PLANO DE TRABALHO

Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT

Capítulo XX do Edital 01, Lote 06, item 10 do PER

Rodovia BR 116– Trecho São Paulo - Curitiba

PROJETO 07 - SGP/ARB_07 Rev3

SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DE ACIDENTES POR DERRAPAGEM EM PISTA MOLHADA ATRAVÉS DA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS

RELATÓRIO FINAL

Janeiro – 2019

SUMÁRIO

1. CONCESSIONÁRIA 6

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO 6

2.1. TÍTULO DO PROJETO 6

2.2. OBJETIVOS 6

2.2.1. Objetivo Geral 6

2.2.2. Objetivos Específicos 8

3. JUSTIFICATIVA 9

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 18

5. ETAPAS 21

6. RELATÓRIO FINAL 29

6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29

6.1.1. Aderência em pavimentos molhados 29

6.1.1.1. A superfície do pavimento 29

6.1.1.2. A interação pneu-pavimento 33

6.1.1.3. O pneu e a hidroplanagem 34

6.1.1.4. Características da via: pavimento 39

6.1.1.5. Características da via: geometria 44

6.1.1.6. A superfície do pavimento e a ocorrência de acidentes viários 44

6.1.1.7. Textura do pavimento versus acidentes 48

6.1.1.8. Ensaios e medições de textura e atrito 51

6.1.2. Análises espaciais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em estudos de segurança viária 63

6.1.2.1. Técnicas para identificação e delimitação de seções caracterizadas pela concentração de acidentes de uma rodovia 63

6.1.2.2. O Estimador Kernel de Densidade – EKD 65

6.1.2.3. Modelos espaciais de rede 68

6.1.3. Segurança Viária 71

6.1.3.1. Acidentes de tráfego e as condições climáticas adversas 71

6.1.3.2. Estudos sobre os acidentes de tráfego – análises e modelos estatísticos de regressão 75

6.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA RODOVIA EM COLABORAÇÃO COM OPERAÇÃO E MAPEAMENTO DE ACIDENTES 82

6.2.1. Levantamento de dados da rodovia e mapeamento de acidentes 82

6.2.2. Levantamento da textura e do atrito superficial do pavimento 83

6.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS 83

6.3.1. Levantamento das características do pavimento em laboratório 84

6.3.2. Comparações entre os levantamentos da textura superficial do pavimento em campo 99

6.3.2.1. Pista Norte 100

6.3.2.2. Pista Sul 107

6.3.2.3. International Friction Index 117

6.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS 121

6.4.1. Análise Temporal de Acidentes – Antes da Intervenção – Pistas Norte e Sul 121

6.4.1.1. Histogramas de Frequências de Acidentes – Diagnóstico Preliminar 121

6.4.1.2. Análises Espaciais 125

6.4.1.3. Análises Estatísticas 139

6.4.1.4. Análise Temporal de Acidentes Segundo o Tipo de Acidente e o Estado de Saúde da Vítima 163

6.4.2. Análise temporal de acidentes – Após a Intervenção para Pista Norte 175

6.4.3. Análise temporal de acidentes – Após a Intervenção para Pista Sul 184

6.4.4. Modelo de regressão para previsão de acidentes – Pista Norte 193

6.4.4.1. Modelo de Regressão 194

6.4.4.2. Previsão de acidentes usando efeito fixo 197

6.5 ESTUDO DE SOLUÇÕES CORRETIVAS 200

6.6 RESTAURAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS COM SOLUÇÕES ESTUDADAS 208

6.6.1. Restauração de pontos críticos - 2016 209

6.6.2. Método Construtivo dos Trechos Experimentais – Pista Norte 210

6.6.3. Restauração de pontos críticos - 2017 215

6.6.4. Método Construtivo dos Trechos Experimentais – Pista Sul 216

6.7 RELATÓRIO FINAL 230

6.7.1. Resultados e Conclusões 230

6.7.2. Considerações Finais 234

6.8 CAPACITAÇÃO TÉCNICA E DE PESSOAL 236

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA 238

7. REFERÊNCIAS 239

ANEXO 1 272

ANEXO 2 273

ANEXO 3 274

ANEXO 4 275

ANEXO 5 ..... **276**

ANEXO 6 ..... **277**

ANEXO 7 ..... **278**

ANEXO 8 ..... **279**

ANEXO 9 ..... **280**

ANEXO 10 ..... **281**

ANEXO 11 ..... **282**

ANEXO 12 ..... **283**

ANEXO 13 ..... **287**

1. CONCESSIONÁRIA

Autopista Régis Bittencourt

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. TÍTULO DO PROJETO

Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto de pesquisa foi avaliar a Rodovia Régis Bittencourt visando a redução de acidentes e melhoria das condições de segurança viária. Primeiramente, procedeu-se na identificação de trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes viários, principalmente em condições climáticas adversas (situação de pista molhada), com o propósito de desenvolver e implantar soluções no pavimento para redução de frequência e severidade de tais eventos.

Durante o projeto foram realizadas as seguintes atividades:

a) Desenvolvimento de metodologia de tratamento, conversão e manipulação dos dados fornecidos pela concessionária “Autopista Régis Bittencourt” para o formato compatível com as análises espaciais e estatísticas realizadas.

b) Desenvolvimento de análises estatísticas e espaciais, incorporando dados operacionais e registros de acidentes, disponibilizados pela concessionária “Autopista Régis Bittencourt”, desde agosto de 2008 até novembro de 2018.

c) Identificação dos trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes nas pistas sentidos norte e sul da rodovia por meio das análises realizadas.

d) Seleção dos trechos experimentais na pista norte (dois trechos) e na pista sul (dois trechos) para receber as soluções de pavimento estudadas e adotadas.

e) Implantação das soluções de pavimento nos trechos experimentais da pista norte e da pista sul da rodovia.

f) Realização dos ensaios de textura laser nos trechos experimentais das pistas norte e sul.

g) Realização dos ensaios de atrito *griptester* nos trechos experimentais das pistas norte e sul.

h) Desenvolvimento de modelo estatístico de previsão de acidentes incorporando variáveis advindas dos ensaios em laboratório e trabalhos de campo, dados operacionais e registros de acidentes.

i) Caracterização da geometria e sinalização por scanner da pista norte.

j) Acompanhamento da dinâmica das ocorrências de acidentes viários nos trechos experimentais das pistas norte e sul.

k) Acompanhamento e monitoramento da dinâmica das ocorrências de acidentes viários nos trechos experimentais das pistas norte e sul e verificação do desempenho das soluções adotadas.

l) Elaboração e entrega, a cada seis meses de projeto, de Relatórios Parciais de Acompanhamento das atividades realizadas e resultados obtidos.

Portanto, o resultado final do projeto é a apresentação do panorama da segurança viária da rodovia e o entendimento da dinâmica da ocorrência de acidentes viários, bem como o

acompanhamento do resultado das ações desenvolvidas aspirando a melhora das condições de segurança da estrada.

2.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estão relacionados à parcela dos acidentes ocorridos na rodovia Régis Bittencourt em condições climáticas adversas e pavimento molhado. Para tanto, verificou-se a associação entre a ocorrência de acidentes e as condições do pavimento quando ocorre precipitação, de modo a estudar a viabilidade para implantar soluções de revestimentos asfálticos para aumento de aderência.

Avaliaram-se os procedimentos para a determinação da megatextura (responsável por parte da irregularidade), envolvendo trilhas de roda e deformações capazes de causar empoçamento de água e, por consequência, aumento da probabilidade de hidroplanagem, bem como os procedimentos para determinação da textura superficial dos pavimentos usando métodos tradicionais e métodos alternativos e rápidos de imagem e processamento digital. A meta foi encontrar soluções para a melhoria da megatextura, macrotextura e microtextura superficiais de pavimentos asfálticos (conforme ilustrado na Figura 1), com o advento de projetos de misturas asfálticas e aplicação contemplando restaurações que gerem uma superfície adequada para garantir os maiores coeficientes de atrito molhado.

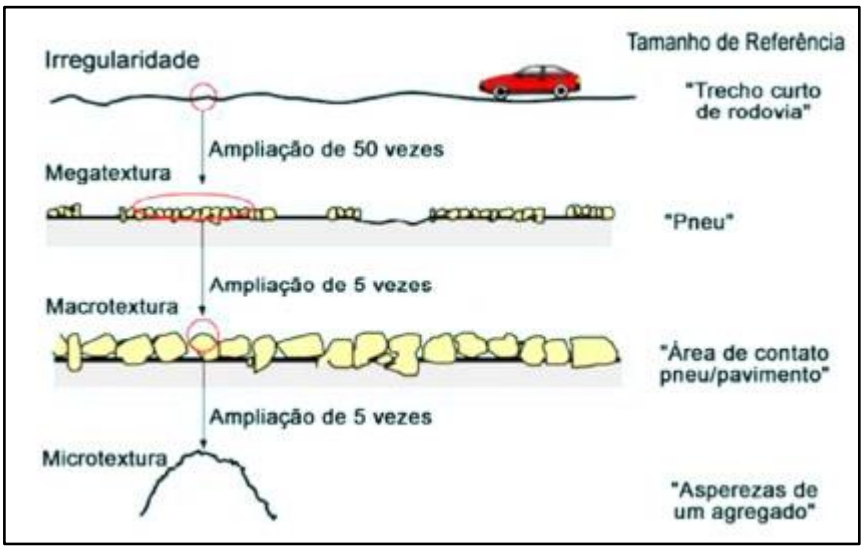


Figura 1: Representação das irregularidades no pavimento: mega, macro e microtextura

Nesse sentido, também foram realizados estudos estatísticos e espaciais, e desenvolveu-se um modelo de regressão para a previsão de acidentes ocorridos na rodovia (pistas norte e sul). Essas análises forneceram subsídios técnicos e teóricos para definição: (i) da localização dos trechos experimentais onde as soluções de pavimentos foram implementadas, e (ii) qual(is) o(s) tipo(s) de solução de pavimento mais adequada(s) às características da rodovia (pistas norte e sul) e que seriam eficiente na redução de acidentes em condição de pista molhada e, consequentemente, acarretando a melhoria da segurança viária.

Desde o início do projeto (janeiro/2015 a dezembro/2018) acompanhou-se a dinâmica de ocorrências de acidentes e verificação do desempenho das soluções adotadas ao longo dos trechos experimentais das pistas norte e sul que passaram pelas intervenções. Dessa forma, buscou-se o aprimoramento contínuo do modelo de previsão de acidentes concebido através do monitoramento constante do desempenho do pavimento e acompanhamento dos registros de acidentes.

3. JUSTIFICATIVA

Acidentes viários são um dos maiores problemas do mundo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015), a cada ano, cerca de 1,25 milhão de pessoas morrem e outras 50 milhões são feridas em acidentes de tráfego. Dentro deste nefasto cenário, os países de baixa e média renda, como é o caso do Brasil, respondem por quase 90% das fatalidades e vítimas feridas nas estradas. (OMS, 2015; LUO *et al*., 2017; RUSLI *et al*., 2017)

A Organização das Nações Unidas (ONU) propôs que o período entre os anos de (2011 – 2020) seja conhecido como a “Década de Ação pela Segurança no Trânsito”, uma oportunidade de longo prazo para condução de atividades coordenadas de apoio à segurança rodoviária mundial, visando diminuir as mortes causadas pelos acidentes de tráfego. A Figura 2 ilustra o objetivo da iniciativa proposta pela ONU de interromper ou reverter a tendência crescente das vítimas do tráfego rodoviário ao redor do mundo, bem como a previsão do cenário se nada for feito.

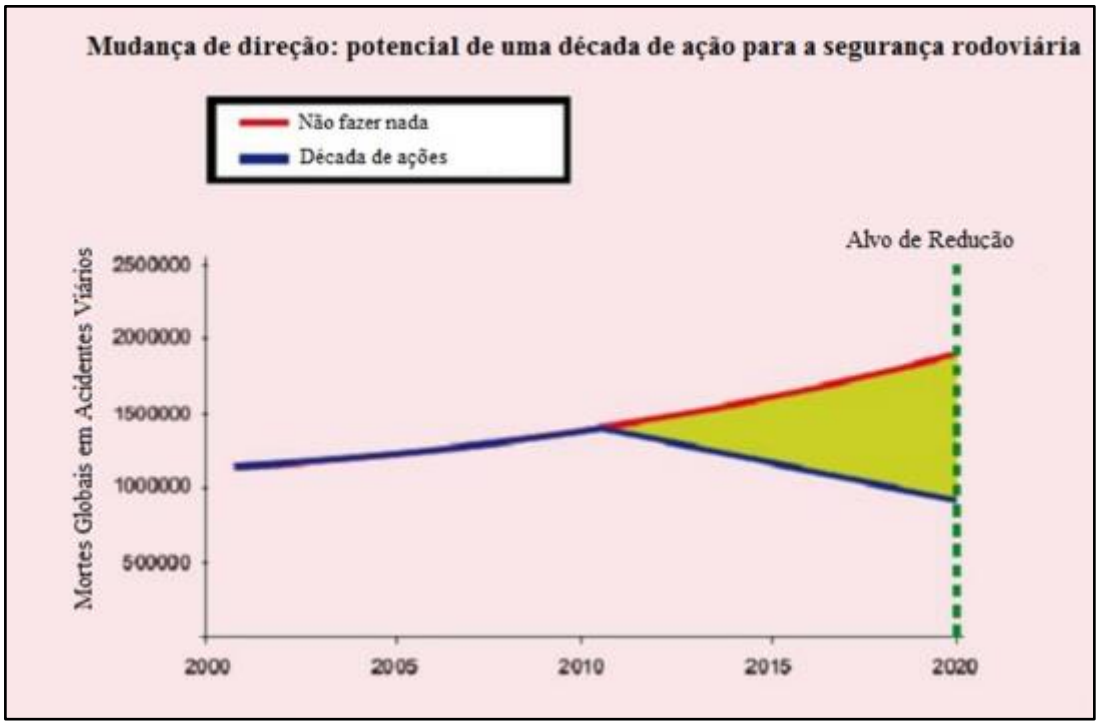


Figura 2: Objetivo da iniciativa "Década de Ação pela Segurança no Trânsito" – ONU
Fonte: Adaptado de <http://www.who.int/roadsafety/ministerial_conference/a_decade_of_action.pdf>

O relatório 2015 da OMS ainda afirma que 68 países tiveram aumento no número de mortes nas estradas desde 2010, dos quais 84% são países de baixa ou média renda. Por outro lado, 79 países tiveram diminuição no número absoluto de óbitos, dos quais 56% são de baixa e média renda, conforme pode ser verificado na Figura 3.

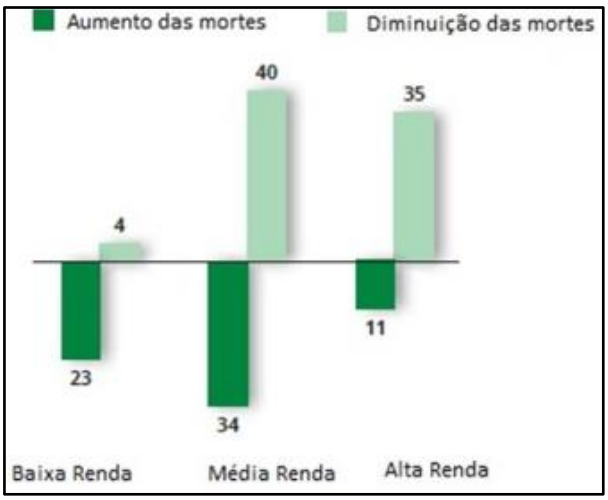


Figura 3: Países com mudanças no número de mortes no trânsito (2010-2013), de acordo com o nível de renda.
Fonte: Adaptado de OMS (2015)

A OMS (2015) elenca cinco fatores de risco quanto à ocorrência de acidentes que devem ser atacados por meio de legislação específica e a devida fiscalização – as chamadas "*Best Practice Legislation*". São eles:

a) Velocidade (de acordo com a capacidade e hierarquia da via).

b) Ingestão de bebida alcoólica seguida da condução de veículos.

c) Uso de capacetes de proteção para condutores e passageiros de motocicleta, bicicleta ou outros veículos similares.

d) Uso do cinto de segurança (para todos os ocupantes de veículos).

e) Dispositivos para restrição infantil (*child restraints*), como uso de cadeiras e assentos apropriados, de acordo com a idade e tamanho da criança.

A Figura 4 ilustra a posição do Brasil perante os outros nove países mais populosos do mundo quanto à adoção das "Best Practices" de segurança viária, e evidencia que a legislação brasileira é umas das mais abrangentes do mundo. Assim sendo, o relatório de segurança viária da OMS (2015) afirma que o Brasil tem feito progressos quanto às suas iniciativas para redução dos acidentes viários, notadamente os eventos fatais, atuando (através de legislação específica) em quatro dos cinco fatores de risco associados aos eventos de acidentes. Todavia, a simples existência da legislação em conformidade com as "Best Practices" não implica, necessariamente, na redução da frequência e severidade dos acidentes viários. Para tanto, é preciso garantir a execução das leis e normas de tráfego, através da fiscalização, controle e educação de trânsito. O correto cumprimento das "Best Practices" implica em um enorme potencial para salvar vidas e reduzir lesões resultantes de acidentes rodoviários.

	Velocidade	Beber e Dirigir	Capacetes	Cinto de Segurança	Restrição Infantil
China		✓		✓	
Índia				✓	
EUA					
Indonésia					
Brasil		✓	✓	✓	✓
Paquistão					
Nigéria					
Bangladesh					
Rússia			✓	✓	✓
Japão			✓	✓	

Figura 4: Os dez países mais populosos e a legislação de “Best Practices” no tráfego.
Fonte: Adaptado de OMS (2015)

Em setembro de 2015, em Nova York, o Brasil aderiu ao documento da ONU – Organização das Nações Unidas, que inclui a segurança viária como item a ser inserido no texto final do evento sobre “Sustainable Development Goals”. O documento elenca 17 metas a serem alcançadas (http://www.un.org/sustainabledevelopment/summit/), sendo que nos objetivos 3 e 11 há menção à segurança viária. Na meta 3, propõe-se reduzir à metade o número global de mortes e ferimentos causados por acidentes de tráfego até 2020; na meta 11, propõe-se prover acesso à sistemas de transporte seguros, acessíveis e sustentáveis para todos, por meio da melhoria da segurança rodoviária, nomeadamente através da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situações de vulnerabilidade, tais como, crianças, pessoas com deficiência e idosos (ONU, 2019).

Na medida em que, em todo o mundo, aumentam o número de veículos motorizados e a quantidade de quilômetros percorridos por veículo, a exposição da população aos acidentes de trânsito também aumenta. Atualmente, estima-se que as lesões causadas pelo trânsito

sejam a nona causa de morte em todos os grupos etários no mundo, e prevê-se que se tornem a sétima principal causa de morte até 2030. Dada a magnitude do problema de segurança no trânsito, agências rodoviárias em todo o mundo estão trabalhando arduamente para melhorar a segurança nas rodovias, em um esforço para reduzir os custos humanos, econômicos e sociais associados aos acidentes de tráfego (LUO *et al*., 2017).

Segundo Çela *et al.* (2013) os acidentes de tráfego podem ser considerados uma epidemia global que exige ações de prevenção eficiente e sustentável. Diante dos contundentes impactos sociais, emocionais e econômicos impostos à sociedade pelos altos índices de acidentes, a redução desses números tem sido a principal ênfase das agências reguladoras de transporte rodoviário e dos fabricantes de veículos automotores (GBD, 1996; WANG *et al*., 2013; BALAGH *et al*., 2014).

Os custos para lidar com as consequências dos acidentes viários são da ordem de bilhões de dólares, quantia esta que poderia ser aplicada em ações e intervenções no sistema de transporte a fim de evitar a ocorrência de acidentes (OMS, 2013). Os acidentes são responsáveis pelo segundo maior custo de transporte, decorrentes dos danos pessoais (ferimentos, lesões permanentes e fatalidades) e danos materiais (nos veículos e outras propriedades públicas ou particulares), além de favorecer a degradação da qualidade de vida, a diminuição do tempo disponível para condução de atividades e para a manutenção de relacionamentos sociais (SMALL e VERHOEF, 2007; SANTOS *et al*., 2010; SUZUKI *et al*., 2013).

Schepers *et al*. (2014) afirmam que os riscos de ocorrência e a severidade dos acidentes viários são decorrentes das características das viagens (volume de tráfego, escolha modal e distribuição do tráfego no tempo e espaço), das características da infraestrutura de transporte, dos tipos de veículos e do comportamento dos usuários. Grande parte dos

acidentes é causada pela combinação de fatores comportamentais (e. g. formação inadequada e incompleta dos condutores de veículos, ausência de programas de educação de trânsito para todos os usuários do sistema de transporte), tecnológicos (e. g. falhas na manutenção dos veículos, ausência ou mau funcionamento de equipamentos e dispositivos de segurança), estruturais (e. g. projeto viário inadequado e/ou insuficiente, ausência ou mau funcionamento de sinalização, fiscalização e controle de tráfego) e ambientais (e. g. condições climáticas e de visibilidade). Além desses fatores, Moeinaddini *et al*., 2014 afirmam que as políticas públicas (orçamento e engajamento do governo para ações de segurança viária, nível de regulação e aplicação das leis de trânsito), características pessoais dos usuários (condições físicas e de saúde, idade, gênero, renda, educação), condições socioeconômicas, e circunstâncias geográficas e demográficas (distâncias médias percorridas, tempo de viagem, densidade populacional) também são fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de tráfego.

Consequentemente, o entendimento desses vários fatores e a identificação de seus efeitos, separados ou combinados, na frequência e severidade dos acidentes é crucial para reduzir a quantidade de mortes e diminuir a gravidade das lesões (HABIBOVIC e DAVIDSSON, 2011; HABIBOVIC e DAVIDSSON, 2012; OTTE *et al*., 2012; THEOFILATOS e YANNIS, 2014). Portanto, uma ampla compreensão da distribuição espacial e temporal dos acidentes viários fornece uma considerável contribuição para o desenvolvimento de programas de redução de acidentes, bem como para a avaliação da eficiência de tais programas (YAMADA e THILL, 2004). A identificação e descrição dos locais mais perigosos e propensos à ocorrência de acidentes fornecem novas reflexões sobre a complexidade das causas dos acidentes viários (GEURTS *et al*., 2005).

É oportuno salientar que lesões e mortes causadas pela violência no tráfego têm sido tradicionalmente consideradas e tratadas como "acidente", ou seja, como um evento aleatório, imprevisível e inevitável. Nos últimos anos, a expressão "acidente de trânsito" tem sido questionada, a fim de se obter uma melhor compreensão da natureza dos eventos, que são, na maioria dos casos, situações evitáveis, sendo necessário estabelecer ações afirmativas para reduzir a quantidade de acidentes, alterar o comportamento dos usuários, adotar programas de segurança viária, e oferecer um sistema de transporte de alta qualidade (PEDEN *et al*., 2002;. MALTA *et al*., 2012.).

Yu e Abdel-Aty (2014) afirmam que dentre os vários aspectos dos estudos de segurança, as análises sobre os acidentes de tráfegos, que visam reduzir a ocorrência de ferimentos e fatalidades, são fundamentais para profissionais que atuam: na gestão de rodovias; na elaboração de projetos viários; na aplicação das normas de trânsito, em aspectos relativos à saúde pública e nos serviços de emergência e trauma; na elaboração de políticas públicas, conscientização e educação de trânsito, etc. As variáveis explanatórias mais importantes para este tipo de estudo são o comportamento dos usuários, fluxo de tráfego, as características geométricas e as condições ambientais (como por exemplo, os eventos climáticos).

Para Abdel-Aty *et al*. (2011) os efeitos e impactos dos eventos climáticos sobre a operação e segurança dos sistemas de transportes é um ponto fundamental nos estudos e pesquisas de transporte. Vários estudos, dentre os quais se destaca Maze *et al*. (2006), Koetse e Rietveld (2009), Amin *et al*. (2014), têm discutido os efeitos das condições climáticas adversas no setor de transportes. De acordo com Amin *et al.* (2014) as condições meteorológicas, tais como temperatura, velocidade do vento e precipitação, são importantes fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes viários; pois, reduzem a visibilidade e podem

causar a perda do controle dos veículos, por exemplo, por falha na aderência pneu-pavimento devido a hidroplanagem (com a formação de lâmina d'água) e derrapagem. Logo, as condições de pista molhada são consideravelmente agravantes na ocorrência de acidentes (BRODSKY e HAKKERT, 1988; ANDREY e YAGAR, 1993; MIAOU *et al*., 2003; EISENBERG, 2004; CHANG e CHEN, 2005; CALIENDO *et al*., 2007; YU *et al*., 2013). O pavimento, tanto sua regularidade superficial, quanto à textura superficial, é um dos fatores determinantes para promover aderência pneu-superfície em períodos de chuva.

