
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
Custo total de atividades auxiliares						
Subtotal						122,8439
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M1811 Longarina de madeira de primeira - L = 16 cm e E = 6 cm - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,00388	t	29,0000		0,1125
M1205 Prego de ferro - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,00009	t	29,0000		0,0026
M0286 Tábua - E = 2,5 cm e L = 30 cm - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,01137	t	29,0000		0,3297
Custo unitário total de tempo fixo					0,4448	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M1811 Longarina de madeira de primeira - L = 16 cm e E = 6 cm - Caminhão carroceria 15 t	0,00388	tkm	5914449	5914464	5914479	
M1205 Prego de ferro - Caminhão carroceria 15 t	0,00009	tkm	5914449	5914464	5914479	
M0286 Tábua - E = 2,5 cm e L = 30 cm - Caminhão carroceria 15 t	0,01137	tkm	5914449	5914464	5914479	
Custo unitário total de transporte						
Custo unitário direto total					123,29	

Obs:

**ANEXO I - Base ou Sub-base de Brita Graduada Tratada com Cimento com  
Brita Comercial**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul  
Janeiro/2022

FIC 0,01168

Produção da equipe 113,18000 m³

## Custo Unitário de Referência

4011278 Base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento com brita comercial

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9571 Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,34	0,66	284,3158	74,0046	145,5104
E9514 Distribuidor de agregados sobre pneus autopropelido - 130 kW	1,00000	1,00	0,00	237,0589	85,1935	237,0589
E9762 Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,65	0,35	198,5988	94,5700	162,1887
E9530 Rolo compactador liso vibratório autopropelido por pneus de 11 t - 97 kW	1,00000	0,52	0,48	176,1004	70,5875	125,4542
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>670,2122</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	1,00000	h	18,3351		18,3351	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>					<b>18,3351</b>	
<b>Custo horário total de execução</b>					<b>688,5473</b>	
<b>Custo unitário de execução</b>					<b>6,0836</b>	
<b>Custo do FIC</b>					<b>0,0711</b>	
<b>Custo do FIT</b>					<b>-</b>	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
<b>Custo unitário total de material</b>						
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416042 Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000	m³	193,5700		193,5700	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>					<b>193,5700</b>	
<b>Subtotal</b>					<b>199,7247</b>	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
6416042 Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m³	5914652	2,20000	t	2,6700	5,8740	
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>					<b>5,8740</b>	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
6416042 Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m³	2,20000	tkm	5914359	5914374	5914389	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>					<b>205,60</b>	

Obs:

## **ANEXO J - Base ou Sub-base de Macadame Hidráulico com Brita Comercial**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul  
Janeiro/2022

FIC 0,01168

Produção da equipe 84,62000 m³

## Custo Unitário de Referência

4011282 Base ou sub-base de macadame hidráulico com brita comercial

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9571 Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,76	0,24	284,3158	74,0046	233,8411
E9514 Distribuidor de agregados sobre pneus autopropelido - 130 kW	1,00000	1,00	0,00	237,0589	85,1935	237,0589
E9762 Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,88	0,12	198,5988	94,5700	186,1153
E9530 Rolo compactador liso vibratório autopropelido por pneus de 11 t - 97 kW	1,00000	0,71	0,29	176,1004	70,5875	145,5017
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>802,5170</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	1,00000	h	18,3351		18,3351	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>					<b>18,3351</b>	
<b>Custo horário total de execução</b>					<b>820,8521</b>	
<b>Custo unitário de execução</b>					<b>9,7005</b>	
<b>Custo do FIC</b>					<b>0,1133</b>	
<b>Custo do FIT</b>					<b>-</b>	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0808 Brita 4	1,26000	m³	91,3533		115,1052	
M1135 Pó de pedra	0,14000	m³	90,0236		12,6033	
<b>Custo unitário total de material</b>					<b>127,7085</b>	
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>					<b>Subtotal</b>	
					<b>137,5223</b>	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
M0808 Brita 4 - Caminhão basculante 10 m³	5914651	1,89000	t	2,0000	3,7800	
M1135 Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	5914651	0,21000	t	2,0000	0,4200	
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>					<b>4,2000</b>	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M0808 Brita 4 - Caminhão basculante 10 m³	1,89000	tkm	5914359	5914374	5914389	
M1135 Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	0,21000	tkm	5914359	5914374	5914389	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>						<b>141,72</b>

Obs:

## **ANEXO K - Imprimação com Asfalto Diluído**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul  
Janeiro/2022

FIC 0,00584

Produção da equipe 1.125,00000 m<sup>2</sup>

## Custo Unitário de Referência

4011351 Imprimação com asfalto diluído

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9509 Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/136 kW	1,00000	1,00	0,00	229,8513	66,3069	229,8513
E9558 Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	55,4014	37,8432	110,8028
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>340,6541</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	2,00000	h	18,3351		36,6702	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>					<b>36,6702</b>	
<b>Custo horário total de execução</b>					<b>377,3243</b>	
<b>Custo unitário de execução</b>					<b>0,3354</b>	
<b>Custo do FIC</b>					<b>0,0020</b>	
<b>Custo do FIT</b>					<b>-</b>	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0104 Asfalto diluído de petróleo - CM-30	0,00120	t	0,0000		0,0000	
<b>Custo unitário total de material</b>						
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>						
<b>Subtotal</b>					<b>0,3374</b>	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>						
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>					<b>0,34</b>	

