



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ARIANDSON NERES FELICIANO

**ANÁLISE E REVISÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DAS ESTRADAS DE
CONTORNO DO COMPLEXO BARRAGEM DE OITICICA EM JUCURUTU - RN**

ANGICOS

2022

ARIANDSON NERES FELICIANO

**ANÁLISE E REVISÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DAS ESTRADAS DE
CONTORNO DO COMPLEXO BARRAGEM DE OITICICA EM JUCURUTU - RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de
Araújo

ANGICOS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F314a Feliciano, Ariandson.
ANÁLISE E REVISÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DAS
ESTRADAS DE CONTOURNO DO COMPLEXO BARRAGEM DE
OITICICA EM JUCURUTU - RN / Ariandson Feliciano. -
2022.
62 f. : il.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Barragem. 2. Infraestrutura hídrica. 3.
Estrada Vicinal. 4. Drenagem. 5. Dimensionamento.
I. Gomes Dantas de Araújo, Arthur , orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ARIANDSON NERES FELICIANO

**ANÁLISE E REVISÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DAS ESTRADAS DE
CONTORNO DO COMPLEXO BARRAGEM DE OITICICA EM JUCURUTU - RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 23 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Luis Henrique Gonçalves Costa (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha companheira Júlia Rackel por simplesmente tudo.

Agradeço a minha família pelo apoio durante todo o período da graduação.

Agradeço aos meus Amigos Francisco Wesley e Higor Breno pela infância incrível, descontração na graduação e parceria na vida.

Agradeço a Carlos Daniel, Paulo Moreira e Pedro Hugo pela mentoria durante o período de estágio.

Agradeço a toda a equipe do Consórcio QS Oiticica pela oportunidade e vivência do estágio, em especial aos meus supervisores Emili Rolim, Marco César e Joagley Couto.

Agradeço ao meu Orientador, Prof. Dr. Arthur Araújo pelas orientações e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora pela avaliação justa e críticas construtivas.

Seja corajoso, seja curioso, seja determinado,
supere as probabilidades. É possível.

Stephen Hawking

RESUMO

O Complexo Barragem de Oiticica está localizado a 11 quilômetros de Jucurutu - RN. Trata-se de uma bacia hidráulica de 556 milhões de metros circundada por uma estrada vicinal de terra com 182 quilômetros de extensão dotada de revestimento primário. A drenagem dessas estradas demanda um certo grau de preocupação, uma vez que a deficiência em transpor as vazões de contribuição através dos pontos de descarga pode ocasionar manifestações patológicas, erosões e até rompimento de taludes, dificultando ou interrompendo a mobilidade de diversas comunidades rurais que residem às margens da bacia hidráulica. Dito isso, devido a mudanças de traçado e outros fatores, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de montar um procedimento de dimensionamento que permita analisar e revisar o projeto executivo de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica. Os dados e parâmetros necessários ao dimensionamento foram extraídos do projeto executivo de drenagem e da literatura, obtendo a área da bacia de contribuição, comprimento e desnível do talvegue, além das características do solo e sua ocupação. A modelagem dos hidrogramas foi realizada pelos métodos racional e *Soil Conservation Service – SCS*, obtendo as vazões de projeto nos pontos de descarga que interceptam o eixo da estrada. A montagem dos roteiros de dimensionamento dos elementos de drenagem foi realizada conforme orienta o Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006), obtendo as soluções ótimas em drenagem para trechos sob demanda de acordo com as análises de campo e critérios de projeto. A análise da primeira amostragem de trechos revelou a possibilidade da realização de uma análise global da obra através de uma revisão do projeto executivo de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica, com respaldo em estudos de viabilidade tanto de implantação quanto de direcionamento de fluxo.

Palavras-chave: Barragem. Infraestrutura hídrica. Estrada Vicinal. Drenagem. Dimensionamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	– Poligonal de desapropriação (Decreto nº 30.401, de 09 de março de 2021).....	17
Figura 02	– Seção tipo das estradas de contorno da bacia hidráulica da Barragem de Oiticica.....	17
Figura 03	– Implantação de um Bueiro Simples Tubular de Concreto de 1,50 m de diâmetro (BSTC Ø 1,50).....	25
Figura 04	– Construção de um Bueiro Duplo Celular de Concreto de 2,00 m de altura por 2,00 m de largura (BDCC 2,00 x 2,00m).....	25
Figura 05	– Valetas de Proteção de Cortes.....	27
Figura 06	– Valetas de Proteção de Aterro.....	27
Figura 07	– Bueiro Simples, Duplo e Triplo Tubular de Concreto - Vista Frontal.....	28
Figura 08	– Bueiro Simples, Duplo e Triplo Celular de Concreto - Vista Frontal.....	29
Figura 09	– Bueiros Metálicos - Seção transversal e especificações.....	29
Figura 10	– Bueiro Simples, Duplo e Triplo Tubular de Concreto - Planta esconso.....	30
Figura 11	– Grandezas hidráulicas de bueiros tubulares.....	41
Figura 12	– Grandezas hidráulicas de bueiros celulares.....	43
Figura 13	– VPA - seção trapezoidal.....	45
Figura 14	– VPA - seção retangular.....	45
Figura 15	– Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: planta de situação.....	47
Figura 16	– Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: visão geral.....	48
Figura 17	– Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: visão detalhada.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	–	Gráfico 01: Vazão nos pontos de descarga - Método Racional.....	52
------------	---	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	– Malha rodoviária brasileira por categoria, extensão e proporção.....	19
Tabela 02	– Terminologia de Bueiros.....	30
Tabela 03	– Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência - IDF para a estação 0063700 (EMPARN).....	33
Tabela 04	– Coeficientes de escoamento superficial por zona.....	35
Tabela 05	– Ábaco de distribuição de chuva de uma bacia de contribuição com o ponto de descarga localizado na estaca E 4359 pelo método de Huff - 1º Quartil.....	37
Tabela 06	– Dados e parâmetros - Método Racional.....	52
Tabela 07	– Soluções em drenagem adotadas - Método Racional.....	53
Tabela 08	– Dados e Parâmetros - Método SCS.....	54
Tabela 09	– Soluções em drenagem adotadas - Método <i>SCS</i>	54
Tabela 10	– Soluções em drenagem adotadas - VPAs.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CNT	Confederação Nacional do Transporte
MDEP	<i>Massachusetts Department of Environmental Protection</i>
MDEP	<i>Maine Department of Environmental Protection</i>
VPA	Valeta de Proteção de Aterro
VPC	Valeta de Proteção de Corte
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\varnothing$	Diâmetro
Δh	Diferença de nível
Σ	Notação de somatório
θ	Ângulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Estradas não pavimentadas: distribuição geográfica, função socioeconômica e características gerais.	19
2.2 Planejamento e execução de estradas não pavimentadas	20
2.3 Processo erosivo: principais causas e consequências em estradas não pavimentadas	22
2.4 Sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas	23
2.5 Elementos de Drenagem	24
2.5.1 Dispositivos de drenagem superficial	26
2.5.2 Dispositivos de drenagem para transposição de talwegues	28
2.6 Estudo Planialtimétrico das Bacias de Contribuição	31
2.7 Estudo Hidrológico do Local da Obra	31
2.7.1 Tempo de recorrência	32
2.7.2 Tempo de concentração	32
2.7.3 Intensidade de chuva	32
2.8 Hidrogramas de Projeto	33
2.8.1 Método racional	34
2.8.2 Método <i>Soil Conservation Service</i> - SCS	35
2.9 Dimensionamento de Elementos Drenantes: Bueiros Tubulares, Celulares e Valetas de Proteção de Aterro (VPA)	40
2.9.1 Bueiros tubulares	40
2.9.2 Bueiros Celulares	42
2.9.3 Valetas de proteção de Aterro	45
3 METODOLOGIA	47
3.1 Dados Planialtimétricos	47
3.2 Parâmetros Hidrológicos	49
3.2.1 Tempo de recorrência	49
3.2.2 Tempo de concentração	50
3.2.3 Intensidade de chuva	50
3.3 Aplicação dos Modelos de Hidrogramas de Projeto	50
4 RESULTADOS	51

4.1 Dimensionamento Sob o Método Racional	51
4.2 Dimensionamento Sob o Método SCS	53
4.3 Dimensionamento e adoção de Valetas de Proteção de Aterro	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
ANEXO A - VALORES DO PARÂMETRO CN PARA BACIAS RURAIS	62
ANEXO B - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto trabalhando como canal.	63
ANEXO C - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros celulares de concreto trabalhando como canal.	63

1 INTRODUÇÃO

Estradas vicinais (ou estradas de terra) são aquelas que não possuem a etapa de execução do revestimento asfáltico em seu processo construtivo. Trata-se da abertura de um acesso rodoviário, muitas vezes simplesmente executado, através da remoção da vegetação e rochas e do melhor traçado geométrico considerando os recursos disponíveis. Por não possuírem uma camada de revestimento, essas estradas estão sujeitas a manifestações patológicas de origem antropológica, intempérica ou mista.

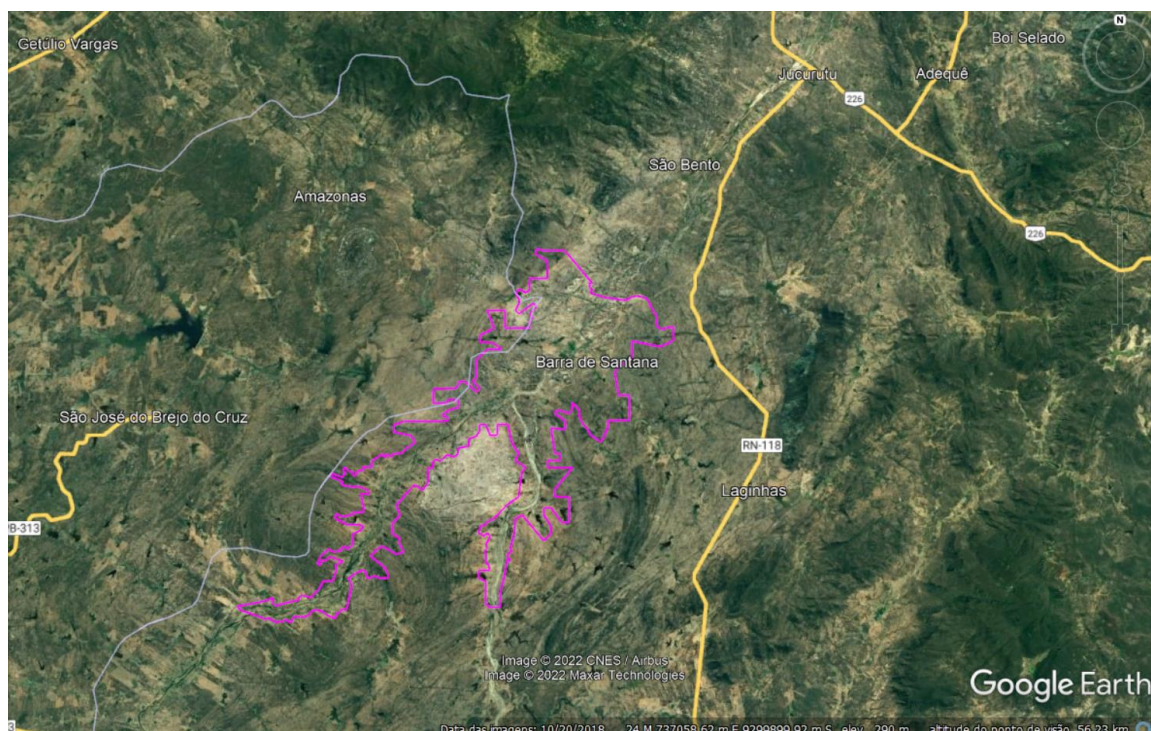
Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005), estas rodovias, com grande frequência e em especial nas áreas rurais, resultam da evolução de trilhas e caminhos precários e que tais rodovias foram construídas buscando a minimização de custos, evitando a construção de obras de arte especiais e reduzindo o movimento de terra, aproveitando as curvas de nível do terreno e os divisores de água.

O Complexo Barragem de Oiticica trata-se de um conjunto de obras de infraestrutura hídrica, civil e social. Composto pela realocação dos residentes da área urbana na comunidade de Barra de Santana para o distrito projetado de Nova Barra de Santana; a construção das Agrovilas Jucurutu, São Fernando e Jardim de Piranhas que irão receber as famílias da área rural atingida; a construção da barragem principal e das barragens auxiliares I e II e por fim; a execução das estradas de contorno.