Portanto, pode-se afirmar que as condições climáticas adversas causam perturbações nas viagens, resultando em velocidades mais lentas, atrasos e aumento de acidentes. Aproximadamente 24% dos acidentes viários estão relacionados com eventos climáticos adversos. Os eventos climáticos atuam através de problemas de visibilidade, precipitação, ventos fortes e temperaturas extremas, afetando a capacidade do motorista, o desempenho do veículo, o atrito do pavimento e a infraestrutura da estrada. Acidentes relacionados ao pavimento molhado ou coberto de neve, lama ou gelo são aqueles que ocorrem na presença de chuva, granizo, neve ou neblina. O risco de ocorrer um acidente aumenta de 50 a 100% durante precipitações (LUO *et al*., 2017).

Do ponto de vista da Engenharia, as rodovias devem ser projetadas, construídas e mantidas de forma a fornecer uma operação segura, eficiente e econômica para todos os usuários. (AL-MASAEID, 1997). Uma operação rodoviária segura pressupõe minimizar a ocorrência de acidentes de tráfego (atropelamentos, colisões, capotamento, tombamento, etc.), acidentes decorrentes de problemas de drenagem e excesso de chuva (por exemplo: solapamento da pista (OSMAN e ADAM, 2015)), problema de contenção de taludes, que ocasionam deslizamentos de massas de terra na pista da rodovia (MANFRÈ *et al*., 2016), entre outros eventos possíveis. Por sua vez, uma operação rodoviária eficiente é alcançada através da

gestão dos tráfegos, tirando o maior proveito possível da capacidade da via, minimizando assim os tempos de viagens e maximizando o conforto dos usuários; da otimização do uso de recursos do ponto de vista energético; da sustentabilidade em termos construtivos e de manutenção de suas infraestruturas (nas perspectivas ambiental, econômica e social); da adoção de melhores práticas de segurança; da capacidade de resiliência; do uso de tecnologias de automatização e sistemas inteligentes; e da integração com outros modos de transporte, garantindo a interoperabilidade dos sistemas regionais e urbanos (MACEDO, 2015). Por fim, uma operação econômica diz respeito a garantia do funcionamento equilibrado da rodovia, de acordo com os objetivos públicos em consonância com a iniciativa privada (no caso de rodovias sob concessão), de modo a assegurar os menores custos associados à maior eficiência (BARAT, 1971; CADORE, 2005).

Para que a operação seja, de fato, segura, eficiente e econômica, investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) são desejáveis e recomendáveis. Nesse contexto, se insere o presente projeto, que tem o intuito de prover os gestores da rodovia com subsídios técnicos e teóricos para a melhoria da segurança viária, de forma a investigar como se verifica a influência da qualidade e tipo do pavimento na ocorrência de acidentes de tráfego, notadamente em condições meteorológicas adversas (neblina, chuva, granizo, geada, neve etc.). Os estudos até então realizados, corroboram as hipóteses iniciais e comprovam que soluções de pavimento podem reduzir a frequência desses eventos.

Iniciativas e programas de redução de acidentes vêm sendo conduzidos no Brasil pelo Poder Público, empresas concessionárias de rodovias, institutos de pesquisa, universidades, etc., com a adoção de legislação adequada, medidas para garantir o cumprimento das leis, o investimento em infraestrutura segura nas estradas e vias urbanas, o controle do excesso de velocidade, o enfrentamento do consumo abusivo de álcool e a garantia do atendimento às vítimas, etc. Porém o diagnóstico da segurança viária no Brasil ainda está longe do aceitável, com números ainda crescentes de acidentes e morte no trânsito, colocando o país com 21,5

mortes por cem mil habitantes, acima da média para a América Latina e Caribe, que é de 17,2 (BID, 2013; NARDI *et al*., 2015).

O investimento em pesquisas de segurança viária é, portanto, plenamente desejável e deve ser incentivado pelos tomadores de decisão. Desta maneira, o projeto aqui apresentado demonstra sua relevância, na medida em que atua em parceria com a empresa gestora de uma das mais importantes rodovias do Brasil, em um esforço coordenado para atingir a meta proposta pela ONU e corroborada pela OMS para a redução das lesões e mortes no trânsito.

Por esta razão, o presente projeto de pesquisa, desenvolvido em parceria entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e o Centro de Desenvolvimento Tecnológico (ARTERIS), financiado pela concessionária "Autopista Régis Bittencourt", se justifica por se propor a estudar e buscar soluções para a redução, tanto da quantidade quanto da severidade, dos acidentes viários que ocorrem em pista molhada, através da melhoria da textura superficial dos pavimentos, indo de encontro aos anseios dos usuários dos sistemas de transportes, poder público e gestores de rodovias (quer estes sejam públicos ou privados).

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Esta pesquisa teve duração de quatro anos (de janeiro/2015 a dezembro/2018) e foi desenvolvida a partir de dados coletados, catalogados, armazenados e disponibilizados pela concessionária "Autopista Régis Bittencourt". Durante a vigência do projeto foi realizada uma série de estudos sobre as características mais relevantes dos segmentos críticos da rodovia quanto à ocorrência de acidentes viários, bem como intervenções controladas no pavimento, para alteração de atrito e textura, visando melhorar a aderência, principalmente em condições meteorológicas adversas. As durações das fases do projeto são apresentadas na Figura 5.

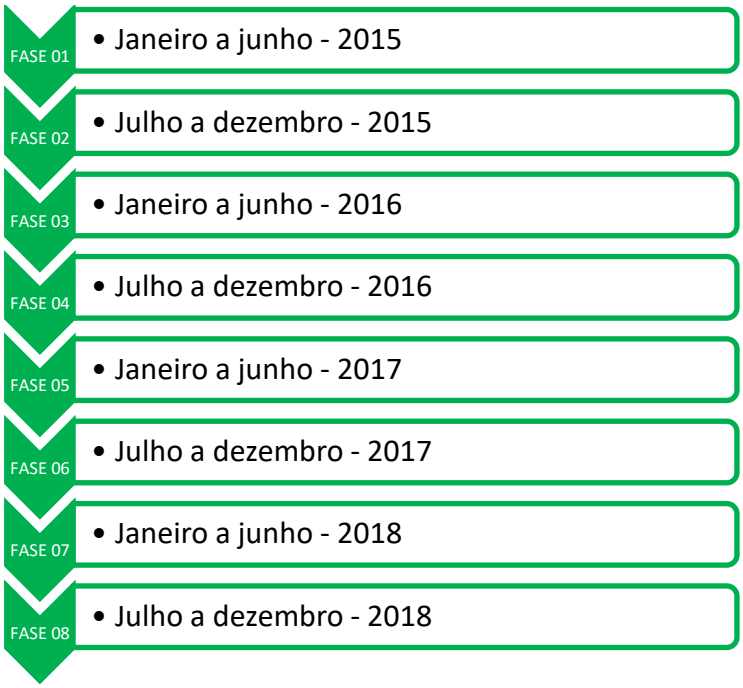


Figura 5: Fases do projeto de pesquisa desenvolvido EPUSP - ARTERIS.

Nas duas primeiras fases os acidentes foram avaliados por meio de análises espaciais e estatísticas, para sua caracterização em diferentes enquadramentos, tais como: localização, data e hora da ocorrência (verificação da sazonalidade, isto é, o padrão de distribuição dos eventos relacionado a flutuações periódicas, de período constante, que podem ser causadas por mudanças de anos, estações, meses do ano, dias da semana, horários do dia, etc.); tipo de ocorrência (colisão, tombamento, capotamento, etc.); grau de severidade (sem vítima, com vítima ou fatalidade); condições meteorológicas; condições de visibilidade; condições associadas às características de relevo (perfil e traçado da pista). Similarmente, os trechos críticos da rodovia também foram caracterizados no tocante à geometria, topografia e topologia.

Em seguida, na terceira fase, elaborou-se a primeira versão de um modelo estatístico de regressão com os dados até então disponíveis, e realizou-se uma análise espacial em rede, ou seja, a densidade de acidentes foi calculada não sobre uma área de influência ao redor da via, mas sim no próprio eixo da rodovia.

Na fase quatro, realizou-se visita técnica à Rodovia Régis Bittencourt com a finalidade de avaliar e observar os trechos críticos identificados e “candidatos” às intervenções no

pavimento na pista Norte (trechos experimentais). Como resultado das análises feitas nas três primeiras fases, durante a fase quatro, os trechos experimentais foram selecionados e as soluções de pavimento executadas em dois segmentos da pista norte (trechos experimentais 01 e 02).

Na fase cinco, após a execução das soluções de pavimento nos trechos experimentais 01 e 02, os mesmos foram reavaliados quanto à ocorrência de acidentes viários, para verificação do desempenho da solução adotada na redução da frequência dos acidentes. Análises similares realizadas até então na pista norte da rodovia foram replicadas para a pista sul, para identificação dos segmentos críticos. Também foram coletadas amostras das soluções asfálticas adotadas para realização de ensaios laboratoriais e foram realizados ensaios de campo de textura (*laser*) e de atrito (*griptester*) nos trechos construídos.

Na fase seis, as análises realizadas foram atualizadas, com a introdução dos dados operacionais e de registros de acidentes referentes até novembro de 2017, e também dos resultados dos ensaios de campo de textura e atrito que passaram a compor os estudos. A finalidade desta reavaliação é o monitoramento e a verificação do desempenho da solução de pavimento adotada em continuar com a redução da quantidade de acidentes ocorridos nos trechos experimentais. Adicionalmente, as amostras de mistura asfáltica advindas dos trechos experimentais da pista norte foram avaliadas por ensaios realizados em laboratório.

Na fase sete as análises foram atualizadas com a introdução dos dados operacionais e de registros de acidentes referentes até maio de 2018 para as pistas norte e sul. No caso da pista norte, a finalidade da atualização das avaliações é monitorar o desempenho da solução de pavimento adotada no que se refere à redução da quantidade de acidentes ocorridos nos trechos experimentais. Para a pista a sul, esta foi a primeira avaliação do desempenho da solução de pavimento implementada nos trechos experimentais. Além disso, foi desenvolvido um modelo de regressão para previsão de acidentes para a pista norte da rodovia. Quanto aos resultados dos ensaios percebe-se que nos trechos experimentais realizados na pista sul houve melhoria tanto nos valores de atrito quanto de textura. Já para os trechos experimentais na pista norte, houve melhoria no momento da intervenção, porém, a mesma começou a sofrer a influência do tráfego.

Por fim, na fase oito foi feita a última análise da redução de acidentes para as pistas norte e sul, considerando-se os dados de volume de tráfego e registros de acidentes até o mês de novembro de 2018, dado que as informações posteriores a esse período ainda não estavam disponíveis no momento de finalização deste relatório final. Além disso, são expostos os resultados dos novos ensaios realizados em laboratório, em complementação àqueles apresentados na fase seis, e dos ensaios em campo, que tiveram sua última etapa realizada em junho de 2018. Para a pista norte essa última medição em campo foi a terceira realizada após a intervenção, enquanto que para a pista sul foi a segunda.

5. ETAPAS

A fase 1 do projeto, desenvolvida no primeiro semestre de 2015, contou com 4 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Revisão bibliográfica:
  - ✓ Aderência em pavimentos molhados:
    - Superfície do pavimento;
    - Interação pneu-pavimento;
    - O pneu e a hidroplanagem;
    - O pavimento.
  - ✓ Análises espaciais e sistemas de informações geográficas:
    - Técnicas para identificação e delimitação de seções caracterizadas pela concentração de acidentes de uma rodovia;
    - O Estimador Kernel de Densidade (EKD).
- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até novembro de 2014).
- Análise e tratamento dos dados.
- Relatório periódico.

A fase 2 do projeto, desenvolvida no segundo semestre de 2015, contou com 6 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Revisão bibliográfica:

- ✓ Aderência em pavimentos molhados:
  - Superfície do pavimento;
  - Interação pneu-pavimento;
  - O pneu e a hidroplanagem;
  - O pavimento;
  - Textura do pavimento *versus* acidentes.
- ✓ Segurança Viária:
  - Acidentes de tráfego e as condições climáticas adversas;
  - Estudos sobre os acidentes de tráfego – análises e modelos estatísticos de regressão;
  - Estudos sobre acidentes de tráfego: análises espaciais

- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até outubro de 2015).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento visual contínuo;
  - ✓ Levantamento por equipamento scanner para identificação das características e parâmetros geométricos e de sinalização.
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Megatextura: barra a laser e/ou Merlin
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.
- Análise e tratamento dos dados.
- Capacitação técnica de pessoal
  - ✓ Palestra realizada no Centro de Desenvolvimento Tecnológico da ARTERIS, Registro/SP, em 07 de agosto de 2015 (anexo 1)
- Relatório periódico.

A fase 3 do projeto, desenvolvida no primeiro semestre de 2016, contou com 6 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Revisão bibliográfica (mesmo não estando previsto no cronograma inicial, julgou-se por bem realizar nova e ampliada revisão da literatura para embasar as atividades realizadas durante esta fase):
  - ✓ A superfície do pavimento e a ocorrência de acidentes viários.
  - ✓ Modelos estatísticos para estudos sobre os acidentes viários.
  - ✓ Ferramentas de análise espacial para o estudo de acidentes viários.
- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até outubro de 2015).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.
- Análise e tratamento dos dados.
- Estudo de soluções corretivas.
- Restauração de pontos críticos com soluções estudadas:
  - ✓ Foram selecionados dois trechos experimentais na pista norte:
    - Trecho 1 norte: km 518,000 ao km 517,300 – liberado ao tráfego em 26/06/2016;
    - Trecho 2 norte: km 545,370 ao km 544,720 – liberado ao tráfego em 12/07/2016.
- Relatório periódico.

A fase 4 do projeto, desenvolvida no segundo semestre de 2016, contou com 6 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Revisão bibliográfica (mesmo não estando previsto no cronograma inicial, julgou-se por bem realizar nova e ampliada revisão da literatura para embasar as atividades realizadas durante esta fase):
  - ✓ Desenvolvimento e aplicação de modelos estatísticos de previsão de acidentes em rodovias: Modelos Lineares Generalizados (MLG) – Distribuição Binomial Negativa.

- ✓ Resistência ao deslizamento e a influência da textura e atrito do pavimento na ocorrência de acidentes rodoviários – Ensaios de textura (laser) e atrito (griptester).

- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até outubro de 2015).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.
- Análise e tratamento dos dados.
- Capacitação técnica:
  - ✓ Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em agosto de 2016 (anexo 2).
  - ✓ Palestra no X Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 30 de agosto de 2016 (anexo 3).
- Relatório periódico.

A fase 5 do projeto, desenvolvida no primeiro semestre de 2017, contou com 6 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Revisão bibliográfica (mesmo não estando previsto no cronograma inicial, julgou-se por bem realizar nova e ampliada revisão da literatura para embasar as atividades realizadas durante esta fase):
  - ✓ Análises estatísticas para estudos sobre acidentes em rodovias.
  - ✓ A superfície do pavimento: atrito e textura na redução de acidentes de tráfego.
- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até abril de 2017).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.

- Análise e tratamento dos dados.
- Estudo de soluções corretivas.
- Relatório periódico.

A fase 6 do projeto, desenvolvida no segundo semestre de 2017, contou com 6 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Levantamento de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até novembro de 2017).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos – pista norte:

  Em laboratório:

  - ✓ Aproximadamente 12 kg de mistura asfáltica do tipo “Gap graded” 9,5 proveniente da intervenção feita no trecho experimental 2 norte entre os km 545 + 370 m e km 544 + 720 m da Rodovia Régis Bittencourt cedidas pela Concessionária “Autopista Régis Bittencourt” – ARTERIS.
  - ✓ Mesa compactadora LCPC (“Laboratoire Central des Ponts Chaussess”) pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
  - ✓ “Pavement Texture Analyzer” (PTA) desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo sob o número de registro BR102013013198-9.
  - ✓ Macrotextura: ensaio de Mancha de Areia (conforme a norma ASTM E965):
    - Esferas de vidro, arredondadas, passante na peneira nº 60 (0,177mm) e retida na peneira nº 80 (0,250mm), com um volume de 25.000 mm³.
    - Pistão circular.
    - Trena.
  - ✓ Microtextura: Pêndulo Britânico:

- Equipamento pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentos do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Água para umedecimento da superfície pavimento.

✓ Ensaio de Simulação de tráfego:

- Equipamento de deformação permanente – Orniéreur (Simulador de Tráfego) pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Em campo:

- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.
- Análise e tratamento dos dados.
- Restauração de pontos críticos com soluções estudadas:
  - ✓ Foram selecionados dois trechos experimentais na pista sul:
    - Trecho 1 sul: km 548,784 ao km 549,420 – liberado ao tráfego em 15/11/2017;
    - Trecho 2 sul: km 560,000 ao km 563,300 – liberado ao tráfego em 10/12/2017.
- Capacitação técnica:
  - ✓ Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em 19 de julho de 2017 (anexo 4).
  - ✓ Palestra no XI Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 17 de agosto de 2017 (anexo 5).
  - ✓ XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes: 29 de outubro e 01 de novembro de 2017, na cidade de Recife, capital do Estado do Pernambuco:

- Apresentação do relatório de Dissertação de Mestrado em andamento da aluna Fernanda Carvalho, sob orientação da Prof. ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado "Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos". O trabalho aborda o tema deste projeto, com ênfase à solução asfáltica implementada nos trechos experimentais da pista sentido norte. O trabalho foi apresentado dentro da área temática de Infraestrutura, na sessão técnica sobre Dimensionamento, Avaliação e Gestão de Pavimentos (anexo 6).

✓ TRB First International Roadside Safety Conference: Safer Roads, Saving Lifes, Saving Money: 12 a 15 de junho de 2017, São Francisco, Califórnia, Estados Unidos da América.

- "Making roadsides safer for vulnerable road users", autores José Alberto Quintanilha, Liédi Legi Bariani Bernucci, Linda Lee Ho, Cláudia Soares Machado, Orlando Yesid Esparza Albarracin (anexo 7).

- Relatório periódico.

A fase 7 do projeto, desenvolvida no primeiro semestre de 2018, contou com 4 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplaram:

- Levantamento e atualização da base de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até maio de 2018).
- Avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:
  - ✓ Levantamento de textura superficial:
    - Macrotextura: Perfilômetro laser
    - Atrito: Grip Tester.
- Análise e tratamento dos dados.
- Relatório periódico.

A fase 8 do projeto, desenvolvida no segundo semestre de 2018, contou com 4 etapas, conforme cronograma inicial proposto. Essas etapas contemplam:

- Levantamento e atualização da base de dados da rodovia em colaboração com operação e mapeamento dos acidentes (abrangendo o período de agosto de 2008 até novembro de 2018).
- Análise e tratamento dos dados.
- Capacitação técnica: a realização do presente projeto propiciou a condução de várias pesquisas e trabalhos científicos, a saber:
    - ✓ Projeto de Pesquisa de Pós-doutoramento: "Caracterização espaço-temporal de acidentes viários" – Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado, supervisor Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início novembro de 2016 até o presente (anexo 8).
    - ✓ Dissertação de Mestrado: "Análise da textura superficial de pavimentos asfálticos e sua influência na ocorrência de acidentes de tráfego em condição de pista molhada" – Fernanda Santana Carvalho, orientadora Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início março de 2017 até o presente (anexo 9).
    - ✓ Dissertação de Mestrado: "Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de tratamento superficial duplo com asfalto modificado por borracha (TSD-AMB)" - Guilherme Rodrigues Linhares, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início março de 2017 até o presente (anexo 10).
    - ✓ Iniciação Científica: "Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos" - Gustavo Sassone Matsunaga, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início agosto de 2016 – término em agosto de 2017 (anexo 11).
- Relatório final.

6. RELATÓRIO FINAL

Neste Relatório Final serão abordados os itens descritos anteriormente (capítulo 5), conforme proposta aprovada pela ANTT, de cada uma das fases elencadas no capítulo 4.

6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante o desenvolvimento do projeto buscou-se subsídio teórico e científico para as atividades realizadas na literatura acadêmica nacional e internacional, através de uma ampla revisão bibliográfica em periódicos, anais de congressos e outros eventos de reconhecida relevância no tema "segurança viária". Subsidiariamente, a pesquisa bibliográfica possibilitou a produção de material didático, e também a realização de aulas e palestras sobre segurança viária, para que assim seja possível compartilhar os resultados e conclusões com a comunidade acadêmica e técnica. Além disso, a partir desse estudo espera-se efetivar a orientação e co-orientação de alunos de Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado para conduzirem suas pesquisas e projetos sobre segurança viária.

Durante a execução do projeto a revisão bibliográfica norteou: (i) os procedimentos de avaliação das características da rodovia quanto ao pavimento, principalmente relativo à superfície (textura e atrito); (II) seleção dos segmentos críticos por tipo de acidente, com destaque à ocorrência de acidentes por derrapagem; (III) seleção dos trechos experimentais onde foram implantadas as soluções de pavimento; (IV) estudo de soluções corretivas de superfície, visando o aumento de aderência em pista molhada; (V) execução de revestimentos teste visando soluções corretivas; (VI) monitoramento de superfície e dados de acidentes de modo a avaliar se a solução indicada obteve sucesso para a redução da frequência de acidentes e sua severidade. A seguir, é apresentada a revisão da literatura realizada ao longo da vigência deste trabalho.

6.1.1. Aderência em pavimentos molhados

6.1.1.1. A superfície do pavimento

A superfície do pavimento possui irregularidades que, na engenharia de pavimentação, são divididas em 4 categorias. Em cada uma dessas 4 categorias, a textura do pavimento é

aproximada por formas senóides. Deste modo, podem-se analisar diferentes classes de texturas e o respectivo desempenho em função da amplitude e comprimento de onda médios da aspereza, como se fossem senóides. As 4 diferentes categorias são apresentadas na Figura 6 de forma gráfica, seguindo as definições propostas por Wambold *et al*. (1995). A Figura 7 mostra a superfície de um pavimento com detalhe para a macrotextura, resultante da diferença de altura e forma entre agregados, e a microtextura, resultante de irregularidades nas superfícies dos próprios agregados.

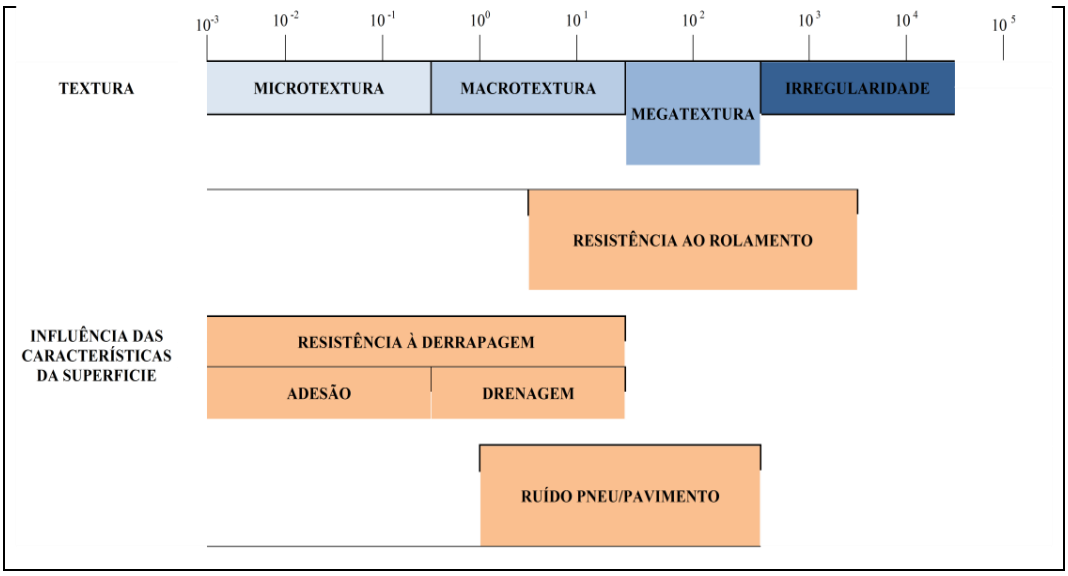


Figura 6: Classes de textura com os respectivos comprimentos de onda de irregularidade e variáveis de desempenho

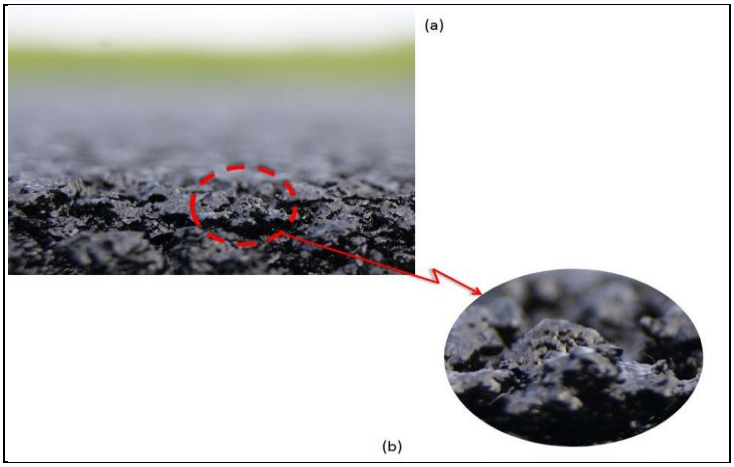


Figura 7: Superfície de pavimento com detalhe para (a) macrotextura e (b) microtextura

Embora as variáveis de desempenho estejam relacionadas a classes de textura, conforme mostra a Figura 6, o desempenho resultante para uma dada superfície não tem uma relação simples ou direta com os parâmetros de textura, dada a complexidade dos fenômenos envolvidos. Estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa em Vias e Transportes da Suécia (VTI) indicaram, por exemplo, que uma macrotextura mais rugosa não implica necessariamente em um maior atrito de rolamento (pneu/pavimento) (IHS e MAGNUSSON, 2000). Na verdade, assim como demonstra a Figura 6, um dos parâmetros ligados à macrotextura é a drenagem. Em condições de pista molhada, uma macrotextura mais rugosa é benéfica para o atrito, já que a água pode ser drenada rapidamente pelos canais da macrotextura enquanto o topo dos agregados ainda mantém contato com o pneu gerando atrito em velocidades mais elevadas. Já em uma frenagem a baixas velocidades, ainda com pista molhada, uma macrotextura muito rugosa pode ser prejudicial ao atrito, já que nestas velocidades, mecanismos de atrito por adesão se tornam mais relevantes. Este atrito por adesão é diretamente dependente da área de contato entre o pneu e o pavimento. Uma textura excessivamente rugosa reduz essa área de contato, reduzindo assim a contribuição adesiva do atrito.

