

AISLAN RANDER SANTOS

**Bueiros de drenagem:
Análise da viabilidade de passagem de
peixes**

Dissertação de Mestrado

Departamento de Engenharia Civil

Belo Horizonte, outubro de 2017

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Aislan Rander Santos

BUEIROS DE DRENAGEM:

Análise da viabilidade de passagem de peixes

BELO HORIZONTE

2016

AISLAN RANDER SANTOS

**BUEIROS DE DRENAGEM:
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PASSAGEM DE PEIXES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Hersília de Andrade e Santos

Profa. Dra. Hersília de Andrade e Santos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG

Edna Maria de Faria Viana

Profa. Dra. Edna Maria de Faria Viana

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, UFMG

Raoni Rosa Rodrigues

Dr. Raoni Rosa Rodrigues

Pesquisador Associado Centro de Transposição de Peixes/ UFMG

Belo Horizonte, 23 de novembro de 2016

Santos, Aislan Rander
S237b Bueiros de drenagem: análise da viabilidade de passagem de
peixes. / Aislan Rander Santos. -- Belo Horizonte, 2017.
137. : il.

Dissertação (mestrado) -- Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. 2016.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Hérsília de Andrade e Santos

Bibliografia

1. Drenagem de Rodovias. 2. Bueiros. 3. Peixes. I. Santos,
Hérsília de Andrade e. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais. III. Título

CDD 625.734

DEDICATÓRIA

Esta dissertação é dedicada à minha família: esposa Daniela Solano que participou de todos os momentos ao meu lado, e mesmo nos momentos difíceis manteve apoio incondicional e incentivo constante. Minha filha Clara, que mesmo no ventre de sua mãe, já motiva este casal a seguir lutando por vitórias maiúsculas. Meus pais, Ernani Santos e Fátima Santos, que se orgulham de meus passos e que mesmo na simplicidade, viram que na educação poderiam ofertar um futuro melhor. Aos meus irmãos, Ernani Daniel e Erlan Samuel, que seguiram meus passos e vivem engenhando. Aos demais familiares, brasileiros e chilenos, que sempre se preocuparam com meu desenvolvimento no mestrado.

À equipe do CEFET-MG, aos professores do Departamento de Engenharia Civil, por compartilhar conhecimento e disponibilidade, em especial minha orientadora Hersília Andrade e Santos, que me aceitou como orientado, contribuiu para meu crescimento intelectual e me indicou um norte como pesquisador e acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por dar-me saúde e capacidade de vencer este desafio, chegando a lugares que em minha juventude, jamais poderia ter imaginado alcançar. Minha família e parceiras (Dani e Clarinha) que nortearam minha vida, agregando esperança e amor.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, pela oportunidade, pela oferta de ensino altamente qualificado, pelo financiamento de meu estudo de mestrado e pesquisa científica.

Agradeço ao Diretor e Professor Flávio Antônio dos Santos, pelo apoio e confiança em meu potencial me direcionando a voos maiores como pesquisador.

Agradecimento especial à orientadora Hersília Andrade e Santos, professora, parceira e conselheira. Dedicou tempo, paciência com o novato, abriu caminhos neste mundo novo científico e me incentivou a seguir em frente, a acreditar que voos maiores são possíveis a partir de empenho, dedicação e garra. Neste espaço cabe um pedido de desculpas por todas as vezes que os conceitos demoravam a amadurecer e também pelas inúmeras mensagens e chamadas para solução das adversidades. Sem seu apoio e conhecimento esta vitória não seria possível.

Aos professores da banca de qualificação, Profa. Edna Maria de Faria Viana (agradecimento especial pelo apoio dedicado no XXVII Congresso Latinoamericano de Hidráulica) e Prof. Luiz Gustavo Martins da Silva que assustaram com absurdos do iniciante no assunto de passagem de peixes por bueiros e contribuíram (e muito) para o direcionamento do trabalho. Na defesa, novamente a parceria da Professora Edna e do Professor Raoni Rodrigues, que agregaram conhecimento para a conclusão deste trabalho.

Aos companheiros de curso, novamente cito minha esposa Daniela (companheira de todas as atividades coletivas), os parceiros Francisco Aracena (nos estudos de bueiros), Caroline Wajdowicz, Himad Alcamand, Katherine Hernandez e Zargos Vasconcelos (nos estudos e nas risadas), George Yun (pelo apoio técnico junto ao DNIT) e não menos importantes os demais colegas, que nos momentos difíceis, de resultados imediatos sempre compartilharam seu tempo e saber.

Agradeço a Engenheira Marília Fernandes Zazá Von Dollinger (ANTT/ DNIT) pelo apoio técnico e disponibilização de material para localização dos bueiros para a investigação.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

A construção de rodovias é uma ação antrópica que age na alteração do relevo e cursos de águas superficiais por sistemas de drenagem. Estes podem ser do tipo ponte ou bueiros, sendo que este último é capaz de alterar significativamente as características físicas e morfológicas do trecho aonde foi instalado no curso d'água. Desta forma, impactos à conectividade do rio e consequentemente à passagem de peixes podem ser criados quando bueiros são introduzidos em rios. No Brasil, estudos que diagnosticam estes impactos são raros. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições físicas e hidráulicas de bueiros verificando o índice de conectividade e a possibilidade de passagem de peixes nos mesmos. Para isto, a pesquisa de campo ocorreu no mês de março de 2016 com 44 bueiros localizados nas rodovias federais, BR040 e BR381, localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Foram avaliados os desníveis a jusante das estruturas, a altura da lâmina d'água, a presença de obstrução e estado de conservação, a declividade e o comprimento dos bueiros selecionados. A análise das vazões foi realizada através do Atlas das Águas de Minas e das plantas das rodovias. Um índice de conectividade foi calculado com base nas informações coletadas. Os resultados mostraram que os bueiros investigados foram projetados apenas com foco hidráulico, não permitindo a conectividade durante o período amostrado. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, 68% ($n^{\circ}_{amostras} = 30$) de bueiros foram considerados potencialmente intransitáveis e 32% ($n^{\circ}_{amostras} = 14$) parcialmente transitável para fauna aquática local. Soma-se a isto questões de baixa quantidade de água (vazão inferior a vazões mínimas de referência nos trechos estudados). Assim, sugere-se a melhoria destas condições de passagem através da revisão de projetos rodoviários de drenagem e instalação anexa de possíveis bueiros adaptados para passagem de peixes.

Palavras-Chave: Comportamento hidráulico; Região Metropolitana de Belo Horizonte; Rodovias Federais.

ABSTRACT

The highway construction is an anthropic action that acts on the alteration of the relief and superficial water courses by drainage systems. These may be bridge or culverts, which is able to change significantly the physical and morphological characteristics of the river stretch. Therefore, impacts to the river connectivity and consequently the passage of fish can occur due to culverts introduction. Studies which describe such impacts are rare in Brazil. The main objective of this work was to evaluate the physical and hydraulic conditions of culverts verifying the connectivity index and the possibility of fish passage in them. For this, the field survey occurred in the month of March 2016 with 44 culverts located on the federal highways, BR040 and BR381, located in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, Minas Gerais. The slopes of the structures, the height of the water table, the presence of obstruction and conservation status, the slope and the length of the selected culverts were evaluated. The flow analysis was performed from information of “Atlas das Águas de Minas” and design of highways. The connectivity index was calculated based on sample information. The results show that the investigated culverts design considers only the hydraulic approaches, no allowing rivers connectivity during the sample season. In the Metropolitan Region of Belo Horizonte, 68% (n° samples = 30) of culverts were considered potentially impassable and 32% (n° samples = 14) Partially passable for local aquatic fauna. Some of them had water amount lower than minimum reference flows. We suggest the improvement of the passage conditions through road drainage projects revision and the annexed installation of possible adapted culverts for fish passage.

Key-words: Hydraulic behavior; Metropolitan Region of Belo Horizonte; Federal Highways.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ranking de qualidade das rodovias dos países da América do Sul (2015).....	23
Figura 2 - Avaliação das principais rodovias Brasileiras	23
Figura 3 - Traçado BR 381.....	24
Figura 4 - Traçado BR 040.....	24
Figura 5 - Dispositivos da drenagem de talwegues.	26
Figura 6 – Bueiros: (a) sumidouro de água; (b) corrugado com passagem seca formada por pedras na lateral; (c) armco com borda em concreto na entrada e entorno em pedras, para melhor visualizacao.	26
Figura 7 - Ponte para transposição em cursos d'água de grande porte.....	27
Figura 8 - Exemplo de pontilhão específico para trânsito de pedestres.....	27
Figura 9 – (a) valeta de proteção com material apilado; (b) Tipos de cortes para valeta de proteção.	28
Figura 10 – Posição das bases drenantes em relação à elementos do pavimento.....	29
Figura 11–Modelos de dreno longitudinais profundos.	30
Figura 12 – (a) Canal para peixes do tipo Denil, (b) vista lateral, (c) vista frontal de dois tipos de septos.	35
Figura 13 – MTP do tipo escada para peixes de Denil.	36
Figura 14 - Perfil de escoamento e linha d'água sobre vertedouros.	37
Figura 15 - MTP do tipo ranhura vertical no Rio Dordogne, França.	38
Figura 16 - Elevador para peixes.	39
Figura 17 – (a) Elevador para peixes tipo teleférico e (b) caminhão tanque.	40
Figura 18–MTP tipo elevador Central Hidrelétrica no Rio Santa Magdalena (Lérida, Espanha).	41
Figura 19 - Esquema de funcionamento do MTP tipo Eclusa.....	42
Figura 20 - Canais artificiais.	43
Figura 21 - Canal Seminatural.....	44
Figura 22 - Bueiro para passagem de peixes.	45

Figura 23—Contraste: passagem de peixe pelo Ecobueiro e bueiro intransponível.	46
Figura 24 - Bueiros adaptados com defletores para passagem de peixes.	47
Figura 25 - Modelo de bueiro modificado com defletores offset (OB).	47
Figura 26 - Descanso dos peixes atrás do defletor perpendicular e visão geral com fluxo raso.	48
Figura 27 – Fundo de bueiro com defletores do tipo spoiler.....	49
Figura 28 - Exemplos de bueiros com defletores slotted weir.	51
Figura 29 - Modelo hidráulico do bueiro com defletor tipo slotted-weir.	51
Figura 30 - Exemplos de bueiros com defletores weir.....	52
Figura 31 –vista em planta (topo) e seção transversal (parte inferior) de defletores slotted Weir.	53
Figura 32 - Visão dos pontos de conforto para peixes no bueiro Stair Pipe.	54
Figura 33 - Área de investigação.	55
Figura 34 - Projeto DNER (1978) relativo à BR 040.	56
Figura 35 - Rodovias (BR040 e BR381) da região metropolitana de Belo Horizonte- MG....	57
Figura 36 – Localização dos bueiros pesquisados.	58
Figura 37 - Distribuição aleatória dos 22 bueiros (BR040) e 22 bueiros (BR381)	59
Figura 38 - Formulário para pesquisa de campo.	60
Figura 39 - Medições com fita métrica convencional e a laser.	61
Figura 40 - Mapa de vazões dos rios Paraopeba (SF3) e das Velhas (SF5).....	63
Figura 41 - Classificação hidráulica dos bueiros investigados.....	67
Figura 42 - Comparativo entre os comprimentos de bueiros nas BR's 040 e 381.....	68
Figura 43 - Nível de obstrução (sedimentos, lixos, outros) dos bueiros.....	68
Figura 44 - Grau de conservação dos bueiros	69
Figura 45 - Cálculo das declividades	69
Figura 46 - Nível da lâmina d'água.....	70
Figura 47 - Velocidades médias dos bueiros pesquisados	70
Figura 48 - Altura de degraus a jusante dos bueiros investigados da BR040	71

Figura 49 - Altura de degraus a jusante dos bueiros investigados da BR381	71
Figura 50 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão máx. 10 anos	72
Figura 51 – Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão média de longo prazo.....	72
Figura 52 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e 70% da vazão 7,10	73
Figura 53 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão de referência com valores $\geq$ durante 95% do tempo	74
Figura 54 - Comparativo: vazão bueiros BR040 e vazão máx. 10 anos	74
Figura 55 – Comparativo: vazão bueiros BR040 e vazão média de longo prazo.....	75
Figura 56 - Comparativo: vazão bueiros BR040 e 70% da vazão 7,10	75
Figura 57 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão de referência com valores $\geq$ durante 95% do tempo	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de rugosidade Manning	62
Tabela 2 - Classificação e pontuação dos bueiros quanto à possibilidade de passagem de peixes	64
Tabela 3 - Bueiros rodovias BR040 e BR381 indicados por quilometragem	66
Tabela 4 - Estudo do índice de conectividade nos bueiros da BR040	77
Tabela 5 - Estudo do índice de conectividade nos bueiros da BR 381	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIL	Atlantic Industries Limited
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
BCMF	British Columbia Ministry of Forests
BR(s)	Rodovia(s) Federal Brasileira
CALTRANS	California Department of Transportation
CEFET–MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Máx.	Máximo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTP(s)	Mecanismo(s) de Transposição de Peixes
PMP	Prefeitura Municipal de Pelotas
$Q_{7,10}$	Vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência
Q_{95}	Vazão com permanência de 95%
Q_{bueiro}	Vazão investigada no bueiro
$Q_{\text{máx}10}$	Vazão máxima de 10 anos
$Q_{\text{máx}50}$	Vazão máxima de 50 anos
$Q_{\text{máx}100}$	Vazão máxima de 100 anos

$Q_{m\acute{a}x500}$	Vazão máxima de 500 anos
Q_{mlp}	Vazão média de longo prazo
OB	Offset baffle
SPB	Spoiler baffle
SWB	Slotted-weir baffle
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SAGA	Sistema Simplificado de Apoio à Gestão das Águas
WB	Weir baffle

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔH	Coeficiente de amplitude altimétrica
Cm	Centímetros
D	Diâmetro
D_f	Altura da lâmina d'água
E	Energia
H_p	Altura do degrau a jusante
I_c	Índice de conectividade
L	Comprimento
M	Metros
Mm	Milímetros
m/s	metros por segundo
m^3/s	metros cúbicos por segundo
n	Coeficiente de rugosidade de Manning
$N^{\circ}_{amostra}$	Número de bueiros investigados
Q	Vazão, fluxo de escoamento hidráulico no canal
R	Raio hidráulico (m). O raio hidráulico é a razão entre a área e o perímetro molhado.
S	Declividade ou Inclinação (m/m)
V	Velocidade média da água (m/s)
W/m^3	Potência por metro cúbico
X	elemento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivos.....	21
1.1.1 Objetivo Geral.....	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Importância das rodovias brasileiras	22
2.1.1 Rodovia Fernão Dias (BR 381).....	23
2.1.2 Rodovia Presidente Juscelino Kubitschek (BR 040).....	24
2.2 Drenagem em rodovias.....	25
2.2.1 Drenagem de transposição de talvegues.....	25
2.2.2 Drenagem Superficial.....	28
2.2.3 Drenagem de pavimento	29
2.2.4 Drenagem subterrânea ou profunda	29
2.2.5 Drenagem de travessia urbana	30
2.3 Estudo da passagem de peixes	31
2.3.1 Conectividade de rios e problemas para a passagem de peixes por bueiros.....	31
2.3.2 Mecanismo de transposição de peixes.....	33
3. METODOLOGIA	55
3.1 Área de estudo e período amostral.....	55
3.2 Protocolo de coleta de dados	59
3.3 Cálculo das variáveis hidráulicas	61
3.4 Obtenção das informações hidrológicas dos cursos d'água selecionados.....	62
3.5 Estudo do índice de conectividade nos bueiros	64
4. RESULTADOS	66
4.1 Seleção dos bueiros	66
4.2 Estudos hidráulicos dos bueiros.....	66

4.3 Estudo comparativo entre as vazões nos bueiros e nas bacias hidrográficas	72
4.4 Estudo do índice de conectividade nos bueiros	76
5. DISCUSSÃO	79
6. CONCLUSÕES.....	81
7. RECOMENDAÇÃO PARA ESTUDOS FUTUROS	82
APÊNDICE	83
REFERÊNCIAS.....	128

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente é um sistema complexo composto por diversos fenômenos temporais, com múltiplas fases e distintas propriedades (ODUM & BARRETT, 1971). Ações antrópicas, como a criação de cidades, rodovias, barragens, atividades agrícolas, dentre outras ocupações do solo são formas do homem se adaptar ao habitat, alterando as características do ambiente natural. (ROBAINA, 2008). Alguns destes impactos podem ser absorvidos pelo ambiente, devido à capacidade de auto regulação interna dos ecossistemas (CUNHA *et al.*, 2010). No entanto, a maior parte acarreta degradação ao meio ambiente.

O impacto ambiental é definido como toda alteração de propriedades físicas, química e biológicas sobre o meio ambiente. Originado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das ações antrópicas, que interage direta ou indiretamente, afetando fatores como a saúde, a segurança e o bem-estar da população, atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Os cursos d'água possuem fundamental importância para o desenvolvimento do ser humano. Este ambiente é utilizado de forma global com distintas finalidades, como o abastecimento de água, a geração de energia, irrigação, navegação, aquicultura e harmonia paisagística (SPERLING, 1993). Os recursos hídricos são ameaçados pela intervenção do homem, que causa danos irreparáveis aos cursos d'água (poluição, barragens, mineração, dentre outros impactos), impossibilitando o processo de autodepuração do ambiente afetado e ainda redução dos volumes hídricos disponíveis e perda de qualidade (CUNHA *et al.*, 2010).

A construção de rodovias é uma ação antrópica que age na alteração do relevo e cursos de águas superficiais por sistemas de drenagem do tipo ponte (estrutura indicada para transpor talwegues onde a instalação de bueiros e pontilhões é impossibilitada) e os bueiros (que permitem o fluxo do curso d'água através de condutos simples, geralmente retilíneos e de comprimento limitado, porém com grande possibilidade de geração de impactos hidráulicos e a ictiofauna) (ARMSTRONG *et al.*, 2004; BAPTISTA & LARA, 2010; RAFAEL *et al.*, 2013).

Os bueiros são a alternativa mais atraente para cruzamento de cursos d'água por rodovias quando são observados os fatores de redução de custos de construção e manutenção. Sua

instalação pode modificar condições de fluxo, composição de substrato e condição de iluminação em relação ao curso natural (LARINIER, 2002).

A fragmentação dos cursos d'água, gerada por obstáculos, alteração e degradação do habitat afeta negativamente as populações de peixes, ocasionando o aumento da perda de variabilidade genética e risco de extinção por meio crescimentos demográficos, ambientais e genéticos (PEÑÁZ *et al.*, 1999). No caso de bueiros mal projetados, executados e não conservados, estes acabam sendo obstáculos intransitáveis à passagem de peixes de peixes (MAKRAKIS *et al.*, 2012). Pensando nesta situação de obstrução ao deslocamento ascendente de peixes, foram desenvolvidos bueiros modificados com estruturas defletoras que possibilitam o funcionamento hidráulico e permitem o trânsito de peixes (TOMAZ, 2015). Para a construção de uma estrutura de drenagem apropriada para a passagem de peixes é necessária a avaliação do habitat destes indivíduos e análise do modelo de bueiro que melhor atenderia o gradiente de fluxo (BCMF, 2002).

Existem vários estudos de bueiros modificados para favorecer o trânsito da ictiofauna por estas estruturas. Em destaque está o sistema de bueiros com defletores offset, de compensação desenvolvido por McKinley e Webb nos EUA (1956), o sistema com defletores do tipo *spoiler* criado por Engel no Canadá (1974), o sistema de defletores laterais produzido por Watts, nos EUA, também no ano de 1974 e o sistema de represamento para peixes por defletores elaborado por Rajaratnam *et al.* (1986) em Alberta, Canadá (RAJARATNAM *et al.*, 1988).

Makrakis *et al.* (2012) desenvolveu suas pesquisas na região Oeste do Estado do Paraná, mais precisamente em um raio de 25 km da cidade de Toledo, observando a condição hidráulica de bueiros (circulares, metálicos e tipo caixa) e a possibilidade de passagem de peixes na região. A avaliação dos bueiros baseou-se em estruturas que apresentaram condições favoráveis ou impróprias para o deslocamento dos peixes, as que demonstraram risco elevado à migração devido a altas velocidades, com ausência de áreas de remanso e acesso inacessível.

O trabalho de Makrakis *et al.* (2012) motivou a realização desta pesquisa, sendo ele um estudo semelhante em bueiros de drenagem em duas rodovias do estado de Minas Gerais, partindo da interseção das Rodovia Fernão Dias - BR 381 e BR 040. Partindo da cidade de Belo Horizonte (BR 381, Km 460) até o município de Sapecado (BR 381, Km 591) e de Belo Horizonte (BR 040, Km 538) até o município de Congonhas (BR040, Km 618).

Para isso, a presente pesquisa realizou uma análise “*in loco*” de 44 estruturas de drenagem do tipo bueiros nas duas rodovias citadas da região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, sendo avaliadas quanto aos parâmetros construtivos, hidráulicos e quanto à manutenção das mesmas. Assim, espera-se obter um diagnóstico destas estruturas quanto ao impedimento ou não das mesmas às espécies de peixes locais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a viabilidade de deslocamento de peixes com base nas condições hidráulicas e de possíveis problemas (lixos, degraus, etc) encontrados em bueiros de drenagem. Assim, este trabalho vem em busca de respostas para a seguinte pergunta: **“Os bueiros executados nos trechos monitorados possibilitam o deslocamento de peixes”?**

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as condições hidráulicas e possíveis obstruções dos bueiros de drenagem, relacionados ao deslocamento de peixes;
- Coletar informações do comportamento hidráulico dos bueiros selecionados na BR 040 e BR381, comparando as vazões obtidas em campo (Q_{bueiro}) às vazões típicas (Q_{mlp} , $Q_{7,10}$, Q_{95} , $Q_{\text{max}10}$), analisando a provável adequação dos mesmos ao deslocamento de peixes;
- Propor um índice de provável deslocamento de peixes nos bueiros em função das condições hidráulicas e possíveis problemas (lixo, degraus...) encontrados nas estruturas vistoriadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância das rodovias brasileiras

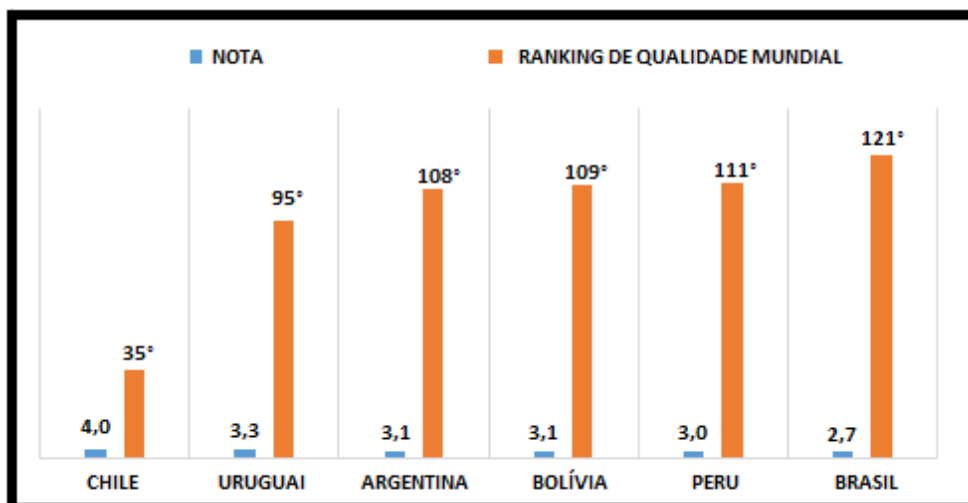
No Brasil, o modal rodoviário é responsável por aproximadamente 61% do transporte de passageiros e cerca de 52% do deslocamento de cargas. Isso representa números próximos a 96% da matriz de transportes nacional (CNT, 2014). O sistema rodoviário possui elevada conectividade com os demais modais, sendo um sistema indicado principalmente para a distribuição nos centros urbanos, com transferências em pequenas distâncias (XAVIER FILHO, 2006). Quando comparado a outros modais, apresenta vantagens relativas à sua flexibilidade e facilidade de acesso em pontos de embarque e desembarque de cargas e passageiros (CNT, 2014).

Sua desvantagem está ligada à ocorrência de “gargalos” das principais artérias dos grandes centros urbanos. Os congestionamentos são geradores de redução de desempenho, desgaste de frota, que elevam os custos operacionais, como também é responsável por impactos ambientais como os relacionados aos índices de poluição (RODRIGUES, 2004).

De acordo com o Ministério de Transportes (DNIT, 2014), a malha rodoviária brasileira possui 1,7 milhões de quilômetros de estradas. Destes, 7% a jurisdição é Federal, 15% é administração Estadual e a maior fatia é de responsabilidade municipal 78%. Existe um desequilíbrio entre as rodovias não pavimentadas (79%) e pavimentadas (12%).

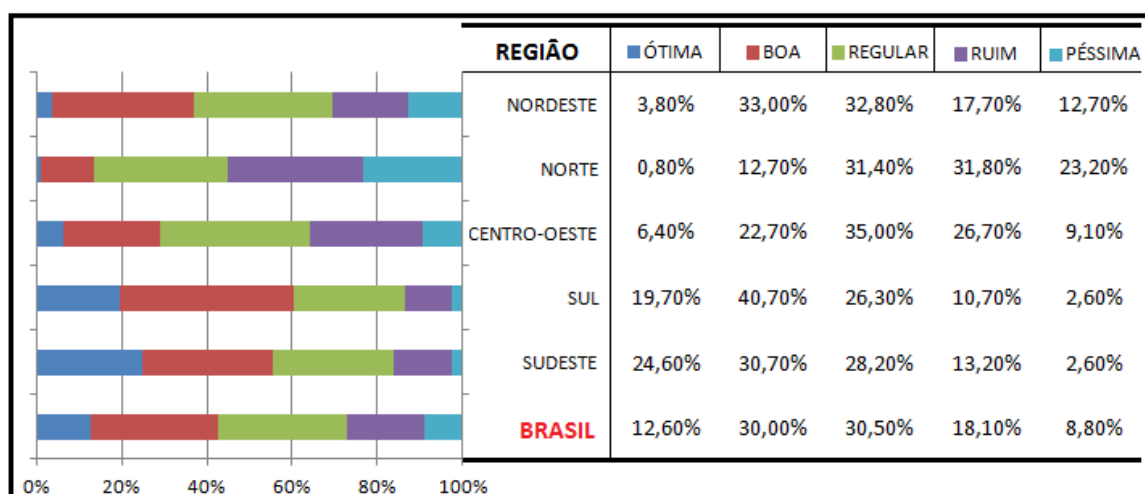
A Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2015) apresentou uma avaliação da qualidade de rodovias do Brasil e de países da América do Sul (FIGURA 1). Verifica-se que a qualidade em média das rodovias brasileiras é inferior a qualidade de rodovias no Peru e Bolívia. O padrão de qualidade das rodovias varia no âmbito nacional e regional (FIGURA 2), apresentando as regiões norte, nordeste e centro-oeste os piores resultados.

Figura 1 - Ranking de qualidade das rodovias dos países da América do Sul (2015)



Fonte: CNT (2015).

Figura 2 - Avaliação das principais rodovias Brasileiras

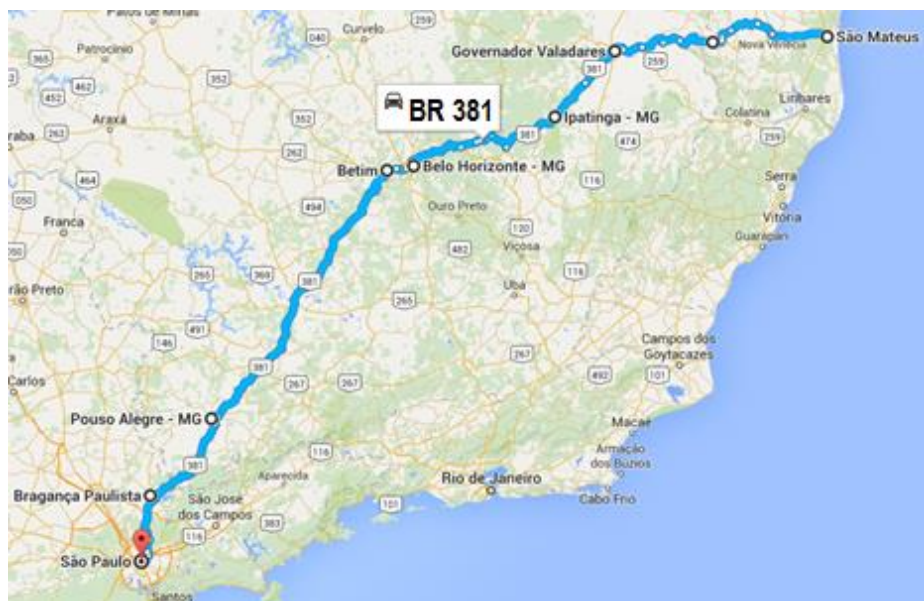


Fonte: Adaptação, números da CNT (2015).

2.1.1 Rodovia Fernão Dias (BR 381)

A Rodovia Fernão Dias (BR 381) é classificada como uma rodovia diagonal orientada na direção geral Nordeste-Sudoeste. Seu trecho possui 1.169,3 Km (FIGURA 3) e une cidades como: São Mateus, Nova Venécia, Barra de São Francisco, Mantena, Central de Minas, Divino das Laranjeiras, Governador Valadares, Ipatinga, Belo Horizonte, Betim, Pouso Alegre, Bragança Paulista e São Paulo (DNIT, 2016).

Figura 3 - Traçado BR 381

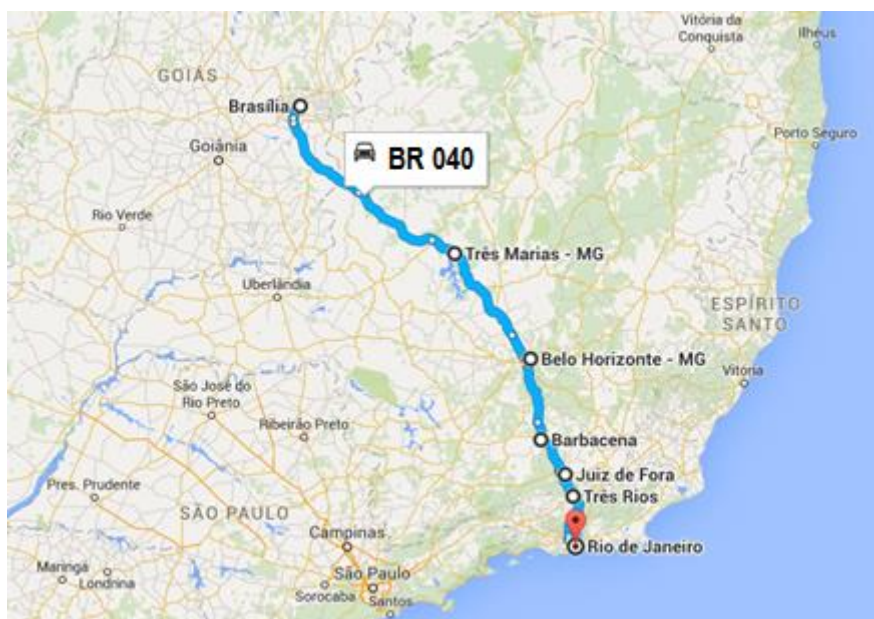


Fonte: Google Maps, 2016.

2.1.2 Rodovia Presidente Juscelino Kubitschek (BR 040)

A Rodovia Presidente Juscelino Kubitschek (BR 040) é classificada como uma rodovia radial, aquela que parte da capital federal em direção aos extremos do país. Seu trecho possui 1.139,3 Km (FIGURA 4) e une cidades como: Brasília, Três Marias, Belo Horizonte, Barbacena, Juiz de Fora, Três Rios e Rio de Janeiro (DNIT, 2016).

Figura 4 - Traçado BR 040.



Fonte: Google Maps, 2016.

