

## **PLANO DE TRABALHO**

**Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT**

**Capítulo XX do Edital 02, Lote 06, item 10 do PER**

**Rodovia BR 116 - Trecho São Paulo - Curitiba**

**PROJETO 06 - SGP/ARB\_06**

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO**



**RELATÓRIO FINAL**

**Março – 2016**

## SUMÁRIO

|          |                                                                                       |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>CONCESSIONÁRIA .....</b>                                                           | <b>4</b>   |
| <b>2</b> | <b>DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>                                                      | <b>4</b>   |
|          | 2.1 Título do projeto .....                                                           | 4          |
|          | 2.2 Objetivo do projeto .....                                                         | 4          |
| <b>3</b> | <b>JUSTIFICATIVA .....</b>                                                            | <b>5</b>   |
| <b>4</b> | <b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....</b>                                               | <b>7</b>   |
| <b>5</b> | <b>ETAPAS DA PESQUISA .....</b>                                                       | <b>10</b>  |
|          | 5.1 Caracterização do trecho de estudo .....                                          | 10         |
|          | 5.2 Montagem e instalação do simulador de direção.....                                | 38         |
|          | 5.3 Delineamento e execução do experimento no simulador para o cenário base .....     | 44         |
|          | 5.4 Análise da percepção e relevância da sinalização no cenário base.....             | 52         |
|          | 5.5 Elaboração dos novos cenários (projetos) de sinalização no trecho de estudo ..... | 69         |
|          | 5.6 Análise da efetividade dos projetos de sinalização propostos .....                | 80         |
|          | 5.7 Implantação do projeto de sinalização no trecho de estudo.....                    | 89         |
|          | 5.8 Avaliação do projeto de sinalização após implantação no trecho de estudo .....    | 99         |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                      | <b>134</b> |
| <b>7</b> | <b>LOCAL DE EXECUÇÃO .....</b>                                                        | <b>137</b> |
| <b>8</b> | <b>ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA .....</b>                                             | <b>137</b> |
|          | 8.1 EQUIPE DE ACESSORAMENTO TÉCNICO .....                                             | 137        |
| <b>9</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                | <b>139</b> |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ANEXOS .....</b>                                                       | <b>142</b> |
| <b>ANEXO 1 - PARÂMETROS DO ALINHAMENTO HORIZONTAL.....</b>                | <b>143</b> |
| <b>ANEXO 2 - CADASTRO DA SINALIZAÇÃO .....</b>                            | <b>145</b> |
| <b>ANEXO 3 - QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO CONDUTOR.....</b>        | <b>153</b> |
| <b>ANEXO 4 - <i>SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE</i> .....</b>            | <b>156</b> |
| <b>ANEXO 5 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO SIMULADOR DE DIREÇÃO.....</b> | <b>158</b> |
| <b>ANEXOS 6 A 11 - CENÁRIOS TESTADOS.....</b>                             | <b>160</b> |
| <b>ANEXO 12 - PROJETO EXECUTIVO DO TRECHO DE ESTUDO .....</b>             | <b>167</b> |

## 1 CONCESSIONÁRIA

Autopista Régis Bittencourt

## 2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

### 2.1 TÍTULO DO PROJETO

Avaliação da sinalização viária através do uso de simulador de direção.

### 2.2 OBJETIVO DO PROJETO

#### 2.2.1 Objetivo Geral

O objetivo precípua desta pesquisa é avaliar a dimensão e posicionamento físico da sinalização implantada através da análise estatística e testes de cognição, a partir das reações dos condutores em testes no simulador de direção (Figura 1). Esta avaliação será realizada em trechos em curvas da pista Sul da Rodovia Régis Bittencourt, compreendidos entre o km 509+000 e km 518+400.



Figura 1. Visualização da sinalização vertical para testes em simulador de direção. Comparação do cenário virtual (esquerda) e o cenário real (direita)

#### 2.2.2 Objetivos Específicos

Foram objetivos secundários desta pesquisa:

- Identificar e analisar o comportamento dos condutores em testes no simulador de direção, principalmente em relação à percepção e relevância de placas de sinalização;
- Propor projetos para reforçar a efetividade da sinalização no trecho de mitigação da acidentalidade e testar esses projetos no simulador de direção;
- Implementar na rodovia o projeto mais efetivo segundo os resultados colhidos via simulador;

- Avaliar a efetividade real do projeto de sinalização implantado na rodovia na mitigação da acidentalidade a partir da análise dos registros de acidentalidade;
- Iniciar a caracterização do comportamento do condutor brasileiro.

### 3 JUSTIFICATIVA

A motivação para a elaboração e desenvolvimento deste projeto se apoia na convicção da necessidade de modernização tecnológica dos estudos relacionados com a segurança em rodovias no Brasil, que se apresentam desatualizados em quase 15 anos em comparação aos países como EUA, França, Itália, Alemanha e Austrália. Esta desatualização culmina por contribuir para um cenário nacional trágico, onde cada ano morrem aproximadamente 41.000 pessoas decorrentes de acidentes em trânsito, número que coloca às rodovias brasileiras entre as mais perigosas do mundo e ao Brasil como o 5º país entre os recordistas mundiais em mortes no trânsito (WHO, 2013).

As estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS) indicam que, sem uma ação urgente, os acidentes de trânsito se tornarão a quinta causa de mortes no mundo em 2030). Diante destes números, tornam-se necessários estudos envolvendo a identificação das causas dos acidentes em relação a diversos fatores, tanto de natureza humana, quanto aqueles relacionados com as características das vias, dos veículos, do ambiente e cultura do país.

A literatura destaca que aproximadamente 90% dos acidentes derivam-se de fatores humanos, tais como falhas de atenção, limitações físicas, pouca destreza, fadiga ou simples transgressão das normas, etc. Esses fatores humanos podem ser classificados em quatro categorias: má disposição pessoal, má disposição social, comportamento ousado e falhas no processamento da informação; essa última, presente em um de cada dois acidentes, segundo estimativas de diversos autores (EVANS, 2004; DEWAR & OLSON, 2007).

De fato, o processamento da informação é talvez a operação mais exigente e complexa na direção, uma vez que compreende executar continuamente, e em poucos segundos, um processo perceptivo, cognitivo e motor, que demanda recursos mentais e físicos por parte do condutor (DEWAR & OLSON, 2007). Nesse sentido, a sinalização vertical é fundamental na mitigação dos acidentes originados por falhas no processamento da informação porque antecipa, complementa e facilita a compreensão da informação que o condutor deve processar enquanto dirige (LAY, 2004). Contudo, frequentemente os condutores não percebem ou não respeitam a sinalização, ainda quando esta pode ser relevante para a sua segurança.

No caso particular do trecho de estudo na rodovia Régis Bittencourt observou-se que apesar de ser um trecho de serra com alto tráfego de veículos pesados e curvas de raio mínimo, os motoristas não percebem esse risco e trafegam muito acima do limite de velocidade e em ocasiões acima da velocidade de projeto das curvas do trecho, registrando-se em média um acidente a cada dois ou três dias, principalmente por saídas de pista, tombamentos ou capotamentos – geralmente associados a excessos de velocidade.

Acredita-se que através da sinalização é possível aumentar essa percepção de risco nos motoristas do trecho e assim mitigar a acidentalidade no mesmo. Nesse contexto, a presente pesquisa busca contribuir no estudo de como pode ser aprimorada a conspicuidade e a relevância da sinalização no trecho de estudo para aumentar sua efetividade na percepção do risco por parte dos motoristas e na mitigação da acidentalidade no trecho.

Entre os diversos recursos disponíveis para estudar o comportamento do condutor em diversos cenários de direção, o uso dos simuladores de direção é cada vez mais frequente, tanto pelos avanços tecnológicos no realismo da simulação quanto pela flexibilidade que oferecem para estudar vários condutores e múltiplos cenários rodoviários, ainda inexistentes, com alto controle experimental para o pesquisador e de forma segura para o condutor (CHRYSLER & NELSON, 2011).

Diversas razões justificam o uso de simuladores de direção nos estudos sobre o trânsito: possibilita investigações sem alterações prévias, por exemplo, na geometria da via; na instalação de dispositivos de segurança e sinalização que ainda não existem e são caros para serem construídos apenas para testes, e no auxílio ao estudo do comportamento do usuário na via. Outra razão, bastante consistente, para o uso dos simuladores de direção se apoia no fato de que, nele, as situações potencialmente perigosas podem ser investigadas sem riscos à vida.

Logo, o simulador de direção é um recurso válido para avaliar o desempenho que teria um projeto de sinalização antes da sua implantação na rodovia e através dessas avaliações no simulador selecionar quais medidas podem ser as mais efetivas na mitigação da acidentalidade no trânsito.

A contextualização da importância dos simuladores de direção realísticos nas pesquisas sobre segurança em rodovias remete obrigatoriamente aos estudos desenvolvidos, por exemplo, pelo *Transportation Research Board (TRB)* dos Estados Unidos, pelo *Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)* da Suécia e pelo *Research Institute of Highway (RIOH)* da China, que visam à prevenção, mitigação de acidentes e estudos de cognição para adaptação de normas e leis, datando as primeiras investigações do ano 2000. Conforme mencionado anteriormente, quase 15 anos já se passaram desde as primeiras investidas das Agências de Transportes Americanas na utilização das tecnologias 3D e de simuladores de direção. No Brasil, entretanto, nenhum passo tinha sido dado nessa direção até agora.

Em definitivo, as principais motivações para realizar esse projeto são dois: em primeiro lugar, prever o desempenho funcional que teriam projetos de sinalização antes da sua implantação no trecho de estudo para implementar o mais efetivo na mitigação da acidentalidade no trecho, e em segundo lugar, incentivar o uso de ambientes simulados de direção para estudar o comportamento do condutor brasileiro e sua interação com o entorno rodoviário.

#### **4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

Conforme mencionado anteriormente, a presente pesquisa objetivou utilizar ambientes simulados de direção para avaliar a efetividade que teriam projetos de sinalização na mitigação da acidentalidade antes da sua implantação na rodovia, focando-se no estudo de caso do trecho km 509+000 - 518+400 da pista sul na rodovia BR-116 Régis Bittencourt, próximo ao município de Cajati, São Paulo.

Em termos gerais, o desenvolvimento do projeto esteve dividido em oito etapas, conforme segue:

##### **Etapas 1 – Caracterização do trecho de estudo**

Com o intuito de reproduzir de forma realística no simulador de direção as condições existentes no trecho de estudo, realizou-se a caracterização da geometria, da sinalização e da operação do tráfego do trecho. Assim, através do projeto geométrico caracterizou-se o traçado, o perfil longitudinal e a seção transversal da pista. A sinalização foi caracterizada através de um cadastro físico que registrou a posição física de todas as placas existentes no trecho, seu tipo e suas dimensões.

Já para caracterizar o tráfego realizaram-se medições na pista das velocidades de operação do tráfego em dez locais do trecho e coletaram-se as informações de volume das praças de pedágio mais próximas ao trecho. Também se realizaram filmagens do trecho com o intuito de caracterizar outros elementos do entorno que adicionam realismo à simulação, tais como taludes, vegetação e desenvolvimentos urbanísticos.

Por último, realizou-se o levantamento e a análise mensal dos acidentes ocorridos no trecho de estudo com o intuito de identificar os locais mais críticos e avaliar as condições de acidentalidade antes e depois da implantação dos projetos de sinalização testados no simulador de direção.

##### **Etapas 2 – Montagem e instalação do simulador de direção**

O desenvolvimento da pesquisa envolveu a montagem e instalação do primeiro simulador de direção utilizado no Brasil e na América Latina para estudos de segurança viária, assim como a integração de um sistema de rastreamento ocular de alta precisão que permite analisar a atenção alocada pelo condutor à sinalização do trecho enquanto dirige no simulador de direção.

O simulador desenvolvido neste projeto pode ser classificado como de sofisticação média, toda vez que possui um alto nível de realismo visual, mas carece de estímulos de aceleração por deslocamento.

Com base na caracterização realizada do trecho, gerou-se no simulador uma reprodução virtual das condições existentes no trecho em termos de geometria, sinalização e operação do tráfego. Posteriormente, a sinalização do trecho foi modificada no simulador de direção com o intuito de reproduzir os novos projetos de sinalização e testá-los no simulador.

### **Etapas 3 – Delineamento e execução do experimento no simulador para o cenário base**

O primeiro experimento realizado no simulador compreendeu testar as condições existentes no trecho de estudo no começo da pesquisa. Este experimento, denominado como cenário base, permitiu caracterizar o nível de percepção e relevância da sinalização existente no trecho no começo da pesquisa, foi a base para a elaboração dos novos projetos de sinalização e permitiu estabelecer uma referência de comparação para esses outros cenários a serem testados no simulador.

O delineamento do experimento consistiu em definir: 1) as variáveis a serem coletadas no simulador ao longo do teste para avaliar a percepção e a relevância da sinalização, 2) a amostra de motoristas que participariam do experimento e 3) o procedimento que cada participante deveria seguir para completar o teste no simulador de direção.

### **Etapas 4 – Análise da percepção e relevância da sinalização no cenário base**

Em primeiro lugar, os resultados obtidos nesse primeiro experimento foram validados em função de uma análise do comportamento adotado pelos condutores no simulador, tanto em termos de velocidade, quanto de percepção da sinalização dentro do ambiente simulado.

Uma vez validados os resultados, identificou-se quais sinais do cenário base eram mais percebidos e respeitados pelos motoristas, quais características (da sinalização, da rodovia e dos motoristas) influenciavam a percepção da sinalização e onde era necessário reforçar a sinalização para mitigar a acidentalidade.

### **Etapas 5 – Elaboração dos novos cenários (projetos) de sinalização no trecho de estudo**

Com base nos resultados obtidos no cenário base identificaram-se locais críticos onde era necessário reforçar a sinalização para melhorar a efetividade da mesma e mitigar a acidentalidade, locais onde era necessário propor alterações menores na sinalização como relocação de placas e locais onde não era necessário realizar nenhuma alteração na sinalização.

Para os locais mais críticos do trecho foram propostos três tipos de projetos distintos para reforçar a sinalização e para cada projeto gerou-se um cenário de direção no simulador com o intuito de testar o desempenho dos motoristas em cada cenário e avaliar a efetividade de cada projeto proposto. As alterações menores foram consideradas como “básicas” e, por conseguinte, foram adotadas nos três cenários propostos.

### **Etapas 6 – Análise da efetividade dos projetos de sinalização propostos**

Uma vez elaborados os novos cenários de sinalização no trecho de estudo, estes foram testados no simulador através de um único experimento. Neste segundo experimento um conjunto de motoristas percorreu uma única vez cada cenário e em cada cenário avaliou-se o desempenho dos motoristas para comparar entre si e com o cenário base do primeiro experimento.

Vale a pena ressaltar que neste segundo experimento conservou-se o mesmo delineamento experimental proposto para o teste do cenário base com o fim de garantir condições experimentais semelhantes e assim poder comparar os resultados obtidos em cada experimento.

Como resultado da análise deste segundo experimento determinou-se qual cenário de sinalização proposto foi mais efetivo segundo o desempenho observado dos motoristas e, por conseguinte, qual deveria ser a alternativa a ser implementada no trecho de estudo.

#### **Etapa 7 – Implantação do projeto de sinalização no trecho de estudo**

Na etapa número 7 do projeto apresenta-se a descrição de todos os elementos que compõem o projeto de sinalização selecionado a partir dos experimentos no simulador. A implantação do projeto no trecho foi realizada por parte da concessionária, sob a auditoria da equipe técnica de assessoramento.

#### **Etapa 8 – Avaliação do projeto de sinalização após implantação no trecho de estudo**

Por fim, uma vez implantado o projeto de sinalização no trecho, analisaram-se os registros de acidentalidade durante um ano, visando concluir sobre a efetividade real do projeto na mitigação da acidentalidade.

## 5 ETAPAS DA PESQUISA

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO

Conforme mencionado anteriormente, o trecho em estudo localiza-se entre o km 509+000 e km 518+400 da pista sul da rodovia BR-116 Régis Bittencourt, na denominada Serra do Azeite, município de Cajati (SP), entre as cidades de São Paulo (SP) e Curitiba (PR).

Para gerar uma reprodução virtual realística do trecho no simulador de direção, foi necessário caracterizar a geometria e as condições de operação do tráfego na rodovia. Nesse sentido, coletaram-se informações secundárias relacionadas ao projeto geométrico da rodovia, contagens de veículos nas praças de pedágio mais próximas ao trecho e registros de ocorrências de acidentes de trânsito. Adicionalmente, realizaram-se coletas *in loco* sobre as velocidades de operação do tráfego e realizou-se um cadastro da sinalização existente no trecho e várias filmagens do trecho para caracterizar seu entorno.

Segue uma descrição detalhada dos estudos realizados para caracterizar a geometria e a operação do trecho de estudo.

#### 5.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRAÇADO

O alinhamento horizontal, vertical e a seção transversal do trecho foram caracterizados a partir do projeto geométrico existente para a rodovia, do levantamento aerofotogramétrico disponível para a região e de medições realizadas *in loco* para conferir e/ou complementar esses dados. A Figura 2 apresenta o traçado do trecho observado no levantamento aerofotogramétrico.



Figura 2. Trecho de estudo – Levantamento aerofotogramétrico

Em primeiro lugar, a seção transversal é composta por três faixas de rolamento, sem acostamento, com uma plataforma total de 10,50 m. Segundo as informações do projeto geométrico, a superelevação máxima de projeto das curvas é de 8%, congruente com a superelevação máxima indicada no Manual de Projeto Geométrico para as características do trecho de estudo (DNER, 1999). Essas superelevações foram conferidas diretamente *in loco*

com medições diretas, obtendo valores semelhantes aos reportados no projeto geométrico da rodovia. A Figura 3 mostra a seção transversal tipo do trecho de estudo.



Figura 3. Seção transversal tipo do trecho em estudo

Em relação ao alinhamento horizontal, o trecho em estudo apresenta traçado sinuoso, com 20 curvas em 10 quilômetros e muitas dessas curvas com raios menores que 150 metros. Supondo a superelevação máxima de 8% nas curvas e para uma velocidade diretriz de 60 km/h, o raio mínimo das curvas deveria ser de 125 m, porém, 5 das 20 curvas têm raios iguais ou menores que esse mínimo de desenho. No Anexo 1 são apresentados todos os parâmetros do alinhamento horizontal das 20 curvas que compõem o trecho, ressaltando as curvas de menor raio.

Para facilitar a identificação das diferentes curvas e tangentes do trecho, criou-se um código para cada um desses elementos conforme segue: as curvas foram nomeadas pela letra C e as tangentes pela letra T, a primeira curva no sentido do tráfego (São Paulo - Curitiba) recebeu o nome C1 e a primeira tangente T1 e assim sucessivamente; uma vez que o trecho em estudo começa com uma curva (C1), a primeira tangente (T1) faz referência à saída da curva 1 e assim sucessivamente. A Tabela 1 descreve as curvas que compõem o trecho de estudo e a Figura 4 ilustra a localização das curvas sobre o traçado do trecho.

Tabela 1 – Identificação das curvas do trecho de estudo

| ID | km inicial | km final | Comprimento [m] | R [m] |
|----|------------|----------|-----------------|-------|
| C1 | 508+740    | 509+110  | 347             | 130   |
| C2 | 509+175    | 509+510  | 338             | 130   |
| C3 | 509+550    | 509+725  | 174             | 130   |
| C4 | 509+960    | 510+125  | 142             | 615   |
| C5 | 510+435    | 510+600  | 166             | 190   |
| C6 | 510+875    | 511+120  | 261             | 130   |
| C7 | 511+170    | 511+510  | 341             | 180   |
| C8 | 511+575    | 511+835  | 263             | 230   |

|     |         |         |     |     |
|-----|---------|---------|-----|-----|
| C9  | 512+080 | 512+425 | 345 | 615 |
| C10 | 512+540 | 512+910 | 369 | 190 |
| C11 | 512+960 | 513+345 | 352 | 190 |
| C12 | 513+645 | 513+810 | 162 | 230 |
| C13 | 513+860 | 514+070 | 170 | 605 |
| C14 | 514+640 | 514+845 | 205 | 130 |
| C15 | 515+030 | 515+300 | 270 | 230 |
| C16 | 515+515 | 515+805 | 288 | 190 |
| C17 | 516+135 | 516+350 | 217 | 155 |
| C18 | 516+395 | 516+735 | 342 | 215 |
| C19 | 517+130 | 517+657 | 564 | 285 |
| C20 | 517+825 | 518+209 | 424 | 185 |

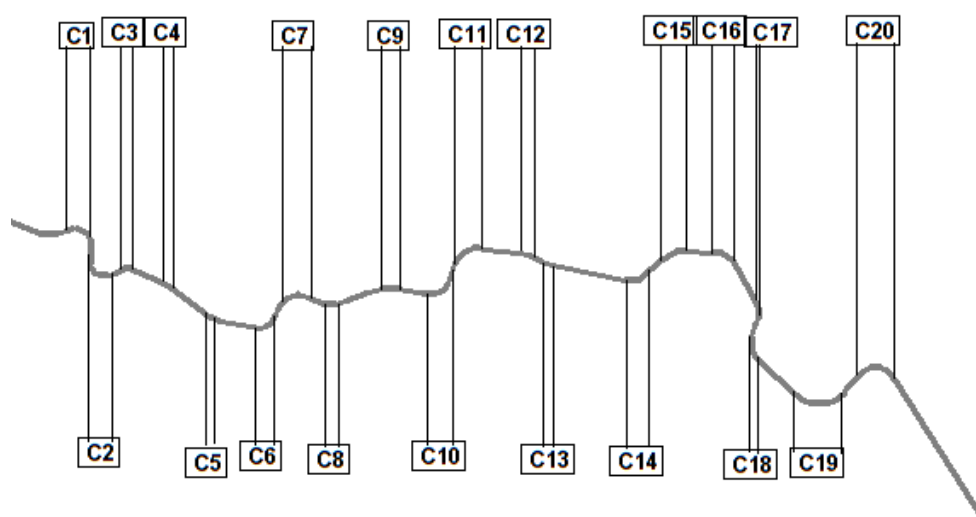


Figura 4. Traçado do trecho em estudo e identificação das curvas

Já em relação ao alinhamento vertical, o trecho possui um relevo predominantemente montanhoso com inclinação média de 4,8%. Adicionalmente, existem rampas com mais de 6% de declividade, sendo o caso mais crítico a tangente entre o km 514+070 e o km 514+640, com rampa média de 6,5% e comprimento de 400 metros.

É importante ressaltar que as informações coletadas no projeto geométrico em relação ao alinhamento vertical foram conferidas *in loco* através de medições com veículos equipados com sensores inerciais. O levantamento realizado com esse equipamento permitiu determinar o perfil da via com precisão milimétrica. Adicionalmente, o uso do sensor inercial permitiu complementar os dados de inclinação da plataforma da pista.

O sensor inercial acoplado ao veículo percorreu a faixa central da plataforma do trecho de estudo, com velocidade média de 60 km/h, num total de três passagens. A Figura 5 exibe o equipamento instalado no veículo.



Figura 5. Sensor inercial acoplado ao veículo

### 5.1.2 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

Sobre o fluxo de tráfego foram coletados dois tipos de informações: o volume de tráfego – obtidos a partir das contagens nas praças de pedágio – e as velocidades de operação – coletadas diretamente em campo.

Em relação ao volume de tráfego, o trecho de estudo está compreendido entre as praças P04 (km 485 - Cajati/SP) e P05 (km 542 - Barra do Turvo/SP) da rodovia Régis Bittencourt. Os volumes de tráfego registrados nas praças podem ser considerados como uma boa estimativa do tráfego no trecho estudado, particularmente a praça P05, porque não existem pontos de fuga entre o trecho e a praça de pedágio.

Com base nas contagens dos pedágios estimou-se a quantidade média de veículos que passa neste trecho da rodovia – Volume Diário Médio (VDM) – conforme segue: para cada categoria de veículo calcula-se o volume anual, multiplica-se esse volume pelo fator de equivalência de cada categoria e finalmente divide-se a soma de volumes equivalentes pelo número de dias do ano. Assim, estimou-se que o VDM no trecho em estudo para os anos de 2011, 2012 e 2013 foi de 8.845, 9.271 e 9.233 veículos por dia, respectivamente. Em termos de distribuição por tipo de veículos, 36% do fluxo de tráfego são veículos leves, 63% veículos pesados e 1% motocicletas. Adicionalmente, entre veículos pesados a distribuição percentual é de 32% de caminhões de 3 eixos, 10% de caminhões de 4 eixos e 58% de caminhões de 5 e 6 eixos. Vale a pena ressaltar que o VDM também foi determinado para avaliar se o crescimento no fluxo poderia ou não estar relacionado a um aumento no índice de acidentes.

Já em relação às velocidades, realizaram-se medições *in loco* para verificar se as velocidades operacionais eram compatíveis com a velocidade de projeto (diretriz) do trecho. A velocidade operacional é definida pela AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) como a velocidade na qual se observa os condutores operando seus veículos sob condições de fluxo livre, ou seja, quando a velocidade não é influenciada pelos demais veículos na via. As velocidades de operação praticadas no trecho definem o  $V_{85}$ , que é a velocidade de operação mais alta praticada por 85% dos usuários.

Na Figura 6 ilustra-se a representação da velocidade operacional representada pelo 85 percentil da distribuição de velocidades observadas.

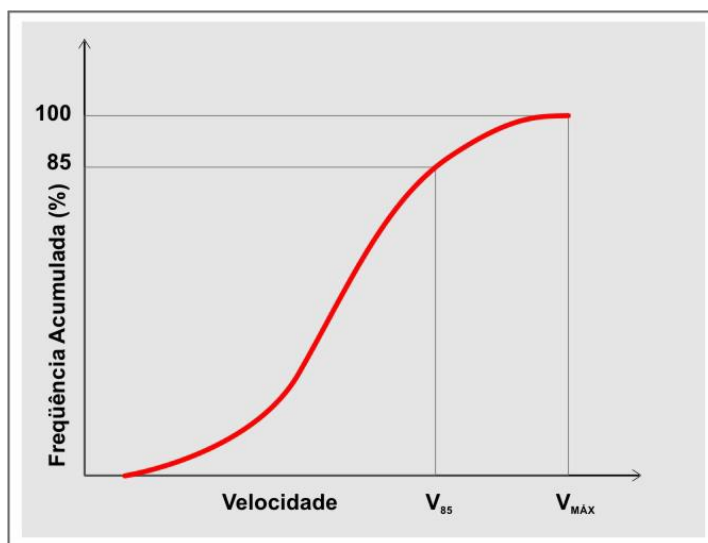


Figura 6. Curva de distribuição de frequência acumulada de velocidades com indicação da velocidade operacional ( $V_{85}$ ) (Fonte: DER, 2006)

O 85 percentil possui uma relação profunda com a questão da segurança. Estudos demonstram que motoristas dirigindo a velocidades superiores ao 85 percentil apresentam maior envolvimento em acidentes do que aqueles que conduzem com velocidades próximas deste valor (DER, 2006). A velocidade é apresentada como um dos principais elementos na ocorrência e na gravidade dos acidentes viários. Dirigir com velocidade superior ao limite legal, ou com velocidade incompatível com as condições do local, contribui tanto para a ocorrência de acidentes como para o aumento da gravidade dessas ocorrências (MALYSHKINA & MANNERING, 2008).

As velocidades de operação foram registradas *in loco* utilizando equipamento de medição eletrônica Metro Count MC-5600, de operação automática, composto por duas mangueiras fixadas no pavimento distantes um metro entre si. O equipamento estima a velocidade dos veículos através da diferença de tempo de acionamento da primeira e da segunda mangueira pela pressão dos pneus. As mangueiras (Figura 7) são conectadas ao dispositivo de aquisição de dados, chamado *Road Side Unit* (Figura 8), que fica posicionado na lateral da pista e armazena os dados da contagem.



Figura 7 - Mangueiras fixadas no pavimento e equipe instalando o equipamento



Figura 8 – Road Side Unit - MC-5600

As velocidades foram registradas em onze locais ao longo do trecho: km 509+400, 510+100, 511+100, 511+800, 513+600, 514+000, 514+500, 515+200, 515+700, 516+300 e 518+100. Em cada local as coletas demoraram em torno de quatro horas, medindo a velocidade de aproximadamente 350 veículos cada hora. Os trechos analisados foram selecionados através de suas características geométricas e ocorrência de acidentes.

É importante ressaltar que os veículos comerciais normalmente trafegam a uma velocidade reduzida devido à carga transportada e rampas ascendentes, que contribuiriam para uma redução significativa da velocidade operacional. Dessa forma, ao incluir os veículos comerciais na determinação da velocidade 85 percentil esta apresentará um valor menor. Assim, optou-se por realizar cálculos separados para os veículos de passeio e os veículos pesados. As figuras 9 a 19 apresentam os resultados das medições de velocidade de operação apenas considerando veículos leves.

#### km 509 + 400 (curva)

- V operacional = 84,3 km/h

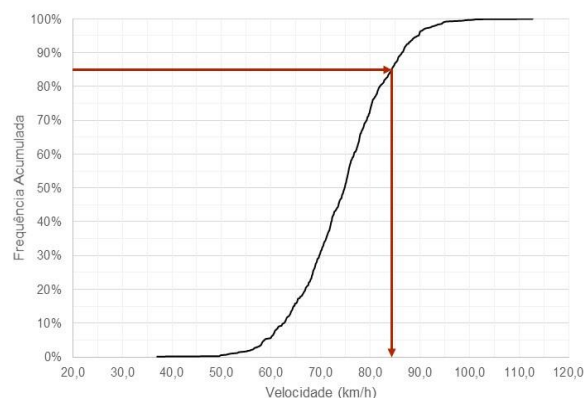


Figura 9 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 509+400

**km 510 + 100 (curva)**

- V operacional = 105,5 km/h

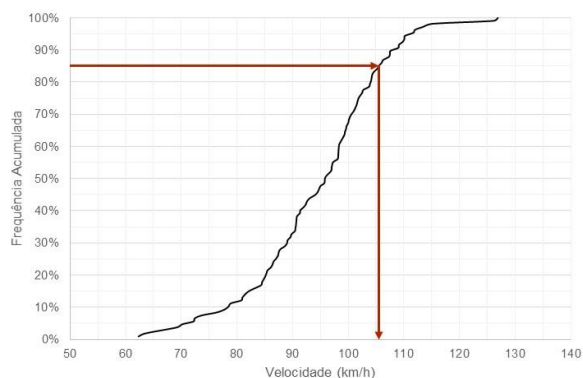


Figura 10 - Velocidade operacional para os veículos leves – km 510+100

- **km 511 + 110 (curva)**

- V operacional = 90,6 km/h

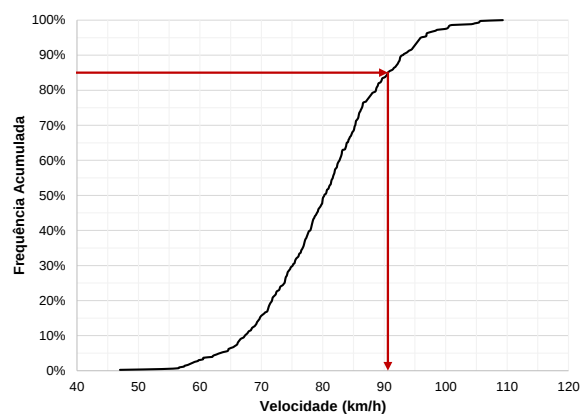


Figura 11 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 511+110

**km 511 + 800 (curva)**

- V operacional = 88,7 km/h

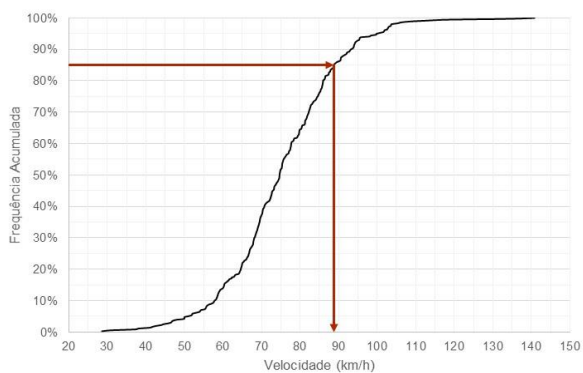


Figura 12 - Velocidade operacional para os veículos leves – km 511+800

**km 513 + 600 (tangente)**

- V operacional = 90,1 km/h

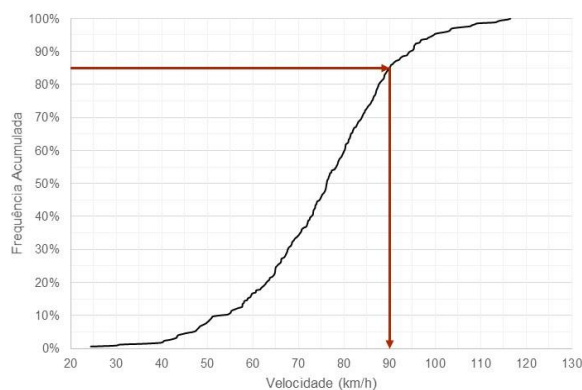


Figura 13 - Velocidade operacional para os veículos leves – km 513+600

**km 514 + 000 (curva)**

- V operacional = 90,3 km/h

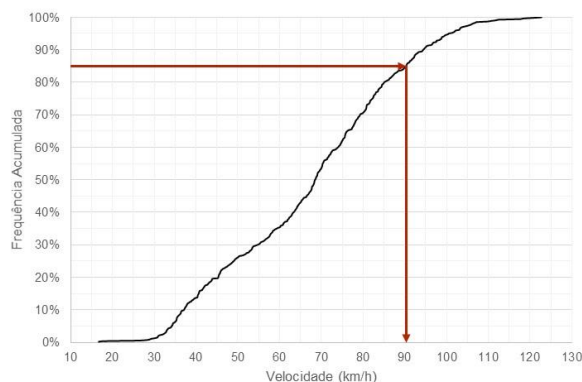


Figura 14 - Velocidade operacional para os veículos leves – km 514+000

**km 514 + 500 (tangente)**

- V operacional = 89,4 km/h

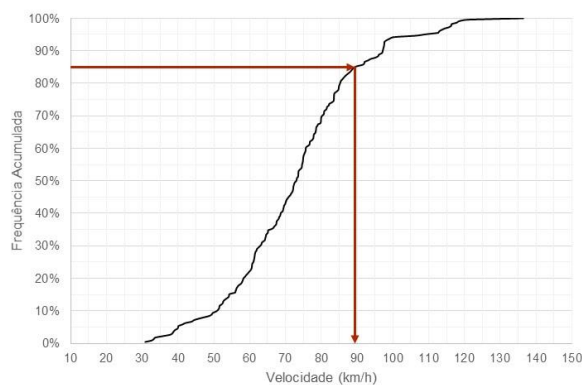


Figura 15 - Velocidade operacional para os veículos leves – km 514+500

**km 515 + 200 (curva)**

- V operacional = 102,5 km/h

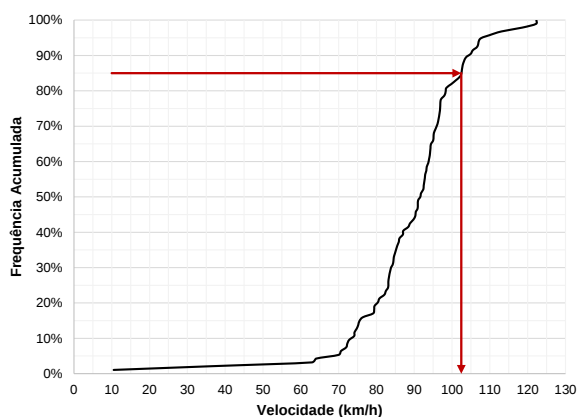


Figura 16 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 515+200

**km 515 + 700 (curva)**

- V operacional = 103,8 km/h

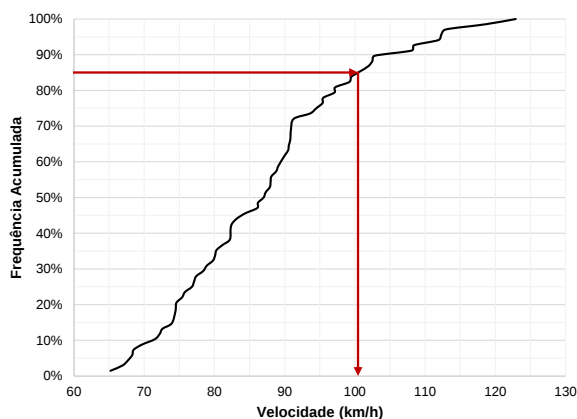


Figura 17 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 515+700

**km 516 +300 (curva)**

- V operacional = 87,5 km/h

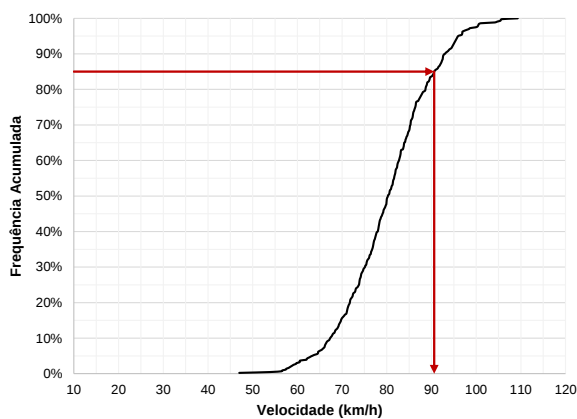


Figura 18 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 516+300

km 518 + 100 (curva)

- V operacional = 97,5 km/h

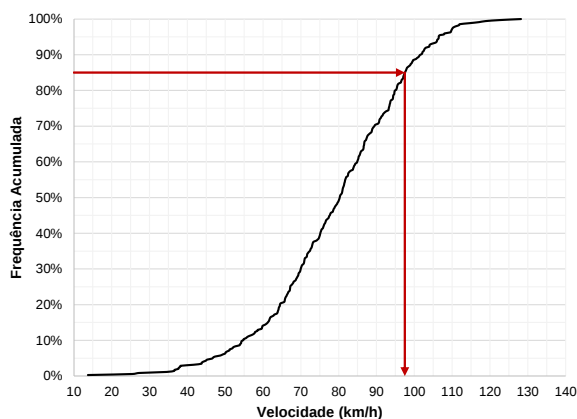


Figura 19 – Velocidade operacional para os veículos leves - km 518+100

A análise dos dados indica que a velocidade operacional (V85) tanto para os veículos leves como para os veículos pesados é superior à velocidade de projeto e ao limite de velocidade estabelecido nos trechos dos pontos coletados. Essas diferenças nas velocidades praticadas pelos condutores podem ser uma das principais causas para o grande número de acidentes que ocorrem no trecho, conforme será mencionado posteriormente.

### 5.1.3 CARACTERIZAÇÃO DA SINALIZAÇÃO

Com o intuito de caracterizar as condições de sinalização existentes no trecho antes de começar o projeto, realizou-se o levantamento de todos os elementos de sinalização existente no trecho – incluso os dispositivos de segurança – com a utilização de GPS e máquina fotográfica. Posteriormente, o cadastro realizado no começo da pesquisa teve que ser atualizado em julho de 2014 para refletir algumas modificações realizadas pela concessionária nesse período de tempo e assim caracterizar de forma apropriada o cenário base antes de propor modificações na sinalização. No Anexo 2 apresenta-se a atualização do cadastro da sinalização realizado em julho de 2014.

Nesse cadastro observa-se que o trecho de estudo tinha inicialmente 58 placas de sinalização (desconsiderando as placas de indicação e atrativos turísticos) das quais 28 eram de advertência e 30 de regulamentação. A Tabela 2 resume os tipos de sinais de regulamentação e advertência presentes nesse momento no trecho, classificadas segundo a nomenclatura do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – os diferentes tipos de sinais podem ser consultados na Figura 20. Todas as placas presentes no trecho real no cadastro realizado em julho de 2014 foram incluídas no cenário virtual base do trecho.

Tabela 2 – Sinalização vertical caracterizada no cenário base

| Tipo de sinal  | Nomenclatura             | Quantidade | Porcentagem |
|----------------|--------------------------|------------|-------------|
| Regulamentação | R-19                     | 08         | 27 %        |
|                | R-19 composta            | 01         | 3 %         |
|                | R-24a                    | 04         | 13 %        |
|                | R-27                     | 17         | 57 %        |
| Advertência    | A-2a                     | 10         | 36 %        |
|                | A-2b                     | 10         | 36 %        |
|                | A-4a                     | 04         | 14 %        |
|                | A-5b                     | 02         | 7 %         |
|                | Trecho sujeito a neblina | 02         | 7 %         |

Deve-se destacar que existe uma diferença no conceito de sinal e placa: por um lado, o sinal é a informação transmitida ao condutor, enquanto que a placa é o elemento físico que apresenta o sinal. Assim, as 58 placas do trecho estavam distribuídas entre oito tipos de sinais diferentes: o sinal de advertência de curva simples à direita (A-2a) e à esquerda (A-2b), o sinal de advertência de curva em 'S' à direita (A-4a) e à esquerda (A-4b), o sinal de limite de velocidade simples (R-19) e composto, o sinal de veículos pesados à direita (R-27) e o sinal de advertência de trecho sujeito a neblina.

| Placas de regulamentação                                                            |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| R-19                                                                                | R-24a                                                                               | R-27                                                                                | R-19 composta                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                              |
|  |  |  | <div><div>FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA</div><div><br/>VEÍCULOS LEVES</div><div><br/>VEÍCULOS PESADOS</div></div> |                                                              |
| Placas de advertência                                                               |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                              |
| A-2a                                                                                | A-2b                                                                                | A-4ª                                                                                | A-5b                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Trecho sujeito a neblina                                     |
|  |  |  |                                                                                                                                                                                                   | <div>TRECHO SUJEITO A NEBLINA</div> <div>PRÓXIMOS 5 km</div> |

Figura 20. Tipos de sinalização vertical existentes no trecho de estudo em julho de 2014

Todas as placas presentes no trecho estavam afastadas 1,50 m do bordo da pista e tinham um metro de altura – excetuando o limite de velocidade composto e a advertência de neblina; segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2007), esse tamanho e posicionamento lateral das placas garante uma distância máxima de legibilidade de 160 m. Na maioria dos locais onde existia sinalização vertical os sinais estavam duplicados, isto é, uma placa a cada lado da pista, conforme estabelece o Manual para rodovias de três ou mais faixas, porém, em outros locais observou-se apenas uma placa.

Uma análise do posicionamento longitudinal das placas foi realizada para determinar se a posição e a distância de percepção do sinal garantiam distâncias de manobra seguras. A distância de percepção do sinal oscila entre a distância máxima de legibilidade, determinada pelo tamanho do sinal – 160 m para sinais de 1,00 m – e a distância mínima de legibilidade, determinada como a menor distância na qual o condutor pode perceber o sinal dentro do seu cone de visão de 10°. Para uma largura de pista de 10,50 m e um afastamento lateral das placas de 1,50 m, a distância mínima de legibilidade é de 50 metros. Dentro desse intervalo de percepção, a distância na qual efetivamente o condutor percebe cada sinal dependerá do tipo de condutor, das condições de visibilidade no trecho (taludes, neblina, chuva, etc.), da carga mental atribuída ao condutor e da conspicuidade do sinal dentro do entorno rodoviário.

Em relação à distância segura de reação, esta dependerá do tipo de manobra esperada diante de cada sinal. Assim, espera-se que diante de um sinal de limite de velocidade, o condutor mude a velocidade até adotar a velocidade indicada pelo sinal, enquanto que no caso dos sinais de advertência de curva se espera que o condutor reduza a sua velocidade para entrar na curva. Já no caso dos sinais de veículos pesados à direita espera-se que os condutores desses veículos mudem de faixa caso não estejam trafegando pela faixa da direita. Nos dois primeiros casos será necessário garantir uma distância mínima de frenagem para que o condutor possa mudar a sua velocidade de forma segura, enquanto que no caso do sinal R-27 deverá ser garantida uma distância mínima para mudar de faixa, a qual pode ser maior que a distância mínima de frenagem (Lay, 2004).

A distância mínima de frenagem ( $D_f$ ) diante de cada sinal de advertência de curva e limite de velocidade foi calculada conforme segue abaixo; onde  $V_{85}$  é a velocidade média de operação dos veículos no trecho,  $V_f$  é o limite de velocidade nas curvas (60 km/h),  $i$  é a rampa da tangente onde está o sinal,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $t_{pc}$  é o tempo de percepção-cognição do condutor adotado comumente como 2,5 segundos e  $f_L$  é o coeficiente de atrito longitudinal pneu-pavimento: 0,3 para 90 km/h e 0,315 para 75 km/h (DNER, 1999).

$$D_f = t_{pc} \cdot V_{85} + \frac{V_{85}^2 - V_f^2}{2 \cdot g \cdot (f_L \pm i)} = 0,694 \cdot V_{85} + \frac{V_{85}^2 - V_f^2}{254 \cdot (f_L \pm i)}$$

A Tabela 3 resume o cálculo da distância mínima de frenagem tanto para veículos de passeio quanto para veículos pesados – os caminhões precisam de 40% a mais de distância para frear (Lay, 2004). Adicionalmente, são apresentadas as distâncias mínima ( $D_{mín}$ ) e máxima ( $D_{máx}$ ) de percepção-reação diante de cada sinal, calculadas como a soma da distância entre a placa e o começo da curva ( $S$ ), e das distâncias mínima ( $L_{mín}$ ) e máxima ( $L_{máx}$ ) de legibilidade, respectivamente.

Tabela 3. Análise do posicionamento dos sinais de advertência de curva e limite de velocidade

| km      | Tipo do sinal | Lado da pista | $i$ (%) | $D_f$ veículo passeio (m) | $D_f$ veículo pesado (m) | S (m) | $D_{máx}$ (m) | $D_{mín}$ (m) |
|---------|---------------|---------------|---------|---------------------------|--------------------------|-------|---------------|---------------|
| 509+116 | A-4a          | Ambos         | -2,7    | 112                       | 104                      | 60    | 220           | 110           |
| 509+828 | A-2b          | Esquerda      | -2,0    | 113                       | 105                      | 130   | 290           | 180           |
| 510+270 | A-2a          | Ambos         | 1,5     | 119                       | 108                      | 165   | 325           | 215           |
| 510+680 | A-4a          | Ambos         | 0,3     | 117                       | 107                      | 195   | 355           | 245           |
| 510+800 | R-19          | Ambos         | 0,3     | 117                       | 107                      | 75    | 235           | 125           |
| 511+548 | A-2a          | Ambos         | -6,7    | 107                       | 101                      | 25    | 185           | 75            |
| 511+840 | A-2b          | Direita       | -5,2    | 109                       | 102                      | 240   | 400           | 290           |
| 512+450 | A-2a          | Direita       | -4,2    | 110                       | 103                      | 90    | 250           | 140           |
| 512+631 | R-19          | Esquerda      | -5,0    | 109                       | 102                      | -90*  | 70            | 0             |
| 512+910 | R-19          | Ambos         | -5,2    | 109                       | 102                      | 50    | 210           | 100           |
| 513+480 | A-2b          | Ambos         | -6,5    | 107                       | 101                      | 165   | 325           | 215           |
| 513+830 | A-2a          | Esquerda      | -6,4    | 107                       | 101                      | 30    | 190           | 80            |
| 514+380 | A-2a          | Ambos         | -6,2    | 107                       | 101                      | 260   | 420           | 310           |
| 514+540 | R-19          | Ambos         | -6,2    | 108                       | 101                      | 100   | 260           | 150           |
| 514+885 | A-2b          | Ambos         | -6,0    | 108                       | 102                      | 145   | 305           | 195           |
| 515+490 | A-2b          | Ambos         | -4,6    | 110                       | 103                      | 25    | 185           | 75            |
| 515+880 | A-4b          | Ambos         | -6,1    | 108                       | 101                      | 255   | 415           | 305           |
| 516+370 | A-2a          | Ambos         | -5,4    | 109                       | 102                      | 25    | 185           | 75            |
| 516+870 | A-2a          | Ambos         | -4,9    | 109                       | 102                      | 260   | 420           | 310           |
| 517+097 | R-19          | Ambos         | -4,1    | 110                       | 103                      | 30    | 190           | 80            |
| 517+705 | A-2b          | Ambos         | -6,2    | 108                       | 101                      | 120   | 280           | 170           |

Nota: Os valores negativos denotam que a placa está dentro do desenvolvimento da curva

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que a distância mínima de frenagem é maior para os veículos de passeio porque a velocidade de operação também é maior. Para condições de máxima legibilidade, o posicionamento das placas nesse momento garantia que o condutor conseguisse diminuir a sua velocidade de forma segura. Porém, para condições de menor visibilidade – como pode acontecer frequentemente em trecho sinuoso, sujeito a neblina e com tráfego intenso de caminhões – o posicionamento de algumas placas não é o adequado para garantir a distância mínima de frenagem dos veículos de passeio, isto é, a distância mínima de percepção-reação é menor que a distância mínima de frenagem; essas placas estão ressaltadas na tabela anterior. A Figura 21 ilustra o mesmo local em duas condições diferentes de visibilidade em função do fluxo de caminhões, comprovando que nem sempre pode-se garantir as condições de máxima legibilidade da sinalização.



Figura 21. Dois cenários diferentes de visibilidade em função do fluxo de tráfego

Uma análise semelhante foi realizada para os sinais de veículos pesados à direita (R-27), onde o posicionamento da placa deve garantir a distância de mudança de faixa. Essa distância pode variar segundo a densidade do fluxo, a velocidade do veículo e o espaçamento entre os veículos da faixa inicial e final. A literatura sugere que, em média, uma mudança de faixa à direita de um veículo pesado demora 6 segundos (Fitch et al., 2009); para uma velocidade média de operação de 75 km/h isto significa uma distância média de manobra de 125 m, próxima da distância mínima média de frenagem para os veículos de passeio.

A Tabela 4 resume os cálculos da distância mínima e máxima de percepção-reação diante de cada sinal R-27 existente no trecho. Novamente ressaltam-se os sinais onde o condutor tinha uma distância mínima de percepção-reação menor que a distância mínima para mudar de faixa. Destaca-se que a maioria desses sinais estavam mal posicionados simplesmente porque estavam muito próximos do começo das curvas, onde a distância para manobrar é menor. Posteriormente comenta-se que essas placas foram relocadas para as saídas das curvas onde as distâncias de manobra são maiores.

Tabela 4. Análise do posicionamento longitudinal dos sinais de veículos pesados à direita

| km      | Lado da pista | S (m)* | D <sub>máx</sub> (m) | D <sub>mín</sub> (m) |
|---------|---------------|--------|----------------------|----------------------|
| 509+565 | Ambos         | -15    | 145                  | 35                   |
| 510+650 | Direita       | 225    | 385                  | 275                  |
| 511+160 | Direita       | 10     | 170                  | 60                   |
| 511+895 | Ambos         | 185    | 345                  | 235                  |
| 512+570 | Ambos         | -30    | 130                  | 20                   |
| 513+630 | Ambos         | 15     | 175                  | 65                   |
| 515+190 | Direita       | -160   | 0                    | 0                    |
| 516+400 | Ambos         | -5     | 155                  | 45                   |
| 517+667 | Direita       | 155    | 315                  | 205                  |
| 518+069 | Direita       | -285   | 0                    | 0                    |

Nota: Os valores negativos denotam que a placa está dentro do comprimento da curva

Outro critério para analisar o posicionamento das placas de sinalização vertical é o tempo máximo de retenção do sinal na memória do condutor. A literatura sugere que o condutor constantemente está “apagando” da sua memória informações percebidas para poder perceber e analisar novas informações (Lay, 2004). No caso da sinalização vertical, é

importante garantir que o sinal não seja apresentado muito longe da condição advertida porque isto pode aumentar as chances de se esquecer o sinal, perder a credibilidade na sinalização ou simplesmente não saber o momento oportuno para manobrar de forma segura (Lay, 2004).

Sobre isso, os manuais brasileiros de sinalização do CONTRAN e do DNIT não estabelecem nenhum critério de distância máxima no posicionamento das placas, porém, o manual de sinalização do DER-SP sugere que, no caso de sinais de advertência, a distância entre a placa e a condição advertida seja inferior a 150 m (DER-SP, 2006). Por outro lado, Lay (2004) afirma que os sinais percebidos 15 segundos antes da condição advertida (375 m para velocidades de 90 km/h) perdem a sua efetividade. Nesta pesquisa adotou-se o critério do manual de sinalização do DER-SP para definir se um sinal estava muito afastado da condição advertida, particularmente os sinais de advertência de curva.

Com base nesse critério é possível afirmar que em julho de 2014 havia seis placas de advertência de curva que estavam muito afastadas do começo da curva, situação que foi corrigida através da relocação dessas placas para locais mais próximos do começo da curva, conforme será comentado posteriormente. Os locais onde as placas estavam muito afastadas foram o km 510+270, 510+680, 511+840, 513+480, 514+380, 515+880 e 516+870.

#### 5.1.4 FILMAGEM DO TRECHO

Outra atividade realizada para caracterizar o trecho de estudo foi realizar filmagens do trecho a cada ano com o intuito de ter um registro atualizado do entorno da rodovia e identificar possíveis alterações na sinalização durante os primeiros anos da pesquisa. Adicionalmente, com base nas filmagens melhorou-se o realismo do trecho virtual gerado no simulador de direção.

A filmagem ocorreu com filmadora acoplada no vidro dianteiro esquerdo do motorista para a geração de vídeo a partir do ponto de vista do motorista (ver Figura 22). A cada ano realizaram-se duas filmagens em cada faixa de rolamento, a uma velocidade constante de 60 km/h e em condições de tempo bom e sem chuva. No primeiro ano as filmagens ocorreram no período diurno e noturno, e posteriormente unicamente no período diurno. A Figura 23 ilustra o campo de visão obtido nas filmagens para o caso da faixa central de rolamento.



Figura 22. Filmadora acoplada ao veículo para execução de filmagem do trecho



Figura 23. Filmagem de atualização do trecho de estudo (faixa central).

#### 5.1.5 ANÁLISE DOS REGISTROS DE ACIDENTALIDADE

O último estudo de caracterização foi a análise dos registros de acidentalidade no trecho de estudo desde o começo da concessão Autopista Régis Bittencourt até antes da implantação das alterações na sinalização.

Desde o começo da pesquisa realizaram-se capacitações ao pessoal de operação da concessionária sobre como preencher de forma completa o registro de acidentes afim de ter informações mais precisas e detalhadas sobre os acidentes. As capacitações foram realizadas uma vez por ano na sede da Autopista Régis Bittencourt, na cidade de Registro (SP) – conforme Figuras 24 e 25 a seguir.



Figura 24. Capacitação na Sede da Autopista – Registro/SP - 2013



Figura 25. Visita à sede da concessionária – Registro/SP - 2014

Durante a tarefa de registro de ocorrência dos acidentes no trecho estudado, a identificação precisa do local da ocorrência era de fundamental importância porque permitia determinar os locais mais críticos do trecho. Nesse sentido, a identificação precisa do local foi auxiliada pela marcação no bordo da pista da quilometragem a cada 100 metros – ver Figura 26.

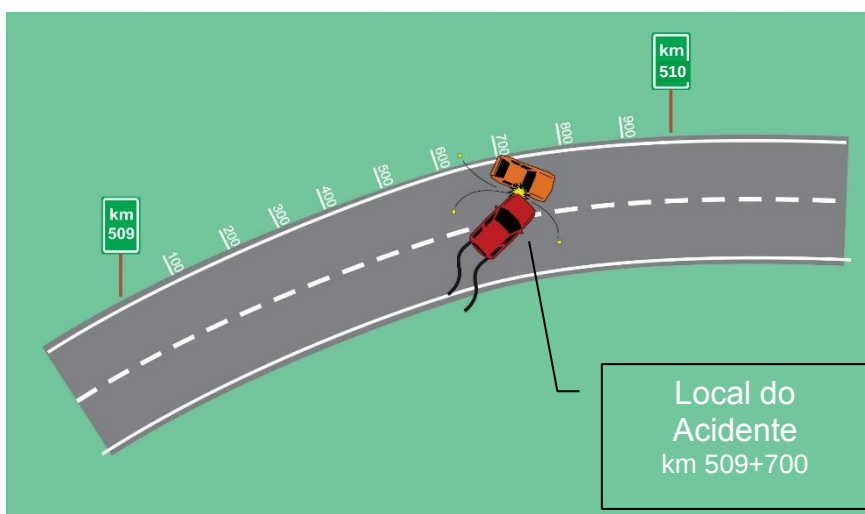


Figura 26. Esquema ilustrativo da demarcação da via para fins de interpretação de acidentes

A demarcação foi realizada ao bordo direito no acostamento, repetindo-se sempre o quilômetro inteiro. Devido às intempéries, as marcações sofreram desgastes durante o desenvolvimento da pesquisa e foi necessário seu reforço e repintura a cada ano de projeto, conforme ilustra a Figura 27.



Figura 27. Detalhe da demarcação realizada no trecho em março de 2015

As planilhas de registro de acidentes ocorridos foram tabuladas e analisadas mensalmente ao longo de todo o projeto. Dentre as informações repassadas estão: quilômetro da ocorrência, tipo de acidente, causa provável, tipo de veículo, número de veículos e pessoas afetadas, entre outras.

Segundo esses registros de acidentalidade, entre 2011 e 2014 a acidentalidade no trecho diminuiu de forma exponencial (ver Figura 28), passando de 222 acidentes registrados em 2011 a quase 50 acidentes em 2014, que significa uma redução anual de 25%; entretanto o fluxo de veículos aumentou 2% a cada ano no mesmo período.

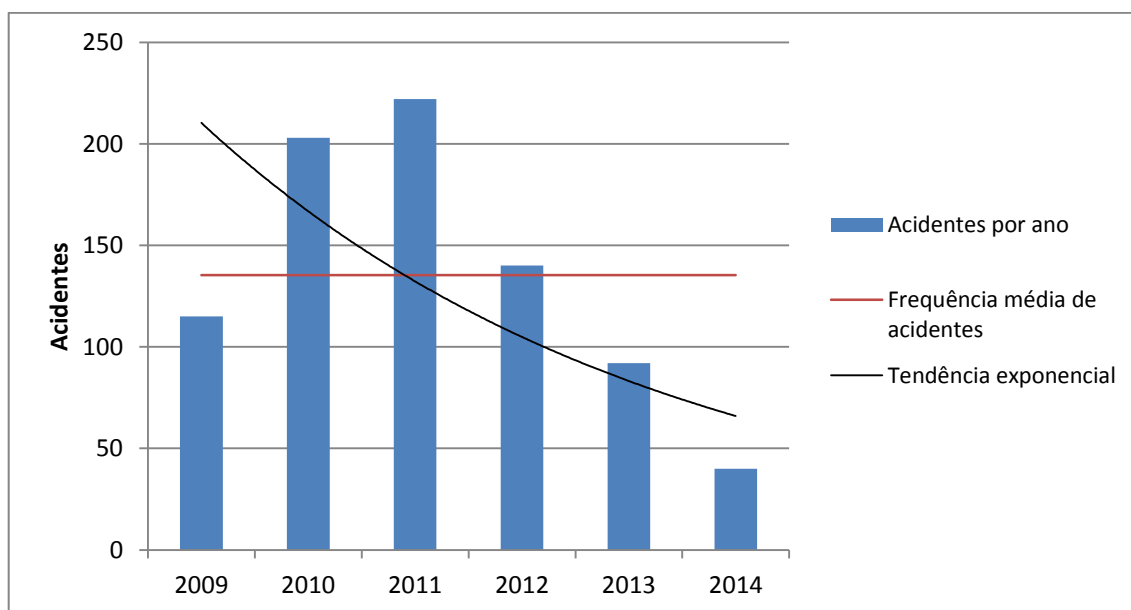


Figura 28. Registros de acidentes entre 2009 e 2014

Adicionalmente, as Figuras 29 e 30 ilustram que a redução nos acidentes ocorreu de forma proporcional ao longo do trecho todo, destacando-se que os quilômetros 509, 511 e 514 foram os locais com maior número de acidentes durante todos esses anos, muito acima da média do trecho inteiro.

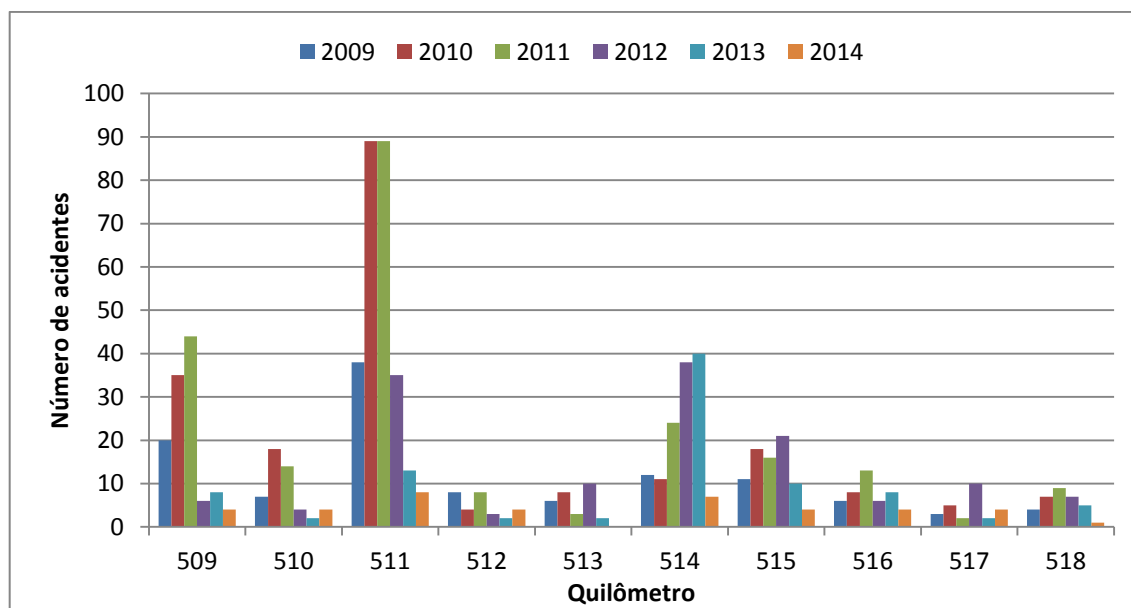


Figura 29. Registros de acidentes por quilômetro entre 2009 e 2014

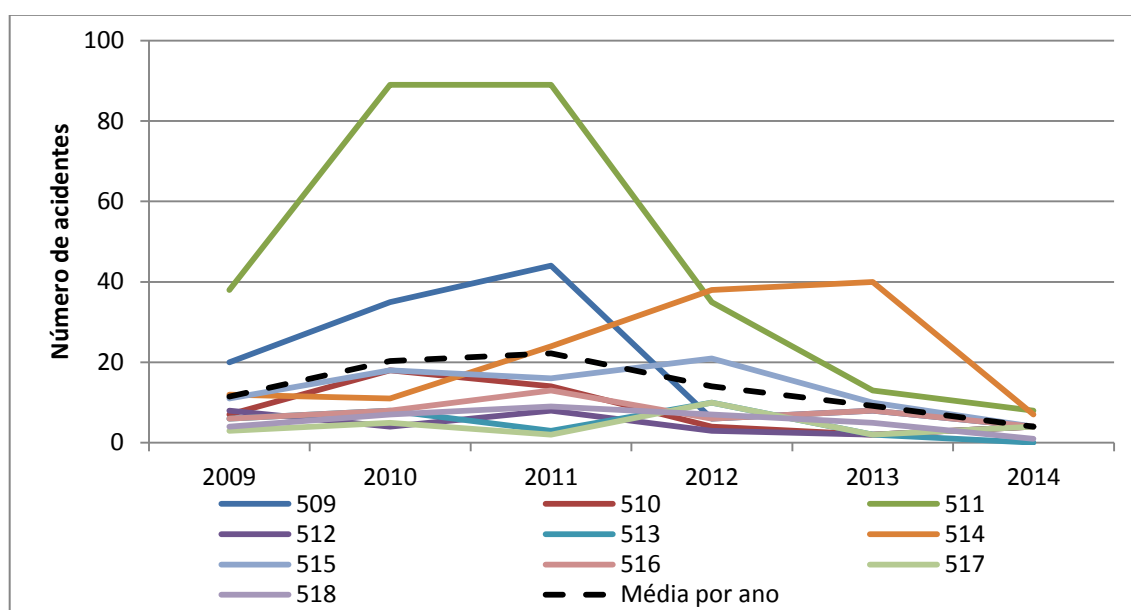


Figura 30. Comparação dos acidentes por quilômetro com a média do trecho

Em particular, entre 2012 e 2014, 80% dos acidentes registrados geraram unicamente danos materiais e 20% estiveram associados com vítimas, principalmente vítimas leves – ver Figura 31, registrando-se uma única vítima fatal nesse período de tempo. Por outro lado, 81% dos acidentes envolveram um único veículo, 17% dois veículos e 2% três ou mais veículos; enquanto que 40% dos veículos acidentados foram veículos de passeio, 40% caminhões e 15% veículos utilitários.

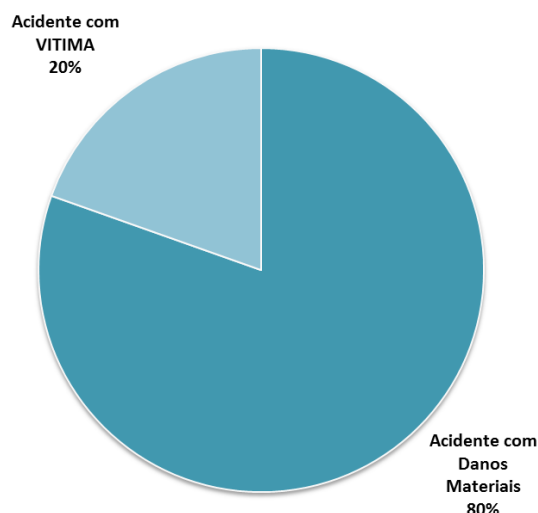


Figura 31. Severidade dos acidentes

Embora o número de acidentes no trecho tenha diminuído entre 2012 e 2014, os padrões de acidentalidade permaneceram constantes ao longo desse período de tempo conforme ilustra a Figura 32. Assim, o principal tipo de acidente registrado no trecho são as saídas de pista (33%), seguido dos capotamentos (19%), dos tombamentos (17%) e dos choques com objetos fora da pista (14%), destacando que o choque com objetos fora da pista necessariamente está precedido por saídas de pista e que os capotamentos e tombamentos são dois tipos de acidentes semelhantes. Enquanto que as principais causas de acidentalidade têm sido falhas de atenção do condutor (25%), excesso de velocidade (10%) e perda do controle do veículo (28%), ressaltando que essa última categoria é muito ambígua porque o condutor pode ter uma perda do controle por excesso de velocidade, falha mecânica, falha de atenção, etc.

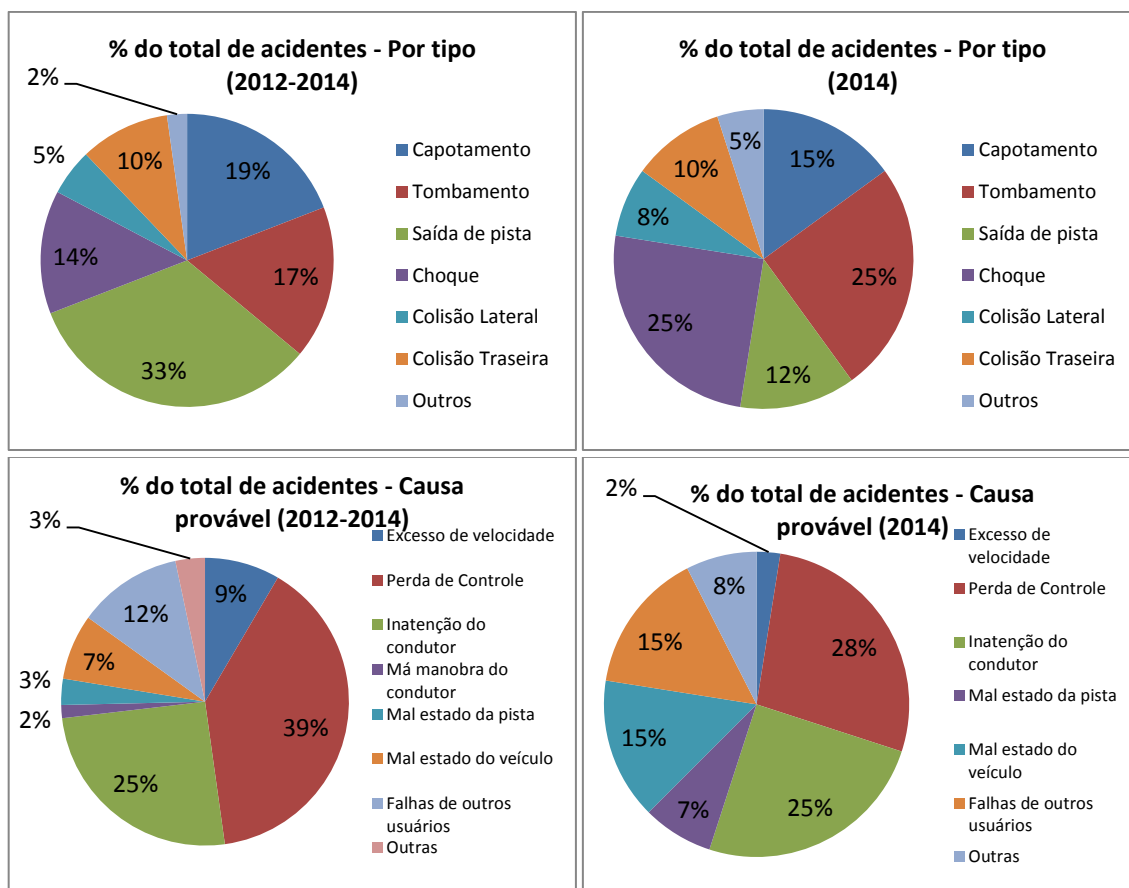


Figura 32. Tipos e causas de acidentes entre 2012 e 2014

Em relação às condições climáticas da ocorrência dos acidentes, a maioria foram em condições normais (com sol) e chuva, seguido por garoa e nublado (Figura 33). Estes parâmetros nortearam a definição das condições climáticas a serem testadas no simulador.

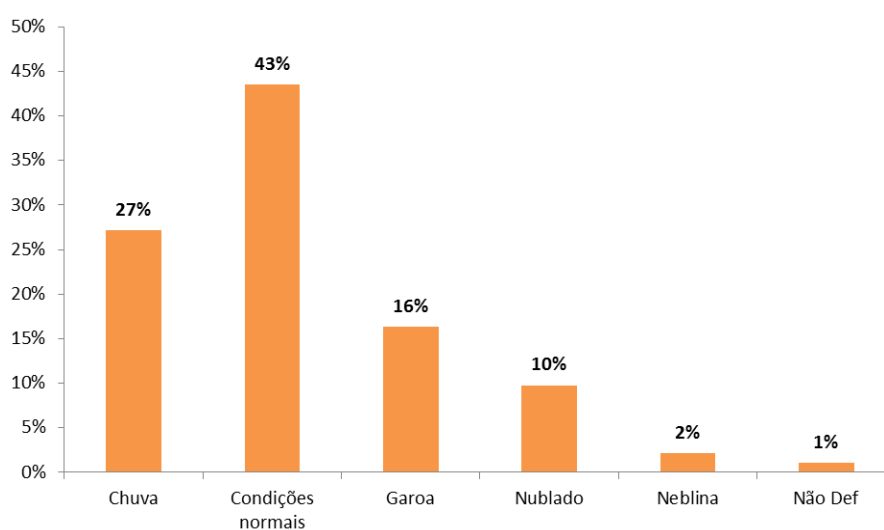


Figura 33. Condição climática dos acidentes

Analisando os acidentes ocorridos em relação ao período do dia, as ocorrências concentram-se entre as 6 e 12h do dia, ocorrendo com menos frequência entre as 0 e 6h, podendo estar relacionado ao fluxo de veículos nesses períodos – ver Figura 34.

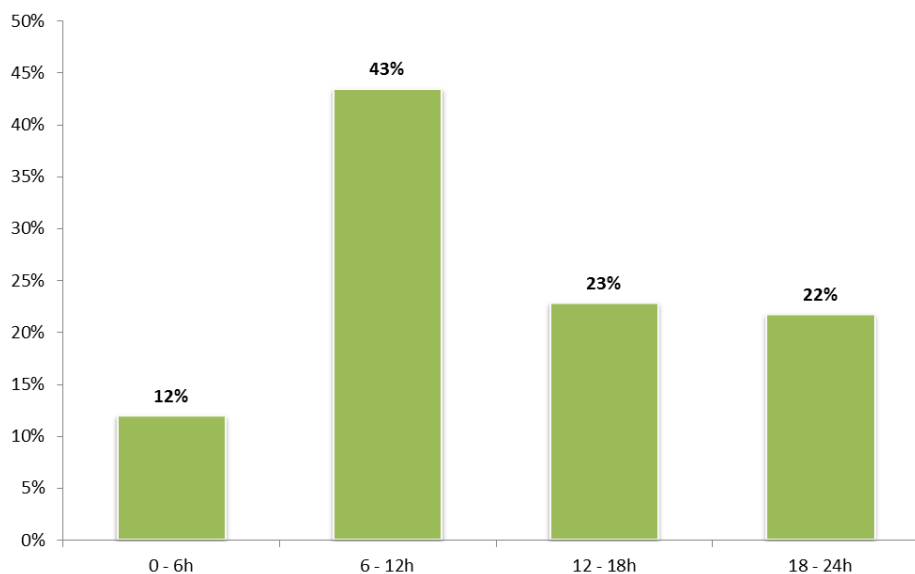


Figura 34. Distribuição percentual de acidentes por horário

Dentre os tipos de veículos envolvidos em acidentes, os veículos de passeio (44%) e caminhões/carretas (40%) apresentaram quantidades de registros similares entre si, enquanto que os veículos utilitários representam o 15% dos registros e as motos menos de 1% - ver Figura 35.

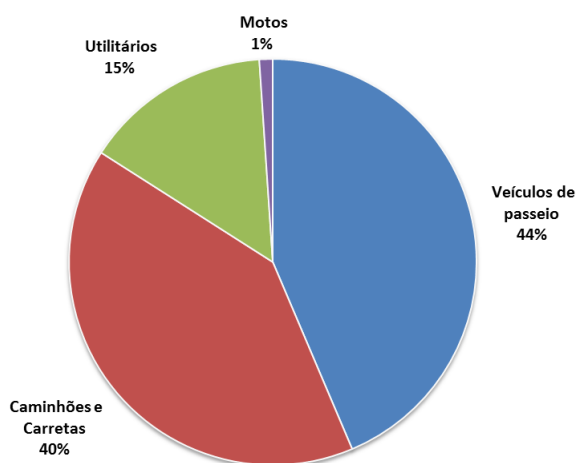


Figura 35. Distribuição dos tipos de veículos envolvidos

Com o objetivo de subsidiar estudos de identificação de perfis de usuários que mais se envolvem em acidentes, solicitou-se a complementação dos dados de acidentes buscando-se saber informações sobre os condutores. Analisando os registros dos condutores constatou-se que a maioria são homens e que em relação à faixa etária, a maior parte deles são condutores entre 21 e 30 anos (23%) e na faixa etária de 31 a 40 anos (31%), perfazendo 54% do total de registros informados – ver Figuras 36 e 37.

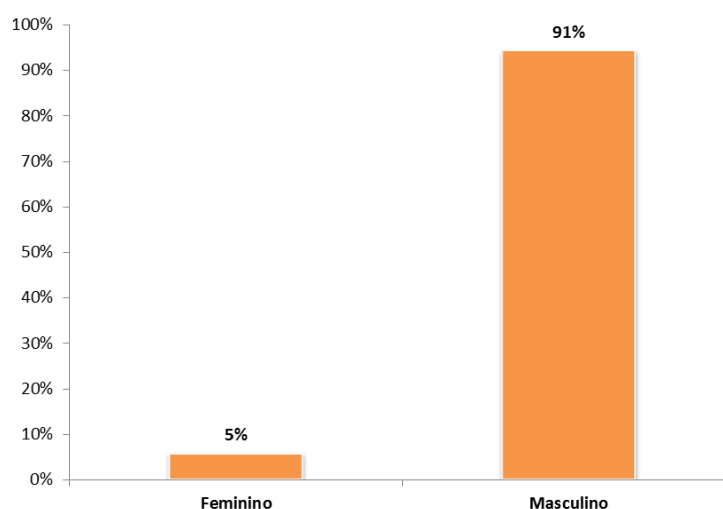


Figura 36. Distribuição percentual dos condutores por gênero.

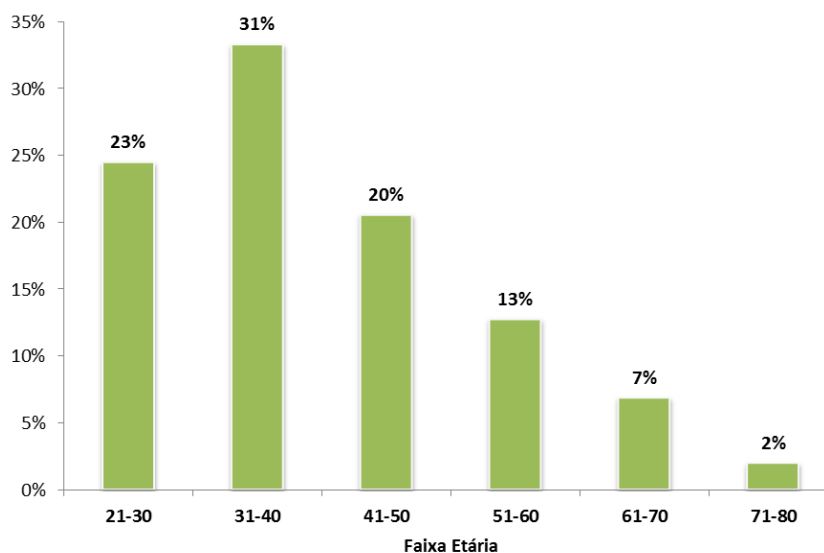


Figura 37. Distribuição percentual dos condutores por faixa etária.

Com o intuito de identificar com precisão os locais mais críticos do trecho em termos de acidentalidade, realizou-se uma análise curva por curva e tangente por tangente, conforme ilustra a Figura 38 a seguir. A partir da figura é possível afirmar que 85% dos acidentes registrados nos últimos três anos ocorreram em curvas e que os locais mais críticos nesse período foram a curva C6 e o trecho entre a curva C13 e a tangente T14.

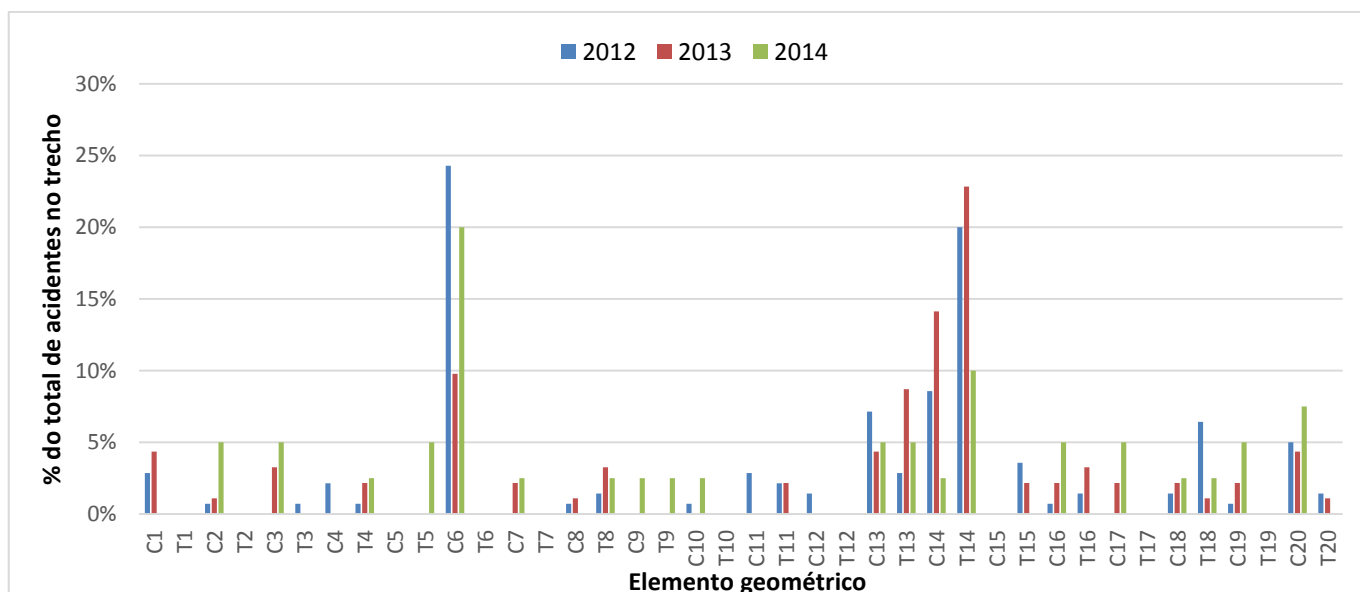


Figura 38. Número de acidentes por curva e tangente entre 2012 e 2014

Igualmente, ao realizar uma análise segundo a severidade dos acidentes registrados no trecho, as curvas C6 e C14, assim como as tangentes T13 e T14, foram os locais com maior número de vítimas registradas entre 2012 e 2014 – ver Figura 39.

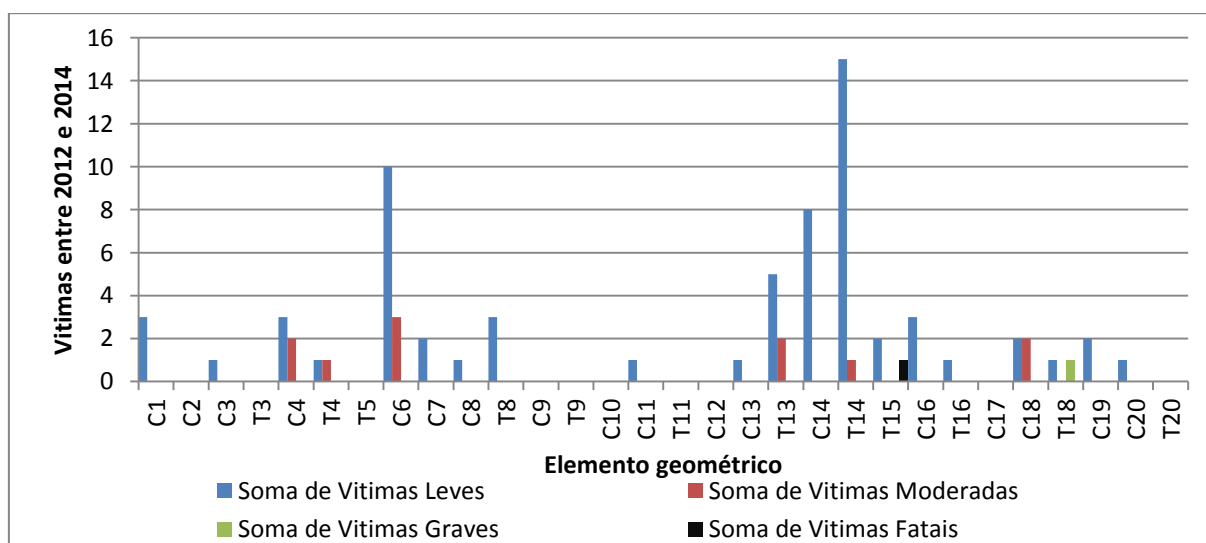


Figura 39. Severidade dos acidentes por curva e tangente entre 2012 e 2014

Para analisar em conjunto a quantidade e a severidade dos acidentes registrados em cada local do trecho, utilizaram-se as Unidades Padrões de Severidade (UPS), onde os acidentes sem vítimas têm peso unitário, os acidentes com vítimas não fatais têm peso 5 e os acidentes fatais peso 13. Posteriormente, utilizou-se uma metodologia do *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010) que compara as taxas de acidentalidade registradas em cada local com uma taxa crítica de referência definida a partir da média de acidentes do trecho inteiro, para definir de forma objetiva quais foram os locais mais críticos do trecho nos últimos três anos. Segue a descrição da metodologia empregada:

- Para cada curva e tangente foi calculada a exposição ao risco dos usuários, expressada em milhões de veículos-quilômetro, definida como o produto do fluxo de veículos nos três anos (em milhões) e o comprimento de cada elemento:

$$VKT_i = L_i \cdot \sum_{j=1}^3 VDM_j \cdot d_j$$

- Para cada curva e tangente foi calculada a taxa de acidentes por exposição ( $R_i$ ):

$$R_i = UPS_i / VKT_i$$

- Para o trecho inteiro foi calculada a taxa média ponderada de acidentes ( $R_m$ ); o valor calculado foi de 5,37 UPS/milhões de veículos-quilômetro:

$$R_m = \frac{\sum VKT_i \cdot R_i}{\sum VKT_i}$$

- Por último, para cada curva e tangente foi calculada a taxa crítica de acidentalidade ( $R_c^i$ ) com um nível de confiança de 95% ( $z=1,694$ ). Se a taxa observada for maior que a taxa crítica o elemento deve ser considerado como crítico.

$$R_c^i = R_m + z \cdot \sqrt{\frac{R_m}{VKT_i} + \frac{1}{2 \cdot VKT_i}}$$

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos com esta metodologia, permitindo identificar os seguintes locais críticos: as curvas C6 (km 510+875), C13 e C14, e as tangentes T14 (km 513+860 – km 515+030) e T15 (km 515+300); todos eles ressaltados na tabela abaixo.

Tabela 5 – Identificação dos locais críticos em acidentalidade 2012-2014

| KM      | LOCAL | UPS | VKT (vei-<br>km <sup>6</sup> ) | Ri     | Rc     | KM      | LOCAL | UPS | VKT (vei-<br>km <sup>6</sup> ) | Ri     | Rc     |
|---------|-------|-----|--------------------------------|--------|--------|---------|-------|-----|--------------------------------|--------|--------|
| 508+740 | C1    | 20  | 3,467                          | 5,768  | 7,562  | 512+960 | C11   | 8   | 3,512                          | 2,278  | 7,547  |
| 509+110 | T1    | 0   | 0,589                          | 0,000  | 11,184 | 513+345 | T11   | 5   | 3,027                          | 1,652  | 7,727  |
| 509+175 | C2    | 4   | 3,378                          | 1,184  | 7,593  | 513+645 | C12   | 2   | 1,619                          | 1,235  | 8,676  |
| 509+510 | T2    | 0   | 0,380                          | 0,000  | 12,875 | 513+810 | T12   | 0   | 0,510                          | 0,000  | 11,693 |
| 509+550 | C3    | 9   | 1,738                          | 5,179  | 8,550  | 513+860 | C13   | 20  | 1,692                          | 11,822 | 8,597  |
| 509+725 | T3    | 1   | 2,368                          | 0,422  | 8,059  | 514+070 | T13   | 34  | 5,735                          | 5,929  | 7,050  |
| 509+960 | C4    | 11  | 1,418                          | 7,755  | 8,924  | 514+640 | C14   | 46  | 2,046                          | 22,485 | 8,280  |
| 510+125 | T4    | 12  | 3,087                          | 3,887  | 7,702  | 514+845 | T14   | 93  | 1,519                          | 61,238 | 8,793  |
| 510+435 | C5    | 0   | 1,658                          | 0,000  | 8,633  | 515+030 | C15   | 0   | 2,693                          | 0,000  | 7,879  |
| 510+600 | T5    | 2   | 2,718                          | 0,736  | 7,867  | 515+300 | T15   | 23  | 2,158                          | 10,657 | 8,197  |
| 510+875 | C6    | 95  | 2,605                          | 36,471 | 7,925  | 515+515 | C16   | 13  | 2,874                          | 4,524  | 7,794  |
| 511+120 | T6    | 0   | 0,470                          | 0,000  | 11,999 | 515+805 | T16   | 5   | 2,967                          | 1,685  | 7,752  |
| 511+170 | C7    | 7   | 2,208                          | 3,170  | 8,163  | 516+135 | C17   | 4   | 2,166                          | 1,847  | 8,192  |
| 511+510 | T7    | 0   | 0,629                          | 0,000  | 10,970 | 516+350 | T17   | 0   | 0,450                          | 0,000  | 12,168 |
| 511+575 | C8    | 6   | 2,623                          | 2,287  | 7,915  | 516+395 | C18   | 13  | 3,421                          | 3,800  | 7,578  |
| 511+835 | T8    | 14  | 2,083                          | 6,721  | 8,252  | 516+735 | T18   | 19  | 3,587                          | 5,297  | 7,523  |

|         |     |   |       |       |        |         |     |    |       |       |       |
|---------|-----|---|-------|-------|--------|---------|-----|----|-------|-------|-------|
| 512+080 | C9  | 1 | 3,442 | 0,291 | 7,571  | 517+094 | C19 | 13 | 5,631 | 2,309 | 7,066 |
| 512+425 | T9  | 1 | 1,139 | 0,878 | 9,382  | 517+657 | T19 | 0  | 1,279 | 0,000 | 9,133 |
| 512+540 | C10 | 2 | 3,686 | 0,543 | 7,492  | 517+785 | C20 | 18 | 4,233 | 4,252 | 7,342 |
| 512+910 | T10 | 0 | 0,530 | 0,000 | 11,554 | 518+209 | T20 | 3  | 2,508 | 1,196 | 7,977 |

A partir dos resultados obtidos é importante destacar duas coisas: por um lado, pela proximidade dos locais C13, T13, C14 e T14, esses foram considerados como um único setor crítico: km 513+860 – km 515+030; por outro lado, no local T15 (km 515+300 – km 515+515) só ocorreram quatro acidentes nos últimos três anos, porém foi identificado pela metodologia como um local crítico porque foi o único local onde houve um acidente fatal. Uma vez que esse acidente foi uma colisão traseira entre um caminhão e um veículo de passeio ocasionado por uma falha mecânica de um dos veículos e não por deficiências do projeto geométrico ou de sinalização da rodovia, o local não foi considerado como crítico nas análises. Em definitivo, só foram considerados dois locais críticos no trecho de estudo: a curva C6 entre o km 510+875 - 511+120, e o setor entre o km 513+860 - 515+030 denominado doravante como setor do quilômetro 514.

Uma vez definidos os locais críticos do trecho, realizou-se uma caracterização dos acidentes registrados nesses locais durante os últimos três anos antes da implantação das modificações na sinalização. Por exemplo, identificou-se que nos dois locais a maioria dos acidentes resultaram unicamente em danos materiais - 81% para a C6 e 78% para o km 514; enquanto que 54% dos acidentes na C6 envolveram veículos de passeio contra 38% de caminhões, e 68% dos acidentes no km 514 envolveram veículos de passeio contra 8% de caminhões. A baixa taxa de caminhões envolvidos em acidentes no km 514 pode ser explicada pela rampa íngreme e longa que possui esse trecho – 4,5% por um quilômetro, que obriga aos caminhões a diminuir a sua velocidade de operação e em consequência o risco de sofrer algum acidente por saída de pista ou tombamento.

Por outro lado, é importante mencionar que nem o horário dos acidentes nem as condições de visibilidade resultaram ser fatores determinantes na accidentalidade. Entretanto, encontraram-se diferenças significativas entre as condições de pista seca e molhada, observando-se que dois de cada três acidentes na C6 e três de cada 4 acidentes no km 514 foram em condições de pista molhada.

A Figura 40 e 41 ilustram os principais tipos de acidentes registrados nesses dois locais críticos assim como as possíveis causas. No caso da curva C6 o principal tipo de acidente registrado foi a saída de pista (59%) – incluindo os choques com objetos fora da pista - seguida do tombamento e capotamento (37%). No caso dos tombamentos chama a atenção que a maioria dos acidentes sejam atribuídos à inclinação da carga (37%), que pode ocorrer em razão de condições excessivas de carga ou velocidades de operação superiores às permitidas para o peso do caminhão; a segunda causa foi a perda de controle (21%) – também por possíveis excessos de velocidade – e em terceira ordem aparecem o excesso de velocidade reconhecido pelos condutores (10%), mudanças de faixa de outros veículos (11%) e sonolência dos condutores (11%). Entretanto, no caso das saídas de pista as principais causas dos acidentes foram a perda de controle (57%), excessos de velocidade (14%) e descuidos do motorista (14%).

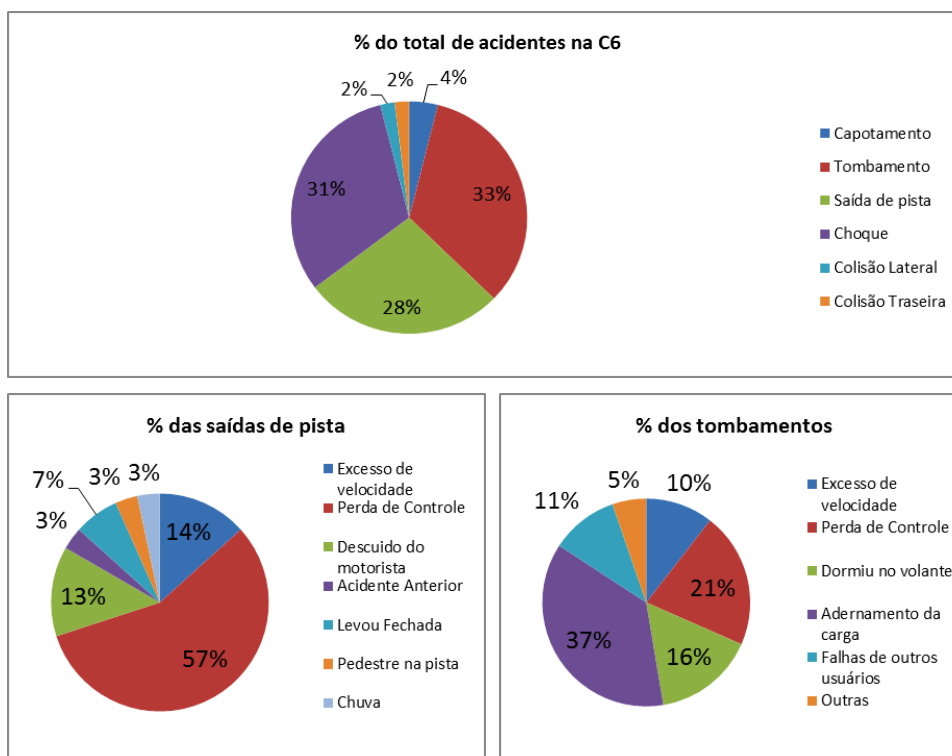


Figura 40. Tipos e causas dos acidentes no local crítico C6

Por outro lado, no caso do km 514 o capotamento (39%) e a saída de pista (48%) foram os principais tipos de acidentes registrados. No caso dos capotamentos, 3 de cada 4 acidentes foram por perda de controle e 12% por excesso de velocidade, entretanto, nas saídas de pista as principais causas dos acidentes foram: a perda de controle (48%), falhas de atenção do condutor (17%) e excesso de velocidade reconhecido pelos condutores (13%) – ver Figura 41.

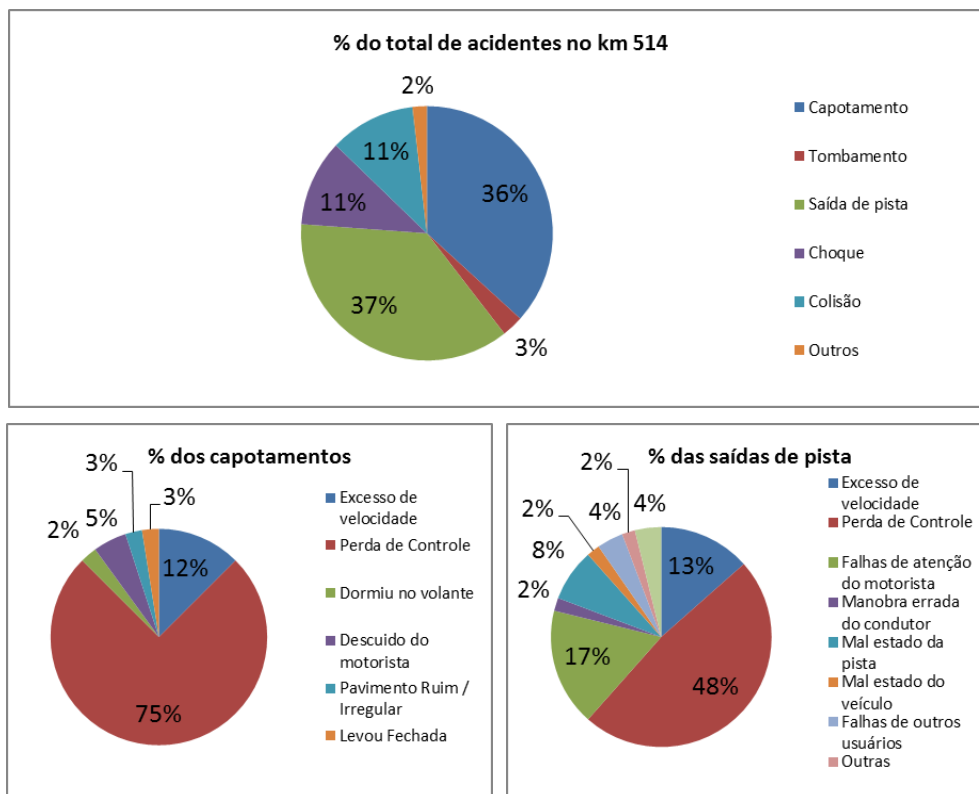


Figura 41. Tipos e causas dos acidentes no local km 514

A análise dos acidentes registrados no trecho foi relacionada com a análise sobre o traçado e a sinalização do trecho, com o intuito de identificar os locais críticos do trecho em função do traçado geométrico e da sinalização, e determinar se coincidem com os locais mais acidentados e se é possível explicar a acidentalidade observada através de possíveis falhas no traçado geométrico do trecho ou na sinalização.

Nesse sentido, inicialmente observou-se que para a velocidade diretriz do trecho de 60 km/h, cinco das vinte curvas do trecho têm um raio de curvatura muito próximo do raio mínimo – conforme mencionado anteriormente – e que duas dessas curvas estão nos locais críticos determinados anteriormente. Adicionalmente, as outras três curvas com raio crítico pertencem ao quilômetro 509, que era até 2012 o segundo quilômetro com maior acidentalidade atrás do km 511 (C6). O anterior sugere que essas curvas representam um risco para a segurança do condutor e que devem receber uma consideração especial na proposição de alternativas para melhorar a sinalização vertical do trecho.

Embora a velocidade diretriz do trecho seja de 60 km/h, as velocidades de operação na entrada das curvas de raio mínimo ultrapassam os 70 e até 90 km/h, aumentando as chances de saída de pista ou tombamento pois a força centrífuga é maior que a resistência dada pelo atrito transversal e a superelevação da curva, e ainda mais em condições de pista molhada onde a aderência do veículo com a pista diminui. Nesse sentido, as condições de raio mínimo junto com as excessivas velocidades de operação observadas em campo podem explicar os principais tipos de acidentes registrados nos últimos três anos nos locais mais críticos do trecho.

Além dos raios mínimos, uma má sucessão das curvas pode ser outro fator explicativo da acidentalidade. A sucessão de curvas faz referência à homogeneidade do traçado comparando os raios de duas curvas sucessivas, considerando-se que se a relação dos raios entre duas curvas sucessivas, é maior que 1,5 a transição entre elas não é suave e quebra as expectativas do condutor – Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999). O cenário mais crítico é quando o condutor passa de uma curva com raio grande para uma curva com raio pequeno, situação presente no trecho na entrada da C6 e dentro do km 514 na entrada da C14, onde o condutor passa de tangentes longas ligadas com curvas de raio superior aos 600 m para entrar numa curva de raio mínimo, quebrando as expectativas de continuidade no traçado e na velocidade de operação.

Em definitivo, identificaram-se diferenças significativas entre o risco real da rodovia (curvas de raio mínimo) e o risco percebido pelos condutores (velocidades excessivas de operação), e, por conseguinte, o principal objetivo das propostas de sinalização foi comunicar melhor o risco real dos locais críticos no trecho para que o condutor selecione velocidades mais seguras, principalmente em condições de pista molhada.

## 5.2 MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO SIMULADOR DE DIREÇÃO

### 5.2.1 O SIMULADOR DE DIREÇÃO

O simulador de direção desenvolvido neste projeto está constituído por duas dimensões: uma dimensão física composta pelos equipamentos que permitem o controle do veículo e projetam o cenário virtual, e uma dimensão não física composta pelo modelo virtual da pista e o modelo de dinâmica veicular do carro principal – aquele que é dirigido pelos participantes do experimento.

Em termos físicos, o simulador possui um sistema de controle do veículo, um sistema de projeção visual, um sistema de som e um sistema de processamento, encarregado de integrar em tempo real os outros três sistemas. Em primeiro lugar, o sistema de controle do veículo é composto por um *cockpit* com banco de carro, pedais de embreagem, freio e acelerador, alavanca de câmbios com seis marchas e volante de direção Logitech G27. O *cockpit* utilizado apresenta alta ergonomia para o condutor permitindo ajustar para cada pessoa a distância do banco aos pedais, assim como a separação e a altura do volante. Adicionalmente, o sistema de controle do veículo possui um motor elétrico que permite simular o torque gerado pelo sistema de direção de um veículo real.

Em segundo lugar, o sistema de projeção visual do simulador de direção é composto por três projetores DepthQ HDs3D2, de resolução 1080p e taxa de projeção de 60 Hz, além de três telas de projeção de 1425 mm x 800 mm, colocadas em ângulos retos entre si. Com esta configuração visual, o condutor tem um campo de visão amplo do cenário virtual – aproximadamente 180° na horizontal e 50° na vertical. A resolução visual da tela central, situada na frente do condutor, é de 1,70 arcmin/pixel, um valor satisfatório segundo as recomendações da literatura, mas que ainda é 1,7 vezes menor que a resolução do olho humano. Na Figura 42 se ilustra o simulador de direção utilizado nesta pesquisa.

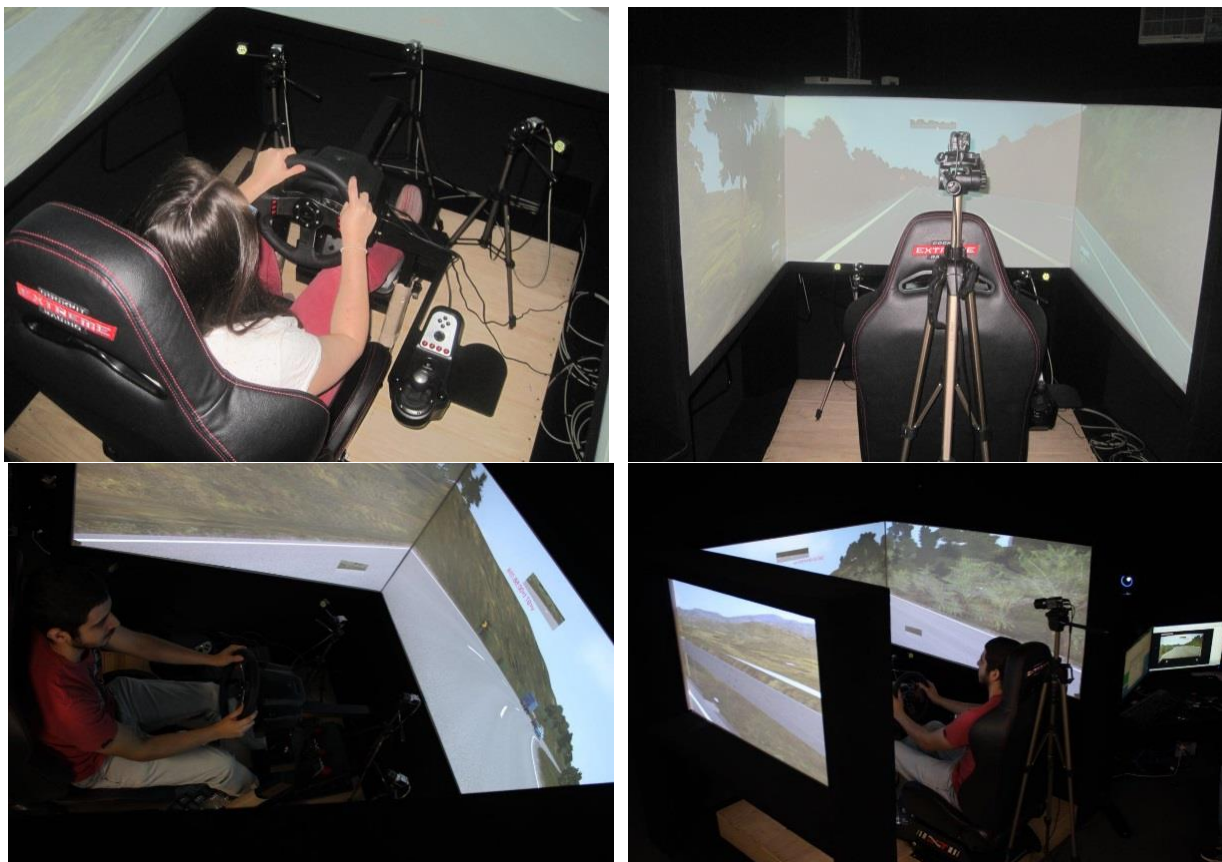


Figura 42. Dimensão física do simulador de direção desenvolvido no projeto

Já o sistema de som é composto por duas caixas de som encarregadas de transmitir o som do sistema mecânico do veículo principal e o som do entorno, a partir de sons pré-gravados. Por último, o sistema de processamento é integrado por três computadores de alto desempenho que trabalham em simultâneo e em tempo real, cada um deles dedicados exclusivamente a um dos seguintes processos: modelagem e geração visual do ambiente virtual, modelagem da dinâmica veicular e controle do sistema de rastreo do olhar – descrito posteriormente. As características do sistema de processamento do simulador de direção podem ser consultadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características do sistema de processamento do simulador de direção

| <b>Computador<br/>Características</b> | <b>Modelagem<br/>do cenário</b> | <b>Modelagem<br/>do veículo</b> | <b>Sistema de<br/>rastreo do olhar</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| Sistema operacional                   | Xubuntu 14.04 - 64 bit          | Windows 8 - 64 bit              | Windows 7 - 64 bit                     |
| Processador                           | I7-4790                         | I5-4460                         | Xeon E3-1225 v3                        |
| Memória RAM                           | 16 GB                           | 8 GB                            | 8 GB                                   |
| Placa de vídeo                        | Duas GTX 780 2 GB               | GT 630 2 GB                     | NVIDIA® Quadro® K600 1GB               |

Em resumo, as características físicas do simulador desenvolvido permitem transmitir aos condutores estímulos visuais e auditivos semelhantes aos que poderiam experimentar em um cenário real de direção, além de ter uma alta capacidade computacional para o

processamento e a integração em tempo real do *cockpit*, do cenário virtual e do modelo dinâmico do veículo. Nesse sentido, é possível afirmar que em termos físicos o simulador de direção utilizado nesta pesquisa pode ser classificado como um simulador de realismo físico intermediário.

Em termos não físicos, o simulador de direção é composto principalmente pelo modelo virtual do veículo dirigido pelo condutor e pelo modelo virtual do trecho de estudo da rodovia BR-116/SP. Por um lado, o modelo do veículo é uma representação matemática dos sistemas de transmissão, frenagem, direção e suspensão do veículo principal no software Vi-CarRealTime, que simula a resposta mecânica e dinâmica de cada sistema em função das manobras realizadas pelo condutor (por exemplo, ação dos pedais, troca de marcha ou ângulo de direção do volante) e da interação com a superfície de rolamento do cenário virtual (por exemplo, superelevação e atrito). O modelo do veículo tem por objetivo principal retornar a nova posição do veículo no cenário virtual, transmitir os parâmetros para produzir o som do motor e transmitir ao condutor o torque do volante. Neste caso, utilizou-se o modelo virtual de um carro de passeio similar a um Citroën C3, o qual foi doado pela empresa PSA Peugeot Citroën Brasil.



Figura 43. Modelo virtual do veículo – vista frontal e lateral do C3 da PSA PEUGEOT CITROEN

A modelagem e simulação do ambiente virtual do trecho realizou-se em três etapas: criação da cena virtual, criação do cenário virtual e simulação em tempo real. Em primeiro lugar, a criação da cena virtual compreendeu reproduzir no simulador os elementos existentes na rodovia real: relevo, faixas, placas, árvores, etc. A cena virtual do trecho da Régis Bittencourt foi desenvolvida a partir das seguintes informações: projeto geométrico em planta e perfil, cadastro da sinalização existente no trecho e filmagem do trecho. A filmagem permitiu identificar pontos do entorno com características específicas, como: taludes com vegetação, talude com rocha, textura do pavimento, elementos de segurança, obras de arte no trecho e outros itens relevantes para o realismo do cenário. A Figura 44 apresenta o ambiente virtual do trecho estudado e a comparação com a filmagem.

O segundo passo foi a criação do cenário, que compreendeu adicionar o fluxo de tráfego à cena virtual criada anteriormente. O comportamento do tráfego no ambiente virtual foi determinado através de três parâmetros: a velocidade de operação medida *in loco*, a distribuição por tipo de veículo calculada a partir das contagens nas praças de pedágio e a densidade do fluxo. Definiu-se densidade do fluxo em 11 veículos-equivalentes/km/faixa, que corresponde ao limite de um nível de serviço B em rodovias de múltiplas faixas (TRB, 2010). Depois, transformou-se a densidade em volume de tráfego, seguindo a metodologia do *Highway Capacity Manual* (HCM), e obteve-se um fluxo de 550 veículos/hora, valor próximo ao volume médio contabilizado durante as medições *in loco* (450 veículos/hora) e

ao 85º percentil dos volumes horários registrados em 2014 – antes de começar os testes no simulador – nas praças de pedágio próximas do trecho em estudo.



Figura 44. O ambiente virtual do trecho em estudo

Por fim, a simulação do ambiente virtual é um processo iterativo que compreende atualizar e gerar a cena virtual observada pelo condutor, executar as interações do tráfego programadas na confecção do cenário, coletar as ações do condutor sobre o volante e os pedais, atualizar os parâmetros do modelo veicular segundo as ações do condutor e finalmente calcular uma nova posição do veículo dentro do ambiente virtual para recomençar o ciclo. Neste caso a simulação foi realizada a uma taxa de 60 frames por segundo, isto quer dizer que a cada 0,016 segundos atualizava-se o cenário virtual e coletavam-se dados sobre o controle do veículo (posição, velocidade, aceleração, etc.). As Figuras 45 e 46 resumem o processo de criação e simulação do ambiente virtual, descrito anteriormente.

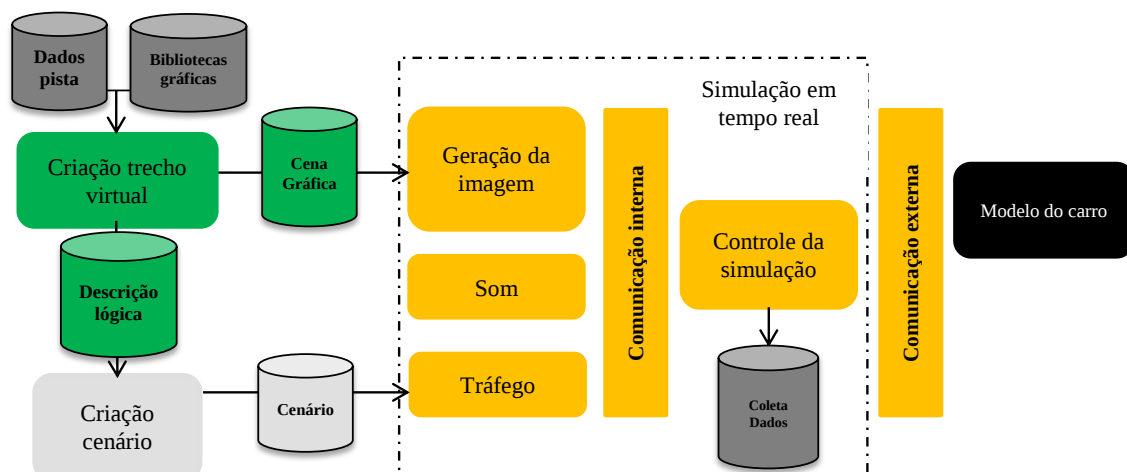


Figura 45. O processo de modelagem e simulação do ambiente virtual

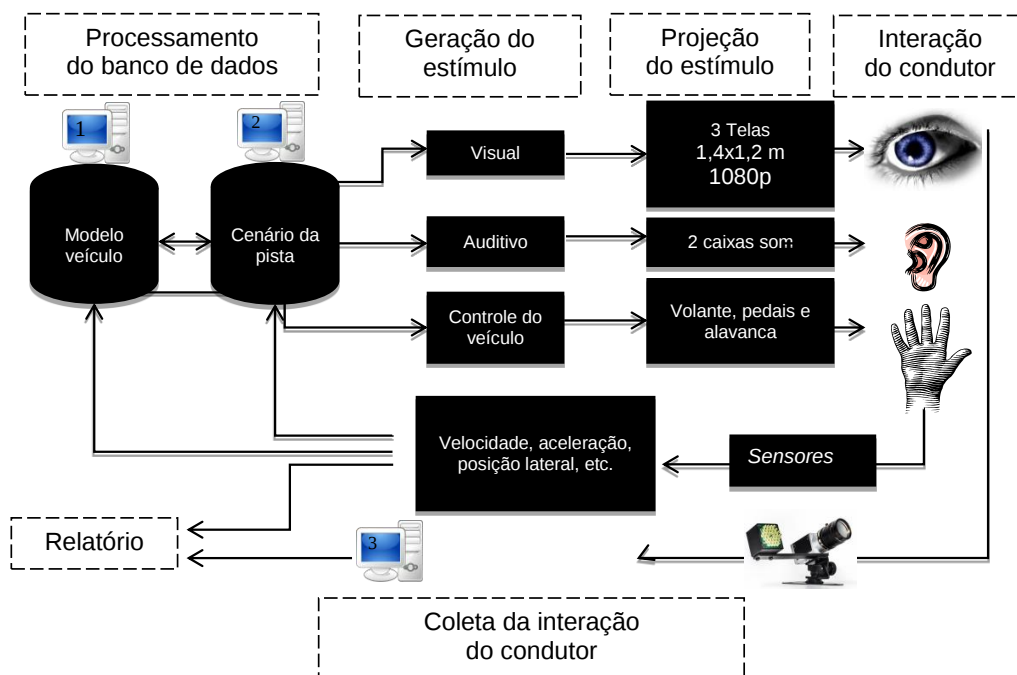


Figura 46. O processo iterativo de simulação

### 5.2.2 O SISTEMA DE RASTREIO OCULAR

Além dos componentes descritos anteriormente, integrou-se ao simulador um sistema para rastrear o olhar do condutor – desenvolvido pela empresa *SmartEye®* – que permitiu estimar com precisão para onde e por quanto tempo o olhar do condutor estava alocado, enquanto dirigia no simulador. Esse sistema de rastreo do olhar integra quatro câmeras que gravam a uma taxa de 60 Hz a face do condutor e a tela para onde ele/ela está olhando, para processar em tempo real essas imagens e detectar por contraste a posição e a orientação das pupilas do condutor. O sistema de rastreo do olhar foi de vital importância na presente pesquisa porque permitiu medir quantas vezes, em que instante de tempo e por quanto tempo perceberam os condutores as placas de sinalização dentro do ambiente virtual. A seguir, realiza-se uma descrição do funcionamento do mesmo.

Para começar, posicionam-se três câmeras de vídeo monocromáticas na frente do condutor que detectam a posição e a orientação das pupilas. Duas dessas câmeras possuem luzes infravermelhas para garantir uma iluminação homogênea da face do condutor. As três câmeras utilizaram lentes de 8 mm e estavam posicionadas um metro a frente do condutor, 15° abaixo de seus olhos e com uma separação de 40 cm entre si. Esta configuração permitiu rastrear o olhar do condutor com uma exatidão de 2°, em pelo menos duas câmeras ao mesmo tempo, o tempo todo, para qualquer movimento dos olhos dos condutores dentro do campo de visão de 50° na horizontal e 30° na vertical. As Figuras 47 e 48 ilustram, respectivamente, o tipo de câmeras utilizadas e a imagem que elas capturam do rosto do motorista.



Figura 47. Câmera da *SmartEye* para rastrear o olhar do condutor



Figura 48. Imagem capturada pelas câmeras do sistema de rastreo do olhar

Adicionalmente, o sistema possui uma quarta câmera de vídeo, colorida, com resolução de 480p e taxa de aquisição de 25 Hz, a qual foi posicionada atrás do condutor e mirando a tela central do simulador, com o objetivo de simular o campo visual que tinha o condutor dentro do simulador. Na Figura 49 observam-se as quatro câmeras devidamente instaladas.



Figura 49. Configuração do sistema de rastreo do olhar

Nas três câmeras posicionadas na frente do condutor calibrou-se o foco e a abertura das lentes para melhorar o contraste das pupilas. Adicionalmente, definiu-se um sistema de coordenadas para representar a posição no espaço das três câmeras, a posição das telas de projeção e a posição dos olhos dos condutores. A definição da origem do sistema de coordenadas e o cálculo da posição das câmeras são realizados de forma automática pelo software através da detecção de um tabuleiro especial (semelhante a um tabuleiro de xadrez) e o cálculo do posicionamento relativo de cada câmera em relação a esse tabuleiro. Enquanto que a definição das telas no sistema de coordenadas é feita através de um arquivo

de texto detalhando as dimensões das telas, as coordenadas do centro de cada tela em relação à origem do sistema de coordenadas, e a orientação e resolução das telas.

Utilizando esse sistema de coordenadas, o sistema *SmartEye* detectou o local que estava olhando o condutor dentro das telas através do cálculo da interseção geométrica entre o plano que representa a tela e o vetor que representa a olhar do condutor; esse último determinado pela posição e orientação das pupilas em relação à posição das câmeras.

Já na quarta câmera definiu-se a região que ocupa a tela dentro da imagem para poder transformar a informação coletada no sistema real de coordenadas ao sistema de pixels da quarta câmera. Com isto, o sistema *SmartEye* conseguiu apresentar em vídeo o olhar do condutor enquanto dirigia no ambiente virtual.

Finalmente, analisou-se esse vídeo no programa MAPPS®, que permite definir regiões de interesse ao redor da sinalização vertical, para calcular se o motorista olhou essas regiões, quantas vezes, por quanto tempo e em que instante foram essas fixações – ver Figura 50.



Figura 50. Uso do *SmartEye* durante a visualização da filmagem do trecho

### 5.3 DELINEAMENTO E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO NO SIMULADOR PARA O CENÁRIO BASE

Uma vez montado o simulador, o sistema de rastreamento do olhar e a representação virtual do trecho em estudo, delineou-se um experimento que permitisse medir como os condutores percebem a sinalização vertical dentro do ambiente virtual para o cenário base, isto é, as condições de sinalização existentes antes de implantar o novo projeto de sinalização. A seguir, realiza-se uma descrição detalhada do delineamento desse experimento.

Destaca-se a importância que teve dentro desse delineamento o fato de conseguir com que os condutores acreditassem que estavam dirigindo de verdade, que mostrassem interesse e compromisso por ter um bom desempenho no simulador, mas sem que se sentissem avaliados ou que soubessem o objetivo real do experimento.

#### 5.3.1 POPULAÇÃO DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

Considerando que não faz parte do escopo do projeto caracterizar alguma população de condutores em particular, definiu-se que qualquer condutor brasileiro habilitado com mais de um ano de experiência dirigindo poderia participar do experimento no simulador – isto para garantir que possui habilidades na direção.

Sob esse mesmo critério, definiu-se uma amostra por conveniência, isto é, estudar o maior número possível de condutores segundo o número de pessoas interessadas em participar do experimento e os recursos disponíveis para realizar a pesquisa. O recrutamento dos condutores foi realizado principalmente dentro das imediações do local onde estava o simulador, com o intuito de facilitar a logística dos experimentos. Ressalta-se que o uso de uma amostra por conveniência impossibilita afirmar que os resultados obtidos dentro da amostra possam ser representativos e conclusivos para um universo de condutores em particular.

#### 5.3.2 VARIÁVEIS DE ESTUDO

Com base na revisão da literatura identificaram-se três etapas no processo de percepção da sinalização: detecção do sinal, compreensão do mesmo, reação do condutor após percepção. Para mensurar cada etapa desse processo definiram-se cinco variáveis dependentes dentro do experimento: o número de condutores que percebeu cada sinal, o número de fixações, o tempo de percepção e distância de percepção de cada sinal, assim como a variação da velocidade após percepção da sinalização.

A primeira variável visa medir a conspicuidade e relevância de cada sinal; o número de fixações, o tempo e a distância de percepção visam avaliar a legibilidade e compreensão dos sinais que foram percebidos; enquanto que a variação da velocidade visa medir a influência que teve a percepção de cada sinal sobre o comportamento dos condutores.

Na revisão da literatura também foram identificados vários fatores que poderiam influenciar o processo de percepção da sinalização, tais como a idade, experiência e carga mental do condutor; o tipo, tamanho e posicionamento do sinal; e a densidade do tráfego e a iluminação do entorno rodoviário, entre outros fatores. Nesta pesquisa estudaram-se quatro desses fatores, cada um deles definido como uma variável dependente dentro do experimento: o tipo de sinal, o posicionamento do sinal, a duplicidade do sinal e a velocidade dos condutores. Segue a descrição detalhada de cada uma dessas variáveis coletadas no experimento.

**a) Variáveis dependentes**

- Probabilidade de percepção: Quociente entre a quantidade de condutores que perceberam o sinal e a quantidade total de condutores que participaram do experimento.
- Distância de percepção: distância em metros entre o condutor e um sinal no instante em que o condutor fez uma fixação sobre a placa. Definiram-se três distâncias de percepção: a distância máxima, a efetiva e a mínima, associadas respectivamente, à primeira fixação, a fixação mais longa e a última fixação sobre cada sinal.
- Número de fixações: número de vezes que o condutor fez uma fixação sobre o sinal.
- Tempo de observação: somatória de tempo de todas as fixações sobre o sinal, expressado em milissegundos. Unicamente foram consideradas fixações maiores que 100 milissegundos (WELLER, 2010; DUCHOWSKI, 2007).
- Variação da velocidade: variação da velocidade entre dois instantes de tempo. Definiram-se quatro instantes de tempo para analisar as diferentes variações da velocidade: quando começa e termina a fixação efetiva, quando o condutor entra na próxima curva após o sinal e quando o condutor atinge a menor velocidade dentro dessa curva.

**b) Variáveis independentes**

- Tipo de sinal: Para o cenário base há oito tipos de sinais diferentes no trecho, porém, acredita-se que não há diferenças significativas na percepção dos sinais de advertência de curva à direita e à esquerda, motivo pelo qual os sinais A-2a e A-2b foram agrupados como A-2, e os sinais A-4a e A-4b foram agrupados como A-4. Adicionalmente, os dois tipos de sinais de limite de velocidade têm a mesma função, enquanto que o sinal de advertência de neblina não foi considerado na análise. No total, consideraram-se três tipos de sinais diferentes: A-2, A-4 e R-19. Segundo a literatura, a relevância do sinal para o condutor influencia a percepção do mesmo.
- Posicionamento do sinal: distância em metros entre a posição do sinal e o começo da próxima curva. O posicionamento longitudinal pode influenciar a conspicuidade dos sinais, assim como a reação do condutor diante da informação apresentada.
- Duplicidade do sinal: Variável binária que indica se o sinal está duplicado ou não, isto é, uma placa de cada lado da pista.
- Velocidade inicial: velocidade do veículo, em quilômetros por hora, no instante de tempo em que o condutor começa a perceber o sinal. Acredita-se que este parâmetro pode influenciar as chances de percepção do sinal.

A análise da percepção de cada sinal considera-se como uma análise desagregada. Além dessa análise desagregada, realizou-se uma análise agregada que compara os valores médios de percepção dos condutores que participaram do experimento. Nessa análise agregada consideraram-se as seguintes variáveis independentes: idade, experiência, gênero e limitações visuais dos condutores participantes. Enquanto que as variáveis dependentes

foram a quantidade de sinais percebidos, o tempo médio de observação, o número médio de fixações, a distância média de percepção, a variação média na direção do volante – associada à adaptação ao controle do veículo – e a velocidade média para percorrer o trecho, assim como o grau de enjoo experimentado após o experimento e a avaliação subjetiva do simulador.

### 5.3.3 COLETA DE DADOS

As variáveis definidas anteriormente foram coletadas para cada condutor participante durante a execução do experimento no simulador, através de três fontes de informação: três questionários, o vídeo gerado pelo sistema de rastreamento do olhar do condutor e o banco de dados com os resultados da simulação.

O primeiro questionário utilizado denominou-se “Questionário para a caracterização do condutor” e permitiu coletar as características demográficas da amostra (ver Anexo 3). O segundo questionário denominou-se “*Simulation Sickness Questionnaire*” e é uma adaptação do questionário desenvolvido por Kennedy et al. (1993) para diagnosticar a presença de sintomas de enjoo no condutor (ver Anexo 4). Finalmente, o terceiro questionário denominou-se “Questionário para a avaliação do simulador” e permitiu registrar a avaliação subjetiva dos participantes sobre o realismo e a imersão do simulador (ver Anexo 5).

Conforme mencionado anteriormente, o vídeo coletado pelo sistema de rastreamento do olhar foi analisado no software MAPPS, para avaliar a percepção da sinalização dentro do ambiente simulado de direção. A análise começou com a definição das regiões de interesse – círculos – entorno de cada placa no vídeo. O tamanho dessas regiões mudava a cada frame para adaptar-se à aproximação das placas e sempre foram maiores que as placas para considerar os erros de precisão do sistema *SmartEye*, conforme ilustra a Figura 61.

Com base na posição do olhar do condutor – círculo verde na Figura 51 – e na região de interesse – círculo azul na Figura 51, o software MAPPS calculou, a cada 0,016 segundos, se o condutor estava olhando essa região através de um cálculo simples de interseção de coordenadas. Como resultado dessa análise, para cada condutor gerou-se um arquivo de extensão ‘.csv’ com as seguintes informações: instante de tempo no qual começou cada fixação sobre cada região e intervalo de tempo de cada fixação. Todos os tempos expressaram-se de duas formas: no tempo da filmagem e no relógio do computador, sincronizado pela internet com um servidor internacional – denominado *timestamp*. A partir desse banco de dados determinou-se o número de fixações e o tempo total de observação de cada placa.



Figura 51. Determinação da detecção de uma placa no software MAPPS

Também para cada condutor, gerou-se outro arquivo de extensão ‘.csv’ com os parâmetros da simulação a cada 0,016 segundos. Os parâmetros coletados foram: o tempo de simulação; o *timestamp*, também sincronizado com um servidor na internet; a posição do centro de gravidade do veículo dentro do cenário em x, y e z segundo um sistema de coordenadas de mão direita com o eixo x apontando ao leste; a posição dos olhos do condutor em x, y e z para o mesmo sistema de coordenadas; a velocidade e a aceleração do veículo em x, y e z; e o ângulo de direção do volante medido em radianos.

Com base nos dois bancos de dados e utilizando o *timestamp* como variável comum entre eles, calculou-se a distância de percepção de cada sinal como a diferença de posição entre o olho do condutor e a placa, no instante de tempo em que começou a fixação do sinal. Da mesma forma calculou-se a velocidade no começo de cada fixação e a variação da velocidade entre dois instantes de tempo durante o processo de percepção de cada sinal.

Vale a pena ressaltar que essas variáveis foram obtidas, inicialmente, para cada placa, porém, as análises definitivas foram realizadas por sinais e não por placas. Assim, nos locais onde existia uma única placa por sinal não foi necessário realizar nenhuma operação adicional, mas nos locais onde o sinal estava duplicado foi necessário agregar os dados obtidos por placa em um único registro por sinal. Logo, o sinal foi considerado como percebido se pelo menos uma das duas placas foi percebida. O número de fixações e o tempo de observação do sinal foram calculados, respectivamente, como a soma do número de fixações e dos tempos de observação de cada placa. A distância máxima de percepção do sinal foi determinada como a máxima das duas distâncias máximas de percepção das duas placas, enquanto que a distância mínima de percepção foi determinada como a mínima das distâncias mínimas de percepção das duas placas.

#### 5.3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após definido o delineamento experimental, definiu-se o procedimento para realizar os testes no simulador, tal que cada condutor realizou uma única vez esse procedimento. Segue a descrição do procedimento experimental, ilustrado na Figura 52.

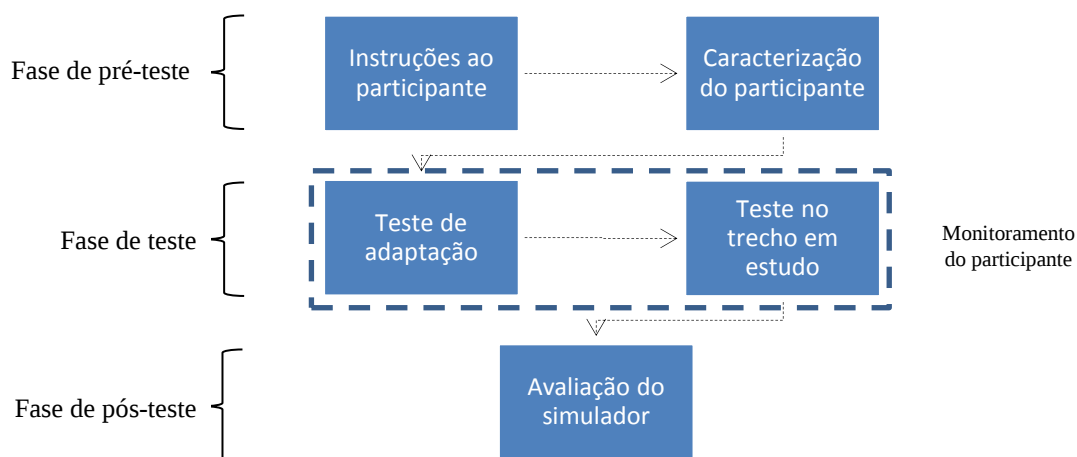


Figura 52. Procedimento experimental dos testes no simulador de direção

O primeiro passo realizado foi ler e explicar para cada condutor convidado as instruções sobre o experimento, cientes de que, por questões éticas, cada participante deve entender e aceitar livremente sua participação no experimento. Nesse sentido, informou-se o objetivo da pesquisa, a motivação para realizar o experimento, o procedimento para realizar os testes, os possíveis riscos e benefícios ao participar do teste, a liberdade de recusar-se a continuar no experimento quando quiser e a garantia de sigilo sobre a sua identidade na publicação de resultados. Todos os condutores convidados aceitaram livremente essas condições e continuaram participando do experimento.

Sobre essas instruções é importante esclarecer os seguintes aspectos: primeiro, os condutores não souberam o objetivo real da pesquisa porque isto poderia gerar um viés no comportamento deles/delas; nesse sentido, informou-se que o objetivo do experimento era avaliar a capacidade, a fidelidade e a sofisticação do simulador, e testar um equipamento de monitoramento do olhar do condutor. E segundo, os participantes foram informados de que o principal risco no experimento era sentir algum tipo de desconforto – enjoo, por exemplo – e que se isto acontecesse de forma severa o condutor poderia interromper o experimento; para que não houvesse algum tipo de comprometimento no experimento sobre o comportamento do condutor falou-se em desconforto e não de enjoo.

Posteriormente, cada participante preencheu o “Questionário para a caracterização do condutor” para coletar informações como a idade, experiência e gênero do condutor, e analisar possíveis correlações entre essas características e seu comportamento no simulador. Adicionalmente, no caso de condutores com enjoo, esse questionário permitiu identificar fatores de risco para sentir enjoo e monitorar com maior atenção futuros participantes com características semelhantes.

Ao concluir o formulário de caracterização, cada participante foi convidado a entrar no simulador para ajustar a altura e a distância do volante, com o intuito de garantir o maior conforto possível enquanto participava dos testes. Adicionalmente, para cada condutor calibrou-se o sistema *SmartEye* devido às variações fisiológicas dos condutores e o possível uso de óculos. Para realizar a calibração o condutor tinha que fixar quatro pontos na tela central de coordenadas conhecidas, as quais são comparadas com as coordenadas estimadas

pelas câmeras para retornar a acurácia e a precisão do rastreo do olhar. Para todos os condutores obtiveram-se erros inferiores a 2°.

Cientes de que a direção do simulador é distinta à de um veículo real, e de que os participantes não tinham dirigido previamente no simulador, definiu-se um período de adaptação à direção do simulador. Para isto, cada condutor dirigiu em um cenário de adaptação até conseguir controlar a direção do veículo e a velocidade sem que essas tarefas de controle demandassem muito esforço, como acontece regularmente na direção de um veículo real.

O cenário de adaptação foi um circuito semiurbano onde o condutor teve que realizar as seguintes tarefas: atingir e manter uma velocidade determinada, seguir um veículo por um determinado período de tempo, ultrapassar um veículo, frear para evitar uma colisão traseira e, finalmente, estacionar o veículo. O tempo de simulação durante esta fase de adaptação variou segundo as capacidades de adaptação do condutor, mas em nenhum caso ultrapassou os quinze minutos para diminuir as chances de sentir enjoo.

O principal risco ao qual estão expostos os participantes durante os experimentos no simulador é sentir alguns sintomas de enjoo. Apesar de ser um risco menor para a saúde do condutor, este deve ser controlado porque afeta o conforto do condutor durante e depois dos testes, isto é, afeta seu desempenho no simulador e possivelmente na direção de um veículo real logo depois de concluir o experimento.

Durante o experimento utilizaram-se três estratégias para diminuir as chances de sentir sintomas severos de enjoo: em primeiro lugar, durante os testes os condutores foram monitorados continuamente pelos pesquisadores para identificar sintomas como tontura ou sudoreação. Em segundo lugar, limitou-se a duração do teste de adaptação a quinze minutos e o teste no trecho em estudo não ultrapassou dez minutos – o uso de períodos curtos de simulação diminui as chances de enjoo nos participantes. E terceiro, utilizou-se o questionário “*Simulation Sickness Questionnaire*” para avaliar o grau de enjoo dos condutores através de dezesseis questões, onde os condutores expressaram se estavam experimentando sintomas como dor de cabeça, tontura, sudoreação e salivação excessiva, entre outros, assim como o grau de severidade desses sintomas.

Nenhum condutor manifestou sintomas de enjoos severos durante o teste de adaptação e, por conseguinte, todos passaram a dirigir o simulador no ambiente virtual do trecho em estudo. Antes de começar o teste os pesquisadores solicitaram a cada participante atender as seguintes instruções para dirigir no trecho: dirigir como faria normalmente quando está percorrendo um trecho rural de rodovia que não conhece, evitar trafegar pela faixa da direita – reservada para os veículos pesados, respeitar a sinalização do trecho e evitar qualquer tipo de acidente no simulador, pois o experimento seria finalizado nesse momento. Essas instruções visaram recriar, de forma aproximada, as motivações, regras e penalizações que teria o condutor dirigindo no trecho real.

Finalmente, considerou-se importante conhecer a percepção dos participantes sobre o grau de realismo do experimento no simulador. Para isto, cada participante preencheu o “Questionário para a avaliação do simulador” para avaliar a fidelidade dos seguintes elementos do simulador, em relação à direção de um veículo real: o sistema de direção do

veículo, a percepção da velocidade, o comportamento do tráfego, o realismo da pista, do entorno e das placas de sinalização. O questionário utilizado é uma adaptação do questionário desenvolvido por Witmer e Singer (1998) para avaliar a imersão das pessoas em ambientes virtuais.

### 5.3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os dados coletados durante o experimento no simulador foram analisados de duas formas: em primeiro lugar, realizou-se uma análise descritiva para analisar o histograma de cada variável, determinar a sua normalidade e estimar os valores médios; e, em segundo lugar, realizou-se uma análise inferencial para estabelecer possíveis relações de dependência e correlação entre as variáveis coletadas.

Nas análises de correlação avaliou-se o gráfico de dispersão entre as variáveis e estimou-se o coeficiente de correlação entre elas. Caso as variáveis tivessem uma distribuição normal foi usado o coeficiente de Pearson, caso contrário, foi usado o coeficiente de Spearman.

Os coeficientes de correlação também foram utilizados no caso das análises de dependência entre variáveis dependentes e independentes numéricas. Já no caso de variáveis independentes e dependentes numéricas, analisou-se graficamente o diagrama de caixas (*boxplot*) e realizaram-se testes de inferência estatística como *t-student* e Análises de Variância de um fator (ANOVA). Quando a variável independente tem dois valores possíveis – por exemplo, sim ou não na variável de duplicidade do sinal – emprega-se o teste *t-student* e quando a variável independente tem mais de dois valores possíveis – por exemplo, o tipo de sinal – utiliza-se o teste de ANOVA.

O teste *t-student* é suficientemente robusto tanto para variáveis com distribuição normal quanto para variáveis não normais, motivo pelo qual foi usado em todas as análises de dependência com variáveis independentes categóricas e dicotômicas.

Porém, a prova de ANOVA é sensível à normalidade da variável dependente e à homocedasticidade da mesma – variâncias iguais – entre as diferentes categorias da variável independente (HAIR et al., 2005). Nesse sentido, antes de realizar uma análise de variância ANOVA, testa-se a homocedasticidade da variável dependente através do teste de Levene. Se a hipótese de homocedasticidade for rejeitada, realiza-se o teste de variância de Welch (HAIR et al., 2005). Por outro lado, se a homocedasticidade não for rejeitada e a variável tiver uma distribuição normal, utiliza-se o teste de ANOVA, e se a normalidade for rejeitada, utiliza-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. A normalidade das variáveis determina-se, comumente, pela análise do histograma ou pelo teste modificado de Kolmogorov-Smirnov (HAIR et al., 2005).

Por fim, se a dependência entre as variáveis for confirmada pelos testes de Welch, ANOVA ou Kruskal-Wallis, realiza-se uma análise *post-hoc* para determinar a significância das diferenças entre as distintas categorias da variável independente – por exemplo, quão significativa é a diferença no tempo de observação dos sinais A-2 e A-4, A-2 e R-19 e assim

sucessivamente. No caso do teste de Welch, utiliza-se a análise *post-hoc* de Games-Howell, caso contrário, utiliza-se o teste de Tukey (HAIR et al., 2005). A Tabela 7 resume todas as análises de correlação e dependência realizadas nesta pesquisa.

Tabela 7. Resumo das análises estatísticas realizadas

| Análise desagregada                 |                                                                                                                                                                               | Análise agregada                    |                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variável dependente                 | Variável Independente                                                                                                                                                         | Variável dependente                 | Variável Independente                                                                                                                                                                                      |
| Probabilidade de percepção do sinal | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sinal</li> <li>Duplicidade</li> <li>Proximidade entre sinais</li> <li>Posicionamento</li> <li>Velocidade do veículo</li> </ul> | Velocidade de operação no simulador | <ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidade real de operação no trecho</li> </ul>                                                                                                                    |
| Número de fixações                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sinal</li> <li>Proximidade entre sinais</li> <li>Duplicidade</li> </ul>                                                        | Velocidade média espacial           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Idade</li> <li>Gênero</li> <li>Tipo de condutor</li> <li>Variância no ângulo de direção do volante</li> <li>Curvatura do traçado</li> </ul>                         |
| Tempo de observação                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sinal</li> <li>Proximidade entre sinais</li> <li>Duplicidade</li> </ul>                                                        |                                     |                                                                                                                                                                                                            |
| Distância de percepção              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sinal</li> <li>Proximidade entre sinais</li> <li>Duplicidade</li> </ul>                                                        | Porcentagem de sinais percebidos    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Idade</li> <li>Gênero</li> <li>Tipo de condutor</li> <li>Limitações visuais</li> <li>Velocidade média</li> <li>Variância no ângulo de direção do volante</li> </ul> |
| Variação da velocidade              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sinal</li> <li>Proximidade entre sinais</li> <li>Duplicidade</li> </ul>                                                        |                                     |                                                                                                                                                                                                            |

#### 5.4 ANÁLISE DA PERCEPÇÃO E RELEVÂNCIA DA SINALIZAÇÃO NO CENÁRIO BASE

Neste primeiro experimento participaram 30 condutores brasileiros com carteira de habilitação e mais de um ano de experiência dirigindo. A amostra foi dividida em dois grupos em termos da experiência de condução: condutores profissionais de ofício e condutores não profissionais, cada um com 15 pessoas por grupo.

Sobre a caracterização dos condutores, 90% dos motoristas profissionais dirigem diariamente mais de duas horas enquanto que 67% dos condutores não profissionais dirigem menos de 30 minutos por dia; igualmente, 90% dos condutores profissionais se avaliaram como condutores experientes, entanto que no grupo de condutores não profissionais só 67% se consideraram experientes. De outra parte, 100% dos condutores não profissionais

afirmaram ser condutores cautelosos, entanto que 70% dos condutores profissionais disseram ser cautelosos dirigindo e 30% confiantes. Finalmente, 43% dos condutores profissionais afirmaram dirigir frequentemente em rodovias federais, enquanto que todos os condutores não profissionais afirmaram que não dirigem em rodovias regularmente. A Tabela 8 resume as características de cada grupo de participantes no experimento.

Tabela 8 – Características dos participantes do experimento no cenário base

| Grupo             | % Homens | % Mulheres | Variação da idade (anos) | Idade média (anos) | Experiência dirigindo (anos) |
|-------------------|----------|------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| Profissionais     | 100      | 0          | 26-64                    | 41                 | 22±9,8                       |
| Não profissionais | 67       | 33         | 26-45                    | 32                 | 12±5,3                       |

Em média, cada experimento demorou 25 minutos distribuídos da seguinte forma: aproximadamente 12 minutos dirigindo no trecho urbano de adaptação, 8 minutos dirigindo no trecho virtual da rodovia Régis Bittencourt e o tempo restante preenchendo os questionários e recebendo as instruções sobre os testes. A velocidade média para completar o trecho virtual foi de 83 km/h com um desvio padrão de  $\pm 13$  km/h, sem diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades médias dos condutores profissionais e não profissionais.

#### 5.4.1 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A primeira questão discutida sobre os resultados obtidos no simulador é a validade dos mesmos, avaliada em duas etapas: primeiro, validou-se o comportamento dos condutores no simulador em relação ao observado nas medições feitas in loco no trecho real, e segundo, compararam-se os resultados de percepção da sinalização obtidos no simulador com os valores registrados na literatura em outros estudos semelhantes – denominada validação ecológica.

Nesse sentido, para validar o comportamento dos condutores no simulador compararam-se as velocidades de operação medidas em dez locais do trecho e as respectivas velocidades de operação no simulador para esses mesmos dez locais, conforme ilustra a Tabela 9.

Tabela 9. Comparação das velocidades de operação no simulador e in loco

| Local   | V <sub>85</sub> in loco (km/h) | V <sub>85</sub> no simulador (km/h) | Diferença (%) |
|---------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 509+400 | 84                             | 95                                  | 13            |
| 511+800 | 89                             | 107                                 | 20            |
| 513+600 | 90                             | 110                                 | 22            |
| 514+000 | 90                             | 111                                 | 23            |
| 514+500 | 89                             | 111                                 | 25            |
| 511+100 | 91                             | 101                                 | 11            |
| 515+200 | 103                            | 112                                 | 9             |

|                      |           |            |           |
|----------------------|-----------|------------|-----------|
| 515+700              | 104       | 125        | 20        |
| 516+300              | 88        | 116        | 32        |
| 518+100              | 98        | 114        | 16        |
| <b>Média</b>         | <b>93</b> | <b>110</b> | <b>19</b> |
| <b>Desvio padrão</b> | <b>7</b>  | <b>8</b>   | <b>7</b>  |

O resultado do teste *t-student* para dados pareados ( $t=9,13$  e  $p<0,01$ ) permite afirmar que houve uma diferença estatisticamente significativa entre as velocidades de operação no trecho e no simulador, com uma velocidade média de  $110\pm 8$  km/h no simulador, contra  $93\pm 7$  km/h na estrada.

Adicionalmente, analisou-se a correlação entre as velocidades de operação no trecho e no simulador e encontrou-se uma relação linear positiva e significativa entre as velocidades ( $r=0,68$  e  $p=0,03$ ), conforme ilustra a Figura 53.

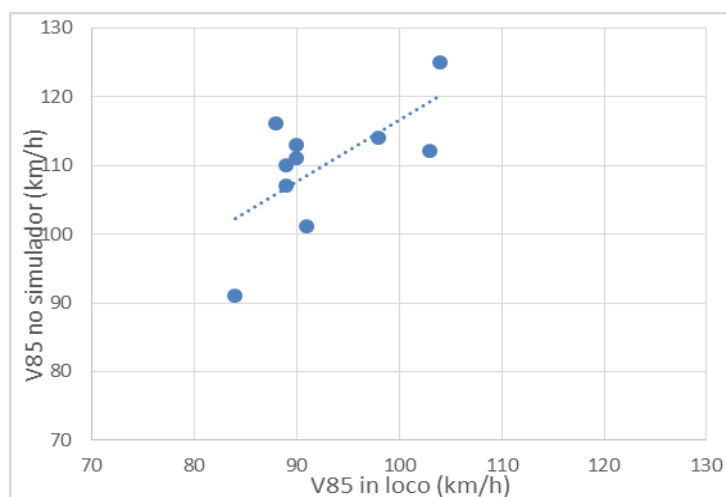


Figura 53. Correlação entre as velocidades no trecho e no simulador

Igualmente, para cada local compararam-se as curvas de distribuição da velocidade entre condutores tanto no trecho quanto no simulador – ver Figura 54 para o caso do km 509+400. A partir dessa comparação afirma-se que as distribuições da velocidade foram semelhantes – mesma forma da curva – mas que as velocidades no simulador foram superiores em cada percentil – curva deslocada à direita.

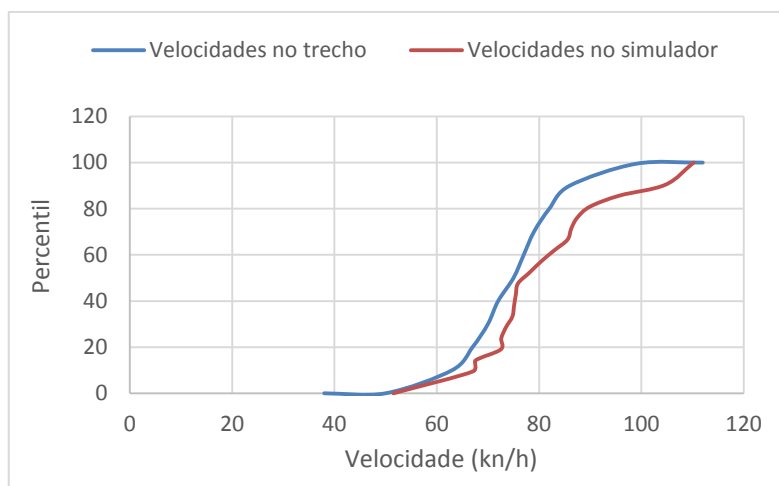


Figura 54. Comparação das curvas de distribuição das velocidades no km 509+400

Com base nesses resultados, conclui-se que as velocidades de operação no simulador foram significativamente maiores que as velocidades reais de operação no trecho e, por conseguinte, o experimento no simulador não atingiu a validade absoluta. Porém, observou-se que a distribuição das velocidades foi semelhante e que quanto maior foi a velocidade real de operação em um local do trecho, maior a velocidade de operação nesse local no simulador; logo, houve validade relativa entre as velocidades no simulador e no trecho real.

Esta conclusão é congruente com o encontrado na revisão da literatura: os simuladores de direção dificilmente conseguem reproduzir com exatidão a magnitude das velocidades no mundo real, mas conseguem reproduzir tendências e diferenças relativas (RANNEY, 2011; GODLEY, 2002; KAPTEIN et al., 1996; BLANA, 1996). Igualmente, as velocidades no simulador geralmente são superiores porque os condutores sabem que as consequências dos acidentes no ambiente virtual não são significativas e decidem tomar maiores riscos na direção (BELLA, 2009; RANNEY, 2011).

De outra parte, em relação ao nível de atenção alocado pelos condutores na sinalização dentro do simulador vale a pena ressaltar que, em média, cada condutor percebeu um de cada três sinais dentro do ambiente simulado de direção, um valor muito próximo dos níveis de atenção registrados na literatura para estudos em estradas: 25% de percepção no estudo feito por Costa et. al (2014), 35% de percepção no estudo feito por Mori e Abdel-Halim (1981) e 45% no caso de Johansson e Backlund (1970). Logo, conclui-se que os níveis de atenção na sinalização vertical no experimento foram semelhantes aos observados em condições reais de direção.

Finalmente, outro elemento que permitiu avaliar a validade do simulador foi a percepção dos condutores sobre o realismo do mesmo. Na Figura 55 apresentam-se os resultados mais relevantes dessa avaliação e resalta-se que 85% dos participantes manifestaram que o tráfego, a pista, a paisagem e a sinalização pareceram realistas. Segundo os condutores, o principal aspecto do simulador que deverá ser melhorado para as pesquisas futuras é diminuir a sensibilidade do volante.

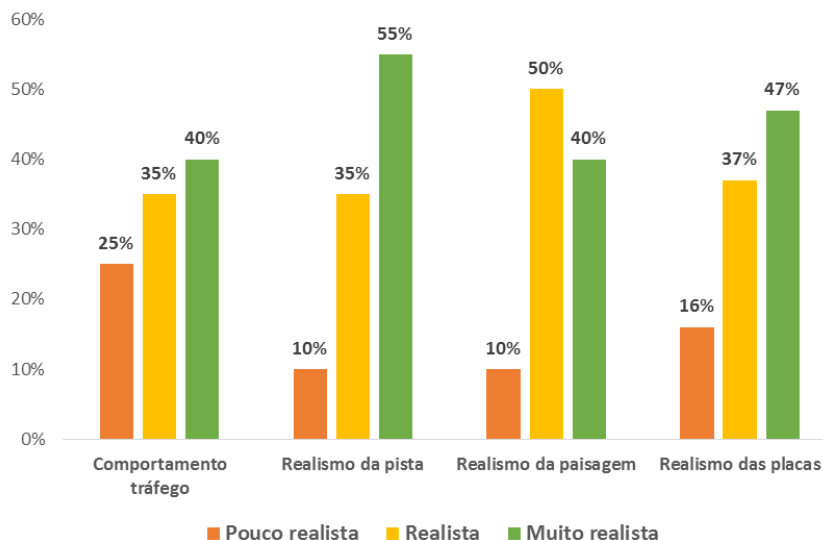


Figura 55. Resultados da avaliação do simulador por parte dos condutores

#### 5.4.2 RELAÇÃO VELOCIDADE – NÍVEL DE ATENÇÃO ALOCADO NA SINALIZAÇÃO

A primeira variável analisada foi a velocidade média espacial dos condutores ao longo do trecho estudado, que é definida como o quociente entre a distância percorrida e o tempo de simulação de cada condutor. O histograma da Figura 56 apresenta a distribuição dessas velocidades entre a amostra de condutores, onde observa-se que a velocidade média espacial dos condutores que participaram deste primeiro experimento foi de  $84 \pm 13$  km/h.

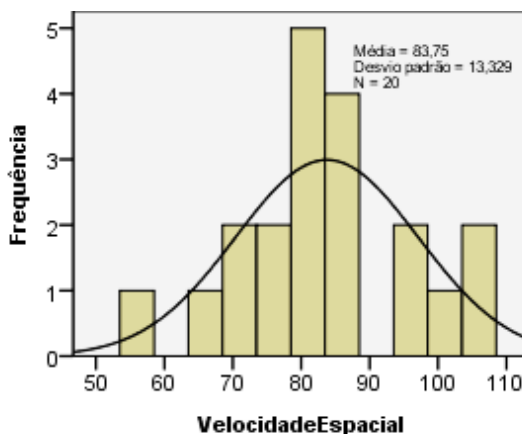


Figura 56. Distribuição da velocidade média espacial entre a amostra de condutores

Sobre o tipo de condutor, a velocidade média espacial dos condutores não profissionais foi de  $86 \pm 12$  km/h e para os condutores profissionais foi de  $83 \pm 14$  km/h, mas essa diferença não foi estatisticamente significativa ( $t=0,44$  e  $p>0,1$ ). De igual forma, não se encontraram relações significativas entre a velocidade média no simulador e outras características demográficas como a idade ( $r=-0,13$  e  $p>0,1$ ), experiência dirigindo ( $r=-0,19$  e  $p>0,1$ ) ou gênero ( $t=0,45$  e  $p>0,1$ ).

No entanto, observou-se uma relação inversamente proporcional entre a velocidade média espacial do condutor e a porcentagem de sinais percebidos por ele/ela no simulador, isto quer dizer que quanto mais rápido o condutor dirigiu no simulador, menor foi a porcentagem de sinais que percebeu. Uma vez que a variável de percepção não segue uma distribuição normal, utilizou-se o teste não paramétrico de Spearman para confirmar se houve correlação entre as duas variáveis. O resultado do teste ( $p=-0,67$  e  $p<0,01$ ) confirma que a correlação efetivamente existiu, que foi significativa e que é negativa conforme ilustra a Figura 57.

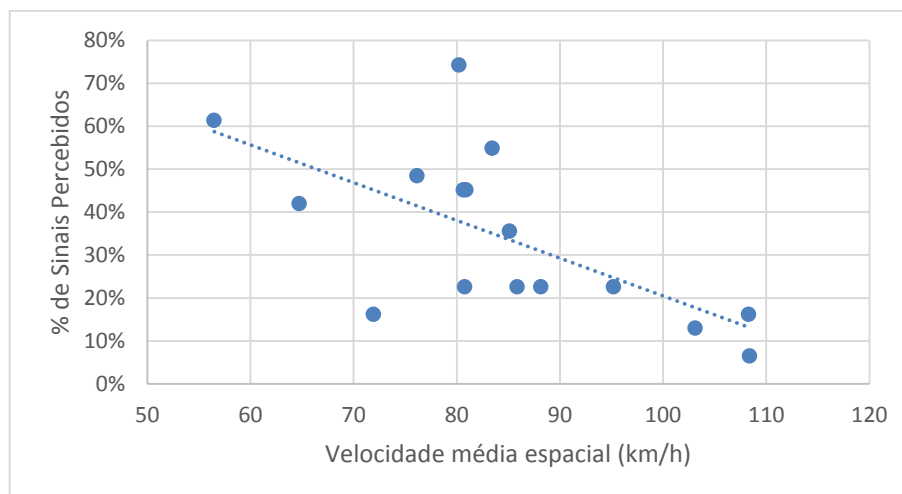


Figura 57. Relação entre a velocidade média espacial e a porcentagem de sinais percebidos

#### 5.4.3 RESULTADOS GERAIS SOBRE A PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO

A porcentagem de condutores que perceberam um determinado sinal em relação à quantidade de condutores que participaram do experimento foi denominada como a probabilidade de que esse sinal fosse percebido. O histograma da Figura 58 apresenta a distribuição dessa variável, com porcentagem média de percepção de  $34 \pm 16\%$ ; isto quer dizer que, em média, um de cada três condutores observou cada sinal existente no cenário base.

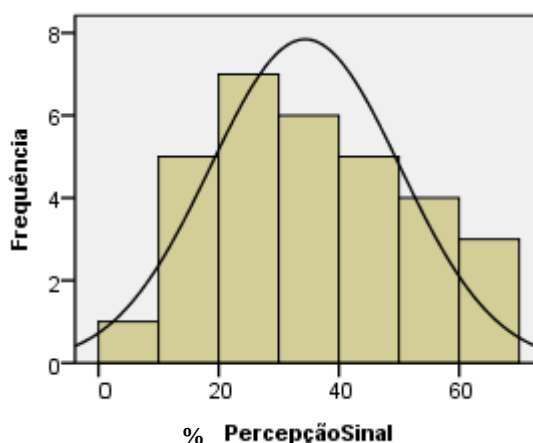


Figura 58. Histograma da porcentagem de condutores que perceberam cada sinal

A Figura 59 ilustra a porcentagem média de condutores que perceberam cada sinal de trânsito existente no trecho estudado, agrupados por cor de acordo com o tipo de sinalização e organizados de forma ascendente segundo a quilometragem onde estão posicionados no trecho. Com base nessa figura é possível concluir duas coisas: primeiro, o tipo de sinal parece influenciar a porcentagem de percepção da sinalização, e segundo, o tempo de simulação não teve nenhuma influência significativa no nível de atenção alocado pelos condutores sobre a sinalização vertical.

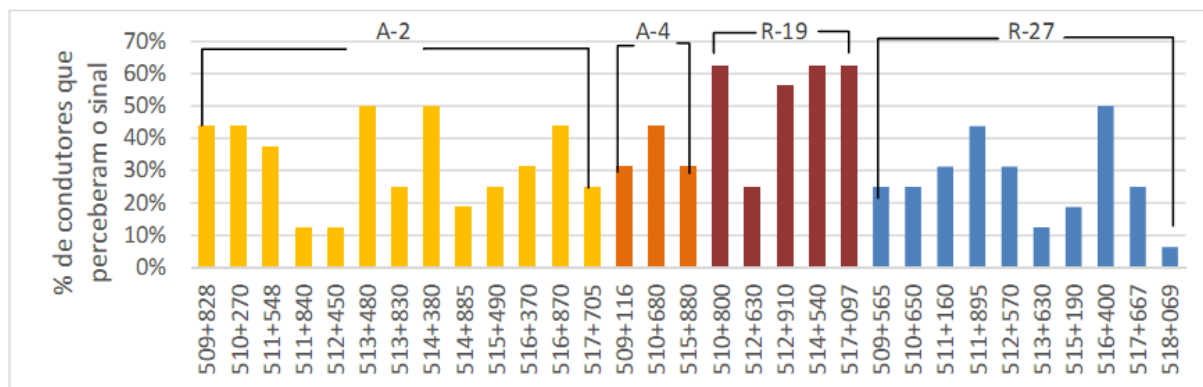


Figura 59. Porcentagem de percepção dos sinais segundo seu tipo e quilometragem

Para testar se o tipo de sinal influenciou a porcentagem de percepção realizou-se uma análise de variância pelo método de Kruskal-Wallis. O resultado desse teste ( $H=8,05$  e  $p=0,045$ ) permitiu confirmar que o tipo de sinal influenciou a chance de ser percebido pelos condutores.

A Figura 60 ilustra o diagrama de caixas da porcentagem de condutores que perceberam cada sinal segundo seu tipo, destacando que o sinal de limite de velocidade R-19 foi o mais percebido, com uma porcentagem média de percepção de  $54 \pm 16\%$ . Em segundo lugar, a sinalização de advertência de curva em 'S' teve uma percepção de  $35 \pm 7\%$ , semelhante à obtida no caso das curvas simples ( $32 \pm 13\%$ ), enquanto que o sinal de veículos pesados à direita (R-27) obteve o menor percentual de percepção:  $27 \pm 13\%$ . A ordem coincide com a hierarquia ou relevância que em tese deveriam ter esses sinais para os condutores de veículos leves.

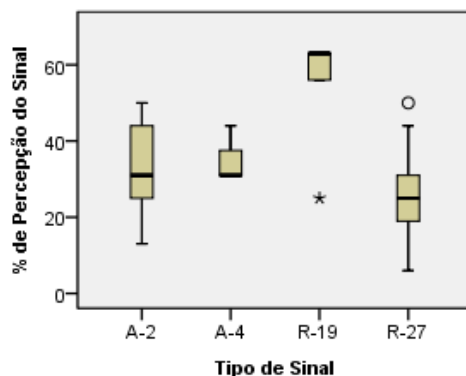


Figura 60. Porcentagem de condutores que perceberam os sinais segundo seu tipo

De outra parte, para analisar a influência do tempo de simulação no nível de atenção alocado pelos condutores sobre os diferentes tipos de sinalização, comparou-se a ordem na

qual estão posicionados os sinais no trecho – o sinal mais próximo do começo do trecho tem ordem um e assim sucessivamente – e a ordem de percepção – o sinal mais percebido tem ordem um e assim sucessivamente – através do teste de correlação de Spearman. Em nenhum caso obtiveram-se coeficientes de correlação significantes ( $p=-0,06$  e  $p=-0,22$ , respectivamente), motivo pelo qual se rejeita a hipótese de que o tempo de simulação influenciou a percepção da sinalização, pelo menos para tempos de simulação curtos (menos de 15 minutos), como foi o caso desta pesquisa.

Em relação ao tempo de observação dos sinais dentro do ambiente simulado de direção observou-se que o tempo médio de observação dos sinais foi de 360 milissegundos. Esse tempo médio é o dobro do citado por Costa et al. (2014), mas é muito próximo dos 300 e 350 milissegundos reportados por Mori e Abdel-Halim (1981) e por Sprenger et al. (1999), respectivamente, motivo pelo qual acredita-se que os tempos de observação obtidos neste experimento estiveram dentro dos valores típicos citados na literatura para condições reais de direção. Adicionalmente, com base no resultado do teste de variância de Welch ( $F$  de Welch = 3,3 e  $p=0,08$ ; Levene = 4,36 e  $p=0,01$ ), afirma-se que não houve diferenças estatisticamente significativas nos tempos médios de observação entre os diferentes tipos de sinais.

Já sobre a distância de percepção dos sinais, inicialmente estudaram-se duas variáveis: a distância máxima de percepção ou distância na qual o condutor fez a primeira fixação sobre o sinal e distância mínima de percepção ou a distância na qual o condutor fez a última fixação sobre o sinal. Em conjunto, as duas variáveis definiram o intervalo de percepção de cada sinal.

Na Figura 61 adicionou-se uma linha que representa a distância máxima teórica de legibilidade para o tamanho das placas no trecho (160 m), enquanto que na Figura 62 adicionou-se uma linha que representa a menor distância de legibilidade segundo critérios de conforto (50 m). As duas linhas foram adicionadas com o intuito de verificar se as distâncias de percepção observadas no simulador estiveram dentro do intervalo de percepção esperado em condições reais de direção. Efetivamente, na maioria dos casos os condutores fizeram a primeira fixação abaixo dos 160 m e a última fixação acima dos 50 m; em média, a primeira fixação ocorreu aos 115 m de distância do sinal, enquanto que a última fixação ocorreu a 90 m.

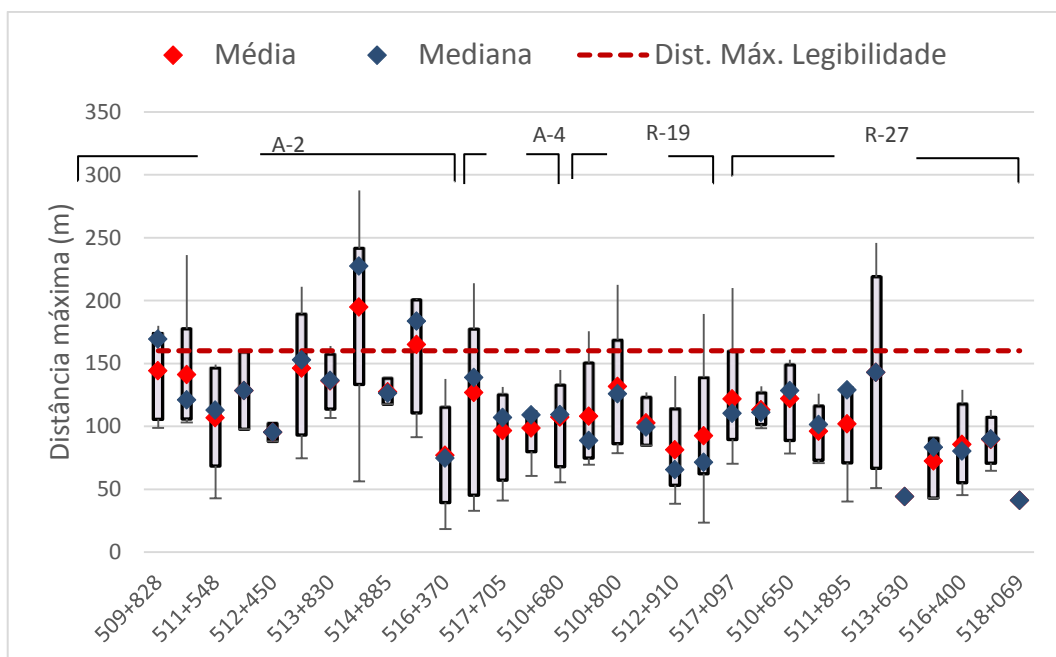


Figura 61. Distribuição da distância máxima de percepção de cada sinal

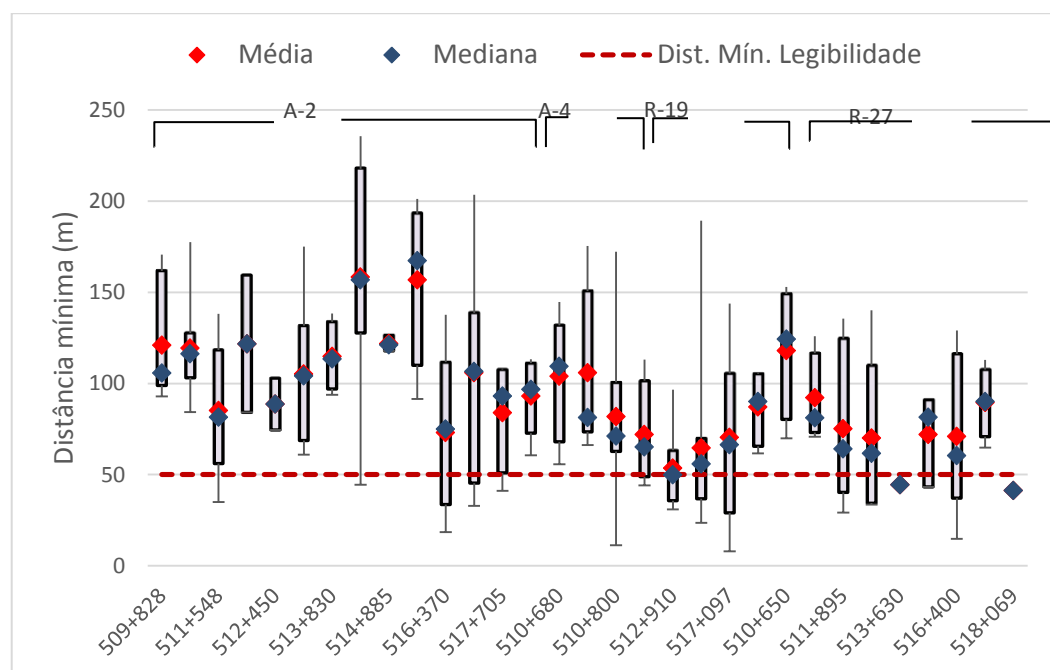


Figura 62. Distribuição da distância mínima de percepção de cada sinal

Porém, vale a pena apontar que pelas limitações na resolução visual do simulador, nem sempre o condutor consegue ler e compreender os sinais na primeira fixação, isto quer dizer que a distância máxima de percepção não reflete, necessariamente, a distância na qual o condutor efetivamente leu a sinalização. Nesse sentido, para identificar o local onde o condutor realmente conseguiu ler o sinal realizou-se a seguinte suposição: a fixação mais longa corresponde à fixação na qual o condutor efetivamente conseguiu ler o sinal, e, por conseguinte, a distância na qual o condutor faz a fixação mais longa é a distância efetiva de percepção. De fato, em média, a distância efetiva de percepção foi de 100 m, significativamente abaixo dos 115 m de média na distância máxima de percepção ( $t=1,69$  e  $p=0,04$ ), o que suporta a hipótese de que nem sempre o condutor conseguiu ler os sinais no

ambiente virtual na primeira fixação. Adicionalmente, a distância média efetiva de percepção no simulador está significativamente abaixo dos 137 metros de distância média de legibilidade reportados pela ANTT em estudos realizados na estrada (ANTT, 2010). Assim, diferenças de legibilidade da sinalização no simulador e na estrada obedecem às limitações na resolução visual dos simuladores, que neste caso é 1,7 vezes menor que a resolução do olho humano.

A partir da soma da distância efetiva de percepção e da distância entre a placa e o começo da curva, determinou-se a distância de percepção-reação que teriam os condutores diante de cada sinal. Essas distâncias foram comparadas com as distâncias mínimas de manobrar diante de cada sinal para determinar se o mesmo está posicionado adequadamente, isto é, se a distância de percepção-reação é maior ou igual à distância de manobra. A Figura 63 ilustra a distribuição das distâncias de percepção-reação diante de cada sinal, assim como a distância mínima de manobra (linha roxa) e a distância máxima de manobra (linha vermelha), definidas anteriormente no item 5.1.

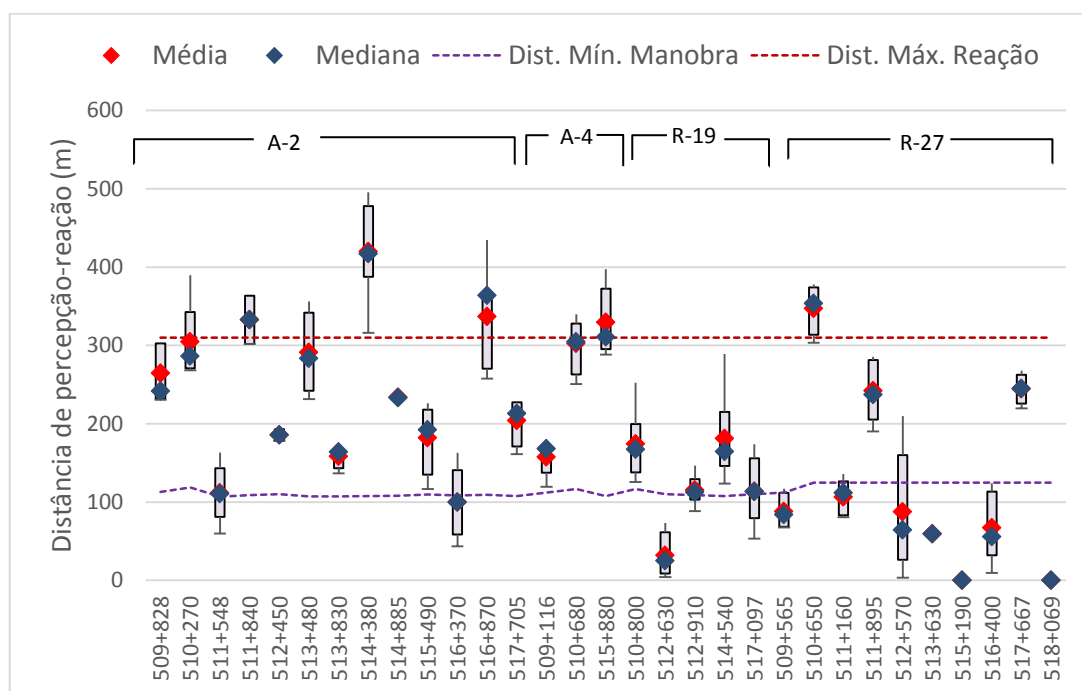


Figura 63. Distribuição da distância de percepção-reação diante de cada sinal

A Figura 63 permite comparar as distâncias de percepção-reação no ambiente virtual com as distâncias de manobra necessárias para reagir no trecho real, logo, esta comparação faz referência à seguinte pergunta: se no trecho real o condutor percebe o sinal à mesma distância que no simulador, teria uma distância suficiente para manobrar? Se a distância de percepção-reação estiver abaixo da linha roxa a resposta seria não e, por conseguinte, o condutor não teria tempo suficiente para frear e o sinal estaria mal posicionado. Na Tabela 10 listam-se os sinais que estariam mal posicionados segundo essa análise e, por conseguinte, deveriam ser afastados do começo da curva.

De igual forma, realizou-se a comparação com a distância máxima de manobra para determinar se algum sinal – principalmente de advertência de curva – estaria posicionado muito longe da curva, supondo que as distâncias de percepção sejam semelhantes tanto no

simulador quanto no trecho real. Na Tabela 10 listam-se os sinais de advertência de curva que estariam muito afastados da curva e que consequentemente deveriam ser aproximados do começo da curva.

Tabela 10. Identificação dos sinais mal posicionados segundo as distâncias de percepção-reação no simulador

| Posicionamento | Tipo de sinal | Alteração |
|----------------|---------------|-----------|
| 511+548        | A-2           | Afastar   |
| 516+370        | A-2           | Afastar   |
| 512+630        | R-19          | Afastar   |
| 512+910        | R-19          | Afastar   |
| 517+097        | R-19          | Afastar   |
| 509+565        | R-27          | Afastar   |
| 511+160        | R-27          | Afastar   |
| 512+570        | R-27          | Afastar   |
| 513+630        | R-27          | Afastar   |
| 515+190        | R-27          | Afastar   |
| 516+400        | R-27          | Afastar   |
| 518+069        | R-27          | Afastar   |
| 511+840        | A-2           | Aproximar |
| 514+380        | A-2           | Aproximar |
| 516+870        | A-2           | Aproximar |
| 510+680        | A-4           | Aproximar |
| 515+880        | A-4           | Aproximar |

#### 5.4.4 FATORES QUE INFLUENCIARAM A PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, as principais variáveis que influenciaram a atenção alocada pelos condutores na sinalização dentro do ambiente simulado de direção foram o tipo de sinal e a velocidade média dos condutores.

Além desses fatores, identificaram-se outros fatores menores que influenciaram a atenção alocada pelos condutores na sinalização, tais como: a duplicidade do sinal e o posicionamento do mesmo.

Assim, para analisar a influência que teve a duplicidade do sinal sobre a probabilidade de percepção do mesmo, realizou-se o teste *t-student* para comparar as porcentagens de percepção dos sinais duplicados e aqueles não duplicados. Os resultados do teste permitem afirmar que, em média, os duplicados foram mais percebidos (40%) que aqueles sem duplicar (23%) e que essa diferença foi estatisticamente significativa ( $t=3,32$  e  $p<0,01$ ). De fato, destaca-se que o sinal menos percebido dentro dos limites de velocidade foi precisamente o único que não estava duplicado – além de estar posicionado no meio de uma curva, o que poderia ter diminuído sua conspicuidade.

Em referência ao posicionamento longitudinal, a literatura sugere que os condutores têm mais chances de perceber os sinais quando estão posicionados na saída das curvas e não tanto assim quando estão posicionados na entrada das curvas, onde a carga visual e mental é maior (DEWAR & OLSON, 2007). Contudo, a literatura também sugere que quando

a sinalização é apresentada muito longe da condição advertida ou regulamentada, esta perde relevância para o condutor (LAY, 2004).

Quando todos os sinais foram analisados em conjunto, não se encontrou relação significativa entre o posicionamento longitudinal e a probabilidade de percepção. Porém, quando as análises foram realizadas por tipo de sinal, encontraram-se algumas relações significantes. Por exemplo, no caso dos sinais de advertência de curva (A-2 e A-4), os resultados da análise indicaram que quanto mais afastadas a sinalização do começo da curva, menos percebida pelos condutores. A Figura 64 ilustra essa relação, onde o eixo horizontal representa o quão afastado está o sinal do começo da curva advertida, em relação ao comprimento total da tangente onde localiza-se a sinalização.

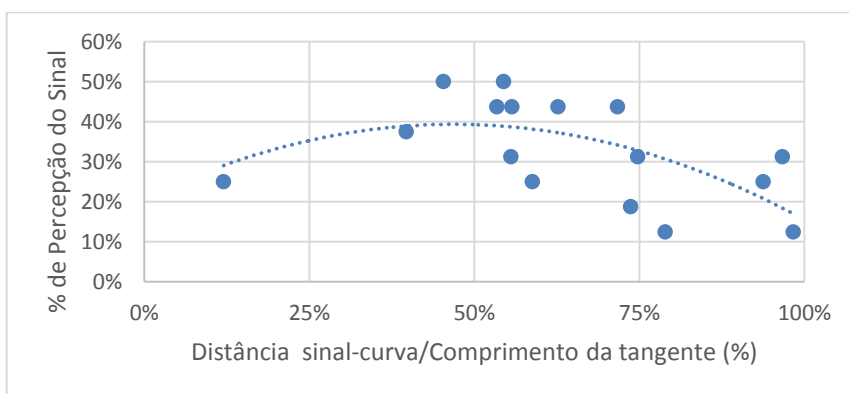


Figura 64. Relação entre o posicionamento e a percepção dos sinais A-2 e A-4

No caso das placas de limite de velocidade e veículos pesados à direita não se encontrou relação significativa entre a percepção do sinal e a distância até a curva. Porém, observou-se que, se a sinalização está posicionada dentro da curva, a porcentagem de percepção dela cai notoriamente. Por exemplo, o sinal de limite de velocidade do km 512+631 é o único que está posicionado dentro de curva e teve a metade da percepção em comparação com os outros sinais do mesmo tipo. O mesmo foi observado no caso da sinalização de veículos pesados à direita: aqueles sinais posicionados dentro das curvas tiveram uma média de percepção de 21%, abaixo da média de 33% de percepção daqueles posicionados nas tangentes.

Por fim, nesta pesquisa não foram percebidas diferenças entre os padrões de percepção da sinalização segundo o gênero, a idade ou a experiência do condutor.

#### 5.4.5 INFLUÊNCIA DA SINALIZAÇÃO NA VELOCIDADE

Para identificar se a percepção da sinalização teve alguma influência no comportamento dos condutores, analisou-se a velocidade dos condutores nas imediações de cada sinal. A velocidade foi escolhida como o parâmetro mais apropriado para medir a resposta dos condutores porque a maioria dos sinais existentes no trecho estudado demandam redução da velocidade. Nesta análise as velocidades agregadas entre vários condutores foram representadas pela velocidade média e não pelo 85º percentil das velocidades (V85), porque

em alguns casos o número de condutores que perceberam a sinalização não era suficiente para estimar o 85º percentil.

Em princípio, espera-se que, após a percepção da sinalização, a velocidade média do grupo de condutores que a perceberam seja significativamente menor que a velocidade média do grupo de condutores que não o fizeram, principalmente no caso da sinalização de advertência de curva e limite de velocidade. No caso da sinalização de veículos pesados à direita não se espera esse efeito significativo, porém, também se compararam as velocidades entre os dois grupos de condutores, para confirmar essa hipótese.

Para determinar se a velocidade dos condutores diminuiu significativamente após a percepção da sinalização, inicialmente realizou-se o procedimento a seguir:

1. Para cada sinal do trecho identificou-se o grupo de condutores que o perceberam (Grupo # 1) e o grupo de condutores que não o fizeram (Grupo # 2),
2. Posteriormente, calculou-se a velocidade média de cada grupo no começo da curva que segue após o sinal. A velocidade no começo da curva reflete a percepção de risco do condutor sobre a curva.

Dentro do grupo de condutores que perceberam a sinalização, a velocidade média no começo das curvas foi de aproximadamente 80 km/h, enquanto que a média no outro grupo de condutores foi de 90 km/h. A Figura 65 ilustra a diferença de velocidades no começo da curva entre um e outro grupo de condutores para todos os sinais existentes no trecho no cenário base. Ali, a diagonal representa a função identidade, isto é, se as velocidades médias dos dois grupos fossem iguais. A partir da Figura 65 conclui-se que na maioria dos casos a velocidade do grupo de condutores que não perceberam a sinalização foi maior que a velocidade do grupo de condutores que a perceberam. A significância dessa diferença foi confirmada através de uma prova *t-student* para dados pareados ( $t=6,04$  e  $p<0,01$ ).

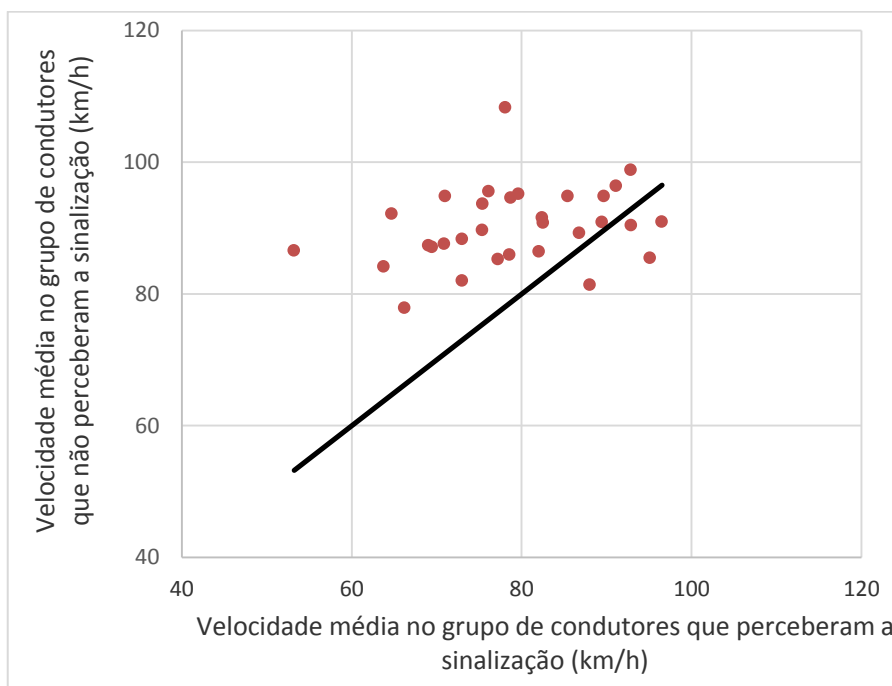


Figura 65. Velocidade média dos condutores no começo da curva

Porém, também pode ser que a velocidade média do grupo de condutores que perceberam a sinalização já fosse menor antes de perceber a sinalização. Para esclarecer isso, realizou-se o seguinte procedimento:

- Para cada sinal definiu-se o local médio de percepção, calculado como a mediana das distâncias efetivas de percepção do mesmo,
- Para cada condutor determinou-se a velocidade nesse local médio de percepção, sem importar se a pessoa percebeu ou não a sinalização, e
- Por fim, calculou-se a velocidade média nesse local dos dois grupos de condutores: os que perceberam o sinal (Grupo # 1) e os que não (Grupo # 2).

O resultado dessa análise é a Figura 66, que evidencia a diferença de velocidades entre os dois grupos de condutores ( $t=5,6$  e  $p<0,01$ ), mesmo antes da percepção dos sinais. Novamente, quanto mais rápido dirigiu a pessoa, menores as chances de perceber a sinalização.

Uma vez que as velocidades no grupo 1 sempre foram menores, fica claro que a velocidade no começo da curva não é o melhor parâmetro para medir a influência da percepção da sinalização na velocidade dos condutores. Então, definiu-se outra variável de estudo: a variação da velocidade ( $\Delta V$ ) entre o local médio de percepção de cada sinal e o começo da curva, que permite comparar a diferença na redução da velocidade entre os dois grupos de condutores.

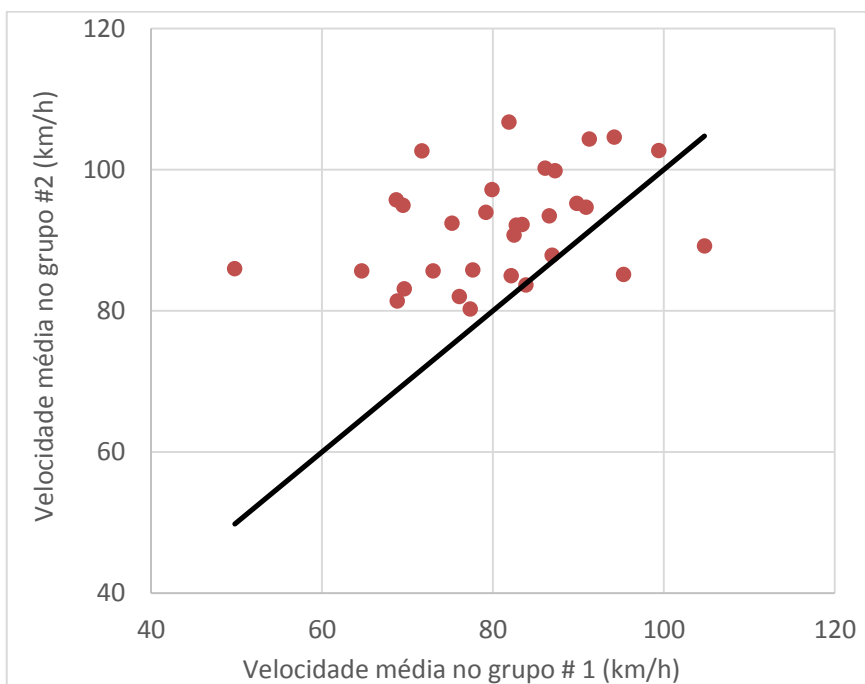


Figura 66. Velocidade média dos condutores no local médio de percepção

Quando são analisados todos os tipos de sinais em conjunto, parece não haver nenhuma diferença na redução da velocidade entre os dois grupos de condutores: em média, os condutores que perceberam a sinalização diminuíram 2 km/h e o outro grupo de condutores 1,8 km/h. Porém, quando a análise é feita por tipo de sinal, identificam-se diferenças significativas, principalmente no caso dos limites de velocidade.

A Tabela 11 apresenta as variações na velocidade para cada tipo de sinalização e cada grupo de condutores. Em primeiro lugar, a percepção dos sinais R-27 (veículos pesados à direita) não teve influência significativa sobre a velocidade dos condutores que os perceberam. Em segundo lugar, esperava-se que a percepção da sinalização de advertência de curva tivesse incentivado aos condutores a diminuir ainda mais a sua velocidade, porém, isto não foi observado no experimento. E por último, unicamente os sinais de limite de velocidade tiveram um efeito significativo na velocidade dos condutores que os perceberam, estimulando-os a diminuir a sua velocidade duas vezes mais do que o outro grupo de condutores ( $t=3,10$  e  $p=0,02$ ).

Tabela 11. Variação da velocidade dos condutores

|                                    | $\Delta V$ - Grupo # 1<br>(km/h) | $\Delta V$ - Grupo # 2<br>(km/h) | t-student | Valor P |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|---------|
| Advertência de curva simples (A-2) | 1,98                             | 2,72                             | 0,44      | >0,1    |
| Advertência de curva em 'S' (A-4)  | 2,81                             | 2,08                             | 0,14      | >0,1    |
| Limite de velocidade (R-19)        | 7,67                             | 3,26                             | 3,10      | 0,02    |
| Veículos pesados à direita (R-27)  | -1,04*                           | -0,14*                           | 0,51      | >0,1    |

\* Os valores negativos representam aumentos na velocidade.

As Figuras 67 e 68 ilustram o caso de dois sinais de limite de velocidade – km 510+800 e km 514+540 – onde se observa que a diminuição da velocidade foi maior no grupo de condutores que os perceberam e que os mesmos começaram a frear logo depois de ter percebido o sinal.

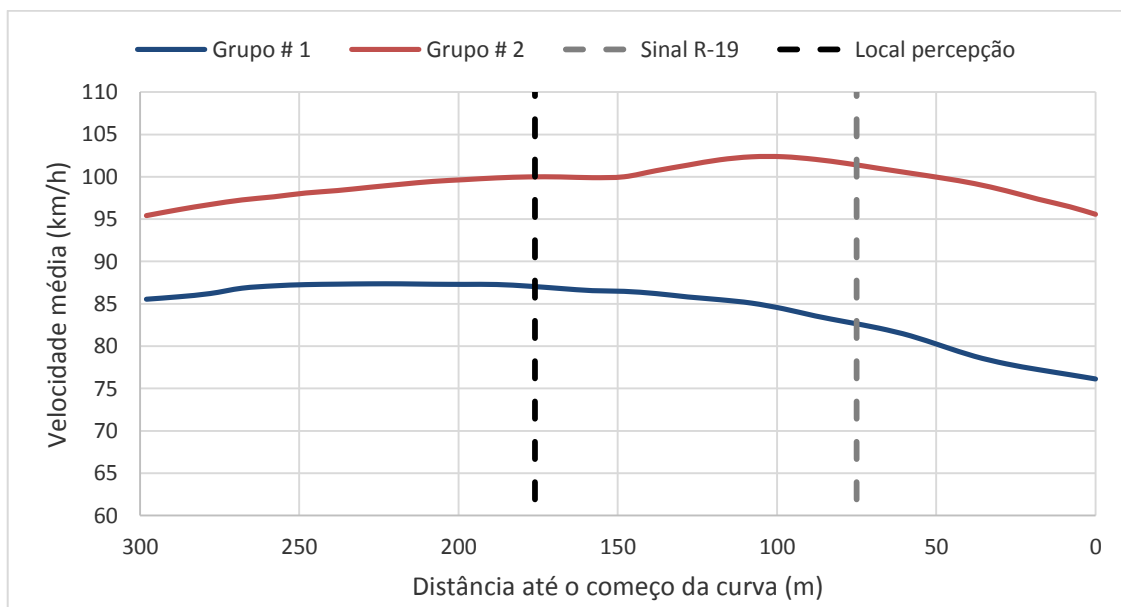


Figura 67. Variação da velocidade no km 510 + 800 após percepção do sinal R-19

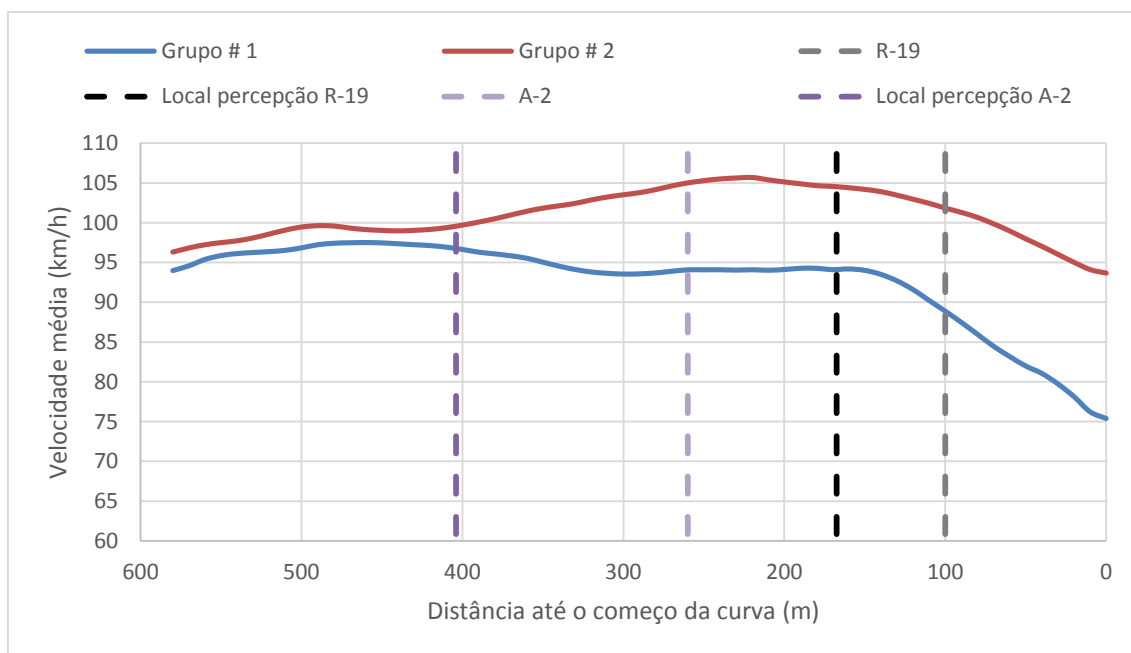


Figura 68. Variação da velocidade no km 514 + 540 após percepção do sinal R-19

Embora fique claro que os sinais de limite de velocidade influenciaram a velocidade da maioria dos condutores que os perceberam, ressalta-se que alguns deles não diminuíram a sua velocidade e que foram poucos os que diminuíram até atingir o limite do trecho.

Sobre a quantidade de condutores que perceberam os sinais de limite de velocidade, mas não diminuíram a sua velocidade, a taxa foi de 3 de cada 10 condutores, enquanto que apenas 16% dos condutores que perceberam os sinais de limite de velocidade efetivamente limitaram-se a 60 km/h. No trecho real apenas um de cada dez condutores de veículos de passeio respeitou o limite de velocidade.

Além de analisar a velocidade no começo da curva, também se analisou a menor velocidade ao longo de toda a curva, pois muitas vezes os condutores freiam ainda dentro do comprimento da curva e porque essa medida está mais relacionada com as chances de sofrer saídas de pista ou capotamentos. Em particular, para os sinais R-19 observou-se que os condutores que perceberam o sinal reduziram sua velocidade em aproximadamente 25 km/h, enquanto que os outros condutores diminuíram sua velocidade em 20 km/h; sendo essa uma diferença significativa em termos estatísticos ( $t=4,25$  e  $p=0,01$ ).

Vale a pena notar que quando o local da análise foi o começo da curva, a diferença de redução da velocidade entre os dois grupos de condutores foi de 100%. Porém, essa diferença caiu para 20% quando foram analisadas as velocidades mínimas na curva. Isto permite concluir que além de frear mais, os condutores que perceberam os sinais R-19 começaram a frear mais cedo, entrando de forma mais segura na curva.

Para testar essa hipótese analisou-se a que distância, depois do começo da curva, os condutores atingiram a velocidade mínima dentro da curva. Em média, os condutores que perceberam o limite de velocidade, atingiram a velocidade mínima dentro da curva nos 30% do desenvolvimento da mesma – aproximadamente na transição da clotóide para a curva circular, enquanto que os outros condutores atingiram a velocidade mínima no meio da

curva – 50% do comprimento da mesma. Novamente essa diferença foi significativa em termos estatísticos ( $t=5,12$  e  $p<0,01$ ). Logo, a percepção dos sinais de limite de velocidade dentro do ambiente virtual foi importante para que o condutor adotasse um comportamento mais seguro na curva e com maior antecedência. Adicionalmente, em relação ao respeito pelo limite de velocidade é importante destacar que quando são analisadas as velocidades mínimas na curva, 30% dos condutores que perceberam os sinais atingiram uma velocidade menor que 60 km/h em algum ponto da curva, contra 20% no caso dos outros condutores.

Em definitivo, os resultados desta análise permitem afirmar que os únicos sinais que tiveram influência significativa sobre o comportamento dos condutores que os perceberam foram os limites de velocidade. De fato, os condutores que perceberam esses sinais diminuíram sua velocidade duas vezes mais que os condutores que não os perceberam antes de entrar na curva e a efetividade da sinalização foi imediata, pois os condutores começaram a frear logo depois de ter percebido o limite de velocidade.

#### 5.4.6 PERCEPÇÃO DA SINALIZAÇÃO NAS CURVAS CRÍTICAS DO TRECHO

No item 5.1 foram identificados os dois locais mais críticos do trecho em estudo em termos de acidentalidade: a curva C6 no km 510+875 e a curva C14 do km 514+640; as duas com raio de 130 metros, e com 35 e 40 acidentes registrados nos últimos três anos, respectivamente. A seguir, discute-se como foi a percepção da sinalização nesses locais no experimento realizado no simulador de direção para o cenário base.

No cenário base, a curva C6 estava sinalizada com duas placas de advertência de curva, A-4a no km 510+680 e duas placas de limite de velocidade, R-19, no km 510+800. Por um lado, o sinal A-4a foi percebido por 45% dos condutores, enquanto que o sinal R-19 foi percebido por 63% dos condutores. Dos 63% dos condutores que perceberam a sinalização de velocidade, 70% deles frearam e diminuíram sua velocidade em aproximadamente 17 km/h antes de entrar na curva.

A curva C14 estava sinalizada com duas placas A-2a no km 514+380 e duas R-19 no km 514+540. O sinal de advertência de curva foi percebido por um em cada dois condutores, enquanto que o sinal de limite de velocidade foi percebido por 63% dos condutores. Neste caso, todos os condutores que perceberam o sinal frearam e diminuíram sua velocidade, com uma redução média de 19 km/h antes de entrar na curva.

Logo, com base nos resultados obtidos no simulador de direção não é possível afirmar que houve falhas na percepção dos sinais nesses locais críticos, pois, de fato, foram os mais percebidos ao longo do trecho. E também não é possível afirmar que os condutores desconsideraram a sinalização nesses dois locais porque os sinais de limite de velocidade do km 510+800 e 514+450 foram os mais efetivos de todo o trecho em termos de redução da velocidade dos condutores que os perceberam.

Contudo, destaca-se que, tanto no simulador quanto no trecho real, as velocidades de operação nos dois locais mais críticos foram semelhantes às registradas em outros locais

menos perigosos do trecho como são as curvas C9 e C12, que têm raios de 615 e 230 metros, respectivamente, e que registraram menos de dois acidentes nos últimos três anos. Isto permite afirmar que, tanto no simulador quanto no trecho real, os condutores não percebem de maneira adequada a diferença de risco entre esses quatro locais, embora os dois primeiros sejam evidentemente mais perigosos. Isto quer dizer que os condutores perceberam, erroneamente, que o risco das quatro curvas era semelhante.

Logo, apesar de que nos dois locais mais críticos do trecho os sinais foram percebidos e geraram diminuições significativas na velocidade, a sinalização precisava ser reforçada ainda mais para alertar aos condutores que o risco nesses locais era significativamente maior que em outros locais do trecho. Essa conclusão foi a base para a elaboração dos novos cenários de sinalização nas curvas críticas do trecho de estudo.

## **5.5 ELABORAÇÃO DOS NOVOS CENÁRIOS (PROJETOS) DE SINALIZAÇÃO NO TRECHO DE ESTUDO**

Com base nas análises realizadas no item 5.1 sobre a sinalização do trecho de estudo e os resultados obtidos no simulador de direção para o cenário base, identificaram-se três possíveis alterações no projeto de sinalização vertical no trecho de estudo: complementar a sinalização existente segundo o estabelecido pelos manuais de sinalização do DENATRAN, DNIT e DER-SP, nessa ordem hierárquica; relocar algumas placas seja por que estão muito próximas ou muito afastadas da condição advertida; e reforçar a sinalização nos locais críticos onde não está sendo efetiva a comunicação do risco desses locais. Segue uma descrição detalhada de cada uma dessas propostas de alteração na sinalização do trecho de estudo.

### **5.5.1 PROPOSTAS PARA COMPLEMENTAR A SINALIZAÇÃO EXISTENTE NO TRECHO**

Segundo as análises realizadas, em alguns locais do trecho era necessário complementar a sinalização existente para ajustá-la às normas do DENATRAN, DNIT e DER-SP. Assim, por exemplo, antes das curvas C4 (km 509+960) e C11 (km 512+960) não existia nenhuma placa de advertência de curva, lembrando que esses sinais são fundamentais para guiar o condutor, ainda mais sob condições limitadas de visibilidade. No caso da curva C4 esta situação foi corrigida através da implantação de duas placas de advertência A-2b no quilômetro 509+900, uma de cada lado da pista. Entretanto, no caso da curva C11 a intervenção foi realizada na curva anterior (C10) onde retirou-se a placa existente de advertência A-2a do km 512+450 e substituiu-se por duas placas A-4a, uma de cada lado da pista no mesmo local.

Sobre a substituição da placa A-2a pela placa A-4a o manual de sinalização do DENATRAN define qual tipo de sinal utilizar segundo o comprimento da tangente entre duas ou três curvas consecutivas. Assim, se o comprimento da tangente entre duas curvas é maior a 120 m cada curva deverá ser sinalizada independentemente, porém, se o comprimento é menor a 120 m a primeira placa deverá ser sinalizada com uma placa A-4 e a segunda curva não precisa ser sinalizada; algo semelhante deverá ser feito se as tangentes entre três curvas

consecutivas são menores de 120 m: a primeira curva deverá ser sinalizada com uma placa A-3 e as outras duas curvas não precisam ser sinalizadas.

Considerando esse critério realizou-se uma revisão das placas de advertência de curva no trecho, encontrando outras quatro alterações necessárias: as placas A-4a do km 509+115 não eram necessárias, porém a tangente anterior deveria ter placas A-3a; as placas A-4a do km 510+680 tinham que ser substituídas por placas A-3a dispensando a necessidade das placas A-2a do km 511+550; a placa A-2b do km 513+480 tinha que ser substituída por duas placas A-4b, dispensando a placa A-2a do km 513+830; e por último, as placas A-2a do km 516+370 não eram necessárias uma vez que a curva anterior está sinalizada com placas A-4a.

Por outro lado, chama a atenção o fato de que ao longo do quilômetro 514 não existia nenhuma placa R-27 apesar de que esse é o quilômetro que possui a rampa mais íngreme e longa do trecho, onde os caminhões perdem maior velocidade e podem afetar a operação dos outros veículos se não trafegam pela direita. Para atender essa necessidade foram implantadas duas placas R-27 de 2,00 m x 3,00 m uma de cada lado da pista no quilômetro 514+100 – ver Figura 69; o tamanho proposto já está sendo utilizado em outros locais do trecho e visa chamar ainda mais a atenção do condutor.



Figura 69. Placa R-27 a ser implantada no km 514+100

Adicionalmente, em alguns locais do trecho os sinais não estavam duplicados embora os manuais de sinalização do DENATRAN, do DNIT e do DER-SP ressaltam a necessidade de duplicar a sinalização em trechos com mais de duas faixas de rolamento, como é o caso do trecho de estudo. Nesse sentido, se sugeriu duplicar os seguintes sinais: o R-27 posicionado no km 511+160, o R-27 do km 515+190, o A-2b do km 515+490, o R-27 do km 515+825 e o A-4b do km 515+880.

A Tabela 12 resume todas as novas sinalizações propostas para ser implantadas no trecho considerando os critérios mencionados anteriormente.

Tabela 12. Resumo das placas a serem implementadas e retiradas do trecho

| Posicionamento | Alteração | Tipo de placa | Tamanho (m) | Quantidade | Lado da pista |
|----------------|-----------|---------------|-------------|------------|---------------|
| km 509+115     | Retirar   | A-4a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 509+900     | Implantar | A-2b          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 510+680     | Retirar   | A-4a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 510+680*    | Implantar | A-3a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 511+160*    | Implantar | R-27          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 511+550     | Retirar   | A-2a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 512+450     | Retirar   | A-2a          | 1,0         | 1          | Direito       |
| km 512+450*    | Implantar | A-4a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 513+480     | Retirar   | A-2b          | 1,0         | 1          | Direito       |
| km 513+480*    | Implantar | A-4b          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| km 513+830     | Retirar   | A-2a          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 514+100     | Implantar | R-27          | 2,0 x 3,0   | 2          | Ambos         |
| km 515+190*    | Implantar | R-27          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 515+490*    | Implantar | A-2b          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 515+825     | Implantar | R-27          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 515+880*    | Implantar | A-4b          | 1,0         | 1          | Esquerdo      |
| km 516+370     | Retirar   | A-2a          | 1,0         | 2          | Ambos         |
| Km 518+070     | Retirar   | R-27          | 1,0         | 1          | Direito       |

\* O posicionamento final das placas mudou segundo o estabelecido no item 5.7.1

A partir da tabela anterior é possível observar que algumas placas retiradas poderiam ser implantadas em outros locais. Assim, por exemplo as placas A-4a do km 509+115 poderiam ser deslocadas ao km 512+450, a placa A-2b do km 513+480 podia ser deslocada ao km 515+490 e a placa R-27 do km 518+070 podia ser deslocada ao km 515+825. Em resumo, implantar todas essas sugestões precisava relocar 4 placas, retirar outras 8 e implantar 11 novas.

Por último, realizou-se uma revisão da quantidade de delineadores presentes no trecho, destacando que esses elementos de sinalização vertical são importantes porque oferecem informação sobre mudanças no traçado do alinhamento. Segundo os critérios estabelecidos pelo manual de sinalização do DNIT (DNIT, 2010), o espaçamento adequado entre dois delineadores depende do raio da curva que está sendo sinalizada.

A Tabela 13 apresenta para cada curva o espaçamento recomendado pelo DNIT, o número de delineadores necessários para sinalizar a curva segundo esse espaçamento, o número de delineadores existentes e o número de delineadores que devem ser colocados para ajustar a sinalização às recomendações do DNIT. Sobre este assunto é importante ressaltar que no último ano a concessionária tem melhorado a sinalização das curvas (Figura 70) colocando aproximadamente 200 novos delineadores no trecho. Porém, segundo os cálculos feitos, ainda eram necessários 95 delineadores (de 0,50 x 0,60 m) para complementar a sinalização do trecho.

Tabela 13. Análise dos delineadores existentes no trecho

| ID Curva                                         | Raio (m) | Comprimento efetivo (m) | Espaçamento recomendado (m) | Delineadores necessários | Delineadores existentes | Delineadores faltantes |
|--------------------------------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1                                                | 130      | 320                     | 11                          | 30                       | 19                      | 11                     |
| 2                                                | 130      | 285                     | 11                          | 26                       | 25                      | 1                      |
| 3                                                | 130      | 174                     | 11                          | 16                       | 13                      | 3                      |
| 4                                                | 615      | 142                     | 17                          | 9                        | 6                       | 3                      |
| 5                                                | 190      | 166                     | 13                          | 13                       | 12                      | 1                      |
| 6                                                | 130      | 261                     | 11                          | 24                       | 21                      | 3                      |
| 7                                                | 180      | 341                     | 13                          | 27                       | 22                      | 5                      |
| 8                                                | 230      | 263                     | 14                          | 19                       | 11                      | 8                      |
| 9                                                | 615      | 344                     | 17                          | 21                       | 12                      | 9                      |
| 10                                               | 190      | 330                     | 13                          | 26                       | 23                      | 3                      |
| 11                                               | 190      | 352                     | 13                          | 28                       | 23                      | 5                      |
| 12                                               | 230      | 162                     | 14                          | 12                       | 10                      | 2                      |
| 13                                               | 605      | 169                     | 17                          | 10                       | 6                       | 4                      |
| 14                                               | 130      | 205                     | 11                          | 19                       | 12                      | 7                      |
| 15                                               | 230      | 270                     | 14                          | 20                       | 23                      | 0                      |
| 16                                               | 190      | 250                     | 13                          | 20                       | 14                      | 6                      |
| 17                                               | 155      | 217                     | 12                          | 19                       | 12                      | 7                      |
| 18                                               | 215      | 290                     | 14                          | 21                       | 16                      | 5                      |
| 19                                               | 285      | 564                     | 16                          | 36                       | 29                      | 7                      |
| 20                                               | 185      | 380                     | 13                          | 30                       | 25                      | 5                      |
| <b>Total de delineadores a serem implantados</b> |          |                         |                             |                          |                         | <b>95</b>              |



Figura 70. Alterações feitas pela concessionária no 2014 para colocar mais delineadores

#### 5.5.2 PROPOSTAS PARA AS FALHAS NO POSICIONAMENTO DA SINALIZAÇÃO VERTICAL

Conforme comentado no item 5.4, em alguns locais do trecho era necessário ajustar o posicionamento das placas para garantir que o condutor reagisse de forma segura diante da informação apresentada pelos sinais. Uma vez que o condutor pode perceber as placas desde 160 a 50 m de distância, era necessário garantir que para qualquer distância de percepção dentro desse intervalo o condutor possua uma distância segura de manobra. Por



A partir da Figura 72 é possível identificar oito locais do trecho onde as placas estavam muito próximas do começo da curva e não permitiam garantir distâncias de manobra segura. Essas placas eram: as R-27 do km 509+565, as R-27 do km 511+160, as R-27 do km 512+570, as R-27 do km 513+630, as R-27 do km 515+190, as A-2b do km 515+490, as R-27 do km 516+400 e as R-19 do km 517+100; para um total de 16 placas que tinham que ser relocadas sob esse critério. A nova posição proposta para essas placas está indicada na Tabela 14.

Entretanto, em outros locais era necessário aproximar as placas que estão muito afastadas das curvas. Através do gráfico anterior é possível identificar essas placas: as A-2a do km 510+270, as A-3a propostas no km 510+680, as A-2b do km 511+840, as A-4b propostas no km 513+480, as A-2a do km 514+380, as A-2b do km 514+885, as A-4b propostas no km 515+880 e as A-2a do km 516+870; para um total de 16 placas a mais que tinham que ser relocadas. A nova posição sugerida para essas placas está indicada na Tabela 14.

Tabela 14. Proposta de relocação de sinais no trecho de estudo

| km atual | Tipo de placa | Tipo de alteração | Quantidade | Tamanho (m) | km proposto |
|----------|---------------|-------------------|------------|-------------|-------------|
| 509+565  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 509+490     |
| 510+270  | A-2a          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 510+370     |
| 510+650  | R-27          | Troca de lado     | 1          | 1,0         | 510+650     |
| 510+680  | A-3a          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 510+740     |
| 510+760  | R-27          | Afastamento       | 1          | 2,0 x 3,0   | 510+650     |
| 511+160  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 511+100     |
| 511+840  | A-2b          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 512+020     |
| 512+450  | A-2a          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 512+480     |
| 512+570  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 512+420     |
| 513+480  | A-4b          | Aproximação       | 1          | 1,0         | 513+590     |
| 513+480  | A-4b          | Aproximação       | 1          | 1,0         | 513+630     |
| 513+630  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 513+400     |
| 514+380  | A-2a          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 514+510     |
| 514+540  | R-19          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 514+570     |
| 514+885  | A-2b          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 514+930     |
| 515+190  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 515+350     |
| 515+490  | A-2b          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 515+450     |
| 515+880  | A-4b          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 516+060     |
| 516+400  | R-27          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 516+800     |
| 516+870  | A-2a          | Aproximação       | 2          | 1,0         | 517+020     |
| 517+100  | R-19          | Afastamento       | 2          | 1,0         | 517+070     |

Por último, é importante mencionar que na tabela anterior aparecem algumas placas que foram relocadas sem estar mal posicionadas, isto foi feito porque estavam muito próximas de outras placas, como ilustra a Figura 73. Nesse sentido a literatura sugere que duas placas adjacentes devem estar separadas pela distância equivalente a 2,5 s – tempo de percepção/reação de cada placa – que no caso do trecho de estudo é aproximadamente 60 m; com as relocações das placas foi garantida essa separação mínima entre todas as placas adjacentes no trecho.



Figura 73. Duas placas muito próximas entre si dividindo inadequadamente a atenção do condutor

### 5.5.3 PROPOSTAS PARA REFORÇAR A SINALIZAÇÃO NAS CURVAS CRÍTICAS DO TRECHO

Finalmente, conforme comentado anteriormente, nos locais mais críticos do trecho existia uma discrepância entre o risco real e o risco percebido pelos condutores. Uma vez que a sinalização tem responsabilidade direta na comunicação do risco, é possível afirmar que nesses locais críticos do trecho existiam falhas na comunicação do risco através da sinalização – além de possíveis problemas de percepção ou posicionamento das placas, isto é, a sinalização não alertava adequadamente o risco real do local ou o condutor não acreditava/obedecia o risco comunicado pela sinalização vertical.

Isto sugere que além de realizar alterações no tamanho e no posicionamento da placa, era necessário reforçar a sinalização para chamar mais a atenção do condutor sobre o risco real desses locais e conseguir, principalmente, que fossem selecionadas velocidades mais apropriadas.

A literatura sugere diversas maneiras de reforçar a sinalização para chamar mais a atenção do condutor e comunicar melhor o risco de um local: aumentando o tamanho das placas, repetindo o mesmo sinal, complementando com outra sinalização vertical ou horizontal, ou complementando com sinalização viva, entre outras. Adicionalmente é importante criar códigos de sinalização segundo o grau de risco do local sinalizado, isto é, utilizar sinais semelhantes em locais com o mesmo risco e reforçar a sinalização nos locais mais críticos; o anterior visa criar expectativas precisas e confiáveis no condutor sobre o risco de um local e a relevância da sinalização (Castro et al., 2004). Neste projeto em particular adotou-se essa última recomendação de criar códigos de sinalização, utilizando nos locais críticos sinais que não estejam presentes nos demais locais.

Em relação às medidas para reforçar a sinalização dos locais críticos, foram propostas três alternativas de projeto, as quais foram testadas através de experimentos no simulador de direção com o intuito de determinar de forma objetiva a efetividade das mesmas antes da sua implantação. As três alternativas para reforçar a sinalização foram:

1. Complementar as placas de advertência de curva e limite de velocidade do cenário base com uma placa aérea composta com os dois sinais. A placa aérea tem dimensões de 3,00 x 4,00 m, com sinais de 1,20 m de lado/diâmetro e está fixada em um pórtico metálico

protegido por defensas metálicas e sinalizado de cada lado da pista com um marcador de perigo de 0,30 x 0,90 m. A altura livre do pórtico é de 5,50 m e seu afastamento lateral com respeito ao bordo da pista é maior que 1,80 m. Com esta alternativa a sinalização seria mais conspícua pelo tamanho maior dos sinais e pela posição central e elevada que teria sobre a pista. Adicionalmente, pelo fato de ser uma sinalização diferente à empregada em outros locais, o condutor pode identificar facilmente a diferença de relevância do local e da sinalização. A Figura 74 ilustra uma placa composta semelhante à proposta.



Figura 74. Exemplo de uma placa composta

2. Complementar a sinalização vertical com sinalização horizontal, especificamente com Linhas de Estímulo à Redução da Velocidade (LERV). As LERV são marcas transversais à pista, com espaçamento entre si variável e decrescente, que por efeito visual dão a impressão ao condutor de que seu veículo está aumentando de velocidade se não for desacelerado para atingir a velocidade regulamentada (DNIT, 2010).

Em geral, as LERV são linhas brancas contínuas de 0,20 a 0,40 m de largura e comprimento igual à seção transversal da pista (DNIT, 2010). O número de LERV é definido a partir da variação de velocidade (90 a 60 km/h), da desaceleração esperada (neste caso  $1,5 \text{ m/s}^2$ ), do tempo necessário para frear ( $T$ ) e do espaçamento entre linhas, como segue:

$$T = \frac{v_o - v_f}{a} = \frac{90 - 60}{1,5 \cdot 3,6} = 5,5 \text{ s} \approx 6 \text{ s}$$

Geralmente é adotado um espaçamento entre linhas de 1 s, logo haverá 6 intervalos e em consequência 7 LERV. O espaçamento entre a primeira linha – no sentido do fluxo- e as restantes linhas é calculado em função do tempo como segue. A Tabela 15 resume o delineamento dos LERV que foram utilizados no trecho de estudo.

$$E = v_o \cdot t - a \cdot \frac{t^2}{2}$$

Tabela 15. Delineamento das LERV e MAN antes das curvas C6 e C14

| # Linha | # MAN | t (s) | E (m)   | Posicionamento na tangente T5 | Posicionamento na tangente T13 |
|---------|-------|-------|---------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1       | ---   | ---   | ---     | 510+752                       | 514+517                        |
| 2       | 5     | 1     | 24,250  | 510+776                       | 514+541                        |
| 3       | 4     | 2     | 47,000  | 510+799                       | 514+564                        |
| 4       | 3     | 3     | 68,250  | 510+820                       | 514+585                        |
| 5       | 2     | 4     | 88,000  | 510+840                       | 514+605                        |
| 6       | 1     | 5     | 106,250 | 510+858                       | 514+623                        |
| 7       | ---   | 6     | 123,000 | 510+875                       | 514+640                        |

3. Por último, foi proposto o uso de Marcadores de Alinhamento Numerados (MAN) como complemento às placas de sinalização e à sinalização horizontal dos LERV. OS MAN são dispositivos auxiliares semelhantes aos delineadores, que têm a função de simular uma contagem regressiva da aproximação da situação de risco – neste caso o início da curva, onde cada número representa os segundos restantes até o início da curva. Para cada local crítico do trecho sugere-se colocados 10 MAN, 5 de cada lado, posicionados como segue: os marcadores com o número 5 estarão junto à linha LERV # 2 onde restam 5 segundos até chegar no início da curva, os marcadores com o número 4 estarão do lado da linha LERV # 3 onde restam 4 segundos até chegar no início da curva, e assim por diante até que os marcadores com o número 1 estejam posicionados do lado da linha LERV # 6 onde resta um segundo até o início da curva.

A Figura 75 ilustra dois exemplos de MAN, destacando que podem ser utilizadas duas dimensões: 0,5 x 0,6 m e 0,8 x 1,0 m; assim como duas cores de fundo: amarelo e amarelo lima-limão.

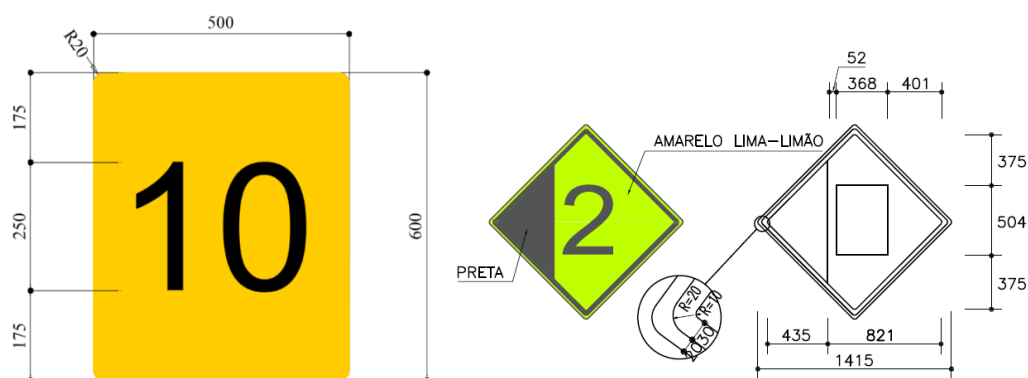


Figura 75. Exemplos de Marcadores de Alinhamento Numerados (MAN)

#### 5.5.4 CENÁRIOS DE SINALIZAÇÃO PROPOSTOS PARA COMPLEMENTAR A SINALIZAÇÃO NAS CURVAS CRÍTICAS DO TRECHO

As alterações propostas no item anterior podem ser classificadas em duas grandes categorias: alterações básicas como a implantação de placas faltantes ou a relocação de placas mal posicionadas que visam ajustar o projeto de sinalização do trecho às normas nacionais, e alterações maiores como são os LERV, os MAN ou as placas compostas que visam reforçar a sinalização existente num local crítico. As primeiras alterações podem ser consideradas como necessárias e, por conseguinte, devem ser comuns em todos os cenários propostos, enquanto que as últimas são alternativas de solução e como tal é importante avaliá-las segundo o benefício e o custo associado.

Conforme mencionado anteriormente, o simulador de direção oferece a possibilidade de testar separadamente cada uma dessas três alternativas para determinar a sua efetividade, assim como a possibilidade de combinar duas ou mais dessas alternativas ao mesmo tempo e avaliar a efetividade em conjunto. Nesse sentido, essas alternativas foram levadas ao simulador de direção para alterar o modelo virtual do trecho, ressaltando que a introdução de cada alternativa no modelo virtual cria um novo cenário de sinalização. O objetivo final do simulador é determinar qual desses cenários seria o mais efetivo em termos de atenção alocada pelos condutores sobre a sinalização e redução da velocidade diante da sinalização.

A partir das três alternativas propostas para reforçar a sinalização nos locais mais críticos do trecho criaram-se até sete cenários distintos de sinalização para cada local crítico, porém, o delineamento dos testes no simulador implica que cada condutor participante dirija em todos os cenários propostos, o que representaria mais de uma hora de simulação por pessoa, podendo gerar enjojo nos participantes. Com base nessa consideração, o número de cenários foi limitado aos três mais significativos, conforme segue:

- 1. Cenário A:** Este cenário visa testar se uma placa suspensa é mais conspícua que as placas instaladas no solo e se o uso em conjunto de sinais e mensagens de advertências tem uma maior influência no condutor com respeito ao uso normal de sinais.

Nesse sentido, a sinalização existente no cenário base para a curva C6 é complementada com uma placa composta de 4,00 x 3,00 m, semelhante à ilustrada na figura 74, suspensa num pórtico metálico localizado no km 510+740. O posicionamento do pórtico garante a distância mínima de frenagem para um tempo de percepção/reação de 5,0 s, maior ao padrão de 2,5 s porque a placa composta contém dois sinais e duas mensagens.

Igualmente, a sinalização existente no cenário base para o trecho crítico do km 514 é complementada com uma placa composta suspensa no km 514+500. Adicionalmente é proposta a implantação de outra placa composta no km 508+600 antes do início do trecho com o intuito de diminuir a acidentalidade na primeira curva do trecho que é o terceiro local mais crítico em termos de acidentes.

O cenário é complementado com as alterações básicas (implantação e relocação de placas) propostas anteriormente nos itens 5.5.1 e 5.52.

- 2. Cenário B:** Este cenário visa avaliar se os estímulos visuais dos LERV e os MAN são atendidos pelos condutores e se conseguem gerar uma redução maior na velocidade.

Nesse sentido, a sinalização existente no cenário base para as duas curvas críticas do trecho (placas A-3a do km 510+740 e R-19 do km 510+800, A-2a do km 514+510 e R-19 do km 514+570) são afastadas da curva para que possam ser complementadas com os Marcadores de Alinhamento Numerado (MAN) e as Linhas de Estímulo a Redução de Velocidade (LERV), localizados conforme determinado na Tabela 15. Adicionalmente, são propostas LERV e MAN antes da primeira curva do trecho conforme estabelecido na Tabela 16.

Tabela 16 - Delineamento das LERV e MAN antes da primeira curva do trecho

| # Linha | # MAN | Posicionamento |
|---------|-------|----------------|
| 1       | ---   | 508+617        |
| 2       | 5     | 508+641        |
| 3       | 4     | 508+667        |
| 4       | 3     | 508+685        |
| 5       | 2     | 508+705        |
| 6       | 1     | 508+723        |
| 7       | ---   | 508+740        |

Novamente, o cenário é complementado com as alterações básicas propostas anteriormente nos itens 5.5.1 e 5.52.

- 3. Cenário C:** Este cenário visa avaliar a efetividade na implantação de todas as alternativas em conjunto e, por conseguinte, combina o uso dos LERV, MAN e placas compostas nos dois locais mais críticos do trecho, conforme especificado nos dois cenários anteriores. O cenário também é complementado com as alterações básicas propostas anteriormente nos itens 5.5.1 e 5.52.

Nos anexos 6 a 11 são apresentadas as plantas que ilustram como ficariam os dois locais mais críticos do trecho em cada um dos três cenários de sinalização propostos anteriormente. A seguir apresenta-se a descrição dos experimentos realizados no simulador para avaliar a efetividade de cada cenário.

## 5.6 ANÁLISE DA EFETIVIDADE DOS PROJETOS DE SINALIZAÇÃO PROPOSTOS

Uma vez definidos os cenários de sinalização, realizou-se um novo experimento no simulador, com novos participantes, para testar os três cenários de sinalização propostos nas duas curvas mais críticas do trecho, localizadas nos km 510+875 e km 514+640.

### 5.6.1 DELINEAMENTO E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

Em termos gerais, este segundo experimento seguiu o mesmo delineamento do primeiro experimento, exceto pelo fato de que neste caso os condutores têm que fazer três corridas no trecho – uma em cada cenário proposto – e não apenas uma como foi o caso do experimento para o cenário base. Assim, cada condutor realizou o seguinte processo durante os experimentos: assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, preencher o questionário de caracterização, dirigir durante 5 a 10 minutos num trecho diferente ao da rodovia Régis Bittencourt para se adaptar ao simulador, posteriormente dirigir nos três cenários propostos para o trecho de estudo, preencher após a simulação o questionário de diagnóstico de enjoo e finalmente preencher o questionário de avaliação do simulador. Ressalta-se que a ordem na qual foram apresentados os cenários para cada condutor foi determinada de forma aleatória para evitar um possível viés desse fator nos resultados obtidos.

No total, 22 condutores participaram deste segundo experimento, sendo 73% homens e 27% mulheres, com idade média de 26 anos e experiência média dirigindo de 6 anos. No decorrer do experimento, dois participantes (um homem de 35 anos e uma mulher de 26 anos) tiveram sintomas severos de enjoo, motivo pelo qual foram retirados das análises. Por conseguinte, o tamanho efetivo da amostra para as análises foi de 20 condutores.

Em média, cada participante demorou 45 minutos para completar o experimento, distribuídos da seguinte forma: dirigiram, aproximadamente, 12 minutos no trecho semiurbano de adaptação, 8 minutos em cada um dos três cenários propostos e o tempo restante utilizou-se para preencher os questionários.

Relembra-se que o primeiro cenário, denominado Cenário A, compreendeu implantar uma placa aérea composta do sinal de limite de velocidade e advertência de curva; o Cenário B compreendeu implantar os marcadores de alinhamento numerados (MAN) e as linhas de estímulo à redução da velocidade (LERV); enquanto que o Cenário C era a combinação dos dois cenários anteriores, isto é, implantar a placa composta aérea junto com os MAN e as LERV. As Figuras 76 a 81 ilustram a reprodução virtual dos três cenários testados nas duas curvas críticas do trecho.



Figura 76. Sinalização cenário A na curva 6: km 510+875



Figura 77. Sinalização cenário B na curva 6: km 510+875



Figura 78. Sinalização cenário C na curva 6: km 510+875



Figura 79. Sinalização cenário A na curva 14: km 514+640



Figura 80. Sinalização cenário B na curva 14: km 514+640



Figura 81. Sinalização cenário C na curva 14: km 514+640

É interessante destacar que, uma vez concluído o experimento, perguntou-se aos condutores se perceberam a diferença entre os três cenários e nenhum deles manifestou ter identificado que a diferença estava na sinalização das curvas críticas.

## 5.6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira variável analisada foi a velocidade média espacial dos condutores ao longo de cada cenário estudado, que é definida como o quociente entre a distância percorrida e o tempo de simulação de cada condutor. A velocidade média dos 20 condutores analisados foi de  $84 \pm 10$  km/h,  $85 \pm 11$  km/h e  $85 \pm 11$  km/h, nos cenários A, B e C, respectivamente. Essas velocidades são semelhantes entre si e em relação à velocidade média de  $83 \pm 13$  km/h registrada no teste da situação atual – ver item 5.4, logo, os condutores tiveram comportamentos semelhantes nos quatro testes realizados no simulador.

Adicionalmente, compararam-se as velocidades de operação na entrada das curvas críticas no trecho (C6 no km 510+875 e C14 no km 514+640), para os diferentes cenários de sinalização testados. A Tabela 17 resume os resultados dessa comparação.

Tabela 17 - Velocidades de operação na entrada das curvas nos três cenários

| Cenário | Velocidade de operação na entrada da curva # 6 (km 510 + 875) | Velocidade de operação na entrada da curva # 14 (km 514 + 640) |
|---------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| BASE    | 102 km/h                                                      | 110 km/h                                                       |
| A       | 98 km/h                                                       | 103 km/h                                                       |
| B       | 97 km/h                                                       | 100 km/h                                                       |
| C       | 85 km/h                                                       | 90 km/h                                                        |

Com base na Tabela 17 ressalta-se que as velocidades de operação registradas no cenário C foram as mais baixas de todas, com redução de 20% em relação às velocidades de operação registradas no cenário atual de sinalização. Enquanto que os cenários A e B apresentaram velocidades de operação semelhantes, com redução de 5 a 10 % em relação ao cenário base.

Bella e D'Agostini (2010) afirmam que a velocidade no começo da curva está associada à percepção de risco da curva. Nesse sentido, afirma-se que a sinalização proposta no cenário C gerou a maior percepção de risco nos condutores e, por conseguinte, as velocidades de operação foram as menores.

Os mesmos autores destacam a importância de complementar essa análise na entrada da curva com a menor velocidade ao longo de toda a curva, pois muitas vezes os condutores freiam ainda dentro da curva e porque essa última medida está diretamente relacionada com as chances de sofrer saídas de pista ou capotamentos. Sob esse critério, analisou-se a influência que teve cada cenário de sinalização sobre a velocidade mínima dos condutores ao longo de cada curva crítica, conforme ilustrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Velocidades mínima média nas curvas nos três cenários

| <b>Cenário</b> | <b>Velocidade mínima média na curva # 6 (km 510 + 875)</b> | <b>Velocidade mínima média na curva # 14 (km 514 + 640)</b> |
|----------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| BASE           | 94 km/h                                                    | 91 km/h                                                     |
| A              | 80 km/h                                                    | 91 km/h                                                     |
| B              | 80 km/h                                                    | 87 km/h                                                     |
| C              | 70 km/h                                                    | 73 km/h                                                     |

Novamente o cenário C registrou as menores velocidades nas curvas críticas, com redução média de 20 a 25% em relação ao cenário base. Igualmente, o comportamento dos condutores foi semelhante nos cenários de sinalização A e B.

Adicionalmente, analisaram-se as velocidades de operação dos condutores antes de entrar na tangente para conferir se efetivamente a percepção da sinalização no cenário C reduz significativamente a velocidade dos condutores antes de entrar na curva ou se simplesmente as velocidades já eram menores nesse cenário antes de entrar nas curvas. A análise foi realizada a 200 metros da entrada da curva – onde começa a sinalização das mesmas – e os resultados obtidos destacam que as velocidades de operação na tangente foram semelhantes tanto no cenário base quanto nos três cenários propostos, conforme ilustrado na Tabela 19.

Tabela 19 - Velocidades de operação a 200 m das curvas nos três cenários

| <b>Cenário</b> | <b>Velocidade de operação a 200 m da entrada da curva # 6 (km 510 + 875)</b> | <b>Velocidade de operação a 200 m da entrada da curva # 14 (km 514 + 640)</b> |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| BASE           | 119 km/h                                                                     | 129 km/h                                                                      |
| A              | 107 km/h                                                                     | 123 km/h                                                                      |
| B              | 109 km/h                                                                     | 131 km/h                                                                      |
| C              | 111 km/h                                                                     | 126 km/h                                                                      |

Logo, evidencia-se que a sinalização do cenário C efetivamente influenciou a redução da velocidade dos condutores, os quais diminuíram, em média, 30 km/h antes de entrar nas curvas e 45 km/h até atingirem a menor velocidade nas curvas. Essa redução é significativamente maior que a observada no teste da situação de sinalização atual, onde os condutores diminuíram, em média, 18 km/h antes de entrar nas curvas. Ressalta-se também que no cenário C todos os condutores diminuíram a velocidade após percepção da sinalização, enquanto que no teste da situação atual, três de cada quatro condutores que perceberam a sinalização efetivamente diminuíram a velocidade. Isto quer dizer que a sinalização do cenário C foi mais relevante para os condutores que a sinalização existente no cenário base.

Por fim, compararam-se as velocidades de operação na entrada de quatro curvas: as duas curvas críticas (C6 e C14) e as curvas C9 (km 512+080) e C12, (km 513+645). Essas duas últimas curvas foram selecionadas porque registraram velocidades de operação semelhantes às observadas nas curvas críticas, tanto no trecho real quanto no simulador para o cenário base, embora as duas curvas de controle tenham raios maiores (615 e 230 m, respectivamente) e menores registros de acidentes nos últimos três anos – apenas dois

acidentes em cada curva. Isto quer dizer que nas quatro curvas os condutores perceberam, erroneamente, que o risco era semelhante.

A Figura 82 ilustra a comparação das velocidades de operação nessas quatro curvas para todos os cenários testados no simulador e para as medições realizadas *in loco* no trecho. Com base nessa comparação ressalta-se que nos três cenários propostos os condutores perceberam – através da sinalização – que o risco das curvas mais críticas era maior e diminuíram ainda mais sua velocidade, contrário ao observado no teste do cenário base ou nas medições realizadas *in loco*, onde as velocidades nas quatro curvas foram semelhantes.

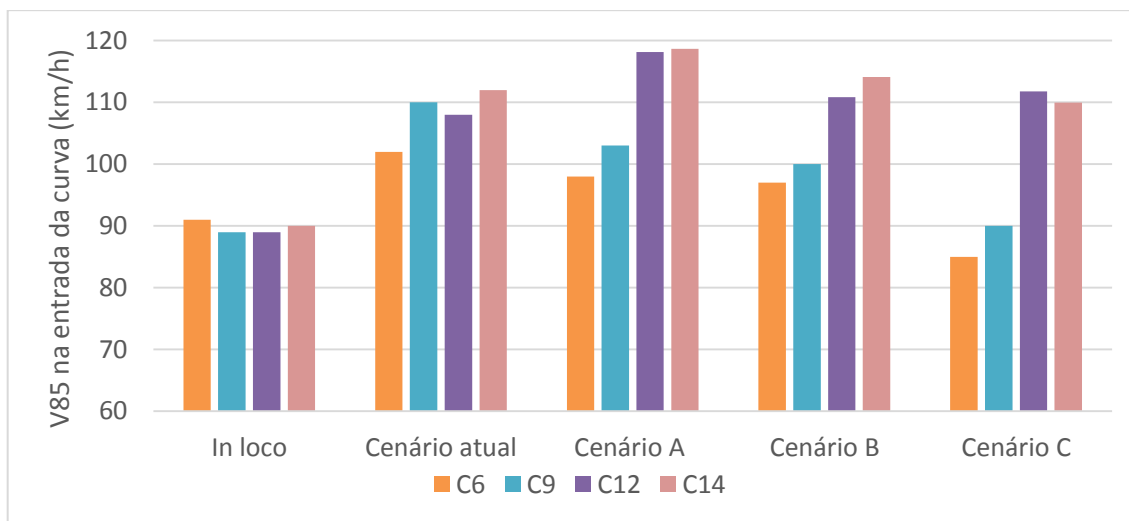


Figura 82. Velocidades de operação em quatro curvas do trecho

Já em termos da percepção da sinalização, o uso do sistema de rastreamento do olhar permitiu identificar se os condutores realmente observaram os diferentes elementos propostos na sinalização e qual foi a distribuição da atenção entre esses elementos.

Por exemplo, no experimento realizado para o cenário base, na curva C6 do km 510+875, o sinal A-4a foi percebido por 45% dos condutores e o sinal R-19 foi percebido por 63% dos condutores. Já na curva C14 do km 514+640, o sinal de advertência de curva A-2a foi percebido por um em cada dois condutores, enquanto que o sinal de limite de velocidade foi percebido novamente por 63% dos condutores.

No caso do cenário A, a placa aérea foi observada por 4 de cada 5 condutores, enquanto que as placas de limite de velocidade no solo foram observadas por 40% dos condutores e as placas de advertência de curva no solo foram observadas por 30% deles. Com base nesses resultados afirma-se que a placa aérea é mais conspicua que as placas de solo existentes no cenário base e, por conseguinte, é mais efetiva para chamar a atenção dos condutores sobre o risco das curvas. A Figura 83 ilustra a porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização proposto no cenário A.

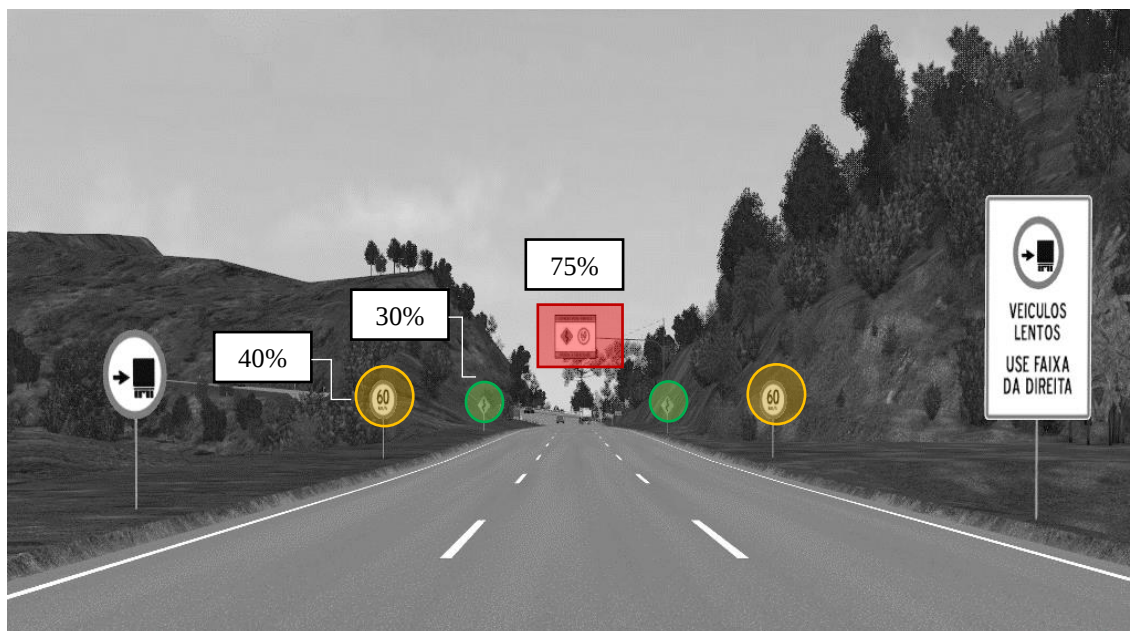


Figura 83. Porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização - Cenário A

Algo semelhante foi observado no caso do cenário B: os sinais de limite de velocidade e advertência de curva no solo foram percebidos por 20% dos condutores, enquanto que os marcadores de alinhamento numerados (MAN) e as linhas de estímulo à redução da velocidade (LERV) foram percebidos por quatro de cada cinco condutores. Novamente, os delineadores numerados e as linhas de estímulo à redução da velocidade foram mais visíveis que a sinalização existente atualmente nas duas curvas críticas, porém, destaca-se que ainda 20% dos condutores não perceberam nenhuma das quatro sinalizações propostas nas duas curvas. A Figura 84 ilustra a porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização proposto no cenário B.

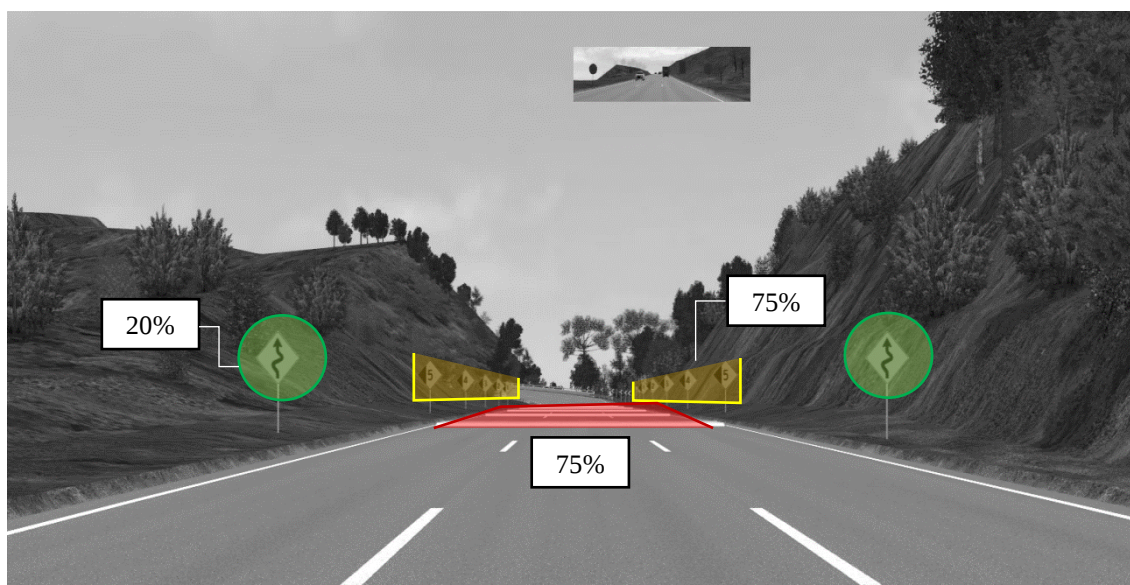


Figura 84. Porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização - Cenário B

De outro lado, no caso do cenário C, a placa aérea e as linhas de estímulo à redução da velocidade foram percebidas por 67% dos condutores, os limites de velocidade no solo (R-19) e os marcadores de alinhamento numerados foram percebidos por 33% deles e os sinais de advertência de solo por apenas 10% dos condutores. Ressalta-se que, contrário ao observado no teste para o cenário base e ao observado nos cenários A e B, neste caso todos os condutores que participaram do experimento perceberam pelo menos algum tipo de sinalização nas duas curvas críticas, elevando a efetividade na percepção da sinalização. A Figura 85 ilustra a porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização proposto no cenário C.

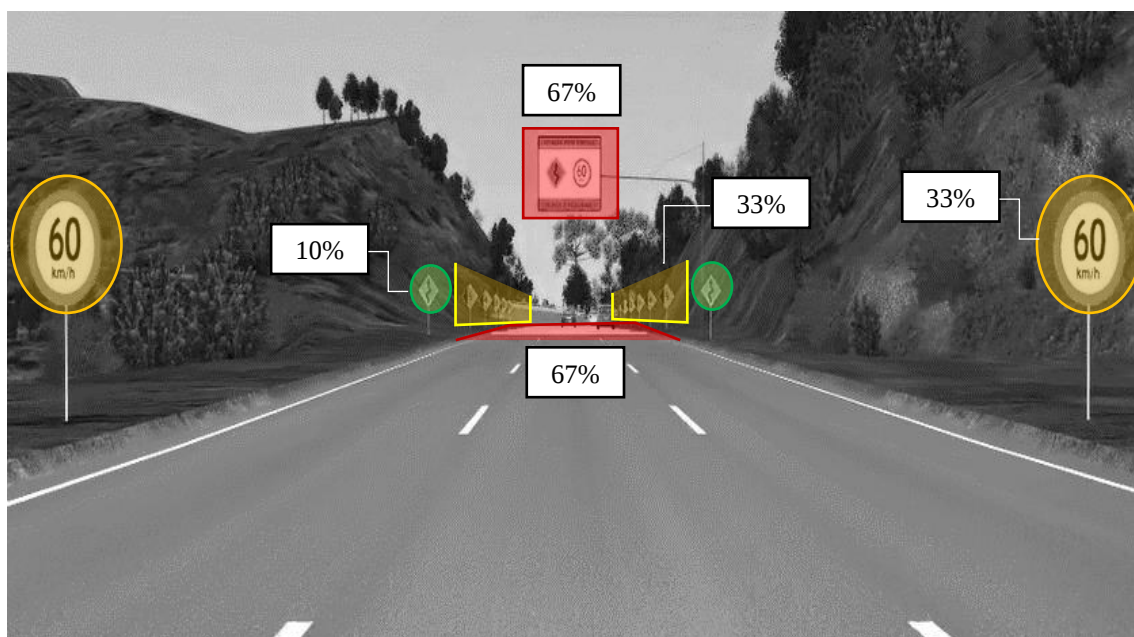


Figura 85. Porcentagem de condutores que perceberam cada elemento de sinalização - Cenário C

Desta forma, observou-se que o cenário C também foi o mais efetivo em termos de chamar a atenção de todos os condutores para perceber a sinalização e que, entre os distintos elementos propostos, os mais conspícuos foram a placa aérea e as linhas de estímulo à redução da velocidade, seguidos dos marcadores de alinhamento numerados e as placas R-19, enquanto que as placas de advertência de curva foram as menos percebidas.

### 5.6.3 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Em primeiro lugar, é importante lembrar que a validade relativa do simulador é considerada requisito suficiente para que as diferenças observadas no simulador entre dois ou mais cenários, sejam transferíveis à realidade (RANNEY, 2011). Por conseguinte, espera-se que, se entre dois cenários de sinalização avaliados, um deles resulta ser mais efetivo no simulador – em termos de conspicuidade, resposta dos condutores, etc. – também será o mais efetivo na realidade, validando o uso do simulador na elaboração e avaliação de projetos de sinalização, que é o objetivo final deste estudo.

A validade relativa quer dizer que as magnitudes dos resultados obtidos no simulador não são necessariamente iguais à obtida no mundo real, porém, espera-se que as diferenças relativas observadas no simulador – entre dois locais ou cenários – também serão válidas no mundo real. Por exemplo, não é possível afirmar que, caso a sinalização proposta no cenário C for implantada nas curvas críticas do trecho, os condutores irão diminuir no mundo real exatamente 30 km/h antes de entrar nas curvas, conforme obtido no experimento no simulador. Mas, é possível afirmar que se esse cenário for implantado, a redução na velocidade será maior que a gerada pelos cenários A ou B, conforme obtido no experimento no simulador. Por conseguinte, espera-se que, se entre dois cenários de sinalização avaliados, um deles resulta ser mais efetivo no simulador, este também será o mais efetivo no mundo real.

Sob esse critério, e com base nos resultados obtidos no simulador, concluiu-se que o cenário mais apropriado para ser implantado nas duas curvas críticas do trecho é o cenário C, que combina o uso da sinalização existente no solo, o uso de uma placa aérea, o uso de marcadores de alinhamento numerados e o uso de linhas de estímulo à redução da velocidade.

De fato, esse cenário foi o mais efetivo em termos de percepção porque todos os condutores observaram pelo menos algum elemento da sinalização proposta, contrário ao observado nos cenários A e B, onde 20% dos condutores não perceberam nenhum tipo de sinalização. Isto confirma que reforçar e repetir a sinalização aumenta a conspicuidade da mesma e as chances de que seja mais percebida pelos condutores. Entre os distintos elementos propostos neste cenário, destaca-se que a placa aérea e as LERV foram os elementos mais conspícuos, seguidos dos MAN e os limites de velocidade.

Adicionalmente, esse cenário apresentou as maiores reduções de velocidade nas duas curvas críticas: em média, os condutores diminuíram até 25% sua velocidade antes de entrar na curva em comparação com o observado no experimento para o cenário base, 15% mais que os outros dois cenários, que tiveram desempenhos semelhantes entre si. De fato, no cenário C, a velocidade mínima dos condutores nas duas curvas críticas foi de 70 km/h, muito próxima do limite de velocidade estabelecido no trecho (60 km/h) e significativamente abaixo do registrado na situação atual (92 km/h) e nos outros dois cenários (85 km/h).

Em definitivo, os resultados obtidos permitem afirmar que o cenário C terá a maior conspicuidade entre os cenários testados e que irá diminuir ainda mais as velocidades dos condutores nas duas curvas críticas do trecho, e, por conseguinte, aumentará as chances de mitigar a acidentalidade nesses locais. A seguir, detalha-se a implantação do projeto de sinalização no trecho de estudo.

## 5.7 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE SINALIZAÇÃO NO TRECHO DE ESTUDO

A alternativa de projeto selecionada para implantação no trecho compreende uma série de alterações básicas ao longo de todo o trecho e alterações maiores nas curvas mais críticas do trecho, as quais compreendem uma placa aérea composta, marcadores de alinhamento numerados e linhas de estímulo à redução da velocidade, além da sinalização existente no cenário base. Segue uma descrição detalhada do projeto de sinalização implantado no trecho, o qual pode ser consultado em detalhes no projeto executivo do Anexo 12.

### 5.7.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO IMPLANTADO

Em primeiro lugar, sobre a sinalização que existia no cenário base para as curvas críticas do trecho, ressalta-se que na curva do km 510+875 há duas placas de advertência de curva em 'S' à esquerda (A-4a) – km 510+680 – e duas placas de limite de velocidade (R-19) de 60 km/h – km 510+800. As duas placas A-4a foram retiradas do local e substituídas por duas placas A-3a para ressaltar que o trecho é sinuoso e foram posicionadas no km 510+740 para que ficassem do lado da placa aérea proposta, criando um “portal” de entrada na curva. Adicionalmente, as duas placas de limite de velocidade (R-19) foram remanejadas para o km 510+680 com o intuito aumentar a conspicuidade das mesmas, pois no local original ficariam muito próximas dos MAN propostos.

Já na curva do km 514+640, antes existiam duas placas de advertência de curva simples à esquerda (A-2a) – km 514+340 – e duas R-19 – km 514+540. As duas placas A-2a foram retiradas do local e substituídas por duas placas A-1a para ressaltar que a curva é acentuada (raio próximo a 120 m e velocidade de 60 km/h). As novas placas A-1a foram posicionadas no km 514+484 para que ficassem do lado da placa aérea proposta, criando também um “portal” na entrada da curva. Igualmente, as duas placas de limite de velocidade (R-19) foram remanejadas para o km 514+425 com o intuito de aumentar a conspicuidade das mesmas, pois no local original ficariam muito próximas dos MAN propostos.

No caso da curva do km 510+875, a placa aérea implantada tem dimensões de 4,00 x 3,00 m e combina o uso dos sinais de advertência de curva A-3a e limite de velocidade R-19 – ambos de 1,20 m – junto com duas mensagens com altura de letra de 200 mm: “ATENÇÃO PISTA SINUOSA” e “REDUZA A VELOCIDADE” - ver Figura 86 e diagramação da placa C-1 no Anexo 12.



Figura 86. Ilustração da placa aérea C-1

O semipórtico está localizado no km 510+740 – ao lado das placas de advertência A-3a de solo – tem 8,00 m de comprimento e altura livre de 5,50 m. A placa foi confeccionada em chapa modulada de alumínio de 2 mm (NBR-16179), com película de alta intensidade prismática tipo III (NBR-14644) para o fundo e as orlas dos sinais, e película preta fosca não refletiva tipo IV (NBR-14644) para as letras, números e símbolos dos sinais. Os dois sinais formam um único conjunto composto por fundo branco e orla vermelha, conforme regulamentado pela Resolução Nº 160 de 2004 do CONTRAN, item 1.1.5, para sinais de regulamentação com informações complementares.

Já no caso da curva do km 514+640, a placa aérea implantada tem dimensões de 4,50 x 3,00 m e combina o uso dos sinais de advertência de curva A-1a e limite de velocidade R-19 – ambos de 1,20 m – junto com duas mensagens de 200 mm de altura cada uma: “ATENÇÃO CURVA ACENTUADA” e “REDUZA A VELOCIDADE” – ver Figura 87 e diagramação da placa C-3 no Anexo 11. A placa foi colocada em um semipórtico metálico no km 514+484 – do lado das placas de advertência A-1a no solo – e tem as mesmas especificações técnicas da placa descrita no parágrafo anterior.



Figura 87. Ilustração da placa aérea C-3

Adicionalmente, em cada curva empregaram-se dez marcadores de alinhamento numerado (MAN), cinco de cada lado, com os números 5, 4, 3, 2 e 1 para informar os segundos restantes até a chegada na entrada da curva. Todos os MAN têm 1,00 m de lado, foram confeccionados em chapa plana modulada de aço zincado com 1,5 mm de espessura (NBR-11904) e têm fundo lima-limão – trecho sob neblina – com película grau diamante tipo X (NBR-14644), enquanto que os números e a seta são em película preta fosca não refletiva. Os MAN estão posicionados na sequência dos semipórticos, conforme indicado na Tabela 15. A diagramação dos MAN pode ser consultada no projeto executivo do Anexo 12 e na Figura 88.

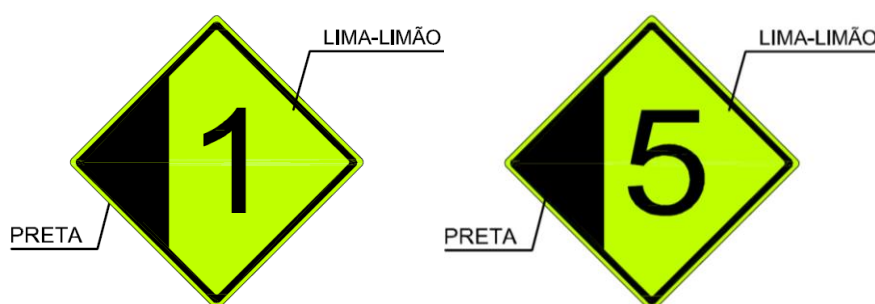


Figura 88. Ilustração dos marcadores de alinhamento numerados

Por último, junto com os MAN utilizaram-se Linhas de Estímulo à Redução da Velocidade (LERV). No total implantaram-se 11 LERV em cada curva, conforme ilustrado na Figura 89. O posicionamento de cada LERV pode ser consultado também na Tabela 15 ou no projeto executivo do Anexo 12.

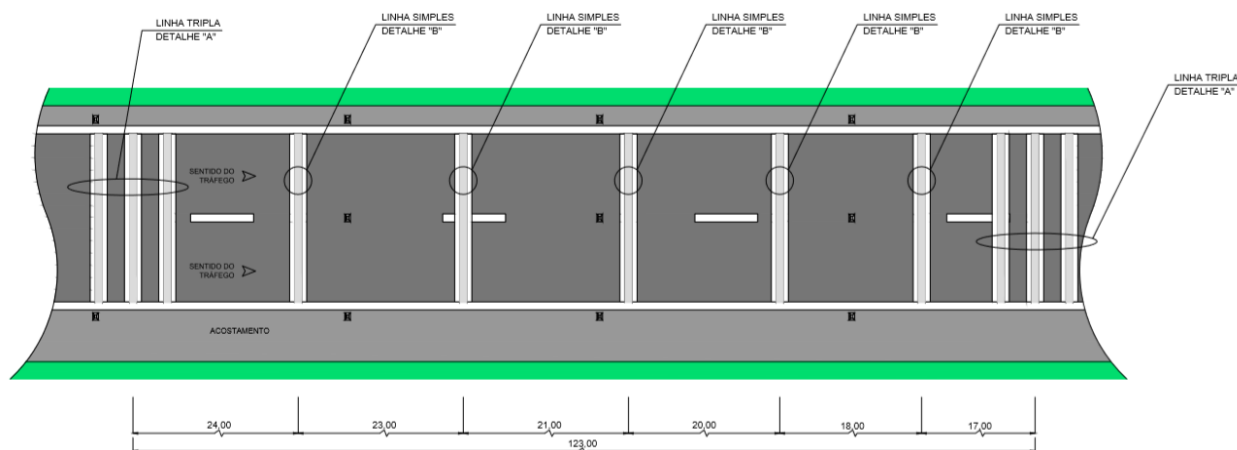


Figura 89. Detalhe da configuração das LERV propostas nas curvas críticas

As LERV foram executadas com tinta termoplástica refletorizada na cor branca, na largura da pista com duas camadas: uma de 400 mm de largura e 3 mm de espessura e outra superior de 200 mm de largura e também 3 mm de espessura (Figura 90). O espaçamento entre as LERV iniciais e finais é de 500 mm e o espaçamento das LERV intermediárias é variável em função da desaceleração esperada antes de entrar na curva.

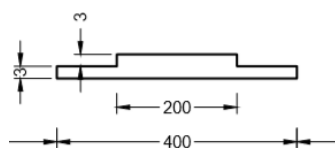


Figura 90. Detalhe da largura, espessura das LERV

Além das alterações propostas nas duas curvas críticas, complementou-se a sinalização existente em outros locais do trecho, conforme estabelecido no item 5.5. Por exemplo, no km 508+450 implantou-se a mesma placa aérea do km 510+740 que combina os sinais A-3a e R-19 (Figura 86). Inicialmente foi proposto o local km 508+600 para esta placa, mas em razão de dificuldades de execução da base do semipórtico a mesma foi remanejada para o km 508+450, sem prejuízo de sua visualização e conspicuidade. A placa implantada no km 508+450 visa ressaltar que as primeiras três curvas do trecho são sinuosa, com raios de 130 m e tangente curta (menos de 120 m) entre si. Neste caso não se implantaram os MAN e os LERV, pois esses elementos foram destinados unicamente para as curvas mais críticas do trecho. As placas A-4a existentes no km 508+264 foram retiradas do local e substituídas por duas placas A-3a no km 508+450, ao lado do semipórtico. A Figura 91 ilustra a sinalização proposta na curva do km 508+450 dentro do ambiente virtual do simulador.



Figura 91. Sinalização proposta no km 508+450

Conforme mencionado no item 5.5, no km 514+400 implantaram-se duas placas R-27 compostas de 2,00 x 4,00 m com sinal de Ø 1,20 m e a seguinte mensagem com altura de letra de 200 mm: “CAMINHÕES E ÔNIBUS OBRIGATÓRIO FAIXA DA DIREITA”. A placa foi confeccionada em chapa plana modulada de aço zincado com 1,25 mm de espessura (NBR-11904). As películas do fundo e as orlas foram de alta intensidade prismática tipo III, enquanto que os símbolos e as letras foram em preto fosco não refletivo tipo IV (NBR-14644). A Figura 92 ilustra a placa implantada; para maior detalhe ver a diagramação da placa C-2 no projeto executivo do Anexo 12.



Figura 92. Ilustração da placa C-2 (R-27 composta) implantada no km 514+100

No item 5.5 também foram discutidas as outras alterações menores realizadas no trecho para complementar a sinalização existente, tais como: colocar placas de advertência de curva onde faltava essa sinalização, substituir alguns sinais de advertência de curva simples por curva em ‘S’ ou pista sinuosa, duplicar algumas placas e complementar os delineadores em algumas curvas.

Em relação às relocações de alguns sinais existentes no trecho para garantir os tempos de frenagem e mudança de faixa diante de sinalização, ressalta-se que algumas das alterações propostas na Tabela 14 foram reavaliadas e modificadas no projeto executivo definitivo, conforme segue:

- As placas A-4a do km 510+680 foram remanejadas para o km 512+480.
- As placas R-19 do km 510+800 foram remanejadas para o km 510+680.
- As placas R-19 do km 514+540 foram remanejadas para o km 514+425.
- No km 514+623 há uma placa de parada de ônibus. Essa placa foi remanejada para o km 514+650 para que ficasse atrás dos MAN.

A Tabela 20 resume as alterações efetivamente realizadas e substitui a Tabela 14. No total, remanejaram-se 04 placas A-2a, 06 placas A-2b, 02 placas A-4a, 01 placa A-4b, 06 placas R-19, 12 placas R-27, 01 placa de parada de ônibus e 01 placa R-27 composta de 2,00 x 4,00 m (placa C-2).

Tabela 20 - Ajustes definitivos no posicionamento das placas no trecho

| km atual | Tipo de placa | Quantidade | Tamanho (m) | km proposto |
|----------|---------------|------------|-------------|-------------|
| 509+565  | R-27          | 2          | 1,00        | 509+490     |
| 510+270  | A-2a          | 2          | 1,00        | 510+370     |
| 510+680  | A-4a          | 2          | 1,00        | 512+480     |
| 510+725  | R-27          | 1          | 1,00        | 510+650     |
| 510+725  | C-2           | 1          | 2,00 x 4,00 | 510+650     |
| 510+800  | R-19          | 2          | 1,00        | 510+680     |
| 511+160  | R-27          | 1          | 1,00        | 511+100     |
| 511+840  | A-2b          | 2          | 1,00        | 512+020     |
| 512+570  | R-27          | 2          | 1,00        | 512+420     |
| 513+480  | A-2b          | 1          | 1,00        | 515+450     |
| 513+630  | R-27          | 2          | 1,00        | 513+400     |
| 514+540  | R-19          | 2          | 1,00        | 514+425     |
| 514+623  | ISA-14        | 1          | 0,60 x 1,00 | 514+650     |
| 514+885  | A-2b          | 2          | 1,00        | 514+930     |
| 515+190  | R-27          | 1          | 1,00        | 515+350     |
| 515+490  | A-2b          | 1          | 1,00        | 515+450     |
| 515+880  | A-4b          | 1          | 1,00        | 516+060     |
| 516+400  | R-27          | 2          | 1,00        | 516+800     |
| 516+870  | A-2a          | 2          | 1,00        | 517+020     |
| 517+100  | R-19          | 2          | 1,00        | 517+070     |
| 518+070  | R-27          | 1          | 1,00        | 515+825     |

Por fim, a Tabela 21 resume as placas que foram implantadas e retiradas do trecho. Esta tabela substitui a Tabela 12 apresentada anteriormente. No total, além dos 95

demarcadores (Tabela 13) e os 30 MAN implantados (Tabelas 15 e 16), implantaram-se: 02 placas aéreas C-1 de 4,00 x 3,00 m, 01 placa aérea C-3 de 4,50 x 3,00 m, 02 placas C-2 de 2,00 x 4,00 m, 04 placas A-3a, 02 placas A-1a, 02 placas A-2b, 03 placas A-4b e 02 placas R-27, enquanto que retiraram-se 08 placas A-2a e 02 placas A-4a.

Tabela 21 - Resumo das placas implantadas e retiradas do trecho

| Posicionamento | Alteração     | Tipo de placa | Tamanho (m) | Quantidade | Lado da pista |
|----------------|---------------|---------------|-------------|------------|---------------|
| km 508+264     | Retirada(s)   | A-4a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 508+450     | Implantada(s) | A-3a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 508+450     | Implantada(s) | C-1           | 4,00 x 3,00 | 1          | Aérea         |
| km 509+900     | Implantada(s) | A-2b          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 510+740     | Implantada(s) | A-3a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 510+740     | Implantada(s) | C-1           | 4,00 x 3,00 | 1          | Aérea         |
| km 511+110     | Implantada(s) | R-27          | 1,00        | 1          | Esquerdo      |
| km 511+550     | Retirada(s)   | A-2a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 512+450     | Retirada(s)   | A-2a          | 1,00        | 1          | Direito       |
| km 513+590     | Implantada(s) | A-4b          | 1,00        | 1          | Direito       |
| km 513+630     | Implantada(s) | A-4b          | 1,00        | 1          | Esquerdo      |
| km 513+830     | Retirada(s)   | A-2a          | 1,00        | 1          | Esquerdo      |
| km 514+100     | Implantada(s) | C-2           | 2,00 x 4,00 | 2          | Ambos         |
| km 514+380     | Retirada(s)   | A-2a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 514+484     | Implantada(s) | A-1a          | 1,00        | 2          | Ambos         |
| km 514+484     | Implantada(s) | C-3           | 4,50 x 3,00 | 1          | Aérea         |
| km 515+350     | Implantada(s) | R-27          | 1,00        | 1          | Esquerdo      |
| km 516+060     | Implantada(s) | A-4b          | 1,00        | 1          | Esquerdo      |
| km 516+370     | Retirada(s)   | A-2a          | 1,00        | 2          | Ambos         |

## 5.7.2 AUDITORIA DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

A equipe de assessoramento técnico do projeto acompanhou a implantação da sinalização proposta no trecho de estudo, para garantir que as especificações elaboradas fossem cumpridas e que as placas fossem implantadas nos locais indicados no projeto executivo. As Figuras 93 a 100 ilustram o processo de implantação da sinalização.



Figura 93. Implantação da placa aérea C-1 no km 508+450



Figura 94. Implantação da placa aérea C-1 no km 510+740



Figura 95. Implantação dos marcadores de alinhamento numerado (MAN) no km 510+776



Figura 96. Implantação da placa aérea C-3 no km 514+484



Figura 97. Implantação dos marcadores de alinhamento numerado (MAN) no km 514+541



Figura 98. Implantação das placas C-2 (R-27 composta) no km 514+100 – bordo esquerdo e bordo direito



a) Antes



b) Depois

Figura 99. Exemplo de local onde se remanejaram as placas: km 509+100



a) Antes



b) Depois

Figura 100. Exemplo de local onde não existia sinalização antes da implantação do projeto: km 509+900

Após implantação do projeto de sinalização, realizou-se uma nova filmagem do trecho com o intuito de registrar as alterações realizadas na sinalização e visualizar como é percebida a mesma desde o ponto de vista dos condutores que percorrem o trecho. A filmagem seguiu o mesmo procedimento realizado das filmagens realizadas nos dois anos anteriores: percorrer o trecho com um veículo posicionado na faixa central e com a câmera posicionada no pára-brisa do automóvel, visando obter o ponto de vista do condutor durante o percurso do trecho – ver Figura 101.



Figura 101. Filmagem do trecho realizada em junho/2015

## 5.8 AVALIAÇÃO DO PROJETO DE SINALIZAÇÃO APÓS IMPLANTAÇÃO NO TRECHO DE ESTUDO

### 5.8.1 METODOLOGIA

Segundo as indicações de Hauer (1997) e do *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010), a efetividade real de um projeto implantado para aprimorar a segurança viária numa rodovia deve ser avaliada através de um estudo observacional “antes e depois”, onde são analisados os registros de acidentalidade na rodovia antes da implantação do projeto – denominado período “antes” – e depois da implantação do projeto – denominado período “depois”. Os registros de acidentes no período “depois” permitem estimar de forma direta o número de acidentes que ocorreram após implantar o projeto, enquanto que os registros de acidentes no período “antes” são utilizados para prever o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” se o projeto não tivesse sido implantado.

Na literatura existem três tipos de estudos observacionais “antes e depois”: o “ingênuo”, com grupo de comparação e o método empírico bayesiano. Os três estudos têm como objetivo comparar o número de acidentes registrados no período “depois” com a implantação do projeto e o número de acidentes que teriam ocorrido nesse período se o projeto não tivesse sido implantado. Porém, esta última variável é estimada de forma diferente pelos três tipos de estudo.

Assim, no estudo “ingênuo” supõe-se que, se o projeto não tivesse sido implantado, a tendência de acidentes no período “depois” seria a mesma tendência observada do período “antes”, ignorando qualquer tipo de variação na acidentalidade entre os dois períodos.

No estudo com grupo de comparação, supõe-se que o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois”, sem a implantação do projeto, deve ser proporcional ao número de acidentes observados no período “depois” num trecho de comparação. A seleção do trecho de comparação deve ser realizada sob três critérios: 1) deve ter características geométricas e de operação semelhantes às do trecho de estudo, 2) a tendência de acidentalidade no período “antes” deve ter sido semelhante à do trecho de estudo e 3) não pode ter sido realizada a mesma alteração nesse trecho no período “depois” (Hauer, 1997).

Por fim, o estudo baseado no método empírico bayesiano estima o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois”, baseado numa função de desempenho da segurança no trecho – em inglês *Safety Performance Function* (SPF), determinada pelas características geométricas e de operação do mesmo. Neste caso, a principal suposição é que, no longo prazo, o número de acidentes esperados no trecho deve ser semelhante ao observado em outros trechos com características semelhantes, os quais foram utilizados para estabelecer a equação de desempenho (SPF) através de técnicas de regressão.

A seguir são detalhados os três tipos de estudos mencionados anteriormente. Ressalta-se que todos eles serão empregados na avaliação da efetividade do projeto de sinalização implantado no trecho da rodovia Régis Bittencourt, uma vez que fornecem suposições diferentes sobre o que tivesse ocorrido no trecho se o projeto não tivesse sido implantado.

#### 5.8.1.1 O estudo “ingênuo”

Conforme foi mencionado anteriormente, este tipo de estudo parte de uma suposição “ingênua”: que o número de acidentes registrados no período “depois” teria sido igual ao número de acidentes registrados no período “antes”, caso o projeto não tivesse sido implantado e se os períodos tenham a mesma duração de tempo. Esta suposição poderia ser válida se todos os fatores que influenciam a acidentalidade (tráfego, clima, sinalização, comportamento dos motoristas, etc.) fossem constantes ao longo do tempo, porém, dificilmente isto acontece e ainda menos em períodos de análise muito longos. De fato, ainda se todos os fatores fossem constantes, a natureza aleatória dos acidentes gera variações nos registros de acidentalidade entre dois períodos de tempo (AASHTO, 2010).

Por esse motivo, Hauer (1997) sugere que na análise dos resultados seja destacado que as variações encontradas no período “depois” com e sem projeto refletem não apenas o efeito do mesmo, mas também o efeito de possíveis variações de outros fatores como o tráfego, o clima, o comportamento dos motoristas ou simplesmente à regressão ao número médio de acidentes do trecho. Isto último quer dizer que depois de um período anômalo de aumento/diminuição dos acidentes, a tendência natural é regressar ao nível médio de acidentalidade, ainda se nenhuma alteração foi feita no trecho.

Segue a descrição do método para realizar um estudo “ingênuo”, onde  $I$  é o número de anos do período “antes”,  $J$  é o número de anos do período “depois” e  $N_k$  é o número de acidentes registrados num determinado ano  $k$ :

1. Estimar o número de acidentes no período “depois” após implantação do projeto ( $\lambda$ ), obtido diretamente a partir do número total de acidentes registrados no período “depois” ( $N_a$ ).

$$\lambda = N_a = \sum_{j=1}^J N_j \quad (I)$$

Prever o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” se o projeto não tivesse sido implantado ( $\pi$ ), obtido a partir do número total de acidentes registrados no período “antes” ( $N_b$ ). Supondo que o número de acidentes teria sido igual e se os períodos de tempo fossem diferentes, tem-se que:

$$\pi = \frac{J}{I} \cdot N_b = \frac{J}{I} \cdot \sum_{i=1}^I N_i \quad (II)$$

2. Estimar as variâncias de  $\lambda$  e  $\pi$ . Supondo que as distribuições dos acidentes no período “antes” e “depois” têm uma distribuição Poisson com média  $\pi$  e  $\lambda$ , respectivamente, tem-se que:

$$\sigma^2(\lambda) = \lambda \quad (\text{III})$$

$$\sigma^2(\pi) = \left(\frac{I}{I}\right)^2 \cdot \pi \quad (\text{IV})$$

3. Estimar a redução de acidentes esperadas no período “depois” ( $\delta$ ), a razão entre os acidentes obtidos e os esperados no período “depois” ( $\theta$ ):

$$\delta = \pi - \lambda \quad (\text{V})$$

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi} \quad (\text{VI})$$

4. Calcular a precisão dos parâmetros estimados, conforme segue:

$$\sigma^2(\delta) = \sigma^2(\pi) + \sigma^2(\lambda) \quad (\text{VII})$$

$$\sigma^2(\theta) = \theta^2 \cdot \frac{\left(\frac{1}{\lambda}\right) + \left(\frac{\sigma^2(\pi)}{\pi^2}\right)}{\left(1 + \frac{\sigma^2(\pi)}{\pi^2}\right)^2} \quad (\text{VIII})$$

Com base nesse método, o projeto implantado será efetivo na redução de acidentes se e somente se  $\delta > 0$  e  $\theta < 1$ . Destaca-se que o parâmetro  $\theta$  deve ser corrigido por  $\theta'$  quando o número total de acidentes no período “antes” é menor que 100, sendo que:

$$\theta' = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\sigma^2(\pi)}{\pi^2}\right)}$$

#### 5.8.1.2 O estudo com grupo de comparação

O princípio do estudo com grupo de comparação é identificar um (uns) trecho(s) com características semelhantes ao estudado, com registros de acidentes semelhantes no período “antes”, mas onde não foi realizada a mesma alteração da sinalização. Assim, espera-se que as mudanças observadas no(s) trecho(s) de comparação sejam um indicativo da mudança que tivesse ocorrido no trecho de estudo, caso o projeto de sinalização não tivesse sido implantado.

A seguir, é demonstrado o roteiro do estudo com grupo de comparação, onde  $N_b$  e  $N_a$  são o número de acidentes no trecho de estudo “antes” e “depois”, respectivamente; enquanto que  $N_b^c$  e  $N_a^c$  são o número de acidentes registrados no trecho de comparação “antes” e “depois”, respectivamente.

1. Estimar a taxa de variação nos acidentes no trecho de comparação entre o período “antes” e “depois” ( $r_c$ ):

$$r_c = N_a^c / N_b^c \quad (IX)$$

Prever o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” no trecho de estudo se o projeto não tivesse sido implantado ( $\pi$ ), supondo que a taxa de variação teria sido semelhante à observada no trecho de comparação:

$$\pi = r_c \cdot N_b \quad (X)$$

Estimar o número de acidentes no período “depois” no trecho de estudo após implantação do projeto ( $\lambda$ ), obtido diretamente a partir do número total de acidentes registrados no período “depois” ( $N_a$ ), de acordo à equação (I).

2. Estimar as variâncias de  $\lambda$  e  $\pi$ :

$$\sigma^2(\lambda) = \lambda \quad (XI)$$

$$\sigma^2(\pi) = \pi^2 \cdot \left( \frac{1}{N_b} + \frac{\sigma^2(r_c)}{r_c^2} \right) \quad (XII)$$

3. Estimar a redução de acidentes esperadas no período “depois” ( $\delta$ ) e a razão entre os acidentes obtidos e os esperados no período “depois” ( $\theta$ ), conforme estabelecido nas equações (V) e (VI), respectivamente.

4. Calcular a precisão dos parâmetros estimados:

$$\sigma^2(\delta) = \sigma^2(\pi) + \sigma^2(\lambda) \quad (XIII)$$

$$\sigma^2(\theta) = \theta^2 \cdot \frac{\left( \frac{1}{\lambda} + \frac{\sigma^2(\pi)}{\pi^2} \right)}{\left( 1 + \frac{\sigma^2(\pi)}{\pi^2} \right)^2} \quad (XIV)$$

Novamente, ressalta-se que o parâmetro  $\theta$  deve ser substituído pelo parâmetro  $\theta'$  se o número total de acidentes no período “antes” é menor que 100 no trecho de estudo. Adicionalmente, a taxa de variação  $r_c$  é uma aproximação de  $r_c'$ , onde  $r_c' = (N_b^c / N_a^c) / (1 + 1/N_b^c)$ , a qual pode ser utilizada se o número total de acidentes no período “antes” é maior que 100 no trecho de comparação.

Na equação (XII) introduziu-se a variância da taxa de variação, determinada conforme segue:  $\sigma^2(r_c) = r_c^2 \cdot (1/N_a^c + 1/N_b^c + \sigma^2(\omega))$ . Adicionalmente, é uma variável aleatória que compara as taxas de variação de acidentalidade no trecho de estudo e no trecho de comparação para quaisquer dois anos consecutivos do período “antes”. Assim, se K e L são o número de acidentes registrados no trecho de estudo em quaisquer anos  $i$  e  $i+1$  do período “antes”, e se M e N são o número de acidentes registrados no trecho de comparação nos

mesmos anos  $i$  e  $i+1$  do período “antes”, então, a variável  $\omega$  para esses dois anos é determinada como:  $\omega_i = \frac{K/L}{(M/N) \cdot (1+1/L+1/M)} \approx \frac{K/L}{M/N}$ .

Logo, para todos os anos do período “antes” deve se estimar a variável  $\omega$  até obter uma série temporal da mesma, a partir da qual pode ser calculada a variância da variável aleatória  $\sigma^2(\omega)$ . Uma vez que a suposição principal do estudo com grupo de comparação é que o trecho de estudo e o de comparação têm tendências semelhantes, espera-se que a média da variável  $\omega$  no período “antes” seja 1.

#### 5.8.1.3 O método empírico bayesiano

Por fim, o método empírico bayesiano utiliza funções de desempenho de segurança (SPF) para estimar um valor médio de quantos acidentes teriam ocorrido no trecho de estudo no período “depois”, caso o projeto não tivesse sido implantado.

Em primeiro lugar, o método empírico bayesiano prevê quantos acidentes podem ocorrer num trecho, tanto no período “antes” quanto no período “depois”, unicamente em função das características geométricas e operacionais do mesmo, estimada através da SPF e sem considerar os registros de acidentes – isto permite ter uma estimativa não enviesada por possíveis regressões à média na acidentalidade do trecho.

Posteriormente, no caso do período “antes”, o método combina essa previsão de acidentes com o número real de acidentes registrados para obter um valor esperado corrigido de quantos acidentes puderam ter acontecido nesse período. Por fim, esse valor esperado de acidentes que podem ter ocorrido no período “antes”, é utilizado para prever quantos acidentes podem ter ocorrido no período “depois” se o projeto não tivesse sido implantado.

Ressalta-se que os dois estudos anteriores utilizam diretamente os registros de acidentes no período “antes” para estimar os acidentes no período “depois” sem projeto, enquanto que o método empírico bayesiano utiliza um valor médio esperado de quantos acidentes podem ter ocorrido “antes” para estimar quantos acidentes podem ter ocorrido “depois” sem projeto. Quando houver suspeita de regressão à média nos registros de acidentes, é melhor utilizar o método empírico bayesiano porque a efetividade do projeto é avaliada em relação ao comportamento médio da acidentalidade no trecho, que é o realmente significativo no longo prazo, e não em relação ao observado num período anômalo da acidentalidade no trecho (AASHTO, 2010).

O *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010) fornece uma função de desempenho de segurança (SPF) para rodovias de pista dupla com duas ou três faixas de rolamento por pista, semelhante ao trecho de estudo na rodovia Régis Bittencourt. A SPF selecionada depende

unicamente do comprimento do trecho e do volume diário médio de veículos (VDM em português e AADT em inglês) da rodovia num determinado período de tempo, ressaltando que o VDM deve considerar o fluxo nas duas pistas e, por conseguinte, o número de acidentes previstos pelo método é para o total da rodovia e não apenas para uma pista.

Adicionalmente, é importante lembrar que a SPF foi obtida através de técnicas de regressão com dados de rodovias nos Estados Unidos, semelhantes entre si em termos de largura de faixa, acostamento, canteiro central, iluminação, entre outras, denominadas como características “padrão” ou base. Logo, os resultados obtidos para a rodovia Régis Bittencourt devem ser adaptados às características locais através de fatores de modificação da acidentalidade – *Crash Modification Factors* (CMF) em inglês. A seguir é apresentada a SPF utilizada pelo *Highway Safety Manual* para prever o número de acidentes num determinado ano *i-ésimo*, para uma rodovia padrão de pistas separadas ( $N_{spf}$ ), e a forma como deve ser corrigida para prever o número de acidentes no caso local da rodovia Régis Bittencourt ( $N_p$ ).

$$N_{spf,i} = e^{a+b \cdot \ln(AADT) + \ln(L)} \quad (XV)$$

$$N_{p,i} = N_{spf,i} \cdot CMF_1 \cdot CMF_2 \cdot CMF_3 \cdot CMF_4 \cdot CMF_5 \quad (XVI)$$

Onde:

- $a$  e  $b$  são coeficientes da regressão definidos pelo *Highway Safety Manual* segundo o tipo de acidente estudado (Tabela 22),
- AADT é o volume médio diário de veículos no ano *i-ésimo*,
- $L$  é o comprimento do trecho em milhas,
- $CMF_1$  é o fator de modificação pela largura das faixas (Tabela 23),
- $CMF_2$  é o fator de modificação pela largura do acostamento (Tabela 24),
- $CMF_3$  é o fator de modificação pela largura do canteiro central (Tabela 25),
- $CMF_4$  é o fator de modificação pela iluminação da estrada, na ausência de iluminação deve ser considerado como 1,00,
- $CMF_5$  é o fator de modificação pela fiscalização eletrônica, que pode variar entre 0,83 e 1,00.

Tabela 22 - Coeficientes da regressão em rodovias de pista dupla (Fonte: AASHTO, 2010; p.11-18)

| Severidade do acidente            | a      | b     | c     |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|
| Todos (inclusive danos materiais) | -9.025 | 1.049 | 1.549 |
| Fatal e todo tipo de lesões       | -8.837 | 0.958 | 1.687 |
| Fatal e lesões severas            | -8.505 | 0.874 | 1.740 |

Tabela 23 - Fator de modificação pela largura da faixa (Fonte: AASHTO, 2010; p. 11-30)

| Largura da pista (m) | Volume médio diário (veículos/dia) |                                                                     |                           |
|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                      | < 400                              | 400 - 2000                                                          | > 2000                    |
| ≤ 2,75               | $0,03 \cdot P_{RA} + 1,0$          | $[1,03 + 1,38 \cdot 10^{-4} \cdot (AADT - 400)] \cdot P_{RA} + 1,0$ | $0,25 \cdot P_{RA} + 1,0$ |
| 2,75 - 3,00          | $0,01 \cdot P_{RA} + 1,0$          | $[1,01 + 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot (AADT - 400)] \cdot P_{RA} + 1,0$ | $0,15 \cdot P_{RA} + 1,0$ |
| 3,00 - 3,50          | $0,01 \cdot P_{RA} + 1,0$          | $[1,01 + 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot (AADT - 400)] \cdot P_{RA} + 1,0$ | $0,03 \cdot P_{RA} + 1,0$ |
| > 3,50               | 1,00                               | 1,00                                                                | 1,00                      |

Nota:  $P_{RA}$  é a porcentagem de acidentes por saída de pista, tombamento e colisão lateral.

Tabela 24 - Fator de modificação pela largura do acostamento (Fonte: AASHTO, 2010; p.11-31)

| Largura média do acostamento (m) |        |             |             |        |
|----------------------------------|--------|-------------|-------------|--------|
| 0                                | ≤ 0,60 | 0,60 - 1,20 | 1,20 - 1,80 | > 1,80 |
| 1.18                             | 1.13   | 1.09        | 1.04        | 1.00   |

Tabela 25 - Fator de modificação pela largura do canteiro central (Fonte: AASHTO, 2010; p.11-31)

| Largura média do canteiro central (m) |             |             |              |               |               |               |         |
|---------------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| ≤ 3,00                                | 3,00 - 6,00 | 6,00 - 9,00 | 9,00 - 12,00 | 12,00 - 15,00 | 15,00 - 21,00 | 21,00 - 24,00 | > 24,00 |
| 1.04                                  | 1.02        | 1.00        | 0.99         | 0.97          | 0.96          | 0.95          | 0.94    |

Uma vez calculado o número previsto de acidentes corrigido para as condições locais e para cada ano do período de estudo, calcula-se o número total de acidentes esperado ( $N_e$ ) nesse período, como uma ponderação dos acidentes previstos no período completo ( $N_p$ ) e dos acidentes realmente observados no mesmo período ( $N_o$ ), conforme segue:

$$N_e = w \cdot \sum_i N_{p,i} + (1 - w) \cdot \sum_i N_{o,i} \quad (\text{XVII})$$

Onde  $w$  é um parâmetro de ponderação obtido indiretamente do coeficiente  $c$  da regressão (ver Tabela 22):

$$w = \frac{1}{1 + k \cdot \sum_i N_{p,i}} \quad (\text{XVIII})$$

$$k = \frac{1}{e^{(c + \ln(L))}} \quad (\text{XIX})$$

Segue o roteiro para realizar um estudo observacional “antes e depois” com o método empírico bayesiano, onde:  $i$  e  $j$  representam qualquer ano do período “antes” e “depois”, respectivamente;  $I$  e  $J$  representam a duração do período “antes” e “depois”, respectivamente; enquanto que  $N_b$  e  $N_a$  são o número total de acidentes registrados nesses períodos, respectivamente.

1. Para cada ano do período “antes” e “depois”, calcular o número de acidentes previstos pela SPF – apresentada na equação (XV) – e corrigir para as condições locais do trecho de estudo utilizando a equação (XVI).
2. Calcular a taxa de ajuste ( $r$ ) entre o número total de acidentes previstos para o período “antes” e “depois”.

$$r = \frac{\sum_{j=1}^J N_{p,j}}{\sum_{i=1}^I N_{p,i}} \quad (XX)$$

3. Calcular o número total de acidentes esperados para o período “antes” ( $N_{e,b}$ ) utilizando a equação (XVII). Note-se que o somatório  $\sum_i N_{o,i}$  é igual à variável  $N_b$ .
4. Estimar o número total de acidentes esperados para o período “depois” ( $N_{e,a}$  ou  $\pi$ ):

$$N_{e,a} = \pi = r \cdot N_{e,b} \quad (XXI)$$

5. Estimar o número de acidentes no período “depois” no trecho de estudo após implantação do projeto ( $\lambda$ ), obtido diretamente a partir do número total de acidentes registrados no período “depois” ( $N_a$ ) – ver equação (I).
5. Estimar as variâncias de  $\lambda$  e  $\pi$ :

$$\sigma^2(\lambda) = \lambda \quad (XXII)$$

$$\sigma^2(\pi) = r^2 \cdot N_{e,b} \cdot (1 - w) \quad (XXIII)$$

6. Estimar a redução de acidentes esperadas no período “depois” ( $\delta$ ) e a razão entre os acidentes obtidos e os esperados no período “depois” ( $\Theta$ ), conforme estabelecido nas equações (V) e (VI), respectivamente.
7. Calcular a precisão dos parâmetros estimados, de acordo às equações (VII) e (VIII).

Novamente, ressalta-se que o parâmetro  $\Theta$  deve ser substituído pelo parâmetro  $\Theta'$  se o número total de acidentes no período “antes” é menor que 100 no trecho de estudo.

### 5.8.2 DEFINIÇÕES PRELIMINARES

Uma vez que o projeto de sinalização foi implantado no mês de abril de 2015, determina-se como período de análise “Antes” ao compreendido entre agosto de 2008 –

data na qual começaram a ser registrados os acidentes no trecho pela concessionária – e março de 2015. E determina-se como período de análise “Depois” ao compreendido entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 – data na qual se conclui o projeto. Os registros de abril de 2015 serão excluídos da análise por ser o mês no qual foi implantada a sinalização no trecho.

Além de analisar os registros de acidentes no trecho de estudo, começaram a ser analisados os registros de acidentalidade em quatro trechos da rodovia Régis Bittencourt próximos ao trecho de estudo, três deles localizados na pista sul e um quarto trecho localizado na pista norte da rodovia. Os quatro trechos selecionados foram avaliados para identificar qual deles seria utilizado como trecho de comparação na avaliação da efetividade do projeto pelo estudo com grupo de comparação.

O primeiro trecho de comparação está situado entre o km 500+000 e o km 509+000 da pista sul – antes do trecho em estudo; o segundo trecho está situado logo depois do trecho em estudo, entre o km 518+400 e o km 523+000; enquanto que o terceiro trecho está situado entre o km 523+000 e o km 540+000, também na pista sul. Por fim, o quarto trecho está situado entre o km 509+000 e o km 519+000 – a mesma quilometragem do trecho de estudo – mas na pista norte. Na Figura 102 se observa a localização dos quatro trechos de comparação selecionados.

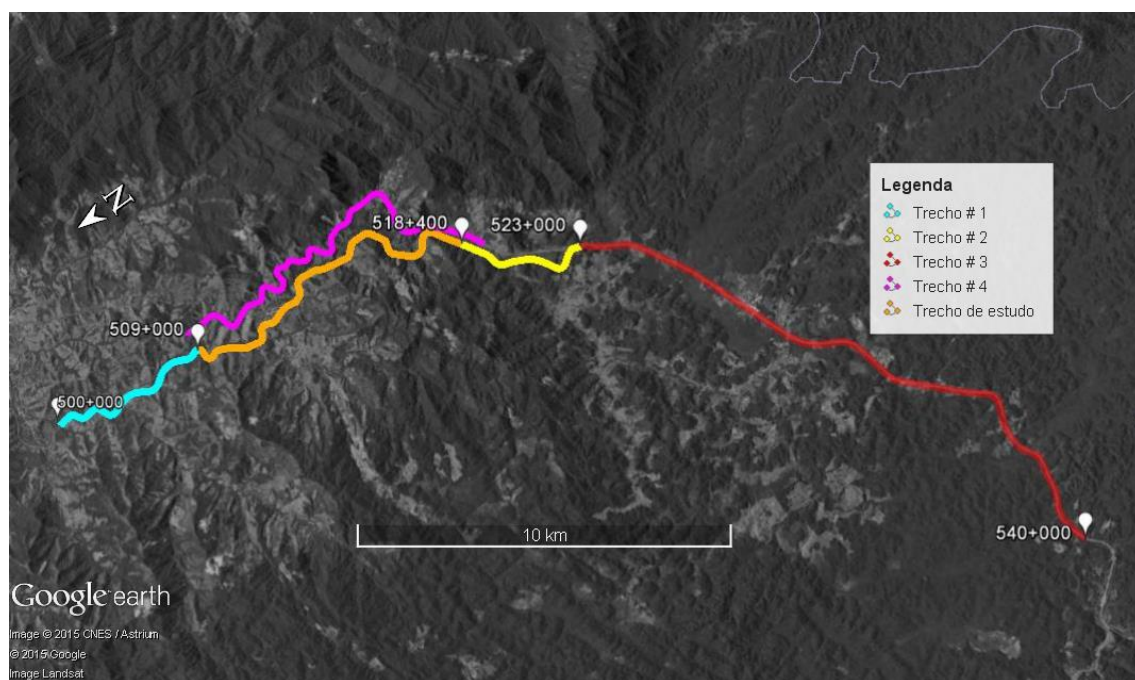


Figura 102. Localização dos trechos de comparação em relação ao trecho estudado

A Tabela 26 resume as características geométricas e de operação dos quatro trechos de comparação, assim como do trecho de estudo. Ressalta-se que o primeiro e o segundo trecho de comparação possuem características muito semelhantes em relação ao de estudo: traçado sinuoso em serra, velocidade limite de 60 km/h e três faixas de rolamento sem

acostamento; o quarto trecho possui características semelhantes, porém, com duas faixas de rolamento; enquanto que o terceiro trecho de comparação possui melhores especificações técnicas que os outros três. As Figuras 103 a 106 ilustram a seção transversal dos quatro trechos de comparação.

Tabela 26 - Características dos trechos de comparação

|                                                   | Trecho de estudo    | Trechos de comparação |                   |                   |                   |
|---------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                   |                     | # 1                   | # 2               | # 3               | # 4               |
| Início – Fim                                      | 509+000 – 518+400   | 500+000 – 509+000     | 518+400 – 523+000 | 523+000 – 540+000 | 509+000 – 519+000 |
| L: Comprimento (km)                               | 9,400               | 9,000                 | 4,600             | 17,000            | 10,000            |
| Tipo de terreno                                   | Montanhoso          | Montanhoso            | Montanhoso        | Ondulado          | Montanhoso        |
| Pista duplicada                                   | Sim                 | Sim                   | Sim               | Sim               | Sim               |
| Pista analisada                                   | Sul (sentido SP-PR) | Sul (SP-PR)           | Sul (SP-PR)       | Sul (SP-PR)       | Norte (PR-SP)     |
| Nc: Número de curvas                              | 20                  | 16                    | 6                 | 14                | 22                |
| Sinuosidade:<br>L/Nc (m)*                         | 470                 | 565                   | 765               | 1215              | 450               |
| VL: Velocidade limite<br>(km/h)                   | 60                  | 60                    | 60                | 110-90            | 60                |
| Número de faixas /<br>Wl: Largura da faixa<br>(m) | 3 / 3,5             | 3 / 3,5               | 3 / 3,5           | 2 / 3,5           | 2 / 3,5           |
| Acostamento /<br>Ws: Largura (m)                  | Não                 | Não                   | Não               | Sim / 2,0         | Sim / 1,0         |
| Wm: Largura do<br>canteiro central (m)            | >50                 | >50                   | >50               | 5                 | >50               |

\* A sinuosidade está expressa em distância média entre curvas, quanto menor a distância maior a sinuosidade do trecho.



Figura 103. Seção transversal tipo do trecho # 1: km 500+000 – km 509 + 000 (Pista Sul)

Fonte: Google Maps, foto do dia 15 de maio de 2015



Figura 104. Seção transversal tipo do trecho # 2: km 518+400 – km 523 + 000 (Pista Sul)  
Fonte: Google Maps, foto do dia 15 de maio de 2015



Figura 105. Seção transversal tipo do trecho # 3: km 523+000 – km 540 + 000 (Pista Sul)  
Fonte: Google Maps, foto do dia 15 de maio de 2015



Figura 106. Seção transversal tipo do trecho # 4: km 509+000 – km 519 + 000 (Pista Norte)  
Fonte: Google Maps, foto do dia 15 de maio de 2015

Em relação ao volume de tráfego nos trechos, serão utilizados os dados da praça de pedágio do km 542, em razão de não haver pontos de fuga de tráfego significativos entre a praça e os trechos de comparação e, por conseguinte, considera-se que os volumes de tráfego nos trechos de comparação e de estudo são semelhantes aos registrados na praça de

pedágio. A Figura 107 ilustra o crescimento linear do volume médio diário (VDM) na praça de pedágio entre 2010 e 2014, considerando o fluxo total nas duas pistas. Ressalta-se que, durante esse período de tempo, a distribuição do tráfego por pista tem sido equilibrada: 49% na pista sul e 51% na pista norte.

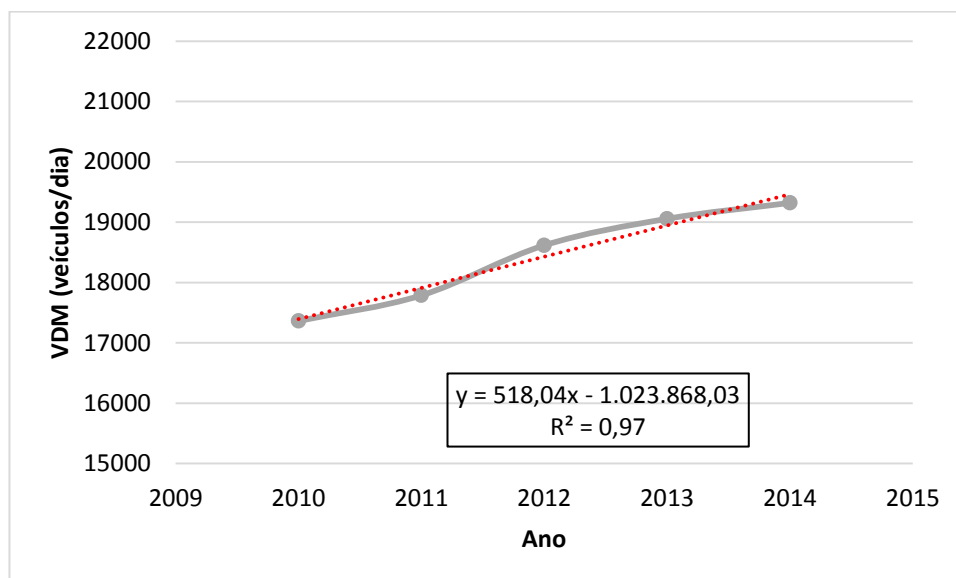


Figura 107. Crescimento do VDM na rodovia Régis Bittencourt: km 500+000 – km 540+000

### 5.8.3 ANÁLISE DO PERÍODO “ANTES”

Em relação ao trecho de estudo, entre 2011 e 2014 houve uma redução significativa no número de acidentes apesar do acréscimo no VDM no mesmo período, passando de 19 acidentes por mês (222 acidentes/ano) a menos de 4 acidentes por mês (46 acidentes/ano), ainda antes de implantar o projeto de sinalização. Porém, entre 2008 e 2011 houve um crescimento dos acidentes igualmente significativo, destacando que em 2008 o número de acidentes era semelhante ao registrado em 2014: menos de 4 acidentes por mês. A Figura 108 ilustra a variação da acidentalidade no trecho de estudo durante o período “antes”, junto com o crescimento do VDM da pista sul durante o mesmo período de tempo.

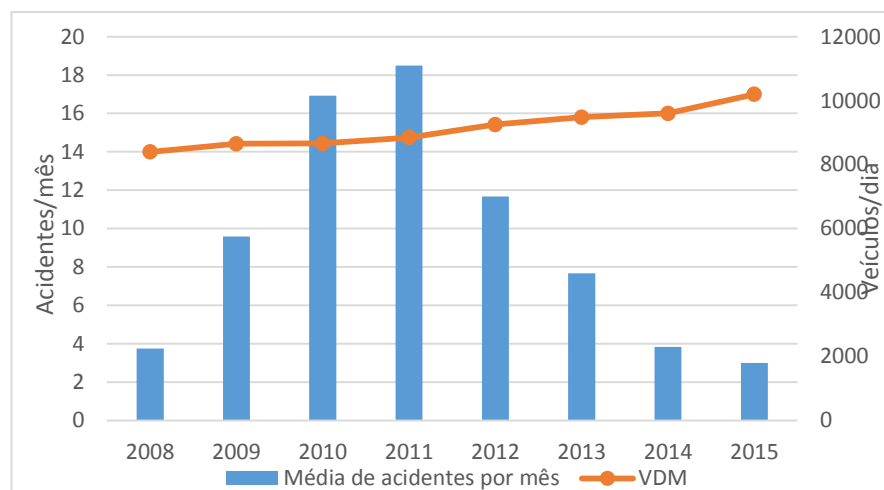


Figura 108. Número de acidentes médio por mês e VDM entre 2008 e 2015

O fato de primeiro ter aumentado o número de acidentes entre 2009 e 2011, e logo depois ter diminuído entre esse ano e 2014, até atingir o mesmo nível de acidentalidade de 2008, denomina-se na literatura como regressão à média. De acordo com esse conceito, o crescimento da acidentalidade entre 2009 e 2011 foi um comportamento anômalo e temporário no trecho, e, por conseguinte, espera-se que no longo prazo o número de acidentes realmente esteja entre três e quatro ocorrências por mês, isto é, entre 36 e 48 por ano.

Nos trechos de comparação se identificaram diferentes tendências de acidentalidade no período “antes”. Assim, no trecho de comparação # 1 (km 500+000 – km 509+000 da pista sul) observou-se um comportamento homogêneo da taxa de acidentalidade ao longo do período “antes”, oscilando entre três e cinco acidentes por mês, com um valor médio mensal de 4,1 acidentes (Figura 109).

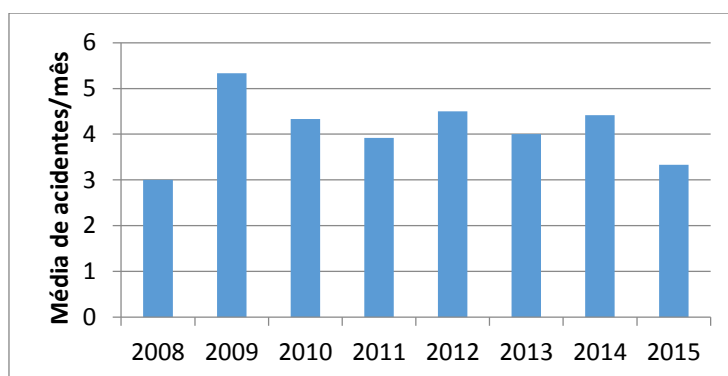


Figura 109. Média de acidente/mês no trecho de comparação # 1 entre 2008 e 2015

No trecho de comparação # 2 (km 518+400 – km 523+000 da pista sul) observou-se um comportamento aleatório da taxa de acidentes, sem que fosse possível estabelecer uma tendência de crescimento, diminuição ou regressão à média dos acidentes (Figura 110).

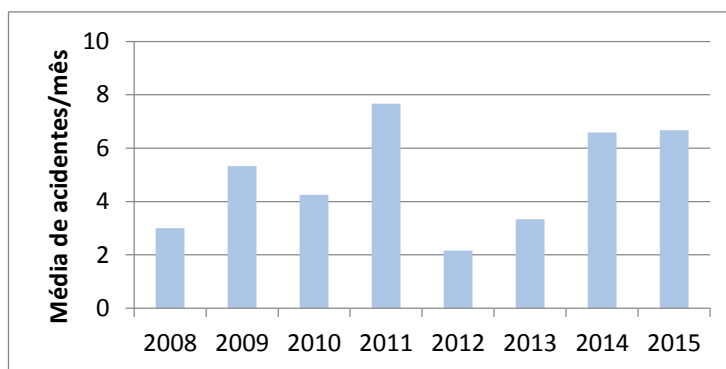


Figura 110. Média de acidente/mês no trecho de comparação # 2 entre 2008 e 2015

Já nos trechos de comparação # 3 (km 523+000 – km 540+000 da pista sul) e # 4 (km 509+000 – km 519+000 da pista norte) observaram-se comportamentos semelhantes ao do trecho de estudo: aumentando inicialmente a taxa de acidentes e diminuindo no final do período, até atingir níveis semelhantes aos registrados no começo do mesmo – ver Figuras 111 e 112.

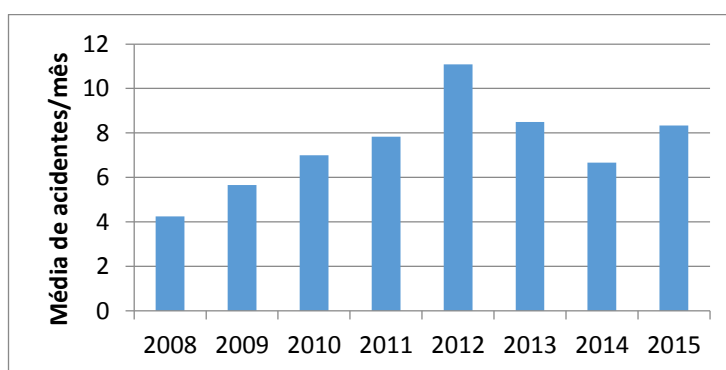


Figura 111. Média de acidente/mês no trecho de comparação # 3 entre 2008 e 2015

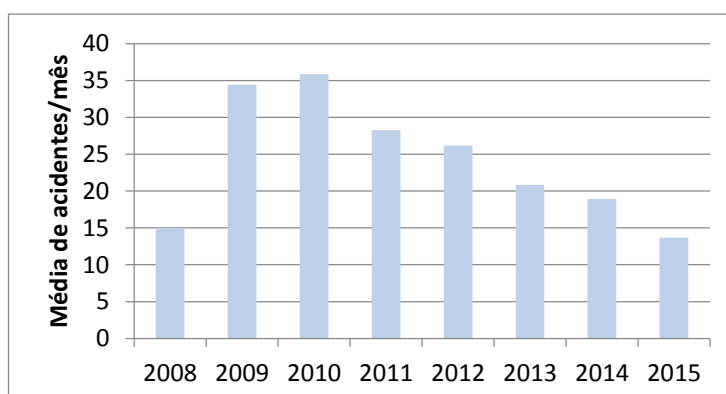


Figura 112. Média de acidente/mês no trecho de comparação # 4 entre 2008 e 2015

Com o intuito de selecionar o trecho de comparação que teve a maior concordância com o trecho de estudo em termos de acidentalidade, para cada trecho calculou-se o valor médio da série histórica de valores  $\omega$ , conforme definido no item 5.8.1.2. Para elucidar o cálculo da série histórica de valores  $\omega$ , segue o roteiro do cálculo feito para o trecho de comparação #

4. A segunda e a terceira coluna da Tabela 27 representam, respectivamente, as taxas médias de acidentes por mês no trecho de estudo e de comparação, para todos os anos do período “antes”.

1. Para os dois primeiros anos do período “antes”, 2008 e 2009, definiu-se à variável K como a taxa média de acidentes por mês em 2008 no trecho de estudo e à variável L como a taxa média de acidentes por mês em 2009 no mesmo trecho. Isto é, K=3,75 e L=9,58.
2. Também para os dois primeiros anos do período “antes”, define-se à variável M como a taxa média de acidentes por mês em 2008 no trecho de comparação e à variável N como a taxa média de acidentes por mês em 2009 no mesmo trecho. Isto é, M=15,00 e N=34,42.

3. Calcula-se o valor de  $\omega$  para os dois primeiros anos do período como segue:

$$\omega = \frac{K/L}{M/N} = \frac{3,75/9,58}{15,00/34,42} = 0,90$$

4. Repete-se o procedimento para os anos de 2009-2010, 2010-2011 e assim por diante até realizar o cálculo para os anos 2014-2015.
5. Por fim, calcula-se o valor médio da série histórica de valores  $\omega$ . Neste caso, o valor médio foi de 1,09.

Tabela 27 - Comparação dos acidentes no trecho de estudo e no trecho # 4

| Ano  | Trecho de estudo<br>(taxa média de<br>acidentes/mês) | Trecho de comparação # 4<br>(taxa média de<br>acidentes/mês) | $\omega$ |
|------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|
| 2008 | 3,75                                                 | 15,00                                                        | NA       |
| 2009 | 9,58                                                 | 34,42                                                        | 0,90     |
| 2010 | 16,92                                                | 35,83                                                        | 0,59     |
| 2011 | 18,50                                                | 28,25                                                        | 0,72     |
| 2012 | 11,67                                                | 26,17                                                        | 1,47     |
| 2013 | 7,67                                                 | 20,83                                                        | 1,21     |
| 2014 | 3,83                                                 | 18,92                                                        | 1,82     |
| 2015 | 3,00                                                 | 13,67                                                        | 0,92     |

A Tabela 28 resume os valores médios de  $\omega$  obtidos para cada trecho de comparação, lembrando que aquele trecho com o valor médio de  $\omega$  mais próximo de 1 deve ser o selecionado para realizar a análise do estudo com grupo de comparação. Neste sentido, selecionou-se o trecho de comparação # 4 (km 509+000 – km 518+000 da pista norte) para as futuras análises de comparação com o trecho de estudo. A Figura 113 ilustra a concordância nos registros de acidentes.

Tabela 28 - Seleção do trecho de comparação

| Trecho de comparação    | # 1  | # 2  | # 3  | # 4  |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Valor médio de $\omega$ | 1,19 | 1,55 | 1,26 | 1,09 |

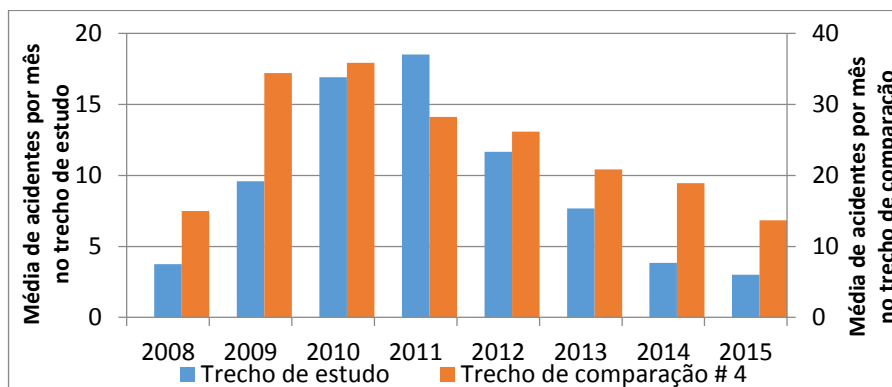


Figura 113. Comportamento da acidentalidade no período “antes” no trecho de estudo e no trecho de comparação # 4

Em definitivo, para avaliar a efetividade do projeto implantado no trecho de estudo pelo método do grupo comparativo, selecionou-se o trecho km 509+000 – km 518+000 da pista norte como referência de comparação.

Por fim, ressalta-se que o trecho de estudo pode ser dividido em dois grupos segundo o tipo de alterações realizadas na sinalização. Assim, o primeiro grupo compreende as duas curvas críticas dentro do trecho de estudo onde foi reforçada a sinalização com o semipórtico, as LERV e os MAN, que podem ser denominadas como alterações maiores. Enquanto que o segundo grupo compreende todos os locais restantes do trecho onde foram realizadas alterações menores na sinalização. A Figura 114 ilustra a localização dos dois grupos ou subtrechos.

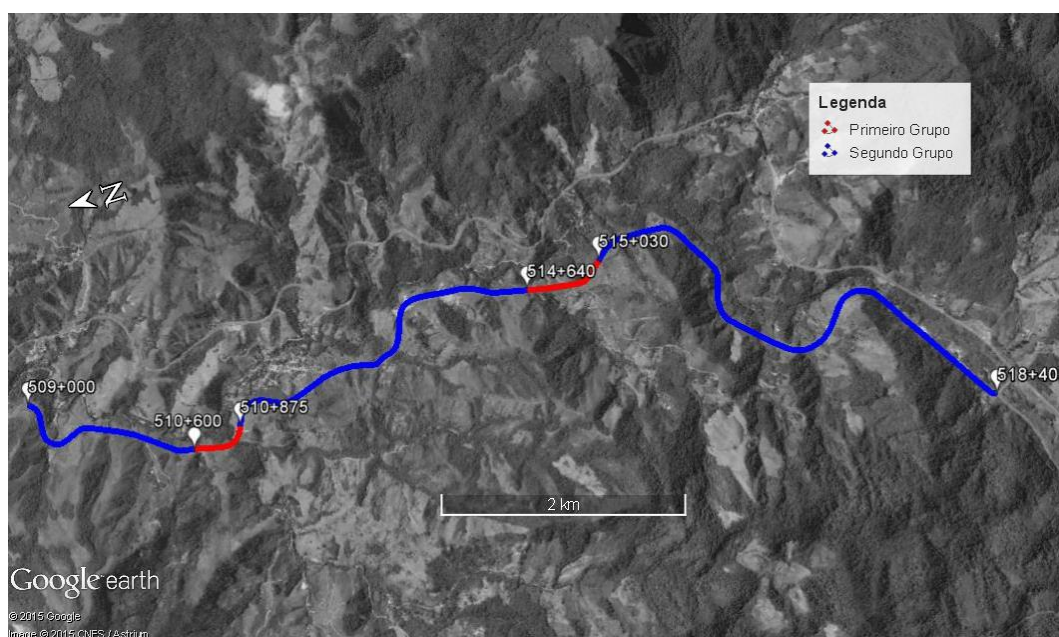


Figura 114. Localização do primeiro e segundo grupo no trecho de estudo

Considera-se que a efetividade das alterações maiores pode ser diferente à efetividade das alterações menores realizadas no segundo grupo do trecho. Por conseguinte, além de analisar a redução na acidentalidade no trecho todo durante o período “depois”, também foram analisadas as reduções na acidentalidade em cada grupo.

Na Figura 115 comparam-se os registros de acidentes nos dois grupos dentro do trecho de estudo durante o período “antes”, notando que os registros de acidentes foram semelhantes entre si durante esse período. Logo, também é possível considerar ao grupo de alterações menores como um trecho de comparação do grupo de alterações maiores, ou vice-versa, e assim confrontar a efetividade das alterações maiores e menores na sinalização através de um estudo com grupo de comparação. De fato, calculou-se o valor médio da série histórica de valores  $\omega$ , obtendo como resultado um valor médio de 0,99, que confirma a concordância entre os registros durante o período “antes”.

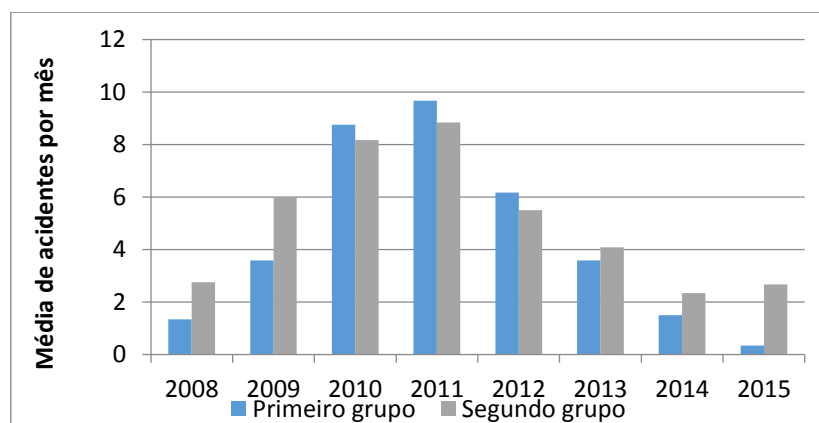


Figura 115. Comparação da acidentalidade no período “antes” nos grupos de alterações maiores e menores da sinalização no trecho de estudo

#### 5.8.4 ANÁLISE DESCRITIVO DO PERÍODO “DEPOIS”

Neste item são apresentados e analisados os registros de acidentalidade no trecho de estudo para o período “depois”, compreendido entre maio de 2015 e fevereiro de 2016. A Tabela 29 apresenta os acidentes registrados no trecho de estudo em cada mês do período “depois”, diferenciando os acidentes com vítimas e os acidentes com danos materiais.

Tabela 29 - Acidentes registrados no trecho de estudo no período “depois”

| Mês            | Acidentes com danos materiais | Acidentes com vítimas | Total de acidentes |
|----------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Maio/2015      | 2                             | 1                     | 3                  |
| Junho/2015     | 4                             | 0                     | 4                  |
| Julho/2015     | 5                             | 1                     | 6                  |
| Agosto/2015    | 2                             | 0                     | 2                  |
| Setembro/2015  | 2                             | 1                     | 3                  |
| Outubro/2015   | 2                             | 0                     | 2                  |
| Novembro/2015  | 4                             | 1                     | 5                  |
| Dezembro/2015  | 6                             | 2                     | 8                  |
| Janeiro/2016   | 3                             | 0                     | 3                  |
| Fevereiro/2016 | 0                             | 0                     | 0                  |
| Total          | 30                            | 6                     | 36                 |

Os acidentes registrados em cada mês foram comparados com os registros de anos anteriores para identificar possíveis reduções na acidentalidade no trecho após implantação da nova sinalização. Assim, a comparação para o mês de maio (Figura 116) permite observar que em 2015 registrou-se o menor número de acidentes nos últimos sete anos para esse mesmo mês, com apenas três acidentes ao longo do trecho todo.

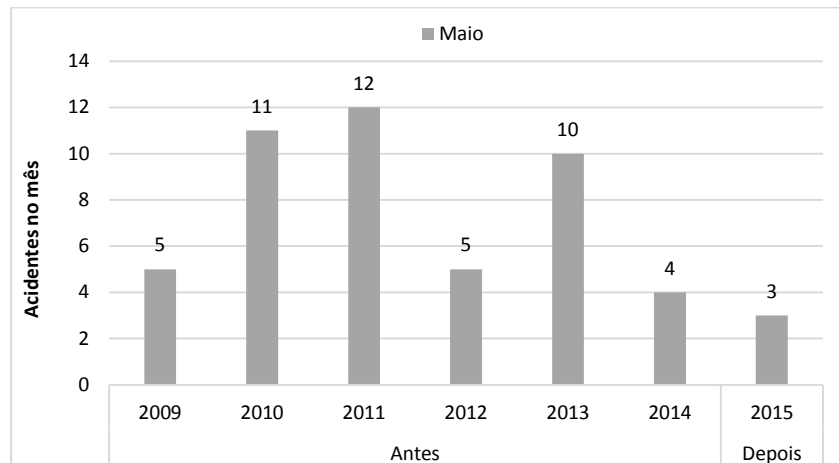


Figura 116. Comparação da acidentalidade no mês de maio no trecho de estudo

Em junho (Figura 117) e julho (Figura 118) de 2015 também se observaram níveis de acidentalidade muito baixos em relação à média dos últimos sete anos no trecho, registrando-se apenas quatro e seis acidentes por mês, respectivamente. Porém, é importante notar que nos dois meses houve mais acidentes que em 2014, onde se registraram apenas dois acidentes em junho e cinco em julho.

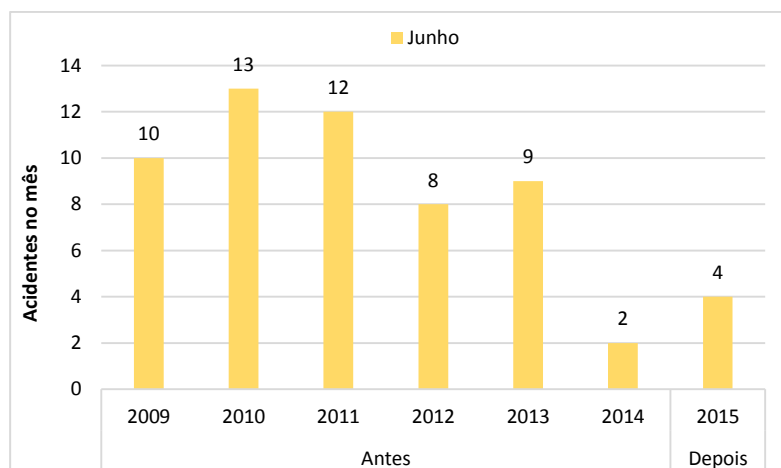


Figura 117. Comparação da acidentalidade no mês de junho no trecho de estudo

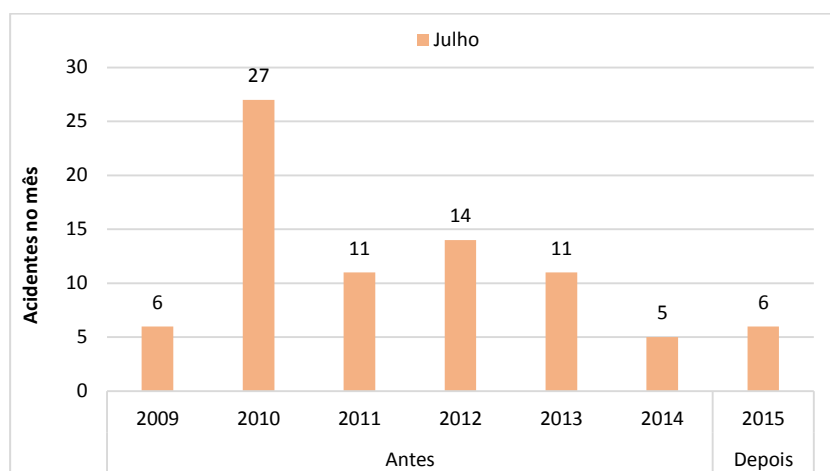


Figura 118. Comparação da acidentalidade no mês de julho no trecho de estudo

Já em agosto (Figura 119) e setembro (Figura 120) de 2015 observaram-se novamente os menores níveis de acidentalidade nos últimos sete anos, com apenas dois e três acidentes, respectivamente.

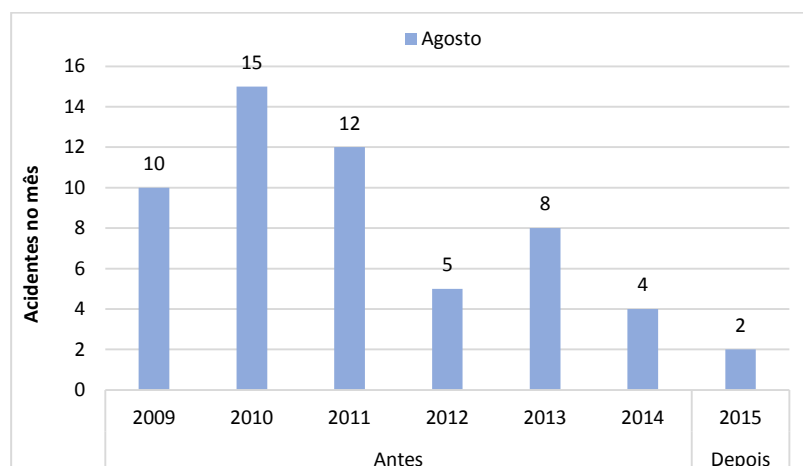


Figura 119. Comparação da acidentalidade no mês de agosto no trecho de estudo

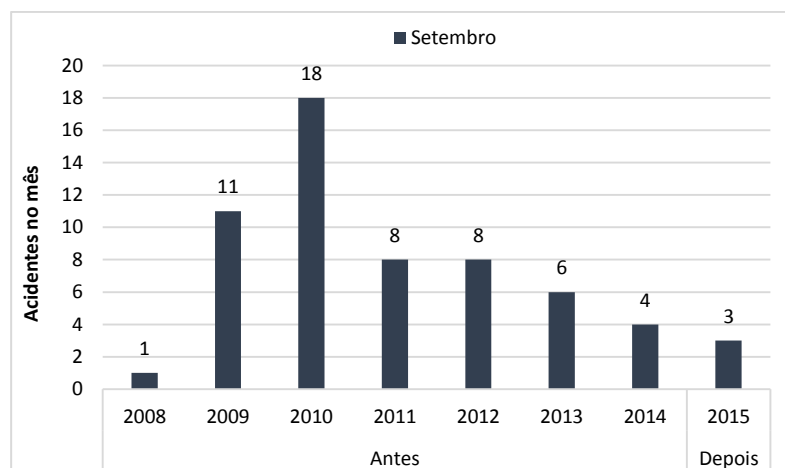


Figura 120. Comparação da acidentalidade no mês de setembro no trecho de estudo

Posteriormente, a comparação para o mês de outubro (Figura 121) permite observar que em 2015 também se registrou o menor número de acidentes nos últimos sete anos para esse período, com apenas dois acidentes ao longo do trecho todo.

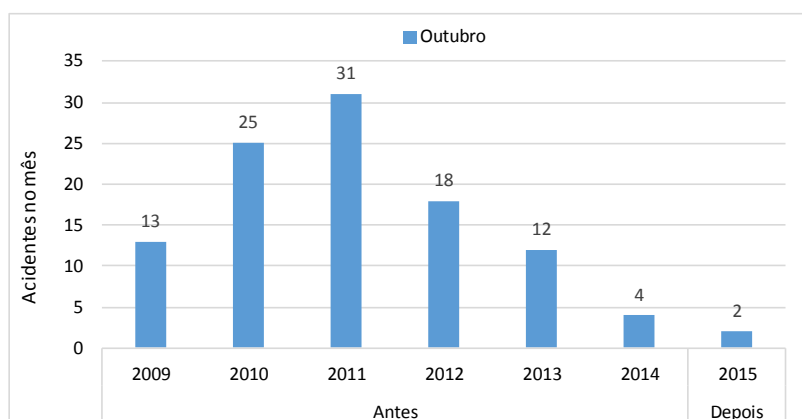


Figura 121. Comparação da acidentalidade no mês de outubro no trecho de estudo

Em novembro de 2015 (Figura 122) também se observou um nível de acidentalidade muito baixo em relação à média dos últimos sete anos no trecho, porém, o número total de acidentes registrado foi um pouco maior que em 2014. Numa análise mais detalhada em relação ao tipo e a possível causa do acidente, observa-se que nesse mês se registraram cinco tipos diferentes de acidentes: saída de pista, choque com elemento de drenagem (possivelmente por saída de pista), tombamento, colisão traseira e choque com algum objeto sobre a pista. Dos cinco tipos nota-se que o último (choque com objeto sobre a pista) não faz parte dos tipos de acidentes que podem ser mitigados com projetos de sinalização. Assim, considerando apenas os acidentes que podem ser mitigados pela sinalização, obteve-se o mesmo número de acidentes em novembro de 2015 e de 2014, onde todos os acidentes foram tombamentos, saídas de pista ou choques com outros veículos.

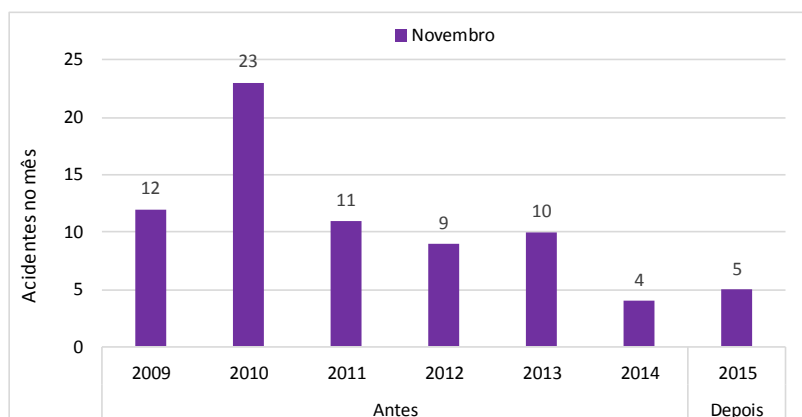


Figura 122. Comparação da acidentalidade no mês de novembro no trecho de estudo

Já em dezembro (Figura 123) observou-se o maior número de acidentes durante 2015, com até 8 registros, quatro vezes mais dos registrados no mesmo período em 2014 e o dobro dos acidentes de 2013. Porém, numa análise mais detalhada em relação ao tipo e a possível causa do acidente, observa-se que nesse mês registraram-se cinco tipos diferentes de acidentes: duas saídas de pista, um choque com defesa (por saída de pista), um capotamento, um engavetamento e três choques com algum objeto sobre a pista.

Logo, após retirar os acidentes por choques com objetos na pista, em dezembro de 2015 registraram-se apenas 5 acidentes, semelhante ao observado em 2013 (onde houve tombamentos, saídas de pista e capotamentos), mas ainda o dobro do registrado em 2014 (onde houve saída de pista e capotamento). Vale a pena ressaltar que o fato de ter três acidentes com objetos na pista no mesmo mês não é um dado menor, pois entre janeiro de 2010 e outubro de 2015 apenas registrou-se um acidente deste tipo.

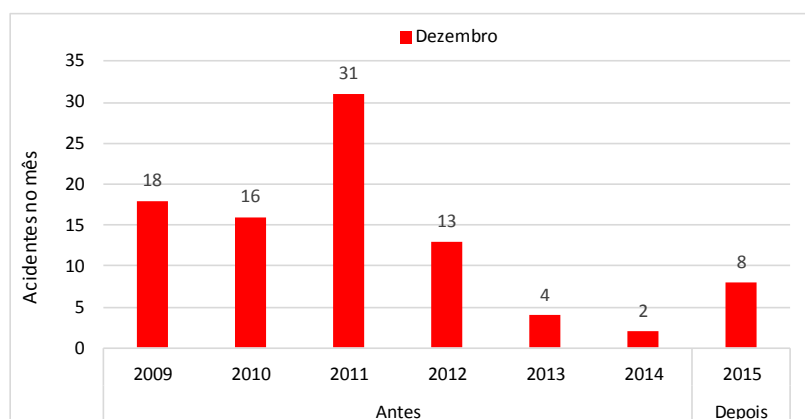


Figura 123. Comparação da acidentalidade no mês de dezembro no trecho de estudo

Por fim, nos meses de janeiro (Figura 124) e fevereiro (Figura 125) de 2016 os níveis de acidentalidade também foram os menores dos últimos sete anos, com três acidentes em janeiro e nenhum acidente registrado em fevereiro.

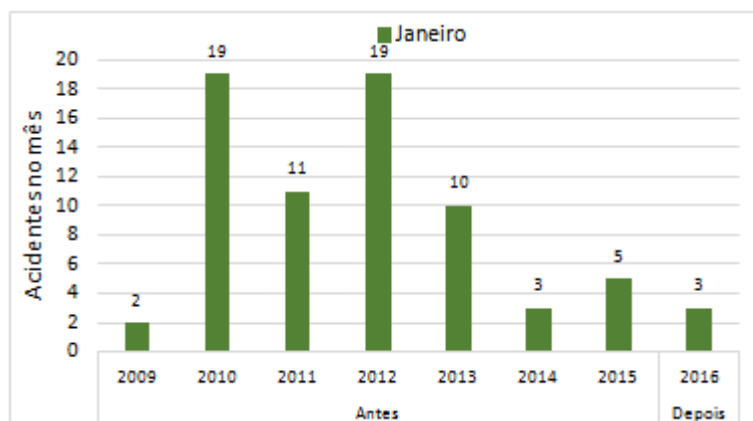


Figura 124. Comparação da acidentalidade no mês de janeiro no trecho de estudo

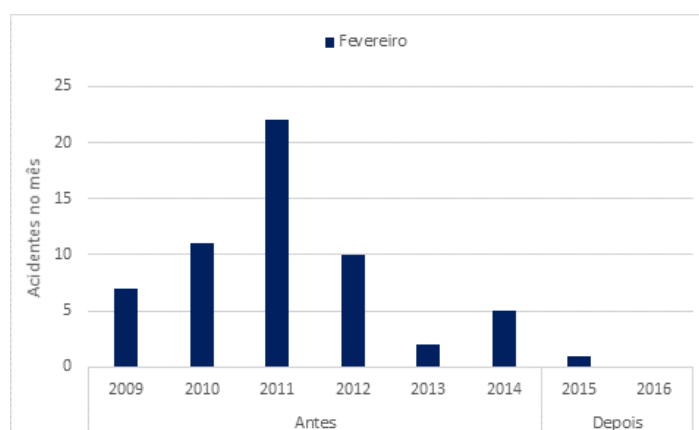


Figura 125. Comparação da acidentalidade no mês de fevereiro no trecho de estudo

No total, entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 registraram-se 30 acidentes no trecho de estudo (Figura 126) – excluindo-se os seis acidentes por choque com objetos sobre a pista – que equivale ao menor número de ocorrências registradas no trecho desde o início da concessão, com quatro acidentes a menos que entre maio de 2014 e fevereiro de 2015, uma redução de 12% na acidentalidade para o mesmo período de tempo.

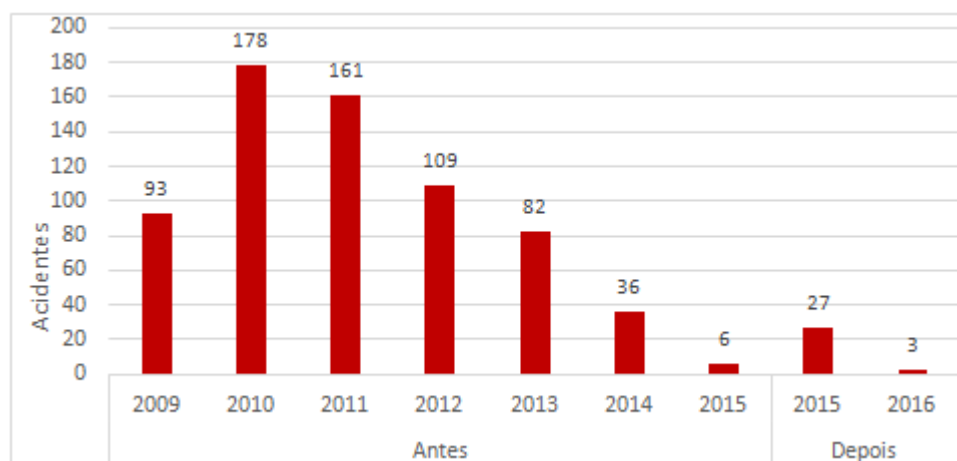


Figura 126. Comparação da acidentalidade entre maio e janeiro no trecho de estudo

Após dez meses da implantação do projeto de sinalização no trecho de estudo, conclui-se que a taxa mensal de acidentes observada no período “depois” é a menor taxa registrada desde o início da concessão, inclusive menor que as taxas de acidentalidade registradas em 2008 e 2014, as quais foram consideradas como a taxa média “padrão” de acidentalidade no trecho. A Figura 127 ilustra a comparação das taxas mensais de acidentalidade no trecho de estudo entre o período “antes” e “depois”, ressaltando que entre maio de 2014 e fevereiro de 2015 a taxa média de acidentes foi de 3,4, enquanto que no período “depois” da implantação do projeto de sinalização a taxa média caiu a 3,0 acidentes por mês.

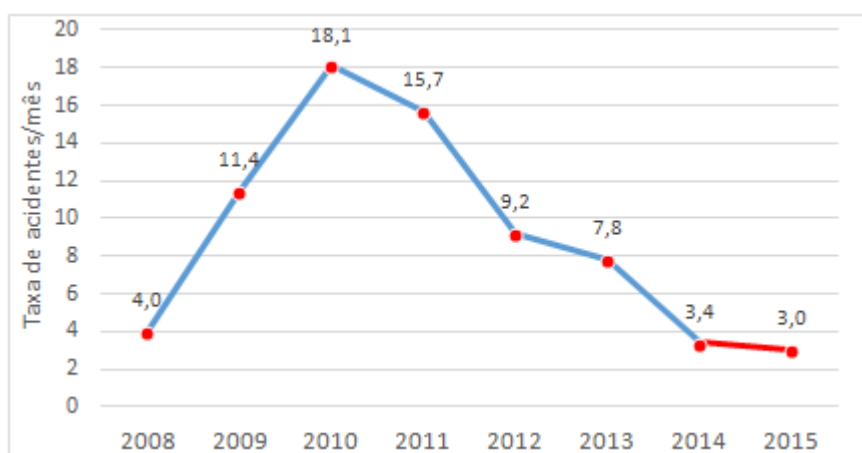


Figura 127. Comparação da taxa mensal de acidentalidade no trecho de estudo

Em relação à distribuição espacial dos acidentes é importante destacar que nas duas curvas críticas do trecho (C6 e C14) ocorreram apenas 5 dos 30 acidentes registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016, a metade dos acidentes registrados nesses locais durante maio de 2014 e fevereiro de 2015. Adicionalmente, vale a pena notar que nos últimos cinco meses não ocorreu nenhum acidente nas curvas críticas do trecho.

Em particular, na curva C14 (Figura 128) apenas ocorreu um acidente nos últimos oito meses e foi um choque com objeto na pista, logo, após a implantação da sinalização não tem ocorrido nenhum acidente nesse local associado com a sinalização.

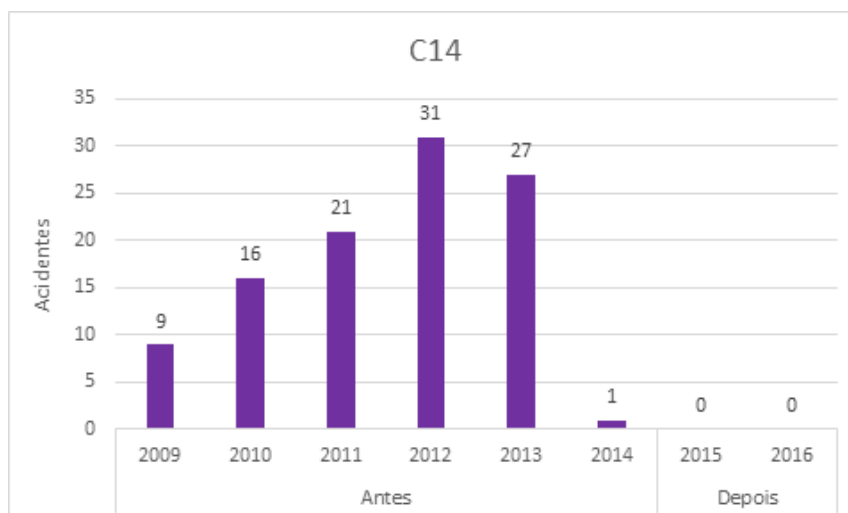


Figura 128. Comparação dos acidentes registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 na curva C14

Na curva C6 (Figura 129) ocorreram cinco acidentes nos últimos dez meses, o que equivale a uma redução de 40% em relação aos acidentes registrados para esses mesmos dez meses durante os últimos três anos. Os resultados obtidos permitem concluir que o fato de ter reforçado a sinalização nas curvas críticas tem contribuído para diminuir significativamente a acidentalidade nesses locais, até o ponto que seus novos níveis de acidentalidade estão abaixo da média do trecho todo.

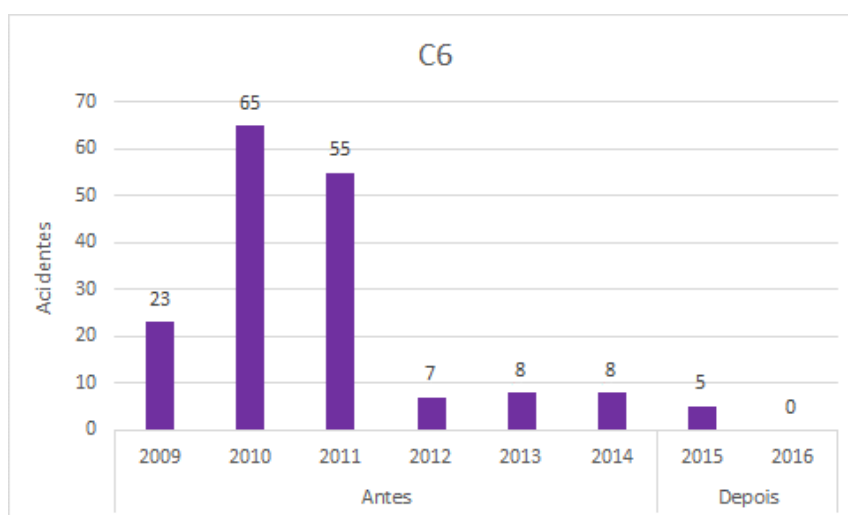


Figura 129. Comparação dos acidentes registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 na curva C6

Em relação a severidade dos acidentes, nota-se que entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 foram registrados seis acidentes com vítimas no trecho todo, semelhante ao observado um ano antes e entre duas e três vezes menos que a média dos últimos sete anos, conforme ilustra a Figura 130.

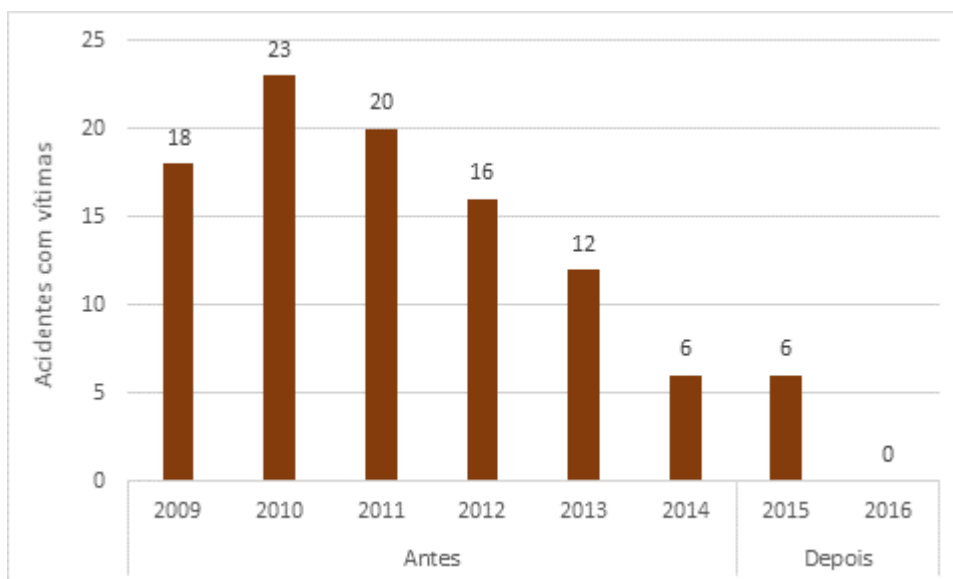


Figura 130. Comparação dos acidentes com vítimas registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 no trecho de estudo

Em relação ao tipo de acidente, vale a pena destacar que no período de análise “depois” ocorreram 10% menos acidentes por tombamento e capotamento que em 2014, enquanto que aumentaram os acidentes por saídas de pista, conforme ilustra a Figura 131. Com base nessa informação é possível afirmar que as velocidades têm diminuído significativamente nos acidentes registrados no trecho de estudo. A diferença torna-se ainda mais significativa no caso dos acidentes com vítimas, onde nos últimos três anos os tombamentos e capotamentos representaram entre 50% e 80% dos acidentes com vítimas, enquanto que no último ano apenas representaram 33% dos acidentes – ver Figura 132.

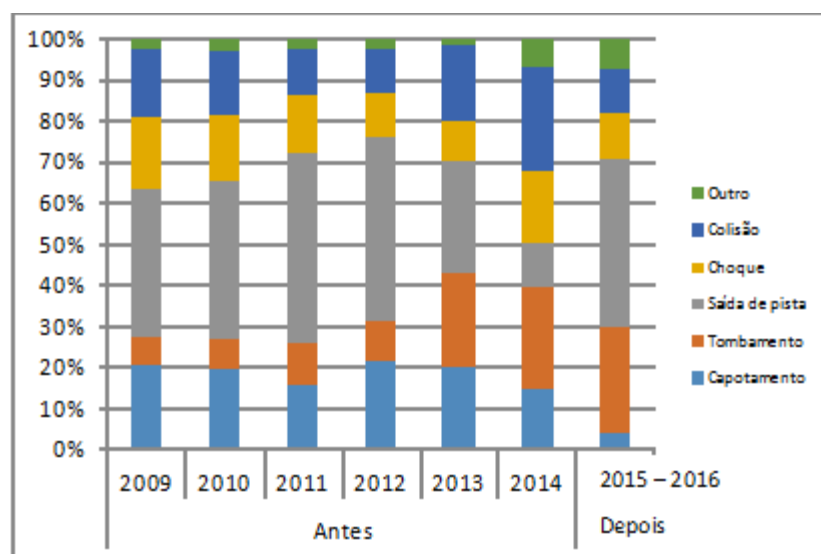


Figura 131. Comparação dos tipos de acidentes registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 no trecho de estudo

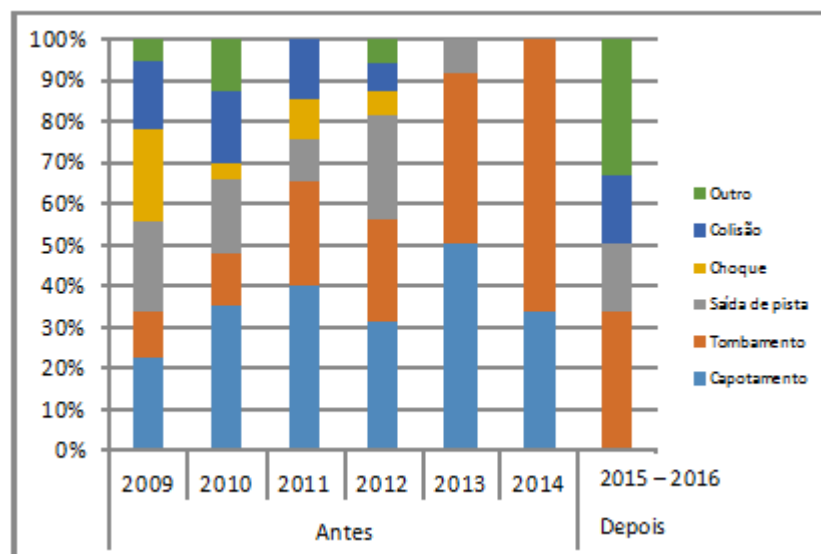


Figura 132. Comparação dos tipos de acidentes com vítimas registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 no trecho de estudo

Por último, analisou-se a possível causa dos acidentes, identificando-se que no período “depois” da implantação do projeto de sinalização as causas de acidentalidade por excesso de velocidade, descuido do motorista e perda de controle (gerada muitas vezes pelas duas causas anteriores) têm diminuído aproximadamente 5% em relação ao ano de 2014, atingindo o menor valor histórico nos últimos sete anos; enquanto que aumentaram os acidentes por objetos na pista e falhas mecânicas dos veículos. Esses dados sugerem novamente que a sinalização implantada tem contribuído para mudar o comportamento dos condutores no trecho.

#### 5.8.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PERÍODO “DEPOIS”

Com base nos acidentes registrados no trecho entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 realizou-se a análise estatística dos mesmos utilizando os três métodos apresentados no item 5.8.1.

##### 5.8.5.1 Análise pelo estudo “ingênuo”

Conforme mencionado anteriormente, este estudo parte de uma suposição “ingênua”: que o número de acidentes registrados no período “depois” teria sido igual ao número de acidentes registrados no período “antes”, caso o projeto não tivesse sido implantado; supondo que os períodos tenham a mesma duração de tempo. Esta suposição é válida apenas se todos os fatores que influenciam a acidentalidade (tráfego, clima, sinalização, comportamento dos motoristas, etc.) continuam constantes ao longo do tempo.

Com base nos dados registrados no período “antes” (ver item 5.8.3), entre agosto de 2008 e março de 2015 registraram-se 839 acidentes no trecho em 79 meses – sem contar os acidentes por choques com objetos na pista, que representam uma taxa mensal de 10,6 acidentes/mês. Seguindo a metodologia do estudo ingênuo (ver item 5.8.1), e considerando os dados de acidentalidade para o período “depois”, tem-se que:

$$\begin{aligned} I &= 79 \text{ meses no período "antes"} \\ J &= 10 \text{ meses no período "depois"} \\ N_b &= 839 \text{ acidentes no período "antes"} \\ N_a &= 30 \text{ acidentes no período "depois"} \end{aligned}$$

Logo,

$$\begin{aligned} \lambda &= N_a = 30 \text{ acidentes observados em dez meses} \\ \pi &= \frac{J}{I} \cdot N_b = \frac{10}{79} \cdot 839 = 106 \text{ acidentes esperados em dez meses} \end{aligned}$$

Comparando os valores realmente observados nos dez meses “depois” ( $\lambda$ ) e os valores esperados para esse mesmo período ( $\pi$ ), estima-se que a acidentalidade no trecho diminuiu em aproximadamente 76 acidentes – ou 71% – em relação aos valores esperados:

$$\begin{aligned} \delta &= \pi - \lambda = 106 - 30 = 76 \text{ acidentes} \\ \theta &= \frac{\lambda}{\pi} = \frac{30}{106} = 0,28 \end{aligned}$$

Isto representaria uma redução significativa da acidentalidade em relação aos valores observados nos últimos sete anos, porém, é importante lembrar as discussões do item 5.8.3, onde se concluiu que nos últimos anos houve uma regressão à média que gerou um crescimento anômalo da acidentalidade e que pode superestimar a efetividade do projeto. Assim, tirando os dados da regressão à média dos últimos anos, a taxa mensal de acidentes esperada no trecho é de aproximadamente 3,8 acidentes/mês, que representaria 38 acidentes esperados em oito meses.

Logo,

$$\begin{aligned} \lambda &= N_a = 30 \text{ acidentes observados em dez meses} \\ \pi &= 38 \text{ acidentes esperados em dez meses} \\ \delta &= \pi - \lambda = 38 - 30 = 8 \text{ acidente} \\ \theta &= \frac{\lambda}{\pi} = \frac{30}{38} = 0,79 \end{aligned}$$

Por conseguinte, descontando os efeitos da regressão à média, a redução da acidentalidade após implantação do projeto de sinalização, em relação ao valor esperado se nada tivesse sido feito, foi de oito acidentes ou uma redução de 21%. Resulta claro que este número é muito mais conservador que o obtido quando são considerados os dados anômalos durante o período de regressão à média e ainda assim continua representando uma redução significativa.

#### 5.8.5.2 Análise pelo estudo com grupo de comparação

O princípio do estudo com grupo de comparação é identificar um trecho com características semelhantes ao estudado, com registros de acidentes semelhantes no período “antes”, mas onde não foi realizada a mesma alteração da sinalização.

No item 5.8.3 identificou-se que o melhor trecho de comparação é a pista norte da rodovia Régis Bittencourt entre os quilômetros 509+000 e 519+000 e que as mudanças observadas ali são um indicativo da mudança que tivesse ocorrido no trecho de estudo, caso o projeto de sinalização não tivesse sido implantado.

A Figura 133 apresenta uma comparação entre os dados de acidentalidade registrados no trecho de estudo e no trecho de comparação durante os últimos sete anos para os períodos “antes” e “depois” da implantação do projeto de sinalização na pista sul. Nota-se que, embora as magnitudes da acidentalidade nos dois trechos sejam significativamente diferentes, as tendências são semelhantes entre si. Em particular, é importante destacar que no trecho de estudo a acidentalidade diminuiu de 3,8 para 3,0 acidentes por mês (21% menos), semelhante ao observado no trecho de comparação onde se passou de 19 acidentes por mês em 2014 para 15 acidentes por mês em 2015, que representa também uma redução de 21% na acidentalidade.

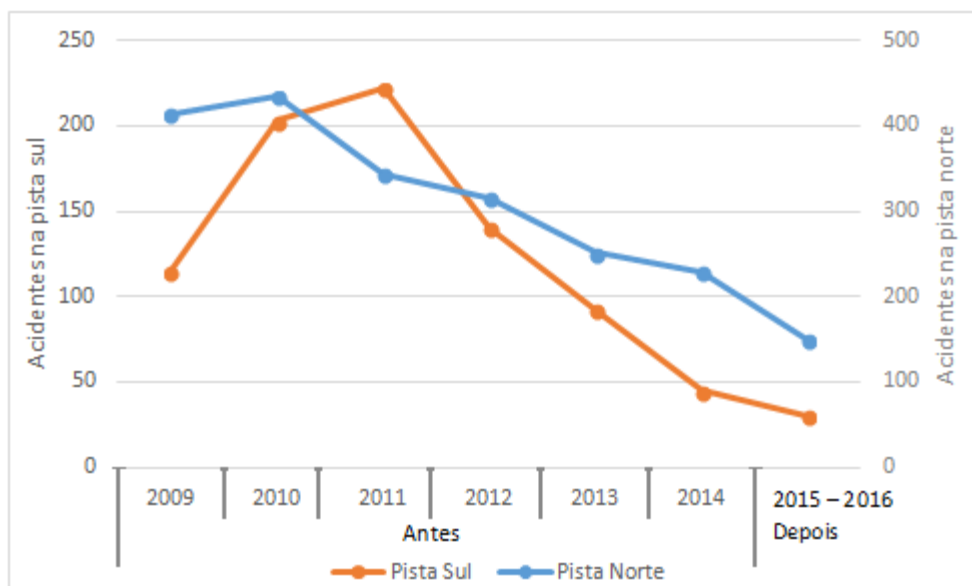


Figura 133. Comparação dos tipos de acidentes com vítimas registrados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 no trecho de estudo

Porém, assim como ocorreu na pista sul, na pista norte observa-se uma regressão à média nos últimos três anos – de fato, por isso foi o melhor trecho de comparação. Nesse sentido, adota-se como valor médio da acidentalidade no trecho de comparação o registrado nos primeiros meses de 2015, antes da implantação da sinalização na pista sul, que equivale a uma média de 13,3 acidentes por mês.

Assim, seguindo a metodologia apresentada no item 5.8.1.2 e considerando que:

- Em média, no trecho de comparação registravam-se 13,3 acidentes por mês no período “antes”, ou 133 acidentes em dez meses ( $N_b^c$ ),
- Que nos dez meses do período depois a média no trecho de comparação foi de 15 acidentes por mês, ou 150 acidentes em dez meses ( $N_a^c$ ), e
- Que no trecho de estudo o número de acidentes esperado “antes” ( $N_b$ ) e observado “depois” ( $N_a$ ) foi de 38 e 30 acidentes, respectivamente,

Tem-se que:

$$\lambda = N_a = 30 \text{ acidentes observados em dez meses}$$

$$r_c = \frac{N_a^c}{N_b^c} = \frac{15}{13,3} = 1,12$$

$$\pi = r_c \cdot N_b = 1,12 \cdot 38 = 42 \text{ acidentes esperados}$$

Logo, as reduções na acidentalidade no trecho de estudo em relação ao esperado com a tendência da pista norte foram:

$$\delta = \pi - \lambda = 42 - 30 = 12 \text{ acidentes}$$

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{30}{42} = 0,71$$

Assim, o trecho de estudo teve 12 acidentes menos que os esperados segundo o comportamento observado no trecho de comparação, o que representa uma redução de 29%. Com base nos resultados obtidos após implantação do projeto de sinalização, pode-se afirmar que ao longo do período “depois” o trecho onde foi implantada a sinalização teve uma redução significativa na acidentalidade, enquanto que no trecho de comparação a taxa de acidentalidade aumentou durante o mesmo período de tempo.

#### 5.8.5.3 Análise pelo método empírico bayesiano

A última análise foi o método empírico bayesiano, onde se utiliza uma função de desempenho de segurança (SPF) – baseada apenas nas características geométricas da rodovia e no tráfego – para estimar um valor médio de quantos acidentes ocorrem “normalmente” no trecho de estudo, sem viés por regressão à média. Adicionalmente, o método combina essa previsão de acidentes com o número real de acidentes observados no período “antes” para obter um valor esperado corrigido de quantos acidentes puderam ter acontecido no período “depois” se o projeto não tivesse sido implantado.

A metodologia, as equações e as tabelas utilizadas pelo método empírico bayesiano foram apresentadas no item 5.8.1.3, motivo pelo qual aqui serão apresentados apenas os resultados dessa metodologia.

O método empírico bayesiano faz uma previsão preliminar de 92 acidentes no trecho de estudo segundo os dados registrados durante os últimos sete anos e considerando todas as severidades de acidente – com danos materiais e com vítimas. Essa estimativa está baseada apenas na geometria do trecho, nos volumes de tráfego registrados nesses anos e na função de regressão (SPF) para rodovias semelhantes nos Estados Unidos (ver equações XV e XVI no item 5.8.1.3).

Porém, nos últimos sete anos observaram-se mais de 850 acidentes no trecho de estudo, motivo pelo qual a previsão foi corrigida com os dados de acidentalidade realmente observados (ver equação XVII no item 5.8.1.3), obtendo um valor esperado de 713 acidentes nos últimos sete anos, ou uma média de 89 acidentes por ano e 7,4 mensal.

Uma vez que nos últimos oito meses a taxa de acidentalidade no trecho tem sido de apenas 3,0 acidentes/mês, as comparações com os valores estimados pelo método empírico bayesiano resultariam em parâmetros de redução da acidentalidade superestimados – uma redução de quase 245%.

Isto permite concluir que o método empírico bayesiano não consegue estimar com precisão os acidentes esperados no trecho, talvez porque os níveis de acidentalidade registrados no trecho de estudo são maiores que os observados em rodovias americanas com características semelhantes – a partir das quais foram obtidas as SPF.

Uma vez que o método empírico bayesiano também permite estimar apenas os acidentes com vítimas (item 5.8.1.3) optou-se por fazer a análise considerando apenas os acidentes com vítimas. Nesse sentido, nos últimos sete anos registraram-se aproximadamente 160 acidentes com uma taxa média de 1,7 acidentes com vítima por mês, tal que em 2008, 2014 e 2015 (0,83) a taxa de acidentes com vítimas foi igual ou inferior a 1,0 e entre 2010 e 2012 foi superior a 2,5.

O método empírico bayesiano estima que, de acordo com as características do tráfego e da geometria do trecho de estudo, em média, deveriam ocorrer apenas 0,6 acidentes com vítimas por mês, isto é, 50% menor que o observado em 2015. Após ajustar essa estimativa prévia com os acidentes observados (ver equação XVII no item 5.8.1.3), o método empírico bayesiano passa a estimar uma taxa mensal de 1,3 acidentes com vítimas ou 10 acidentes em oito meses. Com base nesse resultado, pode-se afirmar que no período “depois” registraram-se 50% menos acidentes com vítimas que os esperados pelo método empírico bayesiano para o mesmo período de tempo, ressaltando novamente que este método está calibrado para padrões de rodovias americanas.

#### 5.8.6 ANÁLISES COMPLEMENTARES

Com o intuito de complementar as medidas adotadas sobre a sinalização do trecho para mitigar a acidentalidade, fizeram-se análises exploratórias sobre a incidência de outros elementos da rodovia que podem afetar a acidentalidade e que podem ser objeto de próximas pesquisas para diminuir ainda mais os níveis de acidentalidade.

Nesse sentido, avaliaram-se dois elementos rodoviários diferentes à sinalização e que na teoria podem influenciar os acidentes observados no trecho: por um lado, avaliou-se a macrotextura do pavimento para identificar possíveis falhas na aderência do mesmo que possam gerar saídas de pista, tombamentos e capotamentos; por outro, avaliou-se a consistência da geometria do trecho que pode gerar maiores riscos que os percebidos pelos motoristas.

##### 5.8.6.1 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA NA GEOMETRIA

A análise da consistência geométrica visa verificar se as principais características geométricas da via estão dispostas de forma harmônica e equilibrada, oferecendo ao condutor uma percepção de conforto e segurança compatível com seu dimensionamento e operação. Nesse sentido, a falta de consistência no projeto geométrico de uma rodovia está relacionada a uma das principais causas para a ocorrência de acidentes que, por sua vez, está diretamente relacionada com a segurança de tráfego.

O principal indicador utilizado para avaliar a consistência é a velocidade operacional, considerada o parâmetro mais expressivo do comportamento do motorista e representada pelo 85º percentil do perfil de velocidades. O método dos critérios de segurança de Lamm et al. (1999) utiliza a V85 para análise da consistência de projeto, comparando as velocidades

operacional e de projeto em cada elemento do alinhamento e para elementos sucessivos do alinhamento.

Assim, para avaliar a consistência na geometria do trecho compararam-se as velocidades de operação mensuradas em 2014 e as velocidades de operação estimadas num modelo de previsão desenvolvido para o trecho de estudo em função das características geométricas do mesmo. A Tabela 30 apresenta os critérios de avaliação.

Tabela 30 - Critérios de avaliação da consistência do projeto geométrico

| Critério                                 | Projeto Bom                                  | Projeto Razoável                                  | Projeto Ruim                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| I<br>comparação em cada elemento         | $ V_{85} - V_d  \leq 10 \text{ km/h}$        | $10 <  V_{85} - V_d  \leq 20 \text{ km/h}$        | $ V_{85} - V_d  > 20 \text{ km/h}$        |
| II<br>comparação em elementos sucessivos | $ V_{85i} - V_{85i+1}  \leq 10 \text{ km/h}$ | $10 <  V_{85i} - V_{85i+1}  \leq 20 \text{ km/h}$ | $ V_{85i} - V_{85i+1}  > 20 \text{ km/h}$ |
| III<br>aspectos dinâmicos do traçado     | $f_{RA} - f_{RD} \geq 0,01$                  | $-0,04 \leq f_{RA} - f_{RD} < 0,01$               | $f_{RA} - f_{RD} < -0,04$                 |

De acordo com a metodologia adotada (Lamm et al., 1999), a maior parte do trecho de estudo apresenta uma consistência RAZOÁVEL entre as velocidades coletadas em campo e as esperadas no modelo desenvolvido. Isto quer dizer que, apesar de que as velocidades operacionais em campo sempre foram superiores à velocidade modelada, à velocidade de projeto e ao limite estabelecido no trecho (60 km/h), essas diferenças não foram tão significativas para representar um risco aos condutores. Porém, duas seções do trecho apresentaram velocidades que podem representar algum risco ao motorista (ver Tabela 31); essas seções foram efetivamente as tangentes que precedem às curvas críticas que foram identificadas na análise de acidentalidade (C6 e C14).

Tabela 31 - Resultados avaliação da consistência nas velocidades

| Seção | Classificação | Seção | Classificação |
|-------|---------------|-------|---------------|
| C1    | RAZOÁVEL      | C11   | RAZOÁVEL      |
| T1    | RAZOÁVEL      | T11   | BOM           |
| C2    | RAZOÁVEL      | C12   | RAZOÁVEL      |
| T2    | RAZOÁVEL      | T12   | BOM           |
| C3    | RAZOÁVEL      | C13   | BOM           |
| T3    | RAZOÁVEL      | T13   | BOM           |
| C4    | RAZOÁVEL      | C14   | RAZOÁVEL      |
| T4    | RAZOÁVEL      | T14   | -             |
| C5    | RAZOÁVEL      | C15   | RAZOÁVEL      |
| T5    | RUIM          | T15   | RUIM          |
| C6    | RAZOÁVEL      | C16   | RAZOÁVEL      |
| T6    | BOM           | T16   | BOM           |
| C7    | RAZOÁVEL      | C17   | RAZOÁVEL      |

|     |          |     |          |
|-----|----------|-----|----------|
| T7  | BOM      | T17 | -        |
| C8  | RAZOÁVEL | C18 | RAZOÁVEL |
| T8  | BOM      | T18 | RAZOÁVEL |
| C9  | BOM      | C19 | RAZOÁVEL |
| T9  | BOM      | T19 | RAZOÁVEL |
| C10 | RAZOÁVEL | C20 | RAZOÁVEL |
| T10 | BOM      | T20 | RAZOÁVEL |

No caso da tangente que antecede a curva C6 (km 510+875) a velocidade operacional em campo é 33% superior à velocidade de projeto e 20% maior que a velocidade das curvas próximas, que representa um erro de concordância e percepção do risco dos motoristas, conforme se mencionou anteriormente na discussão da sinalização da curva. Já no caso da tangente que antecede a curva C14 (km 514+640) a velocidade operacional em campo é 27% superior à velocidade regulamentada e 12% maior que a velocidade das curvas próximas.

Nesta análise de consistência do projeto geométrico também se avaliou a consistência entre as velocidades de operação em elementos sucessivos do alinhamento horizontal, destacando que em todas as seções a transição da velocidade de operação foi classificada como BOA, exceto nas duas curvas críticas mencionadas anteriormente, onde a classificação foi RAZOÁVEL.

Por último, avaliaram-se os aspectos dinâmicos do alinhamento, ou seja, as diferenças entre os fatores de atrito laterais assumidos e demandados. Em geral, conclui-se que o fator de atrito lateral demandado é superior ao assumido.

#### 5.8.6.2 ANÁLISE DA MACROTEXTURA DO PAVIMENTO

Outra hipótese para tentar explicar os acidentes por saída de pista, capotamento e/ou tombamento é a falta de aderência na macrotextura do pavimento. Para testar essa hipótese realizaram-se ensaios de mancha de areia nas três curvas mais críticas do trecho e em cinco pontos em particular ao longo dessas curvas: km 509+000, 509+500, 511+000, 511+100 e 514+800.

Para realizar o ensaio (ver Figura 134) seguiram-se as disposições da norma ASTM E965-15 e o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, publicado no IPR-720 pelo DNIT em 2006, conforme segue:

1. Encontrar uma região cujo pavimento não contenha fissuras ou patologias aparentes,
2. Limpar a área escolhida para remover resíduos não desejáveis, como graxa, folhas e areia,
3. Despejar sobre o ponto escolhido o volume de areia padronizado de 25.000 mm<sup>3</sup> ± 150 mm<sup>3</sup>, com granulometria cujos grãos passem na peneira de abertura nominal 0,30 mm e fiquem retidos na peneira de abertura nominal de 0,15 mm,

4. Espalhar a areia pela superfície do pavimento, com movimentos contínuos e circulares até o início do surgimento dos agregados, com o auxílio de um instrumento cuja base tem o formato de um disco de borracha, o mesmo é apresentado na figura abaixo,
5. Medir então quatro diâmetros diferentes dessa mancha formada, e fazer a média das mesmas. Através do volume de areia e do diâmetro médio, encontra-se o valor da profundidade média da mancha de areia (MTD pelas siglas em inglês), conforme segue:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$



Figura 134. Ensaio do cone de areia nas curvas críticas do trecho de estudo

A Tabela 32 apresenta o resultado das medições do diâmetro das manchas de areia enquanto que a Tabela 33 apresenta o resultado do cálculo do diâmetro médio e o valor do MTD correspondente.

Tabela 32 - Diâmetros das manchas de areia registrados

| Trecho         | Ponto 1 [mm] |     |     |     | Ponto 2 [mm] |     |     |     | Ponto 3 [mm] |     |     |     | Ponto 4 [mm] |     |     |     |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|
|                | D1           | D2  | D3  | D4  | D1           | D2  | D3  | D4  | D1           | D2  | D3  | D4  | D1           | D2  | D3  | D4  |
| <b>509+400</b> | 240          | 230 | 220 | 230 | 270          | 230 | 230 | 250 | 200          | 220 | 240 | 210 | 260          | 270 | 250 | 250 |
| <b>511+100</b> | 180          | 190 | 160 | 180 | 180          | 180 | 185 | 180 | 190          | 190 | 230 | 190 | 220          | 200 | 210 | 215 |
| <b>514+800</b> | 340          | 310 | 230 | 290 | 250          | 210 | 220 | 250 | 180          | 170 | 180 | 160 | 250          | 240 | 240 | 240 |

Tabela 33 - Diâmetros médios e MTD

| Trecho         | Ponto 1 [mm]<br>D Médio | Ponto 2 [mm]<br>D Médio | Ponto 3 [mm]<br>D Médio | Ponto 4 [mm]<br>D Médio | Trecho<br>D Médio | MTD |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----|
| <b>509+400</b> | 230                     | 245                     | 218                     | 258                     | 238               | 0,6 |
| <b>511+100</b> | 178                     | 181                     | 200                     | 211                     | 193               | 0,9 |
| <b>514+800</b> | 293                     | 233                     | 173                     | 243                     | 235               | 0,6 |

Para avaliar o resultado do ensaio e, por conseguinte, a qualidade da macrotextura superficial do pavimento dos trechos estudados, recorreu-se ao Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT, publicação IPR – 720 de 2006. A Tabela 34 apresenta as classificações da macrotextura segundo os limites do ensaio.

Tabela 34 - Valores de referência do ensaio do cone de areia

| <b>Avaliação da Macrotextura/Método da Altura de Areia</b> |                                       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Profundidade Média                                         | Textura Superficial                   |
| HS < 0,2 mm                                                | Muito Fina ou Muito Fechada           |
| 0,2 mm < HS < 0,4 mm                                       | Fina ou Fechada                       |
| 0,4 mm < HS < 0,8 mm                                       | Média                                 |
| 0,8 mm < HS < 1,2 mm                                       | Grosseira ou Aberta                   |
| HS > 1,2 mm                                                | Muito Grosseira ou Aberta             |
| <b>Limites Sugeridos:</b>                                  | <b>HS Profundidade Média</b>          |
|                                                            | 0,6 mm < HS < 1,2 mm                  |
|                                                            | Textura Superficial Média a Grosseira |

De acordo com os resultados obtidos na tabela pode-se afirmar que as curvas estudadas têm profundidade média entre média a grosseira, e que esses valores estão dentro dos limites sugeridos pela publicação do DNIT de 2006. Logo, a hipótese inicial de que a falta de aderência na macrotextura pode ter influenciado os acidentes pode ser rejeitada de acordo com os resultados obtidos nos ensaios realizados em campo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo principal usar um simulador de direção e um sistema de rastreamento ocular para analisar a percepção dos condutores perante a sinalização vertical existente em um trecho da rodovia Régis Bittencourt e prever qual seria o comportamento dos condutores perante três alternativas de projeto que visavam complementar a sinalização e mitigar a acidentalidade no trecho de estudo.

A primeira grande contribuição deste estudo foi a montagem do simulador de direção e a integração e calibração do sistema de rastreamento do olhar *SmartEye*, os quais ficam disponíveis para serem utilizados em futuras pesquisas de percepção da sinalização e segurança viária em geral. Esta pesquisa é pioneira no Brasil e na América Latina no uso destas tecnologias para estudar o comportamento do condutor e espera-se que seja um incentivo para difundir seu uso no país em estudos de segurança viária e avaliação de projetos rodoviários.

A segunda contribuição deste estudo foi validar o uso do simulador de direção e do sistema de rastreamento ocular como tecnologias que permitem identificar se os condutores realmente percebem a sinalização dentro do ambiente virtual, quantas vezes, durante quanto tempo e a que distância, bem como a influência que tem a percepção da sinalização sobre a velocidade dos condutores. De fato, nesta pesquisa foi possível analisar todas as etapas do processo de percepção da sinalização vertical (detecção, compreensão e reação) e avaliar parâmetros de funcionalidade da sinalização como conspicuidade, compreensão e legibilidade; assim como parâmetros próprios da direção: velocidade, posição lateral, aceleração, ação do freio, entre outros, que em conjunto permitem mensurar a reação do condutor.

Os experimentos realizados no simulador de direção mensuraram cinco variáveis diferentes para avaliar a percepção e a relevância da sinalização: 1) o número de condutores que percebeu cada sinal, 2) o número de fixações, 3) o tempo de percepção, 4) a distância de percepção de cada sinal e 5) a variação da velocidade após percepção da sinalização. Adicionalmente, coletaram-se informações demográficas dos participantes para analisar sua correlação com a percepção da sinalização.

Adicionalmente, conferiu-se que o simulador de direção consegue reproduzir com fidelidade os comportamentos que teriam os condutores na estrada. Para concluir isto realizou-se uma comparação das velocidades de operação registradas no simulador de direção e no trecho em estudo, uma vez que a velocidade é a principal variável utilizada para estimar o comportamento dos condutores na direção. Os resultados dessa validação permitem afirmar que as velocidades registradas no simulador de direção foram significativamente maiores que as velocidades no trecho, principalmente porque no simulador de direção os condutores têm uma percepção de risco menor – os acidentes não têm nenhuma consequência real – e não estimam corretamente sua velocidade porque os estímulos visuais, de som, vibração e movimento não são idênticos aos percebidos na

realidade. Porém, encontrou-se correlação significativa entre as velocidades de operação no simulador de direção e no trecho real, isto quer dizer que se em um determinado local os condutores dirigiram mais rápido no trecho, também no simulador de direção dirigiram mais rápido nesse local.

Por conseguinte, os comportamentos observados no simulador de direção não foram iguais em magnitude aos observados no trecho real, mas seguiram a mesma tendência. Isto é definido como validade relativa do simulador – comumente atingida pelos estudos feitos em simuladores de direção – e é considerado requisito suficiente para esperar que as diferenças observadas no simulador de direção entre dois ou mais locais, situações ou cenários, sejam semelhantes na realidade – pelo menos em tendência. Portanto, espera-se que se entre dois projetos de sinalização testados, um deles resulta ser mais efetivo no simulador de direção, também será o mais efetivo na realidade. Isto valida o uso do simulador de direção na elaboração e avaliação de projetos de sinalização, que era o objetivo final do projeto.

Uma terceira contribuição do presente estudo foi ter utilizado os resultados do experimento no simulador de direção como critérios técnicos para avaliar possíveis falhas na percepção da sinalização e propor alterações na sinalização vertical do trecho. Assim, através do experimento no simulador de direção verificou-se: 1) que alguns sinais estavam mal posicionados em relação ao início da curva; 2) que era necessário duplicar alguns sinais para aumentar a sua conspicuidade; 3) que era possível retirar outros sinais porque não estavam sendo efetivos e, por último, 4) que a sinalização nos locais mais críticos precisava ser reforçada para chamar ainda mais a atenção sobre o risco desses locais. Posteriormente, com base nos resultados obtidos no simulador de direção, formularam-se três cenários para reforçar a sinalização nas curvas críticas, os quais foram testados no simulador de direção para determinar a efetividade que teriam na rodovia e selecionar qual deveria ser implantado na estrada.

O primeiro cenário compreendeu o uso de placas compostas e suspendidas em pórticos metálicos, o segundo cenário considerou o uso de Linhas de Estimulo para a Redução da Velocidade e Marcadores de Alinhamento Numerados (MAN), enquanto que o cenário número três foi uma combinação dos dois cenários anteriores: implantação conjunta das placas compostas, os LERV e os MAN nos locais mais críticos do trecho.

Dentre as três alternativas de sinalização propostas, a terceira alternativa – que combina o uso da sinalização existente nas curvas com uma placa suspensa em semipórtico, marcadores de alinhamento numerados e linhas de estímulo à redução da velocidade – gerou as maiores reduções na velocidade dos condutores no simulador de direção e atingiu o objetivo de que todos os condutores percebessem pelo menos um dos elementos de sinalização propostos. Adicionalmente, com esse reforço na sinalização, as duas curvas críticas foram destacadas entre as demais curvas da rodovia, alertando mais ao condutor sobre o risco nesses locais.

Com base nos resultados obtidos no simulador de direção, a terceira alternativa de sinalização foi selecionada para implantação e realizou-se o projeto executivo da mesma, detalhando as placas a serem retiradas, remanejadas e implantadas, com todas as especificações técnicas necessárias para sua elaboração e implantação no trecho. O projeto foi finalmente implantado no trecho em abril de 2015 e após sua implantação analisaram-se os registros de acidentalidade no trecho com o intuito de determinar sua efetividade real na mitigação dos acidentes. A equipe de assessoramento técnico da pesquisa realizou a auditoria da implantação do projeto, assim como uma visita ao trecho para apresentar o projeto à equipe técnica da concessionária.

A análise da acidentalidade “antes e depois” da implantação do projeto foi realizada a través de três técnicas diferentes: o estudo ingênuo, com grupo de comparação e o método empírico bayesiano. Os três estudos visam comparar os acidentes registrados após a implantação do projeto com o número de acidentes que teriam ocorrido se o projeto não tivesse sido implantado. Considerando que este último valor nunca é conhecido e que os estudos oferecem três formas diferentes de estimar esse valor, optou-se por utilizar todos eles para ter três abordagens distintas sobre a efetividade das alterações realizadas na sinalização do trecho.

Em relação à acidentalidade antes e depois da implantação do projeto destaca-se que a análise de comparação pelo método ingênuo permitiu identificar que nos últimos dez meses o número de acidentes registrados no trecho foi o menor dos últimos sete anos. Assim, antes da implantação do projeto de sinalização a taxa normal de acidentalidade no trecho estava em torno de 3,8 acidentes por mês, porém, com a implantação da nova sinalização essa taxa diminuiu para 3,0 acidentes mensais, uma redução de 21% na acidentalidade. Também vale a pena ressaltar que nas duas curvas mais críticas do trecho (C6 e C14) onde se reforçou a sinalização, os níveis de redução na acidentalidade são mais significantes que nas outras seções do trecho. De fato, nos últimos meses não se registrou nenhum acidente nessas duas curvas e os níveis de acidentalidade atingiram o menor valor histórico nos últimos sete anos.

Nas outras seções do trecho, diminuíram o número de acidentes por tombamento e capotamento, e diminuíram os acidentes por excesso de velocidade, distração do condutor e perda de controle – relacionado com as duas últimas causas. No entanto, aumentaram os acidentes por saída de pista e por falhas mecânicas e objetos na pista. Esses fatos permitem supor que as velocidades dos acidentes têm diminuído e que os condutores percebem melhor o risco do trecho.

Com base nos resultados obtidos no estudo com grupo de comparação afirma-se que, após a implantação do projeto, o trecho de estudo teve uma redução na acidentalidade de 29% em relação ao observado no trecho de comparação, onde a taxa de acidentalidade aumentou durante o mesmo período de tempo. De fato, o trecho de estudo apresenta os menores níveis de acidentalidade de todos os trechos estudados entre o km 500+000 e o km 540+000 nas pistas sul e norte da rodovia.

Por último, em relação à análise pelo método empírico bayesiano observou-se novamente que este superestima a redução na acidentalidade no trecho porque a comparação é feita com padrões de acidentalidade em rodovias americanas com características semelhantes às do trecho em estudo. Contudo, observou-se que o método é mais apropriado para avaliar os acidentes com vítimas, onde os resultados obtidos permitem afirmar que após implantação do projeto os acidentes com vítimas foram 50% menores que os esperados pelo método empírico bayesiano.

Em definitivo, com base nos resultados obtidos após dez meses da implantação da nova sinalização no trecho, é possível afirmar que o efeito real desse projeto na segurança viária tem sido positivo, diminuindo os níveis de acidentalidade abaixo dos valores normais e atingindo o mínimo histórico dos últimos sete anos.

## **7 LOCAL DE EXECUÇÃO**

A pesquisa é realizada na Autopista Régis Bittencourt – Rodovia BR-116/SP, trecho pista SUL entre o km 509+000 e km 518+400, considerando trechos em curva.

## **8 ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA**

A empresa que coordena os serviços é a ARTERIS S.A. - assessorada pelo DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTE DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP (EPUSP) e o DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA USP (EESC/USP).

### **8.1 EQUIPE DE ASSESSORAMENTO TÉCNICO**

Representada pela Engenheira:

- Maisa Pires Sacute, arteris S.A.;

Representada pela Professora:

- Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;

Demais Membros:

- Professores:
  - Prof. Dr. Felipe Issa Kabbach Jr., do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- Profa. Dra. Linda Lee Ho, do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
  - Prof. MSc. Rogério Lemos Ribeiro, Engenheiro Civil, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU);
  - Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt, Universidade Federal de Uberlândia.
  - Prof. Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo;
  - Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- Alunos de Pós-Graduação (USP):
    - Aurenice da Cruz Figueira (Doutorado, pesquisadora sênior)
    - Tiago Torquato (Doutorado)
    - Ana Luisa Torres (Mestrado)
    - Miguel Andrés Castillo (Mestrado)

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials – A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – Washington D.C., 2011.
2. AASHTO. Highway Safety Manual. Washington, DC.: American Association of Highway and Transportation Officials. 2010
3. ANTT. *Avaliação da Sinalização Viária com base em Padrões de Desempenho Funcional*. Brasília, D.F.: Agência Nacional de Trânsito e Transporte. 2010
4. BELLA, F. Can Driving Simulators Contribute to Solving Critical Issues in Geometric Design? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 120-126. 2009
5. BELLA, F., & D'AGOSTINI, G. DRIVING SIMULATION FOR DESIGN CONSISTENCY. *4th International Symposium of Highway Geometric Design*. Valencia, España. 2010
6. BENEDETTO, A., de Angelini, A., di Renzo, D., Guerrieri, F., and Markham, S. "About the Standards of a Driving Simulation for Road Engineering: A New Approach", Proceedings of the Seventh International Conference Applications of Advanced Technologies in Transportation ASCE, 704-711. 2002.
7. BHATTI, G.; Jessel, J. P.; BREMOND, R.; Millet, G.; VIENNE, F. Towards the development of a user interface to model scenarios for driving simulations. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França. 2012.
8. BLANA, E. *Driving simulator validation studies: A literature review*. Leeds, UK: Institute of Transport Studies, University of Leeds, Working Paper 480. 1996.
9. CASTRO, C., HORBERRY, T., & TORNAY, F. The Effectiveness of Transport Signs. In: C. Castro, & T. Horberry, The Human Factors of Transport Signs (pp. 49-70). Boca Rato, USA: CRC Press. 2004.
10. CHRYSLER, S., & NELSON, A. Design and Evaluation of Signs and Pavement Markings Using Driving Simulators. Em D. L. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology* (p. 36). Boca Raton, USA: CRC Press. 2011.
11. CONTRAN-Conselho Nacional de Trânsito. (2007). Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volumes I e II. Brasília: CONTRAN-DENATRAN.
12. COSTA, M., SIMONE, A., VIGNALI, V., LANTIERI, C., BUCHI, A., & DONDI, G. Looking behavior for vertical road signs. *Transportation Research F*, v. 23, p. 147–155. 2014.
13. DER-SP. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Manual de sinalização rodoviária. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem. 2006.
14. DEWAR, R. E., & OLSON, P.L. Human Factors in Traffic Safety (second Edition). Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company, Inc. 2007.
15. DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de Projeto Geométrico. Rio de Janeiro. 1999.
16. DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Sinalização Rodoviária –3.ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ. 2010.
17. DUCHOWSKI, A. *Eye Tracking Methodology, Theory and Practice*. Londres: Springer. 2007.
18. EVANS, L. *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, USA: Science Serving Society. 2004.
19. FIGUEIRA, A. C. O uso de ferramentas de visualização tridimensional na detecção de deficiências em projeto geométrico de vias. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

20. FITCH, G., LEE, S., KLAUER, S., HANKEY, K., SUDWEEKS, J., & DINGUS, T. *Analysis of Lane-Change Crashes and Near-Crashes*. DOT HS 811 147. 2009.
21. FISCHER, M.; ERIKSSON, L. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), (Sweden) Evaluation of methods for measuring speed perception in a driving simulator. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França. 2012.
22. FISHER, D. L., RIZZO, M., CAIRD, J., & LEE, J.D. Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology. Boca Raton, FL: CRC Press. 2011.
23. GIBREEL, G. M. et al. State of the art of highway geometric design consistency. Journal of Transportation Engineering 125, No. 4, pg 305-313, 1999.
24. GODLEY, S.T., TRIGGS, T.J.; FILDES, B.N. Driving Simulator Validation for Speed Research, Accident Analysis and Prevention, 34, 589-600. 2002
25. GOOGLE EARTH. Software de propriedade da Google Inc. Acesso em 17/04/2014.
26. KAPTEIN, N., THEEUWES, J., & van der HORST, R. Driving simulator validity: Some considerations. *Transportation Research Record* 1550, 30-36. 1996.
27. KENNEDY, R., LANE, N., BERBAUM, K., & LILIENTHAL, M. Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. 1993.
28. HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. Análisis Multivariante. Pearson. Prentice Hall. 2005.
29. HAUER, E. Observational Before – After Studies in Road Safety – Estimating the effect of highway and traffic engineering measure on road safety. Ed. Emerald, UK., 1997.
30. HUNTER, W. G., HUNTER, J. S., Box, G.E.P. Statistics For Experimenters: Design, Innovation, And Discovery. 2nd Edition. Editora John Wiley & Sons. 2005.
31. JOHANSSON, G., & BACKLUND, F. Drivers and road signs. *Ergonomics* 13, 749-759. 1970
32. KLEE, H.; BAUER, C., RADWAN, E.; AL-DEEK, H. Preliminary Validation of Driving Simulator Based on Forward Speed”, *Transportation Research Record*, 1689, 33-39. 1999.
33. LAMM, R., PSARINOS, B., MAILAENDER, T. Highway design and traffic safety engineering handbook. McGraw Hill, Inc., New York. 1999.
34. LAY, M. Design of Traffic Signs. In: C. Castro, & T. Horberry, The Human Factors of Transport Signs (pp. 25-48). Boca Raton, USA: CRC Press. 2004.
35. MALYSKINA, N.V., MANNERING, F. Effect of Increases in Speed Limits on Severities of Injuries in Accidents. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, nr 2083. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 122-127, 2008.
36. McFADDEN, J.; ELEFTERIADOU, L. Evaluating Horizontal Alignment Design Consistency of Two-Lane Rural Highways - Development of New Procedure. *Transportation Research Board* 1737, pg 9-17, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2007.
37. MORI, M., & ABDEL-HALIM, M. Road Sign Recognition and non-recognition. *Accident Analysis and Prevention*, 13, 101-115. 1981.
38. NG, J. C. W., SAYED, T. Effect of geometry design consistency on road safety. Canadian Journal of Civil Engineering. NCR Research Press. Canada, 2004.
39. NZ Transport Agency, 2009. Getting your car licence. Disponível em <http://www.nzta.govt.nz/licence/getting/cars/car-licence.html>. Acesso em 02/04/2014.
40. OLIVER, J. (2012). Driving simulation applications in immersive environments. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França.

41. Queensland Department of Transport and Main Roads, 2010. Hazard perception test. Disponível em: <http://www.tmr.qld.gov.au/Licensing/Getting-a-licence/Carlicence/Provisional-licence/Hazard-perception-test.aspx>. Acesso em 02/04/2014.
42. RANNEY, T. Psychological Fidelity: Perception of Risk. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. Boca Raton, USA: CRC Press. 2011.
43. SANTIAGO-CHAPARRO, K.; DeAMICO, M.; BILL, A.; CHITTURI, M.; NOYCE, D. (2011). Virtual Road Safety Audits Using Driving Simulators: A Framework. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianapolis, Indiana, EUA.
44. SPRENGER, A., SCHNEIDER, W., & DERKUM, H. Traffic signs, visibility and recognition. Em A. GALE, *Vision in vehicle II* (pp. 421-425). Oxford: Elsevier Science. 1999.
45. Transport Roads & Traffic Authority NSW, 2010. Licensing. Disponível em: <http://www.rta.nsw.gov.au/licensing/index.html>.
46. TRB. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA, 2010.
47. WELLER, G. *The Psychology of Driving on Rural Roads*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften. 2010.
48. WETTON, M. A., HILL, A., HORSWILL, M. S. The development and validation of a hazard perception test for use in driver licensing. *Accident Analysis and Prevention* 43, pag 1759–1770, 2011.
49. WHO. *Global status report on road safety 2013*. Acesso em 20 de Outubro de 2014, disponível em [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/). 2013
50. WITMER, B., & SINGER, M. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence*, Vol. 7, No. 3, 225–240.

## Links:

<http://www.decadatransitoseguro.com.br>

<http://www.nads-sc.iuowa.edu>

<http://www.its.leeds.ac.uk>

<http://www.vi-grade.com/index.php?pagid=drivesim>

[http://www.antt.gov.br/html/objects/\\_downloadblob.php?cod\\_blob=7182](http://www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=7182)

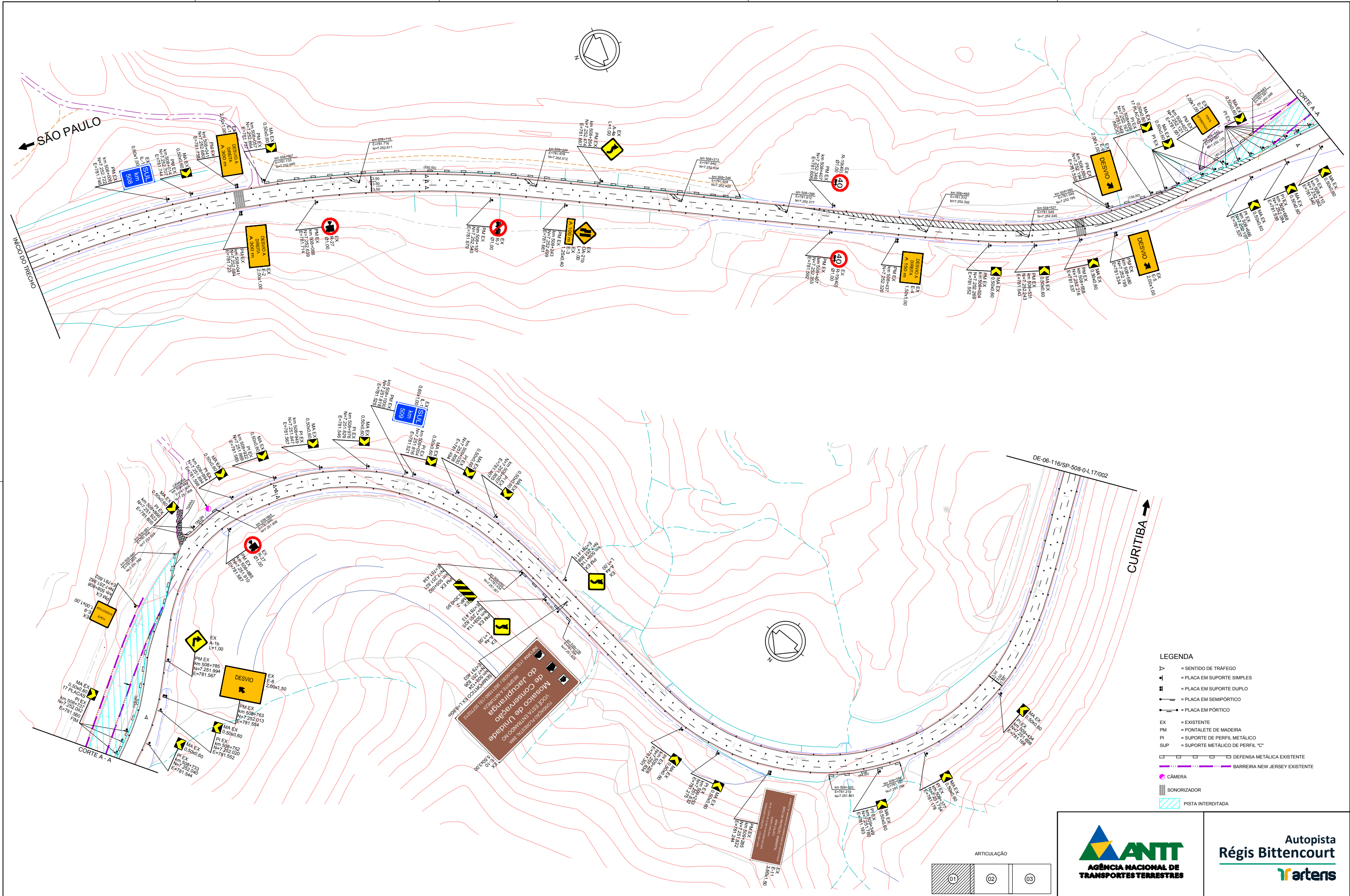
## ANEXOS

## **ANEXO 1 - PARÂMETROS DO ALINHAMENTO HORIZONTAL**

## PARÂMETROS DO ALINHAMENTO HORIZONTAL DAS CURVAS NO TRECHO EM ESTUDO

| ID  | km inicial | km final | Comprimento [m] | R [m] | Lc [m] | Le1 [m] | Le2 [m] | Ângulo central (°) | Taxa de transição do raio entre curvas |
|-----|------------|----------|-----------------|-------|--------|---------|---------|--------------------|----------------------------------------|
| C1  | 508+740    | 509+110  | 347             | 130   | 187    | 80      | 80      | 82,4               | –                                      |
| C2  | 509+175    | 509+510  | 338             | 130   | 218    | 60      | 60      | 96,1               | 1,0                                    |
| C3  | 509+550    | 509+725  | 174             | 130   | 54     | 60      | 60      | 23,8               | 1,0                                    |
| C4  | 509+960    | 510+125  | 142             | 615   | 142    | –       | –       | 13,2               | 4,7                                    |
| C5  | 510+435    | 510+600  | 166             | 190   | 6      | 80      | 80      | 1,8                | 0,3                                    |
| C6  | 510+875    | 511+120  | 261             | 130   | 101    | 80      | 80      | 44,4               | 0,7                                    |
| C7  | 511+170    | 511+510  | 341             | 180   | 221    | 60      | 60      | 70,2               | 1,4                                    |
| C8  | 511+575    | 511+835  | 263             | 230   | 83     | 90      | 90      | 20,6               | 1,3                                    |
| C9  | 512+080    | 512+425  | 345             | 615   | 345    | –       | –       | 32,1               | 2,7                                    |
| C10 | 512+540    | 512+910  | 369             | 190   | 189    | 90      | 90      | 57                 | 0,3                                    |
| C11 | 512+960    | 513+345  | 352             | 190   | 172    | 90      | 90      | 51,7               | 1,0                                    |
| C12 | 513+645    | 513+810  | 162             | 230   | 2      | 80      | 80      | 0,5                | 1,2                                    |
| C13 | 513+860    | 514+070  | 170             | 605   | 170    | –       | –       | 16                 | 2,6                                    |
| C14 | 514+640    | 514+845  | 205             | 130   | 45     | 80      | 80      | 19,7               | 0,2                                    |
| C15 | 515+030    | 515+300  | 270             | 230   | 90     | 90      | 90      | 22,3               | 1,8                                    |
| C16 | 515+515    | 515+805  | 288             | 190   | 108    | 90      | 90      | 32,5               | 0,8                                    |
| C17 | 516+135    | 516+350  | 217             | 155   | 57     | 80      | 80      | 21                 | 0,8                                    |
| C18 | 516+395    | 516+735  | 342             | 215   | 162    | 90      | 90      | 43,3               | 1,4                                    |
| C19 | 517+130    | 517+657  | 564             | 285   | 364    | 100     | 100     | 73,1               | 1,3                                    |
| C20 | 517+825    | 518+209  | 424             | 185   | 264    | 80      | 80      | 81,7               | 0,6                                    |

## **ANEXO 2 - CADASTRO DA SINALIZAÇÃO**



|                                            |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  |                                                                                                                                                                    |  |                              |  |
|--------------------------------------------|--|--------|--|-----------|--|---------------------|--|---------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------|--|
| FIRMA PROJETISTA                           |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  | Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L17/001                                                                                                                        |  | REV.: 0                      |  |
| Tecnos Trás                                |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  | LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL                                                                                                                        |  |                              |  |
|                                            |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  | RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT                                                                                                                                  |  | TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA |  |
|                                            |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  | TÍTULO: CADASTRO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT |  | ESCALA: 1:1.000              |  |
| FOLHA: 01/07                               |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  |                                                                                                                                                                    |  |                              |  |
| Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17/001 |  | REV. 0 |  | REV. DATA |  | RESP. TÉCN. PROJETA |  | RESP. TÉCN. CONCES. |  | RESP. TÉCN. ANTT                                                                                                                                                   |  | ASSUNTO                      |  |
|                                            |  |        |  |           |  |                     |  |                     |  |                                                                                                                                                                    |  | DOC. REFERÊNCIA              |  |







|                                                                                     |        |      |            |                                   |                    |                 |         |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|
| FIRMA PROJETISTA                                                                    |        |      |            |                                   |                    |                 |         |                 |                 |
|  |        |      |            |                                   |                    |                 |         |                 |                 |
|                                                                                     |        | 0    | 03/06/2013 | IVAN PASTORELI - CREA: 5060232363 |                    |                 |         | EMISSÃO INICIAL |                 |
| Nº INTERNO: TEC-DE-06-116/SP-508-0-L17004                                           | REV. 0 | REV. | DATA       | RESP. TEC./PROJETISTA             | RESP. TEC./CONCES. | RESP. TEC./ANTT | ASSUNTO |                 | DOC. REFERÊNCIA |







## **ANEXO 3 - QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO CONDUTOR**



## QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO CONDUTOR

ID DO PARTICIPANTE: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_\_

Por favor, preencha o seguinte formulário de acordo com as suas características pessoais. Segundo o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado por você, a sua identidade nunca será divulgada na presente pesquisa.

1. Nome: \_\_\_\_\_
2. E-mail: \_\_\_\_\_
3. Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_
4. Gênero: ☐ Masculino ☐ Feminino
5. Idade: \_\_\_\_\_
6. Unidade federativa de nascimento: \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. Qual é o seu vínculo atual com a Universidade de São Paulo?  
☐ Aluno de graduação ☐ Aluno de pós-graduação ☐ Professor  
☐ Funcionário administrativo ☐ Funcionário técnico ☐ Condutor oficial
9. Em qual ano obteve a primeira Carteira Nacional de Habilitação (CNH)?
10. Qual categoria de CNH possui atualmente?  
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E
11. **Num dia típico da sua rotina habitual**, quantas **vezes por dia** você dirige?  
☐ Não dirige ☐ 1-2 vezes ☐ 3 a 4 vezes ☐ Mais de 4 vezes
12. **Num dia típico da sua rotina habitual**, quanto **tempo por dia** você dirige?  
☐ Não dirige ☐ Até 30 minutos ☐ 30-60 min ☐ 1-2 horas ☐ Mais de 2 horas
13. Qual é o tipo de veículo que você dirige regularmente?  
☐ Não dirige ☐ Veículo pequeno ☐ Veículo grande ☐ Motocicleta
14. Em termos das suas habilidades dirigindo, você se considera como um condutor:  
☐ Experiente ☐ Médio ☐ Inexperiente
15. Selecione as características que melhor descrevem o tipo de condutor que você é:  
☐ Cauteloso ☐ Confiante ☐ Ariscado ☐ Agressivo

16. Utilize a seguinte escala de 1 a 5 para indicar a frequência com a qual você dirige em cada tipo de via, sendo (1): nunca dirigiu e (5): dirige frequentemente:

|                         | Nunca |   | Raramente |   | Frequentemente |
|-------------------------|-------|---|-----------|---|----------------|
| <b>Via urbana</b>       | 1     | 2 | 3         | 4 | 5              |
| <b>Rodovia estadual</b> | 1     | 2 | 3         | 4 | 5              |
| <b>Rodovia federal</b>  | 1     | 2 | 3         | 4 | 5              |

17. Como condutor, você já teve acidentes de trânsito?

☐ Sim, quantos? \_\_\_\_\_

☐ Não

18. Como condutor, você já levou multas de trânsito?

☐ Sim, quantas? \_\_\_\_\_

☐ Não

19. Você precisa utilizar óculos/lentes enquanto dirige para corrigir algum problema de visão?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, por favor, responda:

- a. Quais dos seguintes problemas visuais você possui:

☐ Miopia

☐ Hipermetropia

☐ Astigmatismo ☐ Presbiopia

- b. Qual é o grau de correção que têm os seus óculos/lentes?

Olho esquerdo: \_\_\_\_\_

Olho direito: \_\_\_\_\_

20. Você já participou de algum experimento num simulador de direção?

☐ Sim

☐ Não

21. Por favor, indique se antes de começar o experimento você está experimentando algum dos seguintes sintomas:

☐ Dor de cabeça ☐ Náuseas

☐ Fadiga

☐ Dificuldade para respirar

**OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO**

## ***ANEXO 4 - SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE***



## SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE

ID DO PARTICIPANTE: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_\_

Por favor, indique com um CÍRCULO em que grau cada um dos seguintes sintomas o está afetando neste momento, utilizando a seguinte escala: **não** está experimentando o sintoma, sintoma **leve**, sintoma **moderado** ou sintoma **severo**.

|                                   |     |      |          |        |
|-----------------------------------|-----|------|----------|--------|
| 1. Desconforto geral              | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 2. Fadiga                         | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 3. Dor de cabeça                  | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 4. Cansaço visual/tensão ocular   | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 5. Dificuldade para enxergar      | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 6. Salivação excessiva            | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 7. Sudoreção                      | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 8. Náusea                         | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 9. Dificuldade para concentrar-se | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 10. “Cabeça pesada”               | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 11. Visão turva                   | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 12. Tontura com os olhos abertos  | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 13. Tontura com os olhos fechados | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 14. Vertigem                      | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 15. Dor de estômago               | Não | Leve | Moderado | Severo |
| 16. Arroto/Eructação              | Não | Leve | Moderado | Severo |

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO

## **ANEXO 5 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO SIMULADOR DE DIREÇÃO**



## QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO SIMULADOR

ID DO PARTICIPANTE: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_\_

Por favor, preencha o seguinte questionário para conhecer a sua percepção sobre o grau de realismo que oferece o simulador de direção em comparação com a experiência de dirigir um veículo real.

1. A sensação de direção do volante foi:

☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida

2. A sensação de uso do pedal de freio foi:

☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida

3. A sensação de uso do pedal de aceleração foi:

☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida

4. A sensação de uso do pedal de embreagem foi:

☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida

5. A sensação de uso da alavanca de câmbio foi:

☐ Muito sensível ☐ Um pouco sensível ☐ Normal ☐ Um pouco rígida ☐ Muito rígida

6. Sobre a percepção de velocidade, parecia que estava dirigindo:

☐ Muito lento ☐ Um pouco lento ☐ Normal ☐ Um pouco rápido ☐ Muito rápido

7. Sobre a percepção de distância entre o seu veículo e os demais veículos, você poderia dizer que os outros veículos pareciam estar:

☐ Muito longe ☐ Um pouco longe ☐ Normal ☐ Um pouco perto ☐ Muito perto

8. O comportamento dos outros veículos (velocidade, espaçamento e mudança de faixa) parecia:

☐ Nada realístico ☐ Pouco realístico ☐ Normal ☐ Algo realístico ☐ Muito realístico

9. A pista parecia:

☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística

10. A paisagem parecia:

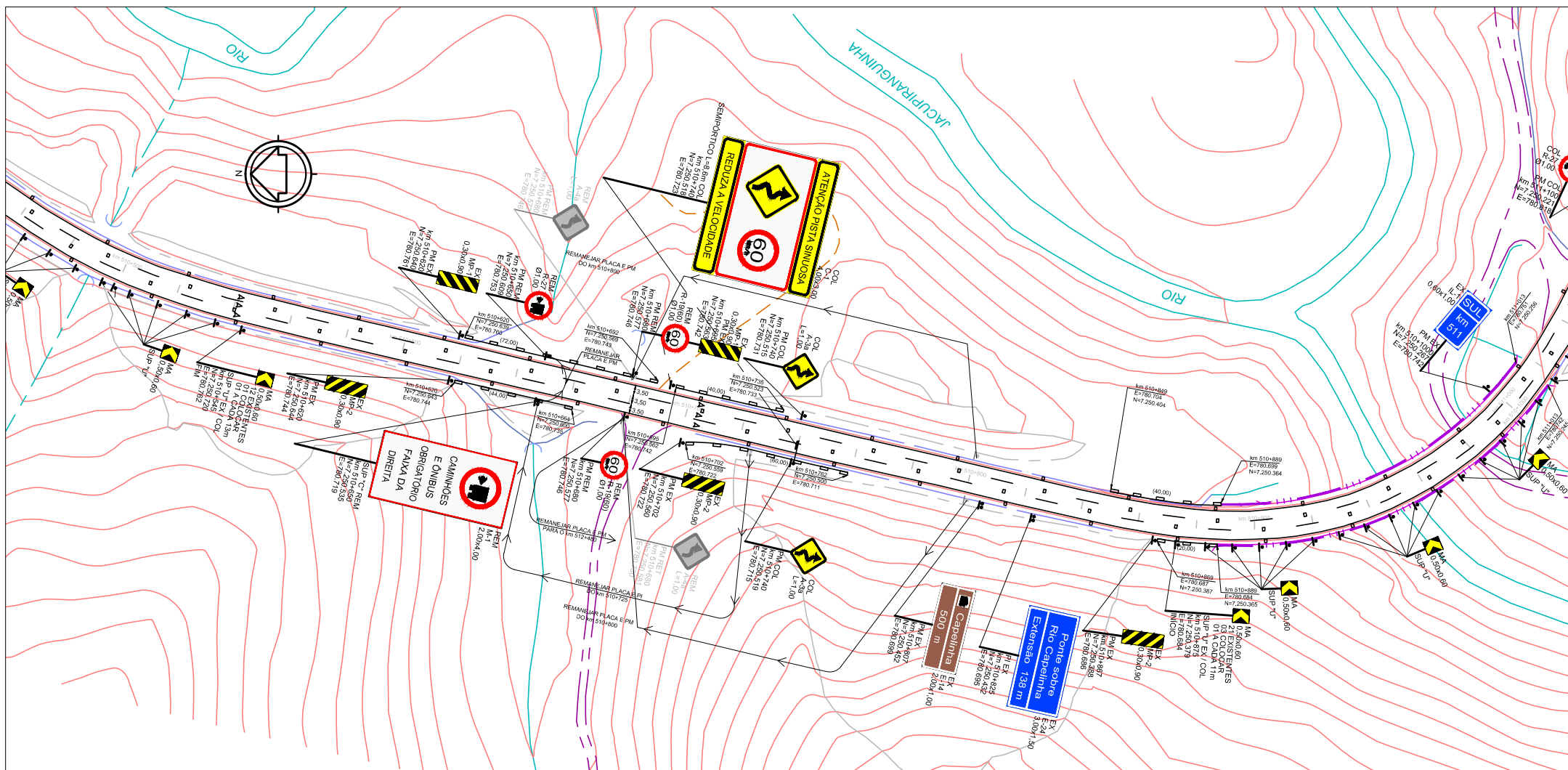
☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística

11. Finalmente, as placas de sinalização pareciam:

☐ Nada realística ☐ Pouco realística ☐ Normal ☐ Algo realística ☐ Muito realística

**OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO**

## **ANEXOS 6 A 11 - CENÁRIOS TESTADOS**



## PROJETO RDT 06 - SGP/ARB\_06 - ANEXO 6

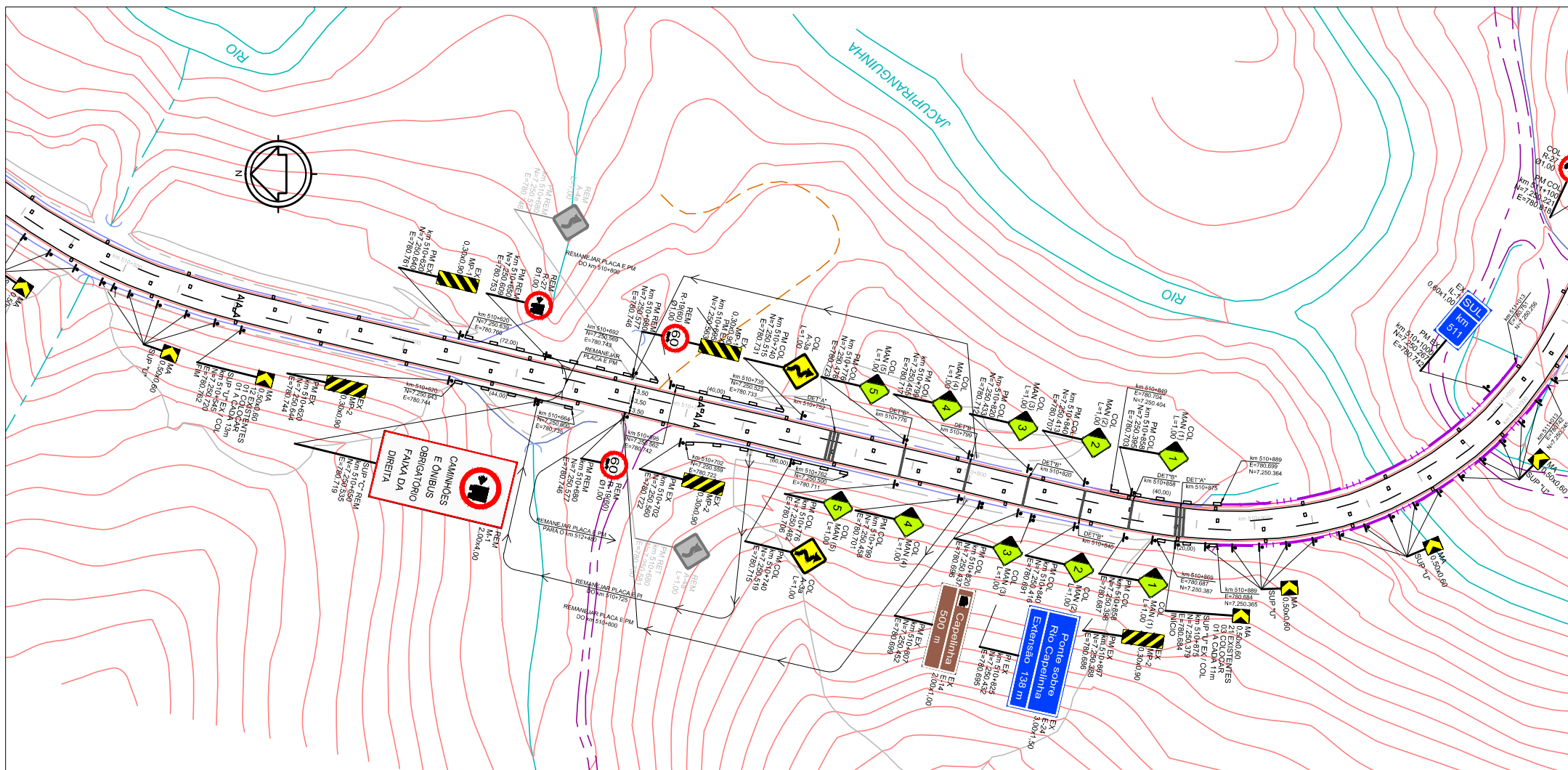
LOCAL: km 510 + 500 - 511 + 000  
CENÁRIO A



Autopista  
Régis Bittencourt  
artens

ESCALA:

1:1.500



## PROJETO RDT 06 - SGP/ARB\_06 - ANEXO 7

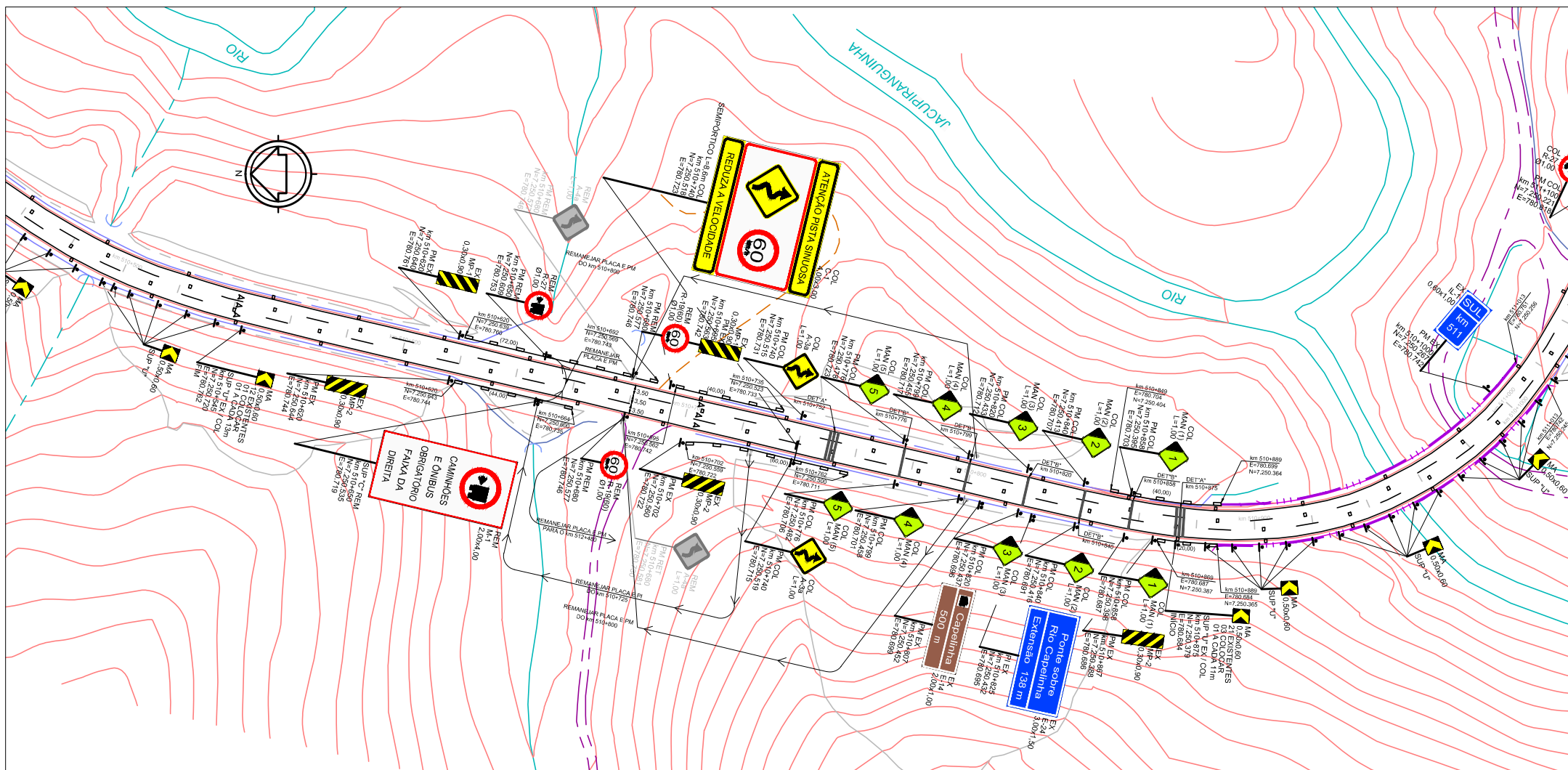
LOCAL: km 510 + 500 - 511 + 000  
CENÁRIO B



Autopista  
Régis Bittencourt  
rartens

ESCALA:

1:1.500



## PROJETO RDT 06 - SGP/ARB\_06 - ANEXO 8

LOCAL: km 510 + 500 - 511 + 000  
CENÁRIO C



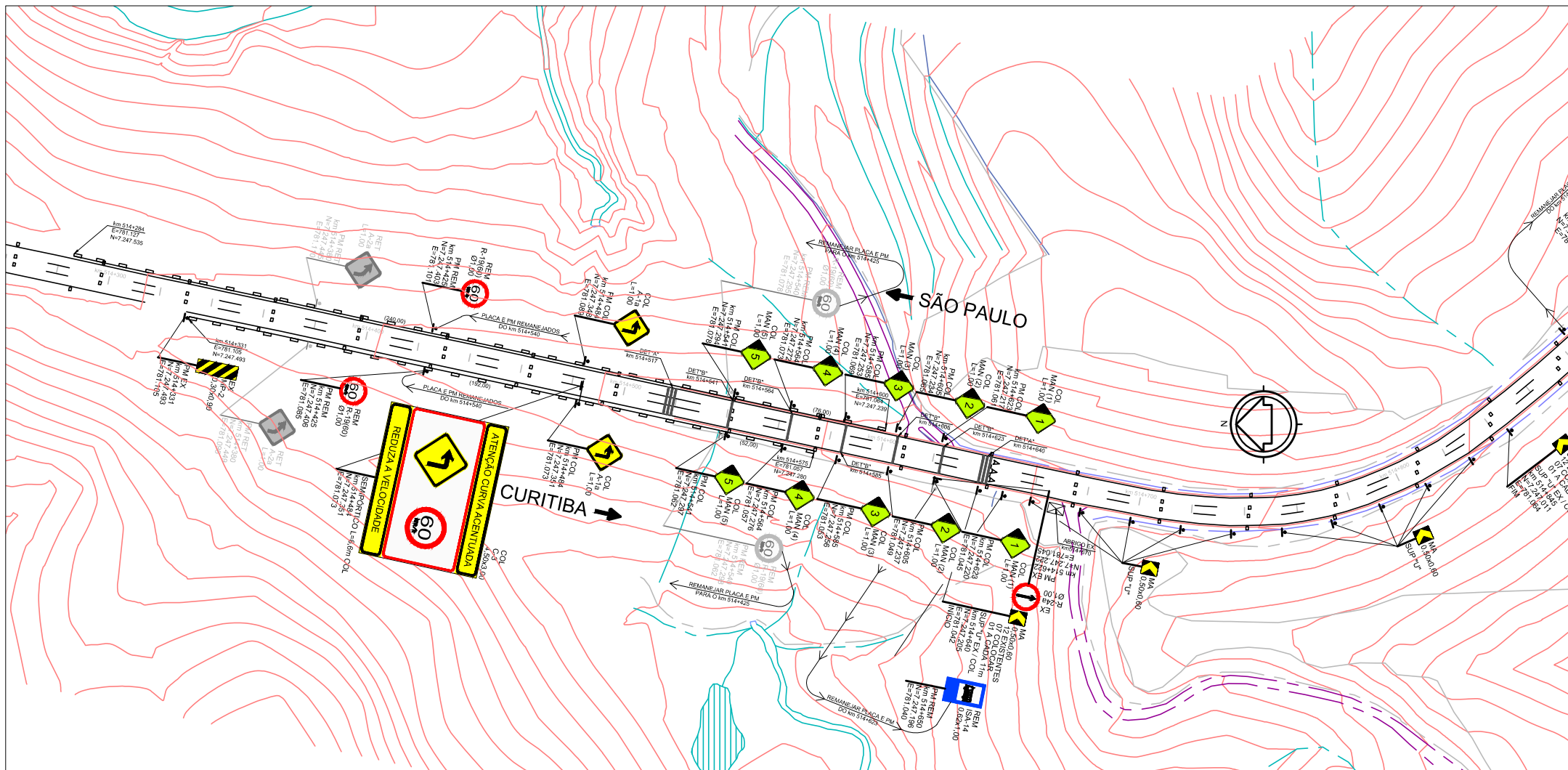
Autopista  
Régis Bittencourt  
rartens

ESCALA:

1:1.500







## PROJETO RDT 06 - SGP/ARB\_06 - ANEXO 11

LOCAL: km 514 + 300 - 514 + 800  
CENÁRIO C



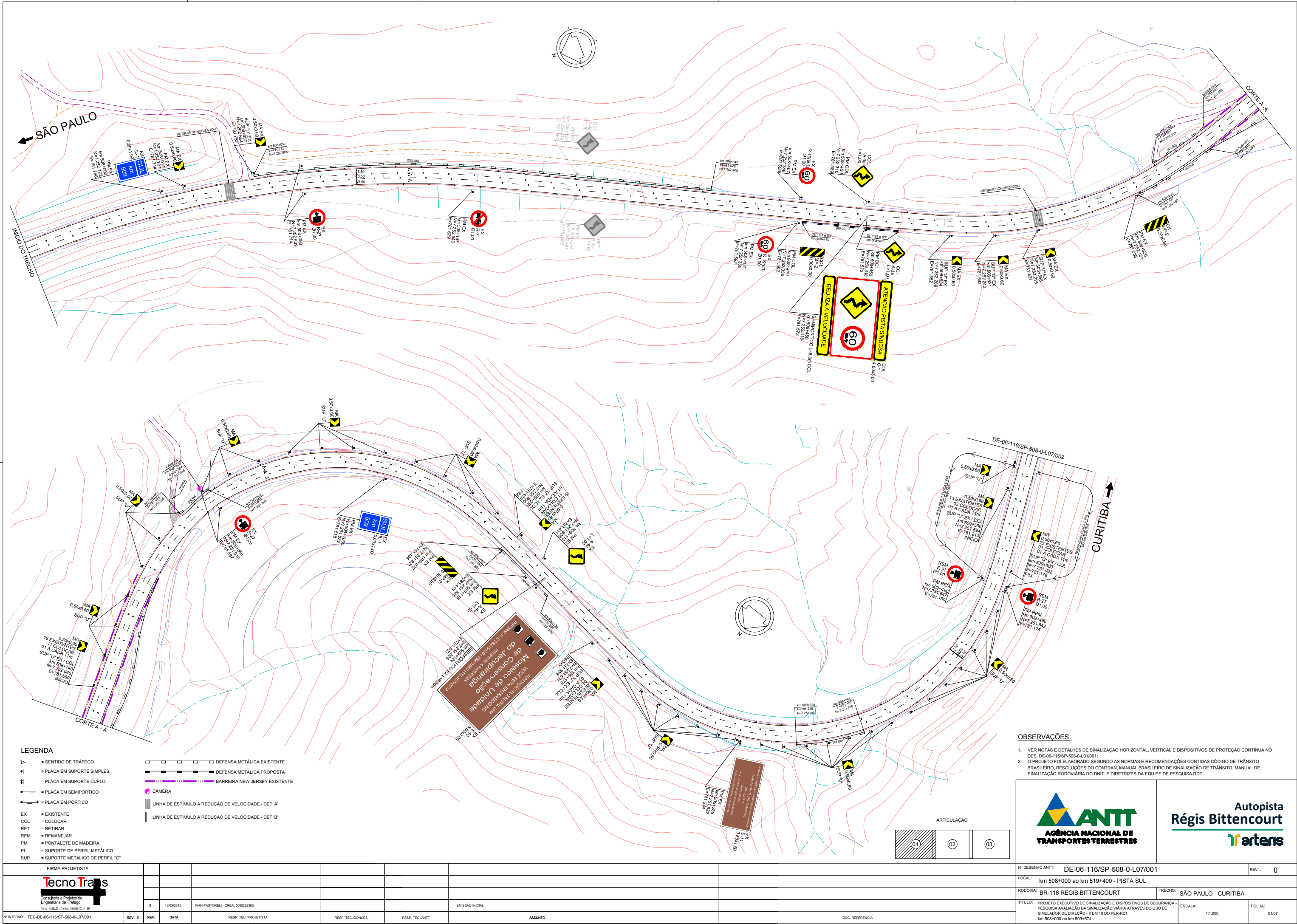
Autopista  
Régis Bittencourt  
artens

ESCALA:

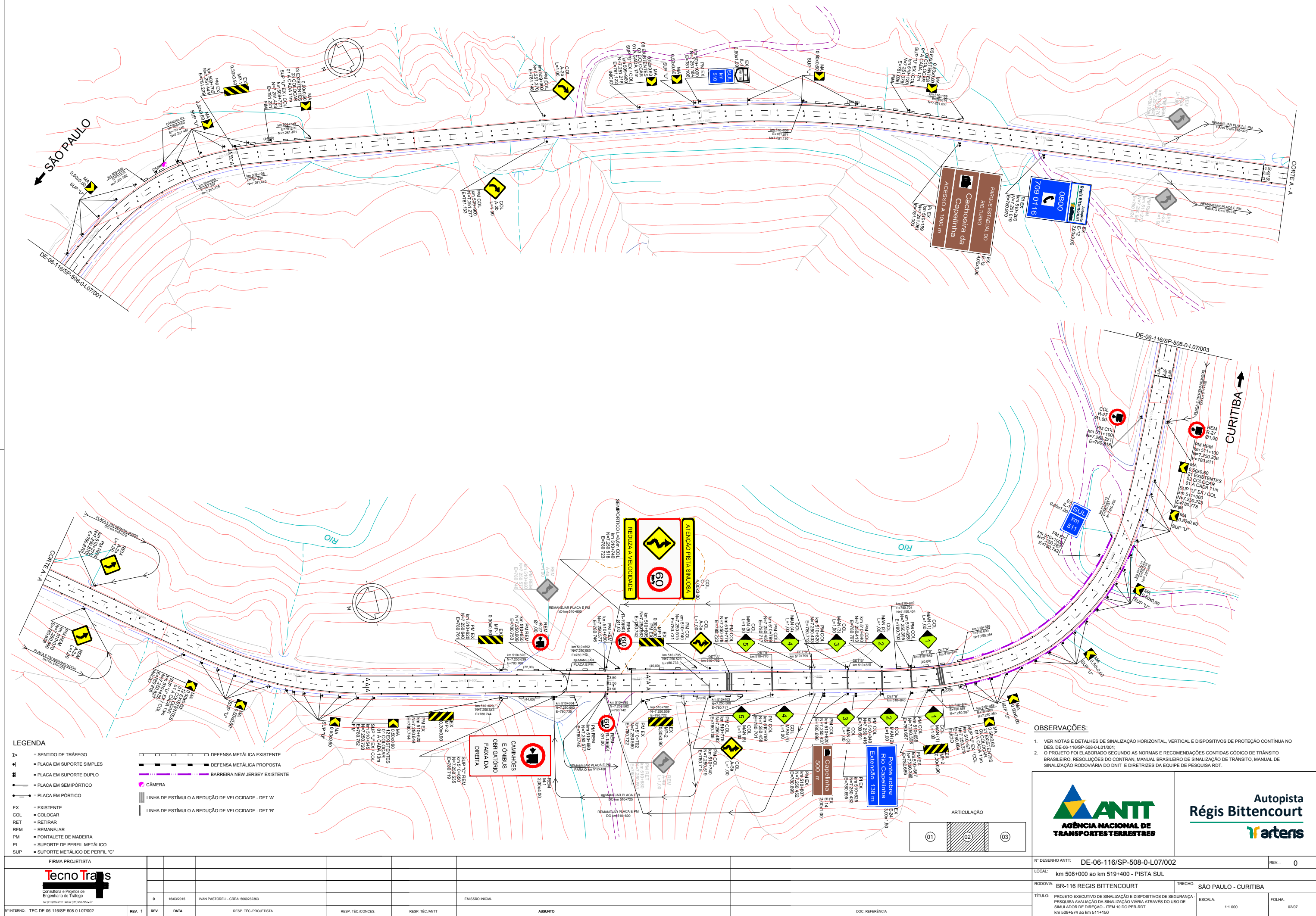
1:1.500

## **ANEXO 12 - PROJETO EXECUTIVO DO TRECHO DE ESTUDO**

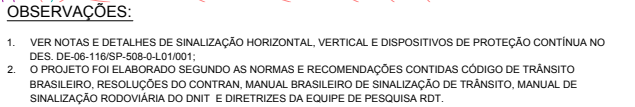




|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OBSERVAÇÕES:                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                     |
| 1. VER NOTAS E DETALHES DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL, VERTICAL E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTÍNUA NO DES. DE-06-116/SP-508-0-L01/001;                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                     |
| 2. O PROJETO FOI ELABORADO SEGUNDO AS NORMAS E RECOMENDAÇÕES CONTIDAS CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO, RESOLUÇÕES DO CONTRAN, MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA DO DNIT E DIRETRIZES DA EQUIPE DE PESQUISA RDT.                                                        |                                                                                                                                                                     |
| <div><div><div>AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES</div></div><div><div>Autopista Régis Bittencourt</div><div></div></div></div> |                                                                                                                                                                     |
| Nº DESENHO ANTT:                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DE-06-116/SP-508-0-L07/001                                                                                                                                          |
| LOCAL:                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL                                                                                                                                |
| RODOVIA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | BR-116 REGIS BITTENCOURT                                                                                                                                            |
| TRECHO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | SÃO PAULO - CURITIBA                                                                                                                                                |
| TÍTULO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT |
| ESCALA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1:1.000                                                                                                                                                             |
| FOLHA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 01/07                                                                                                                                                               |







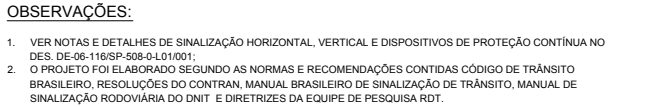
A diagram showing three components in a row, labeled 03, 04, and 05. Component 04 is shaded with diagonal lines.

Autopista  
Régis Bittencourt

---

artens

|                                                                                                                                                                            |                              |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------|
| Nº DESENHO ANTI: DE-06-116/SP-508-0-L07/004                                                                                                                                |                              | REV.: 0      |
| LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL                                                                                                                                |                              |              |
| RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT                                                                                                                                          | TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA |              |
| TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-ROD | ESCALA: 1:1.000              | FOLHA: 04/07 |
| 152-826 ao km 514+521                                                                                                                                                      |                              |              |



|                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| FIRMA PROJETISTA                                                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L07/005 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | REV.: 0                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div>TecnoTras</div> <div>Consultoria e Projetos de Engenharia de Tráfego</div> <div>14 (011) 5062.221 / 449w (011) 5032.921-3P</div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0                                                                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 16/03/2015 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVAN PASTORELI - CREA: 5060232363           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | EMISSÃO INICIAL              |  |  |  |  |  |  |  |  |  | TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RTD |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ESCALA: 1:1.000    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | FOLHA: 05/07    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nº INTERNO: TEC-DE-06-116-SP-508-0-L07/005                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | REV. 1.    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | REV.                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  | DATA                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  | RESP. TÍT./PROJETISTA                                                                                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  | RESP. TÍT./CONCEB. |  |  |  |  |  |  |  |  |  | RESP. TÍT./ANTT |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ASSUNTO |  |  |  |  |  |  |  |  |  | DOC. REFERÊNCIA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

SÃO PAULO



DE-06-116/SP-508-0-L07/005

CORTE A-A

CURTIBA

OBSERVAÇÕES:

1. VER NOTAS E DETALHES DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL, VERTICAL E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTÍNUA NO DES. DE-06-116/SP-508-0-L01/001;
2. O PROJETO FOI ELABORADO SEGUNDO AS NORMAS E RECOMENDAÇÕES CONTIDAS CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO, RESOLUÇÕES DO CONTRAN, MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA DO DNIT E DIRETRIZES DA EQUIPE DE PESQUISA RDT.



Autopista  
Régis Bittencourt  
artens

Nº DESENHO ANTT: DE-06-116/SP-508-0-L07/006 REV.: 0

LOCAL: km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL

RODOVIA: BR-116 REGIS BITTENCOURT TRECHO: SÃO PAULO - CURITIBA

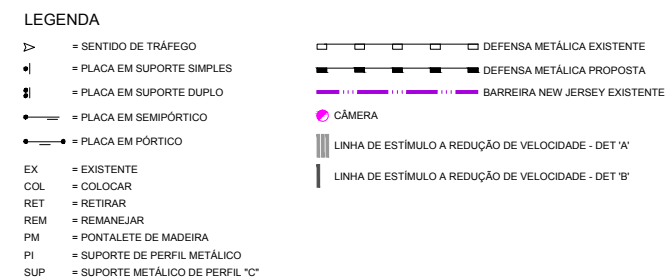
TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA  
PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA ATRAVÉS DO USO DE  
SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 10 DO PER-RDT  
ESCALA: 1:1.000 FOLHA: 06/07

LEGENDA

- = SENTIDO DE TRÁFEGO
- | = PLACA EM SUPORTE SIMPLES
- || = PLACA EM SUPORTE DUPLO
- = PLACA EM SEMIPÓRTICO
- = PLACA EM PÓRTICO
- EX = EXISTENTE
- COL = COLOCAR
- RET = RETIRAR
- REM = REMANEJAR
- PM = PONTELETE DE MADEIRA
- PI = SUPORTE DE PERFIL METÁLICO
- SUP = SUPORTE METÁLICO DE PERFIL "C"
- = DEFENSA METÁLICA EXISTENTE
- = DEFENSA METÁLICA PROPOSTA
- = BARREIRA NEW JERSEY EXISTENTE
- = CÂMERA
- ||| LINHA DE ESTÍMULO A REDUÇÃO DE VELOCIDADE - DET 'A'
- || LINHA DE ESTÍMULO A REDUÇÃO DE VELOCIDADE - DET 'B'

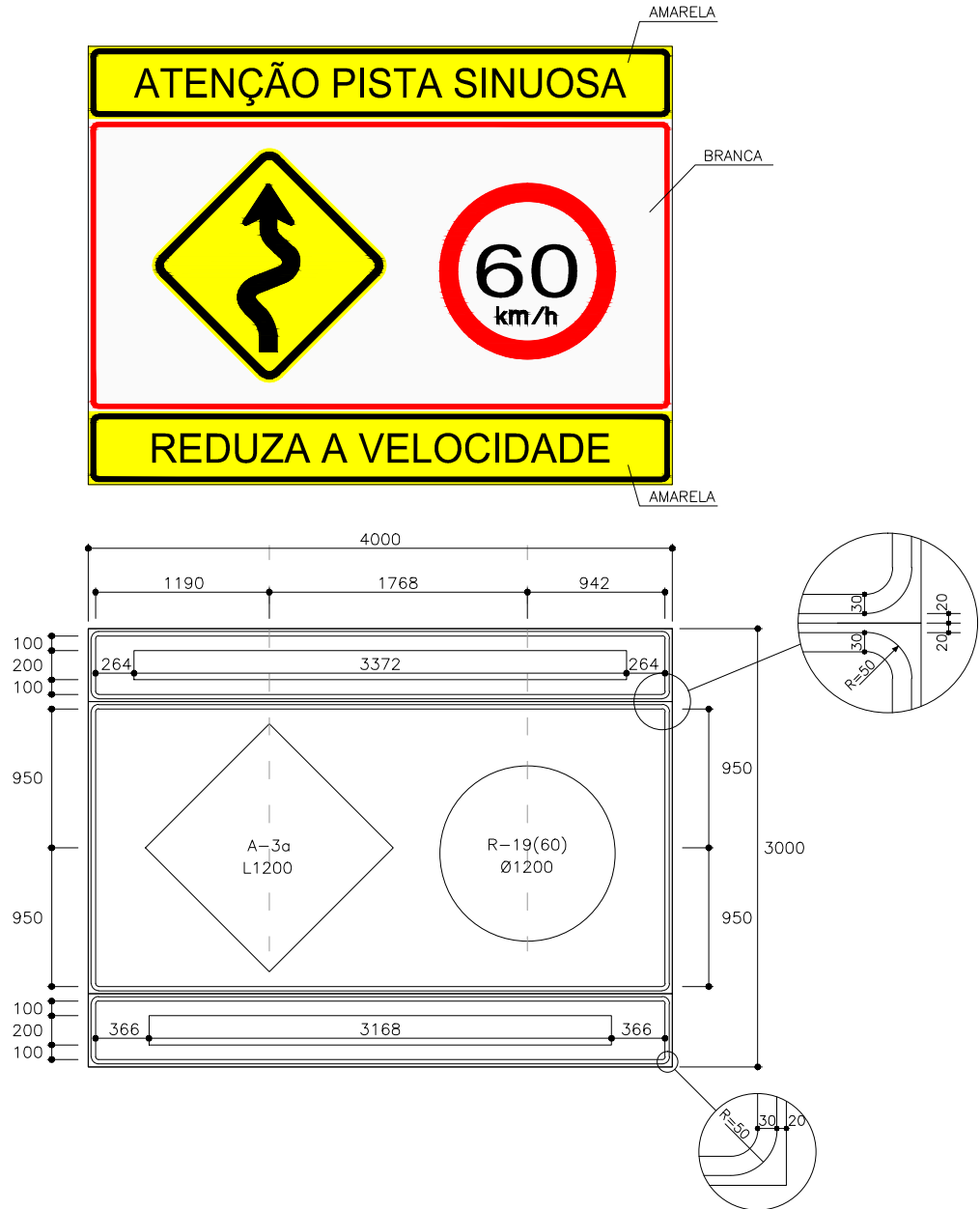
FIRMA PROJETISTA  
**TecnoTras**  
Consultoria e Projetos de  
Engenharia de Tráfego  
14 011026220114@w 0110262214-SP

| Nº INTERNO:                    | REV. | DATA       | RESP. TEC. PROJETO                | RESP. TEC. CONCES. | RESP. TEC. ANTT | ASSUNTO        | DOC. REFERÊNCIA |
|--------------------------------|------|------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| TEC-DE-06-116/SP-508-0-L07/006 | 1    | 16/03/2015 | IVAN PASTORELI - CREA: 5080232363 |                    |                 | EMIÇÃO INICIAL |                 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>OBSEVAÇÕES:</b><br>1. VER NOTAS E DETALHES DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL, VERTICAL E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTÍNUA NO DES. DE-06-116/SP-508-0-L01001;<br>2. O PROJETO FOI ELABORADO SEGUNDO AS NORMAS E RECOMENDAÇÕES CONTIDAS CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO, RESOLUÇÕES DO CONTRAN, MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA DO DNIT E DIRETRIZES DA EQUIPE DE PESQUISA RDT. |                                               |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: right;"> <p><b>Autopista</b><br/> <b>Régis Bittencourt</b></p>  </div> </div>            |                                               |
| <b>Nº DESENHO ANTT:</b> DE-06-116/SP-508-0-L07007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>REV. :</b> 0                               |
| <b>LOCAL:</b> km 508+000 ao km 519+400 - PISTA SUL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                               |
| <b>RODOVIA:</b> BR-116 REGIS BITTENCOURT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>TRCHEO:</b> SÃO PAULO - CURITIBA           |
| <b>TÍTULO:</b> PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA - PESQUISA AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO VÁRIA ATRAVÉS DO USO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO - ITEM 16 DO PER-RDT<br>km 517+729 ao km 519+130                                                                                                                                                                                                          | <b>ESCALA:</b> 1:1.000<br><b>FOLHA:</b> 07/07 |

CÓDIGO: C-1  
DIMENSÃO: 4,00x3,00 (m)



| Série D | A   | T  | E   | N  | Ç   | Ä  | O   |    |     | P  | I   | S  | T   | A   |   | S   | I   | N  | U  | O  | S   | A  | Total |    |     |     |   |     |     |    |    |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |      |
|---------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|----|----|----|-----|----|-------|----|-----|-----|---|-----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|------|
| H=200   | 170 | 12 | 124 | 30 | 124 | 34 | 136 | 44 | 136 | 26 | 170 | 26 | 142 | 100 | 0 | 100 | 136 | 30 | 32 | 34 | 136 | 16 | 124   | 12 | 170 | 100 | 0 | 100 | 136 | 34 | 32 | 48 | 136 | 48 | 136 | 44 | 142 | 30 | 136 | 16 | 170 | 3372 |

| Série D | R   | E  | D   | U  | Z   | A  |     | A  |     | V  | E   | L   | O | C   | I   | D   | A | D   | E   | Total |     |    |     |    |     |    |     |    |    |    |     |    |     |    |     |    |     |      |
|---------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|------|
| H=200   | 136 | 34 | 124 | 34 | 136 | 44 | 136 | 34 | 136 | 16 | 170 | 100 | 0 | 100 | 170 | 100 | 0 | 100 | 152 | 30    | 124 | 34 | 124 | 26 | 142 | 40 | 136 | 44 | 32 | 48 | 136 | 26 | 170 | 30 | 136 | 44 | 124 | 3168 |

PLACA EXPERIMENTAL

ESCALA 1:50

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPAS MODULADAS DE ALUMÍNIO # 2mm (NBR 16179)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA ALTA INTENSIDADE PRISMÁTICO TIPO III (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLAS EXTERNAS, ORLA INTERNA VERMELHA E ORLA DO SINAL R-19 E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA AS LETRAS, NÚMEROS, SÍMBOLOS TARJAS E ORLAS INTERNAS PRETAS.

**TecnoTrans**  
Consultoria e Projetos de  
Engenharia de Tráfego  
Tel: (11) 3080-0011 / 36196 / 013080-0014 - SP

Autopista  
**Régis Bittencourt**  
**Tartens**

**ANTT** AGÊNCIA NACIONAL DE  
TRANSPORTES TERRESTRES

PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA  
SINALIZAÇÃO VERTICAL – DETALHES

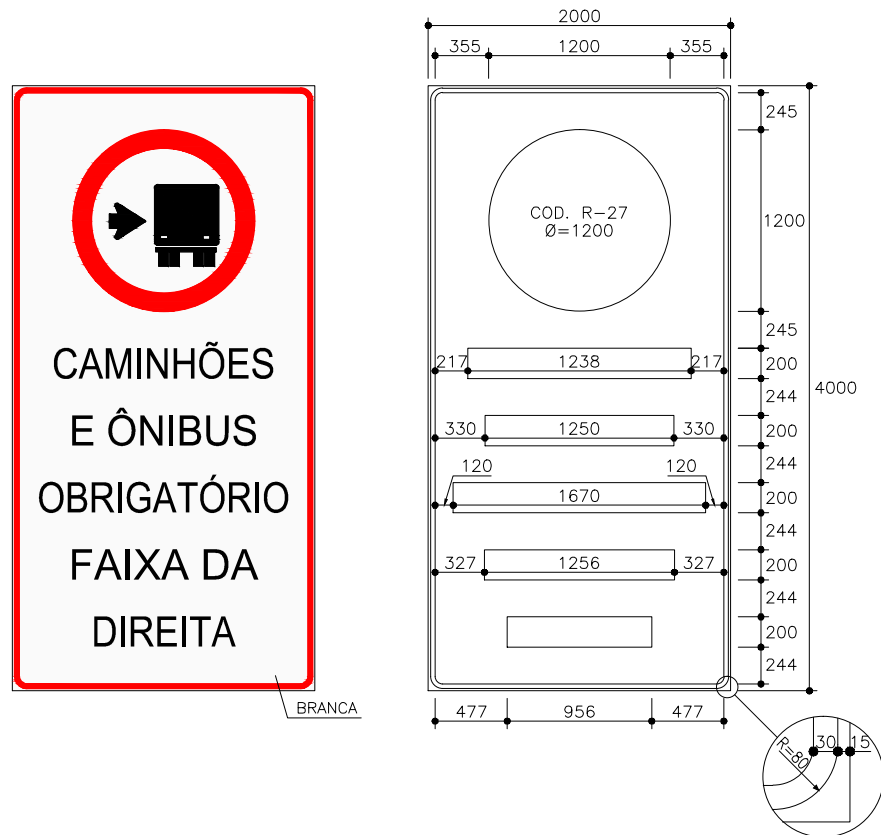
RODOVIA:  
BR-116 REGIS BITTENCOURT

DETALHE DE DIAGRAMAÇÃO DE PLACAS INDICATIVAS OU COMPOSTAS

FOLHA:  
1/1

REVISÃO:  
3

CÓDIGO: C-2  
 DIMENSÃO: 2,00x4,00 (m)



| Série D | C   |    | A   |    | M   |    | I  |    | N   |    | H   |    | Ô   |    | E   |    | S   | Total |
|---------|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-------|
| H=200   | 136 | 26 | 170 | 30 | 156 | 48 | 32 | 48 | 136 | 48 | 136 | 44 | 142 | 44 | 124 | 20 | 136 | 1476  |

| Série D | E   |     |   |     | Ô   |    | N   |    | I  |    | B   |    | U   |    | S   | Total |
|---------|-----|-----|---|-----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-------|
| H=200   | 124 | 100 | 0 | 100 | 142 | 44 | 136 | 48 | 32 | 48 | 136 | 34 | 136 | 34 | 136 | 1250  |

| Série D | O   |    | B   |    | R   |    | I  |    | G   |    | A   |    | T   |    | Ó   |    | R   |    | I  |    | O   | Total |
|---------|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|-------|
| H=200   | 142 | 44 | 136 | 34 | 136 | 34 | 32 | 44 | 136 | 26 | 170 | 12 | 124 | 26 | 142 | 44 | 136 | 34 | 32 | 44 | 142 | 1670  |

| Série D | F   |    | A   |    | I  |    | X   |    | A   |     |   |     | D   |    | A   | Total |
|---------|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|----|-----|-------|
| H=200   | 124 | 12 | 170 | 30 | 32 | 34 | 136 | 16 | 170 | 100 | 0 | 100 | 136 | 26 | 170 | 1256  |

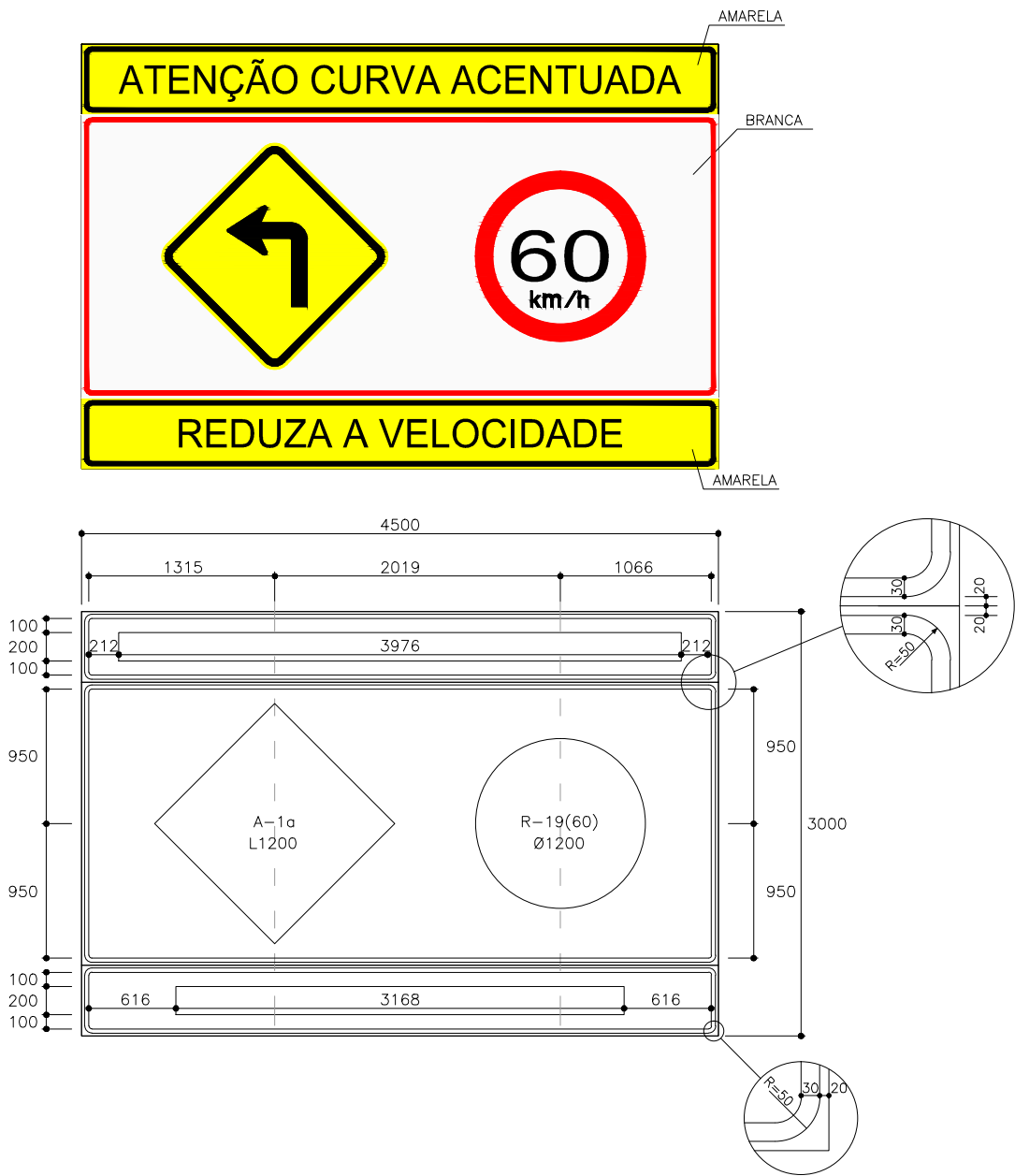
| Série D | D   |    | I  |    | R   |    | E   |    | I  |    | T   |    | A   | Total |
|---------|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|-------|
| H=200   | 136 | 44 | 32 | 48 | 136 | 34 | 124 | 34 | 32 | 30 | 124 | 12 | 170 | 956   |

ESCALA 1:50

## NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,25mm DE ESPESSURA (# 18) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA ALTA INTENSIDADE PRISMÁTICO TIPO III (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLAS INTERNAS, EXTERNAS E DO SINAL R-27 E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA AS LETRAS, SÍMBOLO E SETA.

CÓDIGO: C-3  
DIMENSÃO: 4,50x3,00 (m)



| Série | D   | A  | T   | E  | N   | Ç  | A   | O  |     |    | C   | U  | R   | V   | A |     | A   | C  | E   | N  | T   | U  | A   | D   | A | Total |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |      |
|-------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|-------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|------|
| H=200 | 170 | 12 | 124 | 30 | 124 | 34 | 136 | 44 | 136 | 26 | 170 | 26 | 142 | 100 | 0 | 100 | 136 | 44 | 136 | 16 | 152 | 12 | 170 | 100 | 0 | 100   | 170 | 26 | 136 | 44 | 124 | 34 | 136 | 30 | 124 | 30 | 136 | 30 | 170 | 30 | 136 | 26 | 170 | 3976 |

| Série | D   | R  | E   | D  | U   | Z  | A   |    | A   |    | V   | E   | L | O   | C   | I   | D | A   | D   | E  | Total |    |     |    |     |    |     |    |    |    |     |    |     |    |     |    |     |      |
|-------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|----|-------|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|------|
| H=200 | 136 | 34 | 124 | 34 | 136 | 44 | 136 | 34 | 136 | 16 | 170 | 100 | 0 | 100 | 170 | 100 | 0 | 100 | 152 | 30 | 124   | 34 | 124 | 26 | 142 | 40 | 136 | 44 | 32 | 48 | 136 | 26 | 170 | 30 | 136 | 44 | 124 | 3168 |

PLACA EXPERIMENTAL

ESCALA 1:50

- NOTAS:
- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPAS MODULADAS DE ALUMÍNIO # 2mm (NBR 16179)
  - AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA ALTA INTENSIDADE PRISMÁTICO TIPO III (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLAS EXTERNAS, ORLA INTERNA VERMELHA E ORLA DO SINAL R-19 E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA AS LETRAS, NÚMEROS, SÍMBOLOS TARJAS E ORLAS INTERNAS PRETAS.



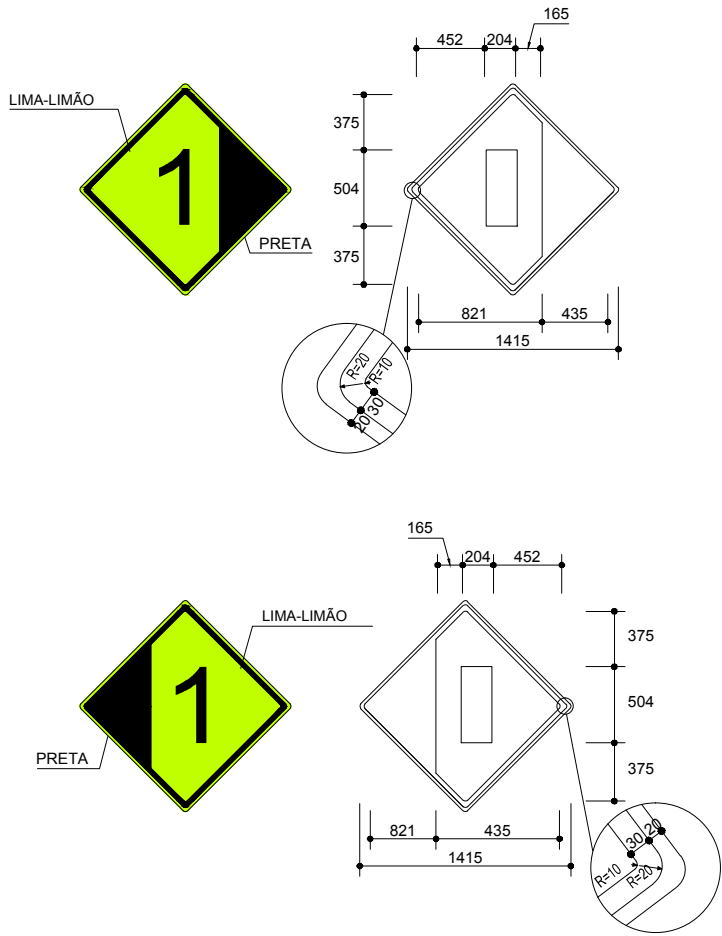
PROJETO EXECUTIVO DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA  
SINALIZAÇÃO VERTICAL – DETALHES

RODovia:  
BR-116 REGIS BITTENCOURT

DETALHE DE DIAGRAMAÇÃO DE PLACAS INDICATIVAS OU COMPOSTAS

FOLHA: 1/1  
REVISÃO: 1

CÓDIGO: MAN-1  
DIMENSÃO: 1,00x1,00 (m)

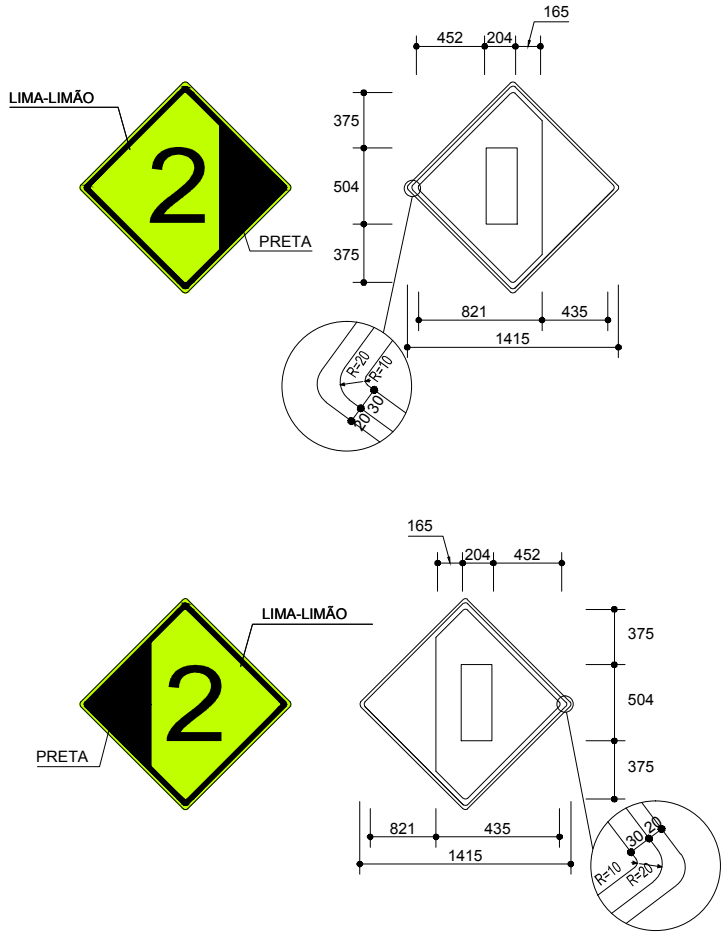


PLACA EXPERIMENTAL

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,5mm DE ESPESSURA (# 16) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA GRAU DIAMANTE TIPO X (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLA EXTERNA, E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA A ORLA INTERNA, NÚMEROS E SÍMBOLO.

CÓDIGO: MAN-2  
DIMENSÃO: 1,00x1,00 (m)

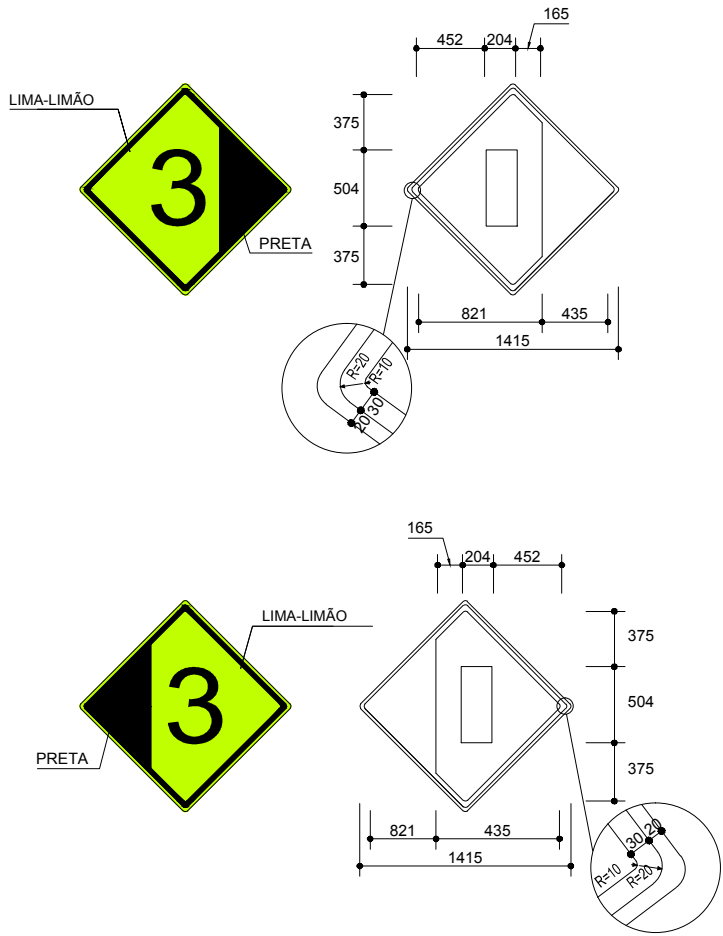


PLACA EXPERIMENTAL

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,5mm DE ESPESSURA (# 16) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA GRAU DIAMANTE TIPO X (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLA EXTERNA, E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA A ORLA INTERNA, NÚMEROS E SÍMBOLO.

CÓDIGO: MAN-3  
DIMENSÃO: 1,00x1,00 (m)

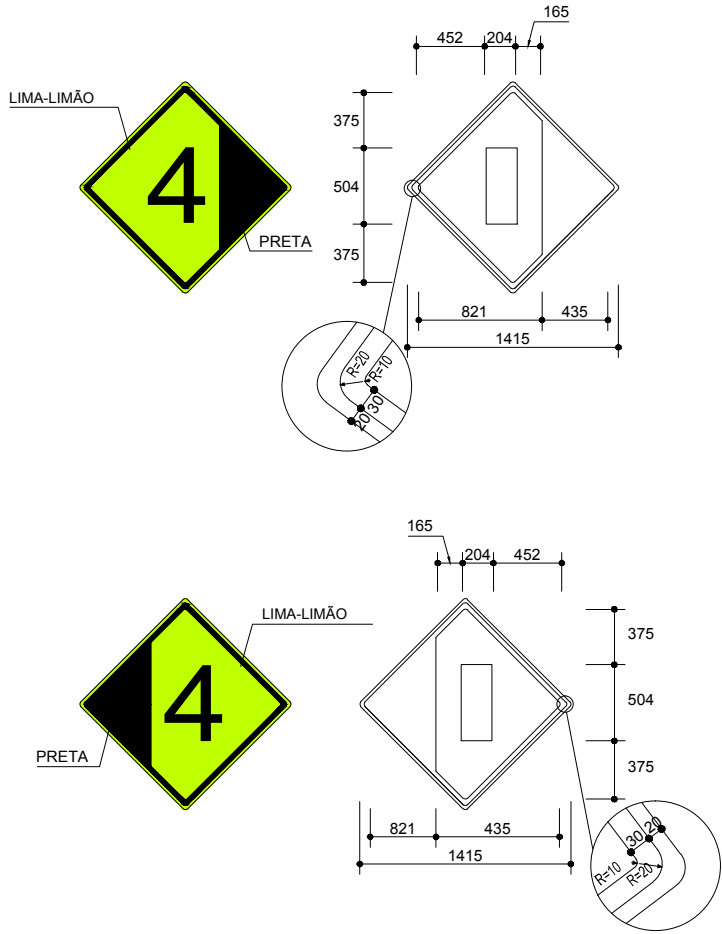


PLACA EXPERIMENTAL

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,5mm DE ESPESSURA (# 16) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA GRAU DIAMANTE TIPO X (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLA EXTERNA, E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA A ORLA INTERNA, NÚMEROS E SÍMBOLO.

CÓDIGO: MAN-4  
DIMENSÃO: 1,00x1,00 (m)

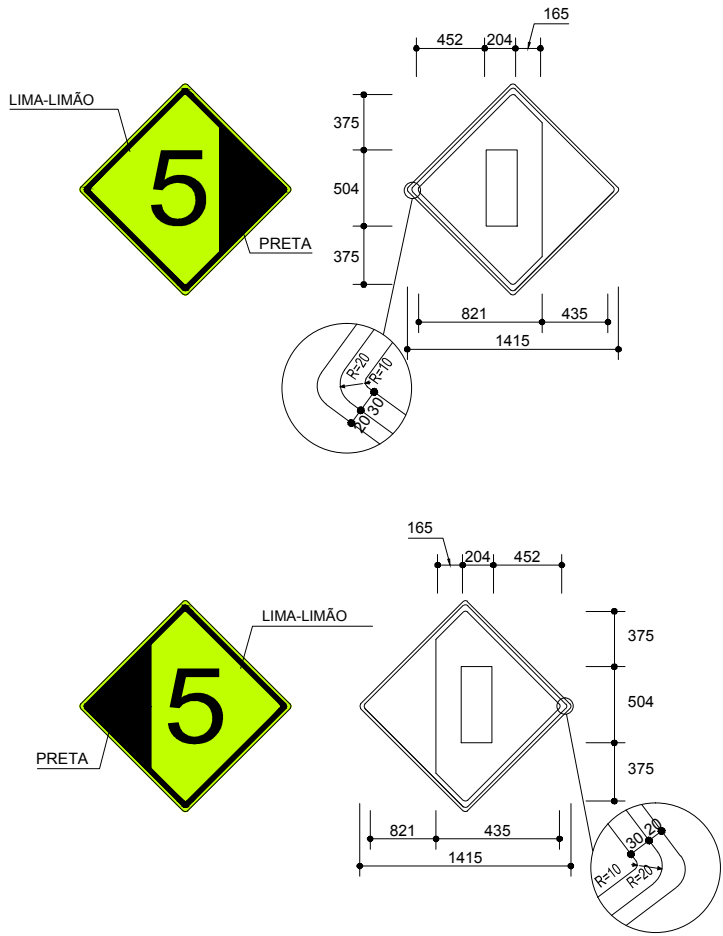


PLACA EXPERIMENTAL

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,5mm DE ESPESSURA (# 16) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA GRAU DIAMANTE TIPO X (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLA EXTERNA, E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA A ORLA INTERNA, NÚMEROS E SÍMBOLO.

CÓDIGO: MAN-5  
DIMENSÃO: 1,00x1,00 (m)



PLACA EXPERIMENTAL

NOTAS:

- PLACA CONFECCIONADA EM CHAPA PLANA MODULADA DE AÇO ZINCADO COM 1,5mm DE ESPESSURA (# 16) (NBR 11904)
- AS PLACAS DEVERÃO SER CONFECCIONADAS NA CORES ESPECIFICADAS COM PELÍCULA GRAU DIAMANTE TIPO X (NBR 14644) PARA O FUNDO, ORLA EXTERNA, E EM PELÍCULA PRETA FOSCA NÃO REFLETIVA TIPO IV (NBR 14644) PARA A ORLA INTERNA, NÚMEROS E SÍMBOLO.