Em vários países vem sendo desenvolvidas pesquisas a fim de que se estabeleçam políticas específicas para o controle e manutenção do atrito e textura adequados na superfície dos pavimentos, visando atingir níveis apropriados de segurança viária (APS, 2006). No caso das especificações brasileira, foi definido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), que os valores encontrados para a resistência à derrapagem (VRD) devem ser superiores à 47, e obtidos de acordo com o Ensaio do Pêndulo Britânico especificado pela norma ASTM E303 (2009). Esse valor de VRD garante que a microtextura do pavimento seja medianamente rugosa (BERNUCCI *et al.*, 2008). Na Tabela 1 estão dispostas as classes de microtextura de acordo com a Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv (1999).

Classe	Valor de Resistência à derrapagem
Perigosa	<25
Muito lisa	25≤VRD≤31
Lisa	32≤VRD≤39
Insuficientemente rugosa	40≤VRD≤46
Medianamente rugosa	47≤VRD≤54
Rugosa	55≤VRD≤75
Muito rugosa	VRD>75

Tabela 1: Classes de microtextura
Fonte: ABPv (1999)

No que se refere à macrotextura, os valores adequados são aqueles que correspondem a um resultado de altura de areia no intervalo entre 0,6 mm e 1,2 mm. A altura de areia deve ser obtida no teste de mancha de areia convencionado pela norma ASTM E965 (2006). Na Tabela 2 estão definidas as classes de macrotextura de acordo com as convenções da ABPv (1999).

Classe	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	≤0,2
Fina ou fechada	0,2<HS≤0,4
Média	0,4<HS≤0,8
Grosseira ou aberta	0,8<HS≤1,2
Muito grosseira ou muito aberta	HS>1,2

Tabela 2: Classes de macrotextura
Fonte: ABPv (1999).

Entretanto, o DNIT (2006) recomenda ainda valores mínimos para o IFI - International Friction Index, sendo eles: (a) 0,22 para obras rodoviárias novas e (b) 0,15 para pavimentos restaurados. O IFI foi definido em 1995 pela PIARC (Permanent International Association of Road Congress atualmente World Road Association) como forma de quantificar os valores de aderência de pavimentos através de um índice unificado que considera os valores de atrito, micro e macrotextura (APS, 2006). Atualmente, está disposta na ASTM E-1960 (2001) uma escala comum e também o procedimento para obtenção do índice.

A relação entre a rugosidade da superfície de pavimentos e a segurança viária já foi objeto de pesquisa devido a sua relação com o atrito resultante e a dirigibilidade. Uma superfície com rugosidade inadequada pode gerar altas taxas de acidentes além de aumentar o desgaste prematuro dos pneus. Pulugurtha *et al*. (2011) utilizaram modelos lineares generalizados para relacionar a macrotextura de pavimentos com as taxas de acidentes, acidentes com ferimentos e danos à propriedade nos Estados Unidos. Cairney e Bennett (2008) encontraram uma relação exponencial entre taxas de acidentes relacionados com a macrotextura de pavimentos na Austrália. Silva *et al*. (2011) analisaram dados de acidentes da rodovia Fernão Dias, BR-381, concluindo que a substituição de um pavimento de concreto asfáltico convencional por um microrrevestimento resultou em uma redução significativa das taxas de acidentes. Os pavimentos foram caracterizados a partir do ensaio de mancha de areia e pelo Pêndulo Britânico resultando em uma superfície mais rugosa para o microrrevestimento. Outros estudos relacionando ainda a superfície de pavimentos à segurança viária também foram realizados na França (GOTHIÉ *et al*., 2001) e no Reino Unido (ROE *et al*., 1991), também reforçando a importância da textura superficial dos pavimentos na segurança viária.

Os chamados efeitos de “splash” e “spray” também estão ligados com a segurança viária e a textura de pavimentos. Quando o pneu interage com o pavimento molhado, parte da água é levada ao ar, reduzindo a visibilidade e comprometendo a segurança dos condutores (CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007). O uso de pavimentos porosos é uma alternativa utilizada em alguns países da Europa para reduzir os efeitos de “splash” e “spray”, possibilitando uma melhor drenagem (GIBBS *et al*., 2005).

6.1.1.2. A interação pneu-pavimento

A interação pneu-pavimento, tal como resultante de uma interação entre superfícies, deve ser compreendida como parte de um sistema tribológico (VIEIRA, 2014). Um sistema tribológico contém três elementos: (i) um par de superfícies que interagem entre si, também conhecidas como corpo e contra corpo, (ii) um meio de contato e (iii) um meio ambiente (CZICHOS e HABIG, 2010). No caso da interação pneu pavimento, as duas superfícies em contato são a superfície da banda de rodagem do pneu e a superfície do pavimento. O meio

de contato é qualquer substância no contato, podendo ser, mais comumente, água ou óleo, e o meio ambiente é o ar em uma dada temperatura. Embora não seja prático controlar todas essas variáveis simultaneamente, é importante reconhecer o papel de cada uma delas para o desempenho resultante. O sistema tribológico descrito é apresentado na Figura 8.

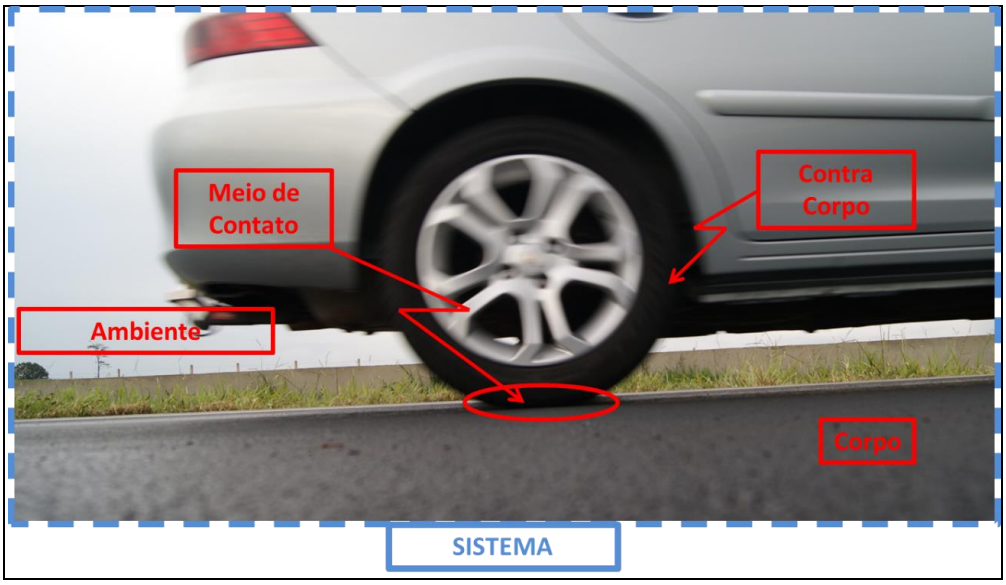


Figura 8: Sistema tribológico na interação pneu pavimento

A teoria de atrito exposta nesta seção é válida para o atrito de escorregamento. Como será exposto a seguir, o pneu interagindo com o pavimento, mesmo em condições de rolamento sem roda travada, apresenta atrito de escorregamento em parte significativa de sua área de contato. Em uma condição de roda travada, típicas de acidente por derrapagem, o atrito por escorregamento é aplicável em toda a área de contato. Essa teoria também é aplicável para a maioria dos equipamentos de teste, como o Pêndulo Britânico ou os testes com trailer de roda travada e semi-travada.

6.1.1.3. O pneu e a hidroplanagem

Uma das situações mais críticas associada à aderência pneu-pavimento é aquela que se dá em pista molhada e que se relaciona com um grande número de acidentes. Esses acidentes tendem a acontecer devido a dois fatores: redução na resistência à derrapagem ou ocorrência de hidroplanagem. A resistência à derrapagem é um parâmetro que tenta descrever o quanto o pavimento contribui para um bom contato entre pneu e pavimento. Já

quando esse contato entre os corpos deixa de existir, devido à uma camada de água, mesmo que fina, que se deposita sobre a via, ocorre a hidroplanagem (FWA e ONG, 2007).

Veículos que trafegam a baixa velocidade em pista molhada têm seu potencial de derrapagem diminuído pelo atrito na forma de histerese que ocorre no momento em que pneu e pavimento entram em contato pela expulsão da água. Entretanto, a resistência a derrapagem sofre alterações ao se elevar a velocidade dos veículos, mesmo em condições adequadas de níveis de atrito fornecidas pelo pavimento. Isso ocorre porque a água permanece sobre o pavimento, formando um filme, e impede a interação entre os corpos (ELVIK *et al*., 2009).

Uma roda em contato com o pavimento pode estar em rolamento ou deslizamento. Por sua vez, a borracha do pneu em contato direto com o pavimento tem um comportamento mais complexo. Embora o escorregamento puro seja raro, um pneu em contato com o pavimento tem duas regiões distintas de contato, sendo que em uma delas, o atrito por escorregamento é predominante. No caso do contato seco, não havendo assim um meio de interface como a água separando os dois corpos, a área anterior do contato geralmente não apresenta escorregamento, enquanto a área posterior do contato apresenta atrito por escorregamento (MOORE, 1975). A Figura 9 apresenta o contato pneu pavimento em condição seca, indicando as zonas de atrito sem escorregamento (“no slip”) e com escorregamento (“slip”). A proporção da área de contato que apresenta escorregamento está ligada, dentre outros fatores, à velocidade do veículo, bem como é afetada caso a roda esteja em aceleração, frenagem ou curva. As propriedades da borracha que afetam o atrito também são dependentes da temperatura. Persson (1998) indicou que as propriedades de engenharia da borracha do pneu afetam fortemente o atrito. Essas propriedades, por se tratar de uma borracha, são dependentes da temperatura, assim como o módulo complexo, E* ou o ângulo de fase do material.

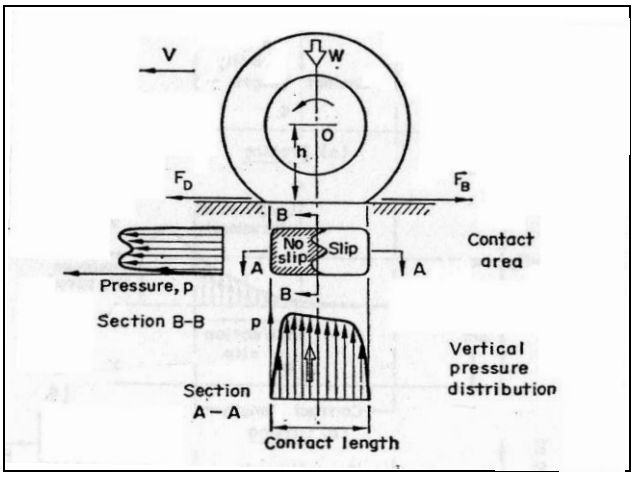


Figura 9: Contato pneu pavimento em condição de pista seca
Fonte: Moore (1975)

Considerando um elemento da banda de rodagem do pneu em uma roda em rolamento, i.e., não acelerando ou freando, a velocidade deste elemento aumenta de forma cíclica até encontrar com a velocidade da superfície do pavimento assim que entra na zona de contato, até aproximadamente metade do comprimento de contato. Após aproximadamente metade do comprimento de contato, o ponto entra na região de escorregamento, a velocidade do ponto diminui com o aumento do escorregamento e o ponto se aproxima do fim da região de contato. No caso de uma roda com aceleração o elemento na banda de rodagem diminui sua velocidade para encontrar com a velocidade da superfície do pavimento, durante a região sem escorregamento. Ao entrar na região com escorregamento, sua velocidade aumenta durante a zona de escorregamento, se aproximando do fim da zona de contato e aumentando o escorregamento relativo entre a borracha do pneu e o pavimento. No caso de uma curva, o escorregamento lateral também se torna relevante com a deformação tangencial dos elementos do pneu. Quando a energia armazenada pela deformação excede o atrito tangencial disponível ocorre o escorregamento do elemento na direção transversal ao movimento do veículo.

Considera-se agora o caso de um meio de contato com água entre as duas superfícies. Há duas situações distintas, com a presença do filme de água, que podem causar uma separação entre a superfície do pneu e a superfície do pavimento: (i) filme delgado, (ii) filme espesso. No primeiro caso, com o filme delgado de água separando a superfície do pneu e a do pavimento, o contato só é totalmente perdido caso o filme de água invada por completo

a zona de contato. Esta primeira condição é chamada de hidroplanagem viscosa. No caso de se tratar de um filme de água espesso separando as duas superfícies, a região anterior à zona de contato do pneu com o pavimento, a chamada “upward thrust region”, gera um empuxo separando as duas superfícies, devido ao impacto da banda de rodagem e as forças hidrodinâmicas da compressão do filme de água espesso. A força hidrodinâmica resultante diminui a área de contato, diminuindo assim o atrito resultante. Esta condição é conhecida como hidroplanagem dinâmica (CLAEYS *et al*., 2001). Há uma velocidade, conhecida como limite de hidroplanagem, a partir da qual a hidroplanagem ocorre. Nesta velocidade, a área de contato entre o pneu e o pavimento possui três regiões distintas: (i) filme espremido (“squeeze-film”), (ii) abraçamento (“draping”), (iii) tração (“traction”). A Figura 10 mostra as três zonas descritas anteriormente, bem como a zona onde pode ser gerado o empuxo hidrodinâmico (“upward thrust region”).

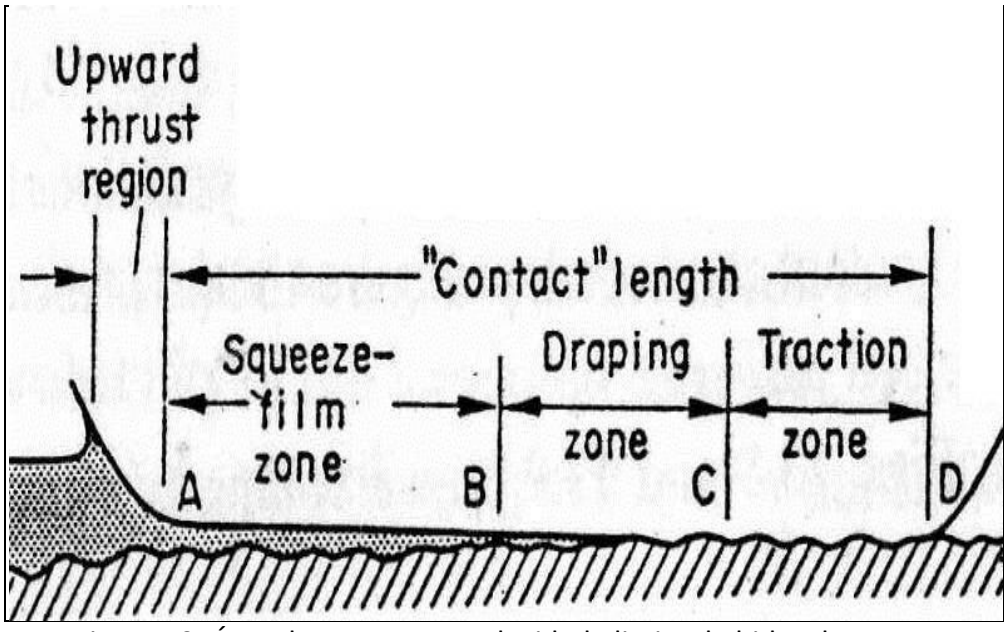


Figura 10: Área de contato na velocidade limite de hidroplanagem
Fonte: Moore (1975)

A força de empuxo gerada pelo impacto da banda de rodagem no pavimento, no caso de filme espesso, é proporcional a espessura do filme e ao quadrado da velocidade, bem como a força normal, dentre outros parâmetros (MOORE, 1964). Desta forma, nota-se que a hidroplanagem é dependente de características do veículo, como a força normal e de condições da textura, que geram a espessura do filme.

A região de filme espremido se inicia quando os blocos da banda de rodagem do pneu não conseguem remover a água que os separa da superfície do pavimento. A partir da velocidade limite de hidroplanagem, um aumento adicional na velocidade gera um aumento na zona de filme espremido, levando, em um caso limite, à hidroplanagem viscosa, quando a região de filme espremido se espalha por todo o contato. Com uma drenagem adequada, ou seja, uma textura adequada, pode-se minimizar a região de filme espremido, preservando a região de contato.

Após a zona de filme espremido encontra-se a zona de abraçamento. Nesta zona, os blocos da banda de rodagem do pneu entram em contato com as maiores asperezas da superfície do pavimento, as que são capazes de penetrar pelo filme de água, alcançando a borracha do pneu. As propriedades viscoelásticas do pneu são fundamentais nesta região, já que essas propriedades regem a capacidade da borracha em abraçar as asperezas da superfície do pavimento.

Após a zona de abraçamento, encontra-se a zona de tração, onde a borracha entra em contato pleno com a superfície do pavimento. Nesta região, todo o filme de água foi espremido para fora do contato e forças de tração são geradas. Desta forma, o papel da textura da superfície do pavimento é garantir uma drenagem adequada, minimizando a região de filme espremido e a reação hidrodinâmica do filme de água.

O primeiro caso de hidroplanagem, a hidroplanagem viscosa, foi descrita como o caso em que a região de filme espremido invade completamente a área de contato entre as superfícies. Este caso é mais comum em veículos comercias. No segundo caso de hidroplanagem, quando a região de empuxo invade toda a área, o caso da hidroplanagem dinâmica, é mais comum em casos de velocidades mais elevadas, ou mesmo em aeroportos, onde a força normal é muito elevada.

Noyce *et al*. (2005) determinam que a implantação de drenos, a adoção de concretos asfálticos permeáveis, modificação da textura superficial e o chamado “grooving” (ranhurado) feito na superfície do pavimento são as principais soluções para a redução do potencial de hidroplanagem.

Quanto aos concretos asfálticos, nos Estados Unidos emprega-se usualmente o denominado CPA (camada porosa de atrito) que reduz o potencial de hidroplanagem pela absorção de água superficial. O volume de vazios desse tipo de mistura asfáltica atinge valores entre 18 e 25% devido à pouca presença de finos, agregados miúdos e ao baixo teor de ligante (BERNUCCI *et al*., 2008).

6.1.1.4. Características da via: pavimento

Seguindo a formação da hidroplanagem, abordada no item anterior, o pavimento tem um papel crucial em minimizar, por exemplo, a hidroplanagem viscosa, garantindo uma drenagem adequada e uma minimização da região de filme espremido no contato. As características da superfície do pavimento são o resultado tanto do material utilizado na construção, como as técnicas construtivas adotadas.

O tamanho máximo de agregado influencia o comprimento de onda dominante na macrotextura caso os agregados sejam distribuídos homogeneamente e no espaçamento dos agregados. O espaçamento é resultado dos processos construtivos enquanto o tamanho do agregado é resultado do material utilizado. Outras características relevantes são a angulosidade dos agregados e a resistência ao polimento dos mesmos. A parcela de finos também é relevante, tanto com relação ao material selecionado, quanto ao método de cominuição e moagem.

O ligante asfáltico da mistura afeta a superfície em função de seu teor na mistura e de seus parâmetros viscoelásticos. Ligantes pouco viscosos ou teores elevados resultam em uma redução da rugosidade média do pavimento, tanto macro quanto microtextura. O ligante também deve evitar o arrancamento de agregados da superfície, preservando a rugosidade da superfície ao longo da vida útil do pavimento.

Segundo Bernucci *et al*. (2008), quanto ao padrão de distribuição granulométrica dos agregados, a mistura pode ser descrita como:

- Bem-graduada: distribuição granulométrica contínua, incluindo também a presença de finos;

- Aberta: apresenta distribuição granulométrica contínua, porém com pouca presença de finos;
- Uniforme: possui distribuição de tamanhos de agregados estabelecida em uma faixa estreita de valores;
- Descontínua: se caracteriza por uma descontinuidade na fração dos agregados intermediários, sendo dotada de grande porcentagem de agregados graúdos e de finos.

Quanto mais bem graduada a mistura, mais "fechada" se torna a textura superficial do pavimento, ou seja, menores os picos dos agregados, influenciando diretamente na macrotextura do pavimento. Texturas fechadas não são recomendadas pela Associação Brasileira de Pavimentação (1999) pela dificuldade de drenagem da pista, ocasionando maior risco de hidroplanagem. Já as misturas com diâmetros maiores de agregados graúdos ou com maior presença dos mesmos tendem a proporcionar macrotexturas mais apropriadas (APS, 2006).

A graduação da mistura é um fator relevante, principalmente para pavimentos porosos, sendo responsável tanto pela estabilidade da mistura, quanto pelos vazios preenchidos por ar. Os vazios por sua vez, quando não oclusos, estão ligados às características de drenagem do pavimento, sendo, portanto, diretamente relacionado a características de aderência. Outro efeito relevante é a redução do ruído que é absorvido pelos vazios presentes na camada de rolamento.

A espessura da camada, principalmente no caso de pavimentos porosos, resulta em uma maior capacidade de armazenamento de água, afetando diretamente os efeitos de "splash" e "spray". Um aumento da espessura da camada de rolamento também reduz o pico de frequências de ruído absorvido pelo pavimento, afetando o ruído percebido pelo usuário.

Parâmetros de superfície como a isotropia e o "skewness" também afetam diretamente o desempenho. Uma isotropia na superfície minimiza os maiores comprimentos de onda do ruído gerado. Uma "skewness" positiva geralmente aumenta o atrito disponível, porém aumenta também o ruído gerado.

Uma alteração nos materiais e nas técnicas construtivas leva a significativas mudanças no desempenho da superfície do pavimento. Outro aspecto importante a se considerar é o efeito da velocidade. Como já foi previamente mencionado, o atrito pneu-pavimento é dependente da velocidade. Efeitos de variação da velocidade podem ser entendidos de forma esquemática a partir da Figura 11, mostrando a dependência do coeficiente de atrito com a velocidade e a textura superficial. Esta figura foi inicialmente proposta por Moore (1975), sendo posteriormente obtida por Flintsch *et al*. (2002), e posteriormente por Noyce *et al*. (2005).

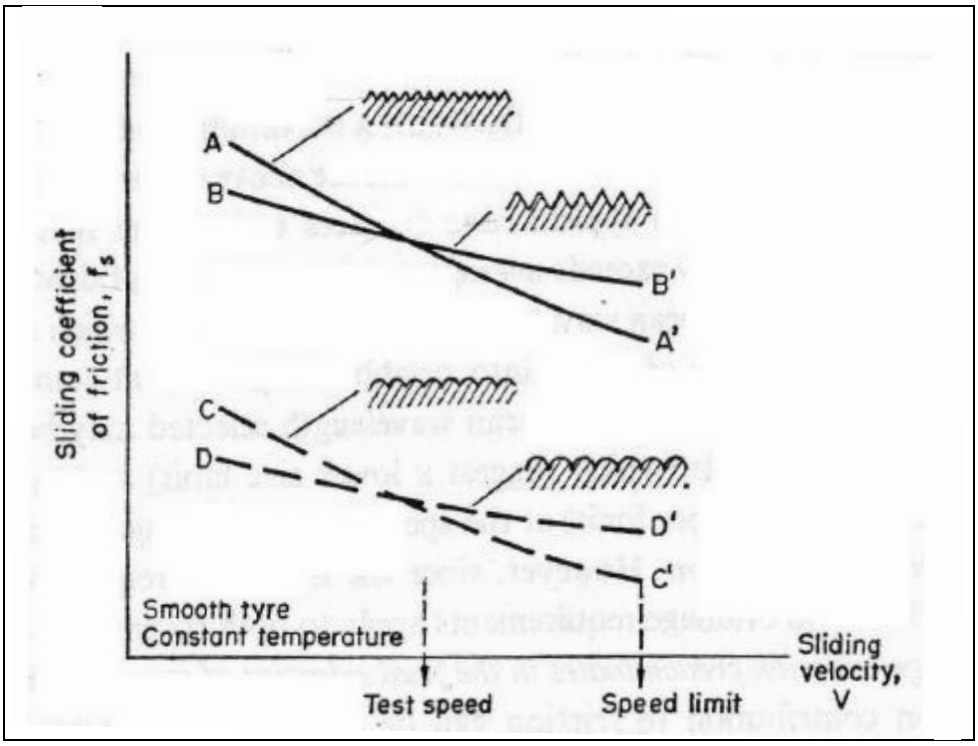


Figura 11: Relação entre o coeficiente de atrito, a velocidade e a textura superficial
Fonte: Moore (1975)

Esta relação entre atrito e velocidade é coerente com a teoria de atrito para o contato pneu pavimento, dada a natureza viscoelástica da borracha do pneu. Assim como indica a Figura 11, o atrito decai com um aumento da velocidade. A taxa de decaimento depende da textura do pavimento, como resultado deste decaimento, superfícies com um atrito elevado em baixas velocidades pode apresentar baixo atrito em velocidades elevadas. O fenômeno é observado comparando-se as superfícies em C-C' e A-A' com as superfícies B-B' e D-D'. Superfícies com uma melhor aderência em baixas velocidades nem sempre mantém essa característica em velocidades mais altas.