2.2 Sistema de drenagem em rodovias

O homem, em sua história, sempre precisou criar artifícios para superar obstáculos em busca de alimento e abrigo. Após a observação de troncos que caíam de forma natural sobre os cursos d'água, surgiu a ideia do desenvolvimento das primeiras estruturas de drenagem, como pontes de madeira (MIRANDA & MACEDO, 2010).

No Brasil, os dois modais de transporte que mais desenvolveram foram o rodoviário e o ferroviário. Porém, durante o processo de construção destes, os rios tornam-se uma barreira natural para sua construção. Assim, se faz necessária a construção de pontes, pontilhões ou bueiros que permitam a passagem de automóveis, caminhões e trens (BORTOLUZZI, 2012).

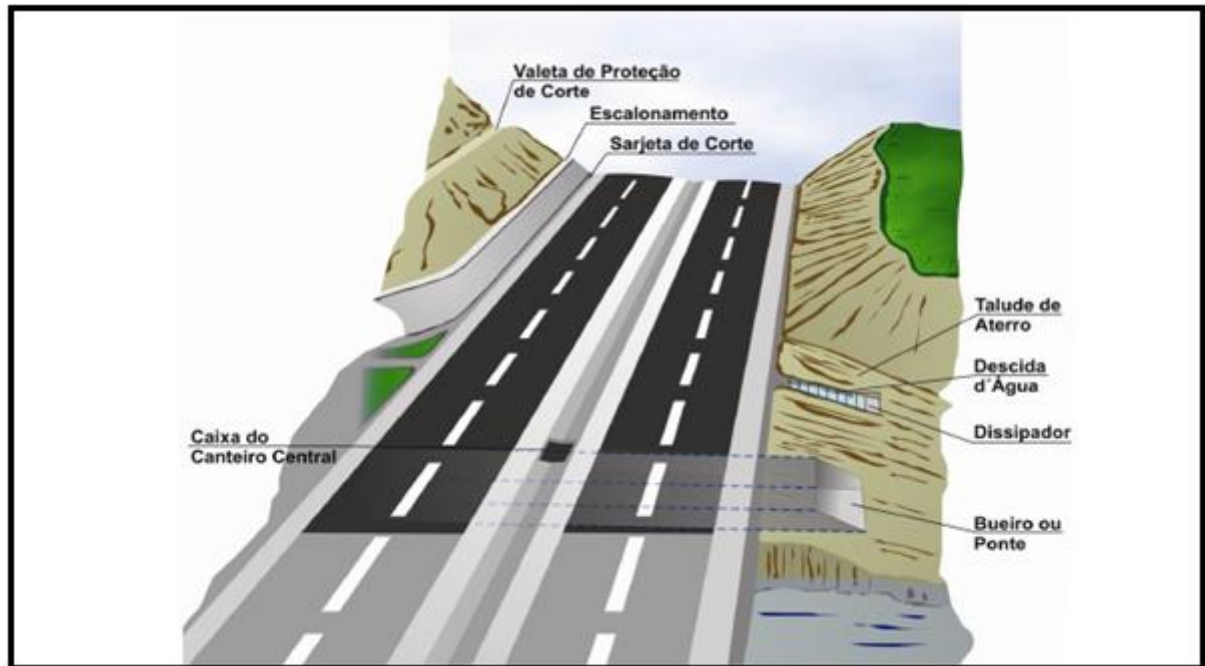
A função do sistema de drenagem é prever o rápido e efetivo escoamento da água, objetivando a redução de danos causados por águas livres em plataformas, taludes, ruas e rodovias (PEREIRA, 2003). A elaboração de um sistema de drenagem parte da análise hidrológica da capacidade de mananciais, previsão e interpretação de variações na quantidade e qualidade das águas naturais (DELGADO, 2008).

Para a elaboração de um projeto de drenagem são necessárias avaliações de princípios básicos condicionantes. Os estudos hidrológicos que indicam a descarga hidráulica em cada ponto são fundamentais para fixar seções e condições de escoamento. Os projetos geométricos e de terraplenagem possibilitam arquitetar as obras de drenagem e esboçar estudos complementares futuros. Para isso, os estudos topográficos determinam a implantação do sistema de drenagem, juntamente aos estudos geotécnicos que apresentam características dos materiais envolvidos e condições da futura fundação (DNIT, 2012).

2.2.1 Drenagem de transposição de talvegues

A drenagem de transposição de talvegues é composta por bueiros, pontes e pontilhões (FIGURA 5), através do estudo de obstruções parciais de vazão (DNIT, 2006). Estas estruturas funcionam como um facilitador à transposição dos cursos d'água de modo a não atingir o corpo da rodovia ou ferrovia e sem comprometer o desempenho mecânico e a estabilidade dos materiais envolvidos (MIRANDA *et al.*, 2005).

Figura 5 - Dispositivos da drenagem de talvegues.



Fonte: PATRIZZI, 2013, p. 19.

Os bueiros são estruturas que possibilitam o trânsito livre dos cursos d'água na área de rodovias e ferrovias (FIGURA 6), sendo composto por bocas (soleira, muro de testa e alas), responsáveis pela admissão e lançamento, nos sentidos montante e jusante. O corpo está situado na região sob os cortes e aterros (DNIT, 2006).

Figura 6 – Bueiros: (a) sumidouro de água; (b) corrugado com passagem seca formada por pedras na lateral; (c) armco com borda em concreto na entrada e entorno em pedras, para melhor visualizacão.



Fonte: BRIGGS, 2014; CALTRANS, 2009; AIL, 2015.

Para o bom funcionamento hidráulico dos bueiros, devem ser avaliados fatores como: vazão, velocidade e declividade crítica destas estruturas.

As pontes (FIGURA 7) são estruturas denominadas obras-de-arte especiais apropriadas para a travessia de rodovias e/ou ferrovias sobre cursos d'água de grande porte, em situações onde é

impossível a instalação de bueiro e pontilhões. As pontes são estruturas complexas, vencendo maiores extensões. Portanto é de fundamental importância o dimensionamento rigoroso (DNIT, 2006).

Figura 7 - Ponte para transposição em cursos d'água de grande porte.



Fonte: TOMAZ, 2013.

Os pontilhões (FIGURA 8) são utilizados para transposição de talvegues em situações que é impossibilitada a instalação de bueiros, sendo opção para casos de baixo risco de destruição estrutural ou interrupção de tráfego (DNIT,2006).

Figura 8 - Exemplo de pontilhão específico para trânsito de pedestres.



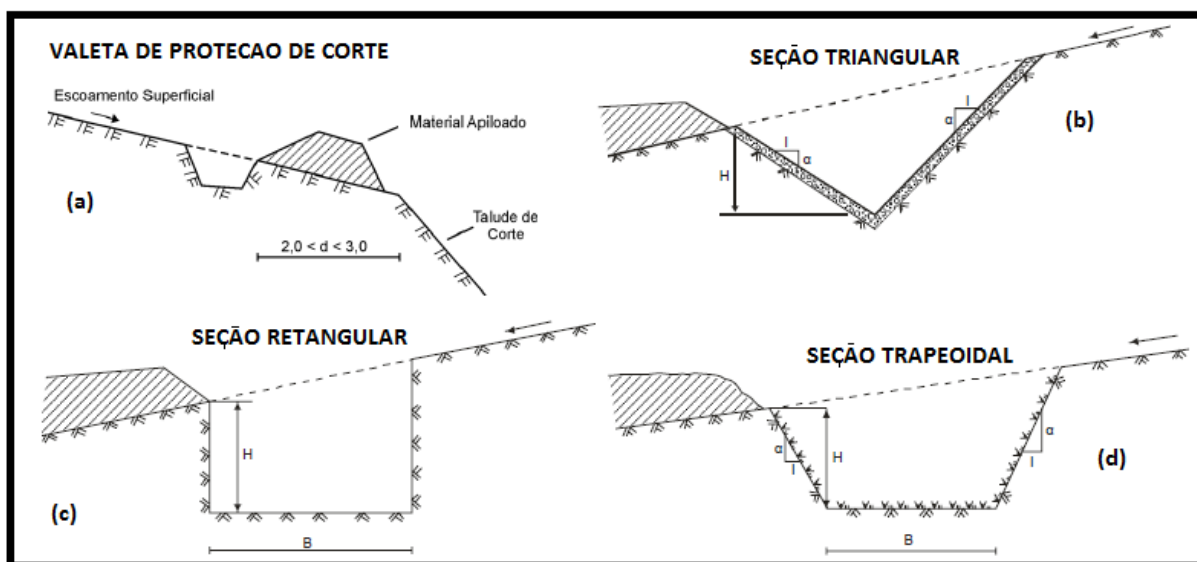
Fonte: PMP, 2015.

A drenagem de grotas é composta de galerias ou bueiros tubulares (concreto e metálico), celulares (concreto e pré-moldados), sendo dimensionados como condutos livres ou forçados e são mais comuns em rodovias (DELGADO, 2008). Para o estudo das frequências hidráulicas, os totais precipitados são apresentados no tempo de recorrência (período de retorno) de 10 a 25 anos e 50 anos (como orifício), período este referente ao risco de que esta estrutura possa falhar no período de sua vida útil (CARVALHO & SILVA, 2006; JABÔR, 2007).

2.2.2 Drenagem Superficial

Este tipo de drenagem é composto por valetas (de proteção de corte e aterro do canteiro central, como mostra a FIGURA 9), sarjetas de corte e aterro, descidas e saídas d'água, caixas coletoras, corta-rios, dissipadores de energia, escalonamento de taludes, drenagem de alívio de muros de arrimo e ainda definição de elementos geométricos para seções circulares de canais (DNIT, 2006). São destinadas à coleta de águas precipitadas em estruturas antrópicas como plataformas, taludes ou pistas de rolamento e volume coletado é direcionado para pontos de escoamento natural e seguro (DELGADO, 2008).

Figura 9 – (a) valeta de proteção com material apilado; (b) Tipos de cortes para valeta de proteção.



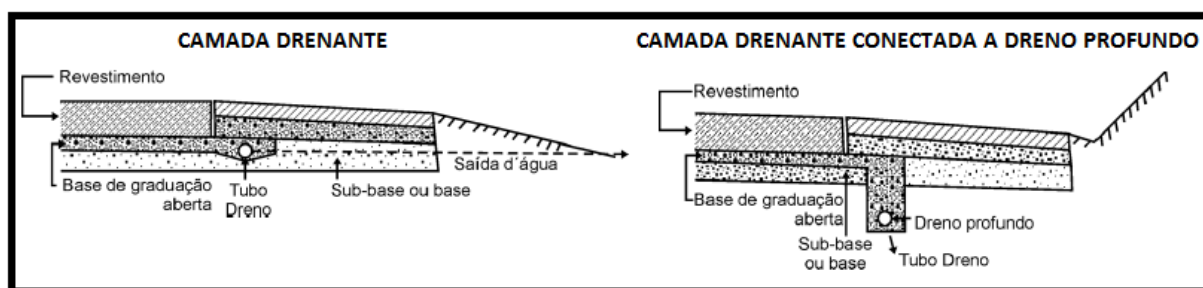
Fonte: DNIT, 2006.

Os bueiros de greide são dispositivos que oferecem um escoamento adequado das águas provenientes de outros sistemas de drenagem superficiais como captadas por caixas coletoras e não de cursos d'água de talvegues, podendo ser instalados transversal ou longitudinalmente ao eixo da rodovia (DNIT, 2006).

2.2.3 Drenagem de pavimento

O sistema de drenagem de pavimento objetiva a proteção da pista de rolamento de uma rodovia de ações das águas com infiltrações diretas das chuvas e oriundos dos lençóis freáticos subterrâneos. Os dispositivos utilizados são: camada drenante, formada por uma camada de material granular depositada abaixo do pavimento, drenos rasos longitudinais, que recebem as águas drenadas através da camada drenante (FIGURA 10). Esta água é direcionada para drenos laterais de base localizado nos acostamentos e possuem baixa permeabilidade. São direcionadas também para drenos transversais que estão presentes em toda largura da plataforma em pontos baixos das curvas côncavas e possuem base permeável (DNIT, 2006).

Figura 10 – Posição das bases drenantes em relação à elementos do pavimento.



Fonte: DNIT, 2006.

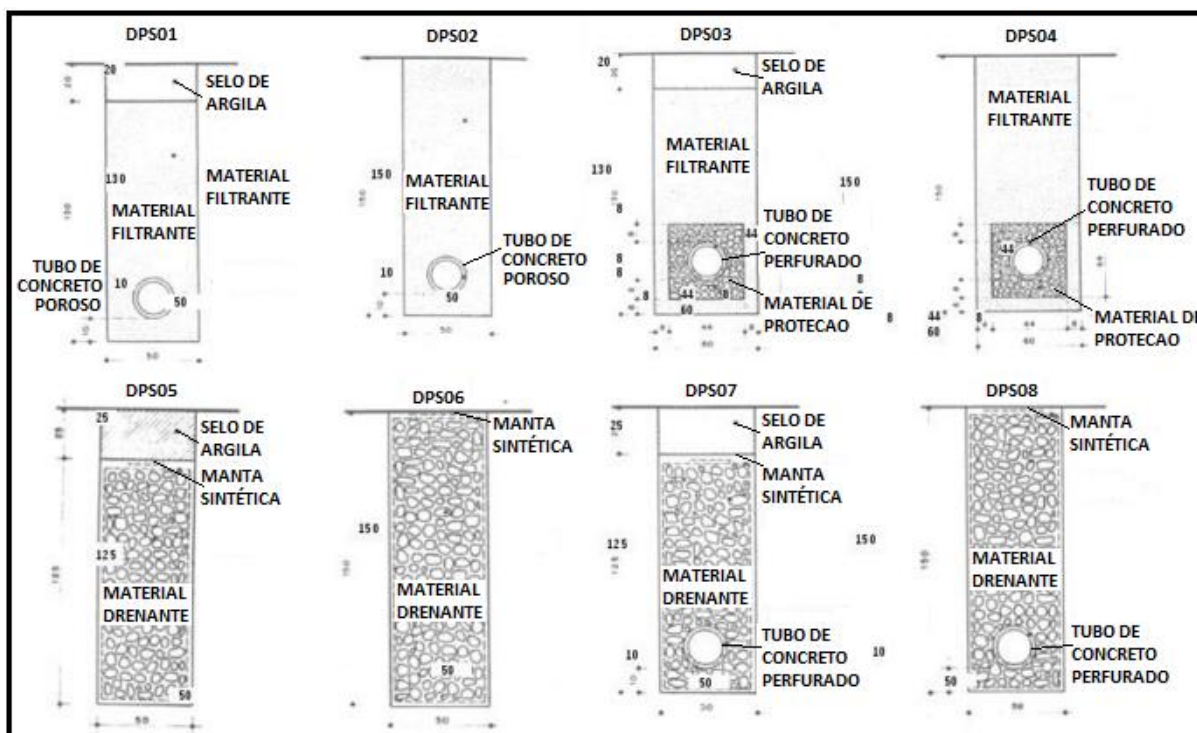
2.2.4 Drenagem subterrânea ou profunda

Este modelo de drenagem visa trabalhar de forma a retirar as águas no interior das pistas de rolamento, aumentando a vida útil do pavimento a partir do controle do nível do lençol freático entre 1,5m a 2,0m abaixo do subleito da rodovia (MELO, 2012), proporcionando uma fundação seca para pavimentos através da alteração do sistema natural de drenagem através de cortes e aterros (BAESSO & GONÇALVES, 2003).

É caracterizada pelos drenos (profundos, tipo espinha de peixe, sub-horizontais e verticais), colchão drenante e valetões laterais (DNIT, 2006). Esta drenagem possui tempo de recorrência de 1 ano (MELO, 2012). Para sua implantação é necessário o conhecimento topográfico da região com foco geológico e pedológicos (estudo do solo no ambiente natural), como também na pluviometria da área em questão (DNIT, 2006).

O dreno longitudinal profundo (FIGURA 11) através do tubo dreno e as camadas inferiores (sub-base ou base e a base de graduação aberta) ao acostamento e pavimento.

Figura 11–Modelos de dreno longitudinais profundos.



Fonte: SUZUKI, 2008.

2.2.5 Drenagem de travessia urbana

O sistema de drenagem de travessia urbana é composto por sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias pluviais (DNIT, 2006). A drenagem urbana é aquela construída em uma cidade e quando mal planejada, provoca uma situação caótica com possíveis inundações a montante. Para evitar este problema, engenheiros buscam aumentar a velocidade dos escoamentos com obras de canalização, porém transferem o problema para jusante (CANHOLI, 2015).

Buscando solucionar os problemas com drenagem, algumas cidades recomendam a construção de mais galerias e canalizações, que sobrecarregam ainda mais os rios e córregos com alguma capacidade de absorção dessas sobrecargas ou então afetam populações mais rarefeitas (SHEAFFER e WRIGHT, 1982).

Os principais dispositivos da drenagem urbana são a boca de lobo simples, duplas e combinadas, caixas de ligação e de passagem e poços de visita (DNIT, 2006). As medidas de controle deste componente de drenagem são determinadas em três níveis: em sua fonte (nível de lotes ou áreas primárias de desenvolvimento), microdrenagem (nível de loteamentos) e macrodrenagem (soluções de controle nos principais rios urbanos) (TUCCI, 2003).

Para a instalação de qualquer tipo de equipamento de transposição de cursos d'água é fundamental o estudo de prováveis impactos ocasionados por um modelo inadequado de estrutura que podem ser comprometidas em períodos de chuva com grandes volumes (BORTOLUZZI, 2012).

2.3 Estudo da passagem de peixes

2.3.1 Conectividade de rios e problemas para a passagem de peixes por bueiros

A conectividade ecológica está relacionada à capacidade de movimento de organismos, materiais ou energia em um habitat (BATES *et al.*, 2003). Para realizar suas funções biológicas (reprodução, alimentação, deslocamento, dentre outras), a ictiofauna é dependente das características do habitat. A perda da conectividade através de barreiras em um curso d'água pode restringir sua capacidade de acesso a estes ambientes e reduzir a qualidade a montante e jusante deste obstáculo (MORITA & YAMAMOTO, 2002).

A bacia hidrográfica de um curso d'água possui padrões longitudinais semelhantes em todo seu trecho, da nascente até a foz (VANNOTE *et al.*, 1980). O conhecimento das características físicas e químicas e padrões das estruturas dos corpos d'água contribuem para a conservação e manutenção da qualidade do meio ambiente aquático (CELESTINO *et al.*, 2012). A continuidade e heterogeneidade dos cursos d'água continentais sofrem frequentes alterações ou mesmo destruição de suas características e habitats através de atividades antrópicas que modificam profundamente a integridade dos sistemas aquáticos (MMA, 2003).

A contaminação da água, alterações do leito natural (regularização, canalização e construção de canais artificiais), remoção de mata ciliar e uso inadequado do solo, expansão industrial e construção de barragens e estradas são fatores que alteram os cursos d'água, gerando elevação do volume de materiais alóctones¹, modificando o transporte e dinâmica de sedimentos, como também as características físico-químicas da água (CALLISTO *et al.*, 2001).

A construção de rodovias é um potencial agente de fragmentação do habitat, através da alteração da hidrologia das bacias hidrográficas ocorrida com a variação da quantidade e qualidade da água, morfologia do canal de fluxo e nível da lâmina d'água no solo, fatores que elevam o número de superfície impermeável e erosão (VOS & CHARDON, 1998). A

¹ Aquilo que não tem suas origens no lugar onde existe.

implementação de rodovias, é considerada benigna em situações de interceptação de segmentos fluviais, devido a fragmentação de habitats aquáticos, quando são utilizados bueiros como medida econômica onde seria necessária a construção de estruturas de maior porte, como pontes (HARPER & QUIGLEY, 2000).

Barreiras hidráulicas construídas pelo homem oferecem consequências graves para o ecossistema aquático (PRINGLE *et al.*, 2000) e são consideradas como fator primário que afeta o deslocamento de peixes (FULLERTON *et al.*, 2010). Os bueiros podem se tornar obstáculos físicos para a movimentação de peixes por fatores como: formato da estrutura e seu revestimento, dimensões (comprimento, largura e altura) iluminação e desníveis em relação ao curso d'água natural, degraus ou poços de recolhimento de dejetos ou outros resíduos (RUEDIGER, 2001).

A instalação de um bueiro no curso natural de um rio pode modificar condições de fluxo. Fatores como a aceleração de entrada intensa e a baixa rugosidade na estrutura podem elevar a velocidade de escoamento no canal (limite: 3 a 4 m/s), proporcionando um fluxo torrencial constante em toda estrutura. Isso impede a existência de áreas de descanso para os peixes, dificultando a possibilidade de trânsito dos indivíduos. Períodos de baixo volume de água podem comprometer a natação eficaz dos peixes pelo fato da profundidade do fluxo ser insuficiente para a movimentação. Degraus elevados nas extremidades dos bueiros, principalmente a jusante, podem interferir na passagem dos peixes e gerar erosão do leito do rio depois da estrutura, também ocasionando o acúmulo de detritos como lixos, vegetação, sedimentos, etc. No caso da extremidade a montante, raramente ocorrem degraus ou posicionamento inadequado de forma a criar uma seção íngreme e intransponível do canal (LARINIER, 2002). Porém, Martin-Smith (1998) afirma que esta barreira ocasiona um represamento, e assim uma elevação da profundidade da seção a montante, influenciando na distribuição dos habitats e espécies.

As condições de barreira mais comuns ao deslocamento de peixes por bueiros estão relacionadas ao excesso de descarga na saída da estrutura, a alta velocidade no canal na região interna a bueiros circulares, turbulência dentro da estrutura e acúmulo de sedimentos e detritos na entrada e no interior da estrutura (BATES *et al.*, 2003).

Ruediger (2001) desenvolveu estudos em bueiros pelo Serviço Florestal em Washington, Oregon e Alasca e observou que mais de 15.000 estruturas de drenagem nestes estados americanos podem apresentar barreiras totais ou parciais para a passagem de peixes podendo

gerar efeitos de fragmentação de habitat também em outras espécies de peixes, anfíbios, répteis e pequenos mamíferos.

No Canadá, pesquisadores apresentaram que o critério mais relevante para o estudo da passagem de peixes por bueiros é a análise da velocidade média de fluxo no canal. No entanto, não avaliaram os critérios relativos à capacidade natural dos peixes de buscarem regiões de conforto com baixas velocidades dentro do campo de fluxo (ABBS *et al.*, 2007).

No Brasil, a construção de bueiros em rodovias é regulamentada, devendo preservar as condições naturais do segmento aquático (DNIT, 2005). O problema é que esta regra é pouco utilizada (CELESTINO *et al.*, 2012). A construção destas estruturas altera os corpos d'água, gerando efeitos negativos não somente na região do bueiro, mas também a montante e jusante destas construções (BROOKES & GREGORY, 1988).

2.3.2 Mecanismo de transposição de peixes

A passagem de peixes não elimina danos ecológicos, como perda de habitat ou conectividade transversal em um rio, gerados por represas, porém pode minimizar este impacto imposto pela obstrução antrópica, favorecendo a compatibilidade ecológica e proporcionando inúmeros resultados positivos, quando oferecidas permanentemente condições satisfatórias e eficientes, garantindo a preservação de espécies (BARBOSA *et. al.*, 2013; CLAY, 1995; COLETTI, 2005; DVWK & FAO, 2002).

No Brasil, o grande problema quanto à construção e utilização de Mecanismos de Transposição de Peixes (MTP) está na adoção de estudos e projetos elaborados para outros países, com peixes diferentes aos encontrados no local inicialmente projetado (COLETTI, 2005), podendo em muitas situações este uso indiscriminado ser também prejudicial (KATOPODIS, 1992).

Outro inconveniente à passagem de peixes por MTP é que nem todos os tipos oferecem o sistema de ida e volta (COLETTI, 2005). No Brasil, a maioria das leis obriga a construção de MTP's de jusante para montante em barramentos, mas não exige a instalação de MTP's de montante para jusante (VIANA *et al.*, 2006).

Para que ocorram maiores níveis de eficiência dos MTP's, estes devem visar a otimização das velocidades e vazão para o favorecimento da migração com a redução do tempo de travessia e conforto para as diversas espécies do sistema, além de efetuar uma elevação de amplitude de escoamento do canal e possibilitar a migração de ida e volta (VIANA, 2005).

Os principais modelos de MTP são do tipo escada, elevadores e eclusa (CLAY, 1995). Recentemente, novos MTP's, como passagens seminaturais e bueiros para peixes, têm sido empregados (LARINIER, 2002).

2.3.2.1 Escadas para peixes

As escadas para peixes são mecanismos de movimentação ascendente da ictiofauna apropriado para barragens menores ou iguais a 15 metros de altura (CLAY, 1995). São quatro os principais modelos de mecanismos de transposição para peixes (MTP) do tipo escadas: Denil, piscina com vertedor, canal natural e a ranhura vertical, dentre outras que são mais comuns em outros países (COLETTI, 2005).

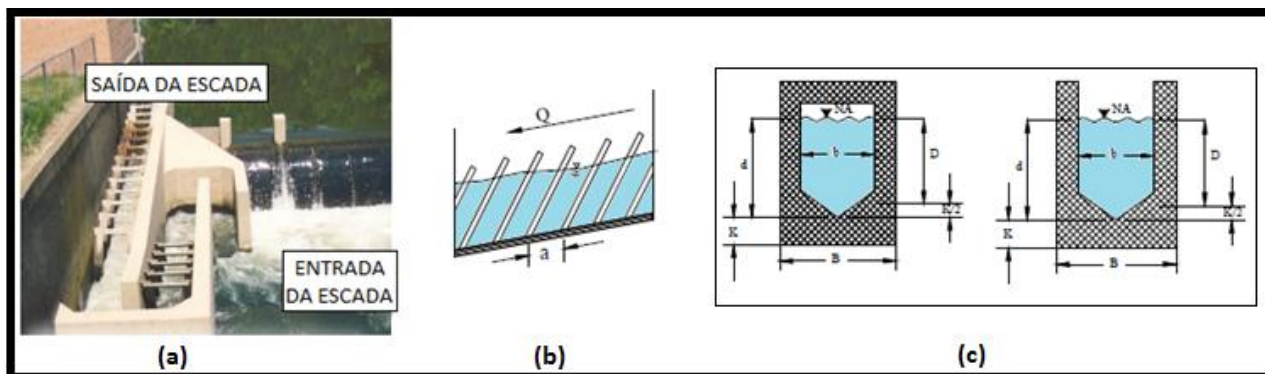
As escadas são o MTP mais utilizado no mundo, com destaque para o tipo piscina com vertedouro (CLAY, 1995). As escadas para peixes são basicamente canais com defletores que dissipam a energia de escoamento, sendo estes organizados em desníveis de forma a conduzir a água da barragem para jusante e assim permitir a transposição do cardume nadando ou pulando pelos tanques (COLETTI, 2005; VIANA *et al.*, 2006).

a) Escadas do tipo Denil

Mecanismo de transposição de peixes projetado na Bélgica, por Denil em 1906. Modelo elaborado a partir de um canal retangular inclinado, onde são introduzidos defletores com abertura na região central. Estes anteparos geram uma corrente helicoidal secundária que dissipam a energia do escoamento (LARINIER, 2001).

A instalação dos defletores na escada de peixes do tipo Denil (FIGURA 12) são distribuídos de forma regular e relativamente curtos, respeitando o sentido do fluxo. Entre os defletores são formados refluxos (turbulência) que visam diminuir a energia, oferecendo uma velocidade de fluxo reduzida na região inferior dos recortes defletores, permitindo assim o peixe superar pequenas e médias alturas e curtas distâncias (FAO & DVWK, 2002).

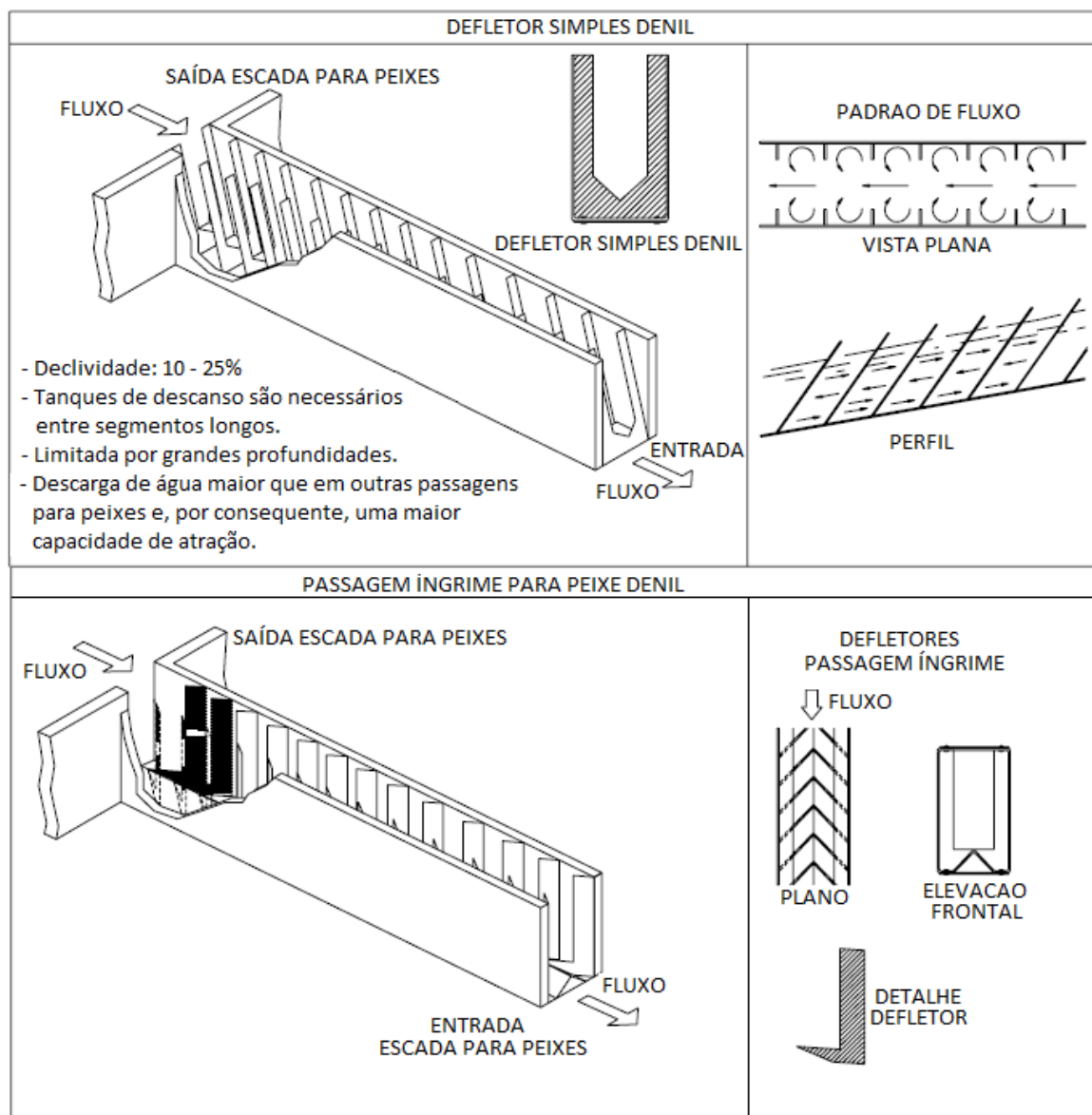
Figura 12 – (a) Canal para peixes do tipo Denil, (b) vista lateral, (c) vista frontal de dois tipos de septos.



Fonte: COLETTI, 2005.

A escada para peixes do tipo Denil (FIGURA 13) é apropriada para espécies que possuem velocidade e resistência elevadas. A falta de controle das velocidades internas deste sistema pode torna-lo intransponível para pequenos peixes. No caso de peixes com dimensões inferiores a 20-30 cm este dispositivo é seletivo, em vazões elevadas o trânsito destes indivíduos pode ser impossibilitado, porém, quando o sistema é alimentado com vazão insuficiente para gerar correntes helicoidais o movimento de peixes pela escada Denil é factível (LARINIER, 2002).

Figura 13 – MTP do tipo escada para peixes de Denil.



Fonte: Adaptação KATOPODIS, 1992.

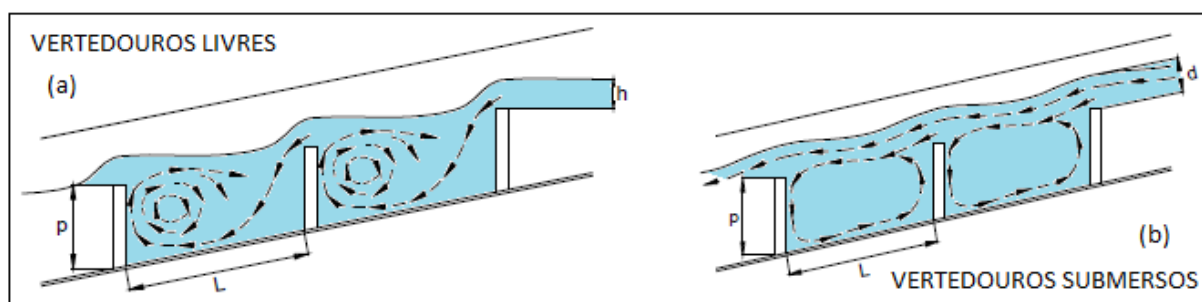
b) Escadas do tipo Piscina com vertedor (tanque com vertedor)

Este mecanismo de transposição para peixes é formado por uma série de tanques em níveis decrescentes, separados por defletores que controlam a energia de escoamento de forma a favorecer o trânsito de peixes no sentido ascendente (LARINIER, 2002). A descarga é realizada por orifícios nas paredes transversais que dissipam a energia potencial da água (FAO & DVWK, 2002). Este é um MTP indicado a indivíduos com elevada capacidade natatória (NAKAMURA *et al.*, 1995). As piscinas formadas pelos degraus servem como descanso para o cardume (KATOPODIS, 1992). A necessidade de salto dos peixes é a condição que faz com que este mecanismo de transposição de peixes seja bastante seletivo (COLETTI, 2005).

As velocidades de escoamento sobre o vertedor, abertura ou orifício são determinantes para o favorecimento ou não do deslocamento ascendentes dos peixes. Jatos turbulentos, vórtices e escoamento circular impossibilitam este trânsito (KIM, 2001). Uma maior a inclinação da escada gera a elevação da velocidade de escoamento e dificulta a passagem dos peixes (BARBOSA *et al.*, 2013). Assim, este método de transposição para peixes é muito sensível também às flutuações nos níveis d'água, sendo estes desníveis normalmente padronizados a 200 mm para peixes adultos de água doce e inclinação do canal de 10% (KATOPODIS, 1992).

O MTP do tipo Piscina Vertedouro (FIGURA 14) tem dois tipos de funcionamento: em um de escoamento passa livremente sobre os vertedores, formando jatos, em outro o jato sobre os vertedores é submerso. Isto varia de acordo com o nível d'água com declividade e com o comprimento do tanque (KATOPODIS, 1992; COLETTI, 2005). Existe uma variação de modelos dos vertedouros: retangulares, em V e os semicirculares (LANINIER, 2002).

Figura 14 - Perfil de escoamento e linha d'água sobre vertedouros.



Fontes: KATOPODIS, 1992; LANINIER, 2002; COLETTI, 2005.

c) Escadas do tipo ranhura vertical

Trata-se de um canal retangular (FIGURA 15), de fundo inclinado que é subdividido por defletores (ranhuras verticais simples, quando formado por dois septos e uma ranhura, ou duplas, quando formado por três septos e duas ranhuras), formando tanques em seu interior (RAJARATNAM *et al.* 1986; COLETTI, 2005). Assim, o canal funciona a partir da recirculação do escoamento por tais, proporcionando eficiente dissipação energética (CLAY, 1995).

Figura 15 - MTP do tipo ranhura vertical no Rio Dordogne, França.



Fonte: Adaptação, (LARINIER, 2002).

O escoamento acontece através da ranhura, sendo direcionado pelo interior do canal, assim a energia deste escoamento é reduzida quando circula em torno de um ou dois eixos verticais perpendiculares ao fundo do canal (LARINIER, 2002).

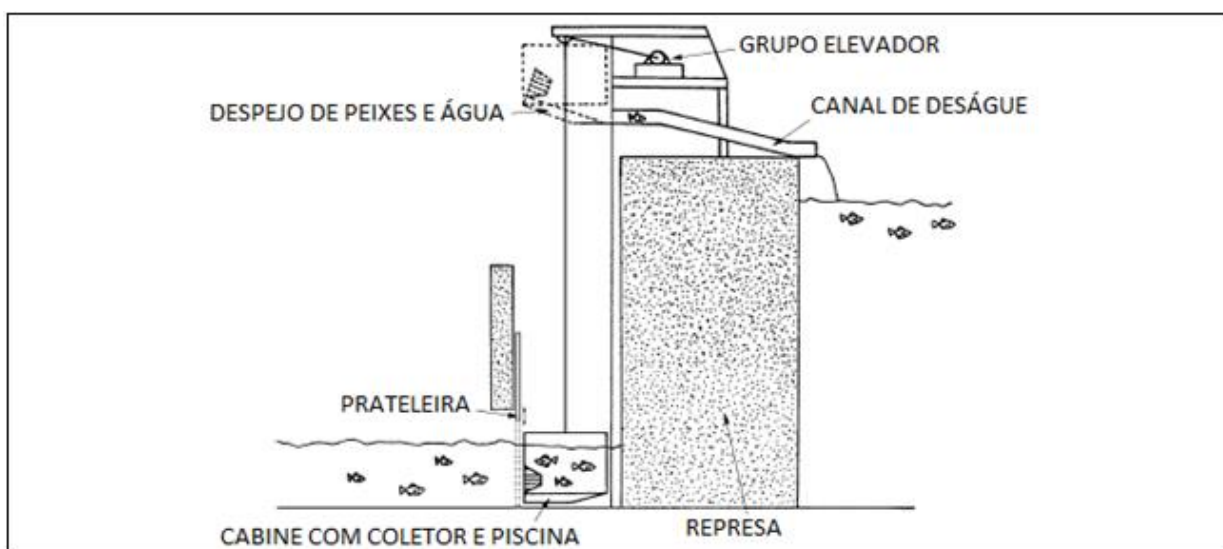
A quantidade (uma ou duas), a largura das ranhuras e o volume de descarga resultante são determinantes para o dimensionamento das piscinas, porém este conjunto deve manter o fluxo de turbulência baixo e garantir índices de dissipação volumétrica de $E < 200 \text{ W/m}^3$ e altura mínima de lâmina d'água de 20cm em relação a base da ranhura. Quanto menor a variação de altura entre os tanques, maior o favorecimento para a transposição (LARINIER, 1992). Porém, nem sempre existe uniformidade entre os tanques, originando escoamentos não uniformes (RAJARATNAM *et al.*, 1986).

A escada tipo ranhura vertical é menos seletivo em comparação a outros modelos de escada, suas aberturas escalonadas com alturas e velocidades variadas oferecem conforto para o caso de espécies de fundo, coluna e superfície (VIANA *et al.*, 2007).

2.3.2.2 Elevadores para peixes

Este MTP foi utilizado pela primeira vez na Suíça no ano de 1640 (GODOY, 1985). O funcionamento dos elevadores para peixes é apropriado em qualquer faixa de desnível (COLETTI, 2005). Assim, os peixes são atraídos para uma caçamba submersa através de uma corrente de água que, após o confinamento dos indivíduos e o fechamento das comportas, é içada por cabo ou motor elétrico. Alcançado o nível do reservatório superior, os indivíduos são liberados em um tubo de esvaziamento, finalizando assim o processo (FIGURA 16). Normalmente os elevadores são automatizados e seu ciclo regular é determinado conforme efetiva atividade migratória (FAO & DVWK, 2002). Em caso de locais com vazão reduzida ou barragens muito altas, é comum a utilização de caminhão tanque (captura e transporte terrestre), onde os peixes serão encaminhados ao ponto específico de soltura, com procedimentos eficientes e cuidadosos de forma a preservar a integridade do cardume (CLAY, 1995).

Figura 16 - Elevador para peixes.



Fonte: AZAGRA, 1999.

Este MTP possui como vantagens a economia d'água devida os *setups* entre os ciclos de transposição quando comparado com escadas para peixes e demanda por pouco espaço no *layout* da barragem. É adequado para a transposição de grandes volumes de peixes e principalmente para indivíduos de baixa capacidade migratória, como também a possibilidade de contagem de indivíduos migrados (FAO & DVWK, 2002; POMPEU, 2005a; ESPAÑA, 2009). Como desvantagens estão o elevado custo de exploração, as manutenções constantes, descontinuidade do processo, a baixa eficiência para pequenas espécies, risco de mortalidade por quedas durante a elevação e a incapacidade de migração no sentido à jusante (retorno) (FAO

& DVWK, 2002; VIANA *et al.*, 2006; ESPAÑA, 2009). Com a utilização do caminhão tanque existe um acréscimo no valor operacional, maior número de operadores e manutenções mais complexas nos equipamentos (POMPEU, 2005_a).

A Figura 17 apresenta duas situações distintas para o transporte dos peixes do tipo elevador: (a) apresenta uma cabine de elevador para peixes, deslocados para a transposição via teleférico, localizado na represa de Frieira na Espanha, (b) apresenta o processo de deslocamento através de caminhão tanque, localizado na Usina de Santa Clara no Mucuri – Minas Gerais.

Figura 17 – (a) Elevador para peixes tipo teleférico e (b) caminhão tanque.



Fontes: AZAGRA & MOLINOS, 2003; POMPEU, 2005_b.

A Figura 18 apresenta o MTP do tipo elevador, grupo gerador e o canal de deságue de uma Central hidrelétrica na Espanha.

Figura 18–MTP tipo elevador Central Hidrelétrica no Rio Santa Magdalena (Lérida, Espanha).



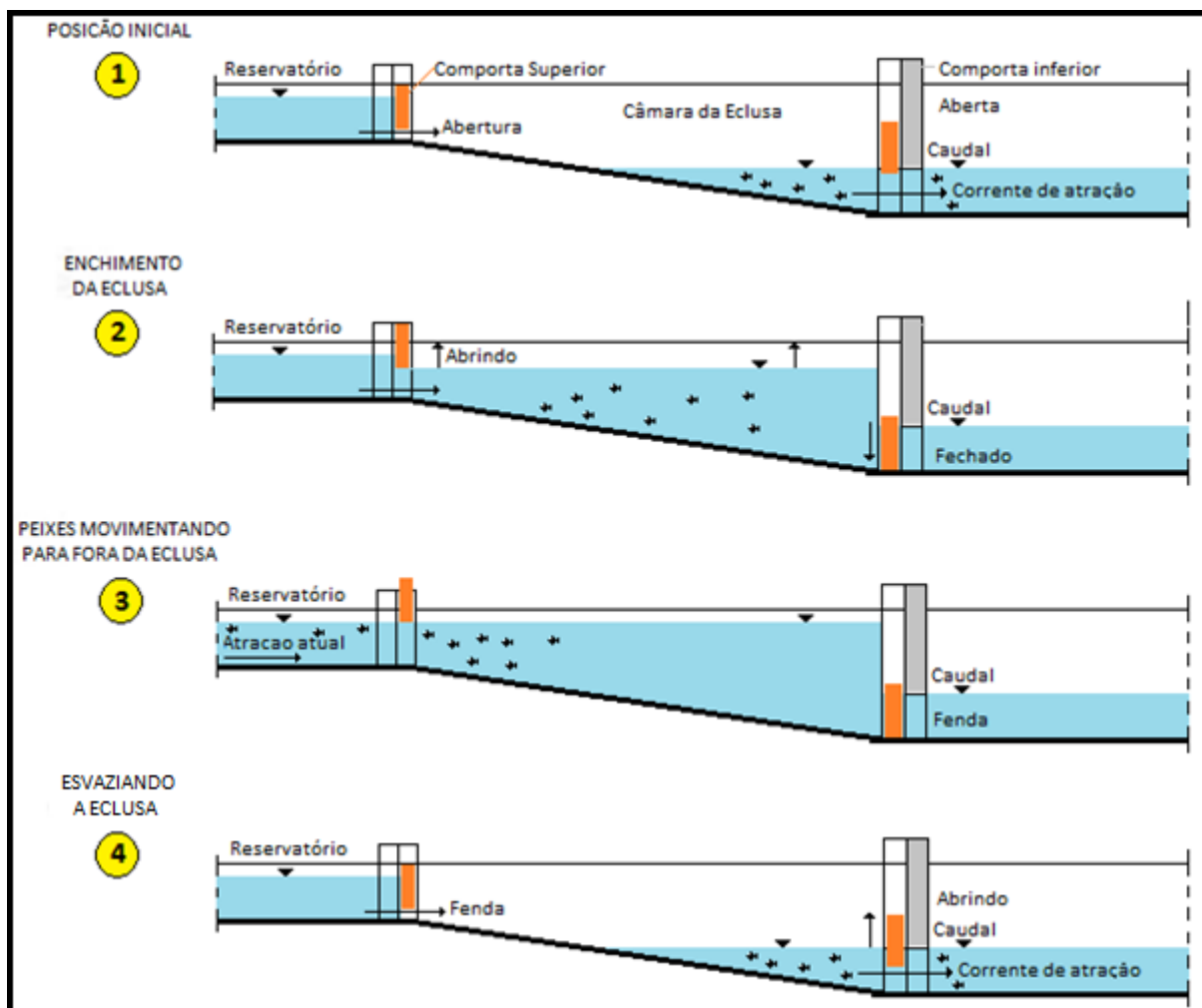
Fonte: ESPAÑA, 2009.

2.3.2.3 Eclusas para peixes

As eclusas do tipo Borland (*fish lock*) são mecanismos verticais que podem transpor várias espécies de peixes, incluindo os indivíduos de capacidade natatória limitada (CLAY, 1995). Seu funcionamento (FIGURA 19) é semelhante às eclusas da navegação e inicia-se a partir da atração dos peixes para uma câmara inferior da eclusa (MARTINS, 2004). Após um determinado tempo, a comporta inferior (jusante) é fechada e aberta a comporta superior (montante). Este estágio proporciona o enchimento de água controlado por válvulas automáticas na câmara de conexão entre as duas extremidades da eclusa até o completo nível. Assim, o nível do reservatório superior é atingido pelo preenchimento da câmara, o que permite o completo deslocamento do cardume para montante. Concluída a transposição, a comporta superior se fecha e a comporta inferior se abre, reiniciando o processo (FAO & DVWK, 2002).

Estudos apresentam possíveis falhas operacionais e humanas que podem comprometer a eficiência do processo através de defeitos mecânicos (GODOY, 1992). Podem ocorrer limitações de transposição em rios com grandes populações migradoras de peixes não salmonídeos (CLAY, 1995).

Figura 19 - Esquema de funcionamento do MTP tipo Eclusa.



Fonte: FAO & DVWK, 2002.

A eficiência deste processo é baseada nas forças de atração que propiciam um favorecimento para a passagem do peixe pela eclusa. Para a entrada do cardume é formada tal atração no tanque inferior e a velocidade de enchimento da câmara deve ser controlada de modo a evitar turbulência e aeração excessiva que geram estresse e formação de bolhas de ar nos órgãos internos dos peixes. Desta forma, deve ser respeitado um tempo de adaptação dos indivíduos na região inferior da câmara (LARINIER, 2001).

A utilização de elevadores é mais efetiva que as eclusas devido à incerteza quanto à conclusão de migração dos peixes até o reservatório a montante, percebida particularmente em MTP do tipo eclusas Borland (LARINIER, 1987)

2.3.2.4 Canal seminatural

Estas passagens naturalizadas, conhecidas como rios artificiais, são canais rasos de derivação naturais, que imitam as características de um curso de água natural (LARINIER, 2002). Normalmente são construídos em uma das margens de um barramento e possuem a vantagem de ser uma integração natural (ESPAÑA, 2009). O canal artificial é projetado para controlar a velocidade e a energia dissipada através da rugosidade criada por pedras, blocos e açudes (limitado a uma altura inferior a 2,5m) que são locados de forma regular ao longo do canal (LARINIER, 2002).

Este MTP é o que mais satisfaz requisitos de ordem biológica como conectividade de rios, quando comparado com outras estruturas de passagem para peixes (FAO & DVWK, 2002). Este mecanismo é uma opção para transposição de desníveis entre 3 e 7m e também devem ser implantados em reservatórios com operação constante e rígido controle de nível d'água, de forma a manter condições hídricas de passagem da ictiofauna (LARINIER, 2001).

Uma desvantagem é a necessidade de grandes extensões de forma a manter uma inclinação baixa (LARINIER, 2002). No caso de rios artificiais (Figuras 20 e 21) é necessário o controle dos níveis d'água na cabeceira (ESPAÑA, 2009).

Figura 20 - Canais artificiais.



Fonte: ESPAÑA, 2009.

Figura 21 - Canal Seminatural.



Fonte: LARINIER, 2001.

2.3.2.5 Bueiros modificados (Ecobueiros) para peixes

Bueiros são estruturas hidráulicas que promovem o escoamento da água superficial por estradas, ferrovias ou um aterro (CLAY, 1995). Os ecobueiros são bueiros modificados com o propósito de serem uma alternativa atraente para redução de impactos em habitats a jusante das estruturas convencionais (BATES *et al.*, 2003), e da função tradicional de drenagem hidráulica, que possibilitam o trânsito de espécies aquáticas e animais da fauna terrestre (TOMAZ, 2015)

Algumas situações de impactos e riscos à passagem de água por bueiros devem ser observadas quando se propõe o uso da estrutura adaptada para a transposição de peixes:

- A presença de barreiras verticais, baixa incidência de luz, variações drásticas de velocidade e profundidade da água no escoamento (BAKER & VOTAPKA, 1990);
- Tipo de revestimento da estrutura e presença de degraus / poços, que podem contribuir como obstáculo recolhendo sedimentos (LAUXEN, 2012);
- Elevação da aceleração do escoamento na entrada da estrutura e no interior do bueiro ocasionada por baixa rugosidade e suas resultantes de alteração do habitat, que podem gerar alterações no fluxo e torná-lo torrencial em toda estrutura (LARINIER, 2002);

Estes fatores podem impossibilitar a migração de algumas espécies de peixes (BAKER & VOTAPKA, 1990) e o acúmulo destes diversos impactos e riscos à passagem da água podem ser evitados ou minimizados através da consolidação das travessias de água, fundo de bueiro similar a um canal natural ou ainda a remoção dos cruzamentos de água (BATES *et al.*, 2003).

Para um bueiro padrão atender requisitos para a passagem de peixes (FIGURA 22), são necessários o aumento das dimensões da estrutura, análise de possíveis alterações do tipo de bueiro, o pressionamento do canal para um nível inferior ao do curso d'água de forma a aumentar o nível de água na estrutura e assim proporcionar condições de remanso, ainda a instalação de defletores ou barragens ou utilizando abordagem de simulação de fluxo. Bueiros projetados também para o deslocamento de organismos aquáticos beneficiam a continuidade do fluxo reduzido e condições hidráulicas (ABBS *et al.*, 2007).

Figura 22 - Bueiro para passagem de peixes.



Fonte: TOMAZ, 2015.

Existem diversos modelos de bueiros adaptados para peixes, porém sua escolha deve ser criteriosa. Deve-se garantir condições especiais para que o peixe possa entrar, passar e sair da estrutura sem demora indevida ou prejudicial (KATAPODIS, 1992). Para isso, é necessário sempre observar as variáveis: inclinação, tamanho da estrutura, elevação, rugosidade (BATES *et al.*, 2003), falta de pontos de descanso ou abrigo para os peixes e excesso de turbulência (KAPITZKE, 2010). Além destes mencionados, para a definição do material do bueiro, também é necessário analisar o declive e o perímetro molhado, correlacionando estes fatores de forma a manter uma velocidade favorável à capacidade natatória dos peixes (CLAY, 1995).

Em diversas situações, bueiros são instalados abaixo do leito de escoamento, possibilitando a instalação de dispositivos de controle especiais, como defletores, enrocamento, barragens, blocos ou placas para passagem de peixes, assim garantindo condições favoráveis a esta transposição (KATAPODIS, 1992).

Os Ecobueiros podem ser do tipo circular, elíptico, retangular ou um arco de tubo (EAD *et al.*, 2002). Quanto ao material, normalmente são de concreto ou metal corrugado (MAKRAKIS *et*

al., 2012). Este último aspecto se trata de um material com maior rugosidade que pode reduzir a velocidade de escoamento em 2 ou 3 vezes, favorecendo à passagem dos peixes (BAKER & VOTAPKA, 1990). Outra possibilidade favorável é a naturalização do bueiro de drenagem com a colocação de substrato de rio (FIGURA 23).

Figura 23—Contraste: passagem de peixe pelo Ecobueiro e bueiro intransponível.



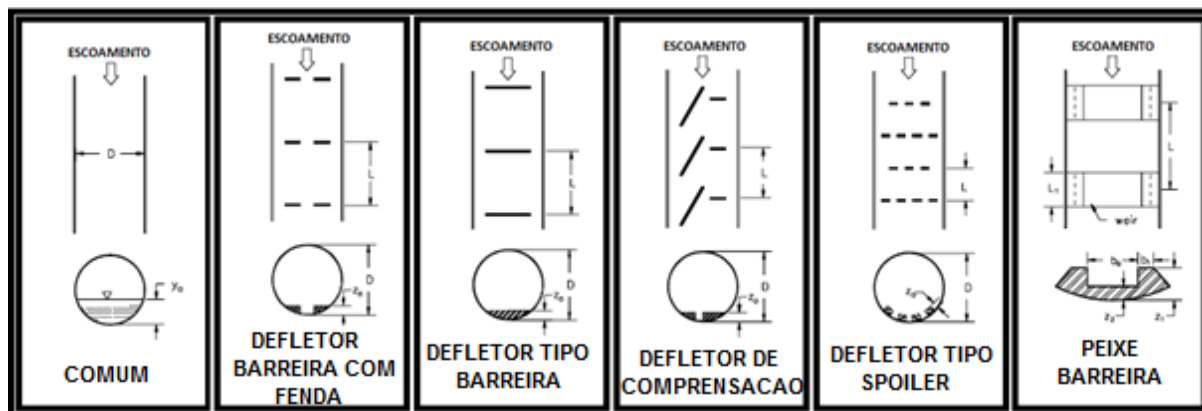
Fonte: TOMAZ, 2015; RAFAEL *et al.*, 2013.

Quanto às modificações internas em bueiros, existem vários sistemas de deflexão para possibilitar a passagem de peixes (FIGURA 24). A eleição da geometria dos defletores no canal é determinada conforme as necessidades dos peixes, verificando o tamanho das espécies existentes, a capacidade de natação e a necessidade de áreas de descanso. Todos estes fatores também influenciam o comprimento do bueiro e a velocidade no bueiro (FEURICH *et al.*, 2011).

Para *Alberta Transportation* (2009), as soluções mais habituais para favorecer as condições necessárias para o movimento da ictiofauna são:

- A implementação de material rochoso para simular os perfis do leito do rio e a velocidade natural do fluxo;
- A instalação de defletores como obstruções hidráulicas em intervalos regulares para dissipação de energia, aumentar a rugosidade efetiva global, criar um escoamento turbulento e fornecer zonas potenciais de remanso

Figura 24 - Bueiros adaptados com defletores para passagem de peixes.



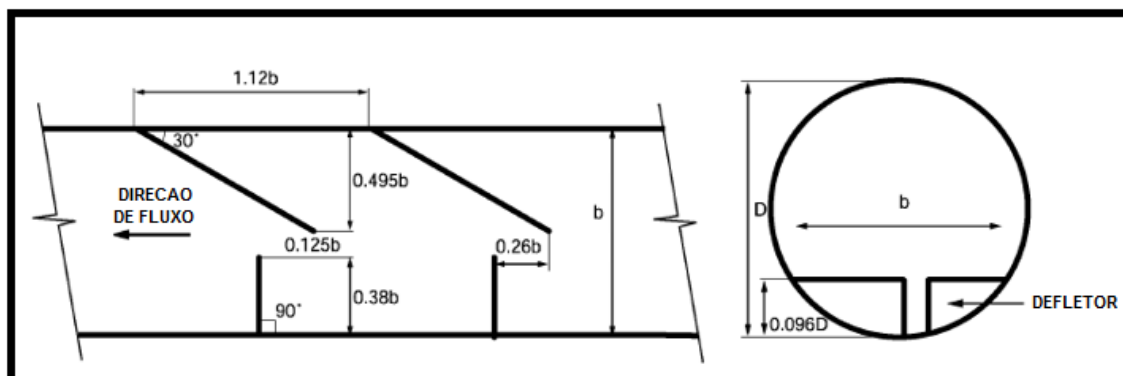
Fonte: KATAPODIS, 1992.

Observando a capacidade natatória da ictiofauna no Canadá, Ead e colaboradores (2000) realizaram estudos em laboratório de campo analisando a velocidade do fluxo de canal aberto turbulento em um tubo circular corrugado, e encontraram velocidades relativamente baixas nas regiões de fronteira da tubulação. Isto indicou uma região favorável ao deslocamento de peixes.

a) Bueiro com defletor *offset* (OB)

Os bueiros com defletores *offset* (FIGURA 25) foram sugeridos por McKinley & Webb (1956) em Washington, nos Estados Unidos com seção transversal retangular, onde o modelo demonstrou eficácia na obtenção de condições de fluxo favoráveis para a movimentação da ictiofauna. Porém, Engel (1974) em Burlington, no Canadá, verificou a possibilidade em bueiros com seção transversal circular.

Figura 25 - Modelo de bueiro modificado com defletores *offset* (OB).



Fonte: Larinier, 2002.

Este tipo de bueiros modificados para a movimentação da ictiofauna é apropriado para minimizar condições de escoamento relativamente rasos e com elevada velocidade na área da estrutura. Consiste em uma série de defletores fixos no canal interno do bueiro, de forma a proporcionar áreas protegidas, padrões de escoamento padronizados que auxiliam o trânsito ascendente de espécies aquáticas, permitindo a continuidade de fluxo, autolimpeza de sedimentos e detritos (KAPITZKE, 2010).

Em bueiros com defletores offset, Ead *et al.* (2002) avaliaram a velocidade no canal de passagem e áreas de descanso em áreas de recirculação entre os defletores e perceberam que este sistema é apropriado para diversas espécies de peixes na região de Edmonton, Canadá. Engel (1974) afirma que os peixes, durante a natação ascendente, normalmente buscam passar por caminhos com menor resistência, descansando nas áreas de baixa velocidade proporcionada pelos defletores.

Quanto a inclinação mais favorável para este tipo de bueiro, tem-se os limites de 2,5 a 5%, porém quando houver declividades inferiores (1 – 2,5%) serão necessárias adaptações como a diminuição da distância em os defletores ou até mesmo a remoção do defletor lateral (BATES, 1999). O defletor inclinado deve possuir um ângulo de 30° em relação à parede do bueiro e altura mínima de 300mm de forma a tornar a dissipação de energia mais eficaz (MCKINLEY & WEBB, 1956). Estes defletores podem ser construídos em madeira (KAPITZKE, 2006) ou ainda podem ser construídos com material alternativo como plásticos de alta resistência, concreto pré-moldado e aço (FIGURA 26) (KAPITZKE, 2010).

Figura 26 - Descanso dos peixes atrás do defletor perpendicular e visão geral com fluxo raso.



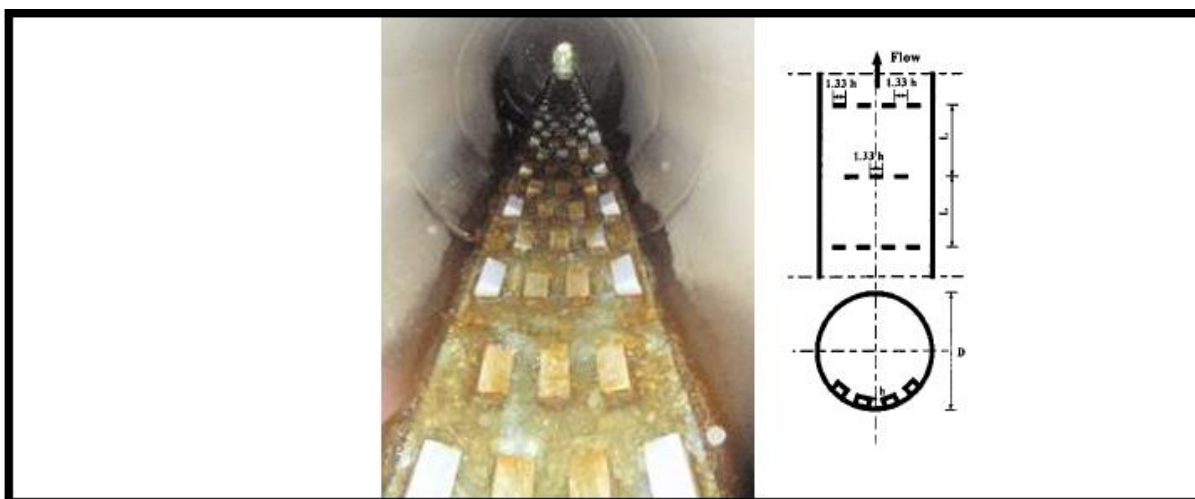
Fonte: KAPITZKE, 2010.

Este sistema de transposição é amplamente utilizado nos Estados Unidos e no Canadá. Porém, este sistema possui um complicador no momento de construção e seu custo é elevado por causa do defletor inclinado (RAJARATNAM *et. al.*, 1988).

b) Bueiro com defletor *spoiler* (SPB)

Os bueiros com defletor *spoiler* (FIGURA 27) tiveram seus estudos iniciados na década de 70 por Frederick J. Watts, na Universidade de Idaho nos Estados Unidos, e foram testados por Nallamuthu Rajaratnam na Universidade de Alberta, Canadá, na década seguinte (KAPITZKE, 2010).

Figura 27 – Fundo de bueiro com defletores do tipo *spoiler*.



Fonte: EAD *et al.*, 2002; KAPITZKE, 2010.

Os defletores do tipo *spoiler* são conjuntos de blocos instalados no canal do bueiro, com melhores resultados quando agrupados de forma alternada de quatro e três defletores (NAKURANGI, 1999). O custo de projeto e construção destes defletores de concreto é elevado, porém, para reduzir tais valores e simplificar o processo de instalação, foram verificados resultados eficazes com a utilização de defletores *spoiler* de placa de metal (CLAY, 1995).

Este sistema de defletores favorece a transposição de pequenas espécies por ser eficaz na diminuição das velocidades da água no canal de escoamento, aumentando o volume armazenados nas piscinas (FEURICH *et al.*, 2011) e com tendência de redução de sedimentos e detritos flutuantes (CLAY, 1995).

Rajaratnam *et al.* (1991) no Canadá, e Nakurangi (1999) na Nova Zelândia, estudaram o comportamento da ictiofauna nativa respectiva durante a movimentação em áreas com bueiros

para peixes com defletores do tipo *spoiler*. Ambos verificaram que os melhores resultados para a dissipação de energia foram obtidos quando as extremidades a montante dos defletores eram arredondadas, alcançando assim uma redução útil de velocidade e também eliminar possibilidade de acúmulo de detritos nas áreas de remanso.

Nakuranji (1999) também observou que os defletores do tipo *spoiler* possuem características favoráveis ao deslocamento de peixes quando é preservada uma via ao longo do canal do bueiro, ocasionando áreas de remanso em situações de baixo e médio fluxo. Apesar de não ter obtidos resultados comprovados na Nova Zelândia, o pesquisador apresenta a viabilidade de substituir as estruturas defletoras por rochas, sempre que possível.