Obs:

**ANEXO L - Concreto Asfáltico - Faixa C - Brita Comercial**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul  
Janeiro/2022

FIC 0,00584

Produção da equipe 84,66000 t

## Custo Unitário de Referência

4011471 Concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9762 Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,60	0,40	198,5988	94,5700	156,9873
E9681 Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,69	0,31	221,6583	79,1986	177,4958
E9545 Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	270,4131	119,4239	270,4131
<b>Custo horário total de equipamentos</b>						<b>604,8962</b>
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	8,00000	h	18,3351		146,6808	
<b>Custo horário total de mão de obra</b>					<b>146,6808</b>	
<b>Custo horário total de execução</b>					<b>751,5770</b>	
<b>Custo unitário de execução</b>					<b>8,8776</b>	
<b>Custo do FIC</b>					<b>0,0518</b>	
<b>Custo do FIT</b>					<b>-</b>	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
<b>Custo unitário total de material</b>						
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416213 Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial	1,02000	t	170,0400		173,4408	
<b>Custo total de atividades auxiliares</b>					<b>173,4408</b>	
<b>Subtotal</b>					<b>182,3702</b>	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
6416213 Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	5914646	1,02000	t	6,8500	6,9870	
<b>Custo unitário total de tempo fixo</b>					<b>6,9870</b>	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
6416213 Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa C - brita comercial - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	LN	RP	P	
			5914359	5914374	5914389	
<b>Custo unitário total de transporte</b>						
<b>Custo unitário direto total</b>					<b>189,36</b>	

Obs:

## **ANEXO M - Reaterro e Compactação com Soquete Vibratório**

## SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO

Rio Grande do Sul  
Janeiro/2022

Produção da equipe 3,11250 m³

Custo Unitário de Referência

4815671 Reaterro e compactação com soquete vibratório

Valores em reais (R\$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9647 Compactador manual com soquete vibratório - 4,10 kW	1,00000	1,00	0,00	10,6966	1,0068	10,6966
				Custo horário total de equipamentos		10,6966
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	2,00000	h	18,3351		36,6702	
			Custo horário total de mão de obra		36,6702	
			Custo horário total de execução		47,3668	
			Custo unitário de execução		15,2182	
			Custo do FIC		-	
			Custo do FIT		-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
			Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
			Custo total de atividades auxiliares			
			Subtotal		15,2182	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
				Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT		Custo Unitário	
			LN	RP	P	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total		15,22	

Obs:

**ANEXO N - Corpo de BSCC - Seção Fechada de 2,5 x 2,5 m - Pré-Moldado -  
Altura do Aterro de 1,00 a 2,50 m - Areia e Brita Comercial**

**SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO**  
**Custo Unitário de Referência**

 Rio Grande do Sul  
 Janeiro/2022

Produção da equipe 2,49000 m

**6817859 Corpo de BSCC - seção fechada de 2,5 x 2,5 m - pré-moldado - altura do aterro de 1,00 a 2,50 m - areia e brita comerciais**
**Valores em reais (R\$)**

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9660 Guindaste móvel sobre esteiras com capacidade de 40 t - 186 kW	1,00000	1,00	0,00	405,1464	202,1787	405,1464
				Custo horário total de equipamentos		405,1464
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	3,00000	h	18,3351		55,0053	
			Custo horário total de mão de obra		55,0053	
			Custo horário total de execução		460,1517	
			Custo unitário de execução		184,7999	
			Custo do FIC		-	
			Custo do FIT		-	
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
			Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
2003867 Aplicação de geotêxtil não-tecido agulhado com resistência à tração longitudinal de 31 kN/m	2,58283	m <sup>2</sup>	18,7700		48,4797	
1109669 Argamassa de cimento e areia 1:3 - confecção em betoneira e lançamento manual - areia comercial	0,14748	m <sup>3</sup>	434,6000		64,0948	
1106057 Concreto magro - confecção em betoneira e lançamento manual - areia e brita comerciais	0,32000	m <sup>3</sup>	363,0700		116,1824	
6817783 Confeção de BSCC - seção fechada de 2,5 x 2,5 m - altura do aterro de 1,00 a 2,50 m - areia e brita comerciais	1,00000	m	2.375,6500		2.375,6500	
			Custo total de atividades auxiliares		2.604,4069	
			Subtotal		2.789,2068	
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
6817783 Confeção de BSCC - seção fechada de 2,5 x 2,5 m - altura do aterro de 1,00 a 2,50 m - areia e brita comerciais - Cavalos mecânicos com semirreboque 22 t	4,39720	tkm	5914635	5914636	5914637	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total			2.789,21

Obs: