

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Conteudista:

Eider Gomes de Azevedo Rocha

Brasília, setembro de 2022.

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Módulo 4

Conceitos Básicos de Drenagem.

- Drenagem rodoviária;
- Origem das águas no pavimento e principais danos;
- Elementos constituintes e fases de interesse;
- Drenagem superficial.

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.008060/2022-01, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DRENAGEM DE RODOVIAS.....	2
2.1 ORIGEM DAS ÁGUAS NOS PAVIMENTOS	3
2.1.1 Principais fontes e mecanismos de danos	4
2.1.2 Infiltração através da superfície do pavimento.....	5
2.1.3 Infiltração através das bordas do pavimento ou dos acostamentos	8
2.1.4 Capilaridade	12
2.2 PRINCIPAIS DANOS CAUSADOS PELA AÇÃO DAS ÁGUAS	14
2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES E FASES DE INTERESSE	19
2.3.1 Drenagem superficial.....	23
2.3.2 Drenagem de transposição de talvegue.....	23
2.3.3 Drenagem do pavimento (subsuperficial).....	24
2.3.4 Drenagem subterrânea ou profunda	24
2.3.5 Drenagem de travessia urbana	24
3. DRENAGEM SUPERFICIAL	25
3.1 VALETAS	25
3.1.1 Valetas de proteção de corte	25
3.1.2 Valetas de proteção de aterro	29
3.2 SARJETAS	30
3.2.1 Sarjetas de proteção de corte	30
3.2.2 Sarjetas de proteção de aterro (meios-fios).....	33
3.2.3 Sarjetas de canteiro central.....	35
3.2.4 Transposição de segmentos de sarjeta	37
3.3 ENTRADA/SAÍDA D'ÁGUA	39
3.4 DESCIDAS D'ÁGUA	41
3.5 DISSIPADOR DE ENERGIA	44
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste módulo é apresentar os principais conceitos relacionados à drenagem de rodovias, bem como os elementos necessários à elaboração do projeto e as disciplinas correlatas e que interferem nas tomadas de decisão e escolha dos tipos de dispositivos.

Abordará também a ação das águas sobre os pavimentos, as interferências e problemas decorrentes de sua presença e permanência nas camadas que compõem a estrutura de uma rodovia, principalmente quando associada ao efeito do tráfego.

Serão apresentados os principais elementos necessários à elaboração de um projeto de drenagem, além dos dados que devem ser considerados como pré-requisitos, inclusive aqueles vinculados a outras disciplinas.

É de fundamental importância que se tenha uma noção clara de que, para o desenvolvimento de um projeto de drenagem, outras disciplinas como geometria e pavimentação estejam em fase de elaboração ou até concluídas, haja vista que o comportamento do traçado e do greide, as seções transversais de terraplenagem e/ou de pavimentação, o número de faixas e/ou de pistas, dentre outros, irão interferir na escolha das soluções.

Deve-se ter em mente que o projeto de drenagem deve ser concebido com a finalidade de captar e conduzir, para um local de deságue seguro, toda a água precipitada sobre a plataforma e áreas adjacentes, bem como das águas que se infiltram nas suas camadas, garantindo que o tráfego flua de forma adequada e segura mesmo sobre a incidência de chuvas.

Como fontes principais de consulta, além do conteúdo apresentado neste material, sugere-se que o aluno leia o Manual de Drenagem de Rodovias (BRASIL, 2006) e outros livros sobre o tema, com destaque para:

- Drenagem de Rodovias e Ferrovias (Antônio Lopes Pereira, 1959);

- Drenagem Superficial e Subterrânea de Estradas (Renato G. Michelin, 1973);
- Drenagem dos Pavimentos de Rodovias e Aeródromos (Harry R. Cedergren, 1980);
- Drenagem Subsuperficial de Pavimentos (Carlos Yukio Suzuki, 2013);
- Manual Prático de Drenagem (Paulo Roberto Dias Morales, 2003);
- Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário (ABTC, 2008);
- Tubos de Concreto (Pedro Jorge Chama Neto, 2004).

2. DRENAGEM DE RODOVIAS

Um projeto de drenagem é concebido com o objetivo de prover a rodovia de dispositivos capazes de captar e conduzir adequadamente as águas superficiais e profundas de modo a preservar a sua estrutura, bem como possibilitar o tráfego de forma segura durante a incidência das precipitações mais intensas.

Tal drenagem consistirá de um sistema formado por diferentes dispositivos cuja principal função será captar as águas precipitadas sobre a plataforma rodoviária e adjacências, conduzindo-as de forma adequada e garantido seu deságue em local seguro.

Segundo Morales (2003), a drenagem faz parte da infraestrutura de um projeto viário, seja urbano ou rural, e sua má concepção, projeto ou execução podem apresentar prejuízos incalculáveis para o país.

É bem possível que muitos dos que leem este manual já tenham ouvido a pergunta: “Qual o pior inimigo de uma estrada? ”. É igualmente provável que muitos tenham ouvido, como resposta, que é a água este pior inimigo.

É fato que em uma rodovia, o efeito do tráfego associado à presença da água, principalmente quando está no interior das camadas do pavimento e por longo período, produz danos significativos e minora seu tempo de vida útil. Também é

fato que o seu efeito será tanto menos danoso quanto menor for o período em que a água permanecer sobre ou no interior da plataforma, bem como quanto menor for a sua quantidade. (CEDERGREN, 1980).

Assim, de nada adianta a existência de um primoroso projeto geométrico, de terraplenagem e de pavimentação, se a componente drenagem não estiver muito bem equacionada.

De acordo com Suzuki *et. al.* (2013), um dos problemas relacionados ao desempenho físico dos pavimentos é a aplicação de cargas do tráfego quando os materiais constituintes da estrutura de uma estrada estão sob condição saturada.

Também é importante ter em mente que a escolha e o dimensionamento dos dispositivos de drenagem serão feitos com base nos resultados e dados obtidos dos estudos hidrológicos, sendo um, pré-requisito para o outro. Assim, o estudo hidrológico não só precisa estar pronto ou em fase de finalização, bem como que seus dados sejam o quanto mais precisos possível, para que se consiga elaborar um bom projeto de drenagem.

Antes de se partir para a elaboração do projeto e para o detalhamento dos elementos que poderão constituir-lo, torna-se importante entender a origem da água livre nos pavimentos e os problemas que ela provoca, o que será feito na sequência.

2.1 ORIGEM DAS ÁGUAS NOS PAVIMENTOS

A umidade excessiva nas camadas da estrutura em uma estrada pode ser proveniente de diversas fontes, sendo as mais comuns a infiltração, percolação por capilaridade e movimento em forma de vapor d'água.

A água pode surgir no interior do pavimento por ocasião de infiltrações superficiais devido às juntas, trincas, bordas e outros defeitos na superfície (principalmente no revestimento) que podem facilitar o ingresso d'água no interior da plataforma. Ela também pode subir por percolação do nível freático

elevado ou entrar lateralmente pelos bordos do pavimento e valetas dos acostamentos, como pode ser visualizado na figura 2.1 (Suzuki *et.al*, 2013).

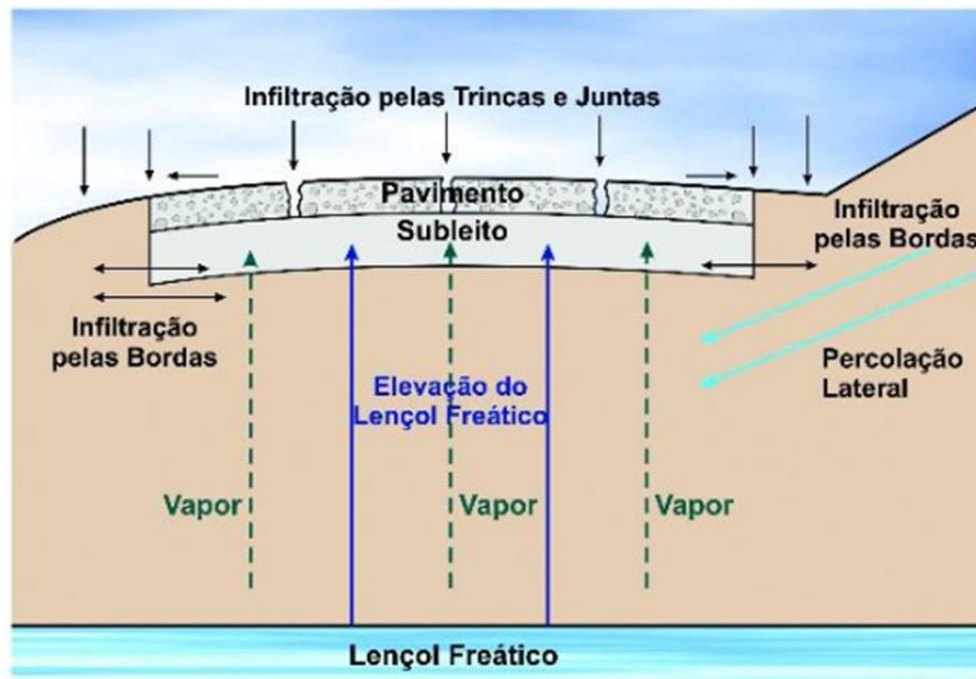


Figura 2.1 – Origens da água presente na estrutura de um pavimento rodoviário.

Para entender melhor essas fontes e origens, se tratará de cada uma isoladamente na sequência.

2.1.1 Principais fontes e mecanismos de danos

As precipitações pluviométricas são a maior fonte de água que penetra na estrutura dos pavimentos rodoviários, podendo ocasionar infiltrações, tanto pela superfície como pelas bordas da junção pista-acostamento.

A água presente no interior da estrutura de uma rodovia tem influência no comportamento e desempenho dos materiais de cada camada constituinte do pavimento. Com o passar do tempo, o excesso de água passa a influenciar negativamente sobre a serventia, embora os danos causados pela infiltração da água no pavimento não apareçam instantaneamente.

O processo de deterioração da estrutura e da redução da vida útil do pavimento é gradual e pode passar despercebido, principalmente quando as patologias não surgem de forma imediata e não possibilitam a sua identificação visual.

Deste modo, o engenheiro projetista deve estar atento a alguns sinais ou evidências que podem revelar a causa principal das patologias, com destaque para: resíduos secos apresentando-se como manchas nas imediações de trincas, juntas de construção e nos bordos da pista, além do desnivelamento entre placas, no caso de pavimentos rígidos, ou ainda devido a presença de vegetação ou surgência de água nesses locais, conforme se exemplifica por meio de um caso identificado no trecho da BR-304/RN, entre as cidades de Assu e Lajes, evidenciado na figura 2.2.



Figura 2.2 – Trecho da BR-304/RN onde pode ser notada a presença de manchas causadas pela lixiviação de partículas sólidas do interior do pavimento. (Fonte: próprio autor).

A prevenção da infiltração é um aspecto muito relevante em regiões de clima temperado, onde pode haver o congelamento das águas livres no interior do pavimento em função da exposição a baixas temperaturas.