A principal desvantagem deste sistema de defletores do tipo *spoiler* é a necessidade de instalação de um elevado número de blocos ao longo do canal do bueiro, observando que a distância lateral entre os blocos é igual à sua largura. Outra situação que ainda não está esclarecida é a possibilidade de criação de áreas com profundidade hidráulica suficiente para a passagem de peixes com caso de bueiros elípticos relativamente largos. Porém, sua principal vantagem, quando comparados aos demais sistemas de bueiros com defletores é que o “*spoiler*” oferece menor resistência ao escoamento, com menor risco à sedimentação e bloqueios relativos aos detritos (LARINIER, 2002).

c) Bueiros com defletores *weir* (WB) e *slotted-weir* (SWB)

Os modelos de bueiros com defletores do tipo *slotted-weir* (SWB) e *weir* (WB) foram desenvolvidos por Rajaratnam *et al.* (1989) e Rajaratnam e Katopodis (1990) na Universidade de Alberta no Canadá.

Os bueiros com defletores do tipo *slotted-weir* (SWB) para passagem de peixes são muito similares ao desempenho hidráulico da estrutura com defletores de compensação do tipo *offset* (OB). No entanto, este sistema (SWB) se destaca por sua simplicidade de instalação em estruturas novas ou em uso (RAJARATNAM *et al.*, 1988), pois é dividido em células ou compartimentos (EAD *et al.*, 2002).

Rajaratnam, Katopodis e McQuitty (1989) realizaram estudos no Canadá sobre estes defletores perpendiculares ao fluxo com uma fenda central (FIGURA 28) e observaram que o modelo foi eficaz, reduzindo e controlando as velocidades do escoamento no interior da estrutura,

aumentando a profundidade da água em áreas de remanso e mantendo a faixa de parâmetros em níveis razoavelmente recomendados.

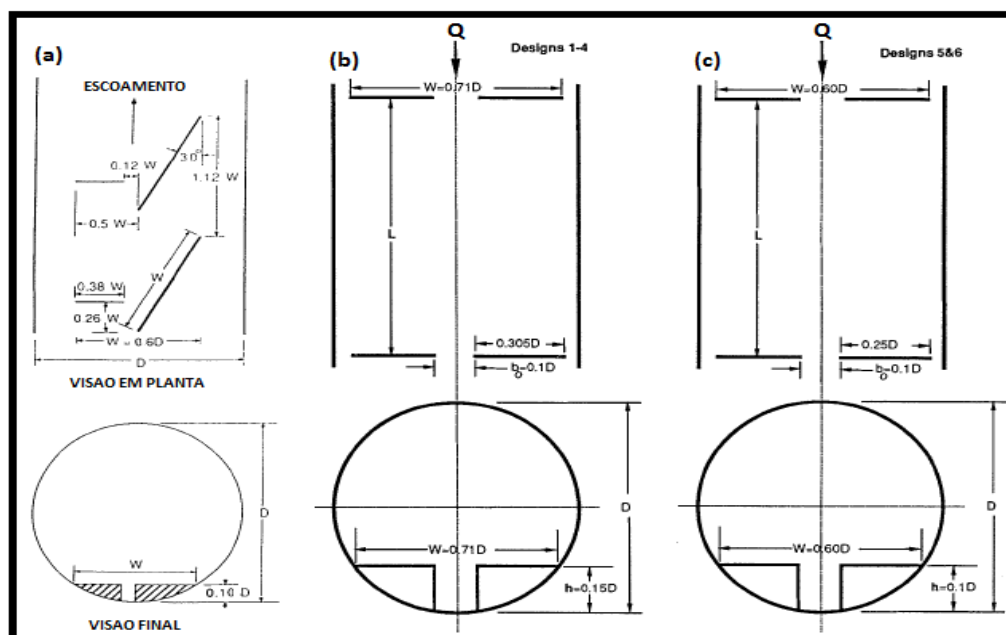
Figura 28 - Exemplos de bueiros com defletores *slotted weir*.



Fonte: DUGUAY (2014)

RAJARATNAM *et al.* (1989) apresentaram alguns parâmetros em bueiros com defletores *slotted-weir* (FIGURA 29) que obtiveram melhores resultados na redução das barreiras de velocidades para a passagem de peixes. Com relação à ranhura simétrica no central dos defletores, estes podem ser construídos em metal ou concreto (preferencialmente) com espessura de aproximadamente 0,3m. Os defletores que obtiveram melhores resultados foram de altura entre $0,1D$ e $0,15D$ com um espaçamento entre defletores de $0,6D$ (em que D = diâmetro bueiro).

Figura 29 - Modelo hidráulico do bueiro com defletor tipo *slotted-weir*.



Fonte: RAJARATNAM & KATOPODIS, 1990.

Uma das desvantagens do defletor do tipo *slotted-weir* é a tendência em reter mais sedimentos no canal do bueiro e assim aumentando a frequência de manutenções na área da fenda (CLAY, 1995).

Rajaratnam e Katopodis (1990) concluíram que o sistema defletor *Weir* (FIGURA 30) atinge o mesmo nível de eficiência na redução da velocidade de desenvolvimento e controle de profundidade da água em relação ao defletor *slotted-weir*. Os pesquisadores preferem a opção com defletores *Weir* devido à sua simplicidade de instalação.

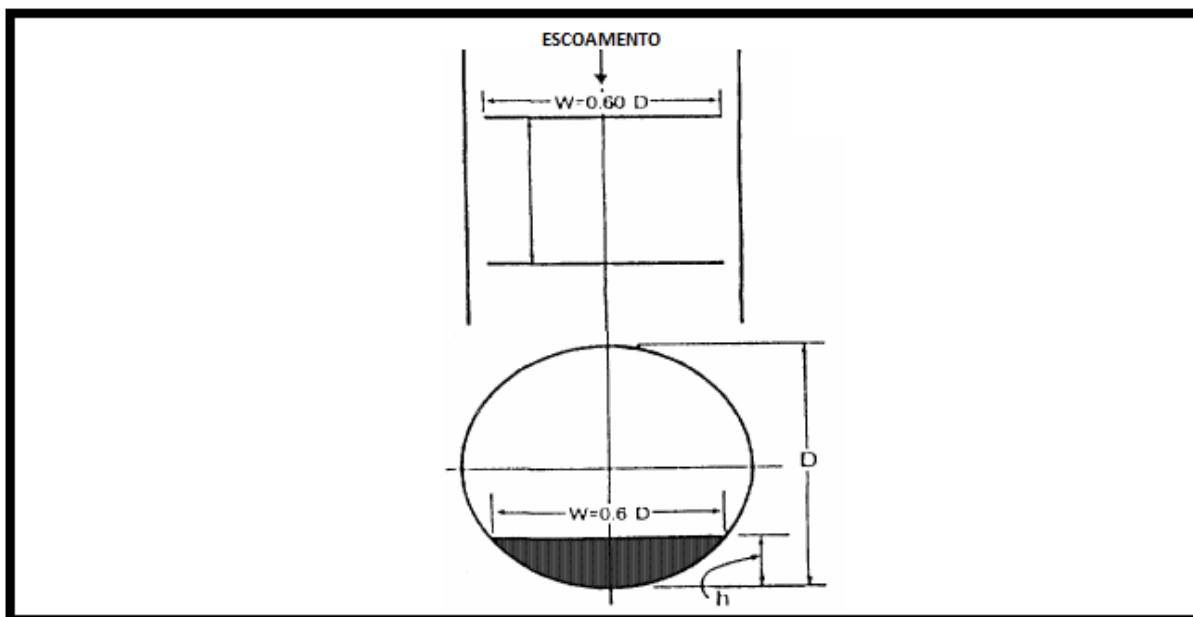
Figura 30 - Exemplos de bueiros com defletores weir.



Fonte: PEARSON *et al.*, 2006.

Bates (1992) em seus estudos nos Estados Unidos verificou que os defletores weir (FIGURA 31) devem ser instalados somente em bueiros com declividade baixa ($x \leq 1\%$), sendo adequada a retenção de matéria do leito de forma a auxiliar a passagem de pequenas espécies nativas. Este sistema possui uma desvantagem quanto ao acúmulo de sedimentos durante as baixas descargas, sendo este detrito armazenado nas piscinas geralmente removidos durante o período de inundações.

Figura 31 –vista em planta (topo) e seção transversal (parte inferior) de defletores *slotted Weir*.



Fonte: RAJARATNAM & KATOPODIS, 1990.

d) *Bueiro stair pipe*

O estudo de bueiros modificados com defletores *stair pipe* tiveram início na Bélgica após um tratado com a Holanda e Luxemburgo para o favorecimento da movimentação completamente livre de peixes. Este bueiro é baseado em conceitos de dois mecanismos de transposição de peixes, do tipo escada piscina com vertedor e Denil (DUPONT, 2004).

A inserção de defletores nestas estruturas proporciona uma redução na energia da água, na velocidade de escoamento, oferecendo áreas de remanso e profundidade suficiente para vencer a barreira, chegando ao objetivo a montante (RAFAEL *et al.*, 2013; DUPONT, 2009).

Nos bueiros *Stair Pipe*, os defletores são geometricamente diferentes, dispostos alternadamente (FIGURA 32). O defletor com 30° de inclinação (horizontal) é responsável pela formação de pequenas piscinas, elevando o nível de água a montante. O defletor de 60° de inclinação (horizontal) é responsável pela concentração do fluxo, redução de velocidade (máx. 1,5 m/s) com criação de contracorrente (SANTOS *et al.*, 2014).

Figura 32 - Visão dos pontos de conforto para peixes no bueiro *Stair Pipe*.



Fonte: SANTOS *et al.*, 2014; DUPONT, 2009.

A variação da velocidade do escoamento, obtida pelas possíveis inclinações da estrutura e angulações dos defletores, são fatores condicionais para a eficiência da transposição da ictiofauna pela estrutura (RAFAEL *et al.*, 2013). Assim, dependendo da situação hidráulica, esta pode diferir do leito natural do rio, comprometendo a possibilidade de passagem dos peixes, por estes não se sentirem confortáveis para usá-lo, de forma a romper o processo de transição (DUPONT, 2009).

3. METODOLOGIA

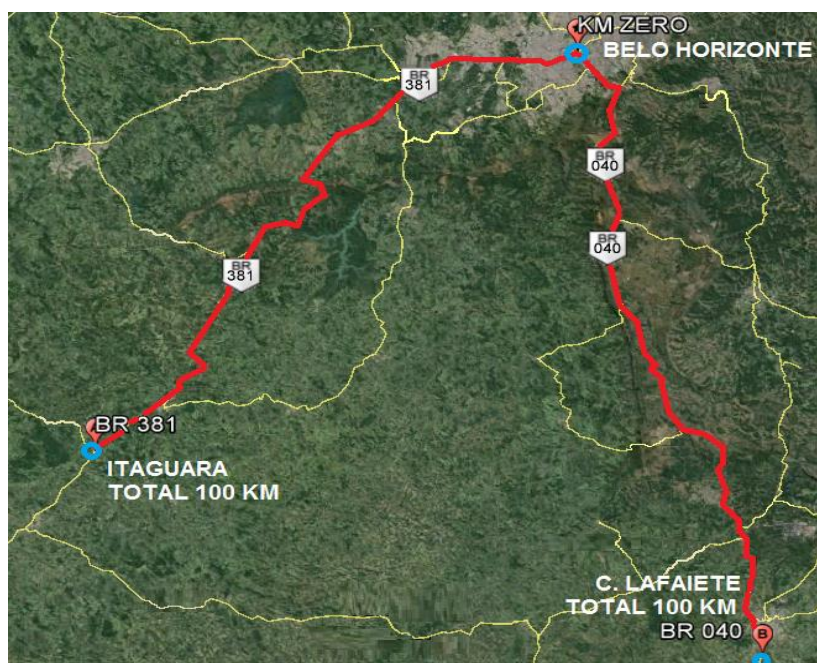
3.1 Área de estudo e período amostral

A área de estudo dos bueiros de drenagem está localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), devido à proximidade do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Para as amostras da investigação foram selecionadas duas rodovias federais:

- BR040 (Rodovia Presidente Juscelino Kubitschek) entre os municípios de Belo Horizonte e Conselheiro Lafaiete.
- BR381 (Rodovia Fernão Dias) entre os municípios de Belo Horizonte e Itaguara.

Foram percorridos 200 km no sentido sul, correspondendo 100 km em cada rodovia, a partir da interseção entre elas no Anel rodoviário Celso Mello Azevedo em Belo Horizonte (FIGURA 33).

Figura 33 - Área de investigação.

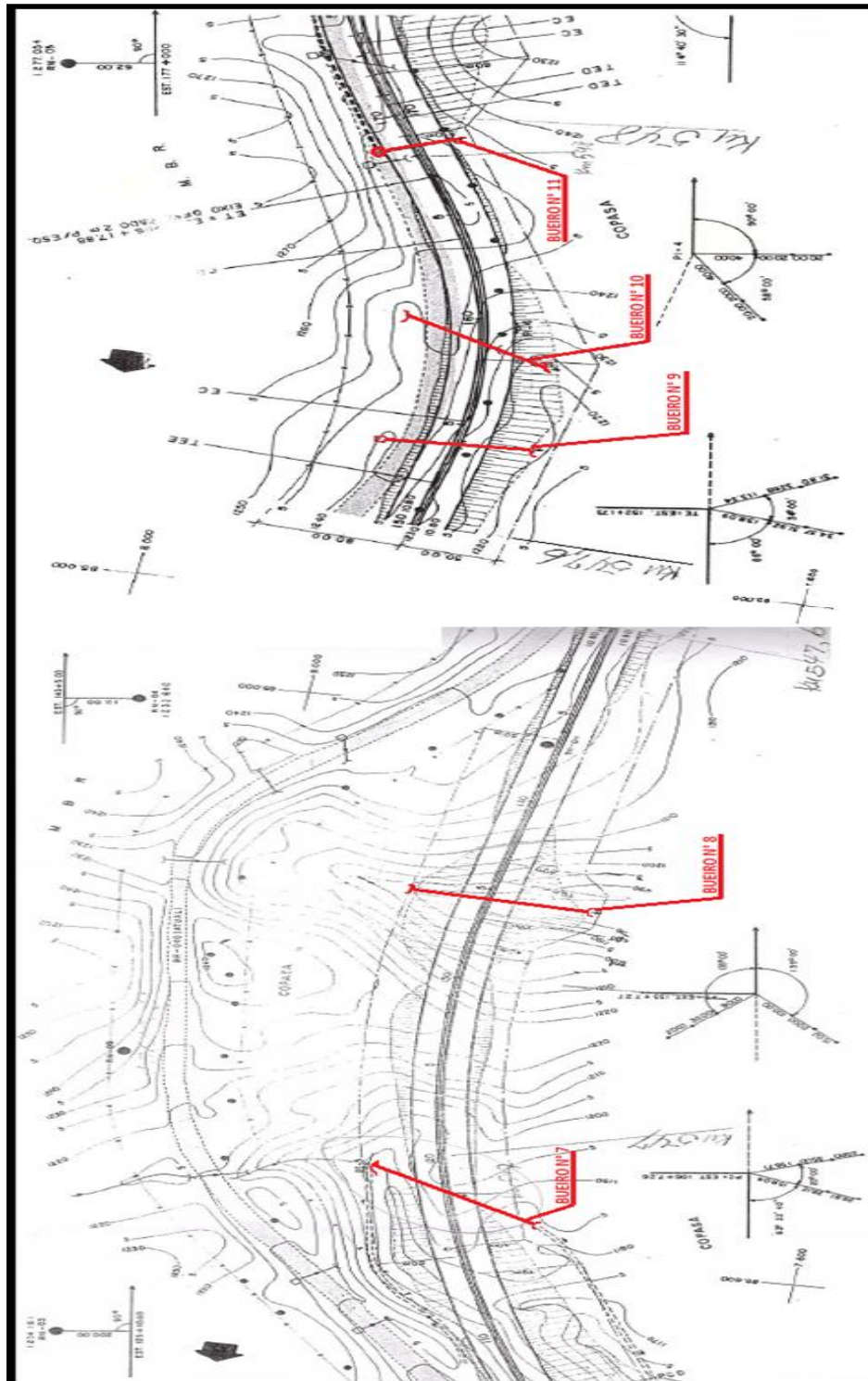


Fonte: Adaptação, Google Earth Pro (2016).

Nestes 200 km selecionados, os bueiros foram pesquisados nos projetos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2009) e Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER, 1978) (FIGURA 34) e todas as estruturas que possuíam suas coordenadas geográficas nos cadastros de bueiros fornecidos pela Agência Nacional de Transportes

Terrestres (ANTT) foram aceitas para formar o universo da investigação, totalizando 149 bueiros na BR 040 e 98 bueiros na BR 381 (247 unidades).

Figura 34 - Projeto DNER (1978) relativo à BR 040.



Fonte: Adaptação, projeto DNER (1978).

Devido a questão de limitação de tempo suficiente e recursos financeiros para a pesquisa de campo, as medições foram realizadas no mês de março de 2016, período com grande possibilidade de chuva, fator importante para a avaliação das condições hidráulicas nos bueiros.

A eleição de rodovia e a área de estudo foram determinadas no sentido sul devido à ocorrência dificuldades de acesso a projetos de ambas BR's e falta de documentação de cadastro das estruturas relacionadas às obras de duplicação e manutenção no sentido norte da BR 381. Estas rodovias no sentido sul passam por duas bacias hidrográficas, Rio Paraopeba e Rio das Velhas.

O georreferenciamento foi realizado a partir do processamento destes dados obtidos e aplicando-os aos programas computacionais *MapInfo Professional 10* (FIGURA 35) para apresentação da área de atuação e *Google Earth Pro* (2016) para orientação da visita em campo (FIGURA 36).

Figura 35 - Rodovias (BR040 e BR381) da região metropolitana de Belo Horizonte- MG.



Fonte: Adaptação, *MapInfo Professional 10* (2016).

Figura 36 – Localização dos bueiros pesquisados.



Fonte: Adaptação, Google Earth Pro (2016).

Em uma população de 247 bueiros, sendo 149 unid. (BR040) e 98 unid. (BR 381), foram investigadas 44 estruturas, divididas igualmente entre as rodovias (22 unid. BR040 e 22 unid. BR381) independente da representatividade na relação população x amostra. Este total amostral foi limitado em decorrência do curto tempo para conclusão do trabalho e recurso financeiro reduzido. Este campo amostral possui erro amostral de 11,4% e nível de confiança de 90%. Esta amostra superou em 10% a amostra trabalhada por Makrakis *et al.* (2012).

Utilizando a ferramenta Microsoft Excel 2016 (FIGURA 37), foi distribuído na primeira tabela os 149 bueiros da BR 040 e na segunda tabela os 98 bueiros da BR 381. A partir disto, utilizamos o comando `(=ALEATÓRIOENTRE(1;149))` para determinamos os 22 bueiros selecionados da rodovia BR 040 e `(=ALEATÓRIOENTRE(1;98))` para determinamos os 22 bueiros na BR 381.

Figura 37 - Distribuição aleatória dos 22 bueiros (BR040) e 22 bueiros (BR381)

BR 040														
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111	121	131	141
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132	142
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123	133	143
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114	124	134	144
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	

= ALEATÓRIOENTRE(1;149)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	96	40	149	19	14	139	65	61	133	107
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
103	78	144	83	46	125	100	104	84	59	117

BR 381										
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98	
9	19	29	39	49	59	69	79	89		
10	20	30	40	50	60	70	80	90		

= ALEATÓRIOENTRE(1;98)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
70	68	93	18	55	11	8	39	52	13	83
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
41	7	44	97	37	30	82	10	66	87	74

Fonte: Autor, 2016.

3.2 Protocolo de coleta de dados

Para registrar os dados obtidos em campo, foi criado um protocolo de investigação (FIGURA 38). Neste protocolo a especificação preliminar apresenta campos para a indicação da rodovia, bacia hidrográfica e das condições climáticas no momento da coleta de informações.

Com relação ao estudo das estruturas de drenagem, o protocolo possui campos para a seleção do tipo de bueiro vistoriado (grota seca de precipitação ou grota para curso d'água), além de campos para indicação de posição e coordenadas e quilometragem conforme Sistema Viário Nacional (FIGURA 38).

Como o tipo de material condiciona o escoamento hidráulico do bueiro, o protocolo permite a indicação do revestimento do bueiro (concreto, metálico (Armco) ou fibrocimento), além da forma de seção (circular ou celular), do número de linhas (simples, duplas ou triplas), das dimensões e da condição física (presença de lixo e galhos e a proporção de obstrução e conservação. Em relação à área hidráulica, os parâmetros analisados foram a declividade apresentada no interior das estruturas, o nível da lâmina d'água e a altura do degrau a jusante dos bueiros (FIGURA 38).

Com relação à ictiofauna, o relatório apresenta a possível ocorrência de peixes e na área de dados complementares possíveis informações relevantes podem ser acrescentadas (FIGURA 38).

Figura 38 - Formulário para pesquisa de campo.

		RELATÓRIO DE PESQUISA DE CAMPO				DATA / /	
		ALUNO RESPONSÁVEL:				AISLAN RANDER SANTOS	
		PROFESSORA ORIENTADORA				HERSÍLIA ANDRADE E SANTOS	
ESPECIFICAÇÃO PRELIMINAR							
RODOVIA (BR)	040		BACIA	RIO PARAPEBA			
	381			RIO DAS VELHAS			
TEMPO	X	SECO			CHUVA		
BUEIRO							
TIPO	GROTA SECO PRECIPITAÇÃO			GROTA CURSOS D'ÁGUA			
GPS	POSICAO		COORDENADAS				
IDENTIFICAÇÃO EM PROJETO							
MATERIAL	CONCRETO			FIBROCIMENTO			
	METÁLICO			OUTRO			
	OBSERVAÇÕES						
FORMA BUEIRO	TUBULACAO		QUADRADO	CIRCULAR			
	CAIXA DE PASSAGEM		QUADRADO	CIRCULAR			
DIMENSÕES BUEIRO (m)	COMPRIMENTO		ALTURA				
	LARGURA		DIÂMETRO TUBULACAO				
CONDIÇÃO	PRESENÇA DE LIXO		SIM	NÃO			
	PRESENÇA DE GALHOS		SIM	NÃO			
	OBSTRUÇÃO		TOTAL	PARCIAL	NÃO		
	CONSERVAÇÃO		MUITO BOM	BOM	RUIM		
HIDRAULICA	DECLIVIDADE						%
	NÍVEL LÂMINA D'ÁGUA		-				mm
	VELOCIDADE ESCOAMENTO		-				m/s
	ALTURA DEGRAU A JUSANTE		0,00				m
PEIXES							
OCORRÊNCIA PRESENÇA VISUAL	SIM		NÃO				
DADOS COMPLEMENTARES							
OBSERVAÇÕES							

Fonte: Autor, 2015.

Para o dimensionamento dos bueiros e sua inclinação foi utilizada uma trena métrica a laser modelo *Leika Geosystems – Disto D5* (FIGURA 39).

Para calcular os desníveis a jusante das estruturas e o nível d'água foi utilizada uma fita métrica no eixo inferior do curso d'água. No caso de impossibilidade de acesso para realizar medições foi utilizada a trena métrica a laser.

Figura 39 - Medições com fita métrica convencional e a laser.



Fonte: Autor, 2016.

3.3 Cálculo das variáveis hidráulicas

A declividade na estrutura de drenagem foi obtida com informações coletadas em campo, e não coletadas nos projetos, de forma a garantir números conforme realidade executada e não segundo projetada. Assim, foram calculadas através da análise do coeficiente da amplitude altimétrica (ΔH) dos bueiros (cota maior a montante – cota menor a jusante) e pelo comprimento (L) da estrutura. O valor encontrado é multiplicado por 100 para resultados em porcentagem (EQUAÇÃO 1).

$$\text{Declividade}_{\text{bueiro}} = (\Delta H) / L \times 100 \quad [1]$$

Para o estudo das velocidades médias estimadas, empregou-se a equação de Manning (EQUAÇÃO 2), utilizando os resultados obtidos da declividade no interior das estruturas, o raio hidráulico resultante da razão da área hidráulica e do perímetro molhado coletados em campo. Para o coeficiente de rugosidade de Manning dos bueiros investigados, foi utilizada a tabela de Porto (1998) observando o material das estruturas (manilha de concreto ou tudo metálico corrugado) e sua condição de conservação (muito bom, bom, regular e ruim) (TABELA 1).

$$V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad [2]$$

Onde:

V = Velocidade média (m/s);

n = Coeficiente de rugosidade de Manning;

R = Raio hidráulico (m). O raio hidráulico é a razão entre a área e o perímetro molhado.

S = Declividade (m/m).

Para o conhecimento do raio hidráulico foi necessário o estudo da área molhada e o perímetro molhado, obtidos através das seguintes fórmulas:

1. *Área Molhada = Largura superficial x profundidade hidráulica* [3]
2. *Perímetro Molhado = $\frac{\text{Largura superficial} \times \text{profundidade hidráulica}}{\text{Largura superficial} + 2 \times \text{profundidade hidráulica}}$*
3. *Raio Hidráulico = $(\text{Área molhada} / \text{Perímetro molhado})^{2/3}$*

Tabela 1 - Coeficiente de rugosidade Manning

NATUREZA DAS PAREDES DOS BUEIROS	CONDIÇÃO		
	MUITO BOA	BOA	RUIM
TUBO CONCRETO	0,012	0,013	0,018
TUBO METÁLICO CORRUGADO	0,023	0,025	0,028

Fonte: Adaptação, Porto (1998).

De posse destes dados, foram elaborados histogramas no *software Microsoft Excel* apresentando uma comparação entre os bueiros estudados, observando dados como, comprimento, declividade, altura da lâmina de água e velocidade de escoamento.

3.4 Obtenção das informações hidrológicas dos cursos d'água selecionados

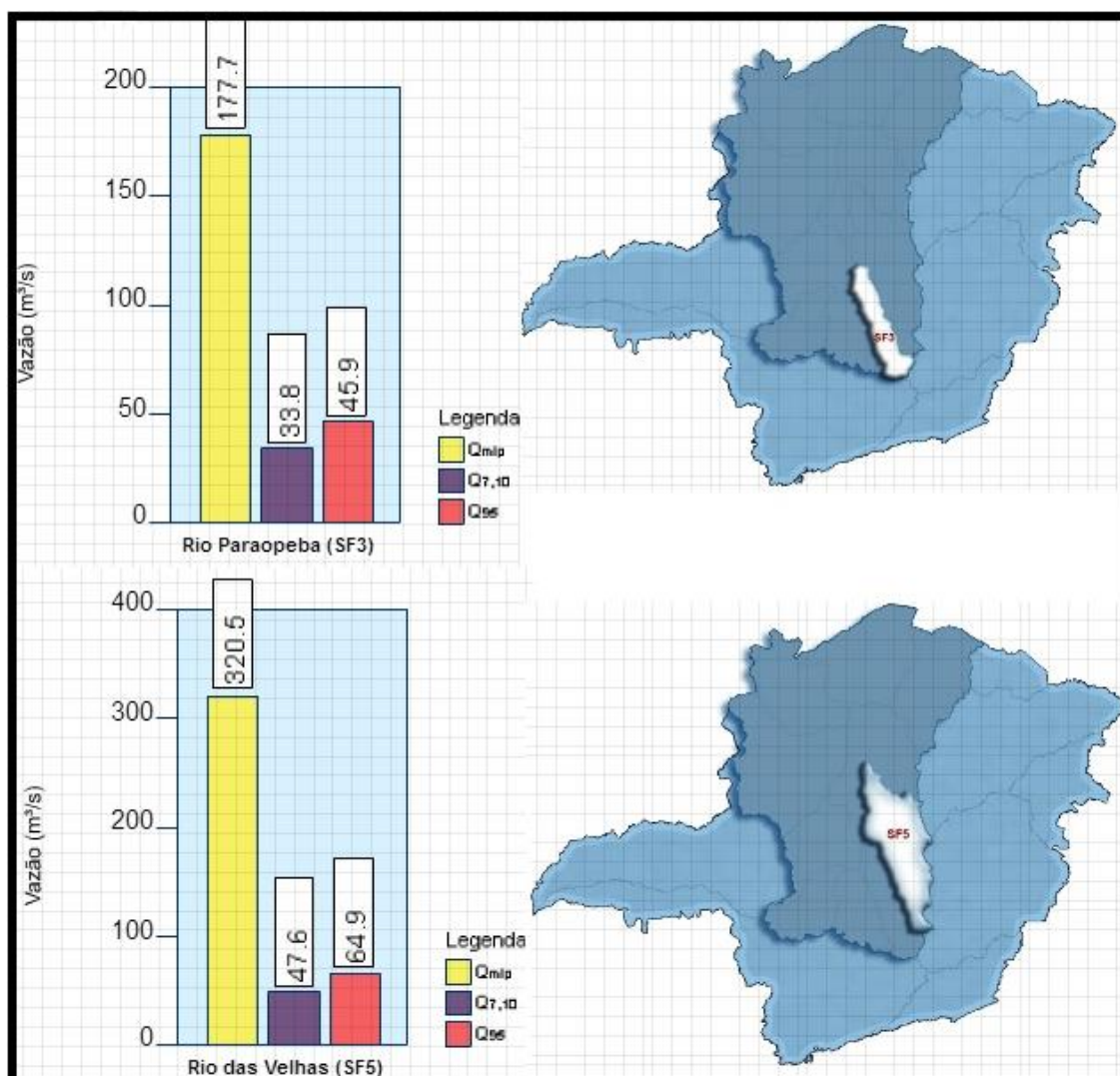
O estudo da vazão de cursos d'água é direcionado através do conhecimento das vazões máximas, importante para a definição de projetos de drenagem, pontes, retificação de cursos d'água, dimensionamento de vertedores de barragens e controle de enchentes (IGNÁCIO, 2003).

O estudo da seção dos cursos d'água das bacias hidrográficas do Paraopeba e das Velhas no Atlas Digital das Águas de Minas (SAGA, 2016) oferece informações das vazões mínimas de sete dias de duração, associadas aos períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos, vazões máximas diárias anuais, associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos, vazões médias de longo período e vazões com permanência de 50% a 95% e volumes para regularização de vazões (FIGURA 40).

No Brasil, são analisadas as Q_{mlp} que apresentam a média de vazões em um período histórico, analisam valores de curva de permanência para determinar vazões ecológicas com base diária, mensal ou anual, Q_{90} e Q_{95} . 70% da $Q_{7,10}$, vazões mínimas médias com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos, porque são vazões de restrição mínima na legislação brasileira e $Q_{máx10}$ anos porque é a vazão máxima normalmente utilizada para projetar bueiros (BELICO *et al.*, 2013).

Utilizando as coordenadas dos bueiros obtidas em campo e verificadas no Google Earth Pro, foram obtidas no Atlas Digital das Águas de Minas (SAGA, 2016), a vazão média de longo prazo (Q_{mlp}), a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), a vazão com permanência de 95%, a vazão máxima de 10 anos ($Q_{máx10}$), 50 anos ($Q_{máx50}$), 100 anos ($Q_{máx100}$) e 500 anos ($Q_{máx500}$).

Figura 40 - Mapa de vazões dos rios Paraopeba (SF3) e das Velhas (SF5).



Fonte: SAGA, 2016. <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>.

Os resultados obtidos em campo (bueiros nas rodovias BR040 e BR381) possibilitaram a avaliação das vazões encontradas nas estruturas (Q_{bueiro}) e assim comparar com os levantamentos do Atlas das águas de Minas Gerais, dados 2016. As vazões utilizadas no atlas foram a vazão média de longo período (Q_{mlp}), a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência ($Q_{7,10}$), a vazão de referência com valores maiores ou iguais a ela durante 95% do tempo (Q_{95}) e a vazão máxima de referência com período de retorno de 10 anos ($Q_{\text{máx}10}$). De posse das informações hidrológicas de cada bueiro foi realizado um comparativo de vazões com os dados obtidos em campo.

3.5 Estudo do índice de conectividade nos bueiros

Os resultados dos estudos hidráulicos, possibilitaram determinar o nível barreira para a movimentação da ictiofauna nos bueiros investigados. A partir do modelo proposto por Coffman *et al.* (2005) e seguido por Makrakis *et al.* (2012), foram observados fatores como: a velocidade média da água nas estruturas (barreira de velocidade), altura de degraus a jusante (barreira de salto), altura da lâmina d'água no canal (barreira de profundidade) e desnível total do bueiro, obtido pela multiplicação do comprimento pela inclinação do canal (barreira de exaustão).

Makrakis *et al.* (2012) apresentou um modelo de classificação dos bueiros quanto à possibilidade total ou parcial e/ou impedimento de movimentação de peixes nas estruturas (TABELA 2). Esta especificação também será adotada neste trabalho a fins comparativos.

Tabela 2 - Classificação e pontuação dos bueiros quanto à possibilidade de passagem de peixes

CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO PARA ÍNDICE INDIVIDUAIS	ALTURA DE DEGRAU A JUSANTE (m)	ALTURA LÂMINA D'ÁGUA (m)	VELOCIDADE DA ÁGUA (m/s)	COMPRIMENTO X INCLINAÇÃO
INTRANSITÁVEL	0	>0,40	-	-	>200
ALTO RISCO	0,25	>0,20≤0,40	<0,10	>1,5	>100≤200
MÉDIO RISCO	0,75	>0,10≤0,20	0,10-0,15	0,5-1,5	>25≤100
BAIXO RISCO	1	≤0,10	>0,15	<0,5	≤25

Fonte: Makrakis *et al.* (2012).

A partir de informações coletadas em campo foi possível calcular o índice de conectividade (I_c) (EQUAÇÃO 3). A partir dos valores obtidos de altura do degrau a jusante (I_{Hp}), altura da lâmina d'água (I_{Df}), velocidade do escoamento hidráulico no canal (I_Q) e o multiplicador comprimento (L) por inclinação (S) foi atribuída uma pontuação para cada índice individual (Makrakis *et al.*, 2012).

$$I_c = I_{Hp} \times I_{Df} \times I_Q \times I_{(L \times S)} \quad [3]$$

Finalmente o índice de conectividade (I_c) é calculado, sendo obtidos valores que variam de zero (0), quando o bueiro será considerado intransitável a um quando (1), quando o bueiro é razoavelmente transitável. No intervalo entre zero e um (0-1), o bueiro é considerado transitável parcialmente, pois será associado às características físicas e hidráulicas que podem afetar o desempenho dos peixes durante a movimentação ascendente (MAKRAKIS *et al.* 2012).

4. RESULTADOS

4.1 Seleção dos bueiros

Em um total de 247 estruturas apresentadas em projetos do DNIT (2009) e DNER (1978) e cadastros da ANTT, foram selecionados aleatoriamente e agrupados de forma crescente, utilizando a ferramenta *Microsoft Excel* 2016, 22 bueiros na BR 040 e 22 bueiros na BR 381 (TABELA 2).

Tabela 3 - Bueiros rodovias BR040 e BR381 indicados por quilometragem²

RODOVIA	LOCALIZAÇÃO DOS BUEIROS (quilômetros + metros)					
BR 040	544+610	557+600	568+700	585+020	596+300	618+400
	551+200	558+800	575+850	588+800	599+380	621+600
	554+290	560+650	578+232	591+030	607+300	-
	555+600	562+700	582+800	591+330	608+630	-
BR 381	479+200	489+200	518+240	526+730	539+795	551+300
	479+220	491+293	518+582	527+154	543+400	574+800
	484+107	497+800	520+212	532+229	546+900	-
	488+170	498+403	523+174	536+537	548+800	-

Fonte: Autor, 2016.

No Apêndice, são apresentados os 44 bueiros estudados e suas respectivas coordenadas.

4.2 Estudos hidráulicos dos bueiros

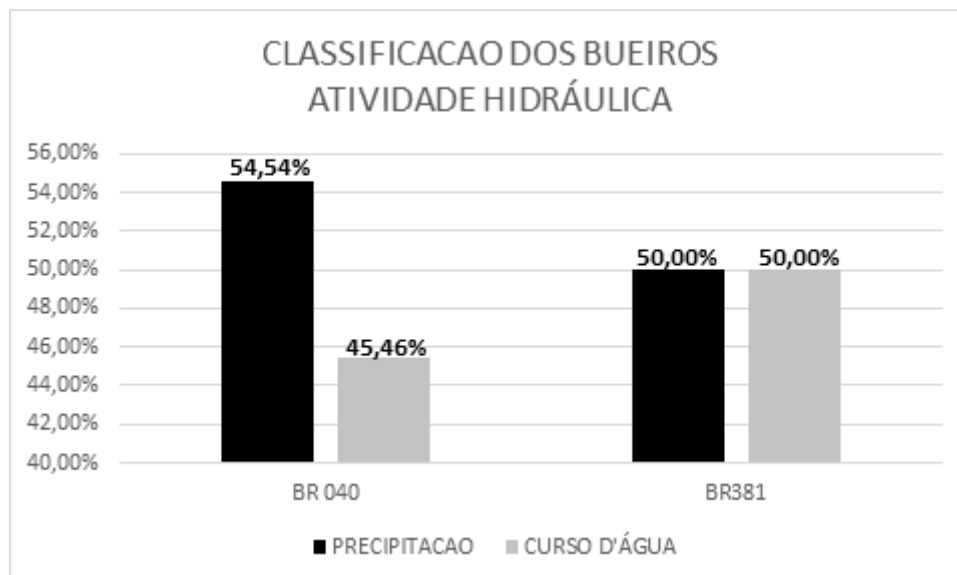
A seguir, são apresentados os histogramas dos dados coletados “*in loco*”, baseados no relatório de pesquisa de campo e nos cálculos de declividade e velocidade média de Manning.

O mês de março de 2016 foi um período atípico, considerado um período de chuva, não houve ocorrência e foi apontado sendo um período extenso de seca. Assim não ficou clara a diferença entre os bueiros para precipitação ou cursos d’água, já que muitos bueiros estavam totalmente secos. Os resultados foram registrados pela avaliação visual e baseadas nas informações obtidas

² Os bueiros foram registrados conforme quilometragem fechada e metragem fracionada. Como exemplo: 544 quilômetros e 610 metros.

nos cadastros fornecidos pela ANTT, houve um equilíbrio entre os tipos dos bueiros na BR 381 e um número maior de estruturas para cursos d'água (54,54%) na BR 040 (FIGURA 41).

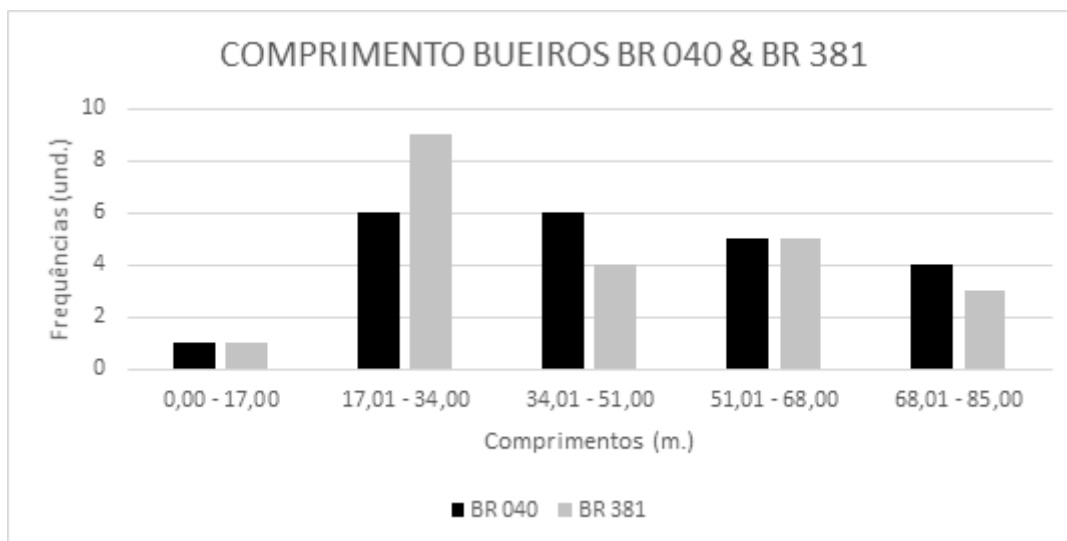
Figura 41 - Classificação hidráulica dos bueiros investigados.



Fonte: Autor, 2016.

O comprimento das estruturas (FIGURA 42), obtidos utilizando trena métrica a laser, foram compilados e organizados, gerando um comparativo entre os trechos pesquisados nas duas rodovias. No intervalo entre $0m < x \leq 17m$, foram encontrados um bueiro em cada rodovia investigada ($n^{\circ}_{amostras} = 2$). Entre $17m < x \leq 34m$ ocorreram 6 bueiros na BR040 e 9 bueiros na BR 381 ($n^{\circ}_{amostras} = 15$), correspondendo a 34% das estruturas investigadas. Bueiros com extensões superiores a 34m representam 61% das estruturas amostradas, sendo 15 unid. na BR040 e 12 unid. na BR381 ($n^{\circ}_{amostras} = 27$).

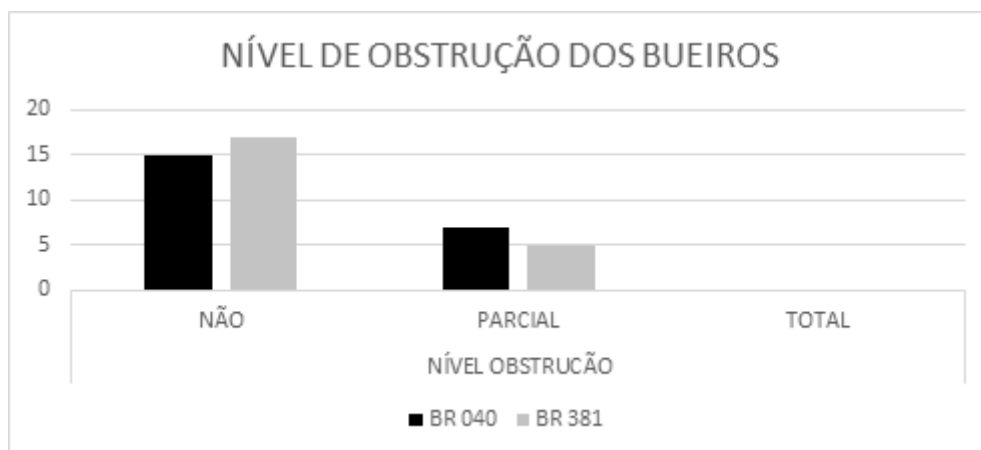
Figura 42 - Comparativo entre os comprimentos de bueiros nas BR's 040 e 381.



Fonte: Autor, 2016.

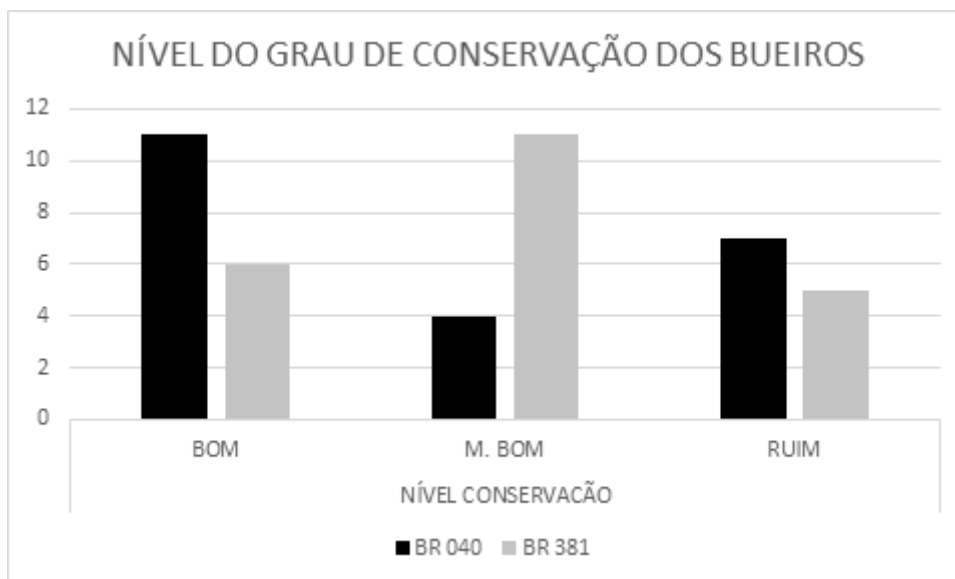
Nos 44 bueiros estudados observou-se que em 72% das estruturas não possuíam obstrução, seja de sedimentos, lixos ou outro resíduo que se impossibilita o trânsito de indivíduos da ictiofauna pelos bueiros, 28% apresentavam obstruções parciais. Na amostra não foram encontradas estruturas com obstrução tal do canal dos bueiros (FIGURA 43).

Figura 43 - Nível de obstrução (sedimentos, lixos, outros) dos bueiros



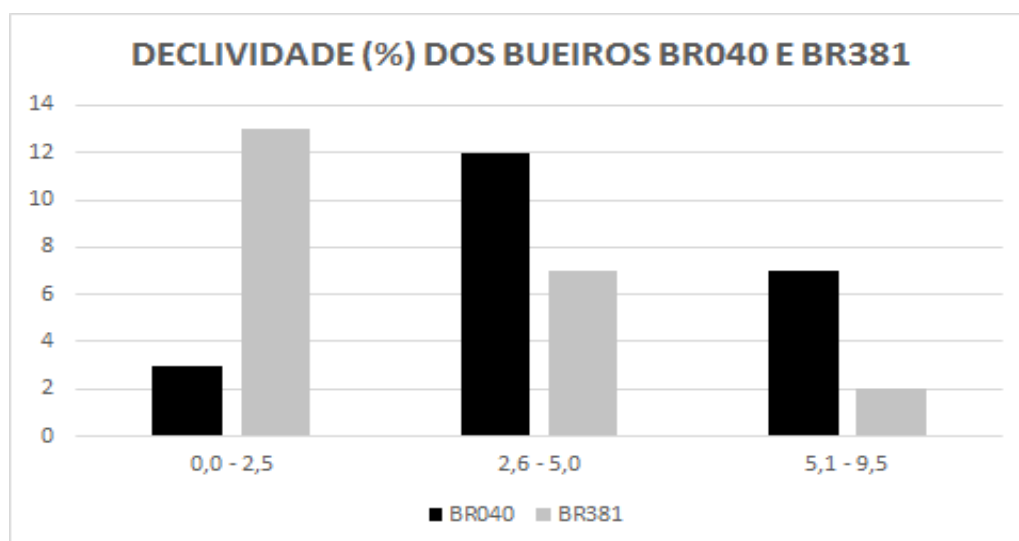
Fonte: Autor, 2016.

Quanto ao grau de conservação das estruturas (FIGURA 44), 27% dos bueiros encontravam em mau estado de conservação. O destaque ficou para os 25% de bueiros muito bons na BR 381 e os 25% de bom estado de conservação na BR 040. Combinando os resultados muito bom e bom, chegamos a 34% (BR 040) e 39% (BR 381).

Figura 44 - Grau de conservação dos bueiros

Fonte: Autor, 2016.

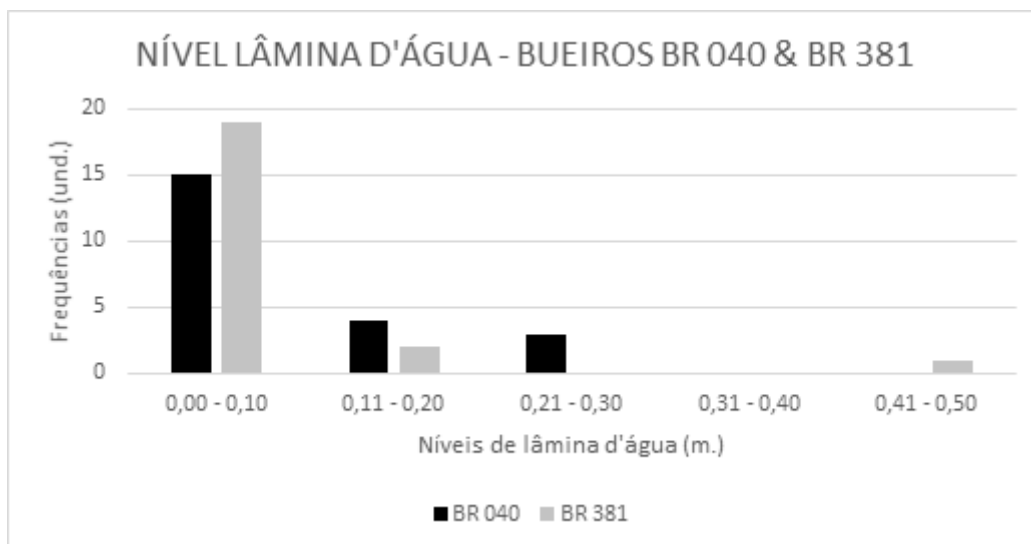
As declividades obtidas através da trena métrica a laser em graus, foram calculadas e organizadas conforme parâmetros apresentados por (BATES, 1999), gerando um comparativo entre os bueiros pesquisados (FIGURA 45). Bueiros com declividade favoráveis para a passagem de peixes (2,5 a 5%), foram encontradas 19 estruturas investigadas. Declividades inferiores a 2,5% totalizaram 16 unidades. Bates (1999) afirma que no intervalo entre (1 – 2,5%) bueiros adaptados com defletores podem contribuir com o trânsito da ictiofauna. Neste caso, foram selecionados 3 bueiros na BR040 e 10 bueiros na BR381. Estruturas com declividades superiores a 5,0% somaram 9 unidades (BR040 n° amostras = 7 e BR381 n° amostras = 2).

Figura 45 - Cálculo das declividades

Fonte: Autor, 2016.

Os dados relativos ao nível de lâmina d'água (FIGURA 46) obtidos em campo apresentaram o maior número de estruturas com ausência ou baixo volume de água nas estruturas (inferior a 10cm) no período da amostragem.

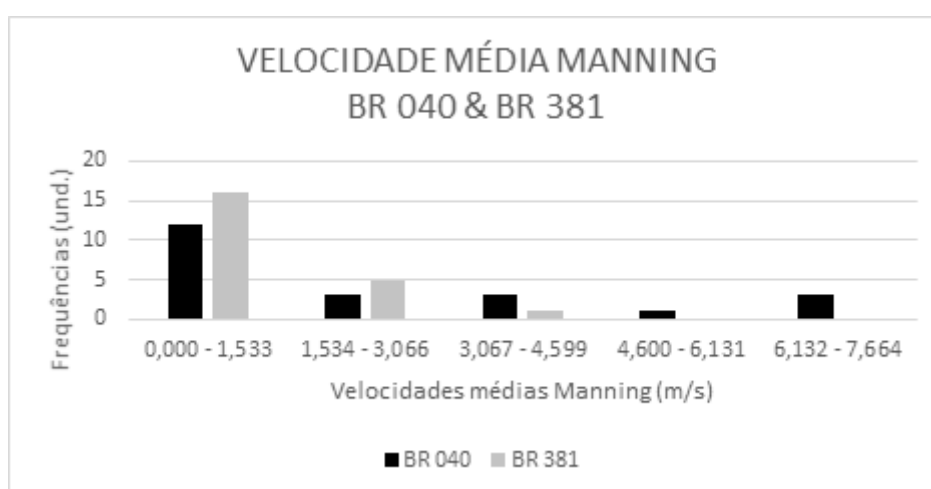
Figura 46 - Nível da lâmina d'água



Fonte: Autor, 2016

As velocidades médias obtidas pelas equações de Manning (FIGURA 47) indicaram maior ocorrência dos valores de 0,000 a 1,533 m/s.. Entretanto, valores superiores a 6m/s podem ocorrer em alguns bueiros.

Figura 47 - Velocidades médias dos bueiros pesquisados

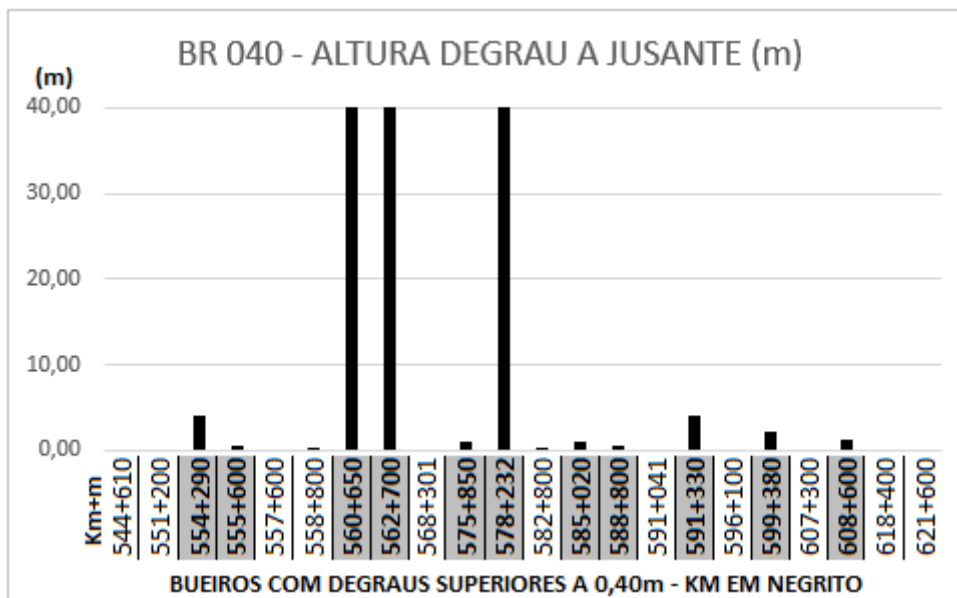


Fonte: Autor, 2016.

Com relação ao desnível a jusante das estruturas, no estudo de campo da BR 040 (FIGURA 48) foram verificados três bueiros com desníveis do tipo escada com aproximadamente 40,00m de

caída quando observado o curso d'água a jusante e a saída da estrutura. 50% das estruturas na BR 040 possuíam desníveis superiores a 0,40m.

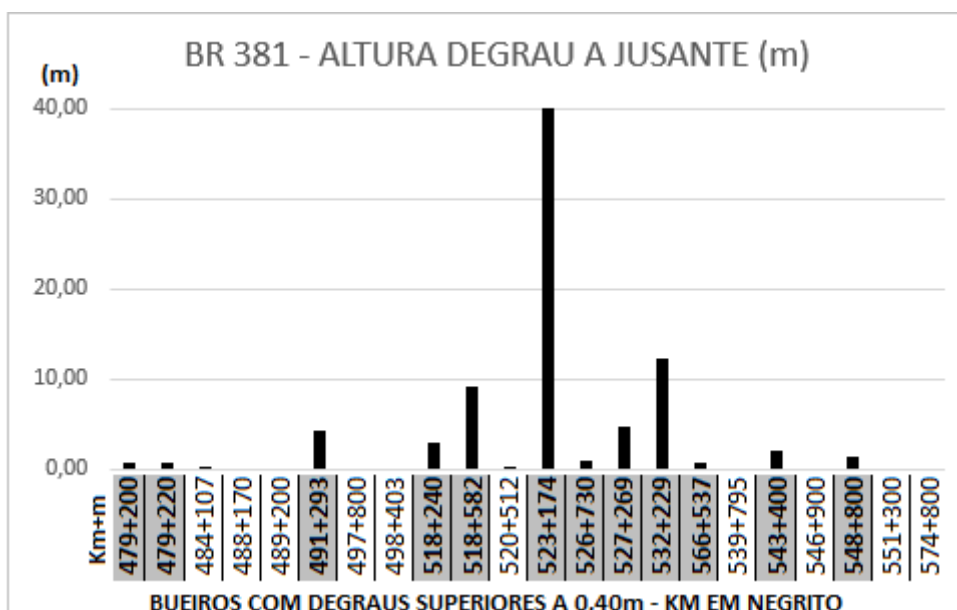
Figura 48 - Altura de degraus a jusante dos bueiros investigados da BR040



Fonte: Autor, 2016.

Com relação aos degraus a jusante dos bueiros investigados na BR 381 (FIGURA 49), uma estrutura apresentou degrau do tipo escada com desnível próximo a 40,00m, duas estruturas continham desníveis entre 5,00 e 15,00m. 45% dos bueiros apresentaram degraus inferiores a 0,40m (parâmetro favorável ao trânsito dos indivíduos).

Figura 49 - Altura de degraus a jusante dos bueiros investigados da BR381

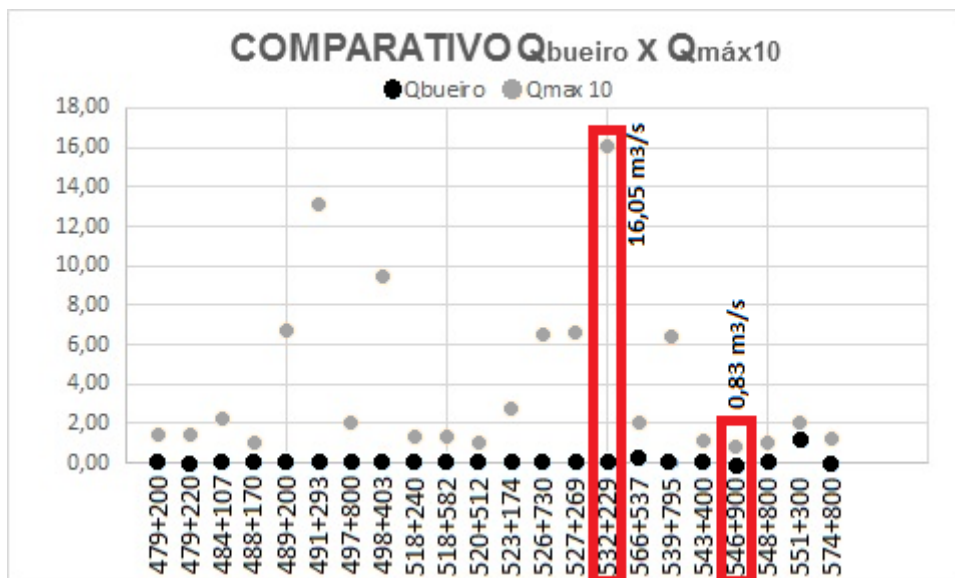


Fonte: Autor, 2016.

4.3 Estudo comparativo entre as vazões nos bueiros e nas bacias hidrográficas

Na BR 381, todos os bueiros analisados tiveram vazão inferior a vazão de máxima de 10 anos de recorrência. Os valores de vazão Max de 10 anos de recorrência variam entre 0,83 m³/s e 16,05 m³/s (FIGURA 50).

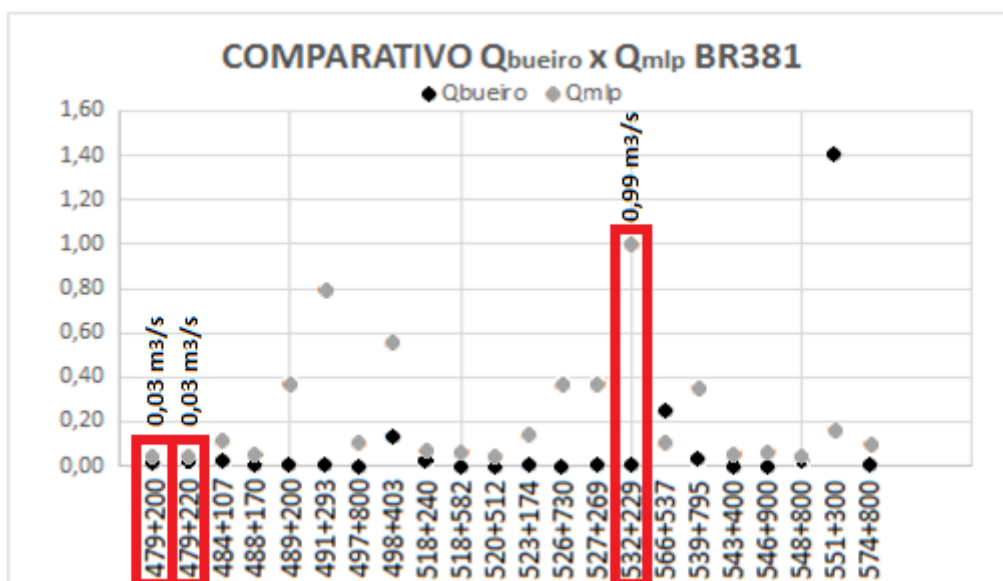
Figura 50 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão máx. 10 anos



Fonte: Autor, 2016

A maioria dos bueiros desta rodovia tiveram suas vazões no período amostrado inferior a Q_{mlp} . Apenas 9% tiveram valores maiores. A Q_{mlp} variou de 0,03 m³/s a 0,99 m³/s (FIGURA 51).

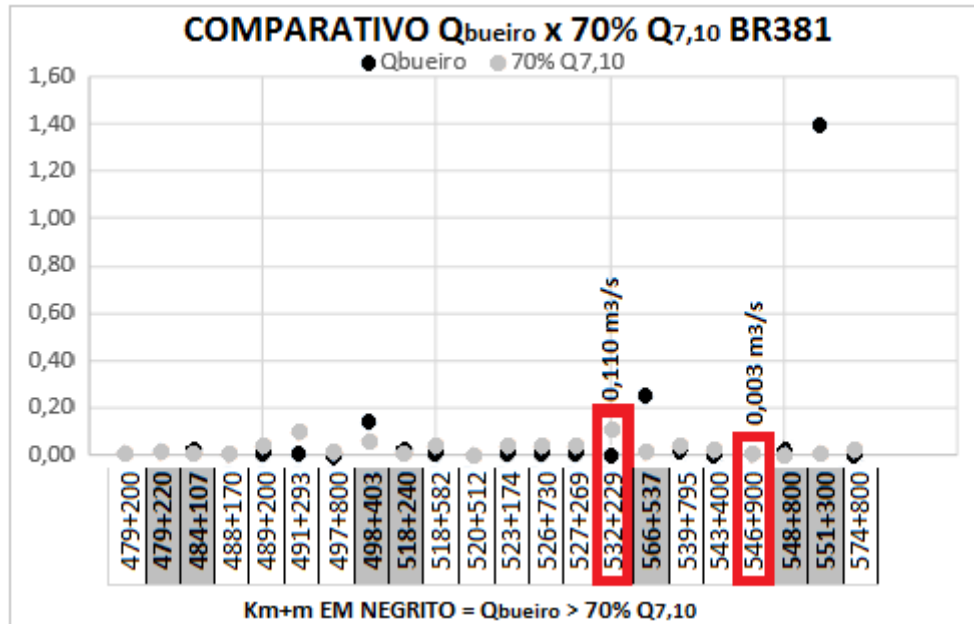
Figura 51 – Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão média de longo prazo



Fonte: Autor, 2016

Com relação as vazões mínimas estabelecidas pela legislação (70% $Q_{7,10}$), onde 16 % dos bueiros tiveram $Q_{\text{bueiro}} > 70\% Q_{7,10}$, onde o parâmetro 70% da $Q_{7,10}$ variou entre 0,003 e 0,110 m^3/s (FIGURA 52).