A Figura 11 também indica a importância de se avaliar o coeficiente de atrito em diferentes velocidades. O decaimento do coeficiente de atrito não deve ser obtido a partir de apenas uma medição em campo, em apenas uma velocidade. A medição deve ser executada em diferentes velocidades, de forma a capturar a tendência de decaimento com a velocidade. Schulze e Beckmann (1962) obtiveram a mesma tendência de decaimento linear do coeficiente de atrito com a velocidade. Segundo a pesquisa, o coeficiente angular da reta está ligado com o espaçamento das asperezas na superfície. Segundo os autores, este efeito está associado a uma melhor drenagem superficial. Uma superfície com uma drenagem deficiente terá um menor espaçamento entre as asperezas e uma curva com decaimento mais acelerado, com um coeficiente angular mais elevado. Isto torna o atrito percebido pelo pavimento mais dependente da velocidade. Outra interpretação relevante destes resultados é que um pavimento com drenagem inadequada resulta em um pavimento menos previsível ao usuário, já que o atrito disponível se altera significativamente com a velocidade. Um pavimento com drenagem superficial deficiente exige uma melhor percepção e reação do usuário para evitar acidentes.

Já o coeficiente linear da mesma relação, que controla a magnitude do coeficiente de atrito, depende da angulosidade dos agregados. Esta angulosidade é significativamente afetada pelo tráfego e pelo polimento dos agregados.

Dada a dependência do atrito com a velocidade e considerando a parcela histerética do atrito, há uma velocidade de endentação das irregularidades na superfície do pavimento que gera um atrito histerético máximo. O pico no valor do atrito por histerese se dá pela resposta viscoelástica da borracha do pneu. Considerando-se que o pavimento pode ser bem caracterizado por um comprimento médio de macrotextura, é possível relacionar a velocidade linear do veículo, a velocidade angular de rolamento do pneu e obter um comprimento médio ideal para a macrotextura do pavimento, para um dado pneu (MOORE, 1978). Um aspecto que deve ser considerado é a drenagem, que pode ser um fator limitante a este comprimento de onda ideal. Uma boa drenagem requer uma frequência de endentação que geralmente é mais baixa que a ideal obtida. Desta forma, uma textura ideal deve considerar o “tradeoff” entre maximizar atrito por histerese e permitir uma drenagem adequada.

Finalmente, considera-se a parcela adesiva do coeficiente de atrito, que é dependente da área de contato. Em condições de pista molhada, a adesão pode ser maximizada por agregados que consigam penetrar pelo filme de água, gerando contato com a borracha. Asperezas mais angulosas conseguem penetrar pela água, garantindo a existência de uma área de contato que possibilite a existência de mecanismos adesivos. Como os agregados utilizados geralmente têm uma forma arredondada, o papel de perfurar o filme de água e garantir o contato fica com as rugosidades presentes na superfície do próprio agregado, a microtextura.

O uso de superfícies com rugosidades excessivamente angulosas também apresenta um "tradeoff". Picos muito angulosos resultam em um desgaste acelerado da própria superfície, um desgaste acelerado da borracha da banda de rodagem e um polimento acelerado dos agregados. Desta forma, a capacidade de penetrar o filme de água e gerar contato com o pneu é perdida. Conclui-se então, que uma textura deve idealmente ter asperezas angulosas o suficiente para permitir a geração de atrito adesivo, porém não muito angulosas, para manter o efeito de perfurar o filme de água durante a vida útil da superfície do pavimento.

Como os agregados utilizados na construção de superfícies de pavimentos são geralmente arredondados, há uma angulosidade limite que pode ser obtida. Desta forma, uma macrotextura adequada garante uma boa drenagem, enquanto uma microtextura adequada garante uma boa penetração no filme de água. Segundo Moore (1975), a macrotextura deve ter um comprimento de onda predominante entre 5 e 15 mm, enquanto uma microtextura deve estar compreendida entre 10 e 70 µm. De forma geral, uma textura dentro dos limites mencionados deve manter um bom equilíbrio entre o desempenho com relação ao atrito, desgaste abrasivo da borracha dos pneus e a drenagem superficial. Em ambos os casos de hidroplanagem expostos, tanto a viscosa quanto a dinâmica, o contato inicial entre a textura do pavimento e os blocos de borracha do pneu se dá inicialmente pela microtextura. Neste texto não foram considerados efeitos como lâmina de neve ou gelo separando as duas superfícies, ou mesmo neve com material particulado. Estes efeitos são relevantes e complexos, porém irrelevantes no caso brasileiro.

Os parâmetros de atrito e visibilidade, estes últimos ligados aos efeitos de "splash" e "spray", são ligados aos parâmetros de segurança e projeto viário, por exemplo, através dos parâmetros de distância de visibilidade e frenagem, e raio de curvatura a partir do atrito médio considerado no projeto geométrico.

6.1.1.5. Características da via: geometria

O parâmetro de demanda de atrito pode ser caracterizado como o nível de atrito necessário para a execução de manobras como frenagem, aceleração ou mesmo para manutenção do veículo em pista. Uma perda acelerada de atrito se dá nas regiões de curvas e de interseção das vias tornando-os pontos críticos dos projetos geométricos de estradas, justificando assim a tendência das mesmas a uma demanda de atrito elevada (FLINTSCH *et al*., 2012).

Segundo Elvik *et al*. 2009, estudos mostram que o atrito está relacionado majoritariamente aos acidentes em curvas de raio pequeno. Em consequência disso, projetistas tendem a aumentar o raio de curvatura e a superelevação das curvas horizontais, o que nem sempre está associado a melhores condições de atrito (HALL *et al.,* 2009).

Entretanto, no que tange à segurança viária, essa não é a única preocupação em relação às curvas. As que possuem raios longos, pouca inclinação transversal ou que estejam em pistas com afundamento tendem a acumular água na forma de uma lâmina que facilita o fenômeno de hidroplanagem (APS, 2006).

6.1.1.6. A superfície do pavimento e a ocorrência de acidentes viários

Atualmente, é bastante comum que as autoridades rodoviárias reconheçam a importância de estudos de investigação para apoiar o desenvolvimento de programas de manutenção das características da superfície do pavimento a serem incorporadas em um Sistema de Gestão de Pavimento (SGP), uma vez que as características do pavimento têm importante papel na segurança viária. Os SGP são fundamentais para auxiliarem as autoridades a gerirem suas redes de rodovias ao longo do ciclo de vida útil do pavimento. Mas para que seja possível o desenvolvimento de um adequado SGP, o estabelecimento de limites ("thresholds") é essencial, mas a literatura sobre esse tema é ainda escassa. A fixação de limiares deve basear-se em critérios de segurança, especialmente os relativos à resistência à

derrapagem e textura do pavimento, que são as propriedades da superfície mais importantes, diretamente relacionadas à aderência do pavimento e, consequentemente, à segurança viária (FERNANDES e NEVES, 2014).

A textura da superfície do pavimento afeta a fricção ou atrito (detalhes em Kane *et al*., 2015), níveis de ruído (contato pneu – pavimento, detalhes em Vázquez *et al*., 2016), e consumo de combustível do veículo (detalhes em Bryce *et al*., 2014), que são características funcionais vinculadas com a sustentabilidade do pavimento (MILLER *et al*., 2012).

Para o propósito de caracterizar a fricção, a textura do pavimento é, usualmente, dividida em duas escalas de medidas (classes de textura), em função da amplitude e comprimentos de onda médios da aspereza. Essas duas classes de textura são consideradas, segundo a ISO 13473-2 (2002), os principais fatores contribuintes para geração da fricção (atrito). São elas a macrotextura e a microtextura (Figuras 12 e 13).

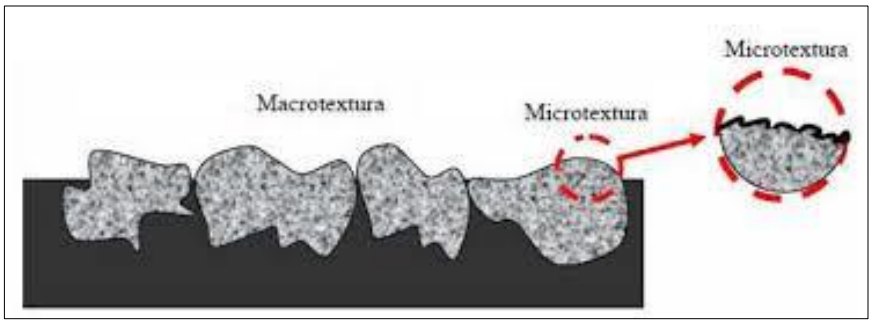


Figura 12: Macrotextura e microtextura
Fonte: Abreu *et al*. (2008)

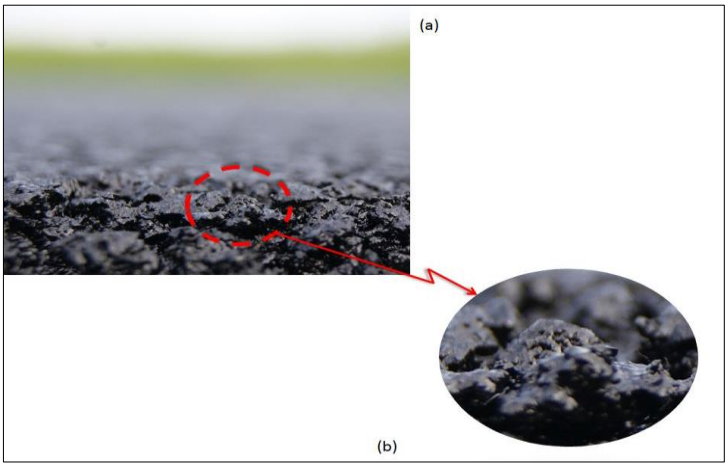


Figura 13: Superfície de pavimento com detalhe para (a) macrotextura e (b) microtextura

A macrotextura é resultante da diferença de altura e forma entre agregados, e refere-se às irregularidades da superfície com comprimentos de onda entre 0,5 e 50 milímetros horizontalmente, e entre 0,2 e 10 milímetros verticalmente. A escala da macrotextura é considerada a principal contribuinte de drenagem da água na área de contato pneu-pavimento (KANE *et al*., 2015).

A microtextura é resultante de irregularidades nas superfícies dos próprios agregados, e refere-se às irregularidades da superfície de pequenos comprimentos de onda, que medem entre 0,0 e 0,5 milímetros horizontalmente e entre 0,0 e 0,2 milímetros verticalmente. A microtextura permite que o pneu rompa a película residual da lâmina d'água, de modo que se obtenha um contato mais próximo com a superfície (DO *et al*., 2013; KANE *et al*., 2015).

Conforme mencionado anteriormente, a performance resultante para uma dada superfície não tem uma relação simples ou direta com os parâmetros de textura, em virtude da complexidade dos fenômenos envolvidos. Nesse mesmo sentido, Kane *et al*. (2015) alertam que caracterizar a textura com apenas duas classes de comprimento de onda está longe de ser tecnicamente aceitável. Com efeito, duas superfícies com a mesma macrotextura e microtextura podem fornecer níveis de fricção (atrito) muito diferentes.

As condições climáticas adversas afetam o desempenho da superfície viária, favorecendo a perda de aderência entre o pneu e o pavimento e prejudicando a visibilidade dos usuários da via, principalmente por conta dos chamados efeitos de "splash" e "spray" (Figura 14), já mencionados anteriormente, e que também impactam negativamente a segurança viária e a textura de pavimentos. Quando os pneus dos veículos interagem com o pavimento molhado, parte da água é levada ao ar, produzindo uma nuvem de partículas d'água, que reduz a visibilidade dos usuários (condutores de veículos e pedestres) e compromete a segurança (CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007).

Figura 14: Fenômeno “splash” (a) e “spray” (b)
Fontes: http://www.universalpave.com/technologies/drainage-pavement
http://www.truckinginfo.com/article/story/2010/05/spray-and-splash-and-mpg.aspx

Os efeitos de “splash” e “spray” são produzidos a partir da água que se acumula na superfície da via. Os veículos, principalmente de grande porte, como ônibus e caminhões, ao trafegarem sobre o pavimento molhado ejetam a água para o ar sob a forma de gotículas, que são pulverizadas sobre os usuários da via (inclusive do próprio veículo que produz a nuvem de partículas d’água), podendo causar a perda do controle de veículos, aumentando a possibilidade da ocorrência de acidentes (RUNGRUANGVIROJN e KANITPONG, 2010).

Com o objetivo de mitigar os fenômenos “splash” e “spray”, inovações no design de veículos, pneus e equipamentos de iluminação vêm sendo introduzidas. Adicionalmente, pesquisadores e técnicos do mundo todo vêm promovendo um significativo desenvolvimento de novos materiais de pavimentação, para o desenvolvimento de pavimentos drenantes (“drainage pavements”) (RUNGRUANGVIROJN e KANITPONG, 2010, EJSMONT *et al*., 2015). Por exemplo, o uso de pavimentos porosos é uma alternativa utilizada em alguns países da Europa para reduzir os efeitos de “splash” e “spray”, possibilitando uma melhor drenagem (GIBBS *et al*., 2005). O uso de pavimentos SMA (“Stone Mastic Asphalt”) também é bastante recomendado, em virtude de sua elevada macrotextura, o que aumenta a capacidade de drenagem superficial do pavimento, e proporciona a redução da pulverização das gotículas d’água em condições climáticas de chuva (PRATICÒ *et al*., 2011; PRATICÒ e VAIANA, 2012, VAIANA *et al*., 2012). A Figura 15 mostra a comparação de desempenho de pavimentos convencionais e pavimentos drenantes sob condições climáticas adversas.

Figura 15: (a) Desempenho do pavimento de drenagem; (b) desempenho do pavimento convencional.
Fonte: http://www.universalpave.com/technologies/drainage-pavement

6.1.1.7. Textura do pavimento versus acidentes

A textura da superfície do pavimento, bem como sua interação com a borracha do pneu, está diretamente relacionada com o contato efetivo entre os dois corpos, garantindo em condições ideais a aderência e o atrito necessários para a utilização das vias com segurança por parte dos usuários. Diversos estudos já foram realizados, com o intuito de correlacionar a textura do pavimento com o índice de acidentes nas rodovias.

Tanto a micro quanto a macrotextura estão relacionadas com a resistência à derrapagem. Ressalta-se que a microtextura determina a resistência à derrapagem para baixas velocidades, uma vez que as asperezas dos agregados são responsáveis por penetrar e quebrar o filme d'água, com o objetivo de garantir o contato entre o pneu e o pavimento. Ao longo do tempo, o tráfego contribui para o efeito de polimento dos agregados, reduzindo assim sua microtextura e diminuindo a resistência a derrapagem (MAYORA, 2009). A macrotextura, por sua vez, garante a drenagem da água pela superfície do pavimento, e juntamente com a microtextura contribuem para a resistência à derrapagem para velocidades altas (HARWOOD *et al*., 1978).

Cairney e Bennett (2008) analisaram vias rurais no estado de Vitória, Austrália. Observou-se que a taxa de acidentes nessas vias era inversamente proporcional à macrotextura medida pelo ensaio de Mancha de Areia. Para macrotexturas de 1,8 a 1,2 mm, o índice de acidentes

começava a crescer e continuava ascendendo para valores inferiores a 1,2 mm. No estudo, também foi evidenciado o aumento da taxa de acidentes de 29,9% para 31,1% para condição de pista molhada quando a macrotextura apresenta valores inferiores a 1,0 mm. Este fato corrobora a redução da capacidade de drenar a água sobre a superfície do pavimento para valores menores de macrotextura, ocasionando o aumento da probabilidade de ocorrência de hidroplanagem.

Uma vez que o contato pneu-pavimento é bastante complexo, ensaios foram desenvolvidos com o intuito de simular a condição de frenagem (VIEIRA, 2014) tanto em larga quanto em pequena escala. A resistência à derrapagem pode ser avaliada pelo ensaio em larga escala de roda travada, já bastante difundido e normatizado pela ASTM E274/E274M (2011). O ensaio consiste em um veículo com uma roda travada em contato com o pavimento e rebocado por outro veículo a uma velocidade aproximada de 64 a 97 km/h (40 a 60 mph), simulando, dessa forma, a condição de derrapagem de um veículo sobre a superfície do pavimento. São apresentados como resultado os valores de SN ("Skid Number"), correspondentes ao coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento, entendido como a razão entre a força necessária para arrastar a roda travada e a força normal da mesma sobre a superfície do pavimento. Outros estudos foram realizados com o objetivo de avaliar de maneira análoga a resistência à derrapagem (WALLMAN e ASTRÖM, 2001; HENRY, 1986).

Xiao *et al*. (2000), avaliaram 123 seções de rodovias na Pensilvânia (Estados Unidos) e observaram a partir de modelagem estatística que as condições de segurança poderiam ser majoradas em até 60% se o valor de SN aumentasse de 33,4 para 48. Nos Estados Unidos, Kuttesch (2004) confirmou o fato de que o índice de acidentes aumenta para valores menores de SN, sendo o número 40 o valor de SN desejado para que a redução de acidentes seja significativa.

Ensaios em pequena escala, como o Pêndulo Britânico também são bastante utilizados para análise do atrito entre pneu pavimento. Normatizado pela ASTM E303 (2009), o Pêndulo Britânico é um equipamento resultante de dez anos de pesquisa por parte do Road Research Laboratory, na Grã-Bretanha, e foi desenvolvido para avaliar a resistência à derrapagem de maneira mais rápida e com custos mais reduzidos do que os ensaios em larga escala (GILES

et al., 1962), como os de roda travada já mencionados anteriormente. A partir da utilização do Pêndulo Britânico, Giles *et al*. (1962) observaram que para valores superiores a 65, o risco de ocorrência de acidentes é extremamente reduzido e passa a aumentar para valores entre 50 e 55. O risco de acidentes torna-se significativamente considerável quando os valores de atrito se apresentavam inferiores a 45. Para o estudo em questão foram realizados mais de 3500 testes no período de dois anos na Grã-Bretanha, sendo obtidas correlações estatisticamente significativas entre o aumento da porcentagem de acidentes devido à derrapagem em pavimentos molhados e a resistência à derrapagem.

Como já mencionado, a capacidade de drenar a água da superfície do pavimento também deve ser considerada como fator determinante na segurança viária, paralelamente à resistência à derrapagem existente entre o pneu e o pavimento. Diversos estudos já foram realizados visando à substituição de revestimentos asfálticos por outras misturas que oferecem maior capacidade de drenagem, característica esta determinada principalmente pela macrotextura do revestimento. Apesar de o custo ser mais elevado comparativamente com outros tipos de revestimentos, a utilização de misturas abertas como a Camada Porosa de Atrito (CPA) drena a água da superfície com maior rapidez, reduzindo o risco de hidroplanagem e aumentando o atrito entre pneu-pavimento (SMIT e PROZZI, 2013). Isto ocorre devido aos fenômenos de “splash” e “spray” que estão correlacionados diretamente com a drenagem da água pelos vazios interconectados da superfície do pavimento. O fenômeno “splash” pode ser entendido como a pressão exercida sobre o filme d’água, forçando sua saída do trilho de roda na forma de gotículas maiores que 1 mm em trajetórias parabólicas. O “spray”, por sua vez, é caracterizado por uma nuvem de gotículas ainda menores (0,5 mm), formadas devido ao movimento do veículo, e, juntamente com o “splash”, podem comprometer a visibilidade dos outros usuários da via (VAIANA *et al*., 2012). Ambos os fenômenos contribuem aproximadamente com 10% dos acidentes causados por má visibilidade em condições de pista molhada (RUNGRUANGVIROJN e KANITPONG, 2009; NHTSA, 2000).

Além do CPA, a utilização de Stone Mastic Asphalt (SMA) para camada de revestimento também aumenta a capacidade de drenagem da superfície do pavimento (PRATICÒ *et al*., 2011; PRATICÒ e VAIANA, 2012). Segundo Vaiana *et al*. (2012), misturas com graduação

densa aumentam em 40% a perda de visibilidade quando comparadas com revestimentos do tipo CPA ou SMA. Smit e Prozzi (2013) observaram que a utilização do CPA nas rodovias do Texas, em conjunto com a análise pluviométrica diária obtida de estações meteorológicas, permitiu a redução de 25% para 22% do índice de lesões físicas e de 0,58% para 0,15% do índice de fatalidades, ambas causadas por acidentes em condições de pista molhada. Outros estudos também reforçam o aumento da segurança ao usuário com a utilização das misturas do tipo CPA (ALVAREZ, 2006; ALVAREZ, 2007; ESTAKHRI, 2007).

6.1.1.8. Ensaios e medições de textura e atrito

Acredita-se que o nível adequado de condição do pavimento não só melhora o desempenho operacional das vias, mas também resulta em considerável redução nos acidentes (HUSSEIN e HASSAN, 2017). De acordo com Hall *et al*. (2009) o estudo sobre as condições e características do pavimento é relevante para auxiliar os engenheiros e os gestores de rodovias a (i) compreenderem o complexo tema do atrito do pavimento e sua importância para a segurança rodoviária e (ii) instituir práticas e processos de gerenciamento e concepção de pavimentos que otimizem a segurança de fricção, enquanto reconhece e considera os efeitos na economia e outros problemas decorrentes da interação pneu-pavimento (por exemplo, ruído (“noise”), respingo/pulverização (“splash/spray”), visibilidade/refletividade (“visibility/glare”), etc.).

A relação entre pavimento (textura e atrito em condições de pista molhada) e a ocorrência de acidentes viários vêm sendo a muito investigada. Segundo Panagouli e Kokkalis (1998) a resistência ao deslizamento do pavimento é reconhecida como o parâmetro mais importante para reduzir os acidentes de tráfego. Para os autores, os fatores que afetam a resistência ao deslizamento do pneu-pavimento são numerosos e muito complicados de serem, de fato, entendidos e mensurados. É uma tarefa árdua estimar a extensão e a direção de sua contribuição global.

A superfície do pavimento é expressa através da profundidade e densidade de micro/macrotextura, e de acordo com o Comitê E17 sobre Veículos e Sistemas de Pavimentação da American Society for Testing and Materials – ASTM, a resistência ao deslizamento é a força retardadora gerada pela interação entre o pavimento e o pneu em

condições de não rotação bloqueada. A resistência de deslizamento é o principal fator de controle de direção do veículo e velocidade, e é o que garante curtas distâncias de travagem. A falta de fricção entre o pneu e a superfície leva a derrapagem, que é uma das mais importantes causas de acidentes de trânsito (PANAGOULI e KOKKALIS, 1998; KOKKALIS e PANAGOULI, 1998).

Embora a maioria dos acidentes rodoviários envolvam múltiplos fatores causais, as investigações de acidentes têm consistentemente mostrado uma forte ligação entre os acidentes e as condições/características da superfície do pavimento, como atrito e textura. Assim, há uma necessidade de conhecimento aprofundado e compreensão da relação entre os dois para que os engenheiros possam desenvolver soluções eficazes para situações potencialmente perigosas (HALL *et al*., 2009).

Embora seja difícil quantificar a relação exata entre os acidentes viários causados pelo clima chuvoso/úmido e o atrito do pavimento, nas últimas décadas foram feitas muitas pesquisas empíricas que mostram que o número de acidentes em condições climáticas adversas (com pista molhada) aumenta à medida que o atrito do pavimento diminui (com todos os outros fatores, como velocidade e volume de tráfego, permanecendo os mesmos) (HALL *et al*., 2009). Nesse sentido destacam-se os seguintes estudos:

- Rizenbergs *et al*. (1973): neste trabalho foram medidos e analisados dados de atrito de pavimento, obtidos na maior parte das áreas inter-estaduais e rodovias de parques do Kentucky, Estados Unidos. Os resultados da análise mostraram aumento das taxas de acidentes molhados (com pista molhada) com valores de atrito do pavimento (SN40R[1], número de patinagem/fricção determinado com um testador de fricção com roda fechada operado a 40 mph ou 64 km/h) menor que 40 para tráfego baixo e moderado (Figura 16). Tendências semelhantes foram observadas ao analisar as relações de acidentes molhado/seco em função do atrito do pavimento, como mostrado na Figura 17.

[1] Resistência à derrapagem ou **Skid Number** (SN): os valores de SN são geralmente medidos a 40 mph e são iguais à força necessária para deslizar o pneu de teste travado em um pavimento molhado, multiplicado por 100 e dividido pela carga de roda efetiva (PANAGOULI e KOKKALIS, 1998).

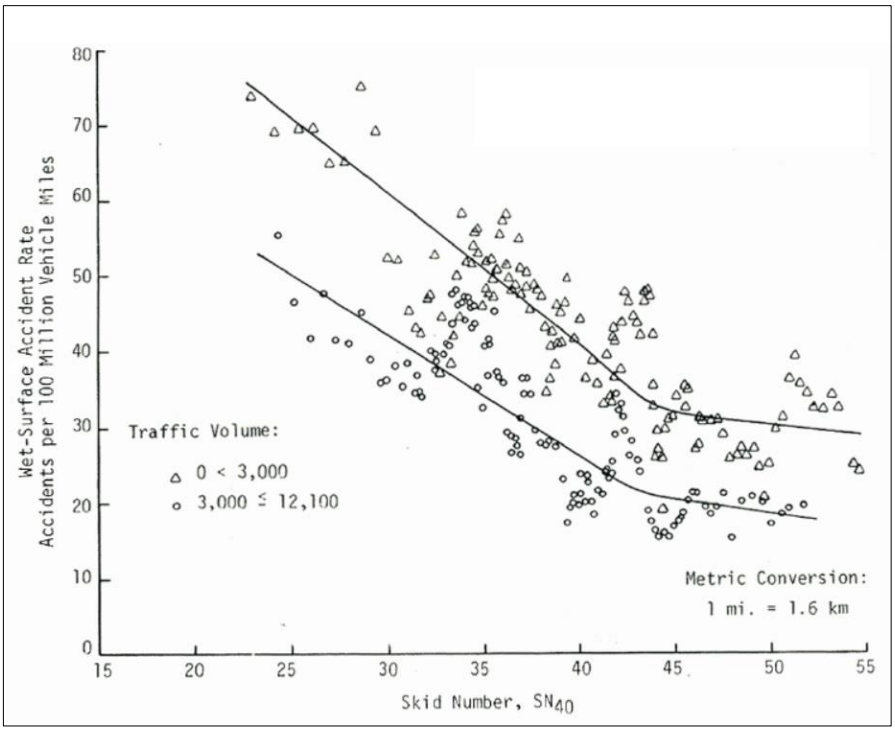


Figura 16: Relação entre taxas de acidentes molhado e atrito do pavimento para rodovias do estado norte-americano do Kentucky.
Fonte: Rizenbergs *et al*. (1973)

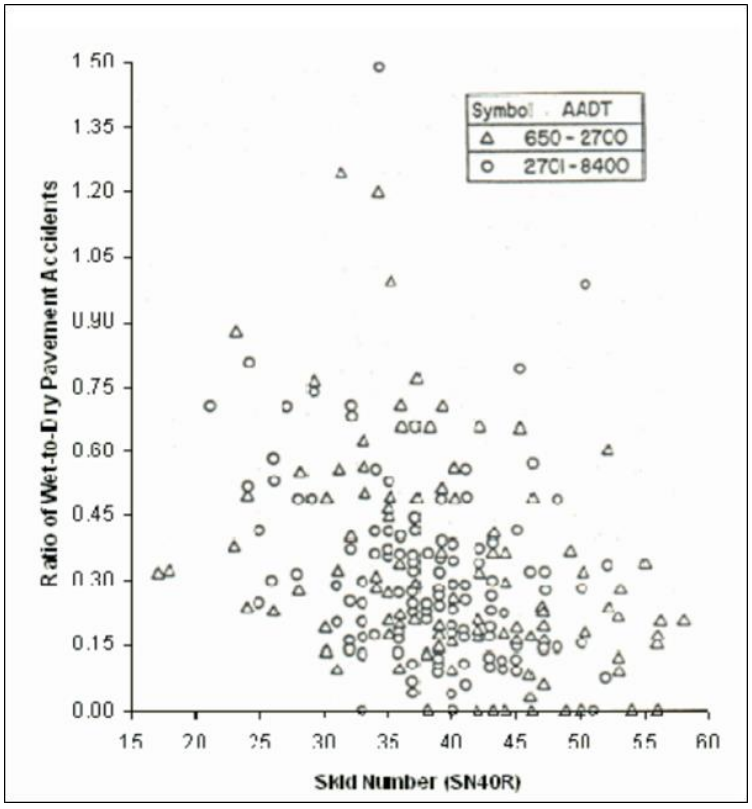


Figura 17: Razão de acidentes molhado e seco versus atrito do pavimento para rodovias do estado norte-americano do Kentucky.
Fonte: Rizenbergs *et al*. (1973)

- Giles *et al*. (1962); Cairney (1997): o atrito do pavimento foi avaliado em 120 locais onde ocorreram acidentes relacionados a deslizamentos (derrapagens) juntamente com 100 locais de controle escolhidos aleatoriamente em rodovias de classe funcional e volumes de tráfego semelhantes. O risco relativo de um local ser crítico quanto à ocorrência de acidentes relacionados com a derrapagem (acidentes molhados) foi calculado dividindo a proporção de locais com acidentes molhados pela proporção dos locais de controle para diferentes categorias de atrito do pavimento. O risco de uma falha relacionada ao deslizamento foi pequeno para valores de atrito (SN) acima de 60, mas aumentou rapidamente para valores de atrito abaixo de 50.
- McCullough e Hankins (1966): neste estudo a relação entre coeficiente de atrito do pavimento e a ocorrência de acidentes rodoviários em 571 localidades do estado do Texas, EUA foi avaliada. Os autores concluem que uma grande proporção de acidentes ocorreu com pavimento de baixo coeficiente de atrito, e uma pequena parcela dos acidentes aconteceu em locais com pavimento com alto coeficiente de atrito. Os autores ainda recomendam um coeficiente de atrito mínimo desejável de 0,40 medido a 30 mph (48 km/h). Este é o valor obtido próximo ao ponto em que a inclinação da taxa de colisão versus atrito diminuiu significativamente.
- Miller e Johnson (1973); Cairney (1997): foi determinado o coeficiente de atrito antes e após o recapeamento (“resurfacing”) na rodovia M4 na Inglaterra. O “resurfacing” aumentou a fricção média de 0,40 para 0,55, a 50 mph (80 km/h). Os acidentes ocorridos na rodovia M4 foram registradas por 2 anos antes e 2 anos após o “resurfacing”, o que totalizou um total de mais de 500 incidentes. Os dados deste estudo mostraram que o recapeamento do pavimento (aumento do atrito) resultou em uma redução de 28% nos acidentes com pavimento seco e uma redução de 63% nos acidentes com pavimento molhado. O total de acidentes (molhados e secos) na área de estudo foi reduzido em 45%.
- Kamel e Gartshore (1982): foram selecionados segmentos perigosos (locais com baixo coeficiente de atrito e elevada taxa de acidentes em condição de pavimento molhado) na malha rodoviária de Ontário, Canadá. Nesses segmentos perigosos executou-se o recapeamento do pavimento (“resurfacing”) com a finalidade de

aumentar o coeficiente de atrito. O experimento resultou na diminuição da quantidade de acidentes nessas localidades. Nos cruzamentos de vias (interseções) os acidentes foram reduzidos em 46% no geral, 21% em condições secas e 71% em condições molhadas. Para as autoestradas, os acidentes totais foram reduzidos em 29%, sendo 16% em condições secas e 54% em condições molhadas.

- Gothie (1996): três estudos conduzidos separadamente foram realizados para definir as relações de causa e efeito entre as propriedades de superfície de uma rodovia. Concluiu-se que (i) as taxas de acidentes molhados aumentaram pelo menos 50% quando se deslocam de uma seção com um coeficiente de atrito (medido por Sideway Force Coefficient - SFC[2]) superior a 0,60 para uma seção com um SFC inferior a 0,50; (ii) para uma redução de SFC de 0,05, o risco e a gravidade dos acidentes aumentaram em aproximadamente 50%.
- Bray (2002): este estudo identificou 40 trechos de rodovia com quantidades extremamente elevadas de acidentes molhados. Nessas seções críticas realizou-se o recapeamento do pavimento com mistura asfáltica HMA (Hot Mix Asphalt), visando aumentar o coeficiente de atrito. As análises de acidentes após as intervenções mostraram que houve redução significativa da quantidade de acidentes, principalmente acidentes molhados, após a reabilitação do pavimento.
- McLean (1995): avaliações realizadas antes e após projetos de recapeamento e reabilitação de pavimento (“resurfacing”) na Inglaterra indicaram que as taxas de acidentes em rodovias podem vir a aumentar mesmo quando o atrito do pavimento é melhorado significativamente. Esta constatação implica que os ganhos com a melhora do atrito podem ser compensados pelo aumento do risco de acidentes vinculados às melhorias das condições de dirigibilidade (qualidade da via), isto é, os usuários tendem a usar estradas com melhores níveis de serviço (qualidade) com mais frequência e com velocidades mais elevadas.
- Organization for Economic Cooperation and Development – OECD (1984): o grupo internacional de especialistas científicos sobre otimização das características das

[2] Equipamento de origem inglesa para medição de atrito. O FSC (Sideway Force Coefficient) trabalha com um ângulo de inclinação de 20º e atinge uma velocidade máxima de 60km/h. Maiores detalhes em Santos (2004).

superfícies rodoviárias da OCED revelou uma relação linear entre acidentes e atrito do pavimento nas rodovias nos Estados Unidos (isto é, a redução do coeficiente de atrito estava associada a um aumento linear do número de acidentes). Esta função comportamental difere de outras relações obtidas na Europa, onde a pesquisa sugere uma relação não linear entre atrito do pavimento e a ocorrência de acidentes viários.

- Wallman e Astrom (2001): nesta pesquisa, uma avaliação abrangente das medidas de atrito e das taxas de acidentes revelou que o atrito crescente do pavimento reduz significativamente a quantidade de acidentes, conforme resumido na Tabela 3 abaixo.

Intervalo de Atrito	Taxa de Acidentes (lesões por milhão de km de veículo)
< 0,15	0,80
0,15 – 0,24	0,55
0,25 – 0,34	0,25
0,35 – 0,44	0,20

Tabela 3: Relação entre coeficiente de atrito e taxa de acidentes
Fonte: Wallman e Astrom (2001)

- Gandhi *et al*. (1991): no início dos anos 1990, um estudo realizado em Porto Rico encontrou uma relação estatisticamente significativa entre o "Skid Number" e a taxa de acidentes molhados/secos. Usando regressão linear, um valor de R-quadrado igual a 0,55 foi obtido para essas duas variáveis. Outras variáveis dependentes consideradas incluíram a relação de acidentes molhados com o número total de acidentes. Verificou-se que o coeficiente de atrito médio em uma seção estava menos relacionado às taxas de acidente do que ao coeficiente de atrito mínimo.

- Craus *et al*. (1991): este estudo foi conduzido pelo Departamento de Obras Públicas de Israel para examinar a relação entre a condição de atrito do pavimento medida por um Mu-Meter[3] e acidentes rodoviários. Verificou-se que a média de leituras Mu-

[3] Equipamento de origem inglesa para medição de atrito. O Mu-Meter trabalha com um ângulo de inclinação de, aproximadamente, 7,5° e velocidade de operação de 65 km/h. Maiores detalhes em Santos (2004).

Meter superiores a 37 para a rede poderia reduzir o número total de acidentes em 7,5%.

- Larson (1999): em pesquisa francesa conduzida em 1996 foi demonstrado um aumento de cinco vezes nas taxas de acidentes molhados no anel viário de Bordeaux, quando a SFC ("Sideway Force Coefficient") diminuiu de mais de 0,60 para menos de 0,50. Este estudo também descobriu que o risco de acidentes molhados aumenta muito para superfícies com uma profundidade de textura estimada inferior a 0,016 polegadas (0,40 mm).
- Xiao *et al*. (2000): pesquisadores do Pennsylvania Transportation Institute (PTI) desenvolveram dois modelos de lógica fuzzy para prever acidentes em condição de pavimento molhado. O "Skid Number", o limite regulamentar de velocidade, o Volume Diário Médio (VDM), o tempo úmido do pavimento e a dificuldade de condução foram as variáveis selecionadas como as que possuem maior efeito sobre o risco de acidentes por derrapagem em um local. Estes modelos foram utilizados para calcular a melhoria esperada da segurança em cada uma das variáveis de entrada. Foi demonstrado que a condição de segurança, medida pela redução percentual em acidentes com pavimento molhado, poderia ser melhorada quase 60% se o "Skid Number" aumentasse de 33,4 para 48.
- Schulze *et al*. (1976): o efeito do clima úmido sobre a segurança viária foi ainda demonstrado por um estudo realizado na Alemanha, onde a proporção de acidentes molhados foi comparada com o atrito da superfície do pavimento, como mostrado na Figura 18. O coeficiente de atrito para este estudo foi medido a 50 mph (80 km/h). Embora houvesse uma grande dispersão nos dados, a Figura 18 mostra claramente que há um aumento significativo nos acidentes com pavimento molhado à medida que o atrito do pavimento diminui.

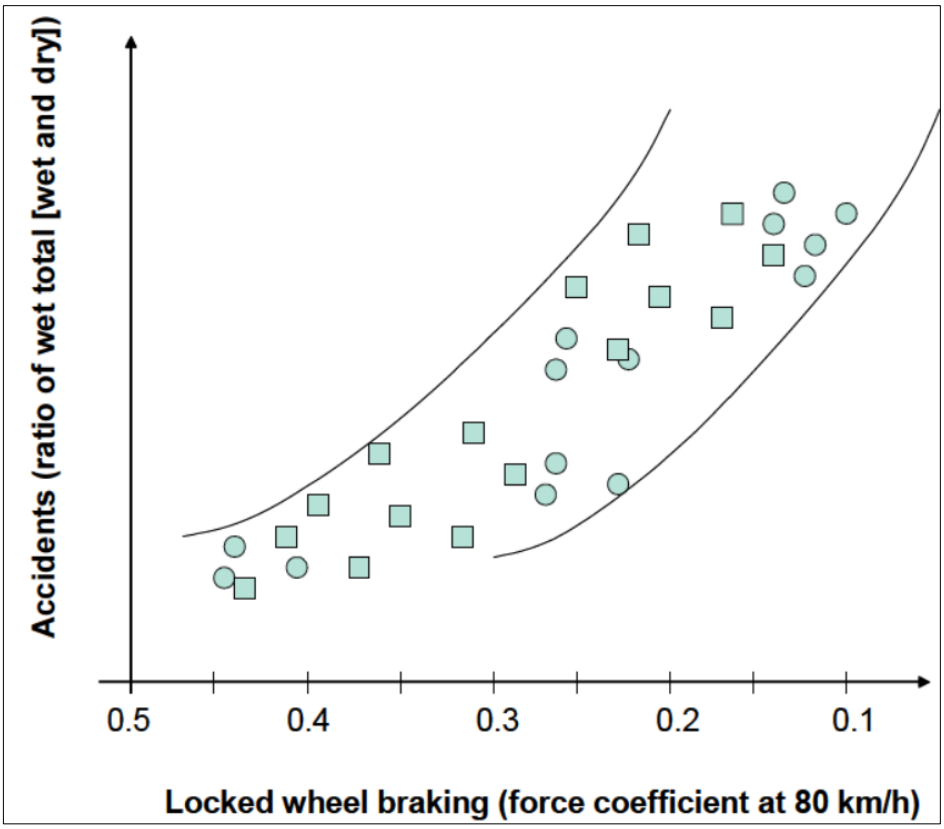


Figura 18: Relação entre os acidentes molhados e o atrito da superfície do pavimento

Segundo Hall *et al*. (2009) o atrito é de fundamental importância para a segurança viária por ser um dos principais parâmetros utilizados nos cálculos de distância mínima de visibilidade de parada, influenciando a escolha do melhor projeto geométrico de uma rodovia. A partir do valor necessário de atrito são definidos os valores de raio mínimo de curvas horizontais e verticais, além dos valores máximos de superelevação das primeiras.

Ainda de acordo com Hall *et al*. (2009) a natureza exata da relação entre atrito do pavimento e acidentes molhados é específica do local (natureza espacial). Assim, as relações de atrito do pavimento e de acidentes molhados devem ser desenvolvidas para os locais que estão tipicamente presentes numa determinada rede de pavimentos. Um exemplo de tal relação desenvolvida para rodovias de pista única no Reino Unido mostra que o risco de acidente é aproximadamente metade à medida que o atrito do pavimento duplica em relação a intervalos normais, como mostrado na Figura 19.

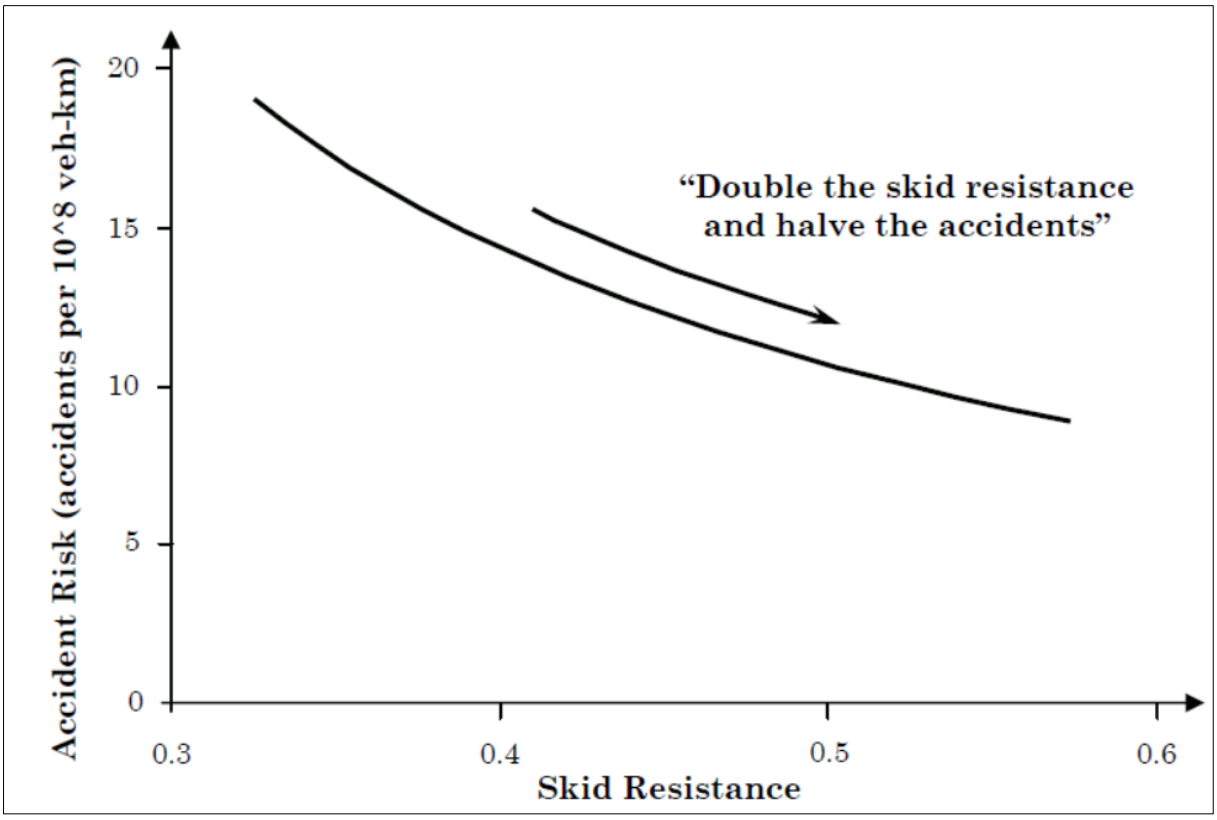


Figura 19: Relação entre atrito do pavimento e risco de acidente
Fonte: Viner *et al*. (2004).

A medição dos valores reais de atrito dos pavimentos gera dados que podem ser usados para muitos propósitos, dentre os quais se encontram a avaliação da necessidade de restauração do pavimento e a investigação de acidentes (HENRY, 2000).

De acordo com Do *et al*. (2015) o atrito entre pneu e pavimento depende de muitos fatores que alteram seu contato. Esses fatores podem ser divididos em quatro grupos:

1. Características superficiais do pavimento: textura (influenciada pelos agregados da mistura), pelo ligante asfáltico, dentre outros;
2. Presença de contaminantes na interface: água, gelo, neve, poeira, dentre outros;
3. Condições do contato: velocidade da roda, pressão do pneu, dentre outros;
4. Características do pneu: borracha, tamanho, dentre outros.

O fluxo de veículos, principalmente de veículos pesados, sobre o pavimento das vias provoca a transferência mecânica de carga para a superfície do pavimento através dos pneus, e ao longo do tempo isto pode ocasionar o desgaste do pavimento. É o que se denomina

polimento do pavimento, e acarreta perda da resistência ao deslizamento, levando-a a cair abaixo dos valores exigidos e necessários para assegurar uma distância de frenagem suficiente no decurso da vida útil do pavimento (WANG *et al*., 2017).

A alteração da microtextura do agregado no curso do polimento é denominada resistência ao polimento e também é usada para descrever a resistência à derrapagem ("skid resistance"). O material abrasivo ou a perda de massa como resultado do processo de polimento é conhecido como resistência ao desgaste.

Segundo Wang *et al.* (2017) segurança viária só pode ser proporcionada sob suficiente ativação das forças de atrito na superfície de contato pneu-pavimento e; portanto, a resistência ao deslizamento a longo prazo é, principalmente, afetada pelo polimento ou resistência ao desgaste. O efeito de polimento ou desgaste afeta a textura do pavimento e pode ser descrito suficientemente pela angularidade e pela abrasão do agregado, conforme ilustrado na Figura 20.

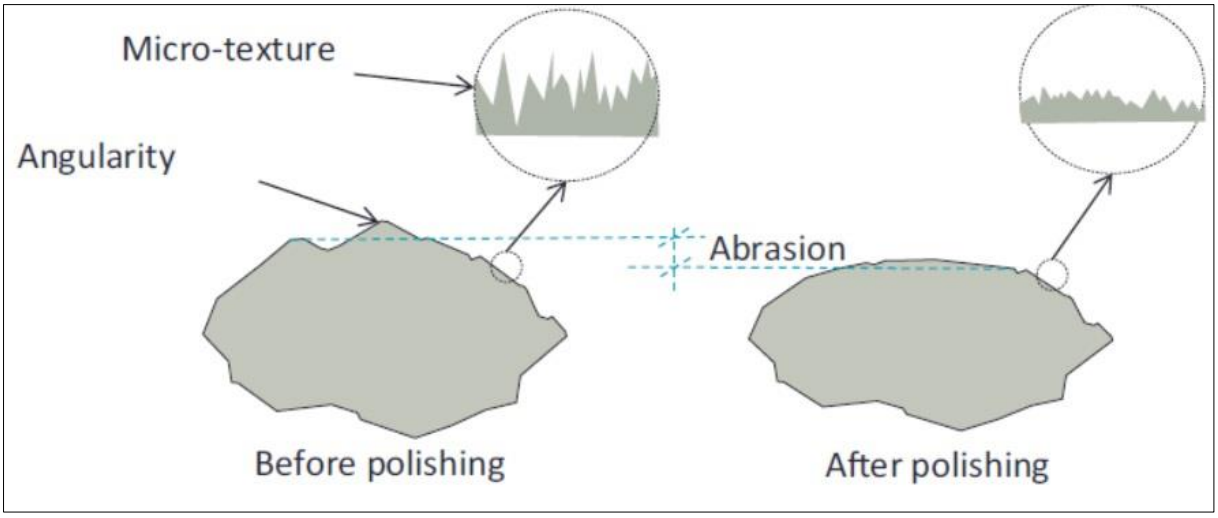


Figura 20: Propriedades da textura do pavimento antes e após o polimento
Fonte: Wang *et al*. (2017)

Portanto, intervenções que garantam uma textura e atrito adequados ao pavimento são requeridas para garantir uma condição de segurança viária satisfatória, principalmente em condições climáticas adversas, com o pavimento molhado. Em vista disso, com o intuito de entender o fenômeno da ocorrência de acidentes (notadamente os acidentes molhados), e também para o estudo de intervenções que atenuem a severidade das consequências dos

acidentes, a exemplo do trabalho conduzido por Laureshyn *et al*. (2017), alguns testes de textura e atrito foram desenvolvidos. A seguir são apresentados os testes de textura laser e de atrito griptester.

Os ensaios de textura a laser fornecem informação sobre a textura de maneira indireta, pois não há o contato físico com o pavimento. O equipamento de ensaio mede continuamente as irregularidades do pavimento ao mensurar as distâncias de toda a área do pavimento através da medição do lapso de tempo que o feixe de laser leva para chegar até a superfície do pavimento e retornar ao sensor.

Os ensaios de textura a laser possuem custos elevados e equipamentos específicos para sua execução, como o exemplificado na Figura 21 a seguir. Maiores detalhes do ensaio de textura a laser podem ser encontrados em Vieira *et al*. (2013) e Vieira (2014).

Figura 21: Exemplo de equipamento laser utilizado para medição e registo do perfil de superfícies de pavimentos.
Fonte: Araújo *et al*. (2016)

Segundo Santos (2004) dentre as várias razões para se realizar medidas de atrito, podem-se destacar:

- A verificação das características do atrito de pavimentos novos ou reformados.
- A avaliação periódica do coeficiente de atrito para garantir que esteja sempre acima do valor mínimo exigido pelas normas de segurança (mesmo em condições de drenagem deficiente e pista molhada).
- A determinação do momento em que deve ser feita algum tipo de intervenção no pavimento.

Assim sendo, os equipamentos de medição de atrito, como o equipamento griptester, possuem um papel fundamental na avaliação e mensuração do desempenho do pavimento, principalmente em termos de segurança viária. O griptester é um equipamento desenvolvido na Inglaterra (Figura 22), com deslizamento fixo, que opera fixando-se uma parcela de bloqueamento das rodas para o registro do coeficiente de atrito. Ele trabalha com as rodas 15 % bloqueadas e atinge a velocidade de até 65 km/h (SANTOS, 2004).

Figura 22: Equipamento Griptester
Fonte: Santos (2004)

Tilley *et al*. (2008) conduziram estudos na University of North Dakota, Surface Transportation Weather Research Center para medir o coeficiente de atrito de rodovias utilizando o equipamento griptester com o objetivo de monitorar e melhorar as condições de segurança viária e prevenir a ocorrência de acidentes, principalmente sob condições

climáticas adversas, com a presença de neve, gelo e água. Os autores descrevem detalhadamente os procedimentos de medição com o griptester.

6.1.2. Análises espaciais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em estudos de segurança viária

Devido à natureza espacial dos dados envolvidos em estudos de transporte, as geotecnologias fornecem um poderoso meio de análise para estudar e avaliar o panorama da segurança viária nas rodovias. Jiang e Okabe (2014) afirmam que graças ao rápido desenvolvimento da ciência da informação geográfica e suas tecnologias correlatas, uma ampla gama de dados de transporte tem sido coletada, com o intuito de entender melhor os padrões dos acidentes de tráfego e o comportamento dos usuários do transporte. Adicionalmente, Theofilatos e Yannis (2014) enfatizam a crescente disponibilização de dados de tráfego em tempo real, obtidos através de tecnologias geoespaciais, e como isto tem estimulado uma gestão proativa da segurança nas redes de transportes. Diferentemente das abordagens convencionais, os métodos geoespaciais analisam o padrão espacial dos locais dos acidentes inseridos no contexto topológico e; portanto, não afetado pela configuração das vias ou distâncias associadas (aspectos geométricos) (ÇELA *et al*., 2013). Recentemente, a identificação de locais de risco de acidentes (trechos críticos) na rede rodoviária progrediu substancialmente. De acordo com Bíl *et al*. (2013) essa identificação tem sido facilitada pela aplicação das tecnologias geoespaciais nas pesquisas de transporte, o que tem possibilitado a precisa localização dos acidentes de tráfego e dos padrões espaciais envolvidos na identificação das áreas com alta ocorrência de acidentes.

6.1.2.1. Técnicas para identificação e delimitação de seções caracterizadas pela concentração de acidentes de uma rodovia

Recentemente, um crescente número de pesquisas relativas aos estudos dos padrões de acidentes de tráfego por meio de abordagens espaciais vem sendo conduzido. Flahaut *et al*. (2003) realizaram estudo para identificação e delimitação de seções caracterizadas pela concentração de acidentes de uma rodovia (“black spot zones”) através da aplicação e comparação de dois métodos: Índices de Autocorrelação Local Espacial (uma decomposição do Índice Global de Moran), e o Estimador Kernel de Densidade (EKD). Abdel-Aty *et al*.

(2007) usaram um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e um modelo log linear para investigar a distribuição espacial de acidentes de tráfego envolvendo pedestres e ciclistas em idade escolar na Flórida, Estados Unidos, e examinaram quais as condições em que estes eventos mais ocorrem. Bíl *et al*. (2013) apresentaram um procedimento para identificação e avaliação de agrupamentos ("clusters") de acidentes de tráfego (as chamadas "black spot zones") através da aplicação do EKD na República Tcheca. Blasquez e Celis (2013) realizaram uma análise espaço-temporal dos acidentes de tráfego envolvendo usuários vulneráveis do sistema de transporte (pedestres e ciclistas) na cidade de Santiago, Chile. Os objetivos foram identificar as áreas mais críticas ("black spot zones") em ambiente SIG usando EKD e índice de Moran, e também detectar os atributos e os fatores que contribuem para os elevados números de acidentes (por exemplo, horário do dia, seções da estrada em linha reta, intersecções, ausência de sinalização, etc.). Wang e Kockelman (2013) examinaram a relação entre três anos de contagem de acidentes em Austin, Texas, Estados Unidos, com vários usos do solo (e. g. uso misto do solo, acesso dos residentes ao uso comercial), atributos da rede viária (e. g. densidade de calçadas, densidade de vias, classificação e hierarquia de vias) e dados demográficos (e. g. densidade populacional, taxa de empregos por setores de atividades). Xie e Yan (2013) integraram análise de densidade espacial (EKD) e índice Local de Moran para detectar as "black spot zones" dos acidentes de tráfego e formalmente avaliar a extensão das localidades com as mais altas densidades, para que fosse possível fornecer informações e ferramentas para planejadores e tomadores de decisões para alocar de forma eficiente os recursos para prevenção de acidentes e melhoria das condições de segurança. Amin *et al*. (2014) realizaram análise espaço-temporal dos acidentes viários em New Brunswick, Canadá, para estudar os impactos de condições climáticas e meteorológicas adversas e severas nos acidentes. Andrade *et al*. (2014) aplicaram análises espaciais (EKD e "Wavelet Analysis") para identificar "black spot zones" de acidentes viários e verificar quais os padrões que contribuem para a ocorrências dos acidentes na Rodovia Federal BR 277 (Grande Estrada), Paraná, Brasil. Vandenbulcke *et al*. (2014) propuseram o uso de modelagem Bayesiana para prever os riscos de acidentes viários e identificar como a infraestrutura viária influencia a segurança dos usuários do sistema de transporte da cidade de Bruxelas, Bélgica. Yu *et al*. (2014) introduziram uma abordagem para identificação das áreas propensas à acidentes graves por meio da comparação de métodos espaciais e não

espaciais. Os autores concluem que os métodos espaciais são os mais indicados, pois requerem apenas a informação sobre a localização do acidente (geocodificação), não exigindo a segmentação da rodovia. Rodrigues *et al*. (2015) realizaram um estudo, em ambiente SIG, para classificar a rede viária da cidade de Barcelos, Portugal, de acordo com a ocorrência de acidentes de tráfego, com o objetivo de definir prioridades para intervenções rodoviárias. Os autores desenvolveram um modelo que fornece um índice de segurança viária a partir de atributos como: severidade do acidente, danos materiais causados e custos envolvidos. Além disso, a aplicação do modelo permite analisar a cobertura espacial dos acidentes para determinação da centralidade e da dispersão nas áreas com alta incidência de acidentes viários. E finalmente, Sun e Sun (2015) desenvolveram um modelo Bayesiano dinâmico de rede para investigar a relação entre a ocorrência de acidentes viários e a variação de velocidade do fluxo de veículos na via. Os dados dinâmicos foram coletados continuamente através de "smart phones", que fornecem posição e tempo de deslocamento. Os autores concluem que o modelo espacial proposto é capaz de alcançar uma acurácia de mais de 76% na previsão de acidentes de tráfego em tempo real.

Anderson (2009) afirma que a identificação das "black spot zones" é importante para determinar estratégias efetivas para reduzir a quantidade e severidade dos acidentes, pois ajuda a direcionar onde e como alocar recursos para a melhoria da segurança viária. A característica eminentemente espacial do fenômeno acidente de tráfego requer uma análise também espacial, em ambiente SIG, que é capaz de fornecer uma compreensão robusta dos indicadores dos efeitos causais do fenômeno.

6.1.2.2. O Estimador Kernel de Densidade – EKD

Dentre as diversas técnicas de análises espaciais existentes, o Estimador Kernel de Densidade (EKD) é uma das mais frequentemente aplicadas para estudos que envolvem acidentes viários, conforme demonstrado por Erdogan *et al*. (2008); Xie e Yan (2008); Anderson (2009); Durduran 2010; Steenberghen *et al*. (2010); Kingham *et al*., (2011); Xiao e Liu (2012); Bíl *et al*. (2013); Xie e Yan (2013); Machado *et al*. (2014); Soltani e Askari (2014); Ahmed e Abdel-Aty (2015); Machado *et al*. (2015) e Yalcin e Duzgun (2015).

O EKD ou estimador de núcleo começou a ser desenvolvido a partir da segunda metade o século XX, principalmente com os estudos de Rosenblatt (1956), que depois foram generalizados por Parzen (1962). Trata-se de um método de estimação de funções de densidade de probabilidade não paramétrico baseado na possibilidade de analisar os dados sem assumir um comportamento distribucional específico. Dentre os vários trabalhos publicados sobre o estimador Kernel destacam-se os de Silverman (1986) e Wand e Jones (1995), que contribuíram para a ampla utilização desse estimador devido ao destaque que os autores deram à sua simplicidade, as boas propriedades e resultados obtidos.

A função densidade do EKD emprega uma vizinhança circular como área de pesquisa para realizar os cálculos de densidade. Segundo Carvalho e Câmara (2004) o estimador Kernel caracteriza a distribuição da localização da ocorrência do evento, desconsiderando a sua associação a valores. Esta distribuição é caracterizada pela densidade de eventos que ocorrem ao redor de um centroide, representando padrões de comportamento de pontos ou linhas. Como ilustrado pela Figura 23, a função densidade do estimador Kernel realiza uma contagem de todos os eventos dentro de uma região de influência de raio **τ**, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse (**hi**), ou seja, a distância entre a localização em que se deseja calcular a função (**S**) e o evento observado (**Si**) (CARVALHO e CÂMARA, 2004).

Na densidade Kernel as superfícies resultantes que envolvem cada evento baseiam-se em uma fórmula quadrática (bidimensional), com os maiores valores no centro da superfície (contínua) e diminuindo gradativamente conforme se afasta radialmente do núcleo (distância radial). A densidade é calculada utilizando a fórmula matemática da equação 1:

$$\hat{\lambda}_{\tau}(s) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\tau^2} I\left(\frac{(s - s_i)}{\tau}\right) \qquad (1)$$

Onde:

- "**I**" é a função de distribuição de probabilidades, e é escolhida de forma adequada para construir uma superfície contínua sobre os dados.

- O parâmetro “**τ**” denominado “largura de faixa” ou "raio de influência".
- “**S**” representa uma localização qualquer na área de estudo e “**Si**” são as localizações dos eventos observados.
- “**n**” representa o número de eventos.

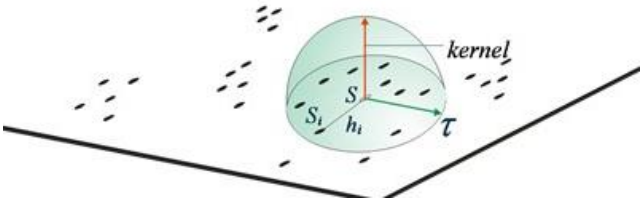


Figura 23: Estimador de Densidade Kernel
Fonte: Carvalho e Câmara (2004)

O resultado da aplicação do estimador Kernel é um mapa de densidade em formato matricial, onde o valor de cada pixel da imagem é a relação entre a concentração dos eventos (intensidade do processo) por unidade de área.

Como pode ser visto pela equação 1, apenas os pontos dentro do raio de influência (“τ”) são usados para estimar a densidade Kernel (“λ”), e “I” é o peso de um ponto “i”, a uma distância (hi=(S-Si)) dentro da localização “S” (vide Figura 23). Assim sendo, “I” é modelado como uma função Kernel da razão entre a distância (“hi”) e o raio (“τ”). Como resultado, em vez de escolher uma função uniforme que dá um peso igual a todos os pontos dentro do raio de influência (“τ”), o EKD usa uma função através da qual o efeito de decaimento da distância (“distance decay effect”) pode ser levado em consideração. Basicamente, quanto maior a distância entre um ponto “i” e a localização “S”, menos esse ponto influencia no cálculo da densidade geral. No final, todos os pontos dentro do raio de influência (“τ”), na localização “S”, são ponderados, uns mais outros menos, a depender de sua distância até “S”, para o cálculo da densidade Kernel “λ”. Várias funções Kernel “I” podem ser usadas para mensurar o efeito de decaimento da distância, tais como as funções Gaussiana, de Variância Mínima, Quártica, Cônica, Exponencial Negativa e Epanichnekov (detalhes em Gibin *et al*., (2007); Levine (2010) e Smith *et al*. (2015)). Pode-se afirmar que existe um consenso entre os pesquisadores que a escolha da função Kernel é menos importante do que a escolha do raio de influência (“τ”), pois é o raio que determina suavidade da densidade estimada -

quanto maior o raio, mais suave é a estimativa. As funções mais comumente utilizadas são Gaussiana, de Variância Mínima e Quártica (XIE e YAN, 2008).

6.1.2.3. Modelos espaciais de rede

Dentre os trabalhos baseados em ambiente SIG para análises e pesquisas de fenômenos espaciais distribuídos ao longo de redes (networks), ou seja, pontos que se encontram precisamente sobre um elemento de rede, ou pontos estreitamente adjacentes à rede, o exemplo clássico são estudos sobre os acidentes de tráfego, pois estes ocorrem ao longo das redes de transportes (faixas de rolamento de rodovias, trilhos das ferrovias, etc.), ou muito próximo a elas (calçadas, canteiros centrais e laterais, acostamentos, pátios de estacionamento ou carga/descarga, plataformas etc.). Devido a esta peculiar característica, Okabe *et al*. (2006a) recomendam que tal fenômeno (representado por pontos em uma rede/linhas) seja tratado de forma diferente de outros fenômenos espaciais que não estão associados às redes. Os autores propõem para estes estudos a abordagem espacial em rede (Network Spatial Analysis – NSA), ao invés dos métodos tradicionais planos (Ordinary Spatial Methods – OSM). Enquanto no OSM a premissa é de que o mundo real seja representado por pontos em um plano, e a separação espacial entre dois pontos é medida por distância Euclidiana, na abordagem NSA as separações espaciais são medidas através da rede pela trajetória com a distância mais curta (onde direção e sentido são relevantes), ou seja, respeitando as características geométricas, topográficas e topológicas do mundo real.

Métodos espaciais de rede (NSA) são conceitualmente adaptados a partir de métodos espaciais planos (OSM) estabelecidos para a rede. Na prática, no entanto, as modificações necessárias não são simples. Os cálculos matemáticos envolvidos no método espacial de rede são mais complexos do que os dos métodos espaciais planares. Para superar esta dificuldade, há três soluções computacionais comumente utilizadas para facilitar a análise espacial de rede, a saber: (i) árvore do caminho mais curto “estendido”, (ii) diagrama de rede de Voronoi, e (iii) métodos de função “tree-length” (detalhes em Okabe *et al*. (2006a) e Okabe *et al*. (2006b)). Para os pesquisadores que não estão familiarizados com a programação, essas tarefas são demoradas; por conta disso, uma equipe de cientistas e pesquisadores da Universidade de Tóquio (Japão) desenvolveu uma ferramenta baseada em

SIG para análise espacial de rede, chamada SANET – Spatial Analysis along Networks, detalhes em Okabe e Sugihara (2012).

Os acidentes de tráfego, como anteriormente enfatizado, são eventos que ocorrem ao longo das redes de transporte, e são objeto de estudo e pesquisa de inúmeros trabalhos. Yamada e Thill (2004) analisaram os acidentes de trânsito em uma rede de estradas em Buffalo, Estado de Nova York, (Estados Unidos) usando dois tipos de métodos de função K: o método da função K planar assumindo distância euclidiana em um avião, e o método de função K de rede assumindo a distância pela trajetória mais curta em uma rede. Aplicando esses dois métodos para o mesmo conjunto de dados, os autores concluíram que o método da função K planar é inadequado para a análise dos acidentes de trânsito, porque superestima padrões de cluster. Yamada e Thill (2007) afirmam que enquanto os métodos tradicionais de análise espacial dependem principalmente da suposição de espaço planar, muitos fenômenos espaciais desafiam a lógica dessa suposição. Por exemplo, certos fenômenos geográficos relacionados com as atividades humanas estão inerentemente limitados por uma rede de transporte, por causa de sua forte dependência do sistema de transporte. Por esta razão os autores conduzem um método de análise exploratória de dados espaciais nomeado Indicadores Locais de Restrições de Rede de Agrupamentos (Local Indicators of Network-Constrained Clusters - LINCS), para a detecção de agrupamentos (“clusters”) de acidentes de tráfego em escala local, para um fenômeno espacial limitado por um espaço de rede. Através desta metodologia os autores identificaram os “hot spots” (trechos críticos) do sistema viário da cidade de Buffalo (Estados Unidos) no que se refere à ocorrência de acidentes de tráfego, e concluem que a abordagem de análise espacial em rede apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais planares. Ambos os estudos apoiam fortemente análise espacial rede.

O desenvolvimento e divulgação da ferramenta SANET vem impulsionando a abordagem de análises espaciais em redes, notadamente para estudos envolvendo segurança viária e acidentes de tráfego. Nesse sentido, muitas pesquisas vêm sendo conduzidas nos últimos anos, como por exemplo: Okabe e Satoh (2006), Xie e Yan (2008), Tang (2013), Erdogan *et al*. (2015), Kaygisiz *et al*. (2015), e Lamb *et al*. (2016).

Pelas características dos eventos de acidentes viários, que se vinculam às redes de transportes, o standard EKD (Kernel planar, conforme descrito anteriormente no item 6.1.2.2) pode não ser a técnica de análise espacial mais indicada. Xie e Yan (2008) afirmam que o Kernel planar produz uma superfície de densidades espacial de eventos pontuais ao longo de um espaço geográfico 2-D (duas dimensões), e por esta razão não é a melhor opção para caracterizar os acidentes, que ocorrem, no mais das vezes, dentro de um espaço linear 1-D, a faixa de rodagem da rede viária. Para superar esse problema, os autores sugerem o uso do Network Kernel (Kernel em rede), através da ferramenta SANET, para a identificação dos pontos críticos (locais onde há a maior ocorrência de acidentes) e caracterização dos acidentes.

O Network Kernel é uma extensão do Kernel 2-D (planar); porém, ao invés de calcular a densidade de sobre uma unidade de área, a equação estima a densidade sobre uma unidade linear. Qualquer uma das três formas de funções do Kernel mais aplicadas e elencadas no item anterior podem ser utilizadas. É necessário salientar que o Network Kernel difere do EKD planar em vários aspectos: (i) o espaço de rede é utilizado como o contexto do evento pontual, (ii) a largura de banda de pesquisa (raio de influência) e a função de Kernel são baseados na distância de rede, ou seja, calculados como a distância da trajetória mínima (“shortest-path distance”) através da rede, em vez de distância linear euclidiana, e (iii) a densidade é medida por unidade linear (XIE e YAN, 2008). Essas diferenças são ilustradas pela Figura 24 a seguir. Pode-se notar que o Kernel em rede (Network Kernel) é uma medida de 1-D, enquanto EKD planar é 2-D. Como resultado, a densidade real dos valores estimados por eles seria muito diferente para o mesmo conjunto de dados de eventos pontuais. A Figura 24 também sugere que o Kernel planar poderia, possivelmente, superestimar (“over-detect”) o padrão em “cluster”, com quatro acidentes de trânsito caindo dentro da largura de banda de busca e, portanto, incluídos na estimativa de densidade para o ponto focal (x) no caso de EKD planar, enquanto haveria apenas dois no caso da EKD em rede (XIE e YAN, 2008).

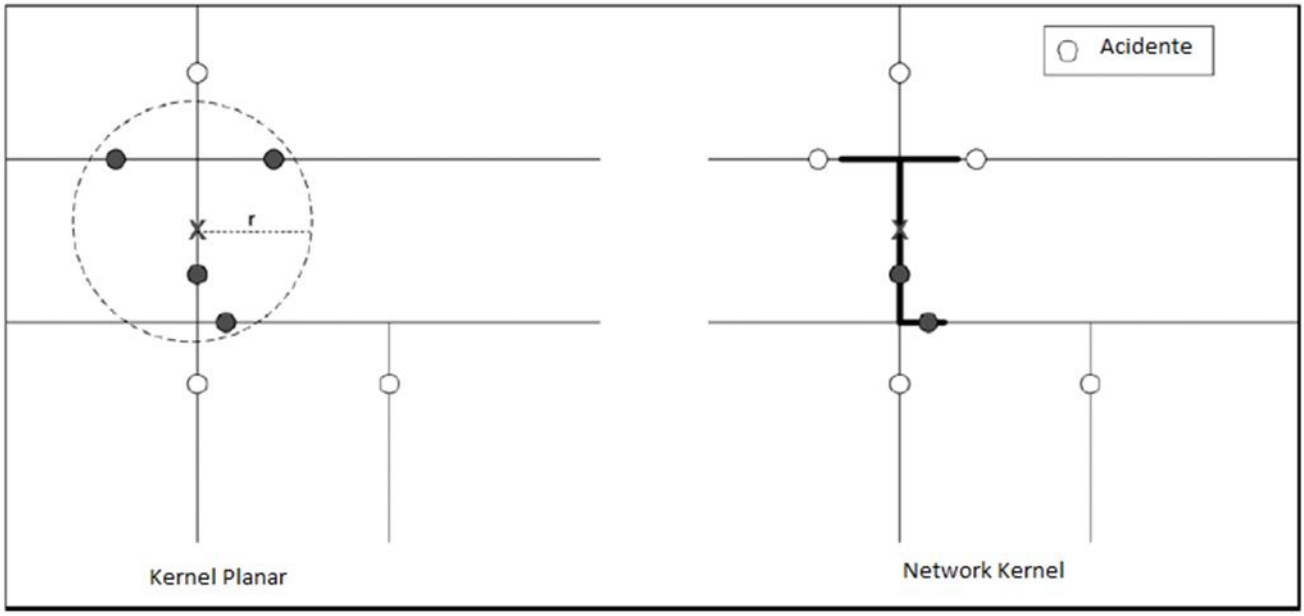


Figura 24: Estimador de Densidade Kernel Planar e em Rede
Fonte: Xie e Yan (2008)

Dentre os outros estudos que aplicaram o Network Kernel com a ferramenta SANET destaca-se: Tang (2013), Erdogan *et al*., (2015) e Lamb *et al*., (2016).

6.1.3. Segurança Viária

6.1.3.1. Acidentes de tráfego e as condições climáticas adversas

Conforme alertam Klassen *et al*. (2014), o setor de transportes é um grande consumidor de energia, sendo responsável por grande parcela dos impactos que prejudicam a sustentabilidade ambiental, como é o caso das externalidades negativas dos transportes. Dentre as mais conhecidas externalidades negativas estão as que afetam o desempenho e a segurança viária através do espaço e do tempo, provocando acidentes de tráfego, congestionamento, poluição (atmosférica, sonora, visual), mudanças climáticas (emissões de gases que provocam o efeito estufa), e danos à infraestrutura de transporte (SANTOS *et al*., 2010). Portanto, fica evidente que o setor de transportes acarreta impactos econômicos, sociais e ambientais, caracterizando-se como um fator importante na busca e promoção da sustentabilidade, que tem como um de seus pontos-chave a segurança dos usuários (TRB, 2008).

A maioria dos acidentes de tráfego é causada pela combinação de fatores comportamentais (formação inadequada e incompleta dos condutores de veículos, ausência de programas de

educação de trânsito para todos os usuários do sistema de transporte, fadiga, etc.), tecnológicos (falhas na manutenção dos veículos, ausência ou mau funcionamento de equipamentos e dispositivos de segurança, etc.), estruturais (projeto viário inadequado e/ou insuficiente, ausência ou mau funcionamento de sinalização, fiscalização e controle de tráfego, etc.) e ambientais (e. g. condições climáticas e de visibilidade). Além desses fatores, as políticas públicas (orçamento e engajamento do governo para ações de segurança viária, nível de regulação e aplicação das leis de trânsito), características pessoais dos usuários (condições físicas e de saúde, idade, gênero, renda, educação), condições socioeconômicas (crescimento econômico), e circunstâncias geográficas e demográficas (distâncias médias percorridas, tempo de viagem, densidade populacional) também são fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de tráfego. Consequentemente, o entendimento desses vários fatores, a compreensão de suas características temporais e espaciais, e a identificação de seus efeitos, separados ou combinados, na frequência e severidade dos acidentes é crucial para a prevenção de acidentes, para reduzir a quantidade de mortes e diminuir a gravidade das lesões (HABIBOVIC e DAVIDSSON, 2011; HABIBOVIC e DAVIDSSON, 2012; OTTE *et al*., 2012; ECKLEY e CURTIN, 2013; MOEINADDINI *et al*., 2014; THEOFILATOS e YANNIS, 2014).

Segundo Ariën *et al*. (2014) as estatísticas de acidentes evidenciam que as transições entre zonas urbanas e rurais são locais propensos à ocorrência de acidentes viários. Velocidade inadequada e insuficiente capacidade de atenção (estado de alerta, como extensivamente discutido em Young e Stanton (2002)) têm sido identificados como fatores causais comportamentais importantes nas proximidades dessas transições.

Os acidentes são eventos complexos, afetados por diversos fatores, tais como as características geométricas (abordadas em Bassani *et al*., 2014), comportamento dos usuários (estudado em detalhes em Assum, 1997 e Kaygisiz *et al*., 2015), condições de tráfego (discutidas em Oh *et al*., 2005) e as condições climáticas e meteorológicas. Para Yu *et al.* (2015) dentre esses diferentes fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes, as condições climáticas e meteorológicas têm sido um tópico recorrente em estudos recentes de segurança viária (por exemplo: Abdel-Aty *et al.,* 2011; Jung *et al*., 2011; Cai *et al*., 2013; Chakrabarty e Gupta, 2013; Gallen *et al*., 2013; Ahmed *et al.,* 2014; Amin *et al*., 2014; Balagh *et al*., 2014; Chakrabarty *et al*., 2014; El-Basyouny *et al*., 2014; Jung *et al*., 2014; Theofilatos e

Yannis, 2014; Ashley *et al*., 2015; Leard e Roth, 2015; Seeherman e Liu, 2015), porém, sua influência e seus efeitos sob o comportamento dos usuários e a incidência de acidentes, ainda não foram totalmente investigados e entendidos. No entanto, o interesse em conhecer o impacto que os eventos climáticos exercem sob a segurança viária, principalmente no que se refere à ocorrência de acidentes de tráfego, não é novidade. Satterthwaite (1976) avaliou como a sazonalidade e as condições meteorológicas afetaram a frequência dos acidentes viários ocorridos em 1970 no Estado da Califórnia (Estados Unidos). O autor concluiu que em locais com clima predominante quente e seco (como é o caso da Califórnia), as condições climáticas adversas (garoa, chuva, neblina, nevoeiro, geada, granizo e neve) se configuram no fator mais importante na determinação do número de acidentes viários. Qiu e Nixon (2008) compartilham da mesma opinião que Satterthwaite (1976) ao afirmarem que as condições climáticas adversas são o principal fator que afeta a segurança viária e a mobilidade. Muito embora, muitos estudos tenham tentado quantificar este impacto, os resultados obtidos ainda não são consistentes.

Os eventos climáticos têm impacto significativo em uma série de decisões e atividades humanas. Na operação e segurança dos sistemas de transportes são considerados um dos pontos fundamentais nas pesquisas relacionadas à Engenharia de Transportes, pois afetam o desempenho dos sistemas de transporte, na medida em que influenciam os tempos de viagens (por diminuírem as velocidades praticadas e os níveis de serviços), as escolhas modais (principalmente dos usuários não cativos do transporte público), e aceleram a deterioração da infraestrutura viária (reduzem, por exemplo, a qualidade do pavimento). Sob condições climáticas adversas os usuários dos sistemas de transporte ficam mais vulneráveis à ocorrência de acidentes, pois pode ocorrer a redução da visibilidade e do atrito com a via, aumentando significativamente o risco de acidentes. O bom senso diz que os usuários do sistema viário, notadamente os condutores de veículos motorizados, devem reagir à diminuição da visibilidade e à condição de pistas escorregadias (pistas molhadas, superfície com camada de gelo ou presença de neve), reduzindo a velocidade, mantendo espaçamento seguro entre os veículos em movimento, e aumentar a atenção e concentração. No entanto, há evidências que indicam que a frequência dos acidentes viários

aumenta sob tais condições meteorológicas desfavoráveis, tanto no meio urbano quanto rural (TSAPAKIS *et al*., 2013; ABDEL-ATY *et al*., 2011; KHATTAK *et al*., 1998).

De acordo com Zhang e Yuan (2011) muitos acidentes de tráfego acontecem quando ocorre precipitação, devido ao acúmulo de água na superfície do pavimento. Geralmente, o volume de água que cai sobre a via se dissipa através de um fluxo de escoamento, mas deixa para trás uma película de água no pavimento, e a consequência óbvia disto é a diminuição do coeficiente de atrito por conta da lubrificação imposta por esta película d'água. Os autores ainda alertam que durante condição de chuva, a água que se acumula na área de contato entre o pneu e o pavimento pode não ser totalmente eliminada, principalmente se os veículos estiverem trafegando em altas velocidades. A pressão do líquido pode fazer o pneu "boiar" sobre a lâmina d'água, gerando "vãos" entre o pneu e o pavimento, diminuindo a coesão e acarretando a hidroplanagem. Por esta razão, é fácil perder o controle do sistema de frenagem, acarretando a perda de estabilidade e avarias no veículo, derrapagem, e até mesmo colisões e tombamentos (SEEHERMAN e LIU, 2015). Além disso, a visibilidade dos usuários da via é bastante prejudicada pela chuva em si, e também pela pulverização e aspersão da água, causadas pelo movimento das rodas.

Em sua pesquisa, Yu *et al*. (2015), conduziram um estudo no estado do Colorado (Estados Unidos) onde examinaram três anos de dados de acidentes viários relacionados a eventos climáticos que resultam em redução da visibilidade e pavimento escorregadio, o que acarreta, invariavelmente, o aumento do risco de ocorrência de acidentes. Segundo os autores, para reduzir a quantidade de acidentes, uma variedade de sistemas de monitoramento climático e Sistemas de Transporte Inteligente (ITS – Intelligent Transportation Systems) têm sido introduzidos para diminuir a influência que as condições climáticas adversas têm sobre a incidência de acidentes viários. Os autores citam algumas iniciativas adotadas, como por exemplo, o Sistema de Velocidade Variável (VSL – Variable Speed Limit), adotado no estado norte-americano do Wyoming, que ajusta o limite regulamentar de velocidade máxima permitida (quem ajusta o limite é a Patrulha Rodoviária – Highway Patrol) de acordo com o clima e com as condições do pavimento da rodovia (maiores detalhes do sistema VSL em Chang *et al*., 2011). Na Holanda, há um sistema de Harmonização da Velocidade (Speed Harmonization), onde a sinalização indicativa dos

limites de velocidades é definida com base nas condições climáticas capturadas por vinte sensores de visibilidade instalados ao longo da autoestrada (maiores detalhes deste sistema podem ser encontrados em Waller *et al*., 2009). No entanto, a decisão final acerca de qual limite de velocidade será estabelecido em cada condição de visibilidade constatada pelo sistema de sensores, cabe à equipe técnica que gerencia a rodovia e que determina os limiares com base na experiência dos engenheiros de transporte (de tráfego, de pavimentação e de segurança viária) e que visa homogeneizar a velocidade no espaço e no tempo, otimizar a operação da rodovia, reduzir a poluição e melhorar a segurança viária.

Segundo El-Basyouny *et al*. (2014), sob condições climáticas adversas há um aumento de 15% a 20% no número de acidentes fatais, de 21% a 22% na quantidade de acidentes com vítimas com ferimentos e lesões, e aproximadamente 25% dos acidentes com danos materiais. Esses aumentos são devidos, principalmente, à diminuição da superfície de fricção (atrito pneu-pavimento) e pela redução da visibilidade dos usuários da rodovia. Andrey e Yagar (1993) afirmam que o risco de ocorrer acidentes durante eventos de precipitação é 70% maior em comparação com as condições normais de dirigibilidade. Esses números deixam clara a importância do estudo dos efeitos climáticos sobre a segurança viária.

6.1.3.2. Estudos sobre os acidentes de tráfego – análises e modelos estatísticos de regressão

As análises estatísticas sobre acidentes viários são tema de crescente interesse tanto por parte dos tomadores de decisão (políticas públicas) quanto dos acadêmicos. Obter uma melhor compreensão dos fatores que afetam a probabilidade de ocorrência de um acidente de tráfego tem sido uma área prioritária de interesse por muitas décadas. No entanto, devido à ausência de dados detalhados acerca do comportamento dos usuários, por exemplo, sobre como se dá a condução dos veículos que se envolvem nos acidentes, a maioria das pesquisas aborda este problema enquadrando-o em termos do entendimento dos fatores externos que afetam a frequência dos acidentes, ou seja, o número de eventos que ocorre em algum espaço geográfico (geralmente um segmento de via ou interseção) durante um período de tempo específico (LORD e MANNERING, 2010).

O objetivo é compreender melhor a complexidade de fatores que estão relacionados com acidentes de trânsito, a fim de tomar as ações corretivas para remediar esta situação. Nesse contexto, a modelagem dos acidentes, ao longo dos anos, vem obtendo considerável atenção de pesquisadores de todo o mundo, usando uma vasta variedade de abordagens metodológicas (BRIJS *et al*., 2008; ANASTASOPOULOS e MANNERING, 2009).

Em virtude do elevado volume de informações sobre os registros de acidentes rodoviários, e da grande quantidade de variáveis envolvidas, como por exemplo: (a) geometria da via, (b) características topográficas, (c) topologia, (d) geotecnia, (e) condições do pavimento, (f) condições meteorológicas, (g) fatores comportamentais, etc., a ampla maioria dos pesquisadores se vale de técnicas estatísticas para manipulação e análises dos dados. A gama de informações é bastante heterogênea, e por vezes de difícil mensuração, previsibilidade e entendimento, como é o caso dos fatores humanos (comportamentais), e também de fatores climáticos, cuja incerteza provém da própria natureza. À luz das deficiências inerentes às fontes de dados, foram desenvolvidos métodos estatísticos e econométricos para abordar esta questão como heterogeneidade não observada, ou seja, variações no efeito de variáveis em toda a população de uma amostra desconhecida para o analista. Portanto, a abordagem estatística nesses modelos de "heterogeneidade" visa permitir que os analistas façam inferências mais precisas, explicando explicitamente as variações específicas da observação nos efeitos de fatores influentes, também conhecidos como heterogeneidade não observada (OÑA *et al*., 2013; MANNERING *et al*., 2016).

Oña *et al*. (2013) afirmam que a heterogeneidade dos dados de acidentes viários torna muito difícil as análises, e que as ferramentas estatísticas têm o potencial para superar tais obstáculos. Nesse sentido, alguns estudos que se valem da abordagem estatística para estudos de segurança viária são:

- Huang e Shi (2016) desenvolveram análises e modelos estatísticos para estudar a dinâmica de ocorrência de acidentes em rodovias a partir de variáveis (ou fatores com heterogeneidade não observada) temporais, espaciais, tipo de acidente, tipo de veículo, etc., visando a proposição de contramedidas de controle e redução de acidentes rodoviários.

- Singh *et al*. (2016) utilizaram ferramentas e modelos estatísticos para entender como os diversos e heterogêneos fatores associados aos acidentes viários podem ser inter-relacionados entre si, e quais respostas podem ser obtidas destas análises para melhoria da segurança viária.
- Zhang e Chan (2014) aplicaram métodos estatísticos a dados comportamentais, ao analisarem como a sonolência dos motoristas profissionais influencia e eleva drasticamente os riscos de acidentes em rodovias.
- Elvik (2013) também realizou estudo estatístico de fatores comportamentais ao associar o uso de substâncias químicas (lícitas e/ou ilícitas) com a ocorrência de acidentes de tráfego, e também com a severidade das consequências.

Portanto, ao realizar uma revisão na literatura técnica e científica, fica evidente que o uso de metodologia de análises e modelos estatísticos para pesquisas sobre segurança viária e ocorrência de acidentes de tráfego é recomendável e produz resultados robustos e confiáveis.

Deste modo, o estudo da incidência de acidentes de trânsito é frequentemente feito através de modelos matemáticos que determinam o valor esperado de uma taxa de acidentes, em uma unidade de tempo e em um local analisado, em função de variáveis que explicam ou possuem uma influência significativa na ocorrência de acidentes. Estes fatores influentes variam de acordo com a geometria da rodovia, o meio ambiente e características inerentes aos condutores e aos pedestres. No estudo de taxas de acidentes de tráfego, no geral, os modelos de previsão mais utilizados são os Modelos Lineares Generalizados (MLG). Como, nesses casos geralmente o interesse é analisar dados de contagem, a distribuição Poisson e Binomial Negativa com função de ligação logarítmica, são as mais recorrentes (HARDIN e HILBE, 2007). Na distribuição de Poisson, a variância é igual a média, porém quando a variância é maior que a média, dizemos que há superdispersão. Neste caso, uma alternativa é utilizar a distribuição Binomial Negativa que tem variância maior que a média. Os principais resultados da teoria e aplicação dos modelos lineares generalizados podem ser encontrados em Paula (2013). Algumas pesquisas apresentaram resultados satisfatórios com a aplicação de modelos usando a distribuição Poisson ou a Distribuição Binomial Negativa para análises de taxas de acidentes, em casos onde os acidentes apresentam um padrão

consideravelmente disperso, isto é, quando a variância é maior que à média (CHIN e QUDDUS, 2003; CARDOSO, 2006; e SAWALHA e SAYED 2006).

Milton e Mannering (1998) utilizaram a regressão Binomial Negativa para a análise da frequência anual de acidentes nas principais autoestradas do estado de Washington, EUA. As variáveis explicativas como o comprimento de seção de estrada, a porcentagem de caminhões em trânsito, a velocidade regulamentar da via (limite permitido), o número de faixas e as curvas horizontais, foram consideradas para explicar a variação de acidentes. No entendimento dos autores os resultados demonstraram que a regressão Binomial Negativa é um método adequado para a previsão de acidentes rodoviários.

No entanto, para acomodar a alta variedade de situações, novas extensões destas distribuições têm sido desenvolvidas. Exemplos de extensões da distribuição de Poisson: Cheng *et al*. (2013) usaram um Modelo Linear Generalizado Poisson-Weibull para analisar dados de acidentes de tráfego; Lord *et al*. (2008) e Lord *et al*. (2010) aplicaram o Modelo Linear de Poisson Generalizado Conway/Maxwell para a análise de acidentes com veículos automotores. Geedipally *et al*. (2012) e Lord e Geedipally (2011) propõem ainda outras extensões de derivados da distribuição binomial negativa para ajustar, por exemplo, o excesso de zeros.

Muitos estudos têm aplicado uma vasta gama de Modelos Lineares Generalizados para avaliar e mensurar o impacto de vários fatores de risco para análise de dados de acidente de tráfego. Estes esforços de investigação resultaram em vários modelos, amplamente aceitos tais como, Maher e Summersgill (1996); Ng e Sayed (2004); Lord *et al*. (2008); Cafiso *et al*. (2010); Lord *et al*. (2010); Lord e Mannering (2010); Lord e Geedipally (2011); Geedipally *et al*. (2012); Zhang *et al*. (2012); Cheng *et al*. (2013).

A maioria dos modelos sugeridos na literatura tentar estabelecer a relação entre a frequência dos acidentes e informações relacionadas com o fluxo, a geometria da via, ou dados recolhidos utilizando levantamentos GPS (“Global Positioning System”) ou outra característica relacionada com a segurança viária (NG e SAYED, 2004; CAFISO *et al*., 2010).

De acordo com El-Basyouny *et al*. (2014) e Balagh *et al*. (2014), muitos estudos têm aplicado uma vasta gama de ferramentas metodológicas para avaliar e mensurar o impacto de vários fatores de risco para análise de dados de acidente de tráfego, notadamente o efeito das condições climáticas adversas. Estes esforços de investigação resultaram em vários modelos, amplamente aceitos. Modelos típicos incluem:

- Modelos de Resposta Policotômicas - Regressão Logística Ordinária e Regressão Logística Sequencial (JUNG *et al*., 2010 e JUNG *et al*., 2011).
- Poisson (JOVANIS e CHANG, 1989; NICHOLSON e WONG, 1993; LORD *et al*., 2005a; YU *et al*., 2013).
- Poisson Inflado de Zeros e Poisson-gamma (Regressão Binomial Negativa) (MIAOU, 1994; FRIDSTRØM *et al*., 1995; POCH e MANNERING, 1996; SHANKAR *et al*., 1998; KHATTAK e KNAPP, 2001; EISENBERG, 2004; QIN *et al*., 2004; CHANG, 2005; EISENBERG e WARNER, 2005; LORD *et al*., 2005a; LORD, 2006; LORD *et al*., 2007; QUDDUS, 2008a; WANG *et al*., 2009; MALYSHKINA e MANNERING, 2010a; JUNG *et al*., 2011).
- Poisson-lognormal (LORD e MIRANDA-MORENO, 2008; HUANG *et al*., 2009; HAQUE *et al*., 2010; ZENG e HUANG, 2014).
- Integer-Valued Autogressive (INAR) Poisson (BRIJS *et al*., 2008; QUDDUS, 2008b; PEDELI e KARLIS, 2011).
- Finite-mixture e Markov Switching (MALYSHKINA *et al*., 2009; PARK e LORD, 2009; MALYSHKINA e MANNERING, 2010b; PARK *et al*., 2010).
- Redes Neurais Artificiais (ABDELWAHAB e ABDEL-ATY, 2002; SOHN e LEE, 2003; CHANG, 2005; CHIOU, 2006; DEKA e QUDDUS, 2014; JADAAN *et al*., 2014).
- Redes Neurais Bayesianas (RIVIERI *et al*., 2006; XIE *et al*., 2007).
- Abordagem Hierárquica Bayesiana (AHMED *et al*., 2011 e HUANG E ABDEL-ATY, 2010)
- Support Vector Machine (LI *et al*., 2008; LI *et al*., 2012; YU e ABDEL-ATY, 2013).
- Regressão TOBIT (ANASTASOPOULOS *et al*., 2012)

No entanto, todos esses modelos mencionados são usados para analisar dados “cross-section” (dados de corte – para uma ou mais variáveis estáticas no tempo), e a literatura

mais recente sugere que eles não são capazes de levar em consideração o efeito de correlação em série, que é frequentemente encontrado em dados reais. Esta correlação pode surgir a partir de investigações de uma mesma região geográfica (correlação espacial), de uma mesma unidade de observação ao longo de períodos de tempo sucessivos (correlação temporal), ou de uma combinação das duas. Ignorar essas correlações pode acarretar em estimativas de parâmetros pouco precisas, resultando em inferências estatísticas imprecisas (BALAGH, *et al*., 2014).

De acordo com Balagh *et al*. (2014) diferentes soluções têm sido introduzidas para superar esta limitação. Uma solução simples para controlar as correlações em série é a introdução de uma variável de tendência temporal (variável TREND - onde a ordem das observações é relevante para as análises, pois deste modo, as observações vizinhas são dependentes entre si, e há o interesse em modelar tal dependência (para maiores detalhes ver Stock e Watson (1988))). Todavia, como alertam Lord e Mannering (2010), não há garantias de que a introdução de uma variável TREND no modelo irá explicitar o efeito da correlação para o caso de uma série de dados de contagem ao longo do tempo (série temporal), como é o caso dos dados de acidentes viários.

Outra maneira de lidar com a correlação temporal é a incorporação de uma Equação de Estimativa Generalizada (Generalized Estimating Equation – GEE – maiores detalhes em Liang e Zeger (1986); Zeger *et al*. (1988); Zorn (2001); Hanley *et al*. (2003) e Halekoh (2006)). Nos estudos de segurança viária, geralmente, são utilizados vários anos de dados, e é desejável incorporar essa tendência no modelo estatístico, logo, a aplicação do GEE é indicada, e visa evitar que o erro padrão associado aos coeficientes estimados seja subestimado (LORD e MAHLAWAT, 2009). O modelo GEE, por incorporar a tendência temporal, tem o desempenho superior aos modelos que não acomodam a tendência e/ou correlação temporal aos dados de acidentes. O procedimento pode ser utilizado mesmo que a extensão e o tipo de correlação sejam desconhecidos. No entanto, o GEE tem a desvantagem de ser bastante sensível à lacuna de dados (ausência de informação). (LORD e MANNERING, 2010). Por exemplo, o modelo GEE foi aplicado em análises de acidentes de tráfego nos estudos conduzidos por Lord e Persaud (2000), Abdel-Aty e Abdalla (2004), Lord *et al*. (2005b), Wang e Abdel-Aty (2006) e Lord e Mahlawat (2009).

Também para superar o problema da correlação dos dados de acidentes foram desenvolvidos os modelos de efeitos mistos (aleatórios e fixos) (mixed effect – random and fixed parameters – ver Pickle (2000) para maiores detalhes). Guo *et al*. (2010) aplicaram o modelo de efeitos mistos para elaborar um mapa de risco dos acidentes viários no estado da Flórida (Estados Unidos); Anastasopoulos e Mannering (2009) adotaram o mesmo tipo de modelo para analisar a frequência de acidentes em segmentos e intersecções de uma rodovia no estado de Indiana (Estados Unidos) através de uma série histórica de 5 anos de observações; El-Basyouny e Sayed (2009), similarmente, aplicaram o modelo de efeitos mistos para caracterizar a ocorrência de acidentes nas vias arteriais da cidade de Vancouver (Canadá).

Os modelos estatísticos tradicionais que usam séries históricas de observações de acidentes de tráfego para prever condições atuais e futuras de segurança rodoviária permanecem ainda sem responder todos os questionamentos e dúvidas que envolvem o tema, pois suas desvantagens e limitações em explicar completamente o fenômeno não permitem um entendimento amplo do elemento que se deseja modelar. Portanto, devido às mudanças estocásticas (indeterminadas, com origem em eventos aleatórios) e dinâmicas (ao longo do tempo e do espaço) das características ambientais, climáticas e meteorológicas, os modelos de tráfego existentes falham em captar como essas alterações das sazonalidades influenciam nas frequências de acidentes. Embora, alguns modelos possam levar em consideração previsões meteorológicas e fatores climáticos como dados de entrada (input) para as previsões de acidentes, são modelos determinísticos (eventos conhecidos, dada uma certa entrada, produzirá sempre a mesma saída) e não avaliam corretamente as incertezas associadas, e desta forma, são inadequados para modelar corretamente o fenômeno "acidentes versus fatores climáticos", inviabilizando uma eficiente tomada de decisões por parte de autoridades e gerenciadores das rodovias (BALAGH *et al*., 2014). Assim, a condução de veículos em condições climáticas adversas permanece um risco substancial para motoristas, passageiros e pedestres, e exige, mais do que nunca, uma ferramenta de avaliação para aferir a segurança viária. Com todas as limitações dos modelos existentes em mente, o objetivo dos pesquisadores do mundo todo passa a ser o desenvolvimento de um

modelo estatístico capaz de prever tanto as características ambientais como a probabilidade de ocorrência de acidentes.

6.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA RODOVIA EM COLABORAÇÃO COM OPERAÇÃO E MAPEAMENTO DE ACIDENTES

6.2.1. Levantamento de dados da rodovia e mapeamento de acidentes

Os dados necessários para a elaboração deste projeto foram fornecidos pela concessionária ARTERIS - "Autopista Régis Bittencourt". Essas informações são compiladas diariamente pelo centro de controle de operações da concessionária. A saber:

- Registros dos acidentes ocorridos na rodovia durante o período de agosto de 2008 até novembro de 2018.
- Dados de volume de tráfego por meio do VDM (Volume Diário Médio) que passa pelas praças de pedágio da rodovia (sentidos norte e sul). A rodovia Régis Bittencourt é dividida, para fins de gestão e controle, em nove segmentos homogêneos (SH) conforme descrito na Figura 25, e o VDM é medido nas praças de pedágios, e foi considerado constante entre duas praças. A planilha de VDM contém a quantidade de veículos que passa a cada dia e a cada hora pelas praças de pedágio, e fornece também os dados do valor da hora pico (pistas norte e sul) e o Volume Diário Médio (VDM) para cada mês.

Segmentos Homogêneos (SH) (Pistas Norte e Sul)	km	Praça de Pedágio (km)	Localização
SH1	269 -278		
SH2	278 – 288		
SH3	288 – 336	P1 = 298,7 (SP)	São Lourenço da Serra
SH4	336 – 371	P2= 370,7 (SP)	Miracatu
SH5	371 – 444	P3= 426,8 (SP)	Juquiá
SH6	444 – 498	P4= 485,75 (SP)	Cajati
SH7	498 – 569	P5= 543,9 (SP)	Barra do Turvo
SH8	0 – 71	P6= 56,95 (PR)	Campina Grande do Sul
SH9	71 - 90		

Figura 25: Segmentos homogêneos e praças de pedágio – Rodovia Régis Bittencourt

- Dados geométricos e topológicos da rodovia em formato “dwg” (AutoCAD Drawing Database).
- Imagens em formato “tiff” (Tagged Image File Format) oriundos de restituição de vôo realizado em 2008 sobre a rodovia e sua área de domínio.
- Informações retigráficas: velocidade limite por trecho de via e presença de terceira faixa de ultrapassagem.
- Presença de equipamentos de iluminação.
- Listagem dos dispositivos de fiscalização (radares de velocidade) e sua localização. Os dispositivos iniciaram a operação em 29/06/2015 e as autuações começaram em 29/06/2016.
- Registros dos pluviômetros instalados nas praças de pedágio, com registros das precipitações ocorridas (dia e hora, duração e quantidade de milímetros de chuva).

6.2.2. Levantamento da textura e do atrito superficial do pavimento

Foram realizados seis levantamentos de dados do pavimento da rodovia. Na próxima seção, sobre a avaliação das propriedades dos pavimentos, são apresentadas as informações extraídas das comparações entre dados de textura coletados antes e após as intervenções no pavimento até junho de 2018.

6.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS

Na fase 4, esperava-se aplicar os seguintes ensaios, previstos em normas nacionais e internacionais pesquisadas na revisão da literatura, para a avaliação das propriedades de superfície dos pavimentos:

- Levantamento visual contínuo para observação das características do local, com anotações de características que possam auxiliar na identificação dos problemas.
- Levantamento por equipamento scanner para identificação das características e parâmetros geométricos e de sinalização.
- Levantamento de textura superficial através de diferentes técnicas de levantamento:
    - ✓ A megatextura por barra a laser (equipamento para levantamento de irregularidade) executada em toda a extensão dos segmentos críticos.

- ✓ A microtextura por medida de atrito pelo pêndulo britânico. Efetuadas medidas a cada 20 metros nos pontos de interesse (trilhas de roda), intercaladas, externa e interna, com 5 leituras em cada determinação, em toda a extensão das áreas de maior ocorrência de acidentes por derrapagens em dias de chuva.

Entretanto, ao longo do projeto percebeu-se que alguns deles teriam de ser modificados de forma que o levantamento visual contínuo, a obtenção dos parâmetros geométricos da via por laser e a megatextura obtida por barra laser só foram efetuadas na primeira medição, efetuada antes da intervenção no pavimento.

Para as outras 5 medições, previstas nas fases 3 a 7, foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Levantamento de textura superficial através de diferentes técnicas de levantamento:
  - ✓ A macrotextura por perfilômetro laser executados em toda a extensão dos segmentos críticos e quilômetros adjacentes
  - ✓ O atrito medido por equipamento de roda parcialmente bloqueada denominado Grip Tester.

As avaliações de superfície foram realizadas de forma centralizada, em uma grande etapa a cada semestre, para que houvesse concentração dos esforços na coleta de dados em campo e na mobilização de equipamentos em períodos pré-determinados, uma vez que os custos envolvidos são elevados. Conforme previsto, os ensaios tiveram de ser contratados, uma vez que alguns ensaios não estão disponíveis na Concessionária, nem na USP. Portanto, os ensaios estão agrupados em meses antes das intervenções e em determinados meses após as intervenções. Dado que a textura se altera nos primeiros meses da vida útil do pavimento, foram programadas mais avaliações de campo após as intervenções para avaliar se há alterações de características da superfície com a ação do tráfego.

6.3.1. Levantamento das características do pavimento em laboratório

Durante a execução do trecho experimental 2 na pista norte (do quilômetro 545,370 ao quilômetro 544,720) foram coletados aproximadamente 70 kg de material asfáltico para a

realização de ensaios em laboratório a fim de comprovar as características esperadas para a mistura do tipo gap-graded adotada como solução de pavimento.

Cabe ressaltar que os ensaios realizados em laboratório têm por objetivo demonstrar o potencial dos materiais empregados em campo, dessa forma, os valores apresentados como resultados dos experimentos geralmente são tomados como valores ótimos dos mesmos. Isso pode ser confirmado por Pereira *et al*. (2012) que afirmam que os resultados de laboratório para superfícies de pavimentos tendem a apresentar melhores resultados que os encontrados em campo.

Para a realização dos ensaios de superfície nas amostras coletadas, foram utilizados os seguintes materiais:

- Aproximadamente 36 kg de mistura asfáltica do tipo gap-graded 9,5 mm proveniente da intervenção feita no trecho experimental 2 norte entre os km 545 + 370 m e km 544 + 720 m da Rodovia Régis Bittencourt.
- Mesa compactadora LCPC ("Laboratoire Central des Ponts Chaussess") pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Equipamento de compactação vibratória pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo acrescido de 55 kg colocados na forma de anilhas presas na parte superior do equipamento.
- "Pavement Texture Analyzer" (PTA) desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo sob o número de registro BR102013013198-9.

(i) Ensaio de densidade aparente de misturas asfálticas

- Molde de corpos de prova;
- Água para pesagem hidrostática.

(ii) Ensaio de densidade máxima de misturas asfálticas

- Kitasato Inox;
- Água destilada.

(iii) Ensaio de Mancha de Areia:

- Esferas de vidro, arredondadas, passante na peneira nº 60 (0,177mm) e retida na peneira nº 80 (0,250mm), com um volume de 25.000 mm³;
- Pistão circular;
- Trena.

(iv) Pêndulo Britânico:

- Equipamento denominado Pêndulo Britânico pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentos do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- Água para umedecimento da superfície pavimento.

(v) Ensaio de Simulação de tráfego:

- Equipamento de deformação permanente – Orniéreur (Simulador de Tráfego) pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Para caracterização em laboratório da mistura asfáltica advinda do trecho experimental a primeira etapa foi definida como sendo a obtenção das massas específica aparente e específica máxima, medidas da mistura asfáltica. Isso se faz necessário porque, sabendo-se que o volume da placa a ser confeccionada em laboratório é de 4500 cm³, determina-se pela massa específica aparente o peso de mistura a ser aquecido para o preparo da mesma.

Inicialmente, foram moldados dois corpos de prova conforme especificação da metodologia Marshall. Em seguida, esses corpos de prova compactados foram pesados secos (A), submersos (C) e na condição de superfície saturada seca (B) de acordo com a ASTM D 2726.

Sendo assim, a massa específica aparente de uma mistura asfáltica compactada (Gmb) é dada pela Equação (2):

$$Gmb = \frac{A}{(B-C)}\ x\ 0{,}9971 \tag{2}$$

Para a obtenção da massa específica máxima medida foi adotado o procedimento da norma ASTM D 2041 proposto pela AASHTO, apresentada a seguir.

Primeiro pesa-se o kitasato completo com água a 25°C, ao qual denomina-se peso E. A amostra de mistura asfáltica é aquecida, destorroada e medida sua massa (D) que deve se encontrar próxima a 1,5 kg. Essa mistura asfáltica é introduzida no kitasato e acrescenta-se água destilada a 25°C até o total cobrimento da amostra. Aplica-se, então, vácuo ao sistema por 15 minutos. Por fim, completa-se o nível do volume do kitasato e afere-se a massa do conjunto (F). De posse dos valores da pesagem, a densidade máxima medida (Gmm) é determinada pela Equação (3):

$$Gmm = \frac{E}{(D+E-F)}\ x\ 0{,}9971 \tag{3}$$

De posse dessas informações, foram confeccionadas três placas de mistura asfáltica de dimensões 18 cm x 50 cm e 5 cm de profundidade.

Com o material coletado foi moldada uma placa de volume igual a 4500 cm³ a qual foi compactada pela mesa do tipo LCPC, simulando a compactação em campo. O equipamento permite a escolha de vários parâmetros como a carga do eixo e o número de passadas e pode ser visto na Figura 25.

Figura 25: Execução da compactação da mistura asfáltica na mesa compactadora LCPC – LTP/EPUSP

Buscando-se analisar o efeito do tráfego na textura dos pavimentos, ensaios de textura foram realizados de forma conjunta com o uso simulador de tráfego. O mesmo consiste na passagem de uma carga, a uma frequência de 1Hz, por meio do contato de um pneu liso e uma placa de mistura asfáltica, apresentado na Figura 26. Usualmente, são aplicados ciclos de passagem de carga de 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000 ciclos acumulados.

Figura 26: Corpo de prova sendo aferido no equipamento de simulação de tráfego – LTP/EPUSP.

Com a primeira placa moldada e devidamente preparada procedeu-se a realização de três rodadas de ensaios diferentes. A primeira delas aconteceu com a placa sem simulação de tráfego e as outras duas aconteceram com deformações de 3.000 ciclos e 30.000 ciclos no equipamento de simulação de tráfego.

Os ensaios se davam na seguinte ordem: ensaio de textura no “Pavement Texture Analyzer” (PTA), Ensaio de Mancha de Areia e ensaio do Pêndulo Britânico.

O primeiro ensaio, realizado no PTA, fornece, a partir da técnica de estéreo fotometria, parâmetros estatísticos para o entendimento da distribuição dos grãos na superfície da placa moldada. Woodham (1980) esclarecem que essa técnica é caracterizada pela aquisição de fotos sequenciais e que mantêm a mesma vista da superfície em estudo ao mesmo tempo em que se varia a angulação de uma luz que incide sobre a mesma. O equipamento desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação, denominado PTA, contém em seu interior quatro lâmpadas e, a partir de fotografias tiradas com a iluminação proveniente

delas, um algoritmo computacional analisa as imagens fornecendo dados de distribuição de picos e vales de agregados. A Figura 27 traz um exemplo de imagem obtida com esse equipamento.

Figura 27: Imagem do corpo de prova obtida no equipamento PTA – LTP/EPUSP.

Os parâmetros obtidos estão relacionados à estatística descritiva e são denominados *skewness* e *kurtosis*. Segundo Vieira (2014) os valores de *skewness* estão relacionados a uma assimetria na distribuição, onde valores positivos representam picos e valores negativos representam vales. Já os valores de *kurtosis* dizem respeito ao quão afiada é essa superfície.

Por sua vez, o Ensaio de Mancha de Areia, realizado conforme a norma ASTM E965, foi utilizado para caracterizar a macrotextura da superfície da placa. Para tanto, esferas de vidro foram distribuídas uniformemente, formando um círculo como mostrado na Figura 28, sobre a superfície da placa, com auxílio de um pistão de base circular. O espalhamento se encerrava quando algumas pontas dos agregados ficavam expostas e não era possível alargar o diâmetro do círculo. Em seguida, mediu-se o diâmetro do círculo em cinco direções distintas com auxílio de uma trena e fez-se a média das determinações. Atualmente, adota-se também o uso da fotometria que, pelo uso de softwares de tratamento de imagens, determina a área do círculo. Calcula-se, então, a altura média da mancha de areia como sendo a razão entre o volume de material espalhado pela área medida.

Segundo a Associação Brasileira De Pavimentação (ABPv) (1999) os valores de altura de mancha de areia devem se encontrar entre 0,6 e 1,2 mm, como apresentado na Tabela 2.

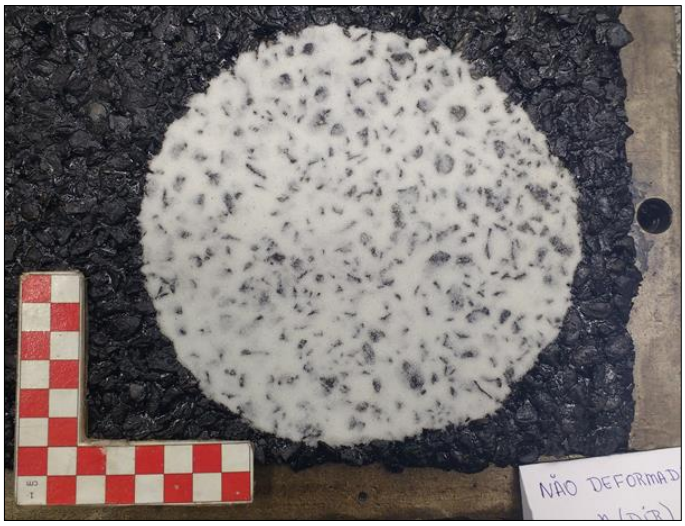


Figura 28: Mancha de esferas de vidro dispostas sobre o corpo de prova – LTP/EPUSP.

A fim de se obter valores representativos de macrotextura para todo o corpo de prova, foram realizadas três medições a cada ciclo. A primeira delas era feita no canto direito da placa, a segunda ao centro e a terceira no canto esquerdo. Ao final os valores eram utilizados de forma a se obter uma média das medições obtidas.

Por fim, foi realizado também o ensaio do Pêndulo Britânico em conformidade com a ASTM E303, para determinação da microtextura da superfície da placa. O equipamento era nivelado e com o pavimento umedecido eram feitas cinco medições, sendo considerados apenas os quatro últimos valores de resistência à derrapagem. As medições foram feitas de forma que o pêndulo sempre tocasse o centro das placas, evitando o contato com as bordas deformadas, como pode ser visto na Figura 29.

Figura 29: Representação da utilização do Pêndulo Britânico em um corpo de prova retangular – LTP/EPUSP.

Uma observação deve ser feita quanto à realização dos ensaios após a submissão do corpo de prova ao simulador de tráfego de forma intercalada à realização dos ensaios. Ao início dos testes, essa metodologia foi proposta com a finalidade de observar o comportamento da superfície da mistura após o efeito da passagem do tráfego. Entretanto, outros estudos realizados dão indícios de que essa sequência não seja eficiente e não represente fidedignamente o comportamento da mistura em campo.

Pereira *et al.* (2012) realizaram um mesmo ciclo de ensaios e observaram medições que não apresentavam padrões. Os autores sugerem que isso acontece porque através da passagem do pneu do simulador ocorre descolamento de ligante dos agregados que tendem também a se expor apresentando um ganho falso de textura. Assim, eles concluem que as medições feitas em placas compactadas pela mesa compactadora não apresentam a mesma superfície que aquelas observadas em campo porque não foram vibradas no momento da compactação. Para evitar que isso aconteça o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP vem desenvolvendo novos procedimentos de compactação em que se alia a

compactação por pneu com a compactação vibratória. O equipamento usado para promover a vibração é apresentado na Figura 30.

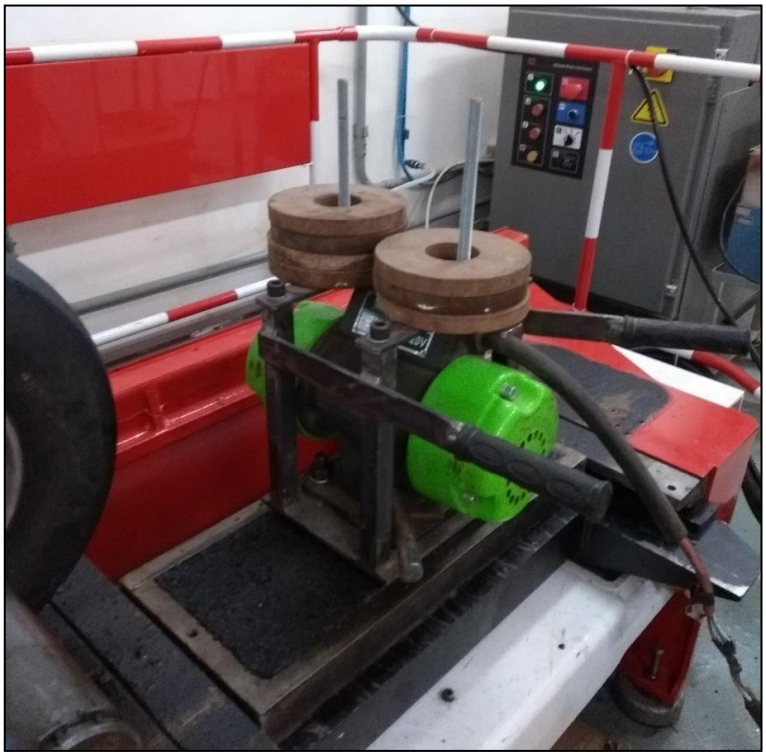


Figura 30: Equipamento de compactação vibratória - LTP/EPUSP

Para que essa nova metodologia fosse testada foram então confeccionadas duas novas placas de 4500 cm³ com a compactação sendo feito por pneu mais vibração. Seguiu-se novamente o procedimento para caracterização da superfície como na placa anterior, porém, três alterações foram feitas.

A primeira foi a quantidade de vezes em que o ensaio foi aplicado. Dessa vez o simulador de tráfego foi parado no número de ciclos iguais a 3.000, 10.000 e 30.000 para realização dos ensaios de textura, entretanto a ordem do ensaio permaneceu a mesma.

A segunda é relativa ao número de repetições do ensaio de mancha de areia. Enquanto que na primeira placa o ensaio era repetido três vezes a cada ciclo, dessa vez ele foi feito três vezes apenas na placa não deformada e uma vez de forma central nos outros ciclos. Isso acontece porque ao se introduzir a placa no simulador cria-se um abaulamento que dificulta a execução do ensaio nas bordas da placa.

A última alteração diz respeito ao ensaio para obtenção do afundamento em trilha de roda (ATR) que também foi realizado por meio do uso do simulador de tráfego, na temperatura de 60°C (EN 12697-22, 2003). À medida que a carga passa em cima da placa, são realizadas leituras em termos de ATR nos seguintes números de ciclos: 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000.

Resultados dos Ensaios

Como comentado anteriormente, por questões construtivas (aplicação dos materiais), os valores aqui apresentados não serão idênticos ao observados em campo, sendo usualmente melhores, principalmente devido às condições climáticas do momento de aplicação da mistura asfáltica.

Para caracterização em laboratório da mistura asfáltica advinda do trecho experimental a primeira etapa foi definida como sendo a obtenção das massas específicas aparente e massa específica máxima medida da mistura asfáltica.

Inicialmente, foram moldados os dois corpos de prova os quais foram pesados nas condições previstas em norma para obtenção do Gmb, conforme a Equação (2). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.

Peso	Seco	Submerso	Saturado com Superfície Seca	Massa específica aparente (g/cm³)
CP 1	1194,7	683,7	1214,5	2,24
CP 2	1195,6	690,7	1213,8	2,28

Tabela 4: Pesagem dos corpos de prova

Sendo assim, a média obtida para o Gmb foi de 2,26 g/cm³.

Em seguida, para determinação da Gmm foram aferidas as massas necessárias. O peso do kitasato completo com água foi de 7737,55 kg (A). Já a massa da amostra de mistura asfáltica aquecida e destorroada apresentou um valor de 1500,2 kg (B). Por fim, a massa do conjunto kitasato mais mistura asfáltica após a aplicação do vácuo foi de 8637,6 kg (C).

De posse dos valores da pesagem, a Gmm foi determinada pela Equação (3), apresentando um valor de 2,50 g/cm³.

A primeira placa confeccionada foi aquela com a compactação realizada apenas na mesa compactadora e o resultado de seus ensaios serão apresentados a seguir.

Os primeiros resultados obtidos, provenientes da PTA, são relativos à distribuição dos agregados na superfície da placa fotografada em laboratório. Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros de *skewness* e *kurtosis* para as três repetições do ensaio.

	Skewness	*Kurtosis*
	0 ciclos	
Média	-0.0029	2.33
Resultado	Vales pouco pronunciados	
	3000 ciclos	
Média	-0.0013	1.3
Resultado	Vales pouco pronunciados	
	30000 ciclos	
Média	-0.00097	1.4
Resultado	Vales pouco pronunciados	

Tabela 5: Resultados de Skewness e Kurtosis para a placa compactada por pneu

Pelos valores apresentados para o primeiro parâmetro, que se mantêm negativo, pode-se dizer que a distribuição dos agregados na superfície da placa proporciona um maior número de vales do que picos na textura apresentando assim textura negativa. Além disso, os valores do segundo parâmetro, por serem inferiores a três, indicam que esses vales não são muito pronunciados. Percebe-se que para placa sem deformação esse valor é superior ao das outras duas repetições. Um dos prováveis motivos é o deslocamento dos agregados durante a simulação de tráfego, ocasionando uma maior proximidade entre os mesmos e diminuindo os vales da textura.

Os resultados obtidos para a macrotextura e microtextura, medidos através da mancha de areia e Pêndulo Britânico respectivamente, são mostrados na Tabela 6.

	HS	BPN
	0 ciclos	
Esquerda	1,1	-
Centro	1,2	-
Direita	1,3	-
Média	1,2	67
	3000 ciclos	
Esquerda	1,4	-
Centro	1,4	-
Direita	1,3	-
Média	1,4	65
	30000 ciclos	
Esquerda	1,3	-
Centro	1,5	-
Direita	1,3	-
Média	1,4	70

Tabela 6: Resultados do ensaio de mancha de areia e de Pêndulo Britânico para a placa compactada por pneu

A altura de mancha de areia sofreu pequena alteração entre a placa antes da deformação e depois dos 3000 ciclos e 30000 ciclos no simulador de tráfego. Isso indica que depois da movimentação inicial dos agregados ocasionada pela deformação os mesmos não sofreram grandes alterações de posicionamento. Além disso, os valores determinados de macrotextura se encontram dentro do especificado por norma.

Como dito anteriormente, sabe-se que os valores aqui apresentados para as amostras são valores ótimos, e que por conta das condições de aplicação não são facilmente atingidos em campo.

Já para o Pêndulo Britânico, como mostrado na Tabela 1, os valores apresentados para as três repetições demonstram que a superfície da mistura asfáltica é rugosa, como esperado. Dessa forma, a mesma oferece um padrão ótimo de atrito.

Pode-se observar, pelos resultados apresentados, que todos os parâmetros checados se encontram de acordo com os padrões especificados para a superfície da mistura asfáltica. Dessa forma, mesmo sabendo das limitações da aplicação em campo, espera-se que o comportamento da mesma forneça uma relação atrito pneu/pavimento satisfatória.

Entretanto, buscando placas que reproduzissem mais fielmente a textura de campo, foram confeccionadas duas novas placas apresentando compactação por pneu aliada à vibratória e o resultado de seus ensaios são apresentados a seguir.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos pela PTA tanto para a placa 01 quanto para a placa 02.

	Placa 01		Placa 02	
	skewness	kurtosis	skewness	kurtosis
		0 ciclos		
Média	-0.0055	2.1571	-0.0031	1.7281
Resultado	Vales pouco pronunciados		Vales pouco pronunciados	
		3000 ciclos		
Média	-0.0068	2.5379	-0.0029	2.0280
Resultado	Vales pouco pronunciados		Vales pouco pronunciados	
		10000 ciclos		
Média	0.0083	2.4349	0.0033	2.3391
Resultado	Picos pouco pronunciados		Picos pouco pronunciados	
		30000 ciclos		
Média	-0.0033	1.9297	-0.0053	2.0506
Resultado	Vales pouco pronunciados		Vales pouco pronunciados	

Tabela 7: Resultados de Skewness e Kurtosis para a placa compactada por pneu e vibração

Para a placa não deformada, a 3000 e a 30000 ciclos a textura permaneceu com predominância de vales não pronunciados, ou seja, negativa. Somente à 10000 ciclos as placas se apresentaram com textura positiva. Acredita-se que isso se deva pela movimentação dos agregados, assim como explicado anteriormente.

Já os resultados obtidos para a textura medidos através da mancha de areia e Pêndulo Britânico, são mostrados na Tabela 8.

	Placa 01		Placa 02	
	HS	BPN	HS	BPN
		0 ciclos		
Esquerda	1,1	-	1,1	-
Centro	1,2	-	1,0	-
Direita	1,5	-	1,0	-
Média	1,3	79	1,0	75
		3000 ciclos		
Média	1,3	75	1,1	76
		10000 ciclos		
Média	1,5	71	1,0	70
		30000 ciclos		
Média	1,3	75	1,4	76

Tabela 8: Resultados do ensaio de mancha de areia e de Pêndulo Britânico para a placa compactada por pneu e vibração

Para a placa 01 observa-se um padrão na textura, com melhoria da macrotextura aos 10000 ciclos, mas que se mantêm igual nos outros ciclos. Isso não acontece na placa 02, em que não é possível definir uma padronização. Entretanto, quanto à altura da mancha de areia todas as repetições apresentaram um bom resultado.

Para os resultados de Pêndulo Britânico observa-se que muitas repetições apresentaram textura muito rugosa, ou seja, um valor de BPN acima de 75. Entretanto, aos 10000 ciclos ambas as placas apresentaram um decréscimo nessa medição coincidindo com a determinação de textura positiva.

No Brasil, adota-se que o limite recomendável para ATR após o término do ensaio (30.000 ciclos) seja de no máximo 5%. Entretanto, a mistura asfáltica do tipo gap-graded testada em laboratório não apresentou um resultado satisfatório, chegando a um valor de ATR de 8,8%, como apresentado nos resultados do ensaio de ATR na Figura 31.