2.1.2 Infiltração através da superfície do pavimento

Em pavimentos rígidos, a maior parcela da infiltração ocorre através das juntas longitudinais e transversais, além das trincas presentes nas placas de concreto de cimento Portland.

Quando o acostamento dos pavimentos é composto por concreto asfáltico (CA) e as faixas de rolamento são executadas em placas de concreto de cimento Portland (CCP), a exemplo do que ocorre em vários trechos da BR-101 e da BR-232, a junção pista-acostamento é outro ponto significativo de infiltração,

principalmente quando não é devidamente tratado ou mantido, conforme pode ser visualizado nas figuras 2.3 e 2.4.



Figura 2.3 – Trecho da BR-101/RN onde o acostamento foi executado com CA e as faixas de rolamento em CCP. (Fonte: próprio autor).



Figura 2.4 – Trecho da BR-232/PE onde o acostamento foi executado com CA e as faixas de rolamento em CCP. (Fonte: próprio autor).

Já nos pavimentos asfálticos, as juntas de construção e as trincas que surgem ao longo do tempo na camada de revestimento são os pontos críticos de infiltração.

O surgimento de trincas na superfície, tanto de pavimentos de concreto como de asfaltos, acaba sendo um processo contínuo, que depende das características dos materiais empregados na construção e da intensidade do tráfego que solicita o pavimento. Esse fenômeno será intensificado e potencializado quando a água estiver presente, tornando difícil a previsão e estimativa do volume de água que se infiltra pela abertura das trincas.

A quantidade de juntas ou trincas, bem como a capacidade de vazão destas, são as principais responsáveis pelo volume de água que se infiltra através da superfície do pavimento, relacionando-o também com a intensidade e duração das precipitações.

Com relação a estas, pode-se destacar que as precipitações de grande intensidade apresentam, de modo geral, curta duração e grande parte de suas águas escoam pela superfície do pavimento (ao invés de penetrar) por ocasião de sua baixa permeabilidade. Já as precipitações de baixa intensidade costumam ocorrer por períodos mais longos, fornecendo suprimento de água constante por longos períodos, favorecendo a infiltração mesmo que a estrutura do pavimento apresente reduzida permeabilidade.

Dessa forma, para determinação da infiltração pela superfície do pavimento, são consideradas mais críticas as precipitações com curto período de retorno e longa duração, com intensidade variando de baixa a moderada.

A quantidade de água que se infiltra no pavimento depende também das características geométricas da pista, como a declividade longitudinal e transversal, e da permeabilidade dos materiais constituintes.

A declividade longitudinal tem influência na infiltração da água pela superfície, uma vez que impõe escoamento em direção oblíqua à borda do pavimento, expondo o fluxo a uma distância maior e, possivelmente, a uma quantidade maior

de trincas, ocasionando maior índice de infiltração. Já a declividade transversal tem influência no volume de infiltração em função da velocidade que a água pode desenvolver na superfície e atingir as cotas mais baixas dos acostamentos.

Outro parâmetro diretamente relacionado à infiltração é a permeabilidade dos materiais integrantes da estrutura do pavimento, dado que, caso o sistema não seja capaz de remover toda a água que se infiltra pela superfície, a estrutura atinge grau de saturação elevado.

2.1.3 Infiltração através das bordas do pavimento ou dos acostamentos

A infiltração de água pela borda do pavimento ocorre, principalmente, por conta dos seguintes mecanismos: variação da carga hidráulica, que provoca o deslocamento da água; e a capilaridade.

As rodovias mais sujeitas à infiltração por meio das bordas são aquelas que apresentam baixa declividade longitudinal (com destaque para os greides planos e os pontos baixos de greides ondulados), em razão da maior dificuldade que a água encontra para escoar superficialmente.

Tanto nos pavimentos asfálticos como nos de concreto, as juntas entre as faixas de rolamento e o acostamento são o principal local de infiltração das águas e quando os materiais constituintes destes são distintos, a água livre na estrutura pode desencadear processos de deterioração acelerados pela diferença de trabalhabilidade dos materiais envolvidos.

TOME NOTA

VÍDEO MOSTRANDO SAÍDA DE ÁGUA DO INTERIOR DO PAVIMENTO ATRAVÉS DA JUNTA PISTA-ACOSTAMENTO, QUANDO DA PASSAGEM DO TRÁFEGO (LINK).

A falta de revestimento nos acostamentos (ou ainda a sua existência, mas em condições muito precárias) permite que uma parcela significativa da água se

infiltra na estrutura do pavimento, reduzindo sua capacidade estrutural. Além disso, a presença de vegetação na região contígua ao pavimento sem acostamento revestido pode formar uma barreira ao escoamento superficial, restringindo seu fluxo no interior da rodovia, facilitando a infiltração e promovendo a saturação do solo contíguo ao pavimento. Para ilustrar tal situação são apresentadas as figuras 2.5 e 2.6, que mostram segmentos rodoviários onde o acostamento já não apresenta camada de revestimento asfáltico e onde a vegetação promove barreiramento e mantém a água “presa” no interior da rodovia.



Figura 2.5 – Trecho da BR-354/MG próximo à cidade de Formiga/MG. (Fonte: próprio autor).



Figura 2.6 – Trecho da BR-104/PE próximo à cidade de Caruaru. (Fonte: próprio autor).

Os acostamentos revestidos também podem proporcionar infiltração pelas bordas do pavimento, porém, com menor intensidade se comparado ao caso dos acostamentos não revestidos.

A água também pode se infiltrar lateralmente por meio de dispositivos de drenagem superficial, como sarjetas e valetas sem revestimento impermeável, ou mesmo quando estes são executados em concreto, mas encontram-se danificados e a situação será potencializada quando tais dispositivos estiverem localizados em trechos de corte. As juntas entre acostamento e alguns destes dispositivos também constituem pontos propícios para a infiltração lateral.

Alguns destes casos podem ser visualizados nas figuras 2.7 e 2.8.



Figura 2.7 – Sarjeta danificada em trecho da BR-354/MG próximo à cidade de Bambuí/MG.
(Fonte: próprio autor).



Figura 2.8 – Sarjeta danificada em trecho da BR-354/MG próximo à cidade de Bambuí/MG.
(Fonte: próprio autor).

Outro caso a ser considerado é a interferência de restauração sobre as estruturas de pavimento existentes, ou mesmo a exposição de camadas de pavimentos em construção. Mesmo que por intervalos curtos, tais intervenções podem provocar o acúmulo de água na plataforma ou em regiões contíguas, favorecendo o aumento do teor de umidade das camadas inferiores da rodovia.

Devido à gravidade da situação, a sinergia entre as solicitações de tráfego, as características dos materiais e o aumento da umidade podem acelerar o processo de deterioração do pavimento, reduzindo sua vida útil.

2.1.4 Capilaridade

A ação da capilaridade é decorrente de uma tensão de sucção que promove a migração da água entre locais com teores de umidade distintos, de um meio com teor de umidade mais elevado para outro com teor de umidade menor.

Ela ocorre devido à ação da tensão superficial nos vazios do solo acima da linha de saturação. A distribuição granulométrica e a densidade do solo determinam a região de alcance da ascensão capilar. O movimento da água livre pela capilaridade ocorre nos vazios dos solos, que podem ser associados a tubos capilares por estarem interconectados, ainda que de forma irregular.

Quando o solo seco é posto em contato com a água, esta é sugada para o interior do solo. A altura que a água atingirá no seu interior depende do diâmetro dos vazios, sendo a ascensão capilar função do volume de vazios e da granulometria do material. Existe uma altura em que o grau de saturação será constante, embora não seja atingida a saturação total.

O movimento da água no interior do solo também pode ser descrito pelo esquema apresentado na figura 2.9. Se os tubos capilares fossem de diâmetro constante, o nível da água subiria a uma mesma altura em todos os pontos da massa de solo exposta à água. O solo estaria saturado abaixo do nível d'água e acima desta até uma distância " h_c ", determinada em função do diâmetro dos tubos capilares. Além desta distância, o solo se encontraria seco.

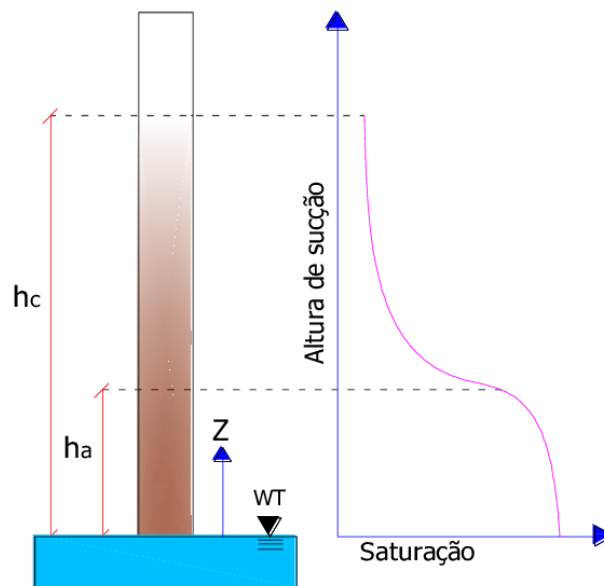


Figura 2.9 – Modelo conceitual de ascensão capilar em solos.

No entanto, conforme dito, os vazios irregulares e a altura da ascensão capilar não são constantes. Dessa forma, apenas uma pequena altura acima do nível d'água fica saturada pela capilaridade (h_c). Acima dessa altura, os vazios são parcialmente preenchidos pela água, razão pela qual o solo fica apenas parcialmente saturado (úmido).

De acordo com a figura anterior, os solos nunca são encontrados totalmente secos em estado natural e sempre apresentam uma quantidade de água retida nos vazios, correspondente à umidade de equilíbrio (Medina e Motta, *apud* Suzuki, 2013). Isso ocorre por que a parcela da água precipitada que se infiltra na estrutura de um pavimento fica retida como parte do material. Dessa forma, solos como areias finas e siltes podem apresentar elevado grau de saturação, mesmo distante do nível d'água. Também quando ocorre o rebaixamento do lençol freático em uma massa de solo, certa quantidade de água fica armazenada nos vazios, formando meniscos e ficando retida na camada do pavimento.

A água proveniente da ascensão capilar não pode ser drenada pela ação da gravidade e para o controle do seu movimento é recomendada a implantação de

algum dispositivo, como uma camada drenante ou de bloqueio, para interceptar o fluxo d'água.

2.2 PRINCIPAIS DANOS CAUSADOS PELA AÇÃO DAS ÁGUAS

A razão completa da deterioração e falência dos pavimentos é muito complexa, haja visto que muitos fatores colaboram para isto. A idade e a oxidação das películas de asfalto, por exemplo, colaboram na deterioração dos revestimentos de concreto asfáltico e de bases. Já em pavimentos de CCP, alguns processos de deterioração e fadiga, sob deformações repetidas, são importantes fatores que contribuem para o seu trincamento e desintegração, por exemplo. Ao passo que algumas das ações mais prejudiciais ocorrem mais rapidamente quando há água em excesso nos espaços entre as camadas sucessivas dos pavimentos de CA, ou ainda nos poros destes pavimentos, bem como em juntas e trincas dos pavimentos de CCP, ou mesmo nos limites entre as placas e as sub-bases (CEDERGREN, 1980).

É consenso que a água é um dos fatores que lideram os danos causados nos pavimentos e a maioria destes é causada pelas poropressões e movimentação da água livre no interior de sua estrutura.

De um modo geral, os efeitos danosos da água livre sobre a estrutura de um pavimento podem ser assim resumidos (SUZUKI *et. al*, 2013):

- Redução da resistência dos materiais granulares não estabilizados e do solo do subleito;
- Bombeamento nos pavimentos de concreto com conseqüente formação de vazios, de degraus, trincamento e deterioração dos acostamentos;
- Bombeamento dos finos da base granular dos pavimentos flexíveis pela perda de suporte da fundação, devido à elevada pressão hidrodinâmica gerada pelo movimento do tráfego;

- Comportamento e desempenho insatisfatório dos solos expansivos devido à presença de água;
- Trincamento dos revestimentos (asfáltico e CCP) em função do contato direto com a água.

À medida que a água contida nas bases e sub-bases cresce, ocorre uma redução da capacidade de suporte e um crescimento da perda de serventia dos pavimentos. Quando a água livre preenche completamente estas camadas e também os vazios e espaço ou aberturas nos limites entre as camadas, as rodas pesadas dos veículos (principalmente comerciais) aplicada à superfície destes pavimentos, produzem impactos sobre a água que são semelhantes a uma ação do tipo golpe de aríete (CEDERGREN, 1980).

As pressões pulsantes da água que podem surgir nessas ocasiões, sob o impacto das rodas, não causam somente erosão e ejeção de material para fora dos pavimentos, mas também podem desprender capas asfálticas de bases e sub-bases estabilizadas com betume. As ações das águas podem desintegrar bases estabilizadas com cimento, enfraquecer bases granulares pelo rearranjo da estrutura interna dos materiais de granulação fina das misturas de agregado, sobrecarregar subleitos onde as espessuras totais forem inadequadas, e causar diversas outras ações prejudiciais (CEDERGREN, 1980).

Um veículo movendo-se sobre um pavimento rígido desenvolve pressões entre a parte inferior da placa e o subleito, o que faz com que a água, se estiver presente, escoe na direção em que vai escapar. A magnitude da pressão é, logicamente, dependente da deflexão da placa e do grau de confinamento da água. Esta poderá, no início, escapar somente pelas juntas e trincas abertas, mas com o passar do tempo, se obtiver condições suscetíveis de bombeamento, ela geralmente abrirá uma via de escape entre o acostamento e os bordos do pavimento (CEDERGREN, 1980).

Em pavimentos executados sobre subleitos constituídos por solos finos, este fluxo de água sob a placa faz com que os finos do solo se misturem com a água, que, ao escapar, os carrega com ela formando, então, um espaço vazio sob a

placa do pavimento, que se torna progressivamente maior com a repetição do tráfego.

Nos primeiros estágios desse processo de bombeamento, o escape da água ou lama entre o acostamento e os bordos da rodovia é, em geral, confinado a poucos centímetros da junta transversal ou da trinca aberta. Porém, à medida que o bombeamento progride, um canal de escape se desenvolve ao longo de todo o comprimento da placa do pavimento. À medida que o processo cresce nos bordos, um maior volume de água pode atingir o subleito, aumentando o volume e intensidade do bombeamento.

Já a água livre nos pavimentos de concreto asfáltico contribui para o fissuramento por retração, para a oxidação e perda da flexibilidade, que poderão levar ao trincamento e à deterioração geral dos revestimentos e bases estabilizadas.

Embora sejam diversos os defeitos que podem surgir nas rodovias por ocasião da presença da água, alguns tipos são mais recorrentes e estão relacionados a comportamentos bem característicos. Assim, separando por tipo de pavimento, tem-se:

- Pavimentos asfálticos (CA): os defeitos relacionados com a umidade caracterizam-se pela elevada deflexão na superfície, baixo raio de curvatura da bacia de deformação, trincamento por fadiga, redução da capacidade de suporte e desagregação.
- Pavimento rígido (CCP): os defeitos relacionados com a umidade são a instabilidade do subleito, bombeamento dos finos e conseqüente perda de suporte, além de anomalias do tipo trinca de canto.

Uma relação mais pormenorizada dos defeitos associados à presença d'água em cada um destes tipos de pavimento pode ser consultada nas tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Defeitos recorrentes em pavimentos asfálticos relacionados com a presença d'água.

Manifestação	Problema relacionado à umidade	Problema climático	Problema relacionado ao material	Carregamento associado	Início do defeito estrutural		
					Asfalto	Base	Sub-base
Abrasão	Não	Não	Agregado	Não	Sim	Não	Não
Exsudação	Não	Acentua-se em altas temperaturas	Betume	Não	Sim	Não	Não
Desintegração	Não	Não	Agregado	Ligeiramente	Sim	Não	Não
Intemperismo	Não	Umidade	Betume	Não	Sim	Não	Não
Inchamento	Excesso	Congelamento	Umidade	Sim	Não	Sim	Sim
Corrugação	Ligeiramente	Rel. entre clima e sucção	Mistura instável	Sim	Sim	Sim	Sim
Escorregamento	Não	Acentua-se em altas temperaturas	Mistura instável; perda de ligante	Sim	Sim	Não	Não
Afundamento de trinca de roda	Excesso em grandes camadas	Sucção e materiais	Propriedades de compactação	Sim	Sim	Sim	Sim
Ondulação	Excesso	Sucção e materiais	Expansão da argila suscetível ao congelamento	Não	Não inicialmente	Não	Sim
Depressão	Excesso	Sucção e materiais	Assentamento	Sim	Não	Não	Sim
Panelas	1excesso	Congelamento	Umidade	Sim	Não	Sim	Sim
Trincamento longitudinal	Sim	Perda de resistência com o degelo	Propriedades térmicas	Sim	Falha de construção	Sim	Sim
Trincamento jacaré	Sim, drenagem	Não	Possível problema de mistura	Sim	Sim, mistura	Sim	Sim
Trincamento transversal	Sim	Baixa temperatura gelo – degelo	Propriedades térmicas	Não	Sim, susceptível à temperatura	Sim	Sim
Trincamento retração	Sim	Sucção, perda de umidade	Sensível à umidade	Não	Sim, fortemente	Sim	Sim
Trincamento parabólico	Sim	Não	Perda de ligante	Sim	Sim, no ligante	Não	Não

Fonte: SUZUKI *et. al.*, 2013.

Tabela 2.2 – Defeitos recorrentes em pavimentos rígidos relacionados com a presença d'água.

Manifestação	Problema relacionado à umidade	Problema climático	Problema relacionado ao material	Carregamento associado	Início do defeito estrutural		
					Placa	Sub-base	Subleito
Esborcinamento	Possivelmente	Não	Possivelmente	Não	Sim	Não	Não
Escamação	Sim	Ciclos de gelo – degelo	Influência química	Não	Sim, no acabamento	Não	Não
Trincamento	Sim	Ciclos de gelo – degelo	Agregado	Não	Sim	Não	Não
Fissuração	Sim	Não	Rico em argamassa	Não	Sim, superfície fraca	Não	Não
Levantamento / Alçamento	Não	Temperatura	Propriedades térmicas	Não	Sim	Não	Não
Bombeamento	Sim	Umidade	Presença de finos na base sensível a umidade	Sim	Não	Sim	Sim
Degrau	Sim	Umidade e sucção	Deformação de assentamento	Sim	Não	Sim	Sim
Empenamento	Possivelmente	Umidade e temperatura	Não	Não	Sim	Não	Não
Puncionamento / Quebras localizadas	Sim	Sim	Deformação seguida de fissuração	Sim	Não	Sim	Sim
Junta	Produz dano depois	Possivelmente	Finos apropriados / Limpeza das juntas	Não	Junta	Não	Não
Trincas de canto	Sim	Sim	Devido ao bombeamento	Sim	Não	Sim	Sim
Trinca diagonal / transversal / longitudinal	Sim	Possivelmente	Ocorre com o aumento da umidade	Sim	Não	Sim	Sim

Fonte: SUZUKI *et. al.*, 2013

2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES E FASES DE INTERESSE

Para o desenvolvimento de um projeto de drenagem deve-se ter em mente que alguns outros parâmetros de projeto já necessitam estar previamente definidos, ou mesmo que outras disciplinas correlatas estejam em tal nível de avanço que possibilitem o conhecimento macro por parte do projetista.

Assim, a definição do traçado final da rodovia é imperiosa para se poder definir todos os locais onde os dispositivos de transposição de talvegue serão necessários. De modo análogo, o conhecimento prévio do greide e das seções transversais da rodovia são importantes para a definição dos locais em que a drenagem superficial poderá ser necessária, pois a simples definição de uma seção com abaulamento para os dois lados, a partir do eixo, ou para um único lado, poderá demandar dispositivos de drenagem superficial de um ou em ambos os bordos da rodovia.

TOME NOTA

Para fins de orientação, recomenda-se que o aluno consulte alguns manuais do DNIT, que poderão auxiliar na definição da interdependência entre disciplinas, na forma de apresentação, bem como de seus conteúdos, a citar como exemplos: as Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos e Instruções de Serviço (DNIT/IPR-726); as Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Instrução para apresentação de Relatórios (DNIT/IPR-727); as Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Instruções para Acompanhamento e Análise; além do Guia de Análise de Projetos Rodoviários.

Para fins de ilustração, pode-se aqui recorrer ao Guia de Análises de Projeto Rodoviários do DNIT, que em sua seção 2.3, traz detalhes sobre as verificações de conformidade, roteiro de análise e inter-relação entre disciplinas para o caso específico do projeto de drenagem. Sobre este último, por sinal, a referida publicação cita que as disciplinas antecessoras que irão subsidiar a elaboração do projeto de drenagem são aquelas constantes na figura 2.10.

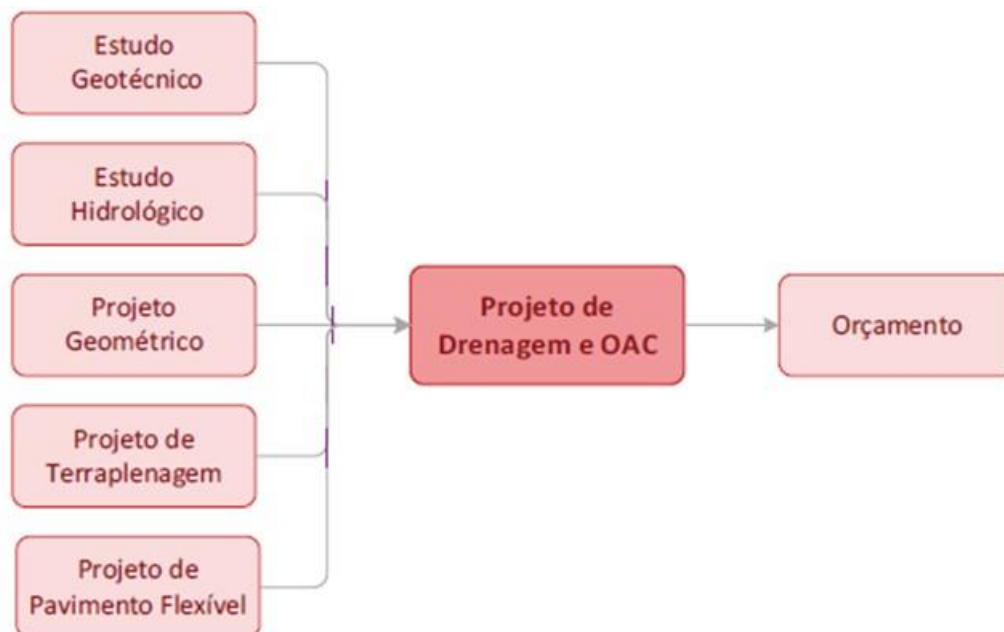


Figura 2.10 – Digrama de interdependência da disciplina projeto de drenagem e OAC.

Por sua vez, na instrução de serviço IS-210, constante nas Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos e Instruções de Serviço (BRASIL, 2006), aparece a relação de elementos básicos e condicionantes para a elaboração do projeto de drenagem, a saber:

- Estudos hidrológicos: elaborados para o projeto de engenharia, necessários para a determinação da descarga em cada ponto e indispensáveis para a fixação das seções a adotar e as condições de escoamento.
- Projetos geométricos, de terraplenagem e de pavimentação, fase de projeto básico, elaborados para o projeto de engenharia, definirão as obras de drenagem a projetar, bem como os estudos complementares a realizar.
- Estudos topográficos elaborados em sua fase de projeto básico para o projeto de engenharia, deverão ser complementados a fim de definir a implantação das obras de drenagem, utilizando medidas específicas para este fim.
- Estudos geotécnicos elaborados em sua fase de projeto básico para o projeto de engenharia, deverão ser complementados a fim de definir e caracterizar materiais e condições de fundação das obras a serem projetadas.
- No caso de rodovia já implantada, os dispositivos de drenagem existentes serão cadastrados e vistoriados, verificando-se a suficiência de vazão e o estado

de conservação. Os dispositivos identificados como problemáticos serão objeto de estudos específicos com o objetivo de proceder ao reparo ou substituição daqueles que se encontrem danificados.

Na fase de concepção é importante que sejam estudadas as diversas alternativas de solução, considerando os aspectos de exequibilidade, condições de funcionamento, materiais a utilizar e sua disponibilidade no mercado, métodos e equipamentos, além de aspectos arquitetônicos e paisagísticos, quando for o caso.

Uma vez listadas as alternativas possíveis de serem implementadas, deverá ocorrer o pré-dimensionamento, com base nas normas e especificações vigentes, devendo-se levar em consideração a possibilidade de aproveitamento e padronização de soluções, dos materiais e mão-de-obra.

Na sequência, devem ser estimadas as quantidades e calculados os custos das possíveis alternativas, a fim de que se possa escolher a mais adequada do ponto de vista técnico e econômico, ou também do ponto de vista administrativo e estético.

A escolha da solução definitiva poderá considerar a inclusão de uma diversidade de dispositivos de drenagem existentes, muitos deles elencados no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT, e que serão inicialmente agrupados por famílias, para serem posteriormente detalhados em separados, nos capítulos e módulos seguintes deste curso.

Para fins didáticos e de modo a permitir uma identificação prévia dos diversos tipos de dispositivos de drenagem que podem ser encontrados em uma rodovia, apresentam-se as figuras 2.11 e 2.12, que destacam, dentre outros, os dispositivos de drenagem superficial, subsuperficial, profunda e de transposição de talvegue.

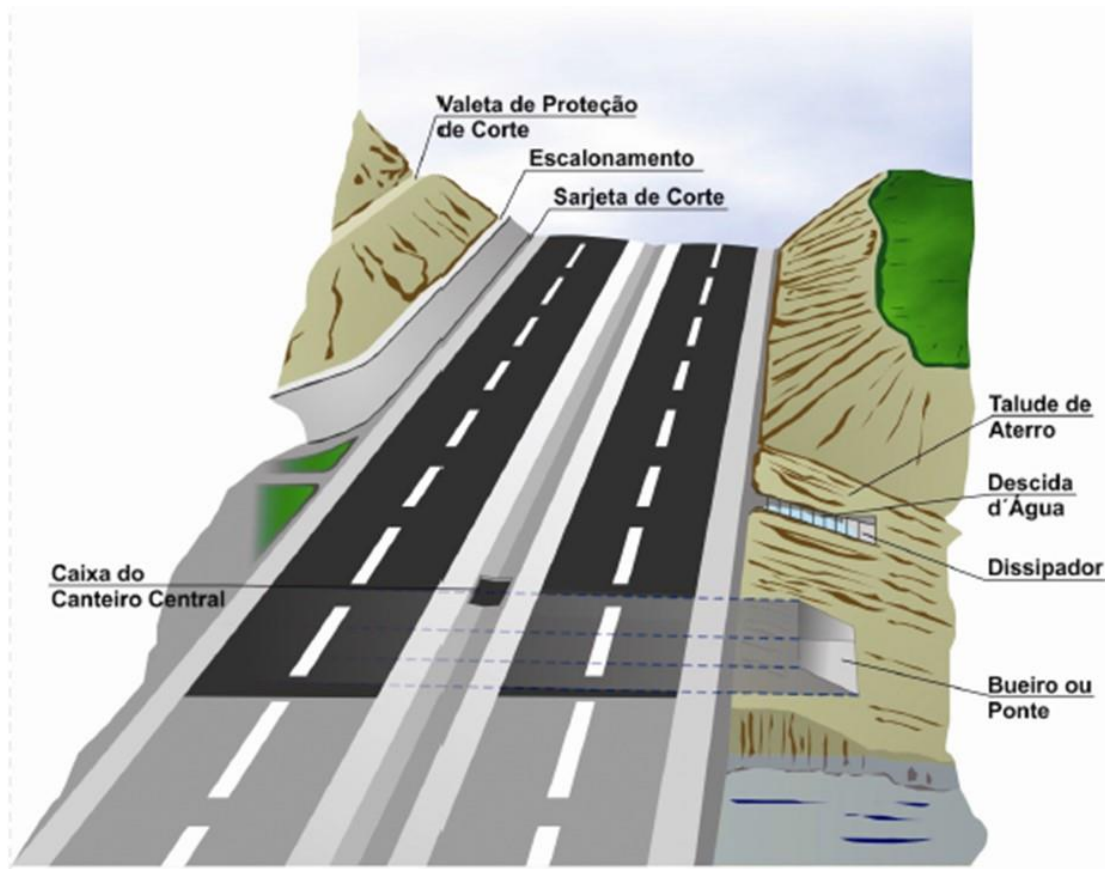


Figura 2.11 – Croqui com identificação de dispositivos de drenagem superficial e de transposição de talvegue em uma rodovia.

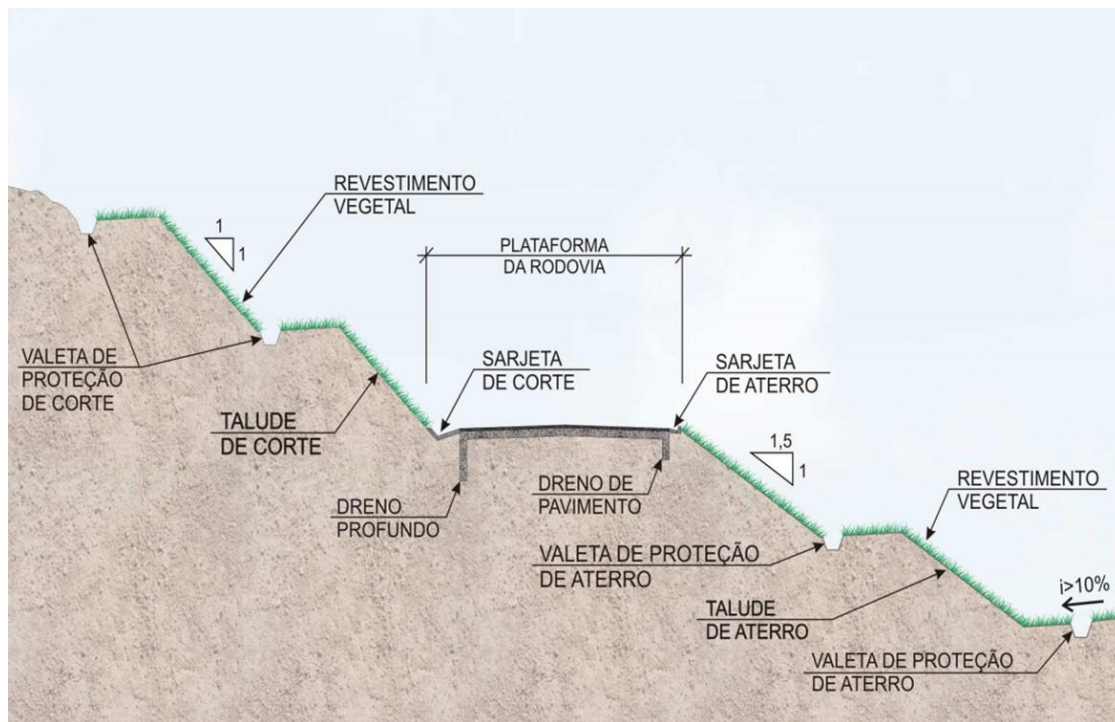


Figura 2.12 – Croqui com identificação de dispositivos de drenagem superficial, subsuperficial e profunda em uma rodovia.

2.3.1 Drenagem superficial

A drenagem superficial é constituída por dispositivos cuja função é interceptar e captar, conduzindo a um local de deságue seguro, as águas precipitadas sobre o corpo estradal e em suas áreas adjacentes, resguardando a segurança e a estabilidade, sendo os principais tipos:

- Valetas de proteção de corte;
- Valetas de proteção de aterro;
- Sarjetas de corte;
- Sarjetas de aterro;
- Sarjeta/Valeta de canteiro central;
- Dispositivos de transposição de sarjeta/valeta;
- Descida d'água;
- Saídas d'água;
- Caixas coletoras;
- Bueiros de greide;
- Dissipadores de energia;
- Escalonamento de taludes;
- Corta-rios;
- Drenagem de alívio de muros de arrimo.

2.3.2 Drenagem de transposição de talvegue

A drenagem de transposição de talvegue é constituída por dispositivos que tem a função de eliminar águas pertencentes à bacia que, por imperativos hidrológicos, devam ser desviadas para não comprometer a estrutura da rodovia. Os principais dispositivos que fazem parte desta família são:

- Bueiros;
- Pontes e pontilhões.

2.3.3 Drenagem do pavimento (subsuperficial)

A drenagem subsuperficial é constituída por dispositivos cuja função é defender o pavimento das águas que possam danificá-lo, originárias de infiltrações diretas das precipitações pluviométricas e aquelas provenientes de lençóis d'água subterrâneos. Dentre os principais tipos de dispositivos, pode-se citar.:

- Camada drenante;
- Drenos rasos longitudinais;
- Drenos laterais de base;
- Drenos transversais.

2.3.4 Drenagem subterrânea ou profunda

A drenagem subterrânea é formada por dispositivos capazes de interceptar e rebaixar o lençol d'água subterrâneo para impedir a deterioração progressiva dos suportes das camadas dos terraplenos e pavimentos. Alguns dos dispositivos que constituem esta família são:

- Drenos profundos;
- Drenos espinha de peixe;
- Colchão drenante;
- Drenos subhorizontais;
- Valetões laterais;
- Drenos verticais.

2.3.5 Drenagem de travessia urbana

A drenagem de travessia urbana deve promover de forma satisfatória o escoamento das águas das áreas urbanas, assegurando o trânsito público e protegendo a rodovia e propriedades particulares dos efeitos danosos das chuvas intensas. Os principais tipos de dispositivos que integram esta família, são:

- Sarjetas;
- Bocas-de-lobo;
- Poços-de-visita.

3. DRENAGEM SUPERFICIAL

Os dispositivos de drenagem superficial têm a função de captação ou interceptação e remoção das águas precipitadas sobre as estradas e áreas adjacentes, que escoam superficialmente.

As águas superficiais devem ser removidas ou conduzidas para fora do corpo estradal, ou para locais apropriados de deságue seguro, para evitar a sua acumulação na estrada, bem como para proporcionar estabilidade aos maciços de terra que constituem a infraestrutura e não causar erosão nos terrenos marginais.

De acordo com Michelin (1973), a água superficial pode surgir descendo as encostas e taludes ou escoando sobre a pista de rolamento e a drenagem superficial deverá evitar que essa água atinja ou permaneça por muito tempo sobre a estrada, motivo pelo qual se constroem os dispositivos de drenagem superficial. Estes irão coletar e remover a água, evitando que ela se infiltre ou se acumule.

No entanto, além dos dispositivos propriamente ditos, o projetista deve escolher a declividade e os revestimentos impermeáveis mais adequados, contribuindo assim para uma maior eficiência da drenagem superficial.

O sistema de drenagem superficial é composto por diversos dispositivos, os quais serão detalhados a seguir.

3.1 VALETAS

3.1.1. Valetas de proteção de corte

As valetas de proteção de corte têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, impedindo-as de atingir o talude de corte. Podem ser revestidas de grama, pedra arrumada, pedra argamassada, concreto, solo-cimento ou do próprio solo compactado.

As valetas de proteção serão construídas em todos os trechos em corte onde o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes possa atingir o talude, comprometendo a estabilidade do corpo estradal. Para permitir uma melhor visualização desta situação, apresenta-se a figura 3.1.

Normalmente são construídas paralelamente as cristas dos cortes a uma distância entre 2,0 m e 3,0 m da linha de off-set, com seção transversal trapezoidal, triangular ou retangular, moldadas *in loco* de forma manual e/ou mecânica, devendo o material resultante da escavação ser colocado entre a valeta e a crista do corte e apiloado manualmente, conforme indicado na figura 3.2.



Figura 3.1 – Valeta trapezoidal de corte executada nas obras de duplicação da BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).

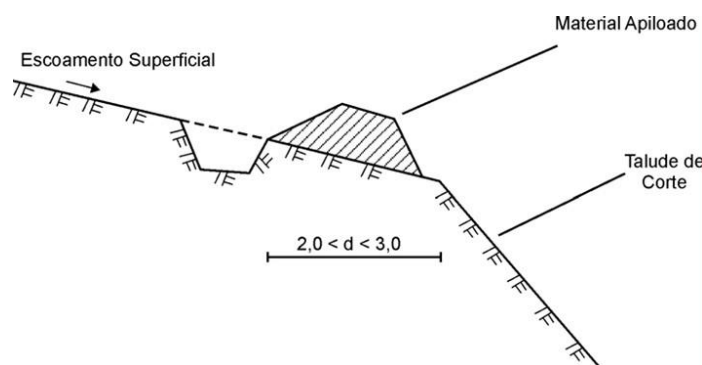


Figura 3.2 – Valeta de proteção de corte. (Fonte: BRASIL, 2006).

Na escolha do tipo de seção deve-se observar que as triangulares criam plano preferencial de escoamento d'água, por isso são pouco recomendadas para

grandes vazões. Por motivo de facilidade de execução, a seção a adotar nos cortes em rocha deverá ser a retangular. Já as valetas com forma trapezoidal são as mais recomendáveis por apresentarem maior eficiência hidráulica.

Os revestimentos da valeta de corte deverão ser escolhidos de acordo com a velocidade do escoamento (conforme tabela 3.1) e conforme a natureza do material do solo. Em princípio, convém sempre revestir as valetas, sendo isso obrigatório quando elas forem abertas em terreno permeável, para evitar que a infiltração provoque instabilidade no talude do corte. Atenção especial deve ser dado ao revestimento da valeta triangular, pois, pela própria forma da seção, há uma tendência mais acentuada à erosão e infiltração.

Os tipos de revestimentos mais recomendados são: concreto, alvenaria de tijolo ou pedra, pedra arrumada e vegetação.

Tabela 3.1 – Velocidades máximas admitidas conforme o tipo de revestimento.

COBERTURA SUPERFICIAL	VALORES MÁXIMOS (m/s)
Gramma comum firmemente implantada	1,50 – 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 – 1,20
Argila	0,80 – 1,30
Argila coloidal	1,30 – 1,80
Lodo	0,35 – 0,85
Areia fina	0,30 – 0,40
Areia média	0,35 – 0,45
Cascalho fino	0,50 – 0,80
Silte	0,70 – 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento Portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 – 4,00

Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias. (BRASIL, 2006)

Os tipos de valetas de corte catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: VPC-01 e VPC-02, com revestimento em grama; VPC-03 e VPC-04, com revestimento em concreto.

Como recomendação de cunho prático, sugere-se o uso das valetas de menores dimensões para os trechos em corte de menor extensão e onde a contribuição

tende a ser menor, seja pelo tamanho da área a ser drenagem, seja pela baixa intensidade pluviométrica média observada na região em estudo.

Na prática, normalmente ocorre a necessidade de retirada da água da valeta de proteção de corte para a sarjeta ou para a caixa coletora de um bueiro de greide, devido às seguintes particularidades:

- Quando, nos cortes muito extensos e de pequena declividade, o comprimento crítico da valeta for atingido, o que obrigaria a construção de seção com grandes dimensões;
- Quando o terreno a montante da valeta apresentar um talvegue secundário bem definido, ocasionando a concentração de água num único local;
- Quando o perfil longitudinal da valeta se apresentar sinuoso com vários pontos baixos, obrigando, para que haja um escoamento contínuo, a grandes profundidades da valeta.

Nesses casos, o dispositivo de saída d'água da valeta de proteção de corte para a plataforma é comumente denominado de descida d'água e será tratada mais à frente, mas antecipa-se a figura 3.3 para permitir a identificação de uma das situações onde ela normalmente pode se tornar necessária.

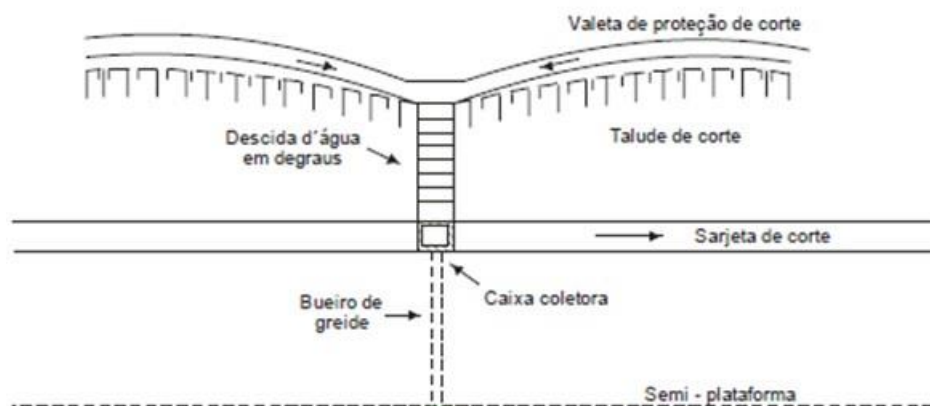


Figura 3.3 Descida d'água implantada para captar contribuição de valeta de proteção de corte.

3.1.2 Valetas de proteção de aterro

À semelhança da valeta de corte, a valeta de proteção de aterro consiste em dispositivo destinado a interceptar e conduzir as águas precipitadas sobre as áreas adjacentes e que escoam a montante dos aterros, visando impedir que elas atinjam o corpo estradal (pé do aterro), direcionando-as aos bueiros. Além disso, têm a finalidade de receber as águas das sarjetas e valetas de corte, conduzindo-as com segurança ao dispositivo de transposição de talvegues.

Podem ser revestidas de grama, pedra arrumada, pedra argamassada, concreto, solo-cimento ou o próprio solo compactado. Normalmente são construídas paralelamente ao pé do talude de aterro, a uma distância entre 2,0 m e 3,0 m da linha de offsets, com seção transversal trapezoidal, triangular ou retangular, moldadas *in loco* de forma manual e/ou mecânica. O material resultante da escavação deve ser colocado entre a valeta e o pé do talude de aterro, apilado manualmente com o objetivo de suavizar a interseção das superfícies do talude e do terreno natural, conforme pode ser visualizado na figura 3.4.

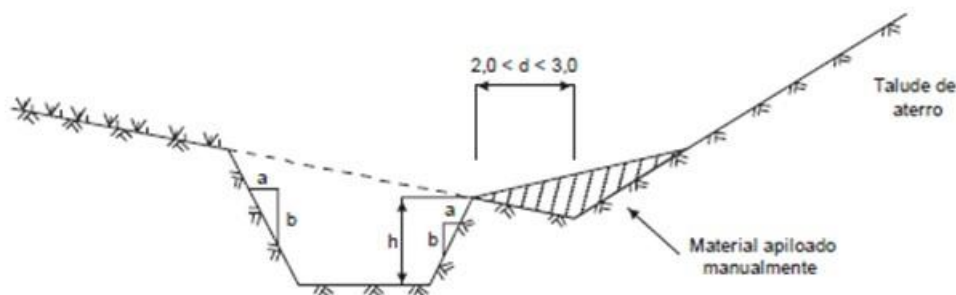


Figura 3.4 – Valeta de proteção de aterro. (Fonte: BRASIL, 2006).

Os tipos de valetas de aterro catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: VPA-01 e VPA-02, com revestimento em grama; VPA-03 e VPA-04, com revestimento em concreto.

Michelin (1973) recomenda que, se para a construção de valeta revestida em concreto for necessária a preparação do subleito com solo, este deve ser,

preferencialmente, de baixa expansão e colocado no lugar fortemente compactado e que uma junta de expansão, de cerca de 1cm de largura, seja executada a cada 40 m e preenchida com um asfalto de baixa penetração ou material similar.

Esta junta, por sinal, tem sua execução recomendada nos demais dispositivos de drenagem superficial revestidos em concreto, a fim de se evitar trincamento ou fissuração excessiva. Também é uma boa prática de engenharia adotar a execução alternada de segmentos da valeta, a fim de promover juntas secas, quando o tipo de processo executivo escolhido é o manual, tal como pode ser visualizado na figura 3.5.



Figura 3.5 – Valeta trapezoidal de concreto executada *in loco* e em segmentos alternados. (Fonte: próprio autor).

3.2 SARJETAS

3.2.1 Sarjetas de proteção de corte

As sarjetas de corte são dispositivos de drenagem construídos lateralmente às pistas de rolamento, destinados a captar e conduzir as águas precipitadas sobre a plataforma rodoviária, taludes de corte e áreas laterais da rodovia até o ponto de passagem corte-aterro, ou em direção aos bueiros de greide, caixas coletoras, valetas de aterro ou talvegues naturais.

O Manual de Drenagem de Rodovias indica a implantação das sarjetas em todos os cortes, sendo construídas à margem dos acostamentos, terminando em pontos de saída convenientes (pontos de passagem de corte para aterro ou caixas coletoras). No entanto, este autor recomenda uma avaliação mais criteriosa, pois por certo, a depender da extensão do corte, de sua altura, bem como da área da pista que gera contribuição, certamente seu uso poderá ser dispensado em alguns casos, a citar como exemplo, os cortes de pequena altura e pequena extensão.

Normalmente, as sarjetas são construídas junto aos acostamentos, com seção transversal triangular, retangular, semicircular ou trapezoidal, moldadas *in loco* de forma manual e/ou mecânica.

A sarjeta de seção triangular é um dos modelos de uso mais difundido, pois, além de apresentar uma razoável capacidade de vazão, conta a seu favor com o importante fato da redução dos riscos de acidentes.

De acordo com a figura 3.6, a sarjeta deve ter, do lado do acostamento, a declividade de 25 %, ou seja, 1:4, e do lado do talude, a mesma declividade dele.

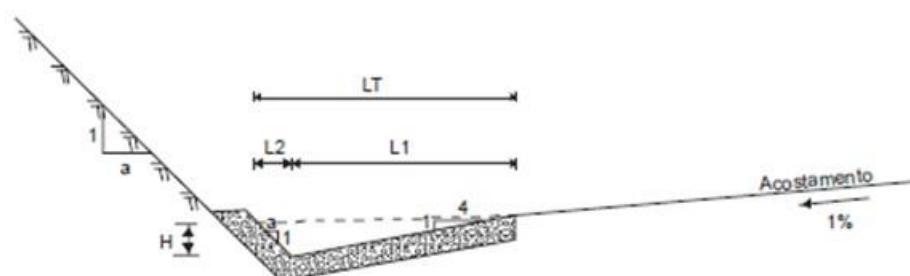


Figura 3.6 – Sarjeta de proteção de corte. (Fonte: BRASIL, 2006).

Os valores extremos da distância da borda do acostamento ao fundo da sarjeta (L_1), situam-se entre os valores de 1,0 a 2,0 metros, de acordo com a seção de vazão necessária. Mantendo as declividades transversais estabelecidas, o aumento de L_1 fornecerá um acréscimo de L_2 , H e LT , e conseqüentemente um acréscimo na capacidade hidráulica da sarjeta. Quando para o valor máximo de $L_1 = 2,00$ m, a seção da vazão ainda for insuficiente, deverá então ser adotada seção tipo trapezoidal ou retangular, com dimensões convenientes para atender à descarga de projeto.

Quando a sarjeta triangular de máximas dimensões permitidas não mais for suficiente para atender à descarga de projeto, deve-se adotar a sarjeta de seção trapezoidal. Já nos casos em que sua implantação estiver prevista para um corte em material rochoso, é preferível a adoção da sarjeta de seção retangular, devido à maior facilidade de execução.

Tendo em vista a localização da sarjeta junto ao pé do talude de corte, cuidados especiais quanto à erosão devem ser levados em conta, pois deslizamentos de talude podem provocar paralisações no tráfego e consequentes prejuízos significativos.

Na execução do revestimento das sarjetas de corte, devem ser obedecidas a especificação de serviço DNIT-018/2006-ES. Apresentam-se, entretanto, algumas indicações complementares que devem ser seguidas:

- Quando o revestimento for de pedra argamassada, o diâmetro máximo deve ser de 0,10 m, rejuntada com argamassa de cimento e areia no traço de 1:4.
- Quando for de concreto, o revestimento deverá ser dosado racionalmente para uma resistência mínima à compressão simples $F_{ck} = 15 \text{ Mpa}$ a 28 dias.
- A espessura mínima para a sarjeta de concreto triangular é de 0,08 m e para a retangular e trapezoidal é de 0,10 m.
- A sarjeta deverá ser moldada no local com formas de metal ou de outro material que proporcionem bom acabamento.
- As formas (guias) serão espaçadas de 3,00 m em 3,0 m.
- A concretagem envolverá um plano executivo, prevendo o lançamento do concreto em lances alternados.
- Os segmentos intermediários serão executados após o início do processo de cura dos demais, redundando em juntas “secas”.
- A intervalos de 12,0 m serão executadas juntas de dilatação preenchidas com argamassa asfáltica.
- Quando a sarjeta de concreto moldada no local se situar sobre uma base granular drenante, antes do lançamento do concreto deverá o local ser forrado

com material impermeável que evite o preenchimento dos vazios da camada drenante pela penetração do concreto.

- Deverá haver uma perfeita união entre a face da sarjeta de concreto e o pavimento do acostamento, evitando-se penetração d'água na sua junção.

Os tipos de sarjetas de corte catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: STC-01 a STC-08, com revestimento em concreto e seção triangular; STG-01 a STG-04, com revestimento em grama e seção triangular; SZC-01 e SZC-02, com revestimento em concreto e seção trapezoidal; SZG-01 e SZG-02, com revestimento em grama e seção trapezoidal.

3.2.2 Sarjetas de proteção de aterro (meios-fios)

As sarjetas ou meios-fios de aterro são dispositivos destinados a conduzir longitudinalmente as águas precipitadas sobre a pista de rolamento para os bueiros de greide ou saídas d'água, impedindo que escoem pelo talude do aterro, provocando pontos de erosão. As sarjetas de aterro são normalmente executadas em alvenaria de pedra argamassada ou em concreto simples, podendo ser constituída de guia e calha, ou somente de guia, com moldagem *in loco* de forma manual e/ou mecânica. Para uma melhor visualização, apresenta-se a figura 3.7, onde está sendo instalada a forma metálica para execução de meio-fio de forma manual.

O Manual de Implantação Básica do antigo DNER (BRASIL, 1996) recomenda a implantação de meio-fio nos casos em que o aterro tem altura superior a 4,5 m e quando sua declividade longitudinal for superior a 4,5 %. No entanto, este autor recomenda uma avaliação mais conservadora, haja vista que já foram constatados diversos casos de erosão na superfície de taludes com altura e declividade inferiores, ou mesmo onde a proteção vegetal da face do talude não foi adequadamente executada, devendo o projetista estar atento ao tipo de solo e à velocidade de escoamento.



Figura 3.7 – Meio-fio tipo MFC-05 em execução nas obras de duplicação da BR-304/RN.
(Fonte: Próprio autor).

Já o Manual de Drenagem de Rodovias (BRASIL, 2006) recomenda o uso destes dispositivos nos seguintes casos:

- Trechos onde a velocidade das águas provenientes da pista provoque erosão na borda da plataforma;
- Trechos onde, em conjunto com a terraplenagem, for mais econômica a utilização da sarjeta, aumentando com isso a altura necessária para o primeiro escalonamento de aterro;
- Interseções, para coletar e conduzir as águas provenientes dos ramos, ilhas, etc.

Os meios-fios também podem ter a função de limitar a área da plataforma, principalmente onde se torna necessária a orientação de tráfego, como canteiro central ou interseções, complementando de forma importante a função de orientação da drenagem superficial e da segurança da via.

Os tipos de meios-fios catalogados no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: MFC-01 a MFC-08.

Embora a escolha de cada tipo não esteja detalhada no Manual de Drenagem de Rodovias, algumas recomendações de cunho prático podem auxiliar na decisão. Assim, nas rodovias onde as plataformas são mais largas e providas de

duas ou mais faixas de rolamento, além de acostamentos, recomenda-se a escolha do tipo MFC-01. Já nos trechos onde a largura da plataforma é reduzida e/ou não é provida de acostamentos, recomenda-se o uso do tipo MFC-03. Já nas delimitações, como ilhas e agulhas, o MFC-05 mostra-se mais adequado.

Sobre este modelo vale a pena destacar que seu uso só é recomendado junto a plataforma rodoviária quando o alagamento temporário do acostamento é possível, haja vista que o mesmo é desprovido de calha própria.

Quanto o dispositivo for previsto junto a acessos, como os das propriedades privadas, recomenda-se o uso de modelo que tenha a guia rebaixada, como é o caso do MFC-02, MFC-04 e MFC-06.

Algumas experiências de campo levam a sugerir o modelo MFC-07 para uso em locais onde o acesso de veículos, principalmente de fiscalização e operação, deve ser facilitado. Já o modelo tipo MFC-08, para os locais onde o transpasse frequente de veículos, criando acessos irregulares, precisou ser inibido.

3.2.3 Sarjetas de canteiro central

As sarjetas de canteiro central, conforme ilustrado nas figuras 3.8 e 3.9, são dispositivos destinados a captar e conduzir longitudinalmente, entre as pistas opostas de uma rodovia de pista dupla, as águas precipitadas sobre as pistas de rolamento e área central da rodovia, direcionando-as para caixas coletoras e bueiros de greide. Podem ser revestidas de grama, pedra arrumada, pedra argamassada, concreto ou solo-cimento. Normalmente são construídas com seção transversal triangular ou trapezoidal, moldadas *in loco* de forma manual e/ou mecânica.

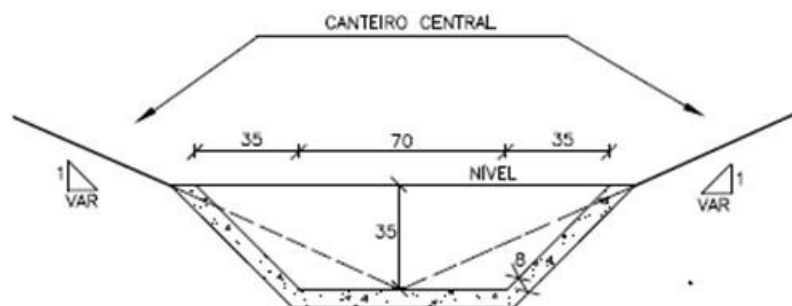


Figura 3.8 – Sarjeta de canteiro central (Fonte: BRASIL, 2018).



Figura 3.9 – Sarjeta de canteiro central de formato triangular.

Os tipos de sarjetas de canteiro central catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: SCC-01 e SCC-02, com revestimento em concreto e seção triangular; SCC-03 e SCC-04, com revestimento em concreto e seção trapezoidal.