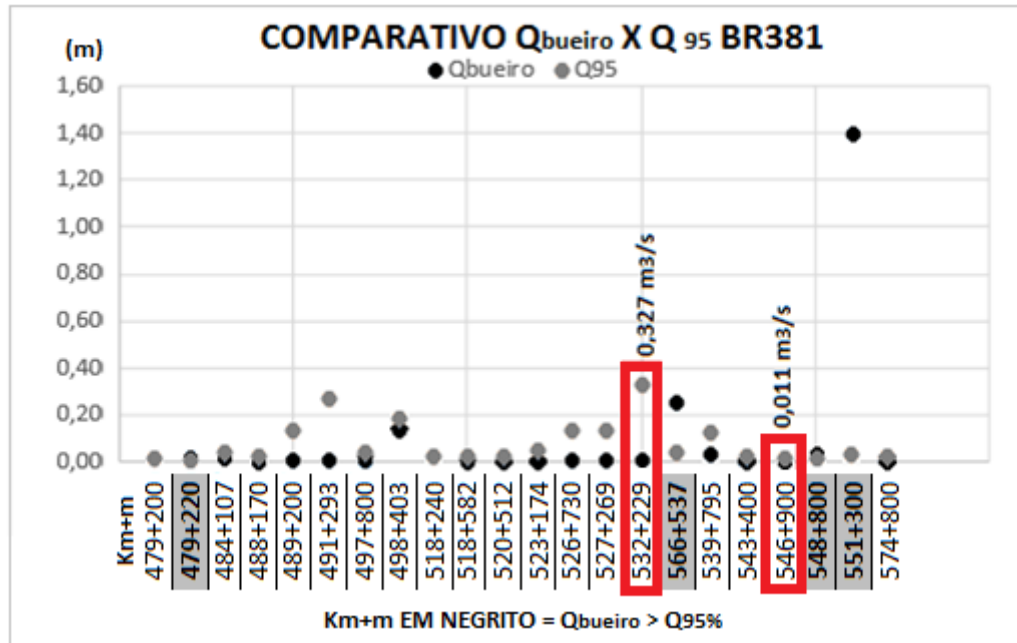
Figura 52 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e 70% da vazão 7,10



Fonte: Autor, 2016

Com relação as vazões mínimas estabelecidas pela legislação (Q_{95}), 9% dos bueiros tiveram $Q_{\text{bueiro}} > Q_{95}$, onde a vazão Q_{95} variou entre 0,011 e 0,327 m^3/s (FIGURA 53).

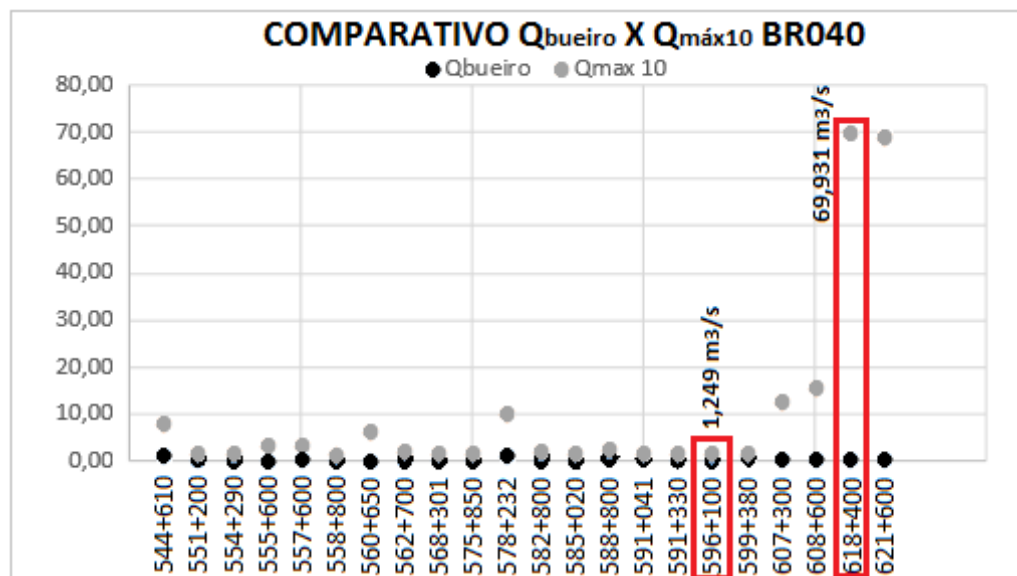
Figura 53 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão de referência com valores $\geq$ durante 95% do tempo



Fonte: Autor, 2016

Com relação à BR 040, todos os bueiros analisados tiveram vazão inferior a vazão de máxima de 10 anos de recorrência. Os valores de vazão máxima de 10 anos de recorrência variam entre 1,24 m³/s e 69,93 m³/s (FIGURA 54).

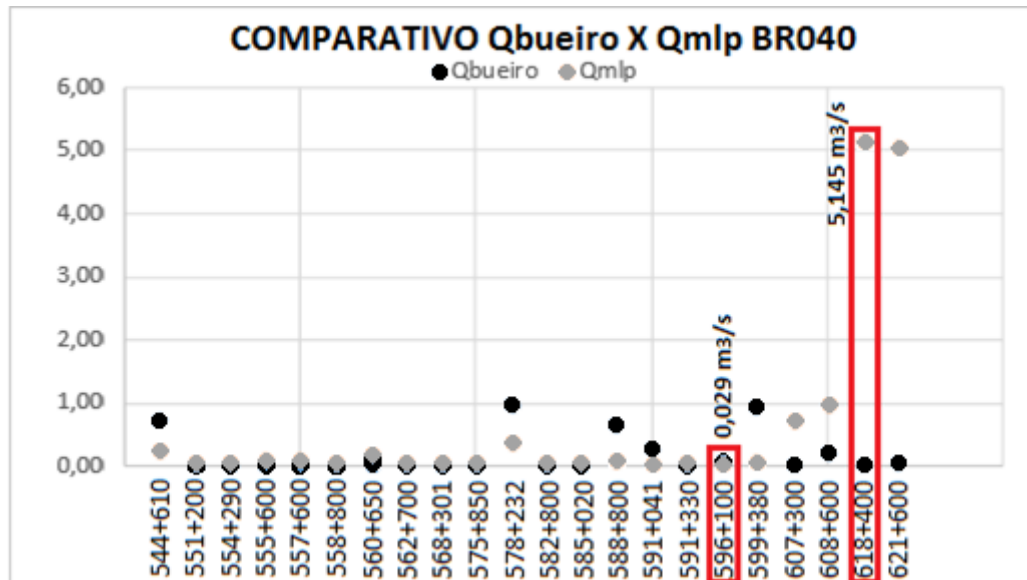
Figura 54 - Comparativo: vazão bueiros BR040 e vazão máx. 10 anos



Fonte: Autor, 2016

A maioria dos bueiros desta rodovia tiveram suas vazões no período amostrado inferiores a Q_{mlp} . Um total de 27% teve valores maiores. A Q_{mlp} variou de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ a $5,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (FIGURA 55).

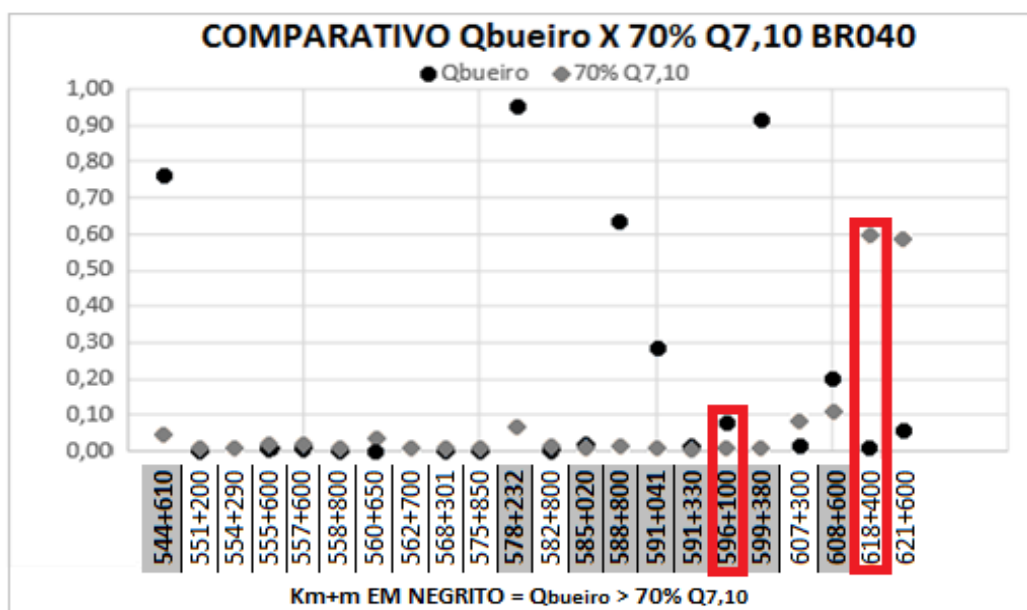
Figura 55 – Comparativo: vazão bueiros BR040 e vazão média de longo prazo



Fonte: Autor, 2016

Com relação as vazões mínimas estabelecidas pela legislação ($70\% Q_{7,10}$), 20% dos bueiros tiveram vazão superior a $70\% Q_{7,10}$ e as vazões obtidas neste parâmetro variaram entre $0,005$ e $0,592 \text{ m}^3/\text{s}$ (FIGURA 56).

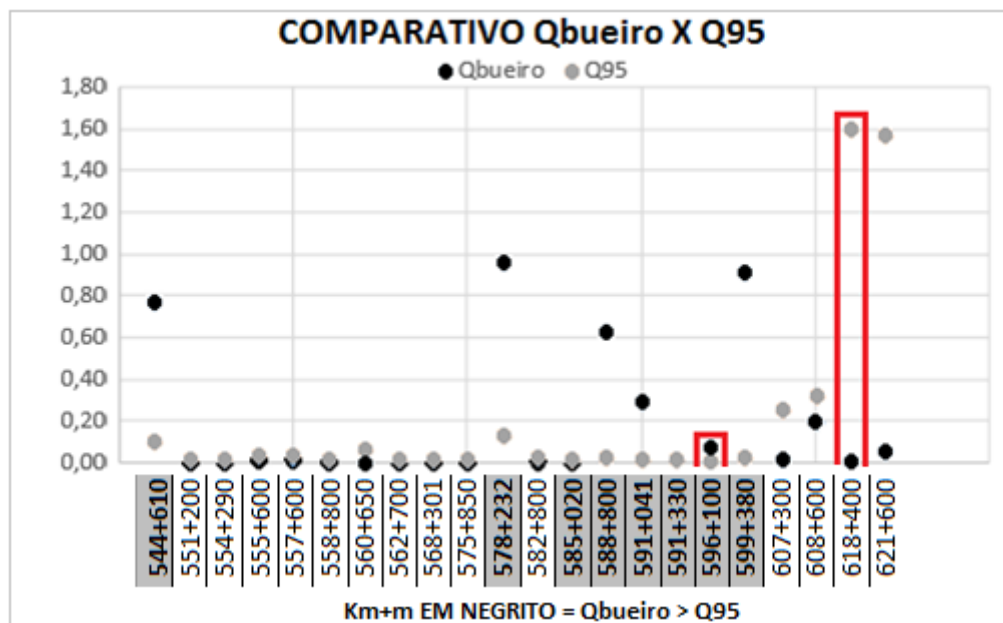
Figura 56 - Comparativo: vazão bueiros BR040 e 70% da vazão 7,10



Fonte: Autor, 2016

Com relação as vazões mínimas estabelecidas pela legislação (Q_{95}), 18% dos bueiros tiveram vazão $Q_{\text{bueiro}} > Q_{95}$. Os valores de Q_{95} variaram entre 0,010 e 1,594 m³/s (FIGURA 57).

Figura 57 - Comparativo: vazão bueiros BR381 e vazão de referência com valores $\geq$ durante 95% do tempo



Fonte: Autor, 2016

4.4 Estudo do índice de conectividade nos bueiros

Com a utilização do método de classificação proposto por Coffman *et al.* (2005) e adaptado por Makrakis *et al.* (2012), foi observado que todos os bueiros investigados na RMBH apresentavam limitações ao trânsito de peixes (TABELA 4 e TABELA 5).

Na BR 040, 72% dos bueiros avaliados foram considerados intransitáveis e 28% estão parcialmente transitáveis (TABELA 4) nas condições amostradas neste estudo. Na BR 381, 64% dos bueiros estudados foram considerados intransitáveis e 36% estão parcialmente transitáveis (TABELA 5).

Tabela 4 - Estudo do índice de conectividade nos bueiros da BR040

Localização		Velocidade (m/s)	Degrau (cm)	Altura Lâmina D'Água	Comprimento (m)	Declividade (%)	Desnível total (cm)	Índices Individuais				Ic	
BR	KM							IHP	IDF	IV	I (LxS)		
RODOVIA PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK - BR 040	544+610	4.21	0.00	0.280	82.60	6.642	548.62	1.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	551+200	0.00	0.00	0.000	37.30	5.066	188.95	1.00	0.25	1.00	0.25	0.06	Parcial
	554+290	1.16	4.00	0.020	44.60	6.467	288.41	0.00	0.25	0.75	0.00	0.00	Intransitável
	555+600	1.20	0.60	0.030	32.40	4.716	152.80	0.00	0.25	0.75	0.25	0.00	Intransitável
	557+600	0.70	0.00	0.040	44.30	2.095	92.80	1.00	0.25	0.75	0.75	0.14	Parcial
	558+800	0.53	0.20	0.020	52.72	2.968	156.47	0.75	0.25	0.75	0.25	0.04	Parcial
	560+650	0.00	40.00	0.000	47.60	7.168	341.20	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	562+700	3.09	40.00	0.080	55.00	4.541	249.76	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	568+301	0.00	0.00	0.000	23.85	7.870	187.70	1.00	0.25	1.00	0.25	0.06	Parcial
	575+850	0.00	0.90	0.000	51.78	14.232	736.94	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	578+232	7.66	40.00	0.200	29.65	16.555	490.85	0.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	582+800	0.00	0.30	0.000	64.78	8.925	578.15	0.25	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	585+020	1.42	0.90	0.040	42.20	4.541	191.63	0.00	0.25	0.75	0.25	0.00	Intransitável
	588+800	6.32	0.60	0.230	26.14	11.040	288.59	0.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	591+041	4.68	0.00	0.130	77.54	9.101	705.67	1.00	0.75	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	591+330	6.89	4.04	0.180	47.12	10.158	478.63	0.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	596+100	2.70	0.00	0.080	68.00	6.642	451.66	1.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	599+380	3.99	2.10	0.250	69.15	10.158	702.40	0.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	607+300	1.23	0.00	0.050	19.25	4.891	94.15	1.00	0.25	0.75	0.75	0.14	Parcial
	608+600	1.81	1.20	0.180	30.15	2.095	63.16	0.00	1.000	0.25	0.75	0.00	Intransitável
	618+400	0.84	0.00	0.020	14.36	7.519	107.97	1.00	0.25	0.75	0.25	0.05	Parcial
	621+600	1.89	0.00	0.080	69.66	6.292	438.27	1.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável

Fonte: Autor, 2016

Tabela 5 - Estudo do índice de conectividade nos bueiros da BR 381

Localização		Velocidade (m/s)	Degrau (cm)	Altura Lâmina D'Água	Comprimento (m)	Declividade (%)	Desnível total (cm)	Índices Individuais				Ic	
BR	KM							IHP	IDF	IV	I (LxS)		
RODOVIA FERNÃO DIAS - BR 381	479+200	0.59	0.70	0.030	48.65	4.1912	203.90	0.00	0.25	0.75	0.00	0.00	Intransitável
	479+220	1.55	0.70	0.050	48.65	7.6946	374.34	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	484+107	0.78	0.15	0.080	74.95	2.0947	157.00	0.75	0.25	0.75	0.25	0.04	Parcial
	488+170	0.75	0.00	0.020	54.00	3.1426	169.70	1.00	0.25	0.75	0.25	0.05	Parcial
	489+200	2.54	0.00	0.040	55.20	7.1681	395.68	1.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	491+293	0.00	4.20	0.000	62.52	8.0458	503.02	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	497+800	0.00	0.00	0.000	19.35	4.5410	87.87	1.00	0.25	1.00	0.75	0.19	Parcial
	498+403	2.00	0.00	0.120	18.17	2.0947	38.06	1.00	0.75	0.25	0.75	0.14	Parcial
	518+240	1.12	2.90	0.070	21.91	1.3964	30.60	0.00	0.25	0.75	0.75	0.00	Intransitável
	518+582	0.00	9.20	0.000	32.18	8.5730	275.88	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	520+512	0.00	0.05	0.000	17.81	1.9201	34.20	1.00	0.25	1.00	0.75	0.19	Parcial
	523+174	0.00	42.00	0.000	32.33	9.8051	317.00	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	526+730	0.00	1.00	0.000	32.51	3.8416	124.89	0.00	0.25	1.00	0.25	0.00	Intransitável
	527+269	0.00	4.70	0.000	36.10	2.4439	88.22	0.00	0.25	1.00	0.75	0.00	Intransitável
	532+229	0.00	12.40	0.000	33.74	6.4667	218.19	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	Intransitável
	566+537	4.52	0.80	0.120	41.70	9.4528	394.18	0.00	0.75	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	539+795	1.43	0.00	0.060	18.70	2.2693	42.44	1.00	0.25	0.75	0.75	0.14	Parcial
	543+400	0.00	2.15	0.000	16.51	0.8727	14.41	0.00	0.25	1.00	1.00	0.00	Intransitável
	546+900	0.54	0.00	0.020	57.38	3.1426	180.32	1.00	0.25	0.75	0.25	0.05	Parcial
	548+800	1.99	1.30	0.050	75.64	5.5909	422.90	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	551+300	2.73	0.00	0.500	71.44	3.6668	261.96	1.00	1.000	0.25	0.00	0.00	Intransitável
	574+800	0.00	0.00	0.000	58.79	0.5236	30.78	1.00	0.25	1.00	0.75	0.19	Parcial

Fonte: Autor, 2016

5. DISCUSSÃO

Este trabalho desenvolveu estudos das condições físicas e hidráulicas em bueiros de duas das principais rodovias que passam pela Região Metropolitana de Belo Horizonte.

O mês de março de 2016, definido para realização da pesquisa foi atípico por se inserir um longo período de seca ou baixos volumes de chuva. Desta forma, alguns bueiros visitados não apresentaram lâmina d'água na data da visita.

Quanto a determinação do número ideal para representar o universo da pesquisa, optou-se por seguir como referência, o trabalho de Makrakis *et al.* (2012) que considerou um total de 40 unidades acrescentados 10% ao volume investigado, caso houvesse um problema de acesso nas estruturas escolhidas.

Após utilizar o índice de conectividade proposto por Makrakis *et al.* (2012), foram observados pontos que devem ser melhor analisados. Um fator potencial de erros está na situação de descarte dos dados brutos e aplicar um índice para determinar a conectividade. Entre os bueiros investigados houve a ocorrência de estruturas classificadas como parcialmente transitáveis onde o nível de lâmina d'água é zero, fator de inviabiliza o trânsito de peixes. Sendo assim, avalia-se que este sistema não atendeu totalmente as expectativas porque não existe a situação de passagem parcial.

Observando que os bueiros são instalados em riachos, cursos d'água muito instáveis e com alta variação de vazão. A condição de conectividade no Brasil não pode ser guiada pelo fator reprodução, já que os peixes não podem desovar no período de chuva, procedimento realizado por espécies de rios mais caudalosos. Em riachos poderiam ocorrer a perda de ovos no período de estiagem, quando diminui o volume deste corpo d'água.

Analisando a questão do estudo de transposição de peixes por bueiros no Brasil, não existe casos documentados de peixes brasileiros que realizam migração ascendente para reprodução da espécie em riachos. Devido aos poucos estudos relacionados ao assunto com a ictiofauna neotropical, acontece a importação de conceitos ligados ao estudo de salmonídeos no hemisfério norte.

Na avaliação do índice de conectividade utilizado neste trabalho foi verificado um panorama alarmante, onde nos bueiros amostrais, na área pesquisa na RMBH, apresentaram 68% ($n^{\circ}_{amostras} = 30$) de bueiros potencialmente intransitáveis, 32% ($n^{\circ}_{amostras} = 14$) de bueiros com

médio risco e nenhum bueiro com baixo risco. Considerando que não existe a questão de movimento ascendente parcial de peixes, a investigação mostra uma situação ainda mais crítica, já que todos os bueiros impossibilitariam a passagem dos peixes por bueiros. Estes resultados exibiram números e aspectos semelhantes ao estudo desenvolvido por Makrakis *et al.* (2012), onde todas estruturas também apresentaram obstruções.

Este cenário, onde nenhum dos bueiros oferecem condições de trânsito ascendente de peixes, confirmam o desinteresse apresentado pelos órgãos públicos responsáveis pela construção e manutenção de rodovias e sistemas de drenagem.

No Brasil, o grande desafio para a instalação de bueiros adaptados, visando a passagem de peixes, está relacionado à elevada diversidade de espécies e suas distintas capacidades de natação. Estes fatores podem exigir escoamentos hidráulicos distintos e assim requerer diferentes modelos de bueiros com adaptações (RAFAEL *et al.*, 2013).

6. CONCLUSÕES

Todos os bueiros investigados tiveram fatores de barreira. Velocidades médias com alto e médio risco, degraus a jusante significativos, inclinação acentuada no canal destas estruturas e nível da lâmina d'água insuficiente foram fatores influenciaram na possibilidade de passagem de peixes.

Seguindo os parâmetros apresentados por Makrakis *et al.* (2012), os principais obstáculos encontrados nos bueiros investigados na RMBH foram os elevados índices da altura do degrau a jusante, o comprimento e a declividade do canal destas estruturas. Estes fatores são gerados por causas construtivas, onde o estudo do cenário com vistas ambientais minimizaria possíveis impactos à ictiofauna com a fragmentação do habitat.

O estudo apresenta a existência de um problema sério na questão de conectividade dos cursos d'água em regiões de bueiros. Uma investigação sobre a variância nos índices de riqueza de densidade de espécies em riachos seria significativa, porém esta condição exige ações de estudo multidisciplinar envolvendo engenheiros e biólogos.

No Brasil, a única preocupação na instalação de bueiros é a condição hidráulica, não existindo o cuidado relacionado à passagem de peixes por bueiros. São poucos os estudos desenvolvidos nesta área no país, tanto é, que ainda não existe legislação para este assunto. Os bueiros investigados não oferecem conectividade entre os habitats nos cursos d'água e os órgãos responsáveis em Minas Gerais ainda não apresentam interesse sobre o assunto.

O estudo dos projetos rodoviários, a melhoria e manutenção dos bueiros existentes com medidas ambientais para proteção da ictiofauna são algumas das ações cabíveis para minimizar os problemas.

As ferramentas utilizadas neste trabalho puderam apresentar os fatores causa de fragmentação do ambiente aquático em bueiros da região investigada, apresentando as características das principais vazões nestas bacias hidrográficas, verificando a condição de passagem ascendente de peixes por estas estruturas de drenagem. Porém esta investigação necessita melhorias como a criação de um índice próprio de conectividade de cursos d'água, onde não se perca as informações de campo em troca de índices subjetivos. Ampliar as visitas em campo para desenvolver os estudos dos diferentes cenários hidráulicos, com base nos diferentes períodos, seca e chuvoso.

7. RECOMENDAÇÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir da análise literária e dos resultados obtidos neste processo de investigação de bueiros com capacidade de movimentação ascendente de peixes nas rodovias BR 040 e BR 381, ambas no sentido sul de Belo Horizonte, MG. Sugere-se:

- O estudo de outros trechos de rodovias na RMBH;
- Pesquisa de campo em diferentes períodos do ano (chuva e seca);
- Análise da qualidade dos cursos d'água;
- Propor situações de melhorias construtivas e/ou preocupadas com o deslocamento de peixes.

APÊNDICE

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	82,60	LARGURA	
				ALTURA	

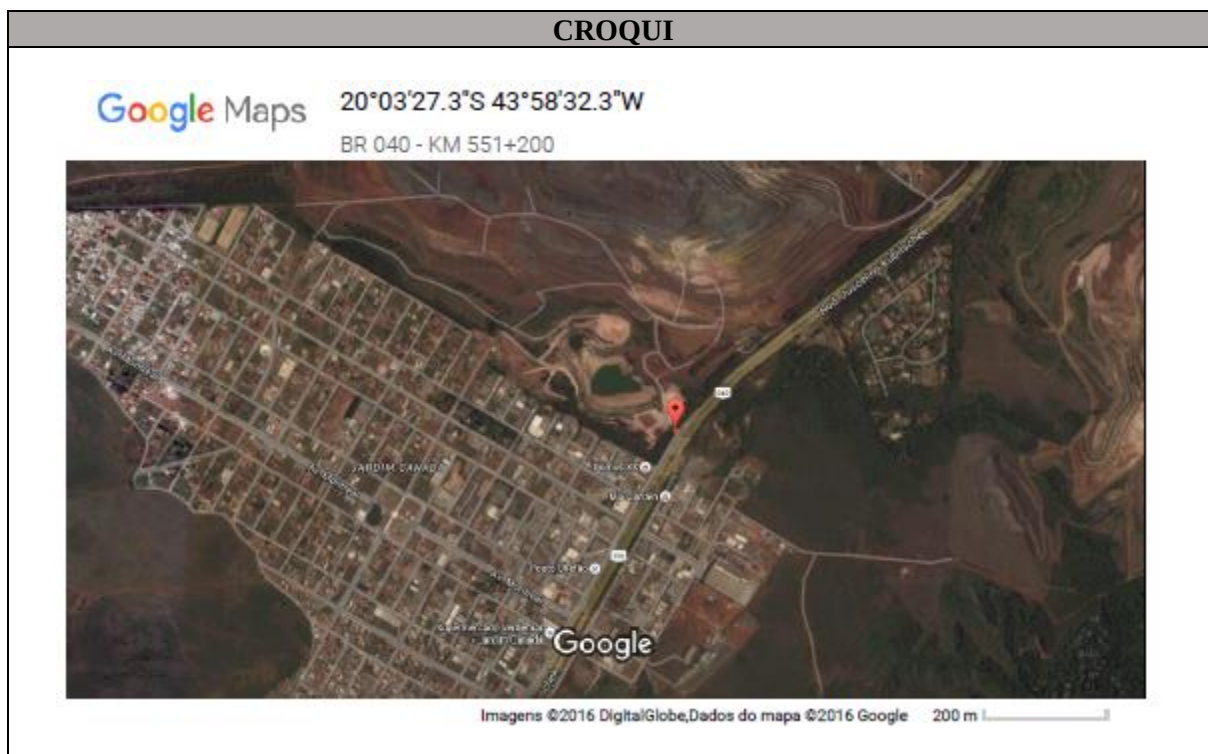
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°00'29.262"	KM	544+610
LONGITUDE	O - 43° 57'54.199"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	800	COMPRIMENTO	37,30	LARGURA	
				ALTURA	

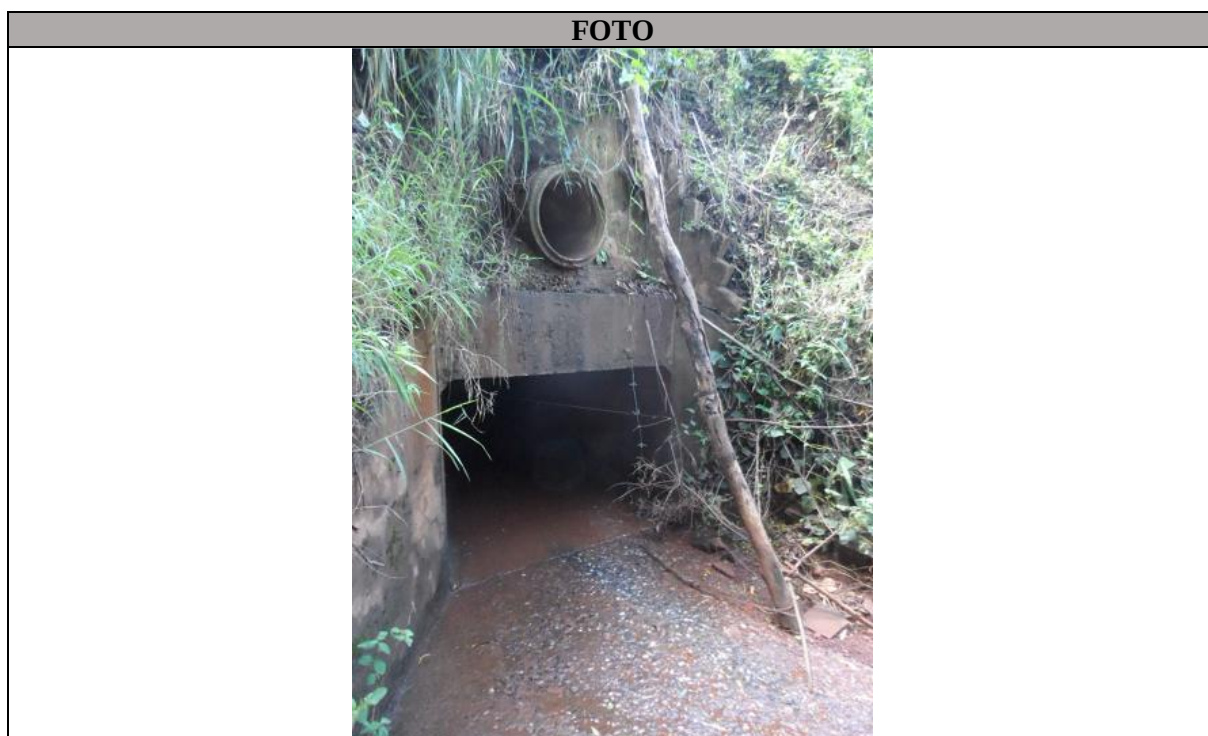
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°3'27.281"	KM	551+200
LONGITUDE	O - 43°58'32.345"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSCC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO		COMPRIMENTO	73,60	LARGURA	2,00	ALTURA	1,50

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°4'52.358"	KM	554+290
LONGITUDE	O - 43°58'46.493"	SENTIDO	SUL

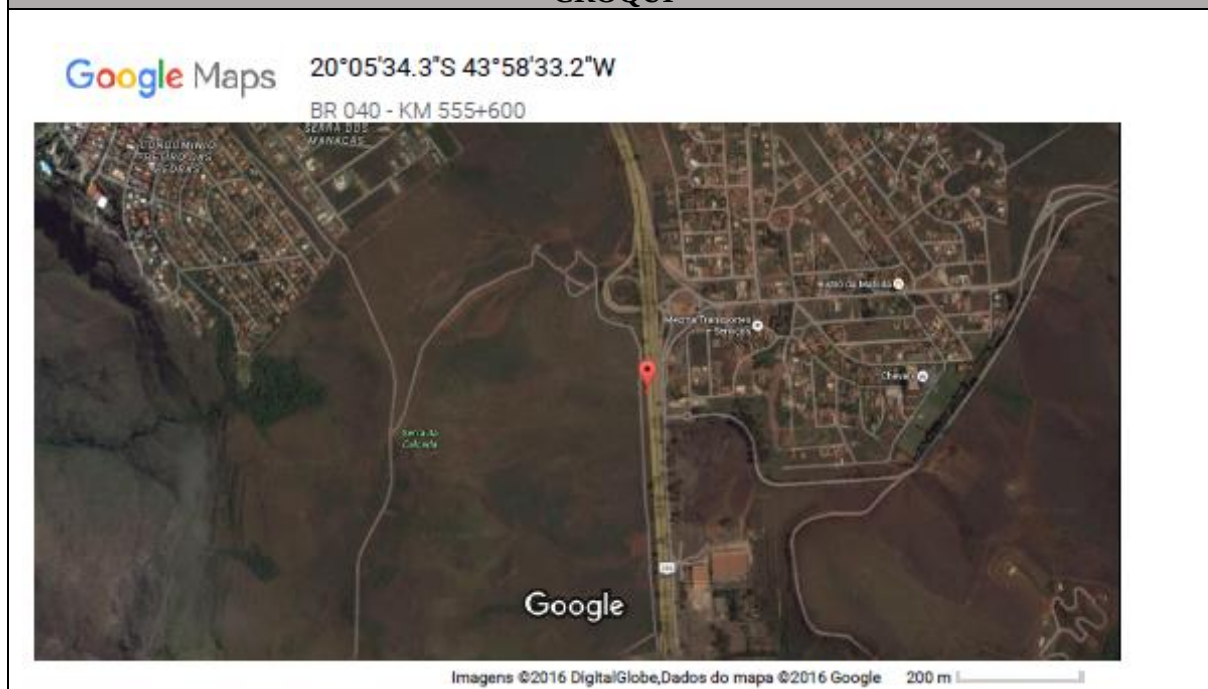


CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1100	COMPRIMENTO	32,40	LARGURA		ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°5'34.274"	KM	555+600
LONGITUDE	O - 43° 58'33.241"	SENTIDO	SUL

CROQUI



FOTO



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BDTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	2x1000	COMPRIMENTO	44,30	LARGURA	
				ALTURA	

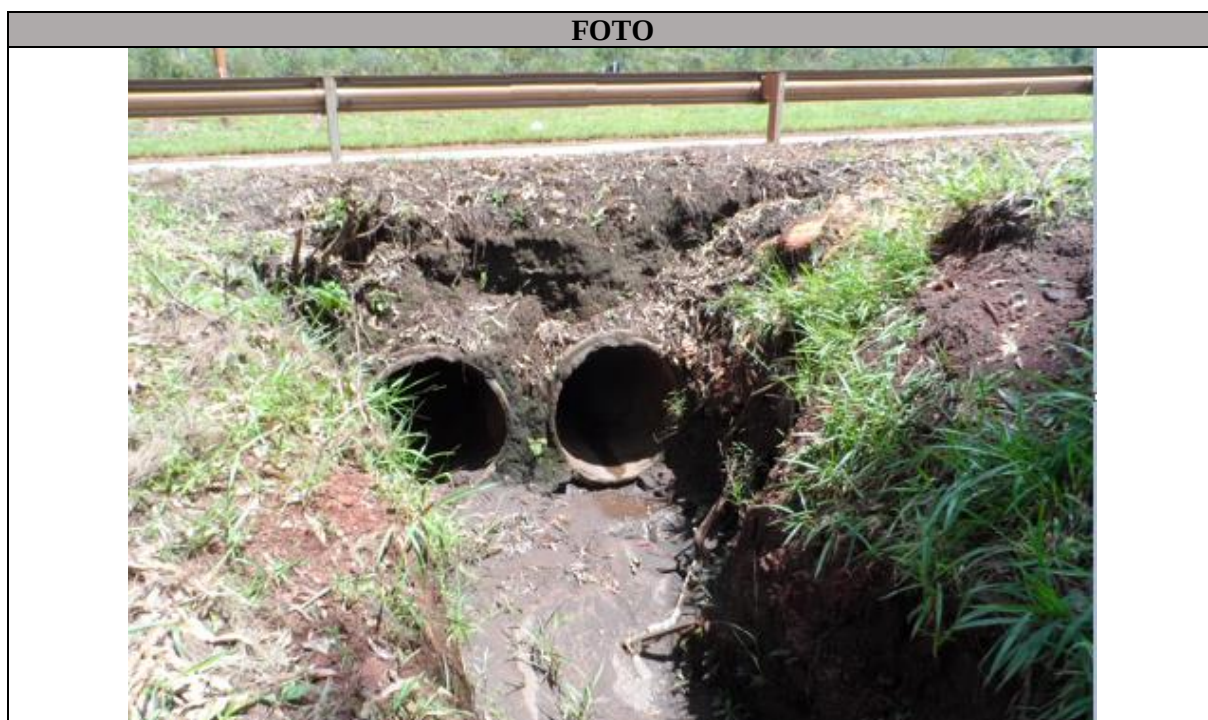
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°6'33.294"	KM	557+600
LONGITUDE	O - 43°58'24.490"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BDTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	2x1000	COMPRIMENTO	52,72	LARGURA	
				ALTURA	

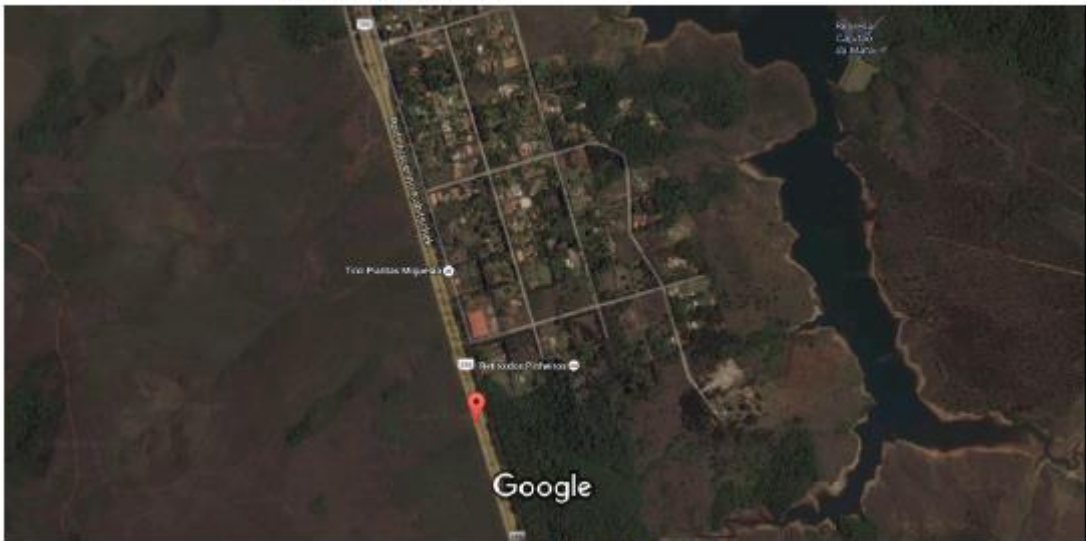
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°7'7.497"	KM	558+800
LONGITUDE	O - 43°58'5.154"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	47,60	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°8'13.210"	KM	560+650
LONGITUDE	O - 43°57'44.265"	SENTIDO	SUL

CROQUI	
Google Maps 20°08'13.2"S 43°57'44.3"W BR 040 - KM 560+650  Imagens ©2016 DigitalGlobe, Dados do mapa ©2016 Google 200 m	

FOTO	
	

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSCC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO		COMPRIMENTO	55,00	LARGURA	2,00
				ALTURA	2,00

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°9'4.698"	KM	562+700
LONGITUDE	O - 43°57'43.718"	SENTIDO	SUL

CROQUI	
Google Maps 20°09'04.7"S 43°57'43.7"W BR 040 - KM 562+700  Imagens ©2016 DigitalGlobe, Dados do mapa ©2016 Google 200 m	

FOTO	
	

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	23,85	LARGURA	
				ALTURA	

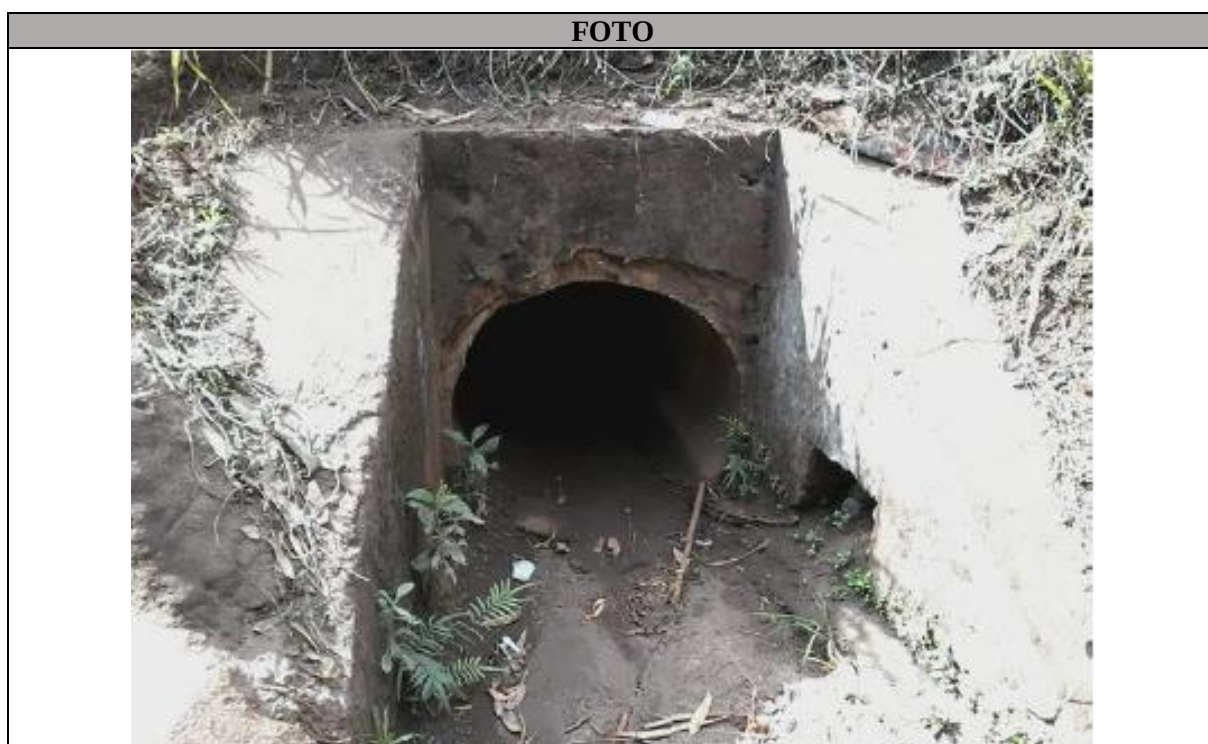
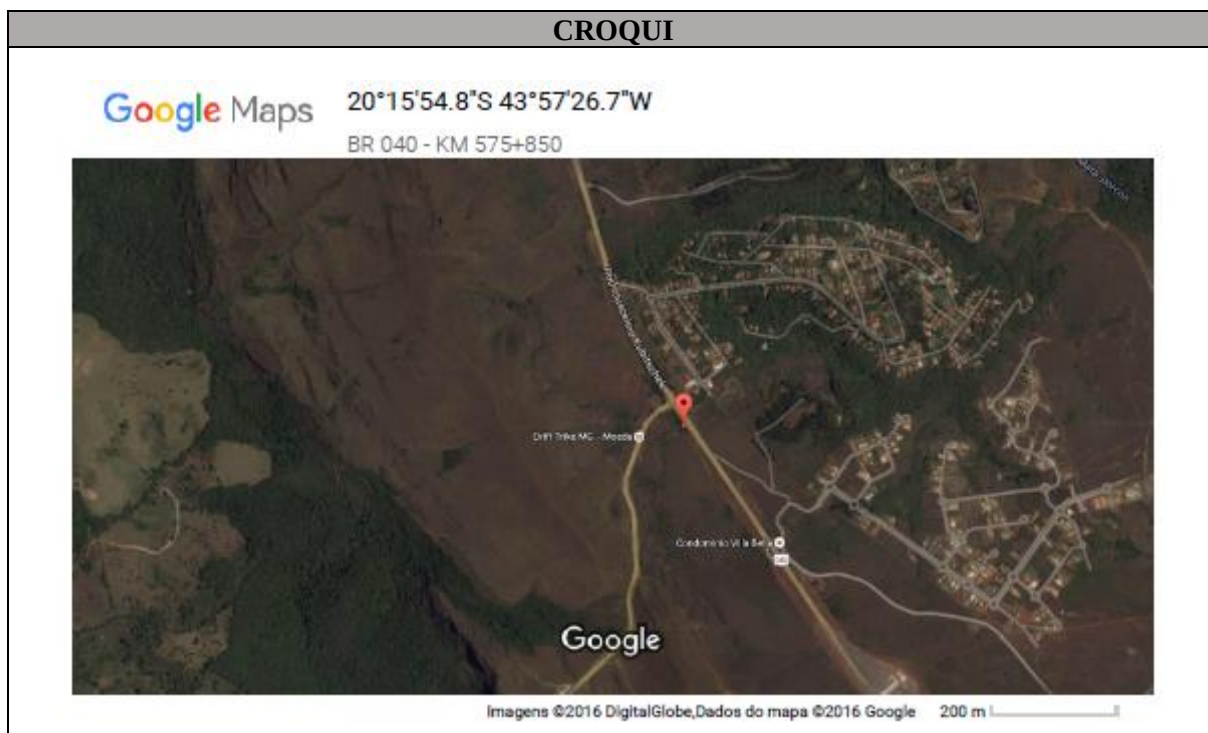
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°11'57.908"	KM	568+301
LONGITUDE	O - 43°58'28.500"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	800	COMPRIMENTO	51,78	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°15'54.763"	KM	575+850
LONGITUDE	O - 43°57'26.695"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1200	COMPRIMENTO	29,65	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°16'57.266"	KM	578+232
LONGITUDE	O - 43°56'40.877"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	64,78	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°19'13.146"	KM	582+800
LONGITUDE	O - 43°56'0.717"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	42,20	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°20'8.521"	KM	585+020
LONGITUDE	O - 43°55'20.681"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	26,14	LARGURA	
				ALTURA	

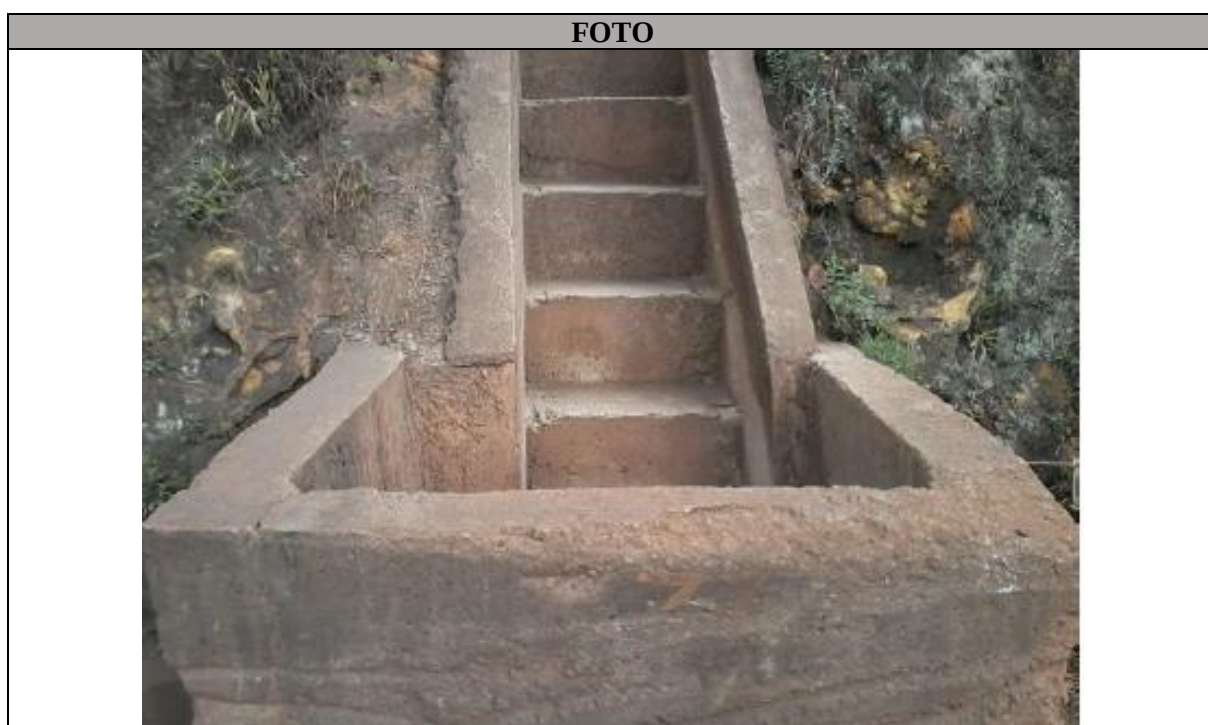
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°21'32.517"	KM	588+800
LONGITUDE	O - 43°54'35.710"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	77,54	LARGURA		ALTURA	

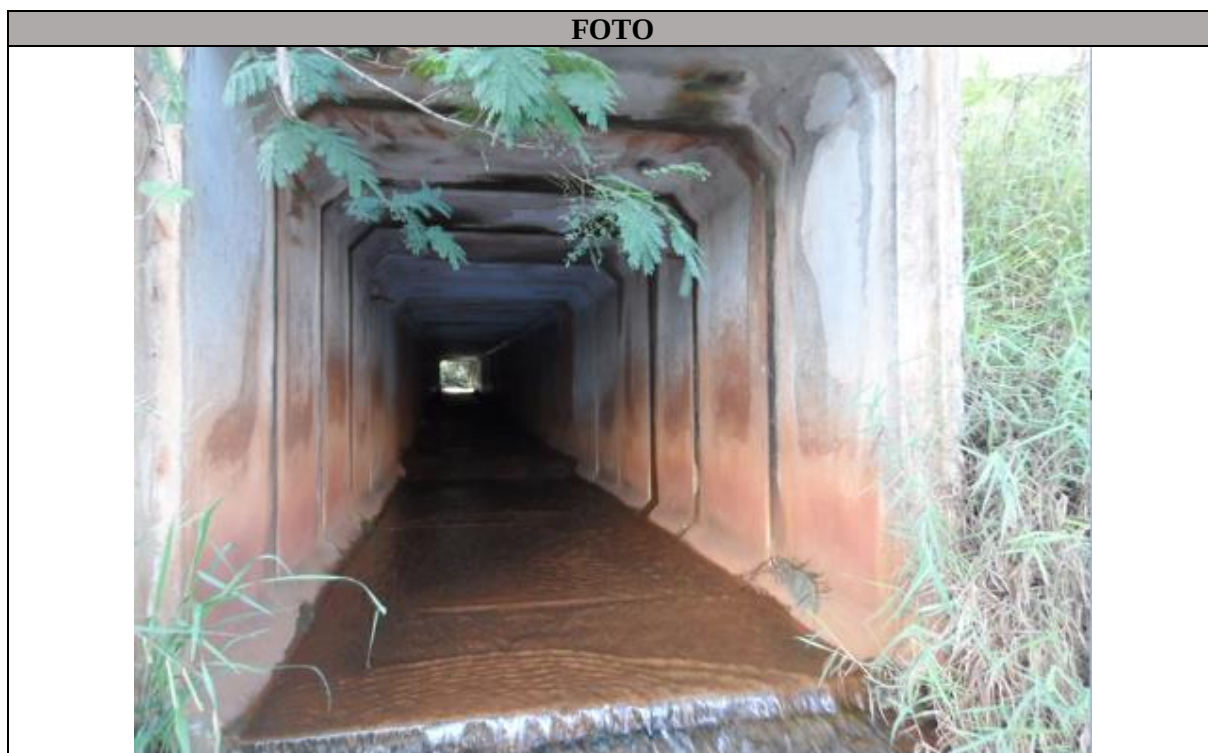
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°22'36.071"	KM	591+041
LONGITUDE	O - 43°54'25.020"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSCC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO		COMPRIMENTO	47,12	LARGURA	1,90
				ALTURA	2,10

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°22'51.710"	KM	591+330
LONGITUDE	O - 43°54'29.187"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	68,00	LARGURA		ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°24'59.237"	KM	596+100
LONGITUDE	O - 43°53'31.360"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTM

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	2000	COMPRIMENTO	69,15	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°25'32.432"	KM	599+380
LONGITUDE	O - 43°51'48.336"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	19,25	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°28'54.058"	KM	607+300
LONGITUDE	O - 43°50'24.739"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1200	COMPRIMENTO	30,15	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°29'32.234"	KM	608+600
LONGITUDE	O - 43°50'13.786"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1200	COMPRIMENTO	14,36	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°34'11.013"	KM	618+400
LONGITUDE	O - 43°48'43.959"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 040	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	800	COMPRIMENTO	69,66	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°35'41.719"	KM	621+600
LONGITUDE	O - 43°48'14.933"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS

RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTM
----------------	--------	---------------	----	--------------------	------

DIMENSÕES

DIÂMETRO	1600	COMPRIMENTO	48,65	LARGURA		ALTURA	
-----------------	------	--------------------	-------	----------------	--	---------------	--

LOCALIZAÇÃO

LATITUDE	S - 19°57'49.799"	KM	479+200
LONGITUDE	O - 44°2'48.424"	SENTIDO	SUL

CROQUI**FOTO**

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS

RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BDTC
----------------	--------	---------------	----	--------------------	------

DIMENSÕES

DIÂMETRO	2x1000	COMPRIMENTO		LARGURA		ALTURA	
-----------------	--------	--------------------	--	----------------	--	---------------	--

LOCALIZAÇÃO

LATITUDE	S - 19°57'49.834"	KM	479+220
LONGITUDE	O - 44°2'48.802"	SENTIDO	SUL

CROQUI**FOTO**

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS

RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTM
----------------	--------	---------------	----	--------------------	------

DIMENSÕES

DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	74,95	LARGURA		ALTURA	
-----------------	-----	--------------------	-------	----------------	--	---------------	--

LOCALIZAÇÃO

LATITUDE	S - 19°57'30.859"	KM	484+107
LONGITUDE	O - 44°5'28.062"	SENTIDO	SUL

CROQUI**FOTO**

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS

RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BDTC
----------------	--------	---------------	----	--------------------	------

DIMENSÕES

DIÂMETRO	2x1200	COMPRIMENTO		LARGURA		ALTURA	
-----------------	--------	--------------------	--	----------------	--	---------------	--

LOCALIZAÇÃO

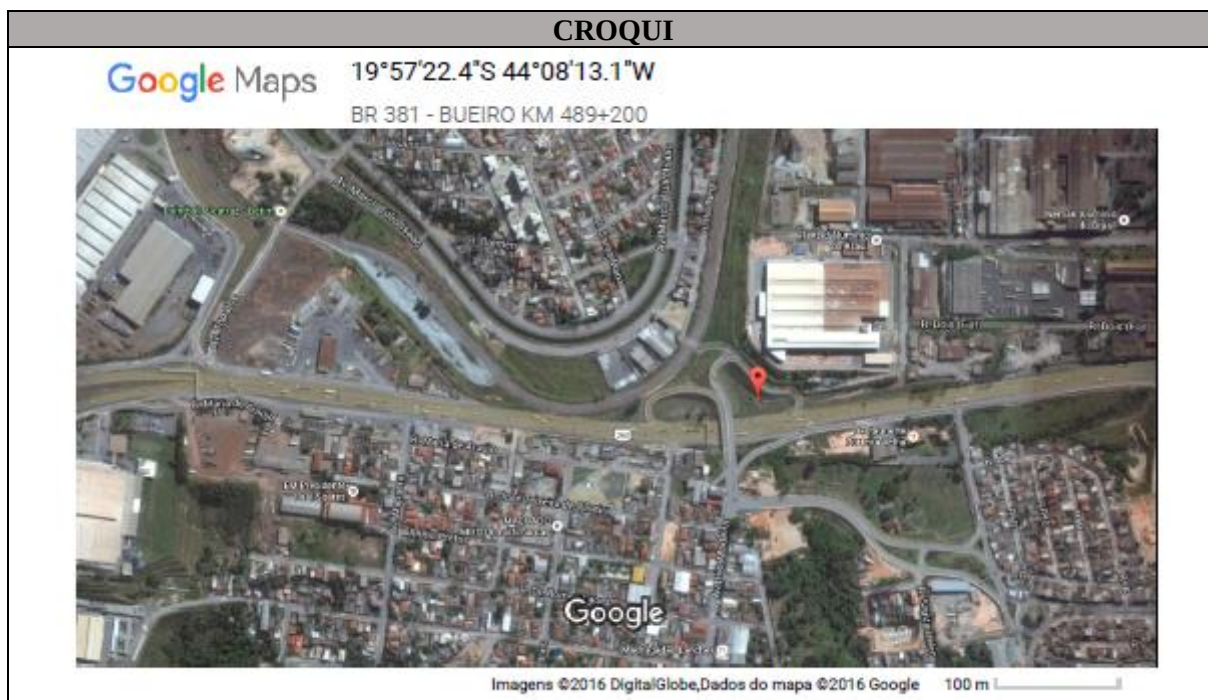
LATITUDE	S - 19°57'22.206"	KM	488+170
LONGITUDE	O - 44°7'37.498"	SENTIDO	SUL

CROQUI**FOTO**

CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSCC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO		COMPRIMENTO	55,20	LARGURA	2,60
				ALTURA	2,50

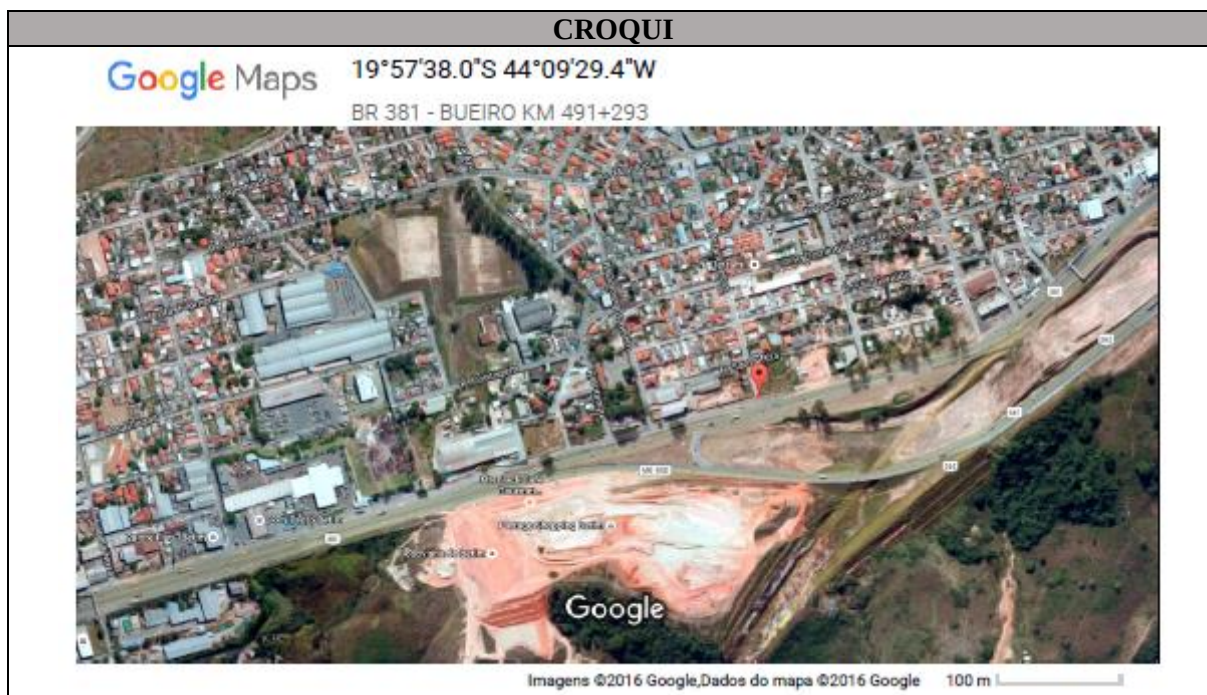
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 19°57'22.347"	KM	489+200
LONGITUDE	O - 44°8'13.070"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	62,52	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 19°57'38.035"	KM	491+293
LONGITUDE	O - 44°9'29.429"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	19,35	LARGURA	
				ALTURA	

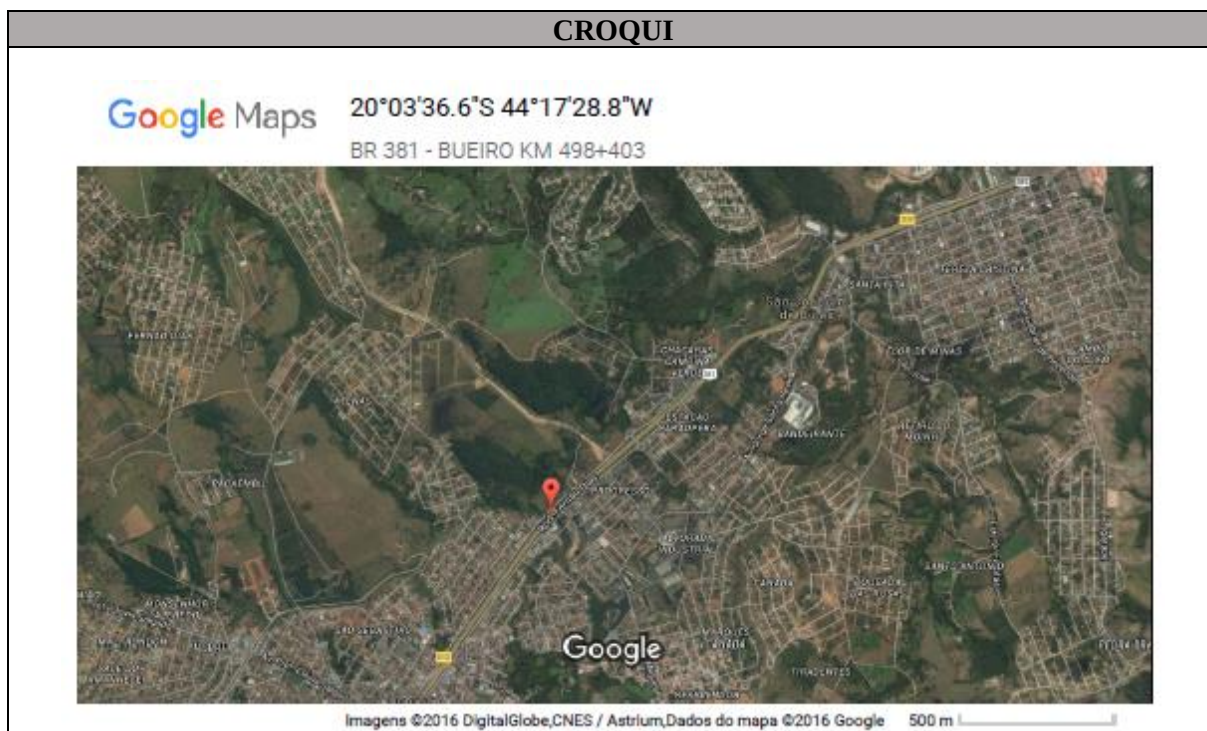
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 19°59'16.074"	KM	497+800
LONGITUDE	O - 44°12'3.029"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1500	COMPRIMENTO	18,17	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°3'36.560"	KM	498+403
LONGITUDE	O - 44°17'28.792"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	21,91	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°6'39.064"	KM	518+240
LONGITUDE	O - 44°19'28.054"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1100	COMPRIMENTO	32,18	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°6'37.395"	KM	518+582
LONGITUDE	O - 44°19'8.397"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	17,81	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°6'49.402"	KM	520+512
LONGITUDE	O - 44°18'27.467"	SENTIDO	SUL

CROQUI	
Google Maps 20°06'49.4"S 44°18'27.5"W BR 381 - BUEIRO KM 520+212  Imagens ©2016 DigitalGlobe, Dados do mapa ©2016 Google 100 m	

FOTO


CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	32,33	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°8'0.230"	KM	523+174
LONGITUDE	O - 44°18'30.290"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1100	COMPRIMENTO	32,51	LARGURA	
				ALTURA	

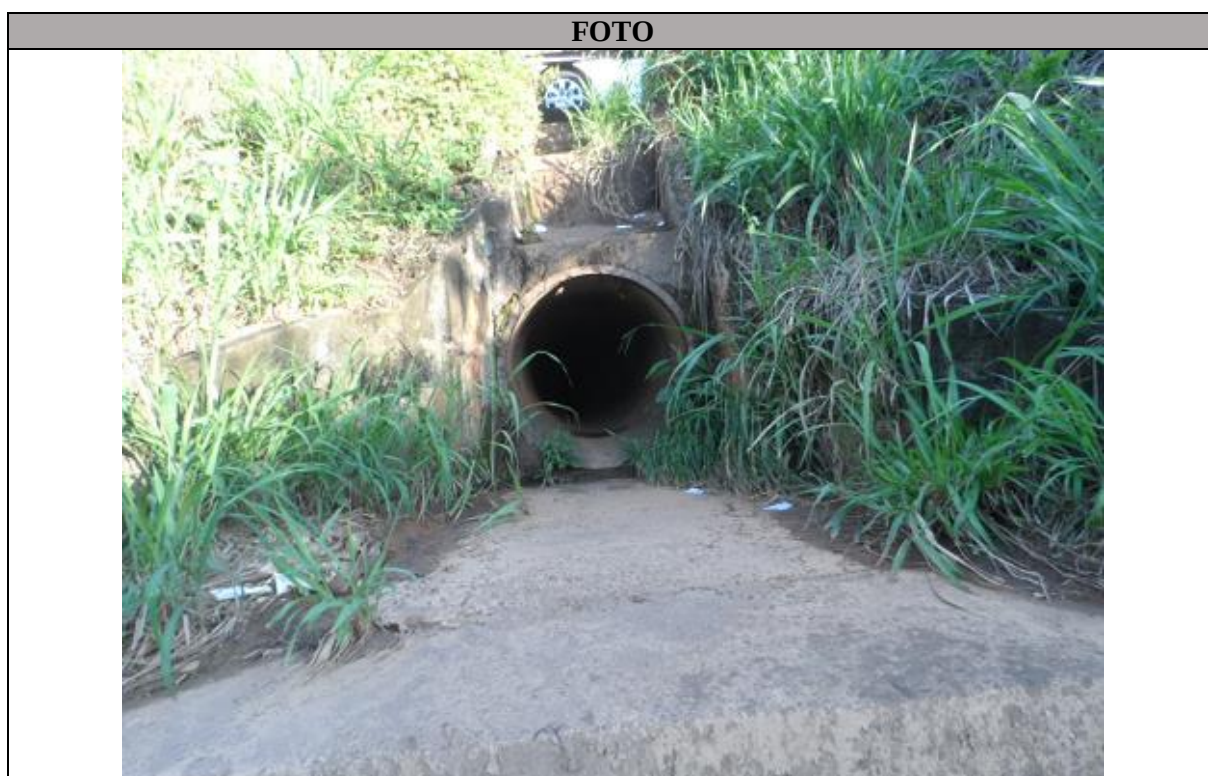
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°9'24.527"	KM	526+730
LONGITUDE	O - 44°19'40.984"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	36,10	LARGURA	
				ALTURA	

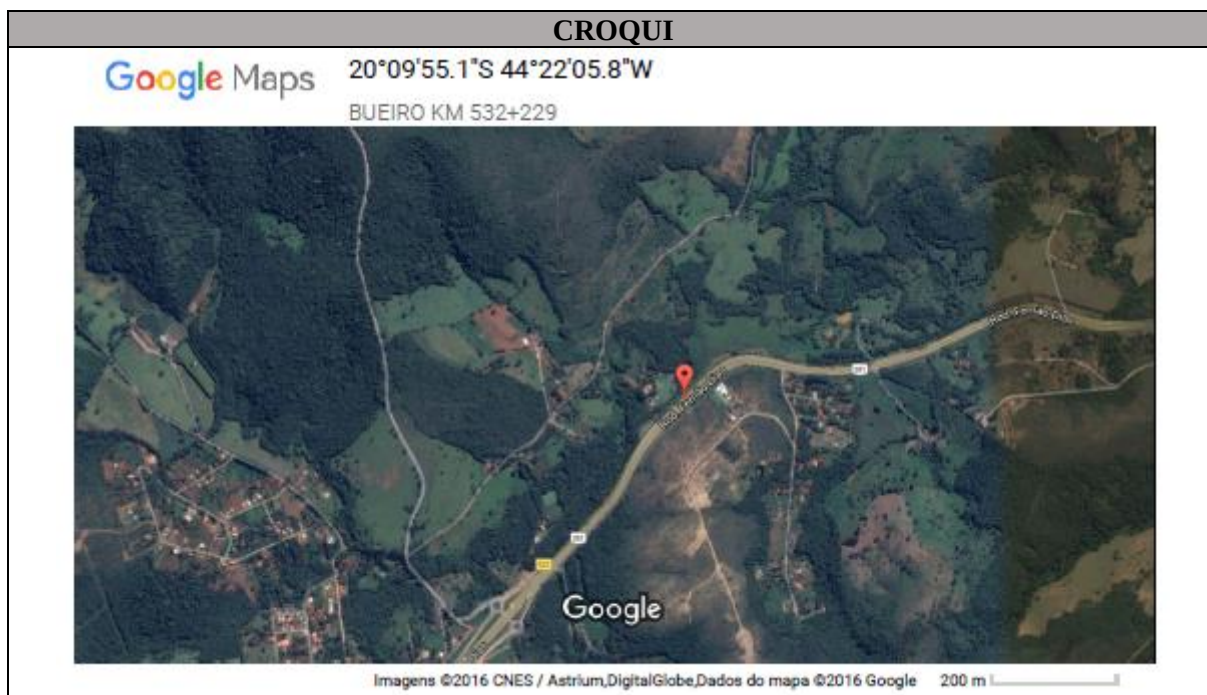
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°9'31.089"	KM	527+269
LONGITUDE	O - 44°19'47.156"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	33,74	LARGURA		ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°9'55.121"	KM	532+229
LONGITUDE	O - 44°22'5.816"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	41,70	LARGURA		ALTURA	

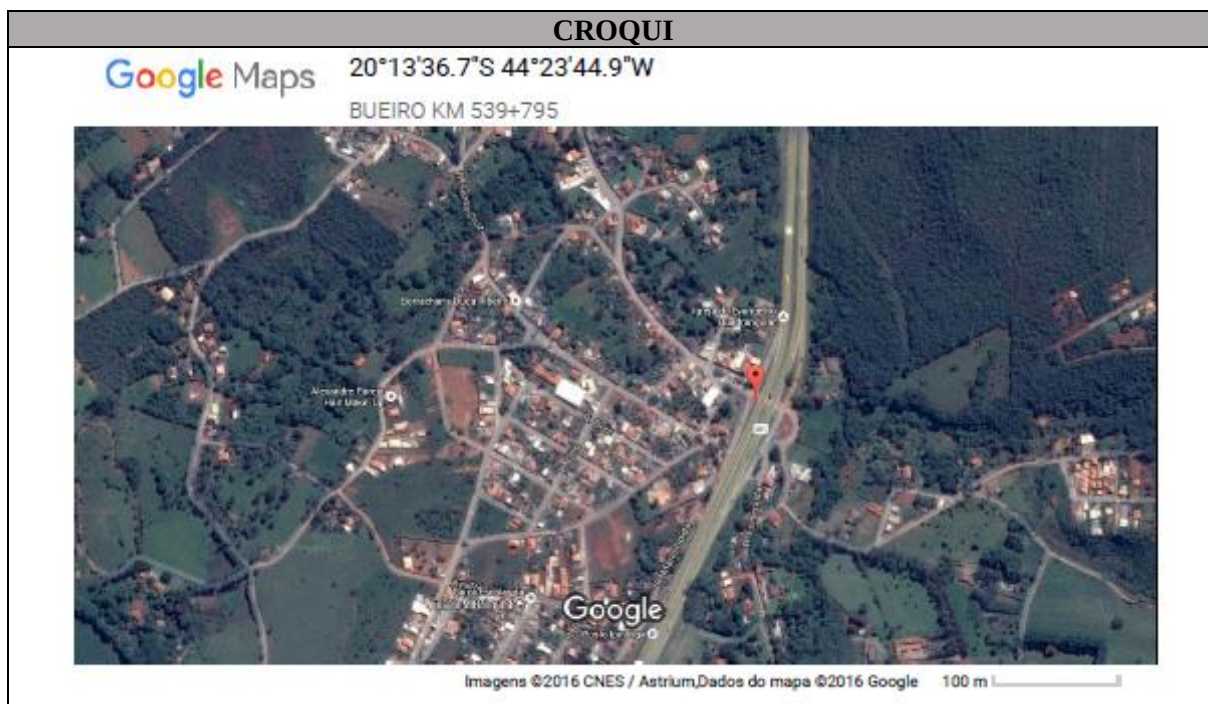
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°11'56.886"	KM	536+537
LONGITUDE	O - 44°23'11.861"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	18,70	LARGURA		ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°13'36.672"	KM	539+795
LONGITUDE	O - 44°23'44.934"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	600	COMPRIMENTO	16,51	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°15'6.061"	KM	543+400
LONGITUDE	O - 44°24'41.600"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES							
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	57,38	LARGURA		ALTURA	

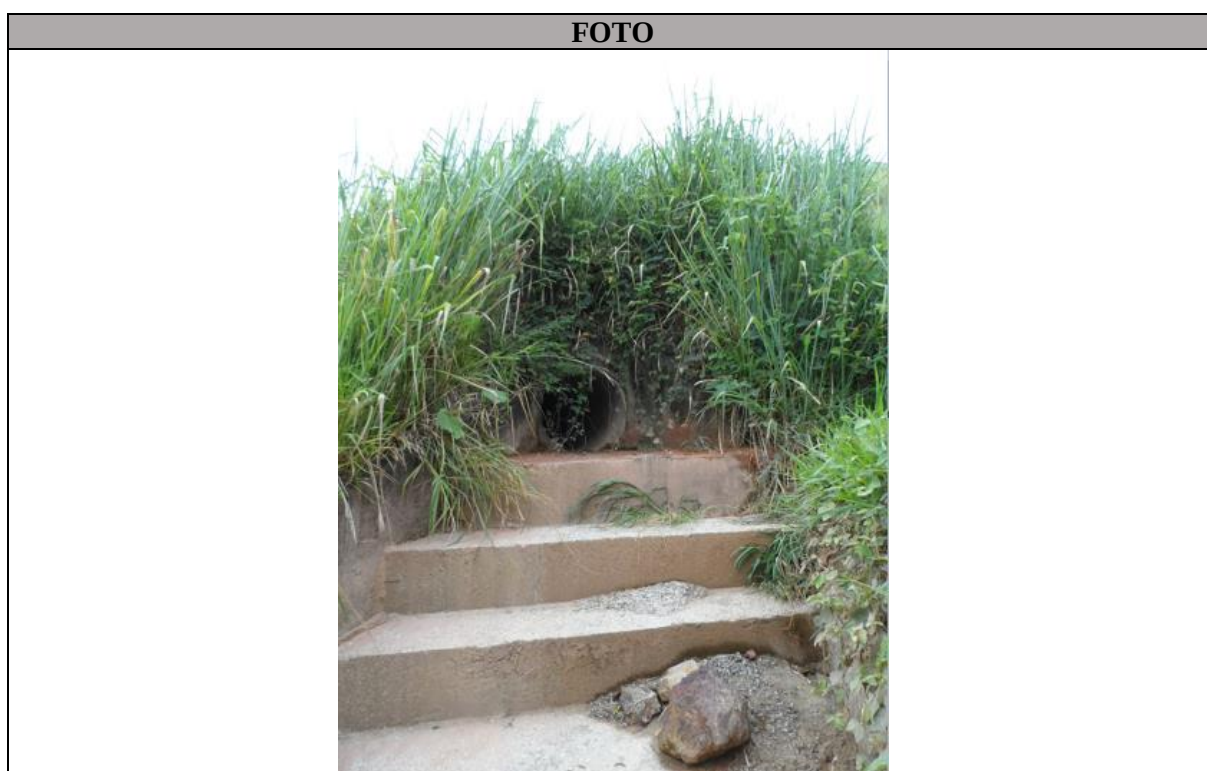
LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°16'33.947"	KM	546+900
LONGITUDE	O - 44°25'37.565"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1000	COMPRIMENTO	75,64	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°17'7.052"	KM	548+800
LONGITUDE	O - 44°26'4.369"	SENTIDO	SUL



CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTM

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	1500	COMPRIMENTO	71,44	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°18'39.947"	KM	551+300
LONGITUDE	O - 44°27'2.617"	SENTIDO	SUL

CROQUI	
Google Maps 20°18'40.0"S 44°27'02.6"W BR 381 - KM 551+300  Imagens ©2016 DigitalGlobe, Dados do mapa ©2016 Google 100 m	

FOTO


CADASTRO DE DRENAGEM – BUEIROS					
RODOVIA	BR 381	ESTADO	MG	TIPO BUEIRO	BSTC

DIMENSÕES					
DIÂMETRO	800	COMPRIMENTO	58,79	LARGURA	
				ALTURA	

LOCALIZAÇÃO			
LATITUDE	S - 20°26'47.695"	KM	574+800
LONGITUDE	O - 44°33'57.730"	SENTIDO	SUL



REFERÊNCIAS

ABBS, D.; MCINNES, K.; RAFTER, T. The impact of climate change on extreme rainfall and coastal sea levels over South East Queensland, Part 2: A high-resolution modelling study of the effect of climate change on the intensity of extreme rainfall events. A Report Prepared for the Gold Coast City Council. *CSIRO Marine and Atmospheric Research: Brisbane*, v. 39, 2007.

AIL – Atlantic Industries Limited. 2015. Disponível em: <<http://www.ail.ca/en/home/default.aspx>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

ARMSTRONG, G.; APRAHAMIAN, M.; FEWINGS, G.; GOUGH, P.; READE, N.; VARALLO, P. Environment agency fish pass manual: guidance notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and Wales. *Available on CD from Environment Agency, Llys Afon, Hawthorn Rise, Haverfordwest, Pembrokeshire, SA61 2BQ, Wales, UK*. E-mail: greg.armstrong@environment-agency.gov.uk, 2004..

AZAGRA, Andres Martinez de. Escadas para peces. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Dpto. de Ingeniería Agrícola y Florestal - Universidad de Valladolid. 1ª Edición. Palencial. 1999.

AZAGRA, Andres Martinez de.; MOLINOS, Jorge García. Diseño de ascensores para peces. Ingeniería civil, n. 132, p. 83-93, 2003.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz R. Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis: Departamento de Estradas e Rodagem, 2003. 204 p.

BAKER, Calvin O.; VOTAPKA, Frank E. “Fish passages through culverts”. San Dimas, California, USDA Forest Service Technology and Development Center, Florida, 1990. 76p.

BAPTISTA, Márcio; LARA, Márcia. Fundamentos de engenharia hidráulica. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 1, 2010.

BARBOSA, Victor Dobrochinski; CORBAGE, Rodrigo da Silva; REIS, Marcelo de Miranda; VASCONCELLOS, Alexandre Bastos de; AMORIM, José Carlos Cesar. Modelagem computacional de mecanismo de transposição de peixes do tipo escada com ranhura vertical com o software hec-ras. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. 2013. 8 p.

BATES, K. *et al.* Fish passage design at road culverts: a design manual for fish passage at road crossings. *WA Department of Fish and Wildlife*. Olympia, Washington, 1999.

BATES, Ken M. 1992. Fishway Design Guidelines for Pacific Salmon. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia. 1992.

BATES, Ken M.; HEINER, BRUCE; KLAVAS, J. Patrick; POWERS, Patrick. Design of road culverts for fish passage. Washington Department of Fish and Wildlife. 2003, 112 p.

BCMF, BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF FORESTS, Lands and Natural Resource Operations, B.C. Ministry of Environment, and Fisheries and Oceans Canada. 2012. Fish-stream crossing guidebook. Rev. ed. For. Prac. Invest. Br. Victoria, B.C.

BEAMISH, F. W. H. 2 Swimming Capacity. *Fish physiology*, v. 7, p. 101-187, 1979.

BELICO, Júlio Cesar Borges; LISBOA, Luana; GUEDES, Hugo Soares; SILVA, Demétrius David da. Comparação entre vazões mínimas de referência para o rio Formoso-MG. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.17; p718. 2013.

BENETTI, Antônio D.; LANNA, A. Eduardo; COBALCHINI, Maria Salete. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 149-160, 2003.

BORTOLUZZI, Leandro Neri, Avaliação da estabilidade do canal fluvial em trechos adjacentes a pontes, pontilhões e bueiro na bacia hidrográfica do Paraná III – Oeste do Paraná. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Francisco Beltrão, 2012, 91 p.

BRASIL, MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2003. Fragmentação de Ecossistemas. Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas. *Projeto de Conservação e de Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira*. 510 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. Instruções de proteção ambiental das faixas de domínio e lindeiras das rodovias federais. Publicação IPR – 713. 2005. 165 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. Manual de Drenagem de Rodovias. 2006. 337p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. Projeto Executivo para melhoramento em rodovias para adequação da capacidade e segurança. Volume 2 – Projeto de Execução. TOMO I e II. 2009.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. Instrução de Serviço ISF 210: Projeto de Drenagem. 2012. 11 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. SNV 2015 – Atualizado até 30/03/2015 – DNIT, 2015. Disponível em: <https://189.9.128.64/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1/SNV2015_Internet.xls>. Acesso em: 22 abril 2015.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT, 2016. Disponível em: <<https://189.9.128.64/rodovias/rodovias-federais/nomeclatura-das-rodovias-federais/nomeclatura-das-rodovias-federais-1>> Acesso em: 08 fev. 2016.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, Diretoria de Planejamento. BR.040/ MG, Trecho Belo Horizonte, Entroncamento BR 356. Lote: 77/ 75-1. *Projeto de restauração e duplicação rodoviária*. v. 3.1 – Projeto de Execução. Brasília, 1978.

BRIGGS, Ann. Washington's newest mega project: Fish barrier corrections. WSDOTBLOG. 2014. Disponível em: <<http://wsdotblog.blogspot.com.br/2014/09/washingtons-newest-mega-project-fish.html>>. Acesso em: 11 out. 2015.

BROOKES, Andrew; GREGORY, K. J. Channelization, river engineering and geomorphology. *Geomorphology in environmental planning*, v. 167, 1988.

CALLISTO, M. *et al.* Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001.

CALTRANS. 2009. *Wildlife crossings guidance manual*, version 1.1. Sacramento, California Department of Transportation, 97 p.

CANHOLI, Aluísio Pardo. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2. Ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 384 p.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. Hidrologia. *Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, p. 115, 2006.

CELESTINO, E.; KASHIWAQUI, E. A. L.; MAKRAKIS, S.; Makrakis, M. C.; & Mariano, J. R. 2012. Métodos de coleta para avaliação longitudinal da ictiofauna em riachos interceptados por tubulações. Pp. 115-136. In: Baggio, A.(Ed.). *Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Lavras: Editora UFLA, 313p, p. 115-136, 2012.

CLAY, C.H. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. Boca Raton, CRC Press, 248p.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. Propostas da CNT aos candidatos à Presidência: O que o Brasil precisa em Transporte e Logística. Brasília, 2014. 52 p.

CNT, Confederação Nacional do Transporte; SEST, Serviço Social do Transporte; SENAT, Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. Pesquisa CNT de rodovias 2015: Relatório Gerencial. 2015. 420 p.

COFFMAN, Seth; HUDY, Mark. Evaluation of a predictive model for upstream fish passage through culverts. *Unpublished Master of Science thesis. James Madison University, Harrisonburg, Virginia*, 2005.

COLETTI, Janaine Zanella. *Características do escoamento ao longo de uma escada de peixes do tipo ranhura vertical*. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CONAMA, Resolução nº1, Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos. Dispõe sobre procedimentos relativos a estudo de impacto ambiental. *Resolução CONAMA*, v. 1, de 23 de janeiro de 1986 Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, pp. 2548-2549, 1986.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; BOTTINO, Flávia; DO CARMO CALIJURI, Maria. Land use influence on eutrophication-related water variables: case study of tropical rivers with different degrees of anthropogenic interference. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, n. 1, p. 35-45, 2010.

DELGADO, Neila Carvalho Ferreira. *Hidrologia na drenagem das rodovias*. 2008. 38 f. Monografia (Especialização em Transportes e Trânsito) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DUGUAY, Jason; LACEY, RW Jay. Effect of fish baffles on the hydraulic roughness of slip-lined culverts. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 141, n. 1. 2014.

DUPONT, Etienne. Trout road crossing problem in Belgium. In: *Proceedings of 5th International Symposium on Ecohydraulics*. 2004. p. 905-910.

DUPONT, Etienne. A new culvert design solves fish passage problems but is insufficient to restore normal brown trout *salmo trutta* migration pattern. Santiago de Chile. 2009.

DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau & FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fish passes: Design, dimensions and monitoring. Rome, 2002. 138 p.

EAD, S. A.; RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, C.; ADE, F.. Turbulent open-channel flow in circular corrugated culverts. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 126, n. 10, p. 750-757, 2000.

EAD, S. A.; RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, C. Generalized study of hydraulics of culvert fishways. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 128, n. 11, p. 1018-1022, 2002.

ENGEL, P. Fish passage facilities for culverts of the Mackenzie Highway. *Canada Centre for Inland Waters*, National Water Research Institute. Burlington, Ontario. 1974. 33 p.

ESPAÑA. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Confederación Hidrográfica Del Ebro. Pasos de peces para permeabilizar estructuras transversales em La cuenca Del Ebro. Protocolo Permeabilizacionon obstaculos – CHE – ED04. TECNOMA, 2009. 35 p.

FEURICH, Robert; BOUBÉE, Jacques; OLSEN, Nils Reidar B. Spoiler baffles in circular culverts. *Journal of Environmental Engineering*, v. 137, n. 9, p. 854-857, 2011.

FULLERTON, A. H., K. M. BURNETT, E. A. STEEL, F. L. FLITCROFT, G. R. PESS, B. E. FEIST, C. E. TORGERSEN, D. J. MILLER & B. L. SANDERSON. Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, v. 55, n°11, pp. 2215-2237. 2010.

GODOY, Manuel Pereira de. Aquicultura. 1985. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura. Electrosul. Florianópolis. Brasil. 77 p. 1985.

GODOY, Manuel Pereira de. A Questão dos Peixes de Piracema e as Escadas de Peixes, *Revista Aruanã*, Editora Aruanã, Ano VI, no 31, Brasil, dezembro, 1992;

HARPER, David J.; QUIGLEY, J. T. *No net loss of fish habitat: an audit of forest road crossings of fish-bearing streams in British Columbia, 1996-1999*. Fisheries and Oceans Canada, 2000.

IGNÁCIO, Raimundo Ferreira. Curso Básico de Mecânica dos Fluidos. Escola da vida. v.1, 2ª. Edição. São Paulo. 185 p. 2003.

JABÔR, Marcos Augusto. Drenagem de Rodovias. Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. 85 p. 2007.

JUNHO, Ricardo Ahouagi Carneiro. Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: proteção a jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição. Orientador: Kikuo Tamada. 2008. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

KAPITZKE, Ross. Fish passage prototypes: Integrating research, teaching and conservation. *Environmental Education, Communication and Sustainability. Sustainability in the Australasian University Context*, v. 22, p. 233-249, 2006.

KAPITZKE, Ross. Culvert Fishway Planning and Design Guidelines – Part F – Baffle fishways for box culverts. Fish passage planning and design. James Cook University. Sidney. 2010. 70 p.

KATOPODIS, Chris. *Introduction to fishway design*. Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans, 1992. 70 p.

KIM, J. H. 2001. “*Hydraulic Characteristics by Weir Type in a Pool-Weir Fishway*”. *Ecological Engineering* V. 16, nº 3, pp. 425-433. 2001.

LANGILL, Darria A.; ZAMORA, Phil. J. 2002. An audit of small culvert installations in Nova Scotia: habitat loss and habitat fragmentation. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science* 2422, 34p.

LARINIER, M. 1987. Les passes à poissons: méthodes et techniques générales. *La Houille Blanche* nº 1/2. Paris. 1987, pp 51-57.

LARINIER, M. Passes à bassins successifs, prébarrages et rivières artificielles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, n. 326-327, p. 45-72, 1992.

LARINIER, M. Environmental Issues, Dams and Fish Migration. In: MARMULLA, Gerd (ed.) *Dams, fish and fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution*. FAO Fisheries Technical Paper 419, p. 45-89, 2001.

LARINIER, Michel. Biological basis, design criteria and monitoring. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, v. 364, n. suppl, 2002. 207p.

LAUXEN, Mozart da Silva. *A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão*. 2012. 163 f. Monografia (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

LINDSEY, C. C. 1 Form, Function, and Locomotory Habits in Fish. *Fish physiology*, v. 7, p. 1-100, 1979.

MARTIN-SMITH, K. M. Relationships between fishes and habitat in rainforest streams in Sabah, Malaysia. *Journal of Fish Biology*, v. 52, n. 3, p. 458-482, 1998.

MARTINS, Sidney Lazaro. Transposição de peixes neotropicais em barragens. 2004. 81 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil, ênfase Ambiental) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2004.

MCKINLEY, W. R.; WEBB, R. D. A proposed correction of migratory fish problems at box culverts. *Washington Department of Fisheries Fish Research Papers*, v. 1, n. 4, p. 33-45, 1956.

MELO, Ricardo. Drenagem do pavimento. Estradas e Transportes II. Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 9 p. 2012.

MIRANDA, Adeílson de Aquino; MACEDO, Ronaldo Campos Souza Cavaleiro de. Levantamento de dispositivos de transposição de talvegues com funcionamento comprometido: Estudo de caso (Alça Viária). 94 p. 2010.

MIRANDA, Talita Caroline; TASSI, Rutinéia; BASTOS, Cezar Augusto Burkert. Comparação de custos de estruturas de drenagem rodoviária: Dimensionamento a partir do método racional e HUS-SCS. Estudo de caso: RST 471. Fundação Universitária Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, 2005. 17 p.

MORITA, Kentaro; YAMAMOTO, Shoichiro. Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology*, v. 16, n. 5, p. 1318-1323, 2002.

NAKAMURA, S.; AZUMA, N.; MIZUNO, M. Experimental Study on Pool-Type Fishways with Slope of 1 on 5. roceedings of the International Symposium on Fishways '95. Gifu. 1995. 65-72 p.

NUKURANGI, Taihoru. Fish passage at culverts: A review, with possible solutions for New Zealand indigenous species. Wellington. 1999. 62 p.

ODUM, Eugene Pleasants; BARRETT, Gary W. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: Saunders, 1971.

PAVLOV, D. S. *Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR*. Copescal Technical Paper, no. 308, FAO, 1989. 97p.

PATRIZZI, Vinicius C. Estradas e Aeroportos: Drenagem de vias. UNIP – Universidade Paulista: Engenharia Civil, Estradas e Aeroportos. 2013, 68p.

PEARSON, W. H. *et al.* Research on the upstream passage of juvenile salmon through culverts: Retrofit baffles. *Final Report*. 2006. 60 p.

PENÁZ, Milan; BARUŠ, Vlastimil; PROKEŠ, Miroslav. Changes in the structure of fish assemblages in a river used for energy production. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 15, n. 1-3, p. 169-180, 1999.

PEREIRA, Antonio Carlos Oquendo. *Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos*. 2003. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PETTS, Geoffrey E.; MADDOCK, I. Flow Allocation for In-River Needs. *The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles*, v. 2, p. 289-307, 1994.

PMP - Prefeitura Municipal de Pelotas. Pontilhões da JKO recebem pintura. Disponível em: <http://www.pelotas.com.br/noticia/imagem_noticia/7a287707d240f0bdda6d6feb3975673d.JPG&imgrefurl> Acesso em: 04 mai 2015.

POMPEU, Paulo dos Santos; Martinez, Carlos Barreira. 2005. Estabelecimento da regra operativa de um mecanismo de transposição de peixes do tipo elevador com caminhão-tanque. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 31-42, 2005_a.

POMPEU, Paulo dos Santos. Estudo da Regra Operativa e Avaliação de um Mecanismo de Transposição de Peixes do tipo Elevador com Caminhão Tanque. Orientador: Carlos Barreira Martinez. 2005. 150 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005_b.

PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica Básica*. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.

PRINGLE, Catherine M.; FREEMAN, Mary C.; FREEMAN, Byron J. Regional Effects of Hydrologic Alterations on Riverine Macrobiota in the New World: Tropical-Temperate Comparisons. *BioScience*, v. 50, n. 9, p. 807-823, 2000.

RAFAEL, Matheus Teotônio; DVORAK, Joseph; MOUTON, Ans; DUPONT, Etienne; SANTOS, Hersília de Andrade e. Simulação numérica de bueiros para passagem de peixes em três dimensões. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul. 2013. 8 p.

RAJARATNAM, Nallamuthu; VAN DER VINNE, Gary; KATOPODIS, Christos. Hydraulics of vertical slot fishways. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 112, n. 10, pp. 909-927, 1986.

RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, Christos; LODEWYK, S. Hydraulics of offset baffle culvert fishways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 15, n. 6, p. 1043-1051, 1988.

RAJARATNAM, Nallamuthu; KATOPODIS, Christos; MCQUITTY, N. Hydraulics of culvert fishways II: slotted-weir culvert fishways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 16, n. 3, p. 375-383, 1989.

RAJARATNAM, Nallamuthu; KATOPODIS, Christos. Hydraulics of culvert fishways III: weir baffle culvert fishways. *Canadian journal of civil engineering*, v. 17, n. 4, p. 558-568, 1990.

RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, C.; LODEWYK, S. Hydraulics of culvert fishways IV: spoiler baffle culvert fishways. *Canadian journal of civil engineering*, v. 18, n. 1, p. 76-82, 1991.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. *Ciência e Natura*. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. Edição 30, n. 2, pp. 93 -105, 2008.

RODRIGUES, P. R. A. Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e a Logística Internacional. São Paulo: Edições Aduaneiras, 2004. 243 p.

RUEDIGER, William. High, wide, and handsome: Designing more effective wildlife and fish crossings for roads and highways. *Road Ecology Center*, 2001. 8 p.

SAGA, Sistema Simplificado de Apoio à Gestão das Águas. *Atlas Digital das Águas de Minas*. 3ª. Edição. Universidade Federal de Viçosa, SEAPA RuralMinas, SEMAD IGAM, Governo de Minas. Disponível em: <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

SANTOS, Hersília Andrade e. A influência da capacidade natatória de peixes neotropicais no projeto hidráulico de mecanismos de transposição. 2007. 201 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SANTOS, Hersília Andrade e.; POLITANO, Marcela; RAFAEL, Matheus Teotônio; DVORAK, Joseph; MOUTON, Ans. ; DUPONT, Etienne. *Three dimensional numerical model of stair pipe culverts*. In: International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage, 2014, Madison. Oral presentation abstracts. Madison: The University of Madison, 2014. v. -. p. 1-1.

SHEAFFER, John Richard. *Urban storm drainage management*. (Civil Engineering). Marcel Dekker Inc, 1982. 296 p.

SPERLING, Ernesto Von. Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos. *Bio*, v. 2, n. 3, p. 53-56, 1993.

SUZUKI, Carlos Yukio. Drenagem de obras viárias rodovias e ferrovias. Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. 2008 [?]. 49 p.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de águas pluviais. Hidráulica em pontes. 2013. 22 p.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de águas pluviais. Bueiros ou travessias. 2015. 152 p.

TRANSPORTATION, Alberta. Fish habitat manual: Guidelines and procedures for watercourse crossings in Alberta. *Government of Alberta*, 2009.

TUCCI, Carlos E. M. *Drenagem urbana. Gestão das Águas*. Ciência e Cultura. vol.55, n.4, 2003, p. 36-37.

VANNOTE, Robin L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

VIANA, Edna Maria de Faria. Mapeamento do campo de velocidades em mecanismos de transposição de peixes do tipo slot vertical em diferentes escalas. Orientador: Carlos Barreira Martinez, 2005. 251 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

VIANA, Edna Maria de Faria; SANTOS, Hersília de Andrade; MAGALHÃES, Viviane P. Ferreira; MARTINEZ, Carlos Barreira. Elaboração de um projeto de mecanismo para transposição de peixes utilizando canal de adução de uma PCH. Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias Centrais Hidrelétricas, 5, 2006, Florianópolis. Comitê Brasileiro de Barragens, 2006.p. 16.

VIANA, Edna Maria de Faria; MARTINEZ, Carlos Barreira; MARQUES, Marcelo Giulian. Mapeamento do Campo de Velocidades no Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Ranhura Vertical Construído na UHE de Igarapava. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, nº 1, 2007, 5-15 p.

VOS, Claire C.; CHARDON, J. P. Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. *Journal of applied ecology*, p. 44-56, 1998.

WATTS, Fred J. *Design of Culvert Fishways*. Water Resources Research Institute, University of Idaho, Moscow, ID. 1974.

XAVIER FILHO, Márcio. A importância do Modal Ferroviário no Transporte de Carga no Brasil Utilizando a Intermodalidade. 2006. 79 f. Monografia (Tecnologia em Logística Ênfase: Transportes) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2006.

YUHARA, Thais Yumi. Avaliação do impacto da utilização de manilhas na construção de estradas sobre ambientes aquáticos e na ictiofauna em duas rodovias na região sul de Minas Gerais. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas) – Universidade federal de Lavras, Lavras, 2012.



PPGEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Av Amazonas, 7675, Belo Horizonte-MG
www.civil.cefetmg.br/mestrado