O tráfego de veículos automotores leves, pesados e de maquinários se dá através de estradas pré-existentes e pela abertura de vias de acesso, que comunicam o canteiro de obras às frentes de serviço e ao meio rural, possibilitando a aproximação social e a logística dentro do complexo.

O projeto executivo das estradas de contorno que circundam toda a bacia hidráulica consiste em um eixo de estaca inicial 0 + 0,00 m (em Nova Barra de Santana, próximo ao Ginásio Poliesportivo) e estaca final 6404 + 0,00 m (próximo a ombreira direita da Barragem Principal), com um comprimento total de 128,08 km. O traçado é aproximadamente alinhado à poligonal de desapropriação e pode ser visto através do Mapa 01 abaixo (poligonal magenta) publicado no Diário Oficial do Rio Grande do Norte por meio do Decreto nº 30.401, de 09 de março de 2021.

Figura 01: Poligonal de desapropriação (Decreto nº 30.401, de 09 de março de 2021).



Fonte: Google Earth Pro, 2018.

O modelo da seção tipo das estradas de contorno da bacia hidráulica da Barragem de Oiticica que pode ser visualizada no Mapa 01 a seguir é composta por um talude com relação de inclinação 1/1,5 com índice de compactação variando entre 85% a 90%, uma plataforma de 6,00 m de largura possuindo uma camada de revestimento primário de 15,00 cm (quinze centímetros) de espessura com índice compactação variando entre 95% e 100%. Tratando-se de uma estrada vicinal que circunda uma bacia hidráulica de grande porte, uma drenagem bem dimensionada é importante para garantir tanto a integridade da estrada quanto o fluxo natural da água.

Figura 02: Seção tipo das estradas de contorno da bacia hidráulica da Barragem de Oiticica.



Fonte: Consórcio EIT-ENCALSO.

A preocupação relacionada a uma drenagem eficiente de microbacias hidráulicas em estradas vicinais de terra se torna importante também uma vez que a plataforma da estrada passa a atuar como uma estrutura de barragem a depender da topografia devido a elevação do greide, represando água a montante. Entretanto, maciços de água acumulados a montante e jusante podem dissolver o talude e romper a estrada. Uma drenagem ineficiente ou inexistente pode gerar consequências variando desde processos erosivos devido às altas velocidades de escoamento até a ruptura catastrófica do corpo estradal.

Este trabalho consiste na montagem de um modelo de dimensionamento de elementos drenantes a fim de revisar e atualizar o projeto de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral montar um procedimento de dimensionamento de elementos drenantes a fim de analisar e revisar o projeto executivo de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica.

1.1.2 Objetivos específicos

Realizar o estudo planialtimétrico, extraíndo os dados de entrada para o cálculo das contribuições das bacias hidrográficas.

Realizar o estudo hidrológico pelo método adequado considerando as características da bacia de contribuição a ser analisada.

Consolidar os dados e parâmetros necessários ao dimensionamento da solução de drenagem nos pontos de descarga que interceptam o corpo estradal.

Montar um roteiro de dimensionamento dos elementos de drenagem, justificando e descrevendo a solução adotada considerando as melhores práticas de engenharia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica deste trabalho se deu a partir de um apanhado de informações a respeito das estradas não pavimentadas, enfatizando a importância do planejamento, execução

e das consequências ocasionadas pela deficiência no processo de implantação, principalmente no tocante à drenagem, discorrendo então a respeito dos materiais e métodos utilizados no dimensionamento de elementos drenantes.

2.1 Estradas não pavimentadas: distribuição geográfica, função socioeconômica e características gerais.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte - CNT (2021), as rodovias não pavimentadas representam 78,5% (1.350.100,0 km) da malha rodoviária brasileira. A parcela de rodovias pavimentadas e de rodovias planejadas podem ser conferidas a título de comparação de proporção na Tabela 01, abaixo.

Tabela 01: Malha rodoviária brasileira por categoria, extensão e proporção.

CATEGORIA	EXTENSÃO	PARCELA
RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS	1.350.100,0 km	78,5%
RODOVIAS PAVIMENTADAS	213.500,0 km	12,4%
RODOVIAS PLANEJADAS	157.309,0 km	9,1%
MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA	1.720.909,0 km	100%

Fonte: ¹Adaptado de CNT (2021), dados DNIT (2021) e Ministério da Infraestrutura (2020).

É expressivo a parcela de rodovias não pavimentadas com relação às parcelas pavimentadas e planejadas. Entretanto, é de se compreender que um país com sua matriz econômica composta majoritariamente por produção agrícola e agropecuária demande tamanha extensão de corpo estradal. Dito isso, a malha rodoviária não pavimentada torna-se um importante elemento de infraestrutura de suporte ao desenvolvimento socioeconômico interior, permitindo o fluxo de bens e serviços produzidos e prestados e de pessoas para o desenvolvimento de relações interpessoais entre o meio urbano e áreas rurais de um país em desenvolvimento e de proporções territoriais continentais.

De acordo com Griebeler (2002), o suporte econômico de grande parte dos municípios do interior do Brasil está na produção agropecuária, sendo que o primeiro caminho percorrido

¹ A representação das subcategorias das rodovias pavimentadas foi suprimida por não serem relevantes a este trabalho.

pela produção agropecuária é o que vai da propriedade rural à rede coletora, constituído essencialmente de estradas não pavimentadas. Embora se possa dizer que as estradas rurais, por si só, não são capazes de romper as barreiras que levam ao empobrecimento das comunidades, elas podem, por outro lado, ser importantes agentes indutores de crescimento e proporcionar significativos benefícios sociais e econômicos (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), estradas vicinais de terra são aquelas que possuem uma camada de solo selecionado de boa qualidade, estabilizado, superposta ao leito natural de uma rodovia, para permitir uma superfície de rolamento com características superiores às do solo natural, garantindo melhores condições de trânsito.

Estradas vicinais de terra possuindo ou não uma camada de revestimento primário estão sujeitas a fatores intempéricos, como o vento e a chuva, que podem ser agentes diretos ou indiretos (associado a ações antrópicas) no desgaste tanto da plataforma do pavimento terroso quanto da saia do aterro e demais elementos que podem vir a compor o corpo estradal.

Sujeitas a processos erosivos expressivos, as estradas não pavimentadas apresentam fundamental importância no processo conservacionista, alterando as características naturais do terreno. As estradas modificam o percurso natural do escoamento superficial, alteram a capacidade de infiltração da água no solo e, em alguns casos, concentram águas advindas de áreas adjacentes, funcionando de maneira semelhante a um canal de drenagem (GRIEBELER, 2002).

Segundo Santos *et al.* (2019), duas são as características técnicas fundamentais que uma estrada vicinal deve apresentar para garantir as condições de tráfego satisfatórias, são elas: uma boa capacidade de suporte; e boas condições de rolamento e aderência. Essas características estão intimamente relacionadas a uma drenagem eficiente.

Santos *et al.* (2019) reforça que há duas regras básicas a se considerar na concepção de uma estrada vicinal de terra: o leito das estradas de terra deve manter-se o máximo possível próximo à superfície do terreno; um bom sistema de drenagem é essencial para a estrada de terra. Sem uma drenagem eficiente, por melhores que sejam as condições técnicas da pista, mais cedo ou mais tarde sua deterioração será total.

2.2 Planejamento e execução de estradas não pavimentadas

O cerne do projeto de uma estrada não pavimentada está entre permitir o deslocamento de maneira segura e possuir uma estrutura durável. As características da estrada são intrínsecas

a localização e sua topografia; a finalidade e interesse regional, aos materiais utilizados e recursos empregados, etc.

Para embasar o projeto geométrico e o planejamento estratégico com relação ao eixo de locação, se faz necessário, além do atendimento dos pontos de ligação interessados;

- O levantamento planialtimétrico;
- Estudos geológicos e geotécnicos;
- Estudo do solo e da vegetação;
- Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA);
- Processos de desapropriação;
- Estudo hidrológico.

Segundo o DNIT (2005), os estudos hidrológicos visam primordialmente o dimensionamento dos dispositivos capazes de conduzir satisfatoriamente as vazões afluentes.

De acordo com Pimenta e Oliveira (1999), o traçado deve ser escolhido de forma a reduzir o mínimo de travessias de rios e córregos, de forma a minimizar o número de obras civis como pontes e galerias. Os autores reforçam que, quando as travessias são inevitáveis, é importante escolher locais e posições favoráveis (o mais perpendicular possível), para evitar ou reduzir o tamanho das obras civis necessárias e evitar obras de retificação dos rios ou córregos atravessados.

A integração da estrada ao meio e o planejamento da conservação desta justamente com as demais áreas, agrícolas ou não, com a correta destinação da água da chuva, tendem a evitar que ocorra a erosão na estrada (GRIEBELER, 2002).

Em estradas não pavimentadas, o solo é o material de subleito, leito e revestimento primário, devendo apresentar características adequadas para cada camada constituinte do corpo estradal. Retirado de jazidas e recebendo o tratamento adequado ao seu emprego, após serviços de supressão vegetal (desmatamento e destocamento), o solo é lançado realizando os serviços de terraplanagem dando forma e suavizando o greide. Após a terraplanagem, executa-se o revestimento primário e o sistema de drenagem superficial. Caso necessário, também se executa serviços complementares como inserção de camada vegetal, geotêxtil ou de enrocamento como sistemas de proteção de corte e aterro em áreas suscetíveis a erosão, além de implantação de sistemas de drenagem subterrânea em casos de afloramento do lençol freático.

2.3 Processo erosivo: principais causas e consequências em estradas não pavimentadas

Erosão é a ocorrência do desprendimento, sedimentação e transporte de partículas de solo a partir de um agente erosivo antrópico ou intempérico, podendo ser o vento (erosão eólica), a chuva (erosão pluvial) ou algum outro fator.

O processo erosivo em estradas não pavimentadas consiste da desagregação e posterior transporte do maciço de solo constituinte do corpo estradal por meio de um ou mais agentes erosivos. Em regiões de clima tropical onde há incidência de chuvas de alta intensidade, o escoamento superficial ao longo do canal de drenagem e do leito da estrada pode atingir altas velocidades, gerando uma tensão cisalhante crítica responsável por promover a erosão pluvial e manifestações patológicas de tal origem.

Os problemas erosivos em estradas de terra devem ter uma análise mais criteriosa do que em estradas pavimentadas, tendo em vista a maior fragilidade do material do leito, o qual normalmente consiste do próprio material do local, apresentando, portanto, características bastante variadas (GRIEBELER, 2002). Dessa maneira, em um local de topografia ondulada sujeita a formação de microbacias e talvegues, a ausência ou ineficiência do sistema de drenagem pode acarretar problemas que terão origem na erosão da saia do aterro e que poderão levar, em casos extremos, ao rompimento do talude.

Griebeler (2002) ressalta que os problemas com relação à erosão em estradas não pavimentadas podem ser reduzidos evitando que o escoamento superficial se acumule tanto no leito quanto às margens da estrada, devendo ser coletada em suas laterais e encaminhadas para escoadouros naturais ou artificiais.

Segundo o *Maine Department of Environmental Protection - MDEP* (2016), é difícil controlar a erosão uma vez que já começou, esse é o porquê da prevenção e a manutenção regular das estradas não pavimentadas devem ser enfatizadas. Um controle de erosão efetivo pode ser cumprido de maneira eficiente observando os seguintes princípios:

- Monitorar e manter a estrada em uma base regular. O melhor momento para inspecionar a estrada é em um dia chuvoso, quando os problemas estão aparentes
- Planejar bem as melhorias antes de colocá-las em prática;
- Drenar a água da chuva para fora do leito da estrada em intervalos frequentes e da forma mais rápida possível;

- Manter a velocidade de escoamento baixa;
- Evitar a concentração do escoamento, promovendo a sua dispersão;
- Evitar o escoamento diretamente nos cursos d'água naturais;
- Minimizar áreas de solo exposto nas margens e valetas;
- Estabilizar e cobrir o solo exposto com vegetação ou outro tipo de proteção, como geotêxtil, enrocamento, entre outros;
- Limitar cargas pesadas e minimizar o tráfego em períodos chuvosos.

Estes princípios por sua vez ajudam a manter a integridade do corpo estradal e das bacias hidrográficas a jusante, evitando a erosão hídrica dos taludes e o assoreamento dos talwegues, permitindo o fluxo natural da água.

2.4 Sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas

Segundo Skorseth e Selim (2000), um ditado frequentemente repetido em implantação de empreendimentos de construção e manutenção de estradas é que as três coisas mais importantes a se entender na construção e manutenção de estradas são drenagem, drenagem e drenagem. Uma drenagem eficiente não está diretamente ligada somente aos melhores materiais, mas também aos melhores métodos de análise e práticas de engenharia.

O *Massachusetts Department of Environmental Protection - MDEP* (2001) no *Unpaved Roads BMP Manual* ressalta que sem uma boa drenagem, até os melhores métodos de construção e materiais podem ser desperdiçados e que entender os fundamentos da drenagem e do escoamento superficial é imperativo para manter estradas não pavimentadas em boas condições.

De acordo com o DNIT (2005), ao serem introduzidos melhoramentos em perfil ou planta em segmento de estradas com revestimento terroso recomenda-se ter em mente dois importantes princípios: Adotar greides elevados, com a preocupação de assegurar uma boa drenagem; e que as melhores estradas estão situadas nas áreas bem drenadas, sobre solos granulares, com fração fina suficiente para lhe conferir alguma coesão.

Quando não é possível do ponto de vista técnico e executivo fazer com que o eixo do corpo estradal transponha um certo trecho em que a elevação do greide irá formar um ponto de

acumulação, ou que curvas verticais e horizontais promovam processos erosivos extensivos, elementos de drenagem superficial e de transposição de talvegues se fazem necessários a fim de permitir o escoamento controlado da água e promover a durabilidade tanto do corpo do aterro quanto da faixa de rolamento.

A simples retirada do escoamento da estrada para áreas adjacentes que não tenham capacidade de receber esse volume de água escoado ou não se encontram preparadas para tal finalidade caracterizaria mera transferência de um problema que ocorre nas estradas para as referidas áreas. (DA SILVA, 2011)

2.5 Elementos de Drenagem

A drenagem de estradas vicinais não pavimentadas consiste de elementos que permitam o escoamento tanto longitudinal quanto transversal da água ao longo do seu eixo sem que ocorra o desgaste por erosão hídrica da faixa de rolamento, do subleito ou das demais camadas de suporte da estrada.

Dentre os elementos de drenagem superficial, destacam-se as VPCs (Valetas de Proteção de Corte), VPAs (Valetas de Proteção de Aterro), Sarjetas de Corte e de Aterro, Saídas D'água, Caixas Coletoras, Dissipadores de energia, entre outros. Estes permitem um direcionamento controlado das contribuições das bacias hidrográficas por meio de movimentos de terra e sem o uso de obras de arte especiais. Já para a drenagem transversal se faz necessário o uso de obras de arte correntes e especiais, como Bueiros, Pontilhões ou Pontes e Obstruções Parciais de Vazão.

Exemplos de bueiro tubular e celular podem ser vistos nas Figuras 03 e 04.

Figura 03: Implantação de um Bueiro Simples Tubular de Concreto de 1,50 m de diâmetro (BSTC Ø 1,50).



Fonte: Registro próprio.

Figura 04: Construção de um Bueiro Duplo Celular de Concreto de 2,00 m de altura por 2,00 m de largura (BDCC 2,00 x 2,00m).



Fonte: Registro próprio.

Considerando a classe de projeto em que estradas com pavimentos terrosos costumeiramente se enquadram, sendo ela a Classe IV - Caracterizada por rodovias de pista simples, dotada de revestimento primário e com tráfego médio de 50 veículos por dia, destaca-se a utilização de bueiros como obras d'arte para a transposição de talvegues e de valetas de proteção de aterro para direcionamento do escoamento marginal da estrada. O material desses elementos de drenagem também pode variar de acordo com a classe de projeto. O material de revestimento ou de constituição dos elementos de drenagem devem ser levados em consideração e ter um certo grau de resistência à erosão hídrica.

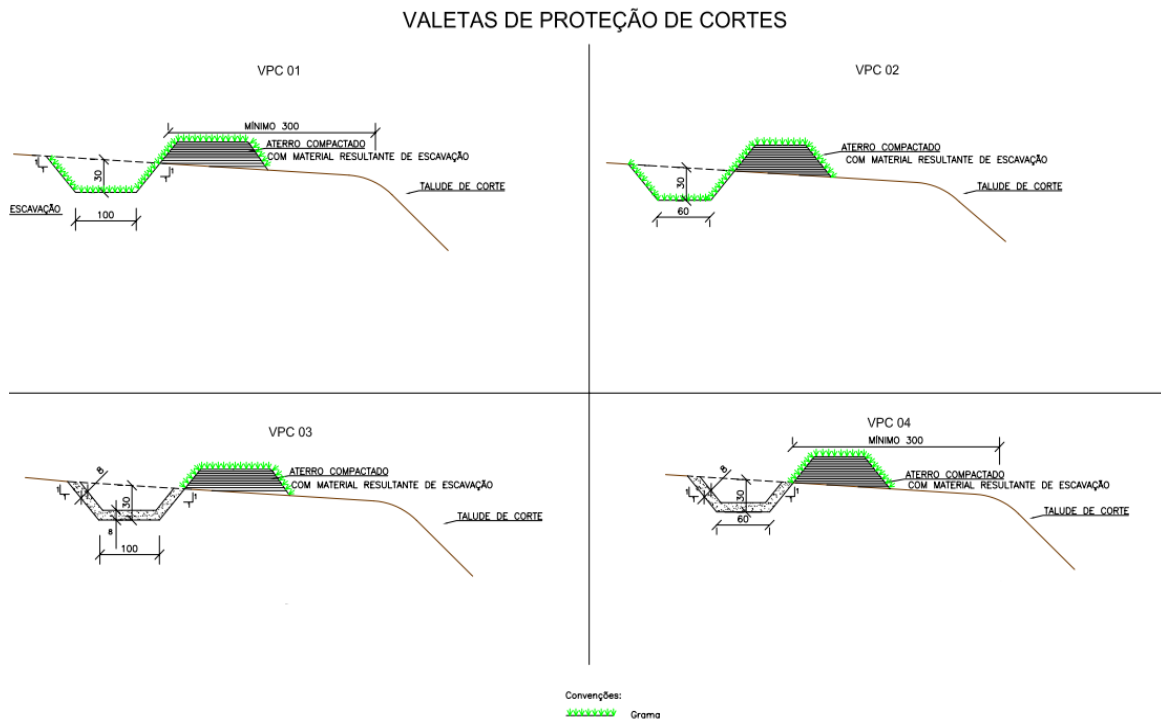
2.5.1 Dispositivos de drenagem superficial

Entre os dispositivos de drenagem superficial, destacam-se as Valetas de Proteção de Cortes (VPC) e Valetas de Proteção de Aterros (VPA). Podem ser revestidos de concreto, enrocamento ou vegetação. Elementos de drenagem superficial do tipo valeta de proteção tem por finalidade proteger o pé do talude de processos erosivos e direcionar o fluxo a fim de não acumular maciços de água nas áreas marginais.

A ocorrência da erosão do talude das estradas pode atingir a estrutura do revestimento primário, além disso, o acúmulo de água no local supracitado pode gerar pressões hidráulicas que, em casos extremos, levam ao rompimento catastrófico do talude.

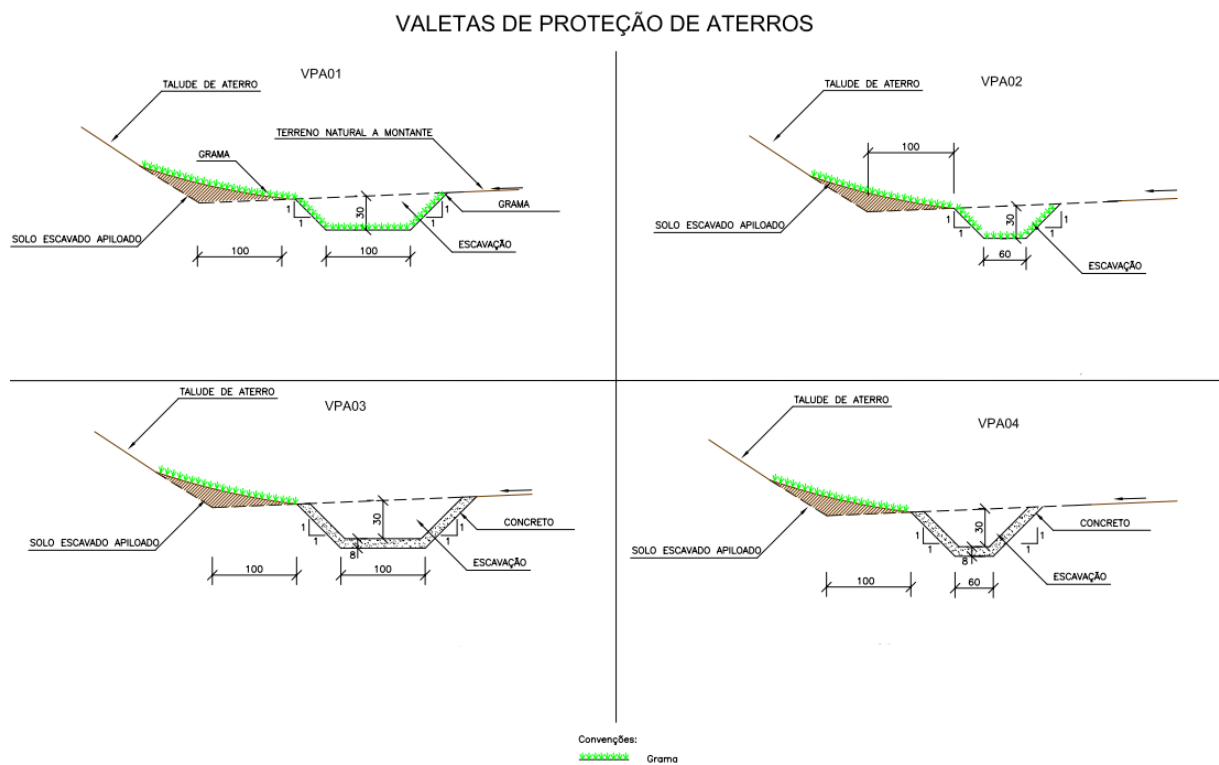
Nas Figuras 05 e 06, pode-se observar as disposições de projeto de VPCs e VPAs, conforme o Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (DNIT, 2010).

Figura 05: Valetas de Proteção de Cortes



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

Figura 06: Valetas de Proteção de Aterros



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

2.5.2 Dispositivos de drenagem para transposição de talvegues

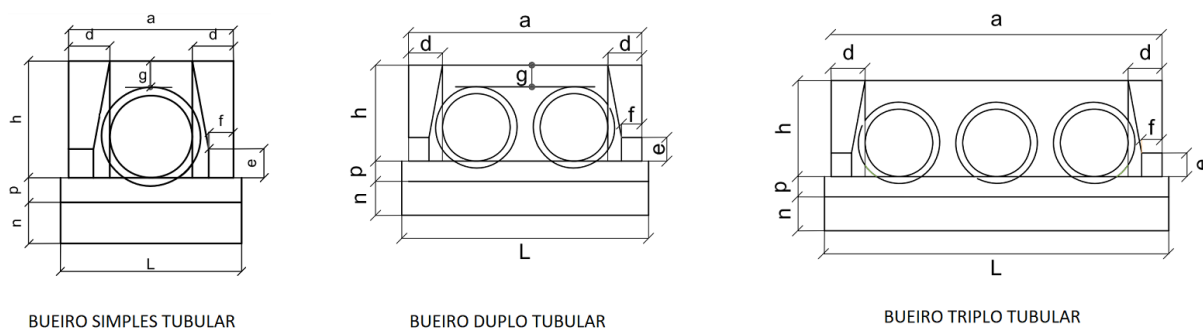
Bueiros são obras destinadas a permitir a passagem livre das águas que acorrem as estradas. Compõem-se de bocas e corpo sendo o corpo a parte situada sobre os cortes e aterro e as bocas sendo os dispositivos de admissão e lançamento, a montante e a jusante, e são compostas de soleira, muro de tela e alas. (DNIT, 2006)

São classificados quanto à forma da seção, ao número de linhas, aos materiais com os quais são construídos e quanto à esconsidade, sendo assim;

- Quanto à seção:
 - Tubular quando a seção for circular; Celular quando a seção for retangular ou quadrada; Especiais quando a seção for elipsóide, ovóide ou outra diferente das seções supracitadas.
- Quanto ao número de linhas:
 - Simples quando houver apenas uma linha; Duplo quando houver duas; Triplo quando houver três linhas.

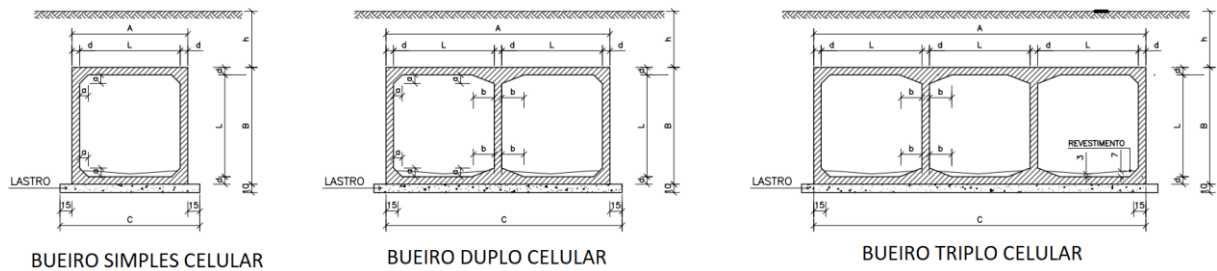
As disposições geométricas do bueiro simples, duplo e triplo tanto tubular quanto celular podem ser vistas nas Figuras 07 e 08:

Figura 07: Bueiro Simples, Duplo e Triplo Tubular de Concreto - Vista Frontal.



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

Figura 08: Bueiro Simples, Duplo e Triplo Celular de Concreto - Vista Frontal.

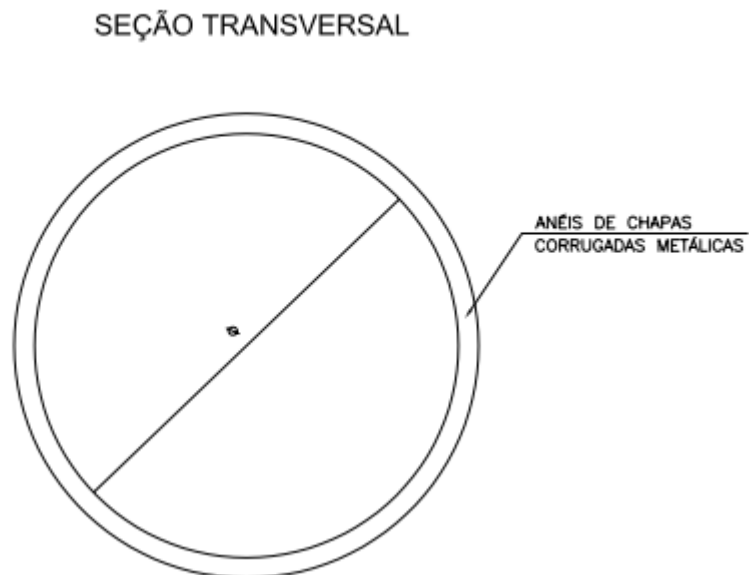


Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

- Quanto ao material:
 - Concreto simples, concreto armado, chapa metálica corrugada, ²polietileno de alta densidade (PEAD) e plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV).

De acordo com o Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem do DNIT, bueiros metálicos possuem as seguintes características geométricas, dispostas na Figura 09:

Figura 09: Bueiros Metálicos - Seção transversal e especificações.



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

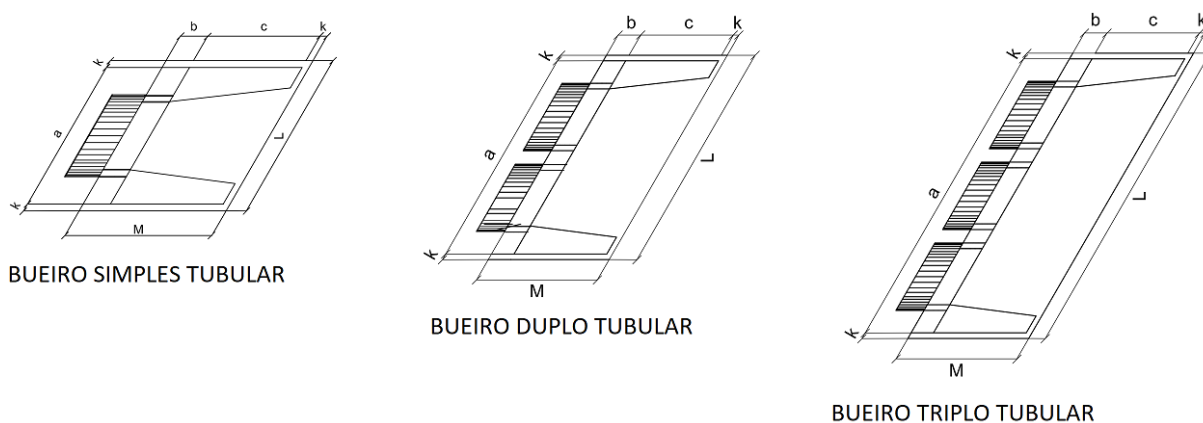
- Quanto a esconsidade:

² Não há disposições no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem do DNIT (2010) sobre bueiros de PEAD e PRFV. Todavia não são interessantes para este trabalho.

- Normais (quando o eixo do bueiro for normal ao eixo da estrada); Esconso (quando o eixo longitudinal do bueiro fizer um ângulo diferente de zero com o eixo normal a estrada).

As representações em projeto dos bueiros simples, duplo e triplo tubular de concreto com alas esconsas pode ser vista através da Figura 10:

Figura 10: Bueiro Simples, Duplo e Triplo Tubular de Concreto - Planta esconso.



Fonte: Adaptado de DNIT, 2010.

Quanto a terminologia dos bueiros, esta pode ser resumida na Tabela 02.

Tabela 02: Terminologia de bueiros.

BSTC	Bueiro Simples Tubular de Concreto
BDTC	Bueiro Duplo Tubular de Concreto
BTTC	Bueiro Triplo Tubular de Concreto
BSCC	Bueiro Simples Celular de Concreto
BDCC	Bueiro Duplo Celular de Concreto
BTCC	Bueiro Triplo Celular de Concreto
BSTM	Bueiro Simples Tubular Metálico
BDTM	Bueiro Duplo Tubular Metálico
BTTM	Bueiro Triplo Tubular Metálico

Fonte: Autoria própria.

2.6 Estudo Planialtimétrico das Bacias de Contribuição

A área de drenagem, ou área de contribuição da bacia a ser drenada (em km² ou ha) é aferida a partir da análise dos dados topográficos georreferenciados e geoprocessados, verificando as curvas de nível e dessa forma delimitando as bacias de contribuição. O escoamento da contribuição das bacias hidrográficas é realizado por cursos d'água denominados talwegues.

A palavra talwegue deriva da expressão alemã “thal weg” que significa “caminho do vale”. Trata-se da linha sinuosa que se situa no fundo de um vale no encontro de duas superfícies distintas formando um ângulo, também pode significar o fundo do leito de rios e riachos, indicando a direção natural do curso d'água e sua parte mais rápida. No estudo de bacias hidrográficas obtém-se alguns parâmetros interessantes, como a cota superior e inferior do talwegue, seu comprimento e por consequência sua declividade e velocidade média característica.

A Cota superior C_s (ou cota de crista) em (m) é a que representa a cota mais alta do talwegue enquanto a cota inferior C_i a mais baixa, sendo essa geralmente a cota do ponto de descarga. A diferença de cota ΔH que representa o desnível do talwegue é encontrada através da equação (1), descrita abaixo.

$$\Delta H = C_s - C_i \quad \text{eq. (1)}$$

Onde:

ΔH = Diferença de cota, em m;

C_s = Cota superior, em m;

C_i = Cota inferior, em m;

2.7 Estudo Hidrológico do Local da Obra

A partir do estudo hidrológico obtém-se o tempo de recorrência de um evento climático. Neste caso, de uma chuva extraordinária, do tempo de concentração e da intensidade da chuva de projeto.

2.7.1 Tempo de recorrência

Segundo o DNIT (2005), para obras de engenharia, a segurança e durabilidade estão frequentemente associadas ao tempo de recorrência. Tempo de recorrência, ou tempo de retorno, é o intervalo de tempo em anos em que há a probabilidade de ocorrer um evento de alta magnitude uma vez. No dimensionamento de elementos drenantes, o tempo de recorrência ditará a descarga de projeto.

Para se adotar o tempo de recorrência e por consequência a vazão de projeto é preciso ponderar a respeito da relevância e a onerosidade da obra com relação a sua futura manutenção. Quanto maior o tempo de recorrência, maior será a descarga.

Com relação a folga entre o nível d'água previsto e o nível crítico, é costumeiro considerar o afogamento do interior do bueiro a montante. Entretanto, bueiros trabalhando com carga hidráulica podem gerar velocidades de fluxo erosivas a jusante, necessitando assim de dissipadores de energia, como enrocamentos, gabiões, entre outros.

2.7.2 Tempo de concentração

O tempo de concentração consiste no tempo necessário para que o escoamento superficial ocorra sobre uma dada superfície até atingir a boca de entrada do elemento drenante, além do tempo de percurso até o ponto de descarga na boca de saída.

O tempo de concentração pode ser calculado através da equação de Kirpich (1940), representada pela equação 2 a seguir:

$$tc = 57 \times (L^3 / \Delta h)^{0,385} \quad \text{eq. (2)}$$

Sendo:

tc = tempo de concentração, em min;

L = Comprimento do talvegue, em km;

ΔH = Diferença entre cota superior e inferior, em m.

2.7.3 Intensidade de chuva

Segundo Festi (2007) uma das dificuldades no projeto de obras de drenagem é a determinação da precipitação intensa máxima provável a se utilizar nos cálculos. Apesar da

quantidade de equações de chuvas ser pequena, a dispersão por autorias diferentes faz com que as informações dispostas estejam difusas.

Dentre uma das formas mais usuais para se descobrir a intensidade, duração e frequência, ou IDF, destaca-se a equação com parâmetros ajustados por SILVA, J. B. L. *et al.* (2018) que pode ser vista na equação (3), abaixo:

$$IDF = (K \times TR^a) / (t + b)^c \quad \text{eq. (3)}$$

Onde:

IDF = Intensidade máxima média de precipitação, em mm/h;

TR = Tempo de recorrência, em anos;

t = Duração da precipitação ou tempo de concentração da bacia, em min;

K, a, b, c = Parâmetros inerentes ao local.

Para tal, foi considerado os dados da estação 00637008, operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte - EMPARN, cujos parâmetros podem ser consultados na Tabela 03.

Tabela 03: Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência - IDF para a estação 0063700 (EMPARN).

Estação	Município	K	a	b	c
00637008	Jucurutu	884,965	0,106	13,141	0,779

Fonte: Adaptado de SILVA, J. B. L. *et al.* (2018).

2.8 Hidrogramas de Projeto

Os hidrogramas de projeto são desenvolvidos sob a necessidade de se obter o parâmetro de descarga pluvial sobre as bacias de contribuição. Dentre os métodos mais utilizados destaca-se o método racional e o método *Soil Conservation Service - SCS*.

2.8.1 Método racional

O método racional, idealizado por Mulvaney (1851) e desenvolvido por Emil Kuichling (1889) é utilizado para calcular a vazão de uma dada bacia hidrográfica. A vazão de projeto para uma chuva excepcional com duração igual ao tempo de concentração pode ser calculado através da equação (4) a seguir:

$$Q_p = (C \times i \times A)/3,6 \quad \text{eq. (4)}$$

Onde:

Q_p = Vazão de projeto, em m³/s;

C = Coeficiente de escoamento superficial, depende da topografia, do solo e de sua cobertura;

i = Intensidade de precipitação, em mm/h;

A = Área da bacia hidrográfica, em km².

O coeficiente de escoamento superficial, ou escoamento de *runoff*, é adotado com base nas características da bacia a ser estudada. Fatores como tipo de solo, ocupação do solo, intensidade de precipitação e grau de impermeabilização da superfície da bacia devem ser levados em consideração na adoção do valor de C . Os valores de C para cada tipo de zona podem ser consultados através da Tabela 04.

Tabela 04: Coeficientes de escoamento superficial por zona.

Zona	C
<u>Edificação muito densa</u> : partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
<u>Edificação não muito densa</u> : partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
<u>Edificações com poucas superfícies livres</u> : pares residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
<u>Edificações com muitas superfícies livres</u> : partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,5
<u>Subúrbios com alguma habitação</u> : partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
<u>Matas, parques e campos de esportes</u> : partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978) apud Gonçalves, *et al.* (2009).

Para este dimensionamento, considerou-se um *C* de 0,20, considerando a semelhança do ambiente rural com a referida descrição de adoção do valor.

2.8.2 Método *Soil Conservation Service* - SCS

O método *Soil Conservation Service* trata-se de um método desenvolvido em 1950 pelo *United States Department of Agriculture* - *USDA* com o objetivo de analisar bacias hidrográficas nos Estados Unidos utilizando um modelo de hidrograma unitário adimensional.

O método SCS é intuitivo. O seu principal atributo é que apresenta taxas crescentes de escoamento com o aumento da precipitação (seja em profundidade ou intensidade). (PRIESTLEY, 2015).

O método foi adaptado ao solo do Complexo Barragem de Oiticica, uma vez que as próprias jazidas de empréstimo se localizam dentro da área da bacia hidráulica.

O tempo de concentração para este método é convertido de minutos para horas e aplicado como parâmetro de entrada na distribuição temporal de Huff (1967) a fim de encontrar a precipitação total *PT* em mm, processo descrito através da equação (5):

$$PT = TC \times IDF \quad \text{eq. (5)}$$

Sendo:

PT = Precipitação total, em mm;

TC = Tempo de concentração, em H;

IDF = Intensidade máxima média de precipitação, em mm/h.

Obtendo a relação P/PT e t/td , sendo P/PT a relação entre a precipitação no tempo e a precipitação total, e t/td sendo a relação entre um intervalo de tempo e o tempo total da chuva, obtém-se um ábaco. O ábaco é característico de cada bacia. Para este trabalho adotou-se o 1º quartil do ábaco de distribuição de chuva pelo método de Huff (1967), um exemplo do ábaco pode ser visualizado através da Tabela 05.

Tabela 05: Ábaco de distribuição de chuva de uma bacia de contribuição com o ponto de descarga localizado na estaca E 4359 pelo método de Huff - 1º Quartil.

%Tempo	1º Quartil	T (h)	P (mm)	Delta P	P Exc. (mm)	Hietogram a Exc. (mm)	Bloco	Tp' (H)	Tb' (H)	Qp' m³/s
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00
0,05	0,16	0,05	6	6,31	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
0,10	0,33	0,10	13	6,71	0,00	0,00	3	0,00	0,00	0,00
0,15	0,43	0,15	17	3,95	0,00	0,00	4	0,00	0,00	0,00
0,20	0,52	0,19	21	3,55	0,00	0,00	5	0,00	0,00	0,00
0,25	0,60	0,24	24	3,16	0,03	0,03	6	0,85	1,86	0,05
0,30	0,66	0,29	26	2,37	0,16	0,13	7	0,90	1,91	0,18
0,35	0,71	0,34	28	1,97	0,34	0,18	8	0,95	1,96	0,25
0,40	0,75	0,39	30	1,58	0,52	0,19	9	1,00	2,01	0,26
0,45	0,79	0,44	31	1,58	0,75	0,22	10	1,04	2,06	0,31
0,50	0,82	0,49	32	1,18	0,94	0,19	11	1,09	2,11	0,27
0,55	0,84	0,53	33	0,79	1,08	0,14	12	1,14	2,15	0,19
0,60	0,86	0,58	34	0,79	1,22	0,15	13	1,19	2,20	0,20
0,65	0,88	0,63	35	0,79	1,38	0,15	14	1,24	2,25	0,22
0,70	0,90	0,68	36	0,79	1,54	0,16	15	1,29	2,30	0,23
0,75	0,92	0,73	36	0,79	1,71	0,17	16	1,34	2,35	0,24
0,80	0,94	0,78	37	0,79	1,89	0,18	17	1,38	2,40	0,25
0,85	0,96	0,83	38	0,79	2,08	0,19	18	1,43	2,45	0,26
0,90	0,97	0,87	38	0,39	2,17	0,10	19	1,48	2,49	0,13
0,95	0,98	0,92	39	0,39	2,27	0,10	20	1,53	2,54	0,14
1,00	1,00	0,97	39	0,79	2,47	0,20	21	1,58	2,59	0,28

Fonte: QS Oitica.

O tempo de discretização TR' em horas, descrito pela coluna **T** da Tabela 05, representa o intervalo de tempo no qual um fenômeno ocorre em um sistema discreto, sendo um sistema discreto aquele que apresenta mudanças de estado em intervalos de tempos discretos. Sendo assim, quanto menor o tempo de discretização, mais próximo o modelo hidrológico estará de

se tornar um sistema contínuo. Para este estudo adotou-se um tempo de discretização $TR' = 0,08$ horas.

Os tempos de resposta TL , de pico TP e de base TB em horas foram obtidos através das equações (6), (7) e (8):

$$TL = 0,6 \times TC \quad \text{eq. (6)}$$

$$TP = 0,5 \times TR' + TL \quad \text{eq. (7)}$$

$$TB = 2,67 \times TP \quad \text{eq. (8)}$$

Em posse do parâmetro TP , foi possível calcular a vazão de pico Qup através da equação (9):

$$Qup = (2,08 \times A)/TP \quad \text{eq. (9)}$$

Onde:

Qup = Vazão de pico, em $m^3/s.cm$;

A = Área da Bacia, em km^2

TP = Tempo de pico, em horas.

A infiltração potencial máxima S , em mm, refere-se a capacidade máxima que uma faixa superficial de solo pode comportar. O parâmetro S foi obtido através da equação (10):

$$S = 25,4 \times [(1000/CN) - 10] \quad \text{eq. (10)}$$

Onde:

S = Infiltração potencial máxima, em mm;

CN = *Curve Number*, depende do solo e sua ocupação;

O parâmetro CN , denominado *Curve Number* ou número de escoamento da bacia hidrográfica refere-se a faixa superficial do solo e sua cobertura, que pode variar entre extremamente permeável e impermeável. É um parâmetro adimensional e o pode variar de 0 (capacidade de infiltração tendendo ao infinito) até 100 (impermeável). Para este estudo se utilizou $CN = 70$, com uso de solo considerado como Campos Permanentes com Superfície Densa e de Alta Transpiração (TUCCI, 1993). A tabela com os valores de CN para bacias rurais pode ser verificada em Anexo.

Com o valor de S foi possível calcular a infiltração inicial Ia , em mm, que será 20% da infiltração potencial máxima, através da equação (11):

$$Ia = 0,2 \times S \quad \text{eq. (11)}$$

Na sequência, com o valor de Ia foi possível obter a precipitação excedente Pe , em mm, por meio da equação (12):

$$Pe = (P - Ia)^2 / (P + 0,8 \times S) \quad \text{eq. (12)}$$

Onde:

Pe = Precipitação excedente, em mm;

P = Precipitação, em mm;

Ia = Infiltração inicial, em mm.

Os tempos de pico Tp' e de base Tb' dos hidrogramas para cada bloco de chuvas, em horas, foram obtidos através da soma dos tempos Tp e Tb com o valor adotado na coluna **T (h)** da Tabela 05, fazendo uso das equações (13) e (14):

$$Tp' = T + Tp \quad \text{eq. (13)}$$

$$Tb' = T + Tb \quad \text{eq. (14)}$$

A vazão máxima para cada bloco de chuvas Qup' foi obtida através da multiplicação da vazão de pico Qup pelos dados da coluna **Hietograma exc. (mm)** da Tabela 05, adotando o maior valor retornado pelas iterações:

$$Qup' = Qup \times \text{Hietograma exc.} \quad \text{eq. (15)}$$

Por fim, a vazão máxima de projeto $Qmax$, em m³/s, será o maior valor entre as iterações de soma das vazões apresentadas nos **21 blocos de chuva** do 1º quartil. O processo pode ser verificado através da Tabela 05.

$$Qmax = \text{Max } \sum Qp' \quad \text{eq. (16)}$$

Sendo:

Qp' = Os valores de vazão de chuva dos 21 blocos do 1º quartil, em m³/s.

2.9 Dimensionamento de Elementos Drenantes: Bueiros Tubulares, Celulares e Valetas de Proteção de Aterro (VPA)

Com os hidrogramas de projeto definidos, adotando o método adequado em função da área da bacia, obtendo a vazão de projeto, inicia-se então o dimensionamento dos elementos drenantes.

Segundo o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006), o regime de escoamento de bueiros pode ser dividido em 3 categorias, sendo elas:

- Crítico (ocorrendo o mínimo de energia);
- Supercrítico ou Rápido (possuindo declividade superior à do regime crítico);
- Subcrítico (possuindo uma declividade inferior à do regime crítico);

Para este trabalho, os bueiros foram dimensionados como canais sob regime crítico e em função da declividade, ou seja, sem a possibilidade de carga hidráulica a montante e com velocidade limitada à velocidade crítica.

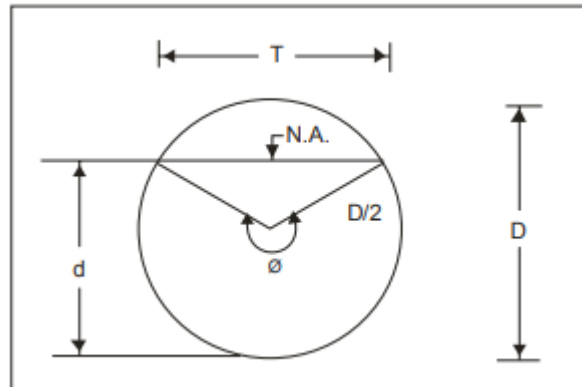
Existem dois processos para o dimensionamento de bueiros como canais em função da declividade: um para regime crítico e supercrítico, e outro para o regime subcrítico.

2.9.1 Bueiros tubulares

No processo de dimensionamento de bueiros tubulares sob regime crítico e supercrítico arbitra-se que a altura representativa da energia específica do fluxo crítico seja igual à altura dos bueiros, de modo a não permitir carga hidráulica a montante, não funcionando como orifício.

Para bueiros tubulares, considera-se uma seção transversal de geometria circular. As grandezas hidráulicas do bueiro tubular podem ser descritas através da Figura 11.

Figura 11: Grandezas hidráulicas de bueiros tubulares.



Fonte: DNIT (2006).

Onde T é a largura da superfície livre do fluxo, d a altura do fluxo, D o diâmetro do tubo e θ o ângulo formado entre o raio hidráulico $D/2$ com relação ao nível d'água N.A. em radianos.

Como dito anteriormente, o cálculo do bueiro operando como canal sob regime crítico, para este dimensionamento, foi executado em função da declividade do mesmo. Sendo os dados de entrada: o diâmetro do bueiro, em m; a declividade, em m/m; e a rugosidade do material (concreto), grandeza adimensional determinada pelo coeficiente de Manning.

Com os dados de entrada definidos, calcula-se a altura máxima da seção y_{max} em metros, representada por 75% do diâmetro do tubo, bem como o ângulo θ em radianos, grandezas hidráulicas que podem ser representadas através das equações (3.1) e (3.2) a seguir:

$$y_{max} = 0,75 \times D \quad \text{eq. (3.1)}$$

$$\theta = 2 \times \arccos\left(1 - 2 \times \frac{y_{max}}{D}\right) \quad \text{eq. (3.2)}$$

Em posse dos dados então torna-se possível calcular a vazão máxima da seção. Para isso, faz-se necessário primeiro calcular: a área hidráulica (em m^2), o perímetro hidráulico Ph (em m) e o raio hidráulico Rh (em m). As grandezas hidráulicas supracitadas podem ser calculadas através das equações (3.3), (3.4) e (3.5), descritas abaixo:

$$Ah = D^2 \times \frac{\theta - \sin\theta}{8} \quad \text{eq. (3.3)}$$

$$Ph = \frac{\theta \times D}{2} \quad \text{eq. (3.4)}$$

$$Rh = \frac{Ah}{Ph} \quad \text{eq. (3.5)}$$

Em posse dessas grandezas hidráulicas é possível então calcular a vazão máxima da seção Q (em m³/s) através da equação (17):

$$Q = \frac{Ah \times Rh^{2/3} \times \sqrt{i}}{n} \quad \text{eq. (17)}$$

onde:

Ah = área hidráulica, em m²;

Rh = raio hidráulico, em m;

i = declividade do bueiro, em m/m;

n = o coeficiente de rugosidade de Manning (0,015 para concreto);

Com a vazão máxima dos bueiros calculada, foram realizadas algumas verificações, tanto de projeto quanto de implantação, sendo elas: se a vazão de contribuição for maior que a vazão da seção, então ele irá criar uma lâmina d'água a montante e trabalhar afogado (funcionando como orifício). Caso isso ocorra, então convém aumentar o diâmetro do tubo e/ou adotar múltiplas linhas a fim de atender a vazão de projeto; se há a necessidade da esconsidade das alas do bueiro, a fim de evitar perturbações hidráulicas na boca de entrada e consequentemente sua erosão; considerar as dimensões do talvegue no momento da implantação do bueiro, a fim de perturbar o mínimo possível o fluxo natural do mesmo.

A preocupação com velocidades excessivas também foi levada em consideração. Pois velocidades acima de 4,5 m/s podem causar a erosão do concreto, sendo necessário então ajustar a declividade do bueiro a fim de reduzir a velocidade do fluxo.

A memória de cálculo dos bueiros tubulares foi construída por meio de planilhas eletrônicas.

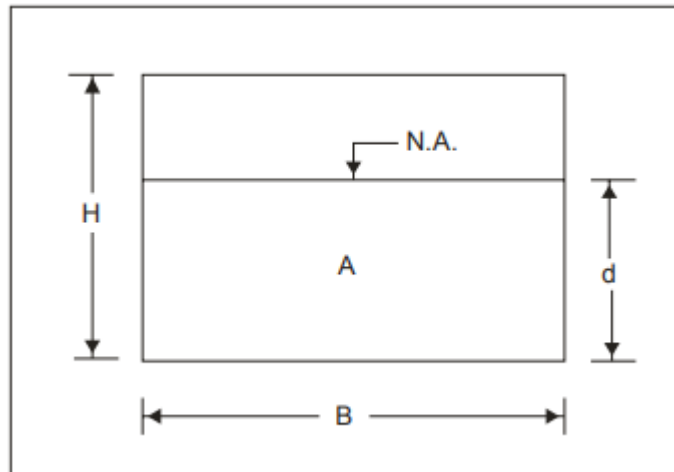
A tabela de vazão, velocidade e declividade crítica para bueiros tubulares de acordo com o DNIT (2006) consta em Anexo.

2.9.2 Bueiros Celulares

No processo de dimensionamento de bueiros celulares sob regime crítico e supercrítico também arbitra-se que a altura representativa da energia específica do fluxo crítico seja igual à altura dos bueiros.

Para bueiros celulares, considera-se uma seção transversal de geometria retangular ou quadrada. As grandezas hidráulicas do bueiro celular podem ser descritas através da Figura 12, abaixo:

Figura 12: Grandezas hidráulicas de bueiros celulares.



Fonte: DNIT (2006).

Onde H é a altura da seção do bueiro; B a base da seção; d o tirante; A a área molhada do fluxo e N.A. o nível d'água dentro do bueiro.

Sendo os dados de entrada para o dimensionamento: a base e altura do bueiro, em m; a declividade, em m/m; e a rugosidade do material (concreto), grandeza adimensional determinada pelo coeficiente de Manning, torna-se possível calcular as grandezas hidráulicas do bueiro.

As grandezas hidráulicas: área hidráulica Ah ; o perímetro hidráulico Ph ; o raio hidráulico Rh e a profundidade hidráulica d podem ser calculadas através das equações (18), (19), (20) e (21):

$$Ah = B \times d \quad \text{eq. (18)}$$

$$Ph = B + 2d \quad \text{eq. (19)}$$

$$Rh = \frac{Ah}{Ph} \quad \text{eq. (20)}$$

$$d = y_{max} \quad \text{eq. (21)}$$

Sendo y_{max} a altura máxima da seção, em metros, representada por 90% da altura do bueiro, através da equação (22) a seguir:

$$y_{max} = 0,90 \times H \quad \text{eq. (22)}$$

Em posse dessas grandezas hidráulicas é possível então calcular a vazão máxima da seção Q (em m³/s) através da equação (23), descrita a seguir:

$$Q = \frac{Ah \times Rh^{2/3} \times \sqrt{i}}{n} \quad \text{eq. (23)}$$

onde:

Ah = área hidráulica, em m²;

Rh = raio hidráulico, em m;

i = declividade do bueiro, em m/m;

n = o coeficiente de rugosidade de Manning (0,015 para concreto);

Com a vazão máxima dos bueiros calculada, foram realizadas algumas verificações, tanto de projeto quanto de implantação: Se a vazão de contribuição for maior que a vazão da seção, então ele irá criar uma lâmina d'água a montante e trabalhar afogado (funcionando como orifício). Caso isso ocorra, convém realizar a verificação do bueiro funcionando como seção plena. Caso a vazão ainda não seja atendida, então convém aumentar as dimensões do bueiro e/ou considerar múltiplas linhas de tubos a fim de atender a vazão de projeto; Se há a necessidade da esconsidade das alas do bueiro, a fim de evitar perturbações hidráulicas na boca de entrada e consequentemente a erosão; Considerar as dimensões do talvegue no momento da implantação do bueiro, a fim de perturbar o mínimo possível o fluxo da água.

A preocupação com velocidades excessivas também deve ser levada em consideração. Pois como supracitado, velocidades acima de 4,5 m/s podem causar também a erosão do corpo do bueiro, sendo necessário então ajustar a declividade do bueiro a fim de reduzir a velocidade do fluxo.

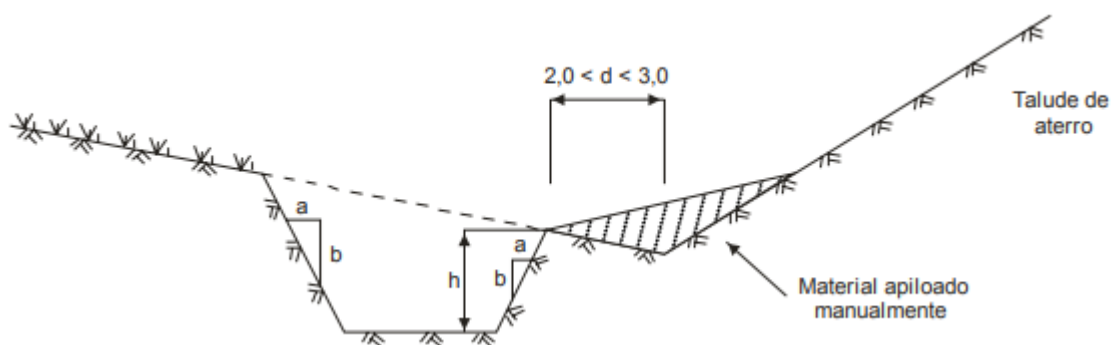
A memória de cálculo do dimensionamento dos bueiros celulares foi construída por meio de planilhas eletrônicas.

A tabela de vazão, velocidade e declividade crítica para bueiros celulares de acordo com o DNIT (2006) consta em Anexo.

2.9.3 Valetas de proteção de Aterro

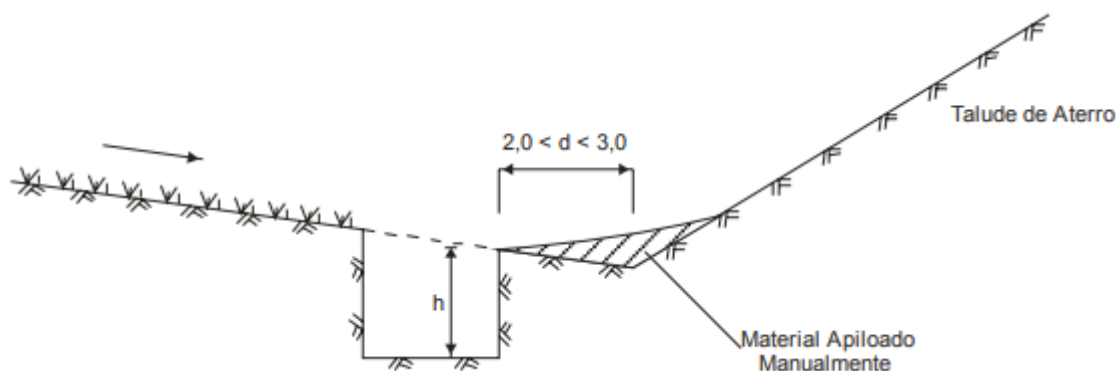
O dimensionamento das valetas de proteção de aterro varia de acordo com a geometria adotada, possuindo seção trapezoidal ou retangular conforme demonstrado nas Figuras 13 e 14:

Figura 13: VPA - seção trapezoidal.



Fonte: DNIT, 2006.

Figura 14: VPA - seção retangular.



Fonte: DNIT, 2006.

Sendo:

h = altura da valeta, em cm;

a e b = relação de inclinação da valeta;

d = distância entre a borda da valeta e o pé do aterro, em cm.

O dimensionamento hidráulico das VPAs foi realizado conforme orientado no Manual de Drenagem de Rodovias - DNIT (2006), utilizando a fórmula de Manning, equação da

continuidade para a vazão e método racional para a contribuição. Para este trabalho, considerou-se o coeficiente de rugosidade de Manning referente a canais de pequeno porte em montanhas com leito obstruído (0,030), caracterização que se aproxima a de um talvegue ou riacho.

Todavia, foi reforçado o cuidado com o dimensionamento e sugestão de implantação de VPAs em certos trechos, uma vez que elas irão direcionar o fluxo para bueiros existentes (quando possível), considerando que instalar um bueiro seria mais oneroso do que implantar uma VPA.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir da necessidade de reavaliar e atualizar o sistema de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica em Jucurutu - RN. Para isso, foi elaborado um roteiro de dimensionamento baseado no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006), no Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (2005) e em estudos desenvolvidos na área. Os parâmetros foram extraídos do projeto de drenagem através do Autocad Civil 3D e tratados através de planilhas eletrônicas.

3.1 Dados Planialtimétricos

A bacia hidráulica do Complexo Barragem de Oiticica engloba parte do território dos municípios de Jardim de Piranhas, São Fernando e Jucurutu. As estradas de contorno que circundam a bacia somam 180,00 km de extensão. A barragem de oiticica possui o nível máximo maximorum na cota 118,00 m, isso significa que a cota do eixo estradal precisa estar sempre acima deste nível. Dessa forma, quando a barragem atingir o nível máximo maximorum e verter, as estradas permanecerão em operação. A Figura 15 demonstra a planta de situação da estrada de contorno com relação a barragem de oiticica e o Município de Jucurutu - RN.

Figura 15: Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: planta de situação.

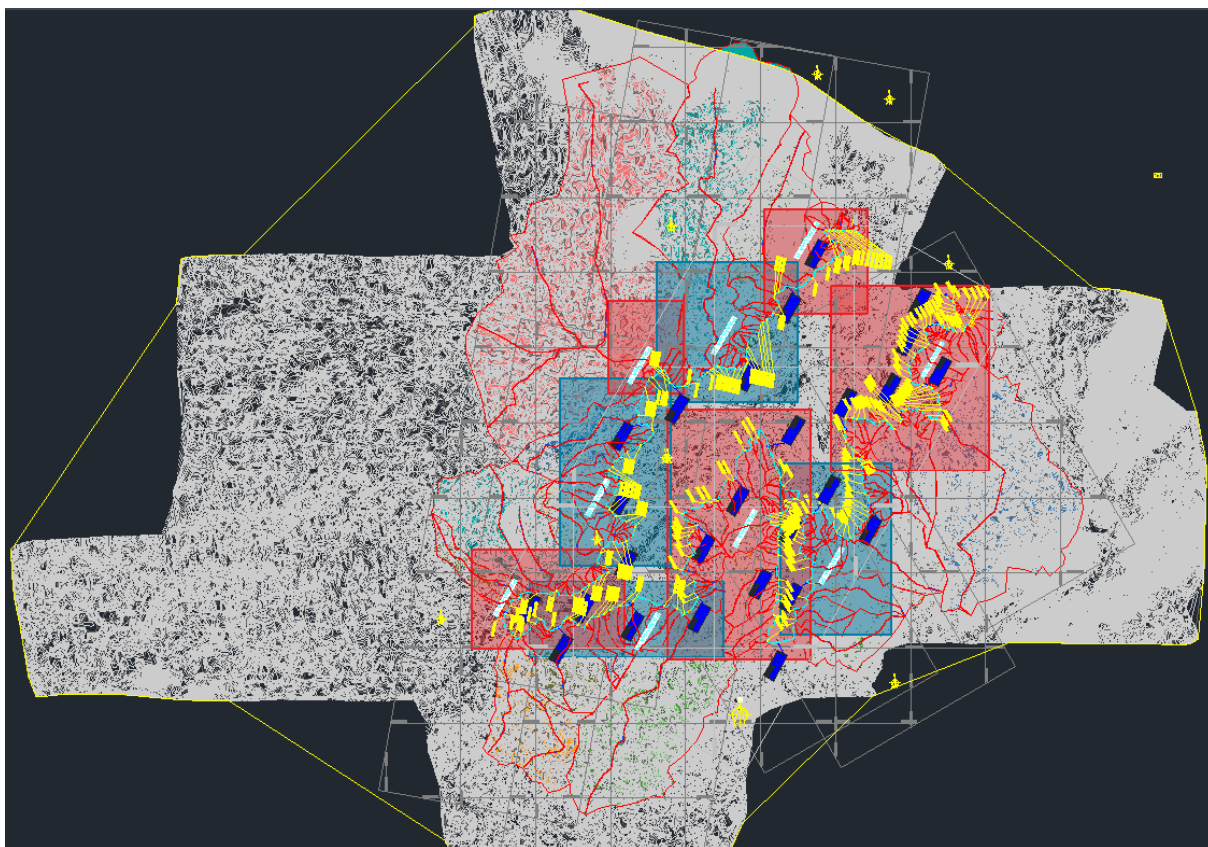


Fonte: Consórcio EIT – ENCALSO.

O estudo consistiu na reunião das informações planialtimétricas do local da obra por meio do projeto de drenagem existente das estradas de contorno. Através dele foi possível extrair a área de drenagem das bacias de contribuição, o comprimento e cotas superiores e inferiores dos talvegues e suas declividades médias. Estes dados depois de extraídos e processados se tornam parâmetros no estudo hidrológico e conseqüentemente do comportamento hidráulico das bacias de contribuição.

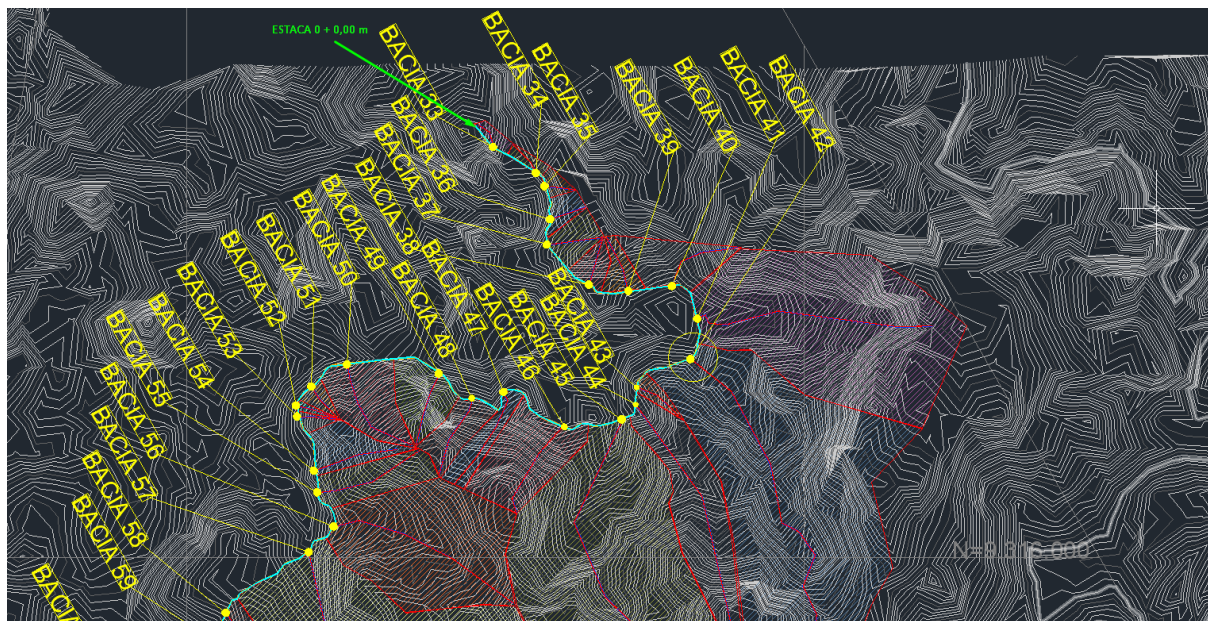
O projeto de drenagem em visão geral e detalhada utilizando o Autocad Civil 3D pode ser visto através das Figuras 16 e 17.

Figura 16: Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: visão geral.



Fonte: Adaptado do Autocad Civil 3D, Consórcio EIT - ENCALSO.

Figura 17: Projeto de drenagem de bacias hidrográficas das estradas de contorno: visão detalhada.



Fonte: Adaptado do Autocad Civil 3D, Consórcio EIT - ENCALSO.

Como pode ser visto através da Figura 17, o projeto de drenagem apresenta o eixo estradal (traçado ciano), a identificação das bacias e pontos de descarga (em amarelo), curvas de nível (traços em cinza), as bacias hidrográficas delimitadas (polígonos vermelhos) e os talwegues (traçado magenta).

3.2 Parâmetros Hidrológicos

O estudo hidrológico consistiu na extração dos parâmetros pluviométricos a fim de, junto aos dados planialtimétricos, gerar informações de vazão de descarga de projeto.

3.2.1 Tempo de recorrência

Para bueiros, o tempo de recorrência geralmente é de 10 a 20 anos. Entretanto, para estradas pouco movimentadas, como é o caso em questão, é costumeiro utilizar de 5 a 10 anos. Visto que em caso de subdimensionamento destes, as consequências seriam de erosão seguida de rompimento de taludes que poderiam vir a causar o isolamento de comunidades remotas. Dito isso, utilizou-se para o dimensionamento um tempo de recorrência de **10 anos**. Vale salientar que o projeto executivo de drenagem considerou um tempo de recorrência de 25 anos.

3.2.2 Tempo de concentração

O tempo de concentração sendo um parâmetro que depende do comprimento e da diferença de cota do talvegue torna-se característico de cada bacia de contribuição, calculado através da equação (2).

3.2.3 Intensidade de chuva

Como dito anteriormente, o parâmetro intensidade, duração e frequência - IDF foi calculado através da equação (3). Por se tratar de um parâmetro que depende diretamente do tempo de concentração da bacia, torna-se também um parâmetro característico da mesma. Os parâmetros da equação também podem ser visualizados através da Tabela 03 no Capítulo 2 deste trabalho.

3.3 Aplicação dos Modelos de Hidrogramas de Projeto

A vazão de projeto foi calculada pelo método racional em bacias com até 2,00 km² de área de contribuição. Para bacias maiores que 2,00 km², utilizou-se o método *Soil Conservation Service (SCS)*.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho respaldam as soluções de drenagem de forma técnica através do apanhado dos dados e parâmetros e da utilização dos métodos adequados de análise do dimensionamento hidráulico através de planilhas eletrônicas.

4.1 Dimensionamento Sob o Método Racional

Os dados e parâmetros obtidos através dos estudos planialtimétricos e hidrológicos possibilitaram, bem como a montagem do roteiro de dimensionamento dos elementos de drenagem, uma análise global da obra em qualquer trecho de interesse.

A priori, a realização da análise de trechos sob demanda foi executada extraindo os seguintes dados de entrada e parâmetros de dimensionamento do projeto executivo de drenagem:

- Localização, em forma de estaca de projeto;
- Comprimento do talvegue **L**, em km;
- Desnível do Talvegue **Δh** , em m;
- Área de contribuição da bacia **A**, em km²;
- Tempo de concentração **TC**, em min;
- Intensidade, duração e frequência **IDF**, em mm/H;
- Vazão de Projeto **Q**, em m³/s.

O apanhado dos dados e parâmetros obtidos pelo método racional pode ser visualizado através da Tabela 06.

Tabela 06: Dados e parâmetros - Método Racional.

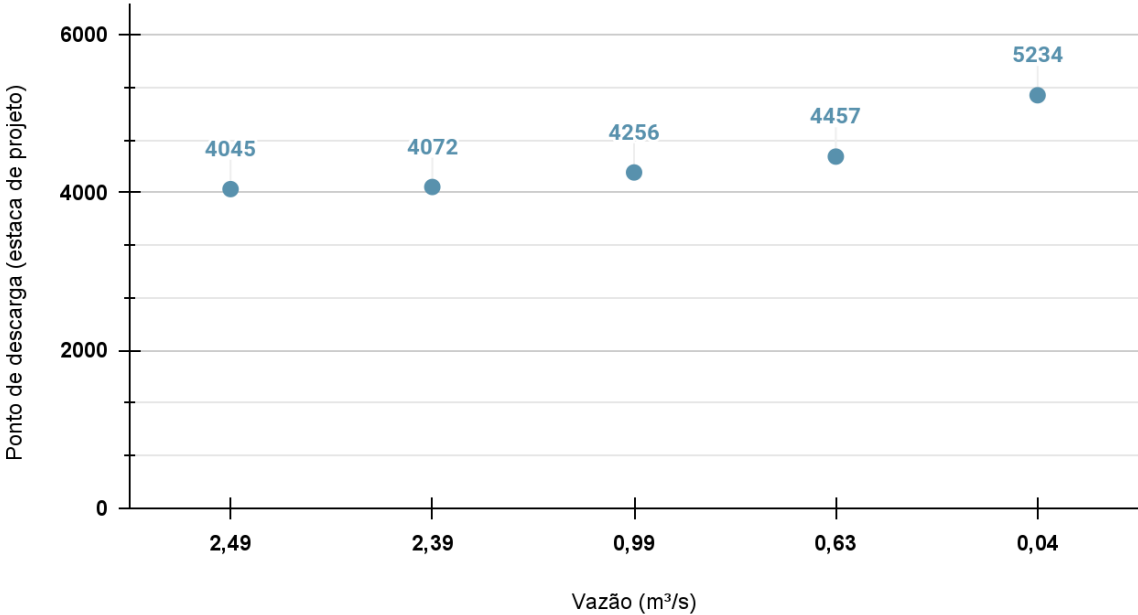
Dados e Parâmetros - Método Racional								
Localização (estaca)	L (km)	Δh (m)	A (km²)	TR (anos)	TC (min)	IDF (mm/H)	C	Q (m³/s)
4045	0,22	5,94	0,38	10	5	118	0,20	2,49
4072	1,10	9,11	0,68	10	27	64	0,20	2,39
4256	0,06	1,00	0,13	10	2	135	0,20	0,99
4457	0,33	11,00	0,10	10	6	112	0,20	0,63
5234	0,06	2,19	0,01	10	2	139	0,20	0,04

Fonte: Adaptado de QS Oitica.

De maneira analítica, a vazão em função da contribuição das bacias em cada ponto de descarga pode ser visualizada através do Gráfico 01:

Gráfico 01: Vazão nos pontos de descarga - Método Racional.

Gráfico 01: Vazão nos pontos de descarga - Método Racional.



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 01 demonstra a localização, em forma de estaca de projeto, dos pontos de descarga das bacias analisadas pelo método racional e suas respectivas vazões de projeto. É importante ressaltar que a estaca final de projeto é a 6404, junto à ombreira direita da barragem principal.

Por meio da consolidação e validação dos dados e parâmetros supracitados foi possível realizar a análise do dimensionamento hidráulico dos bueiros conforme demonstrado no item 2.9 deste trabalho, obtendo os resultados descritos na Tabela 07:

Tabela 07: Soluções em drenagem adotadas - Método Racional.

Localização (estaca)	Elemento Drenante	Diâmetro (m)	Solução Executiva
4045	BSTC	Ø 1,50	Escavação, instalação, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).
4072	BSTC	Ø 1,50	Escavação, instalação, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).
4256	BSTC	Ø 1,00	Escavação, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).
4457	BSTC	Ø 1,00	Escavação, instalação, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).
5234	BSTC	Ø 0,60	Escavação, instalação, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).

Fonte: Adaptado de QS Oitica.

4.2 Dimensionamento Sob o Método SCS

O método de dimensionamento SCS é a princípio análogo ao método racional. Entretanto há algumas particularidades, como a utilização do parâmetro *Curve Number (CN)*, em Anexo, ao invés do coeficiente de escoamento C. Além disso, a vazão de projeto é calculada de maneira iterativa, adotando o maior valor entre as iterações de soma das vazões apresentadas nos 21 blocos de chuva (ver Tabela 05). Para o trecho analisado, adotou-se uma vazão de projeto de 2,67 m³/s.

Sob o método SCS foi analisado o seguinte ponto de descarga que apresentou os dados e parâmetros descritos na Tabela 08.

Tabela 08: Dados e Parâmetros - Método SCS.

Dados e Parâmetros - Método SCS								
Localização (estaca)	L (km)	Δh (m)	A (km²)	TR (anos)	TC (min)	IDF (mm/H)	CN	Q (m³/s)
4359	3,08	27,56	4,07	10	58	41	70	2,67

Fonte: Adaptado de QS Oiticica.

Realizando a análise do dimensionamento hidráulico do bueiro conforme descrito no item 2.9 deste trabalho, obteve-se o resultado descrito na Tabela 09:

Tabela 09: Soluções em drenagem adotadas - Método SCS.

Localização (estaca)	Elemento Drenante	Dimensão L X A (m)	Solução Executiva
4359	BSCC	2,00 x 2,00	Escavação, construção em loco, reaterro e recomposição do revestimento primário (se já executado).

Fonte: Adaptado de QS Oiticica.

Verificou-se que a determinação da vazão de projeto pelo método SCS não depende somente da análise espacial da bacia, mas também da geometria do talvegue; comprimento e declividade, parâmetros que implicam diretamente no tempo de concentração da bacia.

