



**RODOANEL METROPOLITANO**  
DE BELO HORIZONTE

# Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de BH

## Relatório de Segurança Viária – Alça Norte

### Resumo

Este documento contém informações, diretrizes e premissas de elementos e métodos referentes à análise da segurança viária do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, a ser desenvolvido pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do Governo do Estado de Minas Gerais, em parceria com o Movimento Brasil Competitivo e a Accenture.

Outubro, 2020

## **ÍNDICE**

1.	Introdução .....	2
2.	Relatório de Segurança Viária.....	3
2.1.	Análise Comparativa de Projetos Relacionados ou Similares .....	4
2.2.	Caracterização dos Dispositivos de Segurança .....	5
2.2.1.	Dispositivos de Contenção Viária .....	5
2.2.2.	Demais Dispositivos de Segurança .....	16
2.3.	Análise da Segurança Viária (Abordagem iRap).....	18
2.3.1.	Simulação da Rodovia em Trechos Rurais.....	19
2.3.2.	Simulação da Rodovia em Trechos Urbanos.....	23
3.	Conclusão .....	26

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Proteção lateral em função de talude de aterro (ABNT NBR 15486/2016).....	8
Figura 2: Seção triangular preferencial (ABNT NBR 15486/2016).....	9
Figura 3: Seção trapezoidal preferencial (ABNT NBR 15486/2016).....	10
Figura 4: Necessidade de dispositivo de contenção central (ABNT NBR 15486/2016)	11
Figura 5: Seleção dos dispositivos por nível de contenção (ABNT NBR 15486/2016)	12
Figura 6: Demonstração do espaço de trabalho (ABNT NBR 15486/2016).....	13
Figura 7: Seção transversal tipo do projeto.....	20
Figura 8: Simulação da classificação rural por estrelas (Star Rating Demonstrator) ...	20
Figura 9: Simulação do gráfico de classificação rural (Star Rating Demonstrator) .....	21
Figura 10: Atributos considerados para a simulação rural (Star Rating Demonstrator)	23
Figura 11: Simulação da classificação urbana por estrelas (Star Rating Demonstrator) .....	23
Figura 12: Simulação do gráfico de classificação urbana (Star Rating Demonstrator)	23
Figura 13: Atributos considerados para a simulação urbana (Star Rating Demonstrator) .....	25



**MINAS  
GERAIS**

GOVERNO  
DIFERENTE.  
ESTADO  
EFICIENTE.

**accenture**consulting

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte**

**Data:** 28/10/2020

**Versão:** 02

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Cálculo da zona livre, em metros (ABNT NBR 15486/2016) .....	7
Tabela 2: Níveis de contenção, conforme EN 1317-2 (ABNT NBR 15486/2016) .....	13
Tabela 3: Níveis de contenção, conforme NCHRP 350 (ABNT NBR 15486/2016) .....	13
Tabela 4: Classificação de severidade do impacto (ABNT NBR 15486/2016) .....	13
Tabela 5: Espaço de trabalho, conforme EM 1317 (ABNT NBR 15486/2016) .....	14



**RODOANEL  
METROPOLITANO**  
DE BELO HORIZONTE

Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do  
Rodoanel da Região Metropolitana de BH

## **1. Introdução**

O presente relatório contém as informações, diretrizes e premissas de elementos e métodos referentes à análise da segurança viária do Projeto do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com foco em sua Alça Norte (trecho BR-381/Sul até BR-381/Norte).

A seguir, são descritas as principais premissas à análise da segurança viária, focando na apresentação de uma análise comparativa de projetos relacionados ou similares e na caracterização dos dispositivos de segurança usualmente contemplados em projeto. Ao final, é demonstrada a metodologia de análise de segurança viária, por meio da classificação de estrelas para cada usuário da via, proposta pelo International Road Assessment Programme (iRap), bem como uma simulação da classificação atribuída ao projeto da alça.

## 2. Relatório de Segurança Viária

O acidente de trânsito é um dos principais problemas de saúde pública em todo o mundo. O custo social desses acidentes à sociedade é grande, além da imensurável perda de indivíduos à família e amigos. Neste contexto, faz-se necessário estabelecer a visão de que nenhum acidente é aceitável e que, portanto, deve-se priorizar medidas de segurança viária para tornar as vias mais seguras aos seus usuários, sejam estes ativos ou motorizados.

A segurança viária dispõe sobre diversos aspectos, tais como aspectos normativos, de educação do usuário e ligados à infraestrutura viária, sendo este último intrinsecamente relacionado aos estudos de engenharia e projetos viários.

No que concerne aos aspectos relacionados à infraestrutura, estes estão diretamente relacionados à configuração geométrica da via (traçado horizontal e vertical, configuração da seção típica da via e dimensionamento dos elementos, tais como faixas de rolamento e faixas de segurança), à indicação de sinalização clara e assertiva e à colocação de dispositivos ou estratégias específicas que minimizem o risco dos usuários ao se deslocarem pela via. Neste relatório serão focadas as intervenções ligadas aos dispositivos e estratégias, apresentando alguns exemplos, bem como premissas para suas colocações.

No que diz respeito à caracterização dos dispositivos de segurança, os seguintes materiais foram considerados:

- Norma ABNT NBR 6971:2012 - Segurança no tráfego – Defensas metálicas – Implantação;
- Norma ABNT NBR 14885:2016 - Segurança no tráfego – Barreiras de concreto;
- Norma ABNT NBR 15486:2016 - Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto;
- Resolução 601/2016 (CONTRAN);
- Instrução de Serviço/DG Nº 04, de 12 de fevereiro de 2016 - Dispõe sobre critérios e procedimentos a serem adotados no Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL e dá outras providências (DNIT,2016);
- Publicação IPR-741 – Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias (DNIT, 2010).

Assim sendo, o presente relatório está organizado de forma a apresentar, primeiramente, uma análise comparativa de projetos relacionados ou similares, de modo a possibilitar uma melhor compreensão do contexto do projeto e de uma análise indireta da segurança viária proposta.

Em seguida, serão pontuados e caracterizados alguns dispositivos de segurança, usualmente pautados em projetos similares à proposta do Rodoanel.

Por fim, ao final do documento, será pautada a metodologia de análise e avaliação de segurança viária proposta pelo International Road Assessment Programme (iRAP), na

qual será simulada a classificação de estrelas que o projeto possui para todos os usuários, considerando sua caracterização viária. Ressalta-se que o uso da metodologia de classificação de estrelas proposta pelo iRAP não isenta a elaboração de um projeto e análise específica da segurança viária por outros métodos, a ser elaborada por um especialista da área. Da mesma forma, não isenta a operadora de possuir e manter um banco de dados de acidentes consistente e atualizado, de modo a possibilitar intervenções especiais em pontos críticos ao longo do período da concessão. Essa questão é tratada com maiores detalhes no volume relativo aos custos operacionais da concessão (OPEX).

## **2.1. Análise Comparativa de Projetos Relacionados ou Similares**

A caracterização de projetos relacionados ou similares se faz importante neste relatório, uma vez que possibilita uma melhor compreensão do contexto do projeto e de uma análise indireta da segurança viária aqui proposta. Neste sentido, segundo o relatório de análise, dois projetos podem ser relacionados ao Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte: o Anel Rodoviário de Belo Horizonte e o Rodoanel de São Paulo.

O Anel Rodoviário de Belo Horizonte, oficialmente conhecido como "Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo", é uma via expressa que foi construída em meados da década de 1950, com a finalidade de evitar a saturação do crescente tráfego de carga que passava pela área central de Belo Horizonte. Esta possui aproximadamente 27 km, com início na união das rodovias BR-262 e BR-381, na altura dos bairros Goiânia e Nazaré (região Nordeste da capital mineira), e término no encontro da BR-040 com a BR-356, no bairro Olhos d'Água (região Oeste da capital mineira).

Haja visto os estudos de tráfego realizados anteriormente, verifica-se que o anel de Belo Horizonte possui um volume médio diário superior a 110.000 veículos. Ainda que tenha sido criado com o objetivo de abrigar o tráfego de carga, os estudos comprovam que cerca de apenas 10% do tráfego abrigado é composto por veículos de carga para longas distâncias e que a maior parte deste é gerada nos entornos do eixo viário. Além disso, dados os estudos de tráfego realizados anteriormente, é possível averiguar que cerca de metade do volume gerado é composto por veículos que precisam realizar a transposição entre bairros, uma vez que a configuração viária atual não possui interseções suficientes para suprir essa demanda, sendo um aspecto pautado em projetos anteriores, específicos da via, que não foram executados.

O Rodoanel de São Paulo, por outro lado, apresenta características distintas do Anel Rodoviário de Belo Horizonte. Este, oficialmente conhecido como "Rodoanel Governador Mário Covas", foi construído ao longo de duas décadas, com a conclusão da última etapa prevista para 2023. O Rodoanel de São Paulo perpassa por, além da capital paulista, outras 16 cidades da região metropolitana de São Paulo; interligando 10 rodovias estaduais e federais e criando rotas alternativas que evitam que veículos de carga de longas distâncias circulem pelas vias urbanas já congestionadas da região metropolitana. É prevista como uma rodovia de acesso restrito e concessionada, tal como previsto para o projeto do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Portanto, dada a contextualização sucinta dos dois projetos, pode-se afirmar que o Anel Rodoviário de Belo Horizonte possui características majoritariamente urbanas, principalmente considerando a caracterização dos fluxos na via e sua conurbação no município. Nesse sentido, não cabe a comparação com o Rodoanel objeto deste relatório, já que as configurações deste último são de um corredor de tráfego de longa distância, com acesso controlado e alta velocidade operacional. Ademais, não é coerente afirmar que o fluxo viário verificado no Anel será migrado em sua completude para o Rodoanel, visto que apenas 10% deste é composto por veículos de carga de longas distâncias e que a maior parte dos fluxos continuará utilizando o Anel Rodoviário, tendo em vista que os pontos de carga e descarga estão concentrados ao longo dele.

Diferentemente do Anel Rodoviário, o Rodoanel de São Paulo seria um projeto similar ao Rodoanel aqui descrito, dada a sua configuração de corredor, com acesso controlado à via. Neste sentido, os aspectos de segurança viária são distintos para um corredor, focando em medidas voltadas aos veículos automotores no eixo principal, apresentando medidas específicas aos demais usuários que possuem maior vulnerabilidade nas vias marginais e interseções em espaços urbanos.

## **2.2. Caracterização dos Dispositivos de Segurança**

Os dispositivos de segurança, são elementos ou sistemas de proteção destinados a garantir a segurança de passagem dos usuários de uma via em uma área ou local potencialmente perigosos, bem como reduzir a probabilidade e gravidade dos acidentes.

Usualmente, ao discutir-se sobre dispositivos de segurança, relaciona-se em primeira instância aos dispositivos de contenção viária. Contudo, estes não são os únicos elementos associados ao aumento da segurança viária.

Neste contexto, optou-se por organizar o presente relatório em um subitem específico sobre dispositivos de contenção viária, uma vez que estes possuem grande complexidade e uma gama maior de premissas de implantação, e outro subitem retratando alguns dispositivos usualmente empregados em projetos viários, demonstrando outros exemplos aplicáveis.

### **2.2.1. Dispositivos de Contenção Viária**

Os dispositivos de contenção viária podem ser definidos como “dispositivos instalados na via com o objetivo de conter, absorver energia de impacto e redirecionar os veículos desgovernados, reduzindo a gravidade do acidente, impedindo que estes invadam zonas perigosas ou alcancem um obstáculo fixo, protegendo, desta forma, os usuários da via e reduzindo as consequências do acidente” (ABNT, 2016).

O critério de indicação dos dispositivos de contenção pode ser em função das seguintes condicionantes: obstáculos fixos; taludes de aterro; taludes de corte; taludes transversais; drenagem lateral; estruturas de drenagem; suportes para placas e luminárias e canteiro central. Cada critério será descrito sucintamente, a seguir.

No que concerne aos elementos de contenção, estes podem ser longitudinais, sejam laterais ou centrais, ou pontuais. Sua indicação em projeto pode ser feita em função dos dispositivos caracterizados nas normas brasileiras ou por dispositivos ensaiados de acordo com o nível de contenção dos trechos analisados, baseando-se em ensaios produzidos nas normas americanas e europeias, índice de severidade e espaço de trabalho.

É válido ressaltar que todos os elementos de contenção viária indicados em projeto tenham o devido tratamento dos terminais de entrada e saída e dos elementos de transição de rigidez, em conformidade ao preconizado nas normas ABNT, de forma a não representar um risco adicional aos usuários da via.

Ademais, é importante que todos contenham delineadores refletivos em toda a extensão dos dispositivos de contenção longitudinal, sejam barreiras rígidas ou defensas metálicas, com o intuito de melhorar a visibilidade dos elementos. Para o primeiro caso, sugere-se o espaçamento estabelecido na norma ABNT NBR 14885, sendo 4,00m em casos de curvas acentuadas e 16,00m em casos de tangentes. Já para o último, sugere-se o espaçamento indicado no manual do DNIT BR-Legal, sendo 8,00m em casos de curvas e 16,00m em casos de tangentes.

A explicação de como caracterizar dispositivos ensaiados, bem como a apresentação de exemplos de dispositivos de contenção longitudinal e pontual, são apresentadas em subitens específicos, em seguida.



### **2.2.1.1. Critérios de colocação**

#### **2.2.1.1.1. Obstáculos fixos**

Para determinar a necessidade de implantação de dispositivos de contenção em função da proteção de obstáculos fixos, primeiro faz-se necessário calcular a largura da zona livre no projeto. Esta pode ser definida como a área lateral à pista de rolamento que seja traspassável, não apresentando obstruções e permitindo a utilização de veículos errantes para recobrar o controle ou parar o veículo de forma segura.

A zona livre é definida em função da velocidade de projeto, o VDM da via e a declividade lateral, conforme demonstrado na tabela abaixo:

**Tabela 1: Cálculo da zona livre, em metros (ABNT NBR 15486/2016)**

Velocidade de projeto km/h	VDM	Declividade lateral					
							
		1V:6H ou mais plano	1V:5H a 1V:4H	1V:3H	1V:3H	1V:5H a 1V:4H	1V:6H ou mais plano
60 <sup>c</sup>	< 750	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	b	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
	750 – 1500	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5	b	3,0 – 3,5	3,0 – 3,5	3,0 – 3,5
	1500 – 6000	3,5 – 4,5	4,5 – 5,0	b	3,5 – 4,5	3,5 – 4,5	3,5 – 4,5
	> 6000	4,5 – 5,0	5,0 – 5,5	b	4,5 – 5,0	4,5 – 5,0	4,5 – 5,0
70 - 80	< 750	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5	b	2,5 – 3,0	2,5 – 3,0	3,0 – 3,5
	750 – 1500	4,5 – 5,0	5,0 – 6,0	b	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5	4,5 – 5,0
	1500 – 6000	5,0 – 5,5	6,0 – 8,0	b	3,5 – 4,5	4,5 – 5,0	5,0 – 5,5
	> 6000	6,0 – 6,5	7,5 – 8,5	b	4,5 – 5,0	5,5 – 6,0	6,0 – 6,5
90	< 750	3,5 – 4,5	4,5 – 5,5	b	2,5 – 3,0	3,0 – 3,5	3,0 – 3,5
	750 – 1500	4,5 – 5,0	6,0 – 7,5	b	3,0 – 3,5	4,5 – 5,0	4,5 – 5,0
	1500 – 6000	5,0 – 5,5	7,5 – 9,0	b	4,5 – 5,0	5,0 – 5,5	5,0 – 5,5
	> 6000	6,5 – 7,5	8,0 – 10,0 <sup>a</sup>	b	5,0 – 5,5	6,0 – 6,5	6,5 – 7,5
100	< 750	5,0 – 5,5	6,0 – 7,5	b	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5	4,5 – 5,0
	750 – 1500	6,5 – 7,5	8,0 – 10,0 <sup>a</sup>	b	3,5 – 4,5	5,0 – 5,5	6,0 – 6,5
	1500 – 6000	8,0 – 9,0	10,0 – 12,0 <sup>a</sup>	b	4,5 – 5,5	5,5 – 6,5	7,5 – 8,0
	> 6000	9,0 – 10,0 <sup>a</sup>	11,0 – 13,5 <sup>a</sup>	b	6,0 – 6,5	7,5 – 8,0	8,0 – 8,5
110	< 750	5,5 – 6,0	6,0 – 8,0	b	3,0 – 3,5	4,5 – 5,0	4,5 – 5,0
	750 – 1500	7,5 – 8,0	8,5 – 11,0 <sup>a</sup>	b	3,5 – 5,0	5,5 – 6,0	6,0 – 6,5
	1500 – 6000	8,5 – 10,0 <sup>a</sup>	10,5 – 13,0 <sup>a</sup>	b	5,0 – 6,0	6,5 – 7,5	8,0 – 8,5
	> 6000	9,0 – 10,5 <sup>a</sup>	11,5 – 14,0 <sup>a</sup>	b	6,5 – 7,5	8,0 – 9,0	8,5 – 9,0

<sup>a</sup> Quando uma investigação específica em um local da via indica uma alta probabilidade de colisões contínuas, ou através do histórico de ocorrências de acidentes, o projetista pode aumentar o valor da distância da zona livre.

<sup>b</sup> Neste talude, pela possibilidade do veículo não recuperar o controle e prosseguir até o final do aterro, o pé do aterro deve estar livre de obstáculos fixos.

<sup>c</sup> Para velocidade menor que 60 km/h, a aplicação fica a critério do projetista.

A partir da indicação das zonas livres, todo obstáculo situado dentro da zona deve ser: (1) removido; (2) redesenhado, de forma que possa ser atravessado sem comprometer a segurança do usuário; (3) relocado; (4) reestruturado, de forma a reduzir a severidade do impacto, utilizando um dispositivo colapsível; (5) protegido por dispositivo de contenção ou (6) sinalizado, caso todas as alternativas citadas não sejam possíveis.

### 2.2.1.1.2. Taludes de projeto

Uma outra condicionante para a necessidade de implantação dos dispositivos é em função dos taludes de projeto.

No que concerne aos taludes de aterro, os dispositivos são indicados em função de sua declividade e de sua altura, tal como demonstrado abaixo:

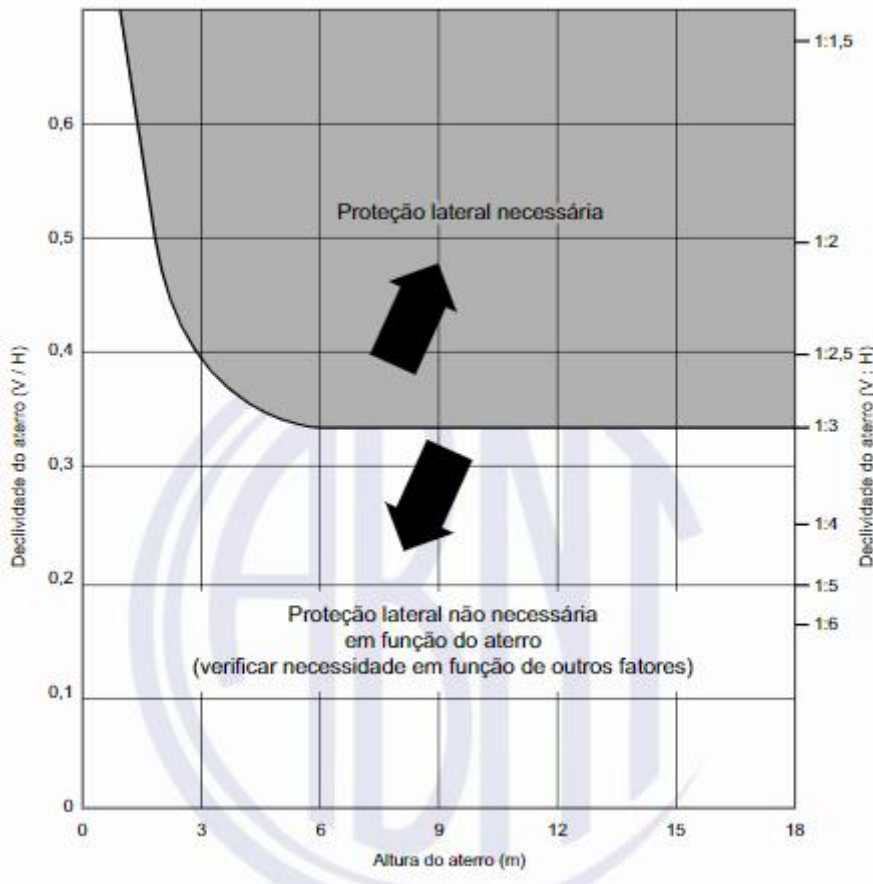


Figura 1: Proteção lateral em função de talude de aterro (ABNT NBR 15486/2016)

Os taludes possuem caracterização em conformidade com sua declividade. Taludes com declividade 4H:1V ou mais planos são considerados recuperáveis, já com declividade entre 3H:1V e 4H:1V são considerados não recuperáveis e taludes com declividade acima de 3H:1V são considerados críticos.

No que diz respeito aos taludes de corte, estes só são considerados um obstáculo quando a uniformidade relativa da superfície e sua rugosidade não são considerados perigosos, em caso de colisão com os veículos errantes.

Por fim, taludes transversais ocasionados por cruzamentos em canteiro central, acessos laterais ou por interseções também se caracterizam como uma situação de risco aos usuários, devendo ser projetados em uma inclinação igual ou mais plana que 6H:1V, ou serem protegidos por dispositivos.

Os aterros e cortes no projeto, em específico respeitam um padrão de declividade, sendo: aterro igual a 1.5H:1V e corte igual a 1H:1V. Em função do valor da declividade nos taludes projetados, todo aterro com altura superior a 1,10 m deve ser protegido por um dispositivo de contenção e as demais situações devem ser analisadas, atendendo às exigências contidas na Figura 1 da norma ABNT NBR 15486/2016.

### 2.2.1.1.3. Elementos de drenagem

Os elementos de drenagem também devem ser incorporados na via de forma a não se comportarem como um risco ao usuário. No caso da drenagem lateral, esta deve ser projetada respeitando uma seção preferível, tal como demonstrado nas imagens abaixo.

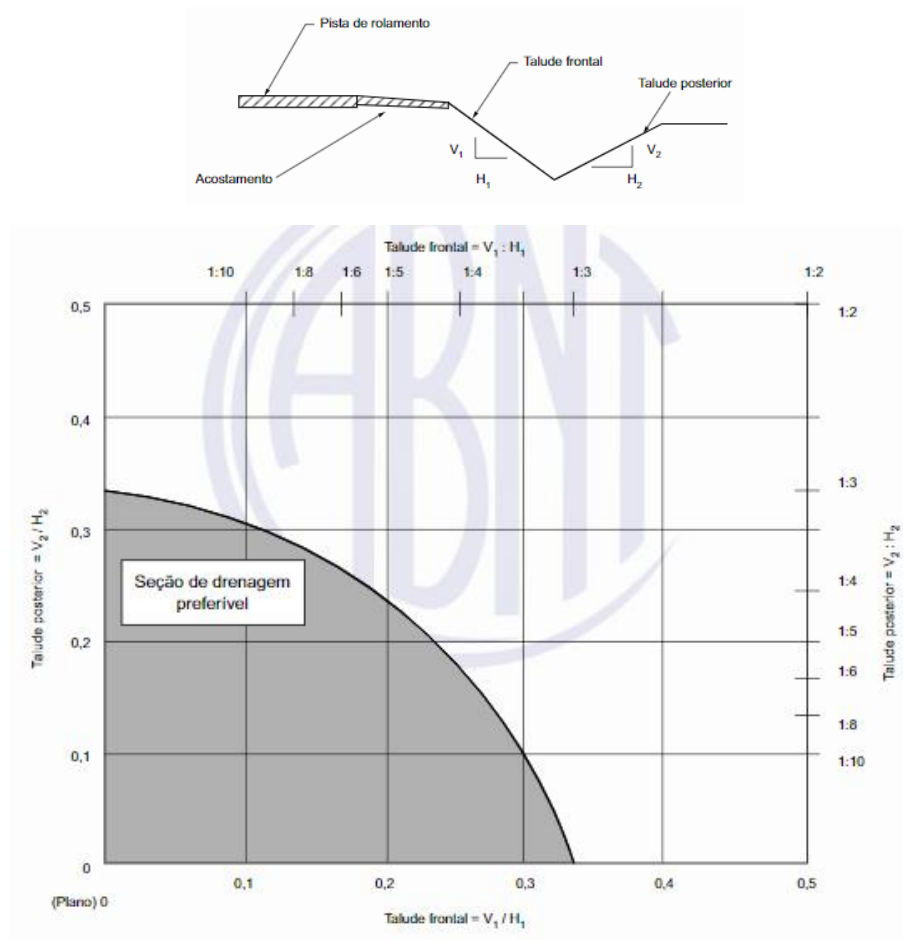
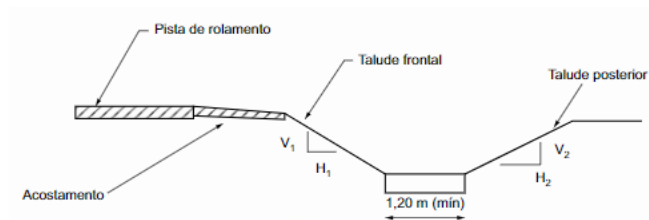


Figura 2: Seção triangular preferencial (ABNT NBR 15486/2016)



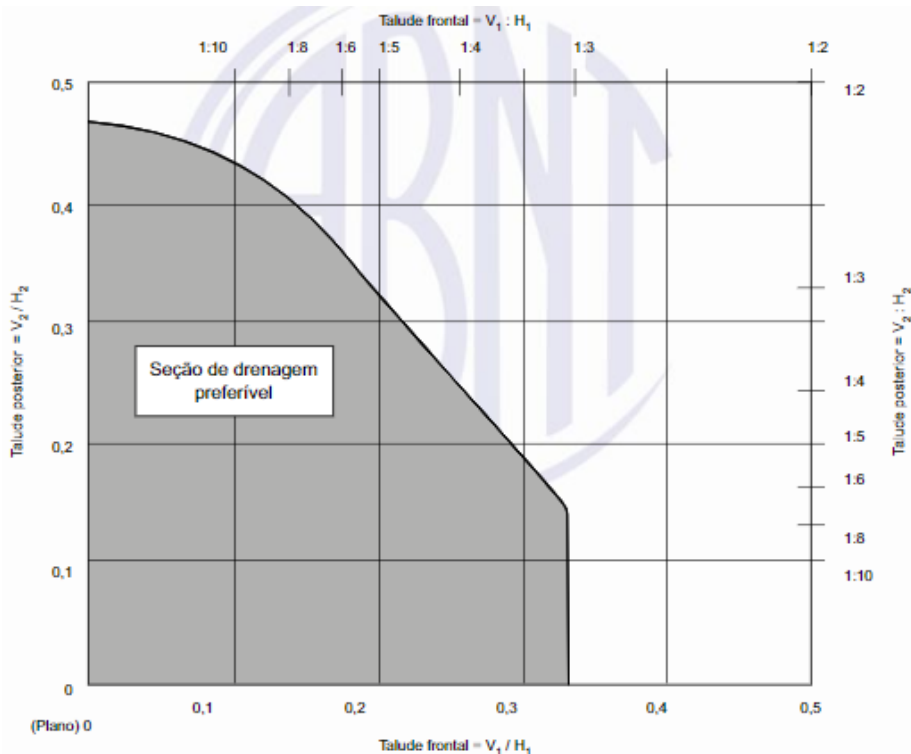


Figura 3: Seção trapezoidal preferencial (ABNT NBR 15486/2016)

Caso não seja possível desenhar o elemento em conformidade com a seção preferível, este deve ser convertido em sistema fechado, se prático for fazê-lo, ou ser protegido por dispositivos de contenção viária.

Além da drenagem lateral, outras estruturas de drenagem também devem ser analisadas, minimizando o risco do usuário. São essas: guias, drenagem transversal a via, drenagem paralela a via e caixas de captação.

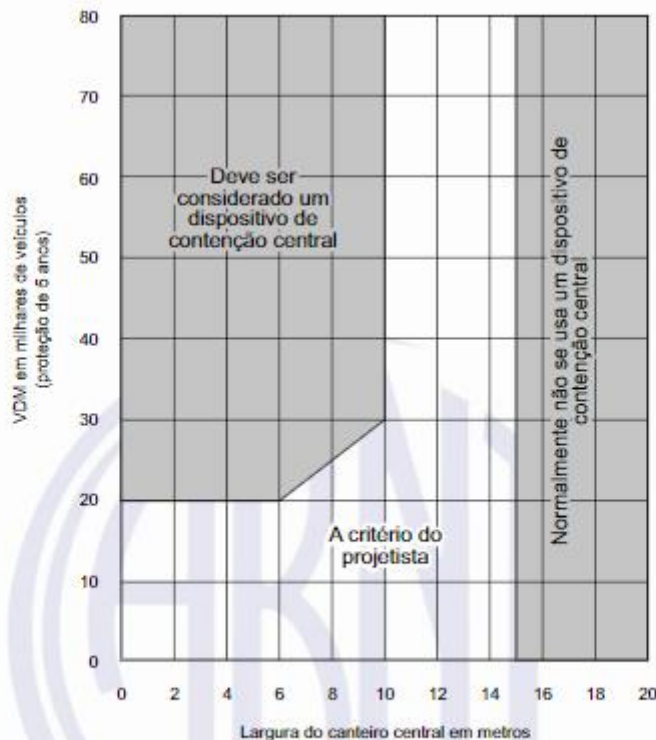
#### 2.2.1.1.4. Suportes para placas e luminárias

Os suportes de sinais e semáforos, postes de iluminação ou luminárias também devem ser analisados. Caso não possam se localizar em área inacessível aos veículos ou serem produzidos em material colapsável considera-se a proteção destes, com dispositivos de contenção viária.

#### 2.2.1.1.5. Canteiro central

Finalmente, outra condicionante à implantação de dispositivos de contenção é o canteiro central, quando este existir, o que se enquadra na situação do projeto aqui retratado.

Além de obrigatoriamente serem analisados em função de todas as outras condicionantes citadas anteriormente, este ainda deve atender outra diretriz quando possui canteiro atravessável, em função de sua largura e VDM da via. Segue abaixo figura ilustrativa.



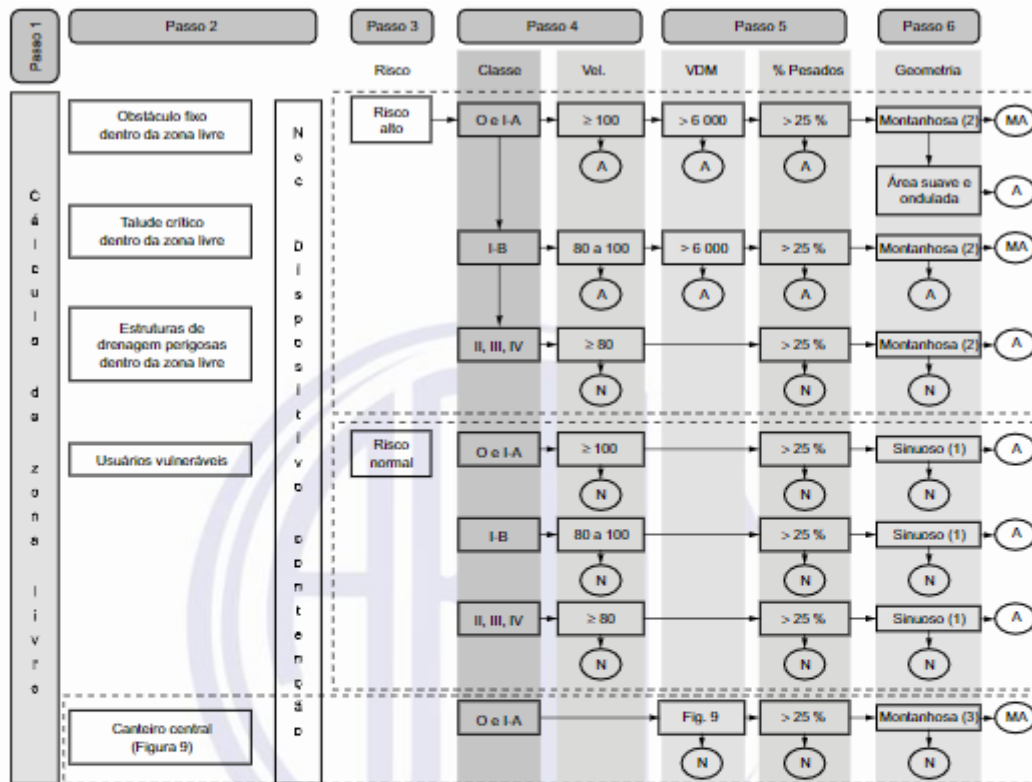
NOTA Utiliza-se o VDM total da rodovia, considerando a possibilidade de impacto frontal com o fluxo oposto, excluindo o VDM das marginais segregadas.

Figura 4: Necessidade de dispositivo de contenção central (ABNT NBR 15486/2016)

### 2.2.1.2. Determinação de dispositivos ensaiados

A caracterização dos dispositivos de contenção longitudinal ensaiados considera três critérios principais, sendo: nível de contenção, índice de severidade da aceleração e espaço de trabalho e deflexão dinâmica.

A seleção de dispositivos por níveis de contenção deve ser feita por trechos homogêneos ou também ser feita em pontos específicos que demandem uma intervenção diferenciada. Neste sentido, para se determinar qual o nível, alguns passos devem ser desenvolvidos, sendo estes: cálculo da zona livre; averiguação da necessidade em função das condicionantes exigidas; determinação do risco; verificação da classe da rodovia e sua velocidade; valor do VDM e porcentagem de veículos pesados e condições geométricas da via. O diagrama a seguir ilustra o processo.


**Legenda**

N normal  
A alto  
MA muito alto

(1) São considerados trechos sinuosos: sequência de curvas acentuadas com raio < 60 m e AC > 30° ou 60 m < raio < 120 m e AC > 45°, considerando especialmente o lado externo destas curvas

(2) Área montanhosa, com quedas altas em taludes críticos

(3) Área montanhosa com grande desnível entre pistas

Figura 5: Seleção dos dispositivos por nível de contenção (ABNT NBR 15486/2016)

Uma vez conhecida a classificação do nível de contenção e as características do projeto e do tráfego, caracteriza-se qual nível de contenção o dispositivo deve atender, em conformidade com a matriz de ensaios produzidas pela norma EM 1317-2, regulamentada em território europeu, ou a pela norma NCHRP 350, regulamentada em território norte-americano.

Tabela 2: Níveis de contenção, conforme EN 1317-2 (ABNT NBR 15486/2016)

Classificação	EN 1317-2
Muito alta	H4a, H4b, L4a e L4b
Alta	H1, H2, H3, L1, L2 e L3
Normal	N1 e N2
Temporária	T1, T2 e T3

Tabela 3: Níveis de contenção, conforme NCHRP 350 (ABNT NBR 15486/2016)

Classificação	NCHRP 350
Muito alta	TL5 e TL6
Alta	TL4, TL5 e TL6
Normal	TL3
Temporária	TL1, TL2 e TL3

Em seguida, é determinado o nível de severidade estabelecido para o elemento. O nível de severidade reflete o nível de segurança para os ocupantes do veículo durante o impacto, sendo o A mais seguro que os demais. Sua determinação é tratada pelos índices ASI e THIV, conforme demonstrado abaixo:

Tabela 4: Classificação de severidade do impacto (ABNT NBR 15486/2016)

Nível da severidade do impacto	Valor do índice		
A	ASI $\leq$ 1	e	THIV $\leq$ 33 km/h
B	1 < ASI $\leq$ 1,4		
C	1,4 < ASI $\leq$ 1,9		

Para NCHRP 350 é necessário utilizar a tabela 5.1 – *Evaluation Criteria* do referido relatório.

Por fim, é determinado o espaço de trabalho (W) máximo que o dispositivo pode performar. Este pode ser definido como a distância medida entre a face voltada ao tráfego do dispositivo de contenção anterior ao momento do impacto, até o ponto mais externo do dispositivo, em dinâmica decorrente do impacto. As especificações, conforme EN 1317, bem como uma figura ilustrativa do conceito são apresentados abaixo.

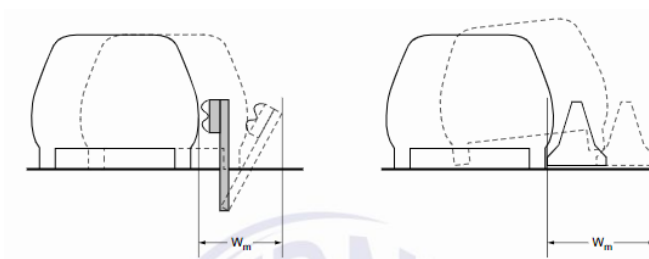


Figura 6: Demonstração do espaço de trabalho (ABNT NBR 15486/2016)

Tabela 5: Espaço de trabalho, conforme EM 1317 (ABNT NBR 15486/2016)

Níveis	Espaço de trabalho m
W1	≤ 0,6
W2	≤ 0,8
W3	≤ 1,0
W4	≤ 1,3
W5	≤ 1,7
W6	≤ 2,1
W7	≤ 2,5
W8	≤ 3,5

### 2.2.1.3. Exemplos de dispositivos de contenção longitudinal e pontual

#### 2.2.1.3.1. Barreiras rígidas de concreto

As barreiras rígidas de concreto podem ser definidas como um dispositivo contenção viária rígido e contínuo, com forma e dimensões tais que, quando colidido por veículo desgovernado, reconduz esse veículo à pista com desacelerações suportáveis pelo corpo humano e com os menores danos possíveis aos veículos e ao próprio dispositivo, impedindo o acesso a locais que ofereçam risco de acidentes.

São indicadas principalmente para proteção nos locais onde as defensas não podem atingir os seus objetivos colimados. As defensas precisam de espaço externo para a deformação causada pelo impacto e alguns locais não dispõem desse espaço, como os tabuleiros das pontes e viadutos e a separação de pistas de sentidos contrários nos segmentos sem canteiro central.

As barreiras podem ser:

- Simples: dotada de uma superfície de deslizamento, usada em bordas externas de pistas e obras de arte especiais.
- Dupla: dotada de duas superfícies de deslizamento, geralmente usadas como superadoras de fluxo das vias, nos canteiros centrais de rodovias com pistas duplas

A norma ABNT NBR 14885/2016 apresenta três tipos distintos de perfis que as barreiras rígidas podem ter, sendo:

- Perfil tipo “New Jersey”: comumente utilizado no Brasil, é armada e apresenta nível de contenção TL4 para barreiras baixas e TL5 para barreiras altas;
- Perfil tipo “F”: é armada e apresenta nível de contenção TL4 para barreiras baixas e TL5 para barreiras altas;

- Perfil tipo ontário “tal wall”: não é armada e apresenta nível de contenção TL5.

O seu modo de execução em obra pode ser moldado “in loco” ou pré-moldado, conforme determinação do projetista.

### **2.2.1.3.2. Defensas metálicas**

As defensas metálicas são definidas como dispositivos de contenção viária contínuos, constituídos de perfis metálicos, implantados ao longo das vias com circulação de veículos e projetados na sua forma, resistência e dimensões para conter e redirecionar os veículos desgovernados, absorvendo parte da energia cinética, pela deformação do dispositivo.

Assim, como as barreiras rígidas, as defensas também podem ser simples ou duplas.

Considerando a norma ABNT NBR 6971/2012, as defensas podem ser classificadas como:

- Maleáveis: sistema semirrígido, composto por lâminas dupla onda, postes maleáveis, espaçadores maleáveis, garras de fixação, plaquetas, cintas (no caso de defensas simples), parafusos, porcas e arruelas. Neste dispositivo, o espaçamento entre postes é de 4 m no modelo duplo e 2 m no modelo simples;
- Semimaleáveis: sistema semirrígido, composto por lâminas dupla onda, postes semimaleáveis, espaçadores simples, calços, plaquetas, parafusos, porcas e arruelas. Neste dispositivo, o espaçamento entre postes é de 4 m.

Além da classificação entre maleável/semimaleável, também podem ser indicados dispositivos ensaiados, caracterizados de acordo com o nível de contenção, severidade e espaço de trabalho, tal como no descrito na norma ABNT NBR 15486/2016.

### **2.2.1.3.3. Terminais absorvedores de energia**

Os terminais absorvedores de energia são dispositivos de contenção pontuais acoplados a um sistema de contenção longitudinal que, ao ser impactado frontalmente, absorvem a energia cinética do veículo errante, conduzindo-o a uma parada segura.

Podem ser ensaiados para diferentes velocidades, em conformidade com a norma ABNT NBR 15486/2016. Podem ser simples ou duplos, tal como as defensas metálicas.

### **2.2.1.3.4. Atenuadores ou amortecedores de impacto**

Os atenuadores de impacto são dispositivos de contenção pontuais fixos ou móveis, que possuem a capacidade de absorver energia a uma taxa controlada, parando o veículo impactante em distância relativamente curta e de uma forma que reduza o potencial de ferimentos severos aos ocupantes.

Da mesma forma que os terminais absorvedores de energia, podem ser ensaiados para diferentes velocidades, em conformidade com a norma ABNT NBR 15486/2016.

## **2.2.2. Demais Dispositivos de Segurança**

Assim como descrito anteriormente, ainda que os dispositivos de contenção viária representem uma grande melhoria à segurança viária, estes não são os únicos que devem ser incorporados ao projeto.

Existem outros dispositivos que possuem finalidades distintas e que permitem o aumento da segurança para diferentes usuários, inclusive para aqueles com uma maior vulnerabilidade, tais como, os pedestres e ciclistas. Contudo, ressalta-se que, no caso do projeto do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte, dadas as suas características de corredor de tráfego de longa distância, com acesso controlado, não cabe considerar algumas estratégias voltadas à segurança de usuários vulneráveis ao eixo principal, como a incorporação de sinalização de alerta para áreas urbanas e possibilidade de congestionamentos e tratamento de pontos de embarque e desembarque de transporte coletivo; uma vez que estes não terão acesso ao corredor. Essas questões, entretanto, podem ser consideradas nas vias marginais ou pontos de transposição de tráfego, caso aplicável.

Sendo assim, a seguir são descritos sucintamente alguns elementos ou estratégias, usualmente empregados em projetos, que visam aumentar a segurança viária para diferentes usuários.

### **2.2.2.1.1. Tela Antiofuscante**

O sistema antiofuscamento reduz o brilho e torna possível utilizar com maior destreza o farol alto. A tela antiofuscante é um conjunto de peças instaladas na divisória de pistas de sentidos opostos de uma via, com a finalidade de minimizar o ofuscamento do campo de visão dos condutores, provocado pelos faróis dos veículos que circulam no sentido contrário. Esta deve seguir as premissas contidas na norma ABNT NBR7941:2011, para a garantia de sua aplicação eficiente.

Pode ser implantada sobre barreiras rígidas ou sobre canteiros centrais e ainda exerce a função adicional de constituir-se um impeditivo aos pedestres atravessarem indevidamente a pista de rolamento, geralmente utilizada abaixo de passarelas.

### **2.2.2.1.2. Guarda-corpo**

O guarda-corpo é um dispositivo de proteção contínuo, usualmente fabricado em material metálico ou em concreto. Possui a finalidade de proteger o pedestre, principalmente em calçadas que possuem alto desnível em relação ao lado externo da pista, evitando quedas que possam comprometer sua segurança.

### **2.2.2.1.3. Gradil**

O gradil também é um dispositivo de proteção contínuo, usualmente fabricado em material metálico. Geralmente é instalado nas calçadas ou em canteiros divisores de pistas de rolamento, possuindo a finalidade de direcionar a linha de desejo de pedestres

para o local onde a travessia possa ser realizada com segurança e/ou impedir o acesso indesejado em pontos do leito viário.

#### **2.2.2.1.4. Sonorizador**

O sonorizador é um dispositivo físico implantado sobre a superfície da pista, de modo que provoque trepidação e ruído na passagem dos veículos. Possui a finalidade de alertar o condutor para uma situação atípica à frente, tornando o deslocamento mais seguro ao usuário.

Pode ser executado com material asfáltico, de concreto ou com material de demarcação viária. Deve seguir às especificações contidas na resolução 601/2016 do CONTRAN para garantir sua eficiência e validação.

#### **2.2.2.1.5. Dispositivos de contenção de emergência em rampas longas**

Os dispositivos de contenção de emergência em rampas longas, também conhecidos como áreas de escape, são mecanismos capazes de dissipar a energia cinética dos veículos fora de controle, substituindo os freios de serviço inoperantes. Estes podem ser classificados de acordo com os mecanismos de frenagem, sendo os dispositivos mais comuns: as rampas de gravidade, os montes de areia e os dispositivos que usam caixa de retenção.

Dentre os citados, a estratégia mais comum é a incorporação de áreas de escape com caixa de retenção, seja em argila expandida ou brita. Ela funciona de tal modo que os veículos de carga desgovernados são freados através da resistência de rolamento produzida pela penetração das rodas do veículo no material solto, usado para o enchimento da caixa. Geralmente são utilizadas em conjunto com dispositivos de contenção longitudinal, que fazem a delimitação a via onde a caixa será locada.

No projeto do Rodoanel aqui retratado, não há previsão deste tipo de recurso na Alça Norte, por suas características altimétricas suavizadas, somente na Alça Sul, onde há rampas acentuadas em trechos longos.

#### **2.2.2.1.6. Passagens de Fauna**

As passagens de fauna são estruturas que visam transpor corredores viários, de forma a permitir a movimentação da fauna que vive nas áreas lindeiras interceptadas pela via, evitando o risco de atropelamento das espécies.

No projeto do Rodoanel estão previstas obras de arte especiais (OAEs) destinadas a funcionar como corredores ecológicos.

#### **2.2.2.1.7. Painéis de Mensagem Variável - PMV**

Os painéis de mensagem variável (PMV) são sistemas compostos por painéis de exibição eletrônicos e inteligentes que objetivam o gerenciamento do tráfego rodoviário.

Estes permitem que mensagens de texto e sinais gráficos sejam combinados, para um eficiente gerenciamento e controle do tráfego, além de alertarem os usuários sobre situações atípicas.

Podem ser classificados em três grupos distintos: (1) reflexivos, que refletem a luz de alguma fonte externa, como o sol, lâmpadas ou os próprios faróis dos veículos; (2) luminosos, que possuem sua própria fonte de luz e (3) híbridos, que se fazem da combinação de ambos os sistemas.

Os painéis de mensagens variáveis, ainda que sejam bons recursos para a garantia da segurança viária, são dispositivos característicos da operação da via, sendo este assunto abordado em maiores detalhes no volume relativo aos custos operacionais da concessão (OPEX).

#### **2.2.2.1.8. Sistemas de Controle de Velocidade**

Os sistemas de controle de velocidade, popularmente conhecidos como radares, possuem a finalidade de fiscalizar a velocidade em pontos específicos da via. Eles podem se diferenciar quanto aos seguintes aspectos: a tecnologia de medição da velocidade, ao tipo de instalação e a forma de registro das infrações.

Assim como os PMV, os sistemas de controle de velocidade também são recursos específicos de operação da via, sendo este assunto também abordado no volume relativo aos custos operacionais da concessão (OPEX).

### **2.3. Análise da Segurança Viária (Abordagem iRap)**

O International Road Assessment Program (iRAP) é um programa guarda-chuva liderado por uma instituição global sem fins lucrativos que opera programas e projetos em mais de 100 países. Este desenvolveu metodologias de análise da segurança viária, de forma a possibilitar o estudo crítico e o desenvolvimento de soluções que visam a redução do número de acidentes e mortes dos usuários na malha rodoviária.

O método/ferramenta mais conhecido é o Star Rating, ou “classificação por estrelas”, que é baseado em dados de inspeção rodoviária e fornece uma medida simples e objetiva do nível de segurança embutido nas vias, com análises distintas para quatro tipos de usuários: veículos, motociclistas, ciclistas e pedestres.

O iRAP estabelece atualmente uma série de parcerias (com governos, instituições públicas/privadas, dentre outros) para o desenvolvimento da análise da malha viária. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) criou em 2019 um programa, intitulado BrazilRAP, que tem como objetivo gerir as vias de maior risco no país, em parceria com as agências governamentais federais e estaduais, bancos de desenvolvimento, instituições de pesquisa, ONGs de segurança rodoviária e indústrias.

Ademais, em 2018 foram estabelecidas metas globais de desempenho em segurança viária pela Organização das Nações Unidas (ONU), da qual a meta 3 envolve o método de classificação em estrelas, podendo ser traduzida como “até 2030, todas as novas

vias atingirão padrões técnicos que levem em consideração a segurança no trânsito para todos os seus usuários, ou atinjam uma classificação de três estrelas ou mais”.

Em vista disso, o projeto da alça viária caracterizado neste relatório está alinhado com as exigências mundiais, garantindo classificação igual ou superior a três estrelas para todos os usuários em todo o trecho rodoviário. Ademais, nos casos das travessias urbanas, o projeto garante no mínimo quatro estrelas para pedestres, uma vez que são pontos que exigem um cuidado ainda maior para este tipo de usuário.

Para desenvolver formalmente a metodologia, o iRAP exige o desenvolvimento de três atividades específicas:

- Inspeção de via, que envolve coleta de dados de imagens, GPS e distância, e amostragem de velocidade e fluxo;
- Codificação de atributos da via, que envolve o uso das imagens da inspeção para registrar os atributos da via em intervalos fixos;
- Análise e relatórios, que envolvem o uso de dados de codificação de atributos viários e outros dados de apoio para criar planos de investimento de classificações de vias e segurança viária, desenvolvidos no software online do iRAP - o ViDA.

Dada a complexidade de desenvolvimento da metodologia completa proposta pelo iRap, optou-se, para fins de simulação, em utilizar o “Star Rating Demonstrator” – ferramenta interativa disponibilizada no ViDA, que permite que as partes interessadas na segurança no trânsito explorem a relação entre os elementos de projeto e a classificação de estrelas, considerando todos os grupos de usuários.

Para tanto, duas simulações foram produzidas – uma para a rodovia em trechos rurais e outra para trechos urbanos, demonstradas a seguir. Cabe ressaltar que não foi desenvolvida uma simulação da classificação de estrelas para as vias marginais, visto que suas características podem variar considerando suas especificidades, dependendo de análise específica dos municípios em que estas se encontrarem. Contudo, as marginais deverão seguir um padrão mínimo de segurança, conforme os parâmetros e diretrizes contidos nas normas ABNT e nos manuais e resoluções do CONTRAN, garantindo condições adequadas de segurança, priorizando nestas vias os usuários mais vulneráveis (ciclistas e pedestres).

### **2.3.1. Simulação da Rodovia em Trechos Rurais**

As características da alça, em específico, a define como classe tipo 0, com velocidade diretriz de 100 km/h. A configuração de sua seção transversal típica compreende duas faixas de rolamento e uma área de acostamento por sentido, segregadas por um canteiro central de 17,00 m.

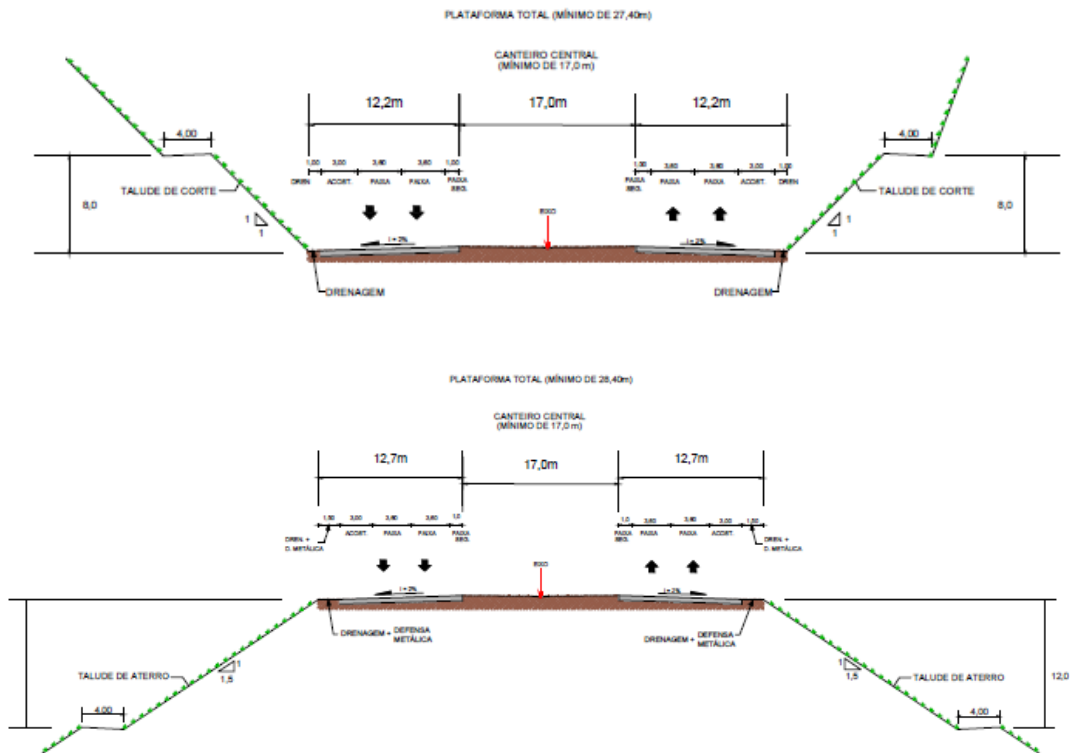


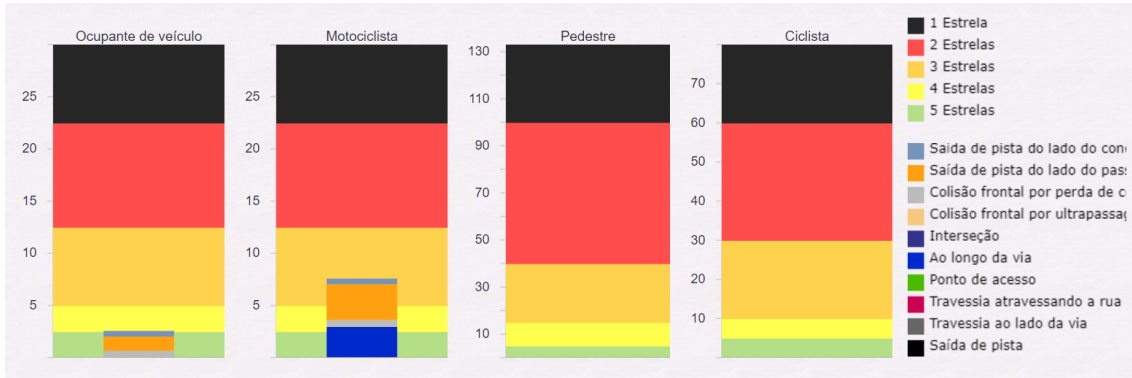
Figura 7: Seção transversal tipo do projeto

Em vista do apresentado, no que concerne à análise em trechos rurais, considerou-se: (1) as características do projeto, (2) as condições de um ambiente rural, sem ocupação lindeira, (3) o acesso proibido de pedestres e ciclistas (via de acesso controlado). Considerando que não haverá fluxo de pedestres ou ciclistas, a classificação da segurança neste contexto para estes usuários não é aplicável. Sendo assim, a simulação da classificação do projeto segue o estipulado abaixo:



Figura 8: Simulação da classificação rural por estrelas (Star Rating Demonstrator)

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte**
**Data:** 28/10/2020

**Versão:** 02

**Figura 9: Simulação do gráfico de classificação rural (Star Rating Demonstrator)**

Por fim, é apresentada em seguida a relação de atributos considerados para a simulação.

Severidade lateral - lado do condutor - distância	>= 10m
Severidade lateral - lado do condutor - objeto	Sem objetos
Severidade lateral - lado do passageiro - distância	1 a <5m
Severidade lateral - lado do passageiro - objeto	Barreira de segurança - metal
Sonorizadores ao longo do acostamento	Ausente
Acostamento pavimentado - lado do condutor	Médio (>= 1,0m a < 2,4m)
Acostamento pavimentado - lado do passageiro	Largo (>=2,4m)
Etiqueta da pista principal	Pista A de uma via de pista dupla
Custo da melhoria	Baixo
Tipo de canteiro central	Largura do canteiro central físico >= 10.0m a < 20.0m
Sonorizadores ao longo do eixo da pista	Ausente
Número de faixas	Dois
Largura da faixa	Larga (>=3,25m)
Curvatura	Reta ou ligeiramente curvada
Qualidade da curva	Não se aplica
Inclinação	>= 0% a <4%

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte****Data:** 28/10/2020**Versão:** 02

Condição do pavimento	Boa
Resistência à derrapagem	Pavimentada - adequada
Delineamento	Adequada
Iluminação pública da via	Presente
Estacionamento de veículos	Baixo
Via marginal de serviço	Ausente
Obras viárias	Não há obras viárias em andamento
Distância de visibilidade	Adequada

Tipo de interseção	Nenhum
Canalização da interseção	Ausente
Volume de tráfego na via transversal	Nenhum
Qualidade da interseção	Não se aplica
Pontos de acesso a propriedades	Nenhum

Fluxo de veículos (VMDA)	14000
Motociclistas %	1% - 5%
Fluxo de pedestres na hora de pico atravessando a via	0
Fluxo de pedestres na hora de pico ao longo da via - lado do condutor	0
Fluxo de pedestres na hora de pico ao longo da via - lado do passageiro	0
Fluxo de ciclistas na hora de pico	Nenhum

Uso do solo - lado do condutor	Nenhum
Uso do solo - lado do passageiro	Áreas não desenvolvidas
Tipo de área	Área rural/aberta
Infraestrutura para travessia de pedestres - via inspecionada	Nenhum infraestrutura
Qualidade da travessia de pedestres	Não se aplica
Infraestrutura para travessia de pedestres - via transversal	Nenhum infraestrutura
Canalização de pedestres	Ausente
Calçada - lado do condutor	Nenhum
Calçada - lado do passageiro	Nenhum

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte**

**Data:** 28/10/2020  
**Versão:** 02

Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Nenhuma
Infraestrutura para bicicletas	Nenhuma
Advertência de zona escolar	Não se aplica (não há escola no local)
Supervisor de travessia de pedestres em zona escolar	Não se aplica (não há escola no local)
Limite de velocidade permitida	100km/h
Limites de velocidades diferenciais	Ausente
Gestão de velocidade / "traffic calming"	Ausente
Velocidade operacional (85 percentil)	100km/h

Figura 10: Atributos considerados para a simulação rural (Star Rating Demonstrator)

**2.3.2. Simulação da Rodovia em Trechos Urbanos**

No que concerne à análise em trechos urbanos, considerou-se: (1) as características do projeto, (2) as condições de um ambiente urbano, com ocupação lindeira, (3) a presença de passarelas em pontos onde a travessia for necessária, (4) a segregação do pedestre junto ao fluxo veicular, através da implantação de gradil por exemplo, (5) a implantação de marginais e (6) implantação de ciclovias.

Sendo assim, a simulação da classificação do projeto segue o estipulado abaixo:

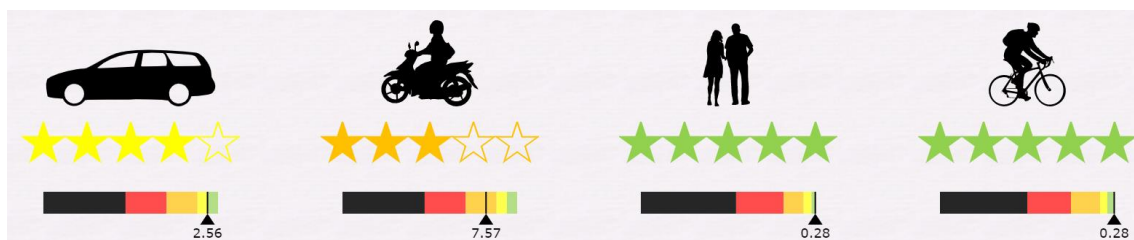


Figura 11: Simulação da classificação urbana por estrelas (Star Rating Demonstrator)

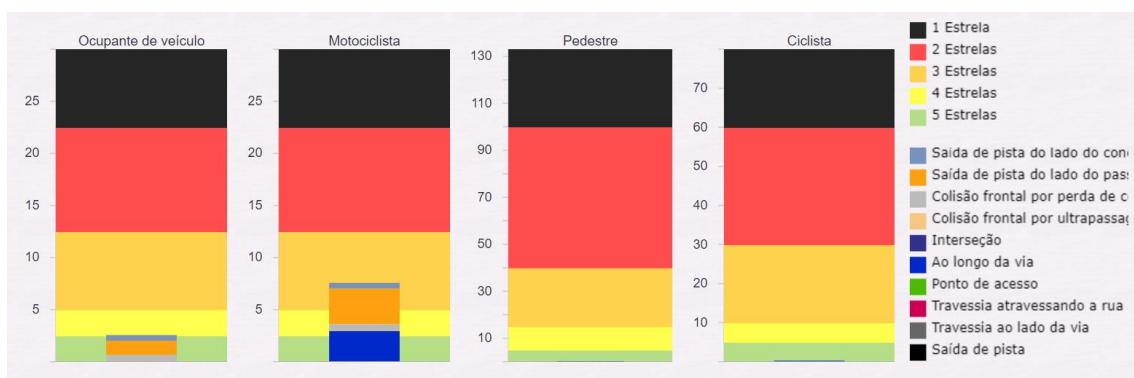


Figura 12: Simulação do gráfico de classificação urbana (Star Rating Demonstrator)

Por fim, é apresentada em seguida a relação de atributos considerados para a simulação.

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte****Data:** 28/10/2020**Versão:** 02

Severidade lateral - lado do condutor - distância	>= 10m
Severidade lateral - lado do condutor - objeto	Sem objetos
Severidade lateral - lado do passageiro - distância	1 a <5m
Severidade lateral - lado do passageiro - objeto	Barreira de segurança - metal
Sonorizadores ao longo do acostamento	Ausente
Acostamento pavimentado - lado do condutor	Médio (>= 1,0m a < 2,4m)
Acostamento pavimentado - lado do passageiro	Largo (>=2,4m)

Etiqueta da pista principal	Pista A de uma via de pista dupla
Custo da melhoria	Alto
Tipo de canteiro central	Largura do canteiro central físico >= 10.0m a < 20.0m
Sonorizadores ao longo do eixo da pista	Ausente
Número de faixas	Dois
Largura da faixa	Larga (>=3,25m)
Curvatura	Reta ou ligeiramente curvada
Qualidade da curva	Não se aplica
Inclinação	>= 0% a <4%

Condição do pavimento	Boa
Resistência à derrapagem	Pavimentada - adequada
Delineamento	Adequada
Iluminação pública da via	Presente
Estacionamento de veículos	Baixo
Via marginal de serviço	Presente
Obras viárias	Não há obras viárias em andamento
Distância de visibilidade	Adequada

Tipo de interseção	Nenhum
Canalização da interseção	Ausente
Volume de tráfego na via transversal	Nenhum
Qualidade da interseção	Não se aplica
Pontos de acesso a propriedades	Nenhum

**Relatório de Segurança Viária –  
Alça Norte**
**Data:** 28/10/2020

**Versão:** 02

Fluxo de veículos (VMDA)	14000
Motociclistas %	1% - 5%
Fluxo de pedestres na hora de pico atravessando a via	51 a 100
Fluxo de pedestres na hora de pico ao longo da via - lado do condutor	0
Fluxo de pedestres na hora de pico ao longo da via - lado do passageiro	51 a 100
Fluxo de ciclistas na hora de pico	51 a 100
Uso do solo - lado do condutor	Nenhum
Uso do solo - lado do passageiro	Residencial
Tipo de área	Área urbana/cidade rural ou vilarejo
Infraestrutura para travessia de pedestres - via inspecionada	Travessia em desnível
Qualidade da travessia de pedestres	Adequada
Infraestrutura para travessia de pedestres - via transversal	Travessia com sinalização horizontal (faixa de travessia), sem semáforo, nem refúgio
Canalização de pedestres	Presente
Calçada - lado do condutor	Nenhum
Calçada - lado do passageiro	Separação não física do trânsito de 0m a <1,0m
Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Nenhuma
Infraestrutura para bicicletas	Ciclovia fora da pista principal
Advertência de zona escolar	Não se aplica (não há escola no local)
Supervisor de travessia de pedestres em zona escolar	Não se aplica (não há escola no local)
Limite de velocidade permitida	100km/h
Limites de velocidades diferenciais	Ausente
Gestão de velocidade / 'traffic calming'	Ausente
Velocidade operacional (85 percentil)	100km/h

**Figura 13: Atributos considerados para a simulação urbana (Star Rating Demonstrator)**

### **3. Conclusão**

O presente relatório teve como objetivo discorrer sobre a importância da segurança viária. Além disso, objetivou-se apresentar informações, diretrizes e premissas de elementos e métodos referentes à análise da segurança viária, a serem desenvolvidos para a Alça Norte do Projeto do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Ressalta-se que, após a conclusão do projeto geométrico, será desenvolvido um diagrama unifilar apresentando a localização dos dispositivos de segurança a serem contemplados no projeto, bem como possibilitar o levantamento das quantidades necessárias a este.