O local de implantação da sarjeta, dentro do canteiro central, deverá levar em conta as cotas das duas plataformas adjacentes, de tal maneira que, quando estas forem coincidentes ou apresentarem pequena diferença, a sarjeta poderá ser projetada no meio do canteiro; ao passo que, quando estas cotas apresentarem grande diferença, provocando um desnível acentuado, a sarjeta deve ser implantada junto ao bordo da rodovia de cota mais baixa, conforme pode ser observado na figura 3.10.

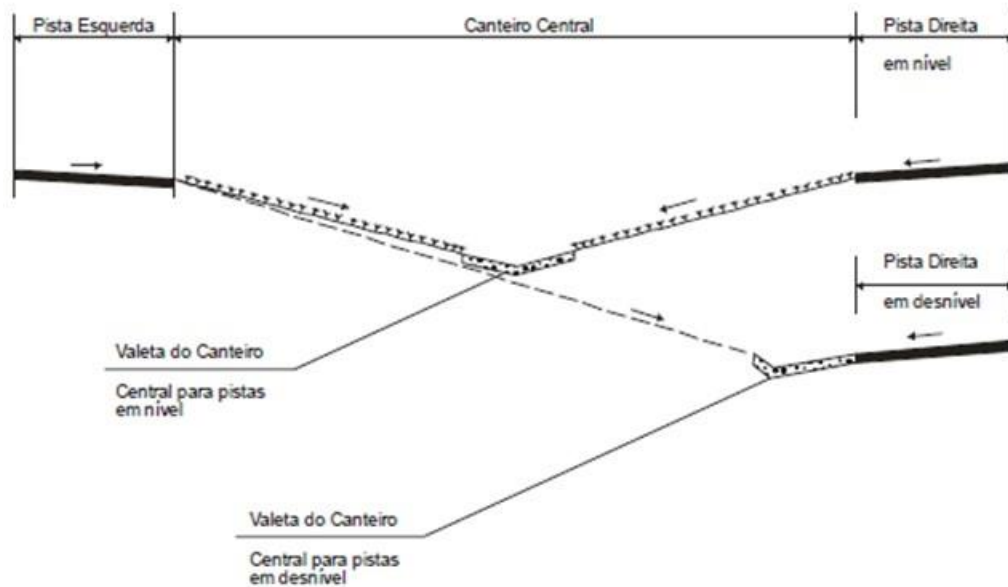


Figura 3.10 – Posicionamento da sarjeta dentro do canteiro central (Fonte: BRASIL, 2006).

NOTA: Quando os taludes de corte ou de aterro precisarem ser escalonados, poderão ser previstos alguns dos modelos de valetas ou sarjetas apresentadas até aqui, sendo as mais usuais as de seção trapezoidal. Quando aplicados, tais dispositivos costumam ser chamados de sarjetas de banquetas, justamente por estarem implantados nas banquetas ou bermas dos taludes.

3.2.4 Transposição de segmentos de sarjeta

São dispositivos destinados a dar acesso a propriedades ou vias laterais secundárias à rodovia, permitindo a passagem dos veículos sobre as sarjetas, sem causar danos ao dispositivo ou a interrupção do fluxo canalizado, tal como pode ser visualizado na figura 3.11.

As transposições de segmentos de sarjeta distinguem-se basicamente em dois tipos, a saber:

- Tubos de concreto, tipo de encaixe macho e fêmea, envolvidos por berço e cobertura de concreto simples, conforme figura 3.12;
- Laje de grelha de concreto armado, pré-moldada, conforme figura 3.13.



Figura 3.11 – Transposição de segmento de sarjeta tipo TSS-02 implantado na BR-226/RN.
(Fonte: Próprio autor).

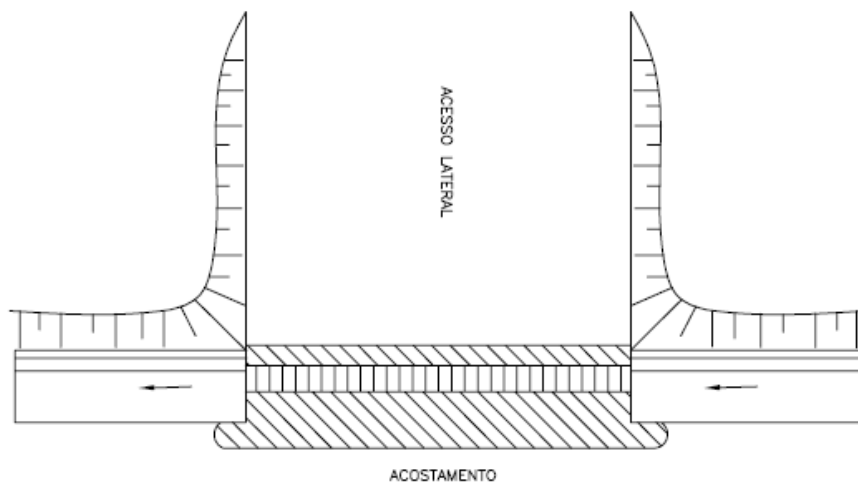


Figura 3.12 – Transposição de segmento de sarjeta tipo TSS-1 (BRASIL, 2018).

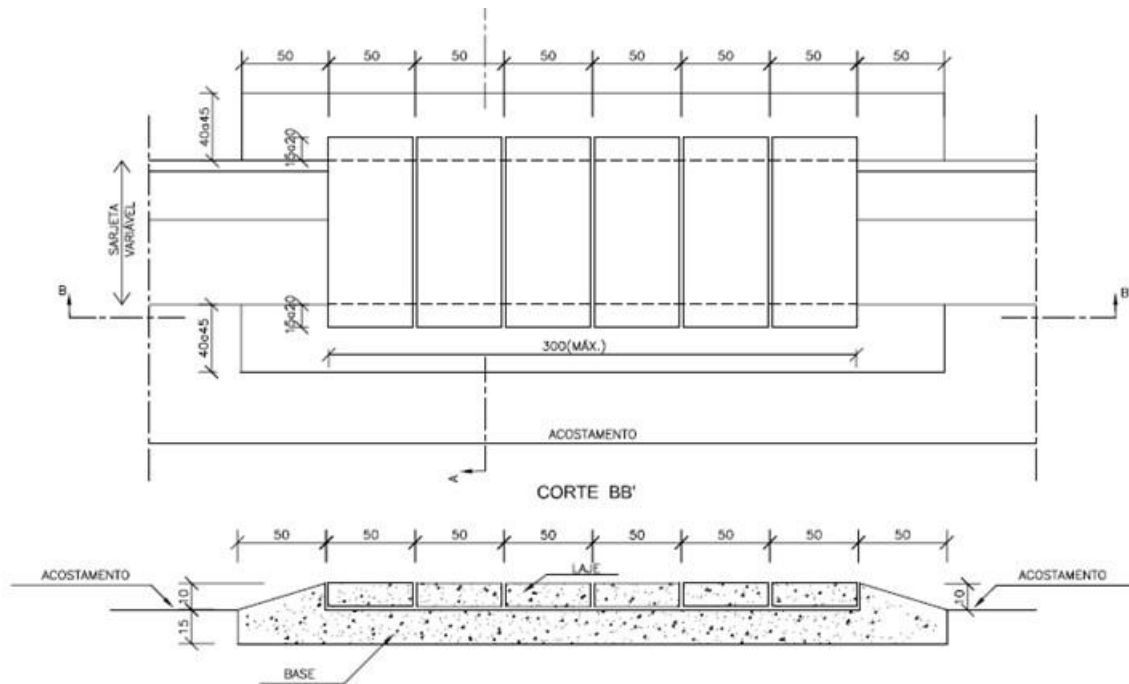


Figura 3.13 – Transposição de segmento de sarjeta tipo TSS-2 (Fonte: BRASIL, 2018).

3.3 ENTRADA/SAÍDA D'ÁGUA

As saídas d'água, também conhecidas como entradas d'água, são dispositivos destinados a conduzir as águas coletadas por sarjetas ou valetas, lançando-as nas descidas d'água. São, portanto, dispositivos de transição entre as sarjetas ou valetas e as descidas d'água, realizando o acoplamento de um com o outro, tal como mostra a figura 3.14.



Figura 3.14 – Detalhe de entrada d'água implantado na BR-101/RN. (Fonte: Próprio autor).

Localizam-se normalmente na borda da plataforma, junto aos acostamentos ou em alargamentos próprios para sua execução, nos pontos onde é atingido o comprimento crítico do dispositivo, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, junto às pontes, pontilhões e viadutos e, algumas vezes, nos pontos de passagem de corte para aterro.

As saídas d'água devem ter uma seção tal que permita uma rápida captação das águas que escoam pela borda da plataforma conduzindo-as às descidas d'água e o rebaixamento gradativo da seção, conforme mostrado nas figuras 3.15 e 3.16, constituindo um método eficiente de melhoria do mecanismo de captação.

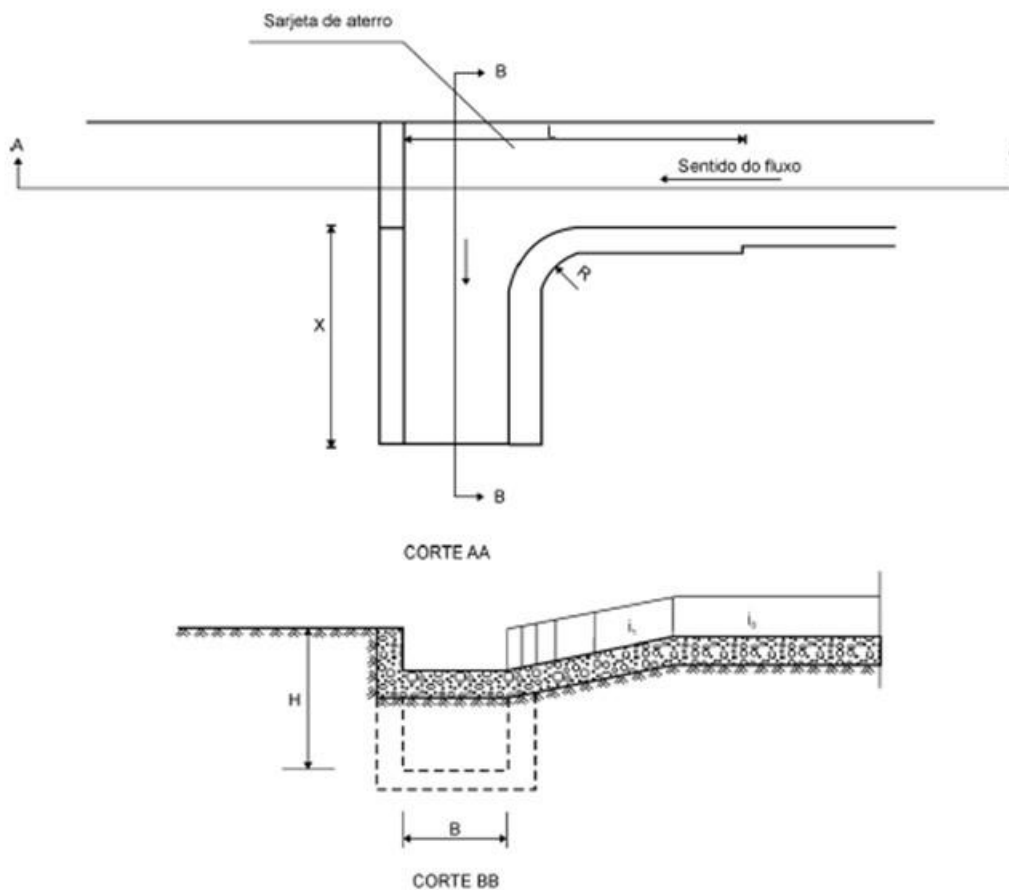


Figura 3.15 – Saída d'água recomendada para trecho de greide em rampa (Fonte: BRASIL, 2006).

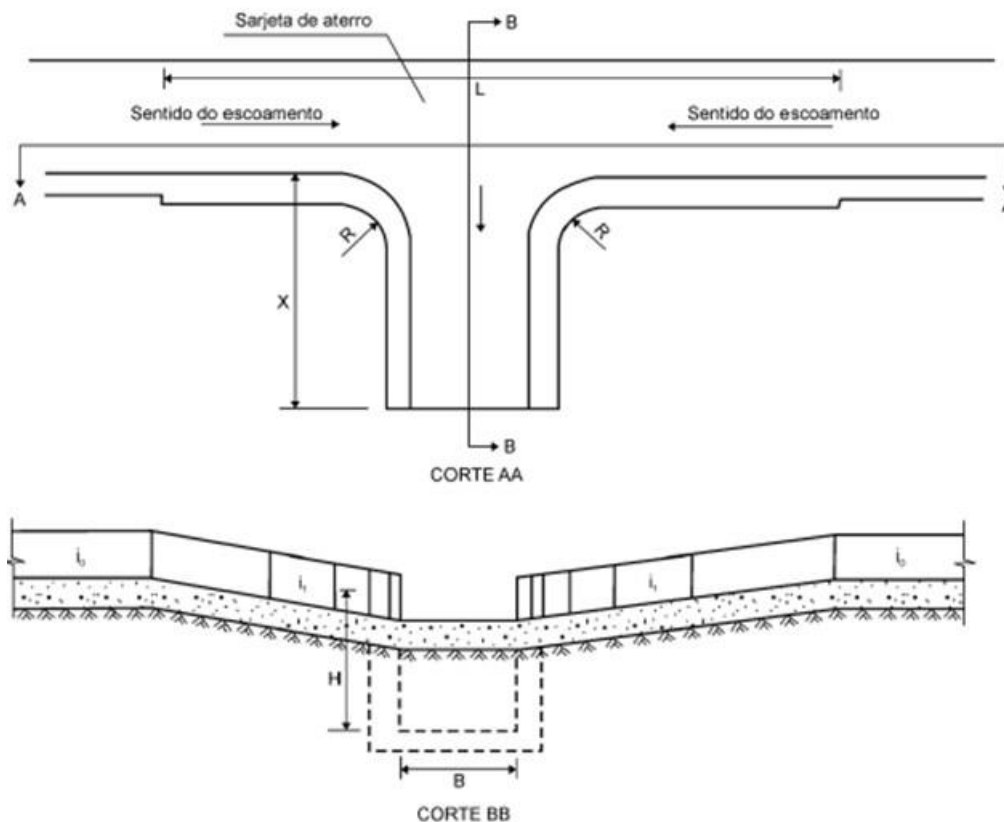


Figura 3.16 – Saída d’água recomendada para trecho de greide em ponto baixo (Fonte: BRASIL, 2006).

Os tipos de descidas catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 unidade poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos: EDA-01 e EDA-03, para trechos em rampa ou onde o fluxo tem um único sentido de escoamento; EDA-02 e EDA-04, para pontos baixos ou onde o fluxo tem dois sentidos de escoamento.

3.4 DESCIDAS D’ÁGUA

As descidas d’água tem como objetivo principal conduzir as águas captadas por outros dispositivos de drenagem, quando estes atingem seu comprimento crítico, ou ainda deflúvios gerados em pequenos talwegues, promovendo o deságue em

uma caixa coletora, em outro dispositivo de drenagem superficial ou no solo, tal como pode ser visualizado na figura 3.17.



Figura 3.17 – Detalhe de descida d'água em execução na BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).

Nos trechos em cortes, as descidas d'água normalmente recebem contribuições de valetas de corte, levando a água para o nível da plataforma, despejando-a em outro dispositivo.

Nos trechos em aterro, as descidas d'água conduzem as águas provenientes dos meios-fios até o off-set dos pés dos taludes, desaguando em um dissipador de energia ou no terreno natural.

As descidas d'água também atendem, no caso de cortes e aterros, às sarjetas ou valetas de banquetas quando é atingido seu comprimento crítico e em pontos baixos.

Outro uso recorrente das descidas d'água ocorre quando a saída do bueiro não coincide com o off-set e o seu deságue ocorre na face do talude de aterro. Assim a descida irá conduzir o fluxo pelo talude até a cota do terreno natural.

As descidas d'água podem ser do tipo rápido ou em degraus. A escolha entre um e outro tipo será função da velocidade limite do escoamento para que não provoque erosão, das características geotécnicas dos taludes, do terreno natural, da necessidade da quebra de energia do fluxo d'água e dos dispositivos de amortecimento na saída.

A descida d'água, por se localizar em um ponto bastante vulnerável na rodovia, principalmente nos aterros, requer que cuidados especiais sejam tomados para se evitar desníveis causados por caminhos preferenciais durante as chuvas intensas e consequentes erosões que podem levar ao colapso toda a estrutura, como mostrado na figura 3.18.



Figura 3.18 – Colapso do conjunto entrada d'água e descida d'água na BR-354/MG (Fonte: próprio autor).

Os tipos de descidas d'água catalogadas no DNIT, suas dimensões, tipos de revestimentos e consumos médios de materiais para execução de 1,0 m linear poderão ser consultados no Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), sendo os principais tipos:

- DAR-01: descida d'água tipo rápida, com seção em meia-cana de concreto;
- DAR-02 e DAR-03: descida d'água tipo rápida, com seção retangular, sendo a primeira em concreto simples e a segunda em concreto armado;
- DAR-04: descida d'água tipo rápida, com seção em meia-cana, executada com chapas metálicas corrugadas;
- DCD-01 a DCD-04: descidas d'água em degraus, de seção retangular e normalmente usadas em cortes, sendo as de números ímpares executadas em concreto simples e as de números pares, em concreto armado;

- DAD-01 a DAD-18: descidas d'água em degraus, de seção retangular e normalmente usadas em aterros, sendo as de números ímpares executadas em concreto simples e as de números pares, em concreto armado. Cada modelo se acopla melhor a um tipo específico de dispositivo, podendo-se consultar o álbum de drenagem para esta verificação.

3.5 DISSIPADOR DE ENERGIA

Dissipadores de energia são dispositivos que têm a função de reduzir a energia de fluxos d'água concentrados por outros dispositivos de drenagem, promovendo a redução de velocidade de escoamento, minimizando os efeitos erosivos quando da disposição final junto ao terreno natural. Podem ser do tipo localizado ou contínuo, sendo este grupo o mais usual.

O dissipador do tipo contínuo tem como objetivo, mediante a dissipação de energia, diminuir a velocidade da água continuamente ao longo de seu percurso, de modo a evitar o fenômeno da erosão em locais que possam comprometer a estabilidade do corpo estradal.

Localizam-se, em geral, ao final das descidas d'água ou das sarjetas e valetas, ou ainda no deságue de bueiros. Conforme sejam destinados para uso em conjunto com um desses dispositivos, poderão ser assim nomeados:

- DES-01 a DES-04: dissipadores de energia aplicáveis a saída de sarjetas e valetas, construídos em pedra-de-mão, argamassa e concreto;
- DEB-01 a DEB-13: dissipadores de energia aplicáveis à saída de bueiros tubulares e descidas d'água de aterro, construído em pedra-de-mão, argamassa e concreto (para saber o tipo que melhor se adapta a cada tipo de dispositivo, recomenda-se consultar o álbum de dispositivos);
- DED-01: dissipador de energia aplicável a saída de descida d'água de aterro tipo rápida, construído em concreto.

Para exemplificar alguns modelos, são apresentadas as figuras 3.19 e 3.20.

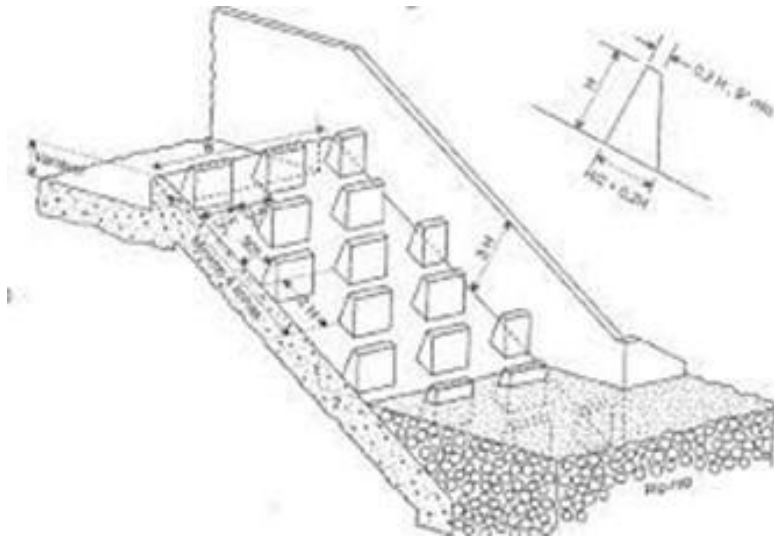


Figura 3.19 – Croqui com detalhe de dissipador de energia.



Figura 3.20 – Dissipador de energia em construção nas obras de duplicação da BR-304/RN.
(Fonte: próprio autor).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem**. Rio de Janeiro, IPR, 5 ed., DNIT, 2018.

BRASIL. **Diretrizes Básicas para Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/ Instruções de Serviço**. Rio de Janeiro, IPR, 3 ed. DNIT, 2006.

BRASIL. **Manual de Drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro, IPR, 2 ed. DNIT, 2006.

BRASIL. **Manual de Implantação Básica**. Rio de Janeiro, IPR, 2 ed., DNER, 1996.

MORALES, Paulo Roberto Dias. **Manual Prático de Drenagem**. Rio de Janeiro, IME, 1 ed., 2003.

CEDERGREN, Harry R. **Drenagem dos Pavimentos de Rodovias e Aeródromos**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, IPR, 1980.

MICHELIN, Renato G. **Drenagem Superficial e Subterrânea de Estradas**. Porto Alegre, 1973.

SUZUKI, Carlos Yukio. AZEVEDO, Ângela Martins. KABBACH, Felipe Issa. **Drenagem Subsuperficial de Pavimentos: Conceitos e Dimensionamento**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013.