Pôde-se observar que as bacias analisadas sob o método racional resultaram em adoção de drenagem por bueiros de geometria circular (bueiros tubulares de concreto), enquanto a bacia analisada sob o método SCS resultou em opção por um bueiro de geometria quadrada (bueiro celular de concreto) em seu ponto de descarga. No entanto, mesmo os BSTC Ø 1,50 localizados nas estacas 4045 e 4072 possuindo vazões de projeto semelhantes a do BSCC 2,00 x 2,00 m localizado na estaca 4359, a opção por um bueiro celular como solução de drenagem levou em consideração fatores como a geometria do talvegue (comprimento e declividade) e sua morfologia (emboque e desemboque), visando evitar perturbações hidráulicas que poderiam vir a causar erosões.

4.3 Dimensionamento e adoção de Valetas de Proteção de Aterro

O dimensionamento de VPAs foi executado conforme os dispostos no Manual de Drenagem de Rodovias - DNIT (2006), através da fórmula de Manning, equação da continuidade para a vazão e método racional para a contribuição. Entretanto, foi utilizado como referências de projeto os dispostos VPA01 e VPA02 do Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem - DNIT (2010) para fins executivos, (ver Figura 05).

A adoção de valetas de proteção de aterro como elemento drenante se deu a partir das seguintes considerações, obtidas através de visitas a campo:

- Se havia um bueiro projetado ou já instalado próximo ao ponto de descarga;
- Se havia declividade favorável ao encaminhamento do fluxo sem a necessidade de cortes ou desmonte de rochas;
- Se o bueiro projetado ou já instalado escoaria com segurança o acréscimo de contribuição.

Os pontos de descarga analisados nas estacas de projeto 5291 e 5294 não listados no projeto executivo de drenagem foram abordados sob a possibilidade de encaminhamento por VPAs até o bueiro instalado mais próximo.

Dessa forma, reavaliando o bueiro projetado e já instalado considerando o acréscimo de contribuição devido a adoção do encaminhamento do fluxo por VPA, realizando então o dimensionamento do elemento drenante, obteve-se os seguintes resultados descritos na Tabela 09.

Tabela 10: Soluções em drenagem adotadas - VPAs.

Localização (estaca)	Elemento Drenante	Dimensão L X A (m)	Solução Executiva
5291	VPA01	1,00 x 0,30	Encaminhamento de contribuição para o bueiro já instalado na estaca E 5279.
5294	VPA01	1,00 x 0,30	Encaminhamento de contribuição para o bueiro já instalado na estaca E 5279.

Fonte: Adaptado de QS Oitica.

Vale salientar que, de acordo com o projeto executivo de drenagem, o bueiro localizado na estaca de projeto 5279 é um Bueiro Duplo Celular de Concreto de seção quadrada medindo 2,50 metros de largura por 2,50 metros de altura (BDCC 2,50 x 2,50 m) e drena uma bacia de 12,06 km² de área de contribuição. Dito isso, verificou-se que o BDCC escoaria com segurança mesmo com o fluxo adicional proveniente dos pontos de descarga. Entretanto, no caso de encaminhamentos de fluxo via VPA para bueiros circulares existentes, se fez necessário a verificação hidráulica do bueiro considerando a seção plena a fim de verificar se o mesmo irá trabalhar afogado, caso sim, o mesmo pode se tornar exceção ao critério de projeto para fins executivos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do estudo planialtimétrico possibilitou a extração dos dados de entrada para o cálculo das contribuições das bacias analisadas por meio do projeto executivo de drenagem.

Com as bacias caracterizadas quanto a sua área de contribuição e geometria do talvegue, através do estudo hidrológico foi possível montar os hidrogramas de projeto pelos métodos racional e SCS, obtendo as vazões de projeto.

A consolidação dos dados e parâmetros necessários ao dimensionamento dos elementos drenantes possibilitou uma análise crítica das informações obtidas com base no projeto executivo de drenagem e de visitas a campo.

O roteiro de dimensionamento das soluções em drenagem com respaldo nos estudos supracitados possibilitou a elaboração de um roteiro executivo contendo a localização em forma de estaca de projeto, o elemento de drenagem adotado, suas dimensões e a solução executiva.

Os modelos de hidrogramas de projetos desenvolvidos, bem como os roteiros de dimensionamento dos elementos drenantes contribuíram de maneira a possibilitar a análise e revisão do projeto executivo de drenagem das estradas de contorno do Complexo Barragem de Oiticica, dando respaldo a estudos de viabilidade tanto de implantação quanto de direcionamento de fluxo.

REFERÊNCIAS

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis, DER, 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **PROPOSTA DE INSTITUIÇÃO DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS-AÇU, CONFORME RESOLUÇÃO Nº 05, DE 10 DE ABRIL DE 2000, DO CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS**. 2005.

BRASI. Confederação Nacional do Transporte – CNT. **ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE**. 2021. s.l. 2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/File/PrincipaisDados.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

BRASIL. Decreto nº 30.401, de 09 de março de 2021. **Dispõe sobre as ações administrativas a serem implementadas por Órgãos e Entidades da Administração Pública Direta e Indireta do Estado do Rio Grande do Norte para se conceber o núcleo urbano intitulado “Nova Barra de Santana”, a partir da construção da obra pública “Barragem Oiticica”, e dá outras providências**. Natal. 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURAS DE DRENAGEM**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133p. 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 564p. 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006; 333p. 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **ÁLBUM DE PROJETOS - TIPO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010, n.p. 2010.

DA SILVA, D. P. **Modelo para o dimensionamento de sistemas de drenagem de superfície em estradas não pavimentadas**. Viçosa, MG: UFV, 2011. Tese (Pós-Graduação em Engenharia). Universidade Federal de Viçosa, 2011. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/708/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

FESTI, Aparecido Vanderlei. **COLETÂNEA DAS EQUAÇÕES DE CHUVA DO BRASIL**. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. São Paulo, 2007. p10. 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/13d9cc04b7caac079904ef66fcb35ee3_b43668dc3c5475341b32596fab9ac0b8.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

GONÇALVES, M.; POLIDORO, M.; SILVA, D. F. da. **Análise dos índices de impermeabilização do solo utilizando geoprocessamento: proposta de atualização do decreto nº. 402/1980 para projetos de drenagem no município de Londrina-PR**. Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, 2009, IPABHi, p. 569-576.

GRIEBELER, N. P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2002. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9436/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. **Modelo para a determinação do espaço entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.29, n.3, p397-405, 2005a.

OLIVEIRA, M. J. G. **Hierarquização para orientar a manutenção de rodovias não pavimentadas**. São Carlos, SP: USP, 2005. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em:

<http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/7499/Projeto%20geom%C3%A9trico%20e%20de%20terraplenagem%20de%20rodovias.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 out. 2022.

OLIVEIRA, V. P. S. ; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. **Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 13, p. 955-960, 2009.

PIMENTA, C. R. T.. OLIVEIRA, M. P. de. **PROJETO GEOMÉTRICO E DE TERRAPLENAGEM DE RODOVIAS STT 402**. São Carlos, SP: USP, 1999. Disponível em:

<http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/7499/Projeto%20geom%C3%A9trico%20e%20de%20terraplenagem%20de%20rodovias.pdf?sequence=1>

PRIESTLEY, Stephen. **A CONCEPTUAL MODEL OF THE SCS RUNOFF METHOD**. Asia Pacific Stormwater Conference. New Zealand, 2015. Disponível em: https://www.waternz.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=669#:~:text=The%20SCS%20method%20typically%20yields,to%20produce%20a%20runoff%20hydrograph. Acesso em: 09 out. 2022.

SANTOS, A. R. dos.. PASTORE, E. L. JUNIOR. F. A. CUNHA, M. A.. **Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação**. 3. ed. rev. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - ABGE: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - ITP. 2019. Disponível em: http://www.arsgeologia.com.br/Manual%20Estradas%20Vicinais_PDF.pdf. Acesso em: 09 out. 2022.

SCHUSTER, Raíza Cristóvão. **DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO HIDROLÓGICO DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO E PROPAGAÇÃO DE VAZÃO EM RESERVATÓRIOS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149583/001002805.pdf?sequence=1#:~:text=No%20m%C3%B3dulo%20chuva%20vaz%C3%A3o%20a,em%20intervalos%20de%205%20segundos>. Acesso em: 16 out. 2022.

SILVA, J. B. L. CÂNDIDO, F. A. PIRES, L. C. FRANÇA, L. C. J.. Revista Engenharia na Agricultura. **EQUAÇÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.** Viçosa, v.26, n.2, p160-170. 2018.

SKORSETH, K. SELIM, A. A. **Gravel roads: Maintenance and Design Manual.** U. S. Departament of Transportation, 2000. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=F45p6KlQ1_4C&oi=fnd&pg=PR11&dq=SKORSETH,+K.%3B+SELIM,+A.+A.+Gravel+roads:+maintenance+and+design+manual.+U.+S&ots=jsTsRihZ69&sig=rtZqQY47TwQPnS0zPGWdNqp59Do#v=snippet&q=important%20drainage&f=false. Acesso em: 25 set. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. 2001.

USA. MAINE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION - MDEP. **Gravel road maintenance manual: A guide for landowners on camp and other gravel roads.** 2016. Disponível em: https://www.maine.gov/dep/land/watershed/camp/road/gravel_road_manual.pdf. Acesso em: 19 set. 2022.

USA. MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION - MDP. **Unpaved Roads BMP Manual: A Guidebook on How to Improve Water Quality While Addressing Common Problems.** 2001. Disponível em: <https://www.mass.gov/doc/unpaved-roads-bmp-manual/download>. Acesso em: 04 out. 2022.

ANEXO A - VALORES DO PARÂMETRO CN PARA BACIAS RURAIS

Tabela 11.2. Valores do parâmetro CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	em curvas de nível	67	77	83	87
	terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Florestas	muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

Fonte: TUCCI, 1993.

ANEXO B - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto trabalhando como canal.

TIPO	DIÂMETRO (m)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSTC	0,60	0,22	0,43	1,98	0,88
BSTC	0,80	0,39	0,88	2,29	0,80
BSTC	1,00	0,60	1,53	2,56	0,74
BSTC	1,20	0,87	2,42	2,80	0,70
BSTC	1,50	1,35	4,22	3,14	0,65
BDTC	1,00	1,20	3,07	2,56	0,74
BDTC	1,20	1,73	4,84	2,80	0,70
BDTC	1,50	2,71	8,45	3,14	0,65
BTTC	1,00	1,81	4,60	2,56	0,74
BTTC	1,20	2,60	7,26	2,80	0,70
BTTC	1,50	4,06	12,67	3,14	0,65

Fonte: DNIT, 2006.

ANEXO C - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros celulares de concreto trabalhando como canal.

TIPO	BASE X ALTURA (mxm)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSCC	1,0 x 1,0	0,67	1,71	2,56	0,78
BSCC	1,5 x 1,5	1,50	4,70	3,14	0,68
BSCC	2,0 x 1,5	2,00	6,26	3,14	0,56
BSCC	2,0 x 2,0	2,67	9,64	3,62	0,62
BSCC	2,0 x 2,5	3,33	13,48	4,05	0,69
BSCC	2,0 x 3,0	4,00	17,72	4,43	0,76
BSCC	2,5 x 2,5	4,17	16,85	4,05	0,58
BSCC	3,0 x 1,5	3,00	9,40	3,14	0,44
BSCC	3,0 x 2,0	4,00	14,47	3,62	0,47
BSCC	3,0 x 2,5	5,00	20,22	4,05	0,51
BSCC	3,0 x 3,0	6,00	26,58	4,43	0,54
BDCC	2,0 x 1,5	4,00	12,53	3,14	0,56
BDCC	2,0 x 2,0	5,33	19,29	3,62	0,62
BDCC	2,0 x 2,5	6,67	26,96	4,05	0,69
BDCC	2,0 x 3,0	8,00	35,44	4,43	0,76
BDCC	2,5 x 2,5	8,33	33,70	4,05	0,58
BDCC	3,0 x 1,5	6,00	17,79	3,14	0,44
BDCC	3,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,47
BDCC	3,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,51
BDCC	3,0 x 3,0	12,00	53,16	4,43	0,54
BTCC	2,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,62
BTCC	2,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,69
BTCC	2,5 x 2,5	12,50	50,55	4,05	0,58
BTCC	3,0 x 2,0	12,00	43,40	3,63	0,47
BTCC	3,0 x 2,5	15,00	60,66	4,05	0,51
BTCC	3,0 x 3,0	18,00	79,73	4,43	0,54

Fonte: DNIT, 2006.