

CONCORRÊNCIA INTERNACIONAL Nº [●]/[●]

ANEXO V

**PROJETOS REFERENCIAIS DOS ESTUDOS DE VIABILIDADE E ORÇAMENTOS-
OBRAS CIVIS (VIA PERMANENTE / OAEs)**

1 VIA PERMANENTE – GEOMETRIA E TERRAPLENAGEM

1.1 PROJETO PLANIALTIMÉTRICO

O Projeto Planialtimétrico é apresentado, segundo os 4 eixos do Projeto Geométrico, em pranchas sequenciais de planta e perfis longitudinais, a seguir definidas:

- Eixo 1: Pranchas 01/02 a 02/02
 - Entrevista: 3,50 m
 - Largura Total: 7,20 m
 - Extensão: 1.900 m
 - Ponto Inicial: Estação Hípica
 - Ponto Final: Via W3 - CRS 516 – Concordância com os Eixos 2 e 3
- Eixo 2: Pranchas 01/10 a 10/10
 - Entrevista: 13,70 m (correspondente ao Canteiro Central de 10 m + 2 x 1,85 m de recuos laterais).
 - Largura Total: Via Singela com faixa de 3,70 m
 - Extensão: 14.442,629 m
 - Ponto Inicial: Via W3 - CRS 516
 - Ponto Final: Estação TAN – Ponto Final do Pátio Asa Norte
- Eixo 3: Pranchas 01/10 a 10/10
 - Entrevista: 13,70 m (correspondente ao Canteiro Central de 10 m + 2 x 1,85 m de recuos laterais).
 - Largura Total: Via Singela com faixa de 3,70 m
 - Extensão: 14. 403,979 m
 - Ponto Inicial: Via W3 - CRS 516
 - Ponto Final: Estação TAN – Ponto Final do Pátio Asa Norte
- Eixo 4: Pranchas 01/04a 04/04
 - Entrevista: 3,50 m
 - Largura Total: 7,20 m
 - Extensão: 6.132,980 m
 - Ponto Inicial: Estação Aeroporto
 - Ponto Final: Estação Hípica – Concordância com o Eixo 1

1.1.1 Dados Técnicos do Traçado

- Eixo 1 - Linha 1 (Vias 1 e 2):
 - Raio Mínimo: 100 m
 - Raio Máximo: 200 m
 - Velocidades: Entre 30 e 40 km/h

- Rampa Máxima: 6,41%
- Extensão em Rampa Máxima: 40 m
- Rampa Máxima nas Estações: 0,00%
- Eixo 2 - Linha 1 (Via 1):
 - Raio Mínimo: 76,85 m
 - Raio Máximo: 10.006,85 m
 - Velocidades: Entre 26 e 60 km/h
 - Rampa Máxima: 6,90%
 - Extensão em Rampa Máxima: 40 m
 - Rampa Máxima nas Estações: 3,42%
- Eixo 3 - Linha 1 (Via 2):
 - Raio Mínimo: 63,15 m
 - Raio Máximo: 9.993,15 m
 - Velocidades: Entre 26 e 60 km/h
 - Rampa Máxima: 7,00%
 - Extensão em Rampa Máxima: 30 m
 - Rampa Máxima nas Estações: 3,43%
- Eixo 4 - Linha 2 (Vias 1 e 2):
 - Raio Mínimo: 70 m
 - Raio Máximo: 1.000 m
 - Velocidades: Entre 26 e 70 km/h
 - Rampa Máxima: 7,00 %
 - Extensão em Rampa Máxima: 70 m
 - Rampa Máxima nas Estações: 0,58%

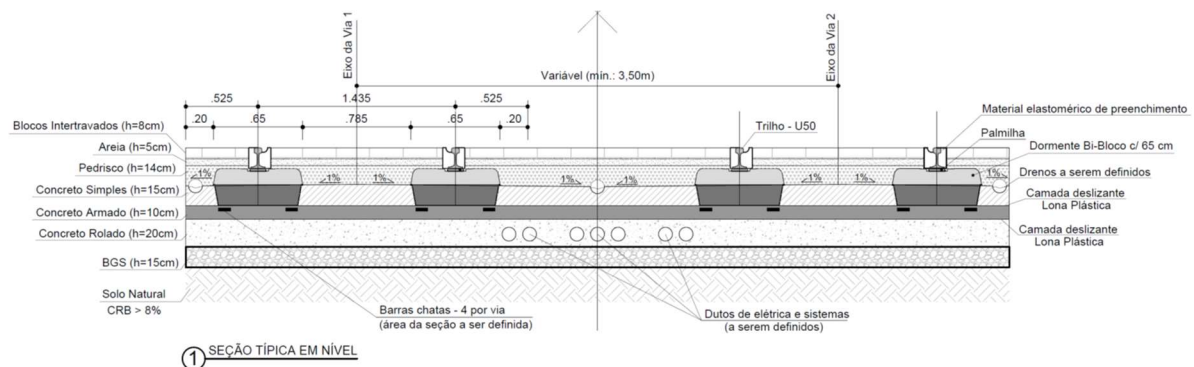
1.2 PROJETO DE TERRAPLENAGEM

O Projeto de Terraplenagem tem como objetivo apresentar os volumes de movimentos de terra de corte e aterros nos eixos projetado, de acordo com as seções transversais definidas no Projeto de Via Superestrutura e Infraestrutura Ferroviária relativas a cada eixo projetado, consistindo em:

- Eixo 1 – Trecho Hípica – W3
 - Via Dupla, com entrevia de 3,50 m
 - Superestrutura: Sistema LVT (Low Vibration Track) com dormentes bi-blocos de concreto assentados em concreto simples de regularização, com palmilhas e galochas.
 - Infraestrutura: Concreto Armado sobre Concreto Rolado sobre Base de Brita Graduada Simples (BGS).

A solução de Via Permanente rígida foi adotada nesse trecho por se tratar de um sítio urbano (STS) que será objeto de intervenções de urbanização intensiva, ou seja, a via deverá se conjugar com as pavimentações adjacentes de pistas rodoviárias, calçadas e ciclovias.

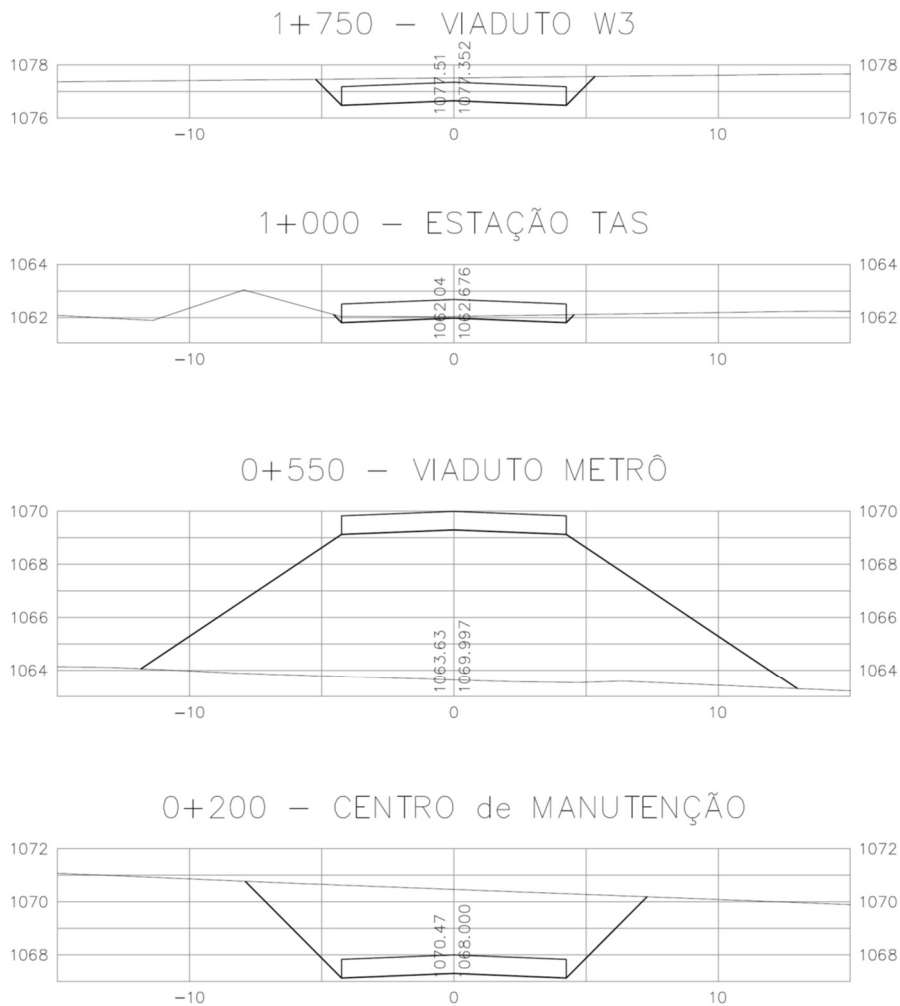
Figura 1-1 – Via Permanente Eixo 1 – STS – SHIP



O perfil de terraplenagem adotado nesse trecho Hípica – W3 adotou três premissas:

- Perfil rente ao terreno natural e às vias urbanas construídas e projetadas no trecho entre a Via W3 e o Acesso ao TAS, no STS;
- Perfil com diretriz de aterro no STS, a fim de garantir a eficiência da drenagem transversal à via permanente; e
- Perfil em corte no trecho adjacente ao Centro de Manutenção – CM, visando reduzir as rampas de ingresso nos pátios de estacionamento.

Figura 1-2 – Terraplenagem do Eixo 1 – Seções Transversais – Exemplo



- Eixos 2 e 3 – Trecho W3 – CRTS 516 – TAN
 - Vias Singelas nas laterais do canteiro central da Via W3, com faixa de 3,70 m.
 - Superestrutura: Sistema LVT (Low Vibration Track) com dormentes bi-blocos de concreto assentados em concreto simples de regularização, com palmilhas e galochas.
 - Infraestrutura: Concreto Armado sobre Concreto Rolado sobre Base de Brita Graduada Simples (BGS).

Em ambas as vias 1 e 2, laterais ao canteiro central da Via W3 a diretriz de projeto é de lançamento do perfil com topo do boleto do trilho rente ao pavimento atual da via urbana, com ajustes somente para correção de deformações.

Figura 1-3 – Via Permanente Eixos 2 e 3 – W3 – CRTS 516 – TAN

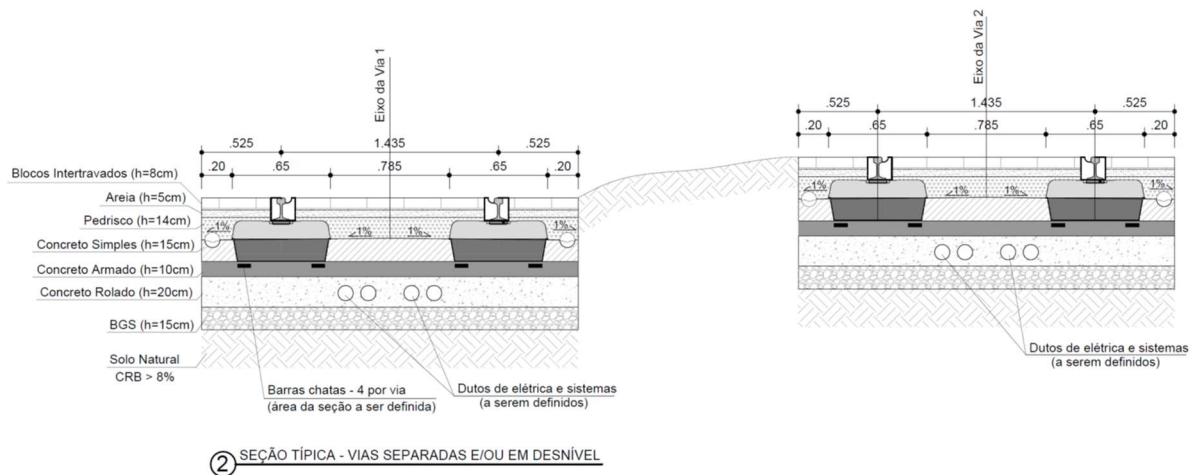
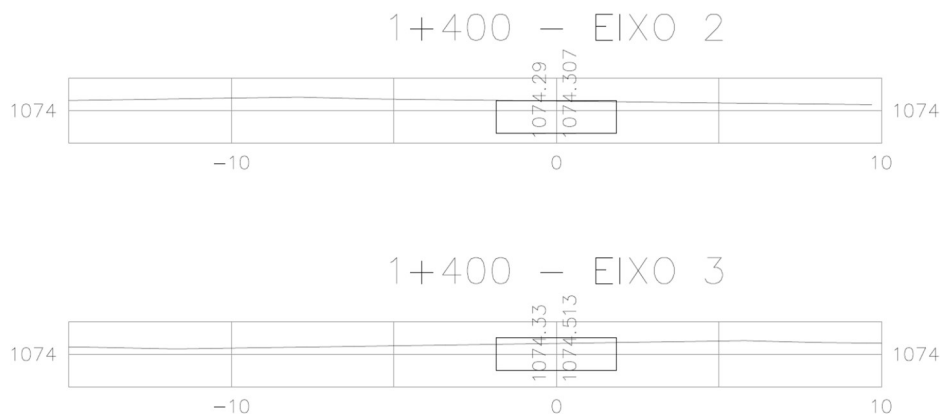


Figura 1-4– Terraplenagem dos Eixos 2 e 3 – Seções Transversais – Exemplo



- Eixo 4 – Trecho W3 – CRTS 516 – TAN
 - Via Dupla, com entrevia de 3,50 m
 - Superestrutura:
 - Trechos: Estação Aeroporto – EPAR – Estaca 0+0,00 a 1+600 e Estação ZOO – Hípica – Estaca 5+300 a 6+133
Sistema LVT (Low Vibration Track) com dormentes bi-blocos de concreto assentados em concreto simples de regularização, com palmilhas e galochas.
 - Trecho: Estaca 1+600 até 5+300
Via sobre Lastro com dormentes de concreto protendido.
 - Infraestrutura:
 - Trecho: Estação Aeroporto – EPAR – Estaca 0+0,00 a 1+600 e Estação ZOO – Hípica – Estaca 5+300 a 6+133
Concreto Armado sobre Concreto Rolado sobre Base de Brita Graduada Simples (BGS).

- Trecho: Estaca 1+600 até 5 + 300
Sublastro sobre solo natural com CBR > 8%

Adota-se dois tipos de via permanente na Linha 2 - Hípica – Aeroporto:

- Via no Sistema LVT nos trechos mais urbanizados do Setor Hípico e EPAR no Sítio Aeroportuário, onde há maior atrito com as áreas urbanizadas; e
- Via com dormentes de concreto e lastro de brita, nos segmentos menos urbanizados do Setor Park Way e na travessia da APA do Riacho Fundo. Nesse trecho a via com lastro reduz a impermeabilização do solo, tornando a drenagem mais natural.

Figura 1-5 – Via Permanente Eixo 4 – Trechos: Estação Aeroporto – EPAR – Estaca 0+0,00 a 1+600 e Estação ZOO – Hípica – Estaca 5+300 a 6+133

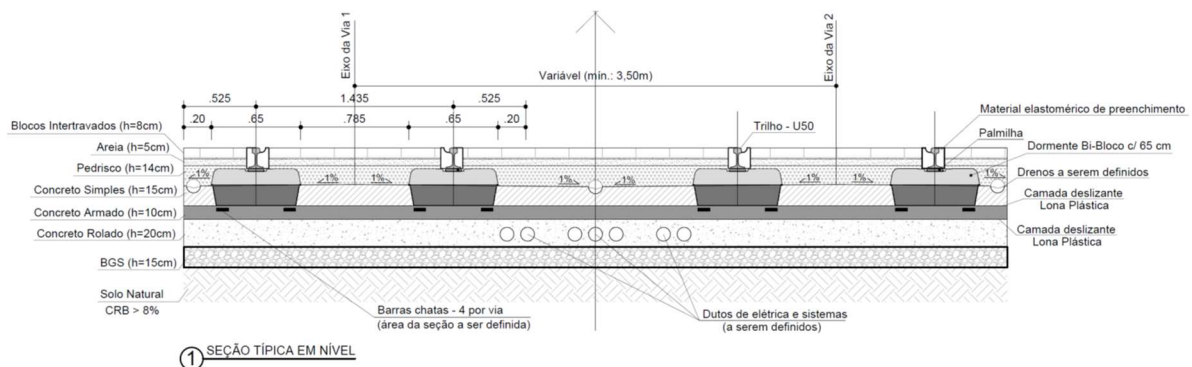
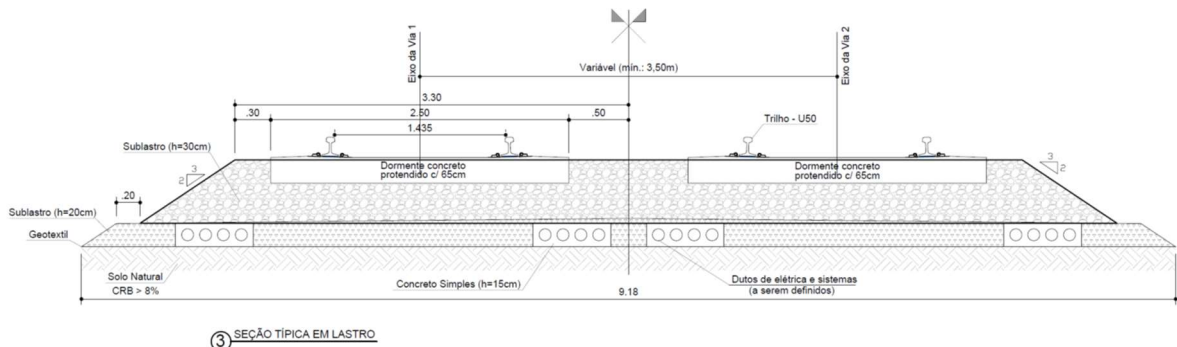


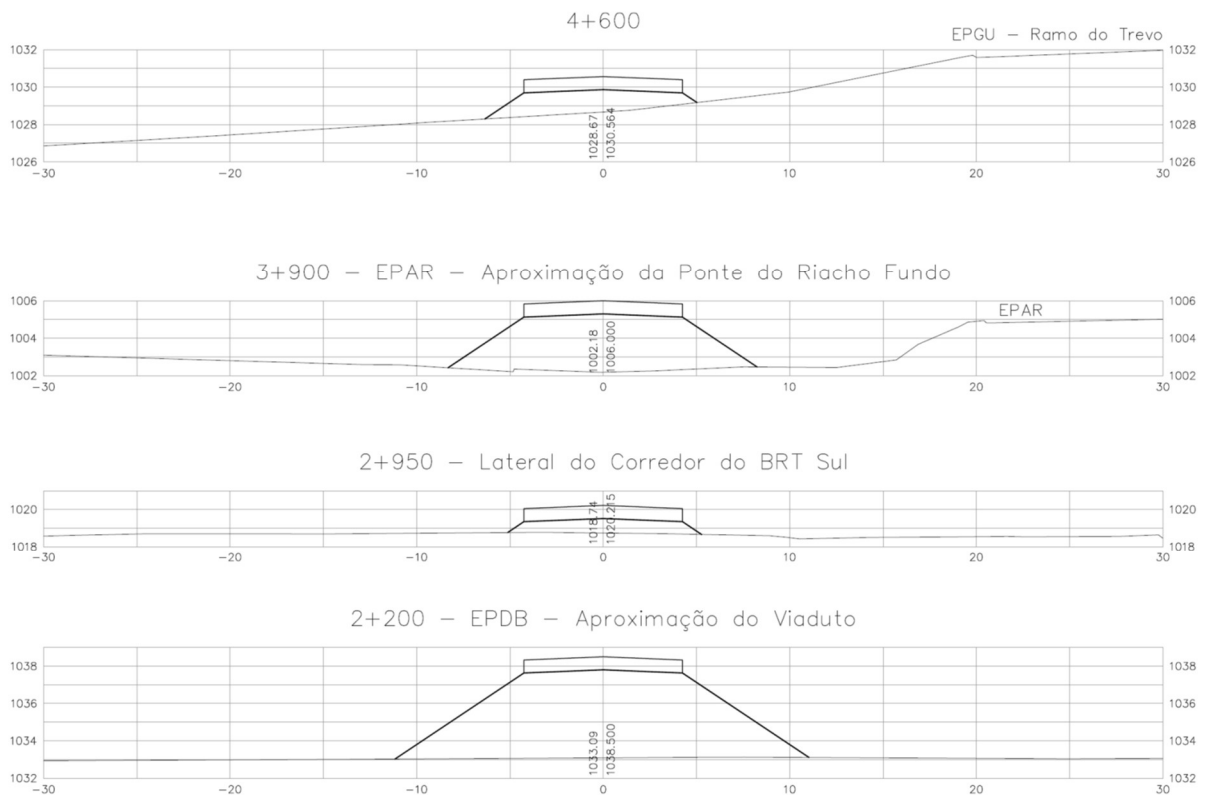
Figura 1-6 – Via Permanente Eixo 4 – Trecho: Estaca 1+600 até 5+300



No Eixo 4 a diretriz de traçado mantém greide rente às áreas urbanizadas da estaca 0+000 até a fronteira do Sítio Aeroportuário na estaca 1+600.

A partir desse ponto e até a Estação ZOO, na EPGU, o perfil do topo do boleto se posiciona sempre em aterro, a fim de garantir o escoamento natural das águas pluviais em dispositivos de coleta e lançamento local. Busca-se ainda nesse trecho adequar

Figura 1-7 – Terraplenagem do Eixo 4 – Seções Transversais – Exemplo



1.2.1 Volumes de Terraplenagem – Eixos 1 e 4

Foram calculados através de seções transversais os volumes de corte e aterro relativos aos Eixos 1 e 4, onde a via permanente tem implantação em terreno natural.

Os Eixos 2 e 3, correspondentes às faixas a serem escavadas na Via W3 e Via do STN, foram calculados considerando os “greides” rentes ao pavimento, em corte com a profundidade de 90 cm, nas faixas já indicadas nos projetos de superestrutura e infraestrutura ferroviária.

2 PROJETO DE DRENAGEM

O presente capítulo apresenta o Anteprojeto do Sistema de Drenagem Pluvial do Veículo Leve sob Trilhos – VLT nas Linhas 1 - Hípica / W3 e Linha 2 Aeroporto – Hípica, em Brasília/DF.

A elaboração do estudo em questão foi feita de acordo com normativo abaixo descrito:

- Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial – (05/ 2019).

O principal objetivo do projeto é de suprir as deficiências da atual rede de galerias de águas pluviais da Via W3, abrangendo inclusive a região mais abrangente que a área de influência do traçado do VLT.

O conceito utilizado para a drenagem dos trechos foi a drenagem de áreas a montante da W3 Sul e Norte por meio de redes interceptoras que partem das vias W4 e W5 e descem transversalmente a via W3 Sul e Norte além da caixa desta via.

Os lançamentos se deram em redes existentes a partir do diâmetro de 1000 mm, mas priorizados preferencialmente diâmetros superiores a este em galerias existentes.

Especificamente na Via Permanente do VLT-W3 deverão haver captações laterais ao canteiro central da via, nos bordos externos e ainda em dispositivos previstos na superestrutura ferroviária projetada.

A locação genérica das redes obedece ao alinhamento do canteiro central, onde não há dispositivos de drenagem existentes. Interligam-se a essa rede da Via W3 os demais ramais transversais, além dos ramais de bocas de lobo e caixas de coleta na via permanente.

2.1 DIMENSIONAMENTO

2.1.1 Vazões de Projeto

O cálculo das descargas de concepção, para fins de dimensionamento foi feito segundo o “Método Racional”, que estabelece uma relação direta do deflúvio e a precipitação pluviométrica.

Segundo a CETESB(1979) a aplicação do método racional requer a adoção de algumas premissas básicas, são elas:

- O pico do deflúvio superficial direto, relativo a um dado ponto do projeto, é função do tempo de concentração respectivo, assim como da intensidade da chuva, cuja duração, é suposta como sendo igual ao tempo de concentração em questão.
- As condições de permeabilidade das superfícies permanecem constantes durante a ocorrência da chuva.
- O pico do deflúvio direto ocorre quando toda a área de drenagem, a montante do ponto de projeto, passa a contribuir no escoamento.

Após a definição do “layout” da rede de drenagem pretendida, foi traçada a área de contribuição, a fim de proceder ao seu dimensionamento.

O “Método Racional” utilizado tanto para o cálculo das descargas para fins de dimensionamento das bocas de lobo, como das redes coletoras, é representado pela seguinte equação:

$$Q = C \times i \times A$$

Onde:

Q - vazão (l/s);

C - coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I - intensidade da chuva crítica (l/s/ha);

A - área da bacia que contribui para a seção (ha).

2.1.2 Parâmetros de Projeto

2.1.2.1 Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O coeficiente de escoamento superficial, que expressa a parcela da precipitação que não evaporou, não se infiltrou, não ficou retida nas depressões do terreno, não foi interceptada pelos vegetais e que não evapotranspirou, foi determinada com base nos seguintes valores, recomendados pela NOVACAP:

- 0,90 para as áreas calçadas ou impermeabilizadas;
- 0,70 para as áreas intensamente urbanizadas e sem áreas verdes;
- 0,40 para as áreas residenciais com áreas jardinadas;
- 0,15 para as áreas integralmente gramadas.

O coeficiente de escoamento superficial adotado no presente projeto foi $c=0,90$, para garantir uma maior segurança ao empreendimento.

2.1.2.2 Intensidade de Chuva Crítica (i)

Utilizou-se a curva de intensidade versus duração de chuva, elaborada para a região de Brasília e entorno (inclusive Formosa), pelo Eng.º Francisco J. S. Pereira, que tem a seguinte expressão:

$$i = \frac{21,7 \times F^{0,16}}{(Tc + 11)^{0,815}} \times 166,7$$

Onde:

i - Intensidade de chuva crítica (mm/min.);

F - Tempo de recorrência (anos);

Tc - Tempo de concentração (min);

166,7 - Coeficiente da transformação de mm/min. em l/s/ha.

Para determinação da intensidade crítica, foram calculados os tempos de concentração (frequência) e igualados ao tempo de duração da chuva.

Foi adotado o tempo de recorrência de 10 anos para a determinação da intensidade de chuva crítica deste estudo.

$$F = T_r = 10 \text{ anos}$$

Este tempo de deslocamento varia com a distância e com as características do terreno, tais como depressões e granulometria do solo.

O cálculo do tempo de concentração foi efetuado através da seguinte equação:

$$T_c = t_e + t_p$$

Onde:

T_c - tempo de concentração (min);

t_e - tempo de deslocamento superficial ou tempo de entrada na rede (min);

t_p - tempo de percurso (min).

Nesse sentido foi adotado um tempo de concentração para o PV.1.1 de 15 minutos.

O tempo de percurso (T_p) é o tempo de escoamento das águas no interior da rede, desde sua entrada até a seção considerada. Este tempo é determinado com base na equação:

$$T_p = \frac{L}{v}$$

Onde:

T_p - Tempo de percurso (s);

L - Comprimento do trecho de rede (m);

v - Velocidade das águas no interior da rede (m/s).

2.1.2.3 Dimensionamento Hidráulico

Para dimensionamento da rede, utilizou-se o software C3DRENESG.

O C3DRENESG é um programa de dimensionamento de redes de drenagem e esgoto urbanos que roda dentro do Autodesk Civil 3D®.

Ele utiliza o método racional para o cálculo da vazão e calcula a velocidade real do escoamento, levando em conta apenas a área da seção molhada.

O C3DRENESG avalia a lâmina real escoando iterativamente, da seguinte forma:

Arbitrando a altura da lâmina, procede-se o cálculo da área molhada (Área Molhada) e do perímetro molhado (Perímetro Molhado) em função da geometria da seção transversal.

Calcula-se o raio hidráulico através da fórmula (rh):

$$R = \frac{AM}{PM}$$

Onde:

R – raio hidráulico em (m)

AM – área molhada em (m)

PM – perímetro molhado em (m)

E por fim calcula-se a velocidade do escoamento por meio da fórmula de Manning.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Onde:

V – Velocidade d'água na Seção (m/s);

R – Raio Hidráulico (m);

I – Declividade do Coletor (m/m);

N – Coeficiente de Rugosidade de Manning.

3 OBRAS DE ARTE ESPECIAIS – PONTES E VIADUTOS

Na concepção urbanística e de traçado do VLT/W3 optou-se por atender às travessias de faixas de domínio das rodovias e do metrô na forma de elevados ferroviários. Trata-se do modo menos oneroso do ponto de vista de custo de obras civis e que ainda exige menos custos de manutenção e operação para o sistema VLT.

O sistema estrutural adotado foi de superestrutura metálica sobre a mesoestrutura e infraestrutura em concreto estrutural. Esse sistema é capaz de conferir leveza aos elevados e pontes, minimizando os impactos na paisagem urbana de Brasília.

O aspecto final das obras é semelhante ao de uma passarela metálica, frequentemente utilizadas dentro da área do polígono de tombamento de Brasília. O perfil estrutural que se pronuncia na fachada das OAE tem cerca de 1 m de altura, com vãos de 30 m entre pilares, enquanto que as vigas metálicas longitudinais são recuadas, na sombra do tabuleiro, de modo a garantir a leveza da fachada.

Na Linha 1 – Trecho Hípica – TAN – só é proposta uma OAE, em viaduto ferroviário, sobre a linha do Metrô/DF e acesso ao TAS, com vão total de 90 m, sendo dois vãos de 15 m nos encontros e mais dois vãos de 30 m.

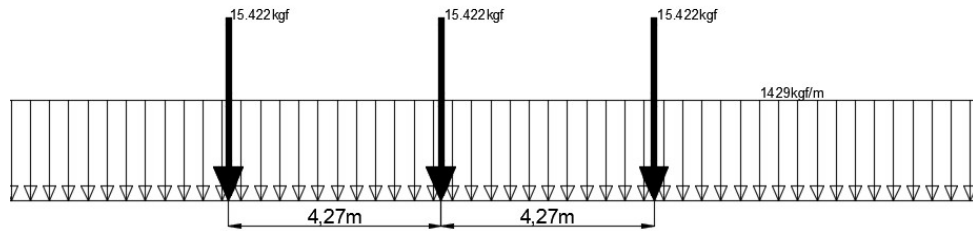
Na Linha 2 – Trecho Hípica – Aeroporto - são previstas três obras de artes especiais:

- Viaduto da EPGU (Zoo), com extensão de 220 m, com gabarito vertical de 5,50 m, sobre as quatro pistas da rodovia;
- Ponte sobre o Riacho Fundo, à montante da ponte atual da EPAR, com extensão de 30 m; e
- Viaduto sobre a EPDB (Balão do Aeroporto), com extensão de 140 m, sobre as pistas do BRT Sul, EPDB e Trincheira Rodoviária da EPDB (sentido Brasília).

3.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A tipologia estrutural adotada é composta por quatro vigas metálicas longitudinais, uma sob cada dormente, com transversina de travamento com aproximadamente 5 m de espaçamento. A solução do tabuleiro é em laje moldada in loco com steel deck com altura de 75 mm de formas e altura total da laje de 14 cm, sem uso de escoramento. Pilares em concreto armado sobre blocos de coroamento de estacas raiz.

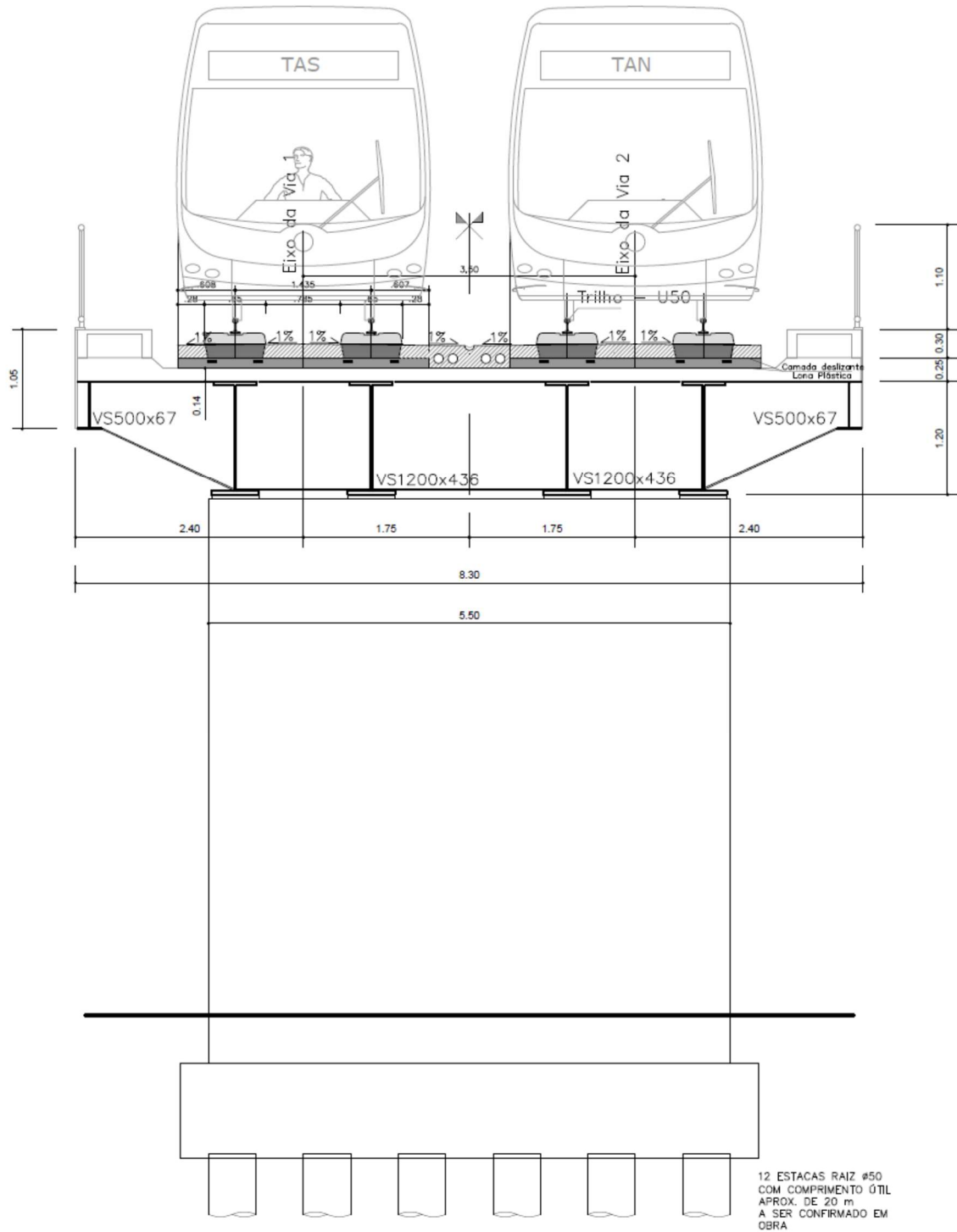
Para o dimensionamento das estruturas e fundações dos viadutos, foram considerados o peso próprio da estrutura e da via permanente mais o carregamento do trem-tipo LRT-16, conforme a norma para Veículos Leve sobre Trilhos “*Guide Specifications for Brige Carrying Light Rail Transit Load*”, da AASHTO, publicado em 2018. O trem tipo é composto por 3 cargas concentradas e uma carga distribuída ao longo de cada via com valores apresentados na figura abaixo:



Foram consideradas ainda força centrífuga, força de frenagem e aceleração de também de acordo com a referida norma. Foi considerada também força devida à ação do vento calculada de acordo com a NBR 6123:1988.

Os desenhos também são apresentados no Caderno 4 - Estudo de Engenharia – Desenhos

Figura 3-1 – Seção Estrutural Típica



3.1.1 Fundações

As sondagens adotadas se referem sempre a locais próximos às obras de arte do VLT. Os laudos mostram que o subsolo local é constituído por uma argila arenosa vermelha que é porosa junto a superfície e vai gradativamente se tornando mais resistente com o aumento de profundidade.

Tendo em vista as características do subsolo, as cargas e questões de acesso de equipamento a solução mais indicada é através de estacas tipo raiz. Estima-se que o comprimento genérico (abaixo do nível do terreno natural) seja em torno de 20 m.

3.2 VIADUTO SOBRE O METRÔ/DF E ACESSO AO TAS

O Viaduto sobre o Metrô/DF e Acesso ao TAS tem implantação esconsa em relação ao eixo do metrô, pelo fato da linha do VLT estar alinhada com os lotes do Setor Terminal Sul – STS.

O viaduto é composto de quatro vãos, sendo os encontros com vãos de 15 m e os vãos centrais com 30 m. Nessa disposição os pilares e taludes se situam sempre fora da faixa de domínio do metrô.

As figuras 4.2 e 4.3 apresentam as disposições em planta e perfil da OAE.

Os desenhos também são apresentados no Caderno 4 - Estudo de Engenharia – Desenhos

Figura 3-2 – Viaduto sobre a linha do Metrô/DF e acesso ao TAS - Planta

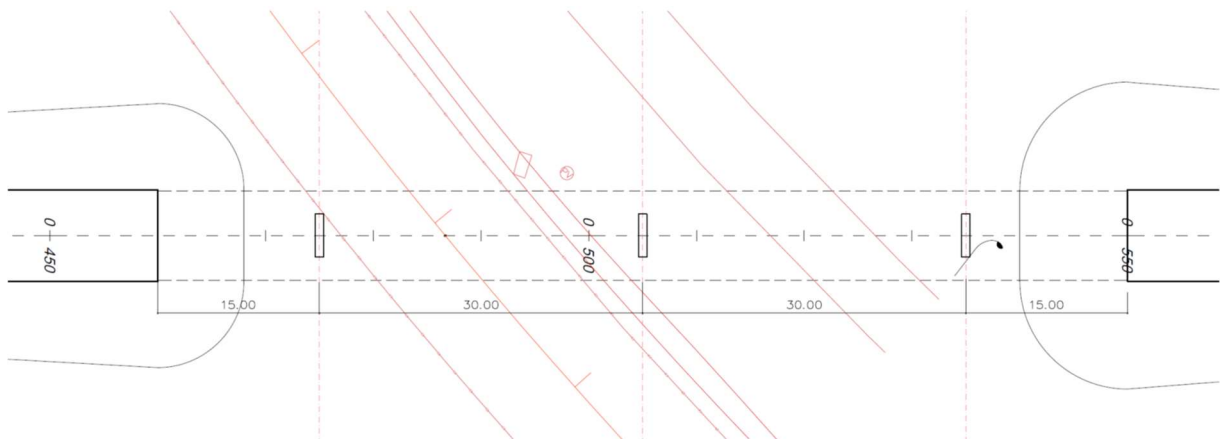
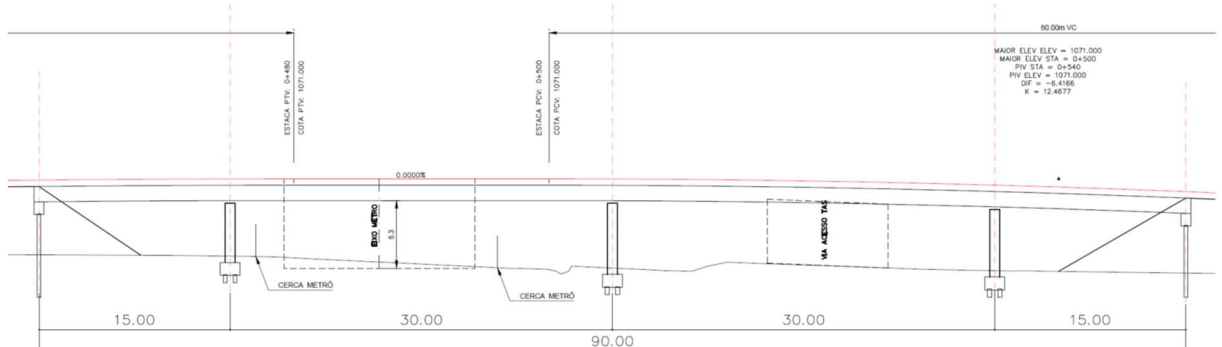


Figura 3-3 – Viaduto sobre a linha do Metrô/DF e acesso ao TAS - Perfil



3.3 VIADUTO SOBRE A EPGU

O Viaduto sobre a EPGU tem implantação em curva, com raio de inscrição de 100 m, com perfil em rampa ascendente no sentido do Setor Hípico, com 6.4594% e 1.7930%.

A disposição dos vãos e pilares busca evitar interferências com as vias expressas e marginais da EPGU, sendo localizados nos canteiros centrais e laterais da rodovia, com vãos entre 20 m e 35 m.

As figuras 4.4 e 4.5 apresentam as disposições em planta e perfil da OAE.

Os desenhos também são apresentados no Caderno 4 - Estudo de Engenharia – Desenhos

Figura 3-4 – Viaduto sobre a EPGU - Planta

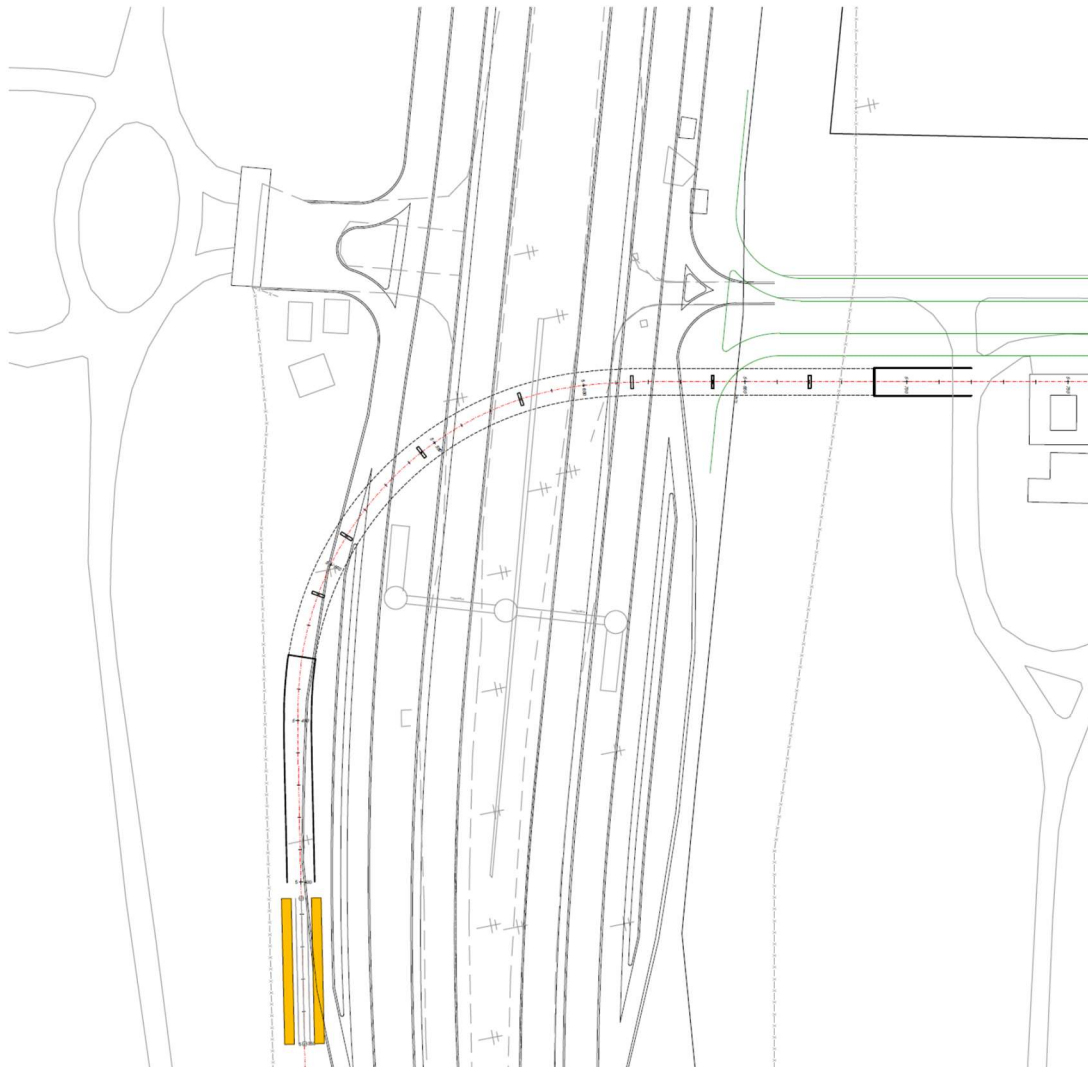
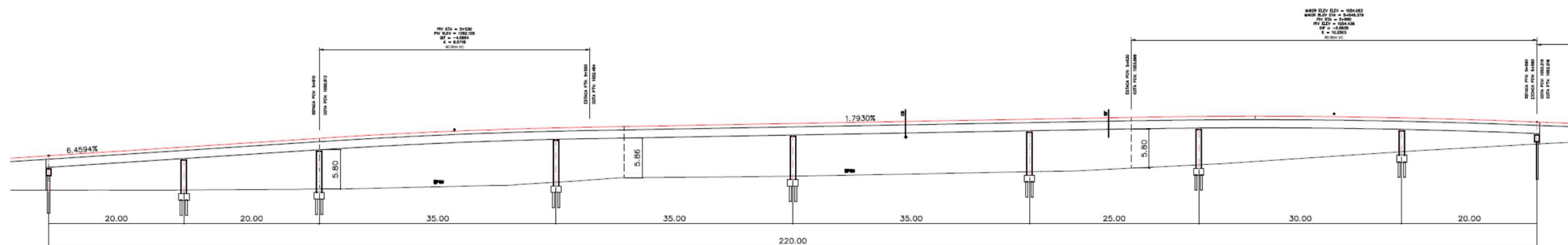


Figura 3-5 – Viaduto sobre a EPGU - Perfil



3.4 PONTE SOBRE O RIACHO FUNDO

A Ponte sobre o Riacho Fundo tem implantação à montante da ponte existente construída pelo DER/DF, guardando-se a distância de 7 m entre as duas obras. Ambas as obras deverão ser niveladas na mesma cota, para isso a cota do boleto do trilho do VLT foi posicionada 40 cm acima da cota de tabuleiro da ponte rodoviária.

O vão total projetado é de 50 m, em dois vãos de 25 m, sendo 15 m mais extensa que a ponte existente, a fim de garantir que os encontros possam ser taludados.

As figuras 4.6 e 4.7 apresentam as disposições em planta e perfil da OAE.

Os desenhos também são apresentados no Caderno 4 - Estudo de Engenharia – Desenhos

Figura 3-6 – Ponte sobre o Riacho fundo - Planta

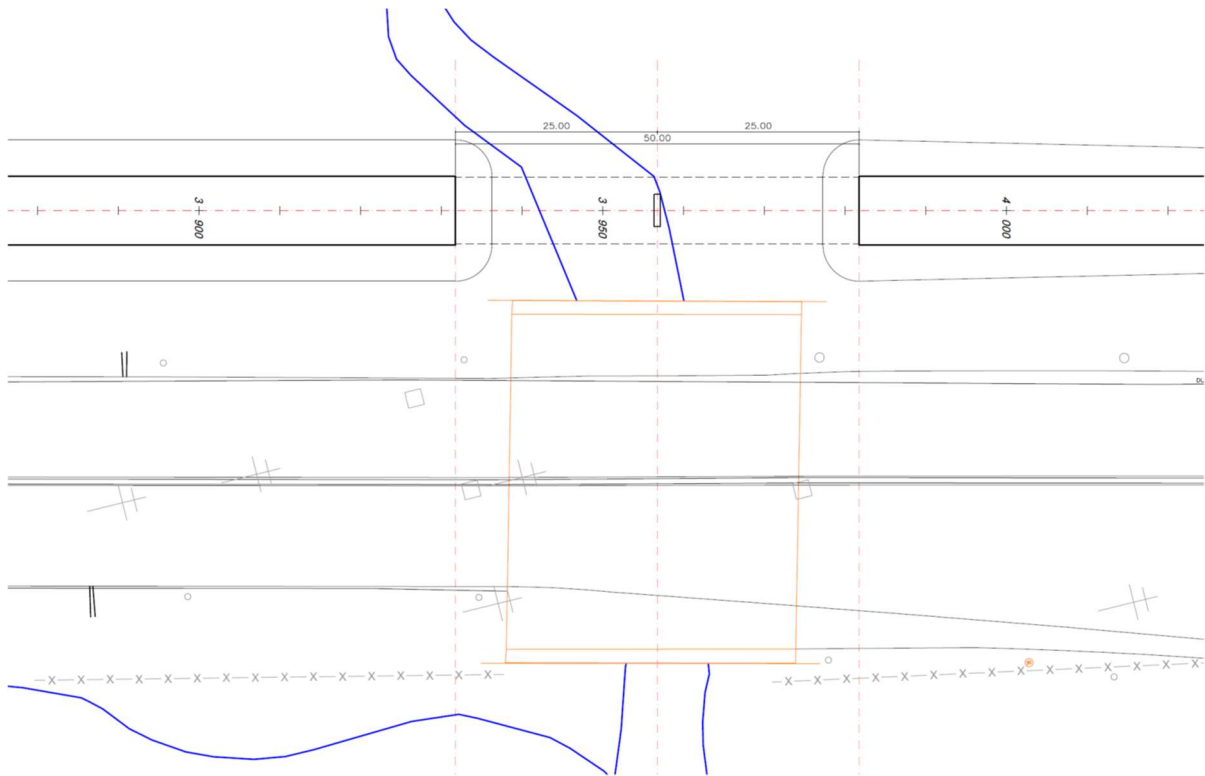
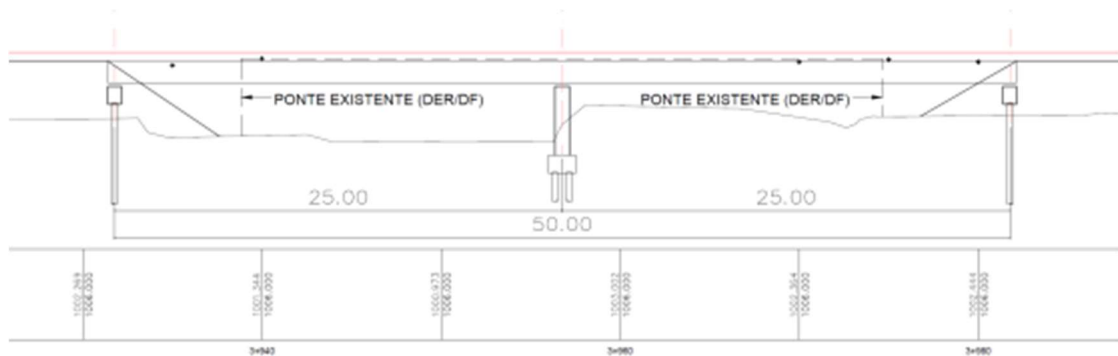


Figura 3-7 – Ponte sobre o Riacho fundo - Perfil



3.5 VIADUTO SOBRE A EPDB

O viaduto proposto sobre a EPDB tem vão total de 150 m, a ser implantado sobre três eixos viários: O acesso à trincheira da EPDB, as pistas expressas da EPDB e a pista do corredor do BRT Sul.

O traçado geométrico do VLT nesse trecho tem inscrição em curva com raio de 300 m, o que permite que os veículos operem com velocidade de 70 km/h.

Os vãos intermediários variam entre 20 m e 35 m, com pilares posicionados sempre nas laterais das pistas e canteiro central da EPDB.

As figuras 4.8 e 4.9 apresentam as disposições em planta e perfil da OAE.

Os desenhos também são apresentados no Caderno 4 - Estudo de Engenharia – Desenhos

Figura 3-8 – Viaduto sobre a EPDB - Planta

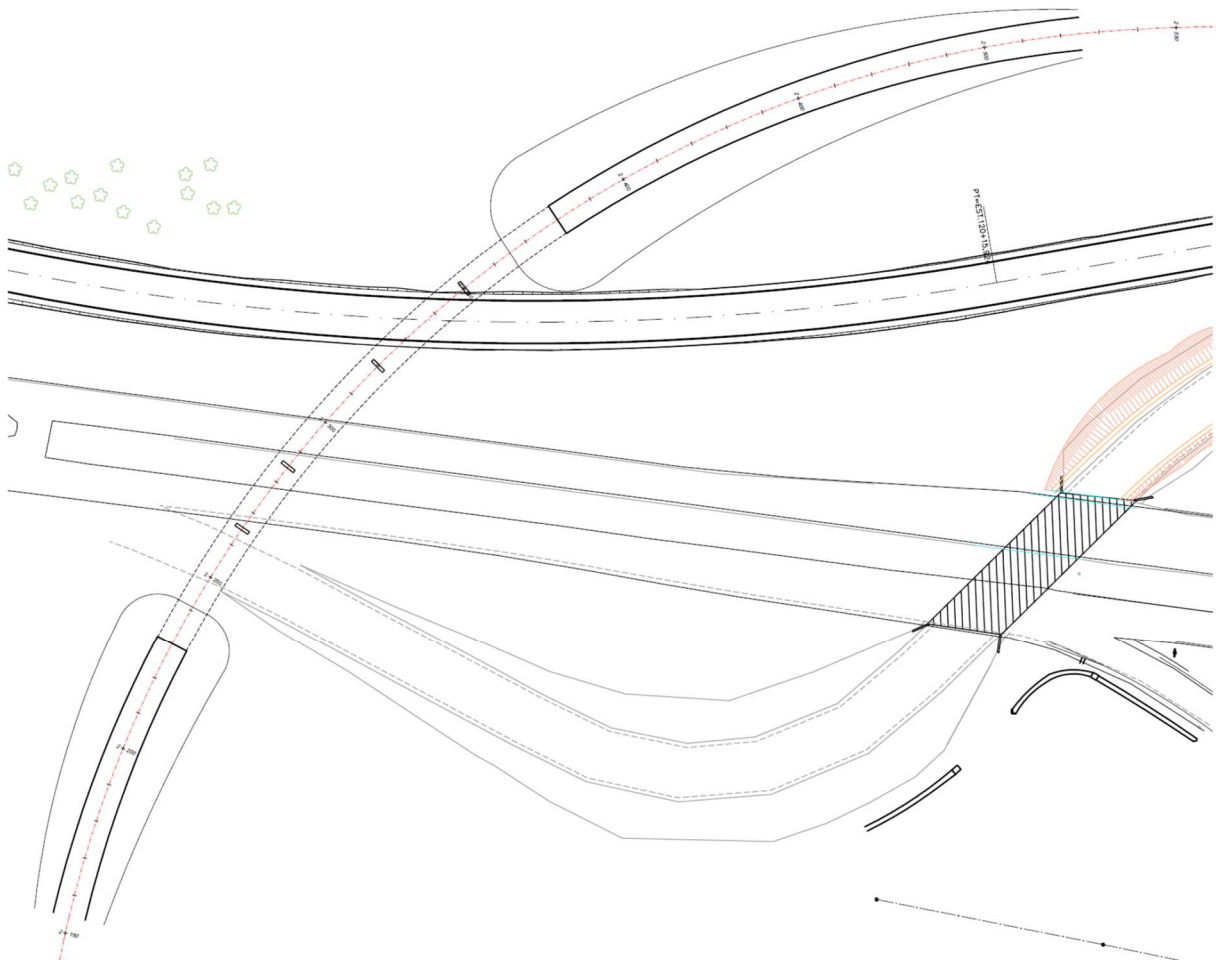
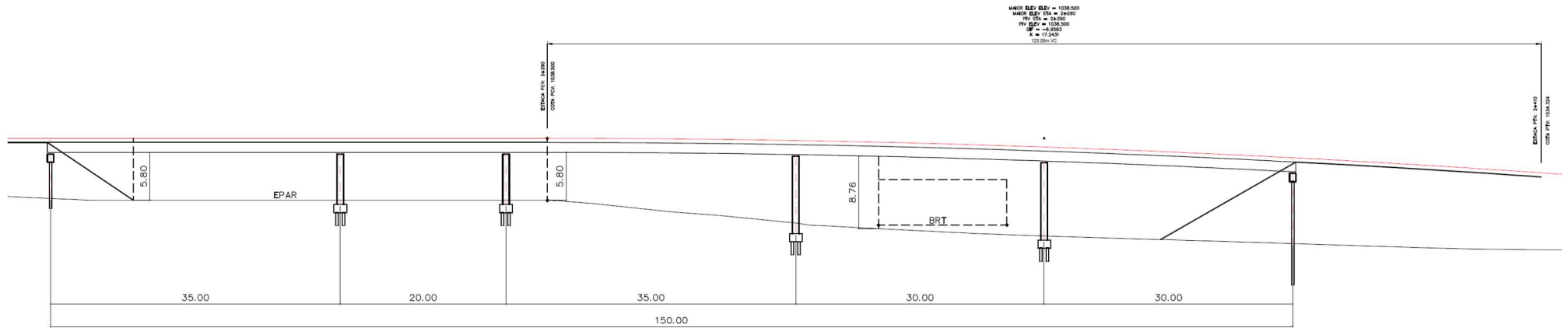


Figura 3-9 – Viaduto sobre a EPDB – Perfil



4 VIA PERMANENTE

A denominada via permanente, estrutura que permitirá o tráfego dos veículos, deverá apresentar “estabilidade” adequada, de maneira a assegurar a operação comercial segura, bem como “elasticidade” adequada, de modo a garantir que os níveis de vibração transmitidos pela operação não ultrapassem os limites prescritos pelos códigos e leis e/ou normas técnicas vigentes. Devem ainda ser analisados os níveis de ruído primários que atingirão os receptores que existem ao longo da linha, tanto no período diurno quanto no período noturno, mais uma vez limitando-os aos limites legais.

Além disso, a transmissão das tensões deve ser realizada de maneira harmônica, garantindo a sua vida útil e de seus componentes, garantindo segurança e conforto aos seus usuários e moradores lindeiros à via.

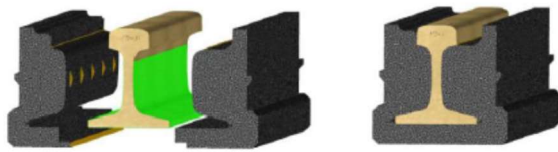
Em relação à interferência com o meio no qual será inserido, os componentes para transposição de vias e passagens (pedestres e veículos) e o acabamento da via permanente devem ser compatíveis com as vias urbanas já existentes e a arquitetura/urbanismo da cidade.

O projeto desenvolvido, previu as seguintes premissas:

- Bitola 1.435 mm
- Velocidade máxima operacional: 70 km/h
- Headway mínimo: 3 min
- Horário Operacional: 20 horas
- Raio mínimo curva horizontal (vias principais): 50 m
- Raio mínimo curva horizontal (pátio): 25 m.
- Entrelaço: $\geq 3,50$ m
- Lubrificador de trilhos e flange de roda embarcado
- Carga por eixo máxima: 12 tf
- Distância aproximada entre truques: 11 m
- Distância entre eixos: 1,6 m

A via permanente do VLT apresenta variações de configuração conforme o local em que será construída. Nas regiões fortemente urbanizadas, a via permanente do VLT pode ser do tipo encapsulada, constituída por jaquetas de borracha, que se inserem de forma adequada no pavimento rodoviário e passeios públicos, conforme pode ser observado na Figura 5.1. Nesses locais, a via pode ser, também, com dormentes de concreto apoiados sobre laje, ou mesmo, com o trilho aplicado diretamente sobre a laje.

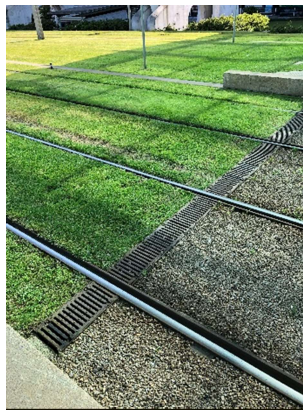
Figura 4-1 - Via permanente de VLT encapsulado ou com dormentes de concreto



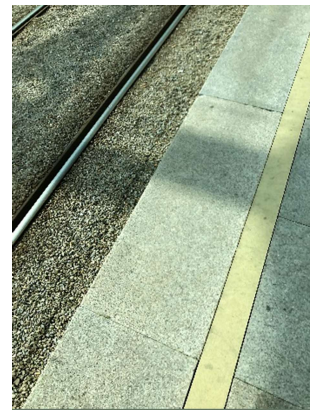
(a)



(b)



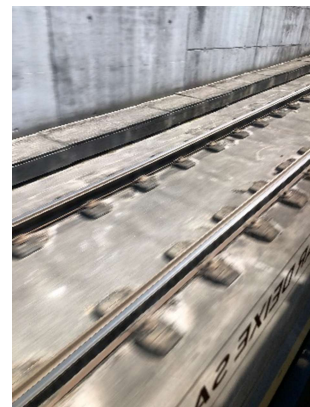
(c)



(d)



(e)



(f)

Esses tipos de via são de baixo custo e de fácil construção. Permitem vários tipos de acabamento superficial, conforme o local de aplicação, inclusive num mesmo trecho ou Linha.

Para locais segregados, fora de áreas urbanizadas, em longas extensões e no pátio de estacionamento e manutenção, pode ser utilizada a via permanente em lastro convencional. Essa solução é de baixo custo de construção e manutenção, conforme ilustra a Figura 5.2.

Os tipos de via citados são adequados para a instalação e manutenção de AMVs e travessões e para passagem em nível para pedestres e veículos rodoviários.

Figura 4-2 - Pátio de estacionamento com via permanente em lastro



4.1 INFRAESTRUTURA E SUPERESTRUTURA DA VIA PERMANENTE

4.1.1 Seções Transversais

De acordo com as premissas anteriores, foram especificadas 5 seções transversais:

- 1) Seção em nível;
- 2) Seção separada e/ou desnível;
- 3) Seção em lastro;
- 4) Seção em Ponte / Viaduto;
- 5) Seção de passagem em nível.

As seções típicas 1 e 2 possuem a mesma estrutura, sendo diferente apenas quando uma das vias possui cota diferente, ou seja, quando elas se encontram em desnível. De acordo com os dados de características de solo disponível e histórico de comportamento dos referidos trechos, a partir de um solo natural com CBR > 8%, serão assentadas 4 camadas: BGS (15 cm), concreto rolado (20 cm), concreto armado (10 cm) e concreto simples (15 cm). Além disso, tem-se ainda para acabamento 3 camadas: pedrisco (14 cm), areia (5 cm) e blocos intertravados (8 cm).

O trilho U50 será embebido em material elastomérico e fixado, sobre uma palmilha, a um dormente bi-bloco com 65 cm de altura que transmitirá as tensões para a camada de suporte. Dessa maneira, garante-se a distribuição uniforme de tensões e uma atenuação de vibrações e ruídos primários nos trechos em que ela for implantada. Além disso, em todo o trecho a via encontra-se “encapsulada” no solo, não conflitando visualmente com o meio na qual está inserida.

Já a seção típica 3 é uma via em lastro, com o trilho U50 apoiado por meio de fixações em dormentes monoblocos protendidos com 65 cm de altura. Os dormentes estão apoiados em

lastro (30 cm) e sublastro (20 cm) que é separado da camada de solo natural (CBR \geq 8%) por uma camada de geotêxtil. Como essa seção transversal não se encontra em uma zona densamente povoada, sem a necessidade de se prever passagens em nível, seja de veículos ou de pedestres, os trilhos não estão embebidos (“encapsulada”).

Para o trecho em ponte e/ou elevados, dimensionou-se uma seção transversal com uma camada de concreto armado de 10 cm na qual apoia-se uma camada de concreto simples e 15 cm onde estão inseridos os dormentes bi-bloco, também sem trilhos embebidos.

Por fim, a seção típica de passagem em nível foi dimensionada para a possibilidade de fluxo transversal à via de veículos. Sobre camada de solo com CBR $>$ 8%, serão assentadas 4 camadas: BGS (15 cm), concreto rolado (32 cm), concreto armado (fase I) (20 cm) e concreto armado (fase II) (20 cm). O trilho U50 está fixo à primeira camada de concreto por meio de um conjunto de fixação e encontra-se “encapsulada” na via permanente.

Em todas as seções transversais estão previstas as instalações de 4 barras chatas além da colocação de dutos para sistemas e instalações elétricas.

Dessa maneira, a definição dos componentes da via do VLT foi adequada às características de cada trecho e de seus componentes: trilho, soldas, conjuntos de fixação, laje e camadas de suporte.

Figura 4-3 – Via Permanente Seção Típica 1 em nível – STS – SHIP

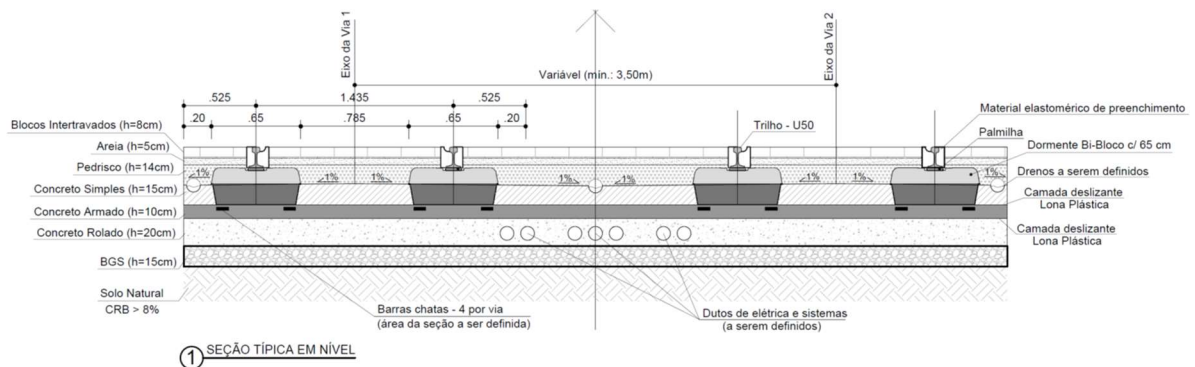


Figura 4-4 – Via Permanente Seção Típica 2 em desnível – CRTS 516 – TAN

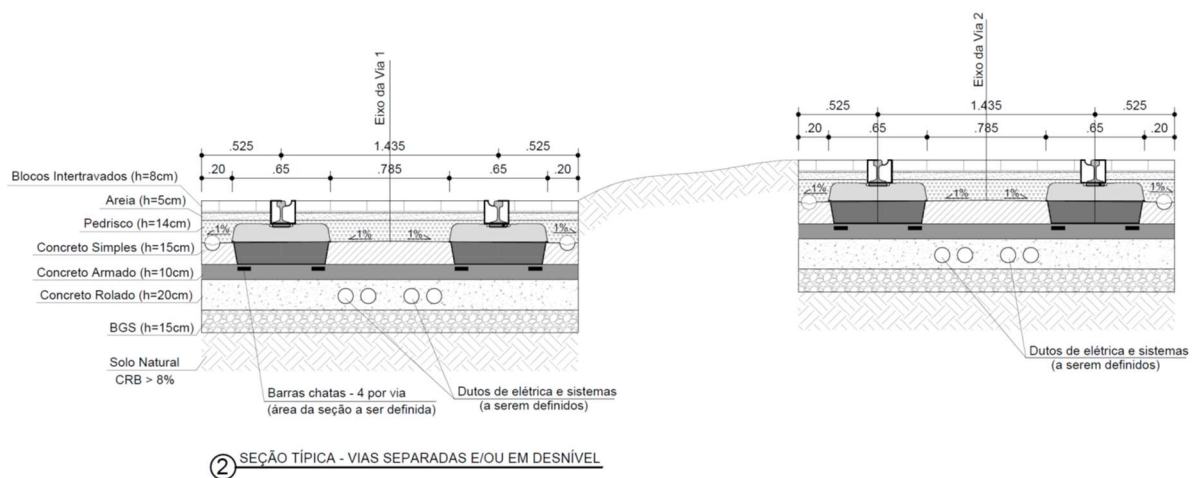


Figura 4-5 – Via Permanente Seção Típica 3 em lastro
Eixo 4 – Trecho: Estaca 1+600 até 5+300

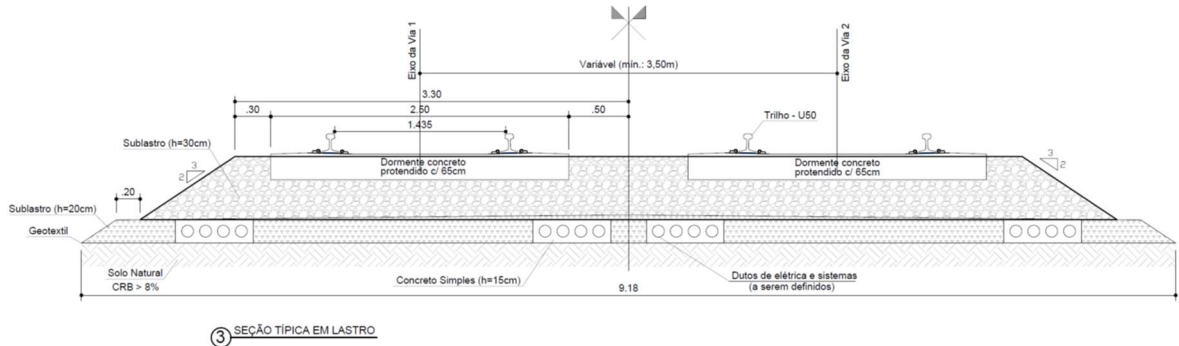


Figura 4-6 – Via Permanente Seção Típica 4 em Ponte / Viaduto

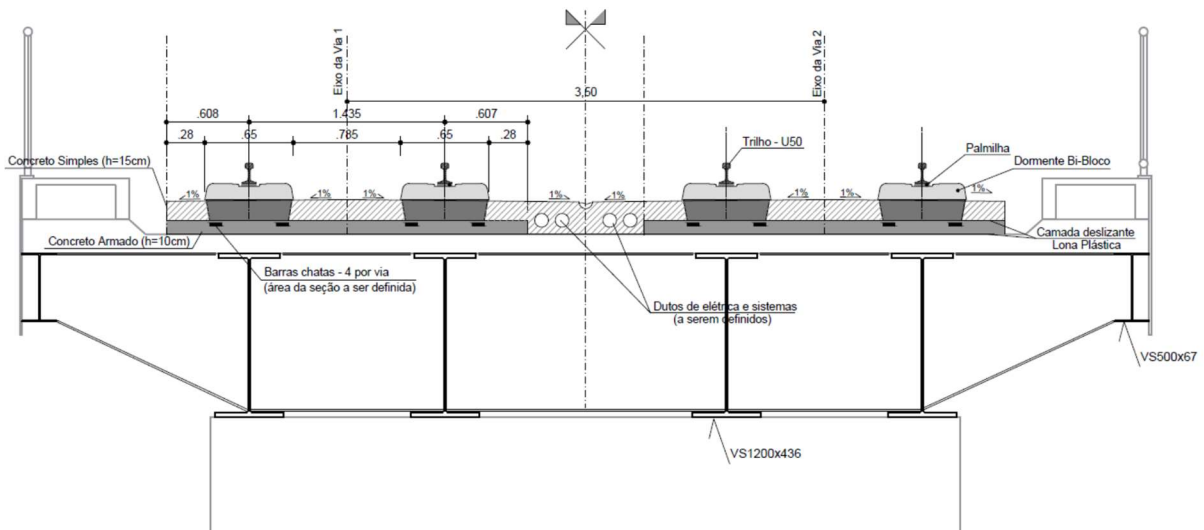
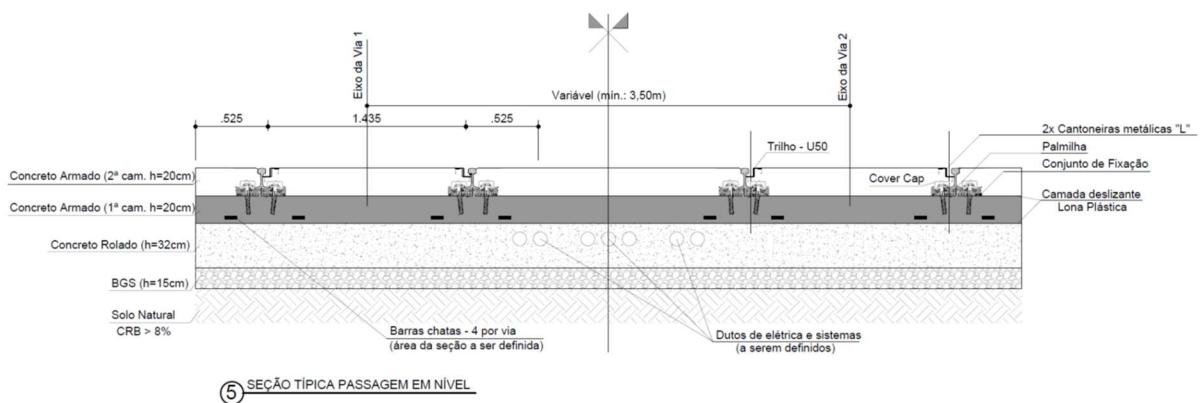


Figura 4-7 – Via Permanente Seção Típica 5) em Passagem em Nível



4.1.2 Verificação das Seções Transversais da Via Permanente

As verificações das seções da via permanente do VLT de Brasília levaram em conta os seguintes critérios:

Veículo:

- Carga por roda = 60 kN
- Largura de bitola = 1435 mm
- Distância entre eixos = 1,6 m
- Velocidade máxima = 70 km/h
- Coeficiente de impacto = 1,4

Trilho e fixação:

- Trilho U50
- Espaçamento das fixações = 65 cm

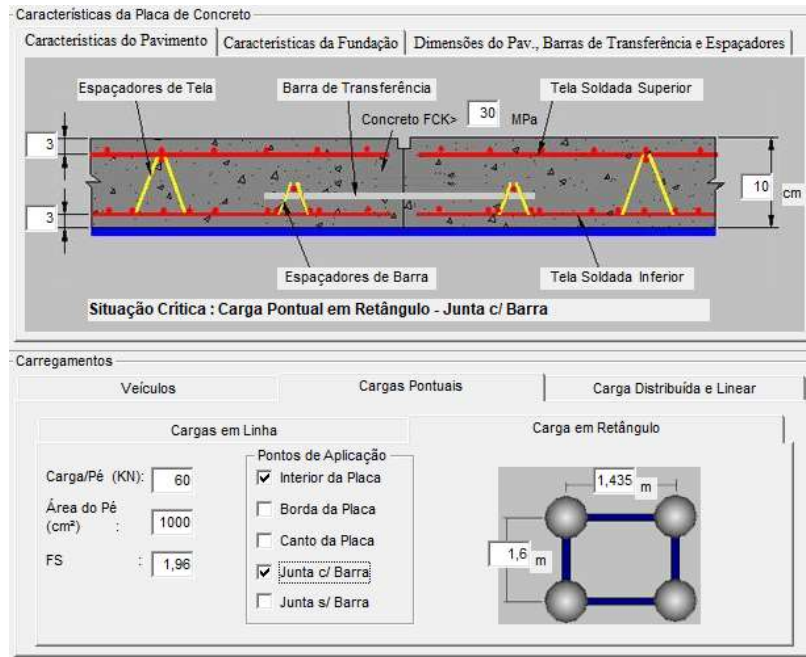
4.1.2.1 Seções Típicas 1 e 2

As seções típicas 1 e 2, apresentadas nas Figura 5.3 e 5.4, tratam-se de vias permanentes apoiadas sobre pavimento rígido. Abaixo são apresentados os parâmetros utilizados nesta verificação:

- Área da base dos dormentes bibloco = 1000 cm²
- CBR do solo natural = > 8%
- Camada de regularização em BGS = 15 cm
- Camada de concreto rolado = 20 cm
- Camada de concreto armado ($f_{ck} = 30$ MPa) = 10 cm (junta de dilatação a cada 19,5 m)
- Cobrimento = 2,5 cm
- Aço = CA60
- Coeficiente de segurança = 1,4
- Camada de concreto simples ($f_{ck} = 25$ MPa) = 15 cm (junta serrada a cada 2 m, nas duas direções)
- Camadas deslizantes em lona plástica
- Rigidez da base = 0,217 N/mm³

Para a determinação da taxa de aço foi utilizada uma rotina de cálculo de pavimentos, considerando a rigidez da base, os esforços estáticos e dinâmicos do material rodante e o efeito de retração do concreto. A Figura 5.8 apresenta a rotina utilizada nesta verificação.

Figura 4-8 – Verificação e dimensionamento da via permanente

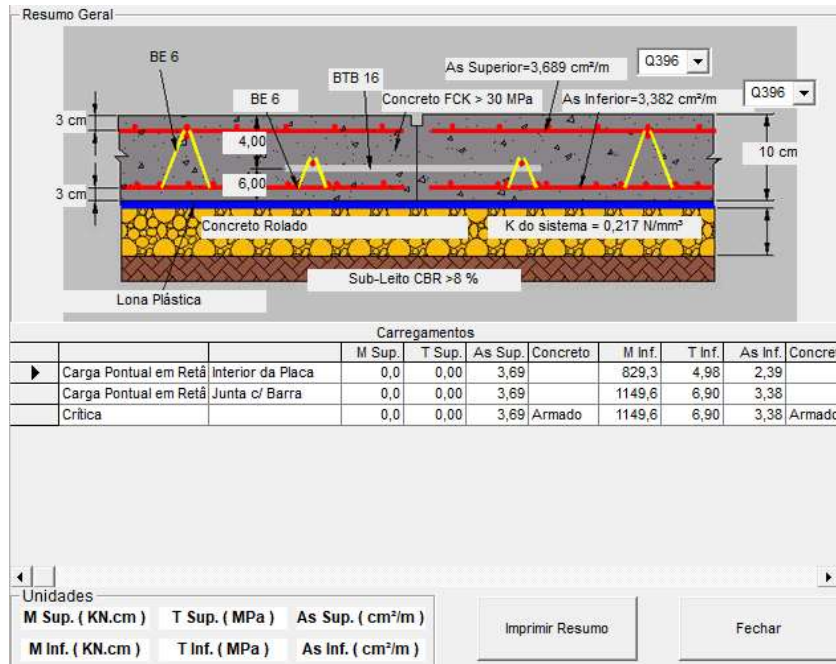


As taxas de armadura calculadas para atender aos esforços de operação da via permanente e aos efeitos da retração do concreto são:

- Armadura superior = 3,689 cm²/m (adotado: Tela Q396)
- Armadura inferior = 3,382 cm²/m (adotado: Tela Q396)

A Figura 4.9 apresenta o resumo do dimensionamento da estrutura da via permanente das seções típicas 1 e 2.

Figura 4-9 – Resumo do dimensionamento



4.1.2.2 Seção Típica 5 – Passagem em nível

A seção Típica 5 apresenta características semelhantes as seções 1 e 2, exceto pelo fato de ser um trecho da via permanente com uso compartilhado por veículos rodoviários. Abaixo são apresentados os parâmetros utilizados na verificação da passagem em nível:

Veículo Rodoviário:

- Trem tipo = TB-45
- Carga por roda = 75 kN
- Largura do veículo = 1,5 m
- Distância entre eixos = 1,5 m
- Coeficiente de impacto = 1,25 (regiões de juntas)

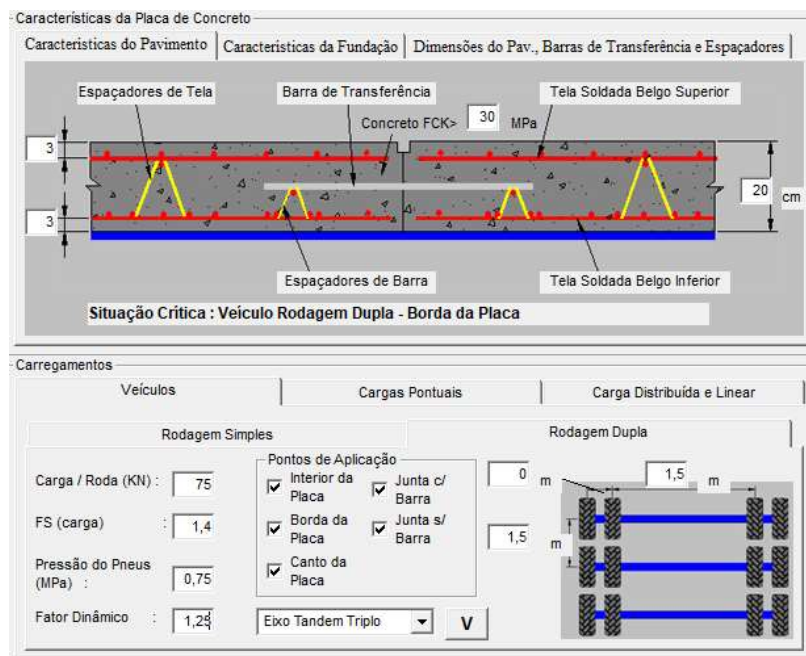
Via Permanente:

- CBR do solo natural = > 8%
- Camada de regularização em BGS = 15 cm
- Camada de concreto rolado = 32 cm
- Camada de concreto armado ($f_{ck} = 30$ MPa) = 20 + 20 cm (junta de dilatação nas extremidades da travessia ou, no máximo a cada 19,5 m)
- Cobrimento = 2,5 cm

- Aço = CA60
- Coeficiente de segurança = 1,4
- Camadas deslizantes em lona plástica
- Rigidez da base = 0,217 N/mm³

Para a determinação da taxa de aço foi utilizada uma rotina de cálculo de pavimentos, considerando a rigidez da base, os esforços estáticos e dinâmicos do TB-45 e o efeito de retração do concreto. A Figura 5.10 apresenta a rotina utilizada nesta verificação.

Figura 4-10 – Verificação e dimensionamento da via permanente



As taxas de armadura calculadas para atender aos esforços da travessia de veículos e aos efeitos da retração do concreto são:

- Armadura superior = 7,378 cm²/m (adotado: Tela Q785)
- Armadura inferior = 7,668 cm²/m (adotado: Tela Q785)

A Figura 4.11 apresenta o resumo do dimensionamento da estrutura da via permanente da seção típica 5.

Figura 4-11 – Resumo do dimensionamento



4.1.2.3 Seção Típica 4 – Via permanente em ponte / viaduto

A seção Típica 4 apresenta características semelhantes as seções 1 e 2, exceto pela necessidade de aderência entre o tabuleiro da ponte e a laje da via. Salienta-se que, nesta seção o esforço predominante passa a ser apenas a retração do concreto, pois os esforços de flexão serão resistidos pelo conjunto (estrutura da ponte e laje da via permanente). Nesta situação, a laje da via permanente encontra-se na região comprimida da seção, sem gerar acréscimo de armadura. Abaixo são apresentados os parâmetros utilizados na verificação da via permanente em ponte / viaduto:

- Camada de concreto armado ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$) = 10 cm (junta de dilatação nas extremidades da ponte ou, no máximo, a cada 19,5 m)
- Camada de concreto simples ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$) = 15 cm (junta serrada a cada 2 m, nas duas direções)
- Cobrimento = 2,5 cm
- Aço = CA60
- Coeficiente de segurança = 1,4
- Camadas deslizantes em lona plástica

Para as taxas de armadura das seções em ponte adotara-se àquelas determinadas para as seções típicas 1 e 2:

- Armadura superior = 3,689 cm²/m (adotado: Tela Q396)
- Armadura inferior = 3,382 cm²/m (adotado: Tela Q396)

4.1.2.4 Seção Típica 3 – Via permanente em lastro

A seção típica 3 foi verificada considerando-se as seguintes características:

- Trilho U50
- Dormente em concreto protendido
- Espaçamento dos dormentes = 65 cm
- Lastro = 30 cm
- Sublastro = 20 cm
- CBR do solo natural = > 8%

Dormente:

Para o dormente de concreto, utiliza-se como referência o Manual AREMA, que adotou como "tensão máxima no lastro" a tensão média que atua na superfície inferior do dormente, sendo obtida pela equação abaixo.

$$ABP = \frac{2 * P * \left(1 + \frac{FI}{100}\right) * \frac{FD}{100}}{A} = \frac{2 * 6000 * \left(1 + \frac{200}{100}\right) * \frac{52}{100}}{5300} = \underline{3,53 \text{ kgf/cm}^2}$$

onde:

$$P = \text{Carga por eixo}/2 = 12/2 = 6 \text{ tf} = 6000 \text{ kgf}$$

FI = 200 (Fator de Impacto percentual sobre os esforços verticais estáticos, simulando os esforços dinâmicos por meio de irregularidades das rodas, veículos e trilhos).

FD = 0,5 (Fator de Distribuição de carga dos dormentes, dependente de seu espaçamento e dos eixos dos veículos).

$$A = \text{Área de apoio do dormente} = 265 * 20 = 5300 \text{ cm}^2$$

A resistência de um dormente de concreto à flexão foi avaliada por meio da tensão máxima. A partir dos parâmetros abaixo, é possível calcular o esforço atuante no dormente:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{63238,6}{3125,0} = \underline{20,2 \text{ kgf/cm}^2}$$

onde:

$$q_0 = P_c = \left(\frac{P_r}{n}\right) * C_d = \left(\frac{6000}{2,20}\right) * 1,4 = 3818,2 \text{ kgf}$$

$$M = \left(\frac{q_0}{8}\right) * (L/2) = \left(\frac{3818,2}{8}\right) * (265/2) = 63238,6 \text{ kgf. cm}$$

$$W = \left(\frac{b * e^2}{6} \right) = \frac{30 * 25^2}{6} = 3125,0 \text{ cm}^3$$

Verifica-se, desta forma, que o dormente de concreto atenua as tensões recebidas pela passagem dos trens no contato roda-trilho e entrega níveis menores para o lastro e sublastro absorverem antes de chegarem ao subleito.

Lastro:

Definiu-se uma seção transversal considerando os seguintes dados para a determinação da altura mínima do lastro:

- Carga por roda: $P_r = 6 \text{ tf} = 6000 \text{ kgf}$;
- Coeficiente de impacto: $C_d = 1,4$;
- Faixa de socaria: $c = 70 \text{ cm}$;
- Distância entre trilhos: $1,435 \text{ m}$;
- Distância entre dormentes: $0,65 \text{ m}$;
- CBR mínimo do sublastro: 10% ;
- Coeficiente de segurança: $N = 5$.

A partir destes esforços, é possível calcular a altura mínima requerida de lastro, pela fórmula de Talbot:

$$h = \left[\left(\frac{53,87}{\bar{p}} \right) * p_0 \right]^{1,25} = \left[\left(\frac{53,87}{1,4} \right) * 1,82 \right]^{1,25} = \underline{30 \text{ cm}}$$

onde:

$$n = \frac{\text{distância entre trilhos}}{\text{espaçamento entre dormentes}} = \frac{1,435}{0,65} = 2,2$$

$$P_c = \left(\frac{P_r}{n} \right) * C_d = \left(\frac{6000}{2,20} \right) * 1,4 = 3818,2 \text{ kgf}$$

$$p_0 = \frac{P_c}{(b * c)} = \frac{3818,2}{(30 * 70)} = 1,82 \text{ kgf/cm}^2$$

$$p = \frac{\text{CBR} * 70}{100} = 10 * \frac{70}{100} = 7 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{p} = \frac{p}{N} = \frac{7}{5} = 1,4 \text{ kgf/cm}^2$$

Adotou-se a altura mínima do lastro como 30 cm na região sob o trilho.

Tensão no solo:

A tensão na base das camadas subsequentes pode ser determinada pela seguinte equação.

$$p = \frac{53,87 * ABP}{h^{1,25}}$$

onde:

ABP = Tensão no lastro

h = Altura total da camada a partir da base do dormente = 50cm

$$p = \frac{53,87 * ABP}{h^{1,25}} = \frac{53,87 * 3,53}{50^{1,25}} = \underline{1,43 \text{ kgf/cm}^2}$$

Trilho

O perfil do trilho é determinado pelo seu peso por metro, por meio da fórmula abaixo:

$$p_t = \frac{2 * p_{\text{máx}} * d}{k_v} = \frac{2 * 4,2 * 65}{15} = \underline{36,4 \text{ kg/m}} < 50 \text{ kg/m (trilho U50)}$$

onde:

p_t = peso do trilho

$p_{\text{máx}}$ = esforço cortante máximo no trilho = 12ton/eixo /2 /2 = 3*1,4 tf/roda = 4,2 tf/roda

d = espaçamento longitudinal das fixações = 65 cm

k_v = Coeficiente devido a velocidade = 15 (trens de média velocidade $v \leq 90$ km/h)

Portanto, a utilização do Trilho U50 é compatível com a carga por eixo de 12 ton e espaçamento entre fixações de 65 cm.

4.1.3 Geotecnia

Os Estudos Geotécnicos têm como base ensaios realizados em projetos precedentes, consistindo em:

- Projeto do Corredor de BRT do Eixo Oeste - 2013;
- Projeto da ESPM – Estrada Parque Polícia Militar - 2009;
- Projeto das Ciclovias no DF – 2008.

Os Estudos Geotécnicos consistiram de investigações de campo, com base no traçado definido em cada eixo dos projetos precedentes, consistindo em:

- Sondagens à trado a cada 200m, nos trechos de vias projetadas;
- Ensaios de Umidade Natural, Granulometria, Limites de Plasticidade e Liquidez das amostras a trado;
- Ensaios de ISC das amostras a trado.

Em sequência são apresentadas as tabelas resumo dos estudos realizados, relativamente a cada local de coleta de material.

Tabela 4.1 - STS - Hípica

Furo	Wot (%)	Dmax (Kg/m ³)	ISC (%)	Exp (%)
1	27,9	1.318	9,7	0,41
2	29,6	1.366	7,5	0,41
3	24,8	1.476	13,5	0,23
4	23,2	1.564	19,0	0,14
5	27,1	1.472	13,0	0,36
6	21,8	1.580	14,1	0,27
7	27,8	1.400	8,0	0,35
8	26,8	1.342	9,0	0,42
9	24,8	1.265	4,5	2,01
10	29,8	1.343	8,2	0,35

Tabela 4.2 - STS – TAS

Furo	Wot (%)	Dmax (Kg/m ³)	ISC (%)	Exp (%)
ST-45	28,5	1405	9,0	0,29
ST-46	28,6	1284	8,5	0,41
ST-47	31,0	1333	8,2	0,47
ST-48	27,0	1278	7,5	0,77
ST-49	29,7	1341	8,4	0,56
ST-50	29,0	1327	8,1	0,33

Tabela 4.3 – Via W3

Furo	Wot (%)	Dmax (Kg/m ³)	ISC (%)	Exp (%)
20	35,5	1270	7,0	0,54
21	34,6	1281	6,8	0,60
22	31,0	1418	9,0	0,28
23	30,3	1383	8,5	0,32
24	31,8	1388	9,7	0,32
25	32,1	1340	8,5	0,28
26	31,8	1319	15,9	0,05
27	31,0	1356	18,2	0,09
28	30,1	1352	15,6	0,05
29	31,4	1360	10,8	0,02
30	32,1	1332	15,4	0,05
31	26,6	1447	18,6	0,02
32	26,1	1445	14,9	0,02
33	30,7	1360	15,2	0,06
34	28,5	1417	13,2	0,03
35	23,3	1565	17,3	0,03
36	24,8	1463	12,10	0,09
37	26,2	1465	12,6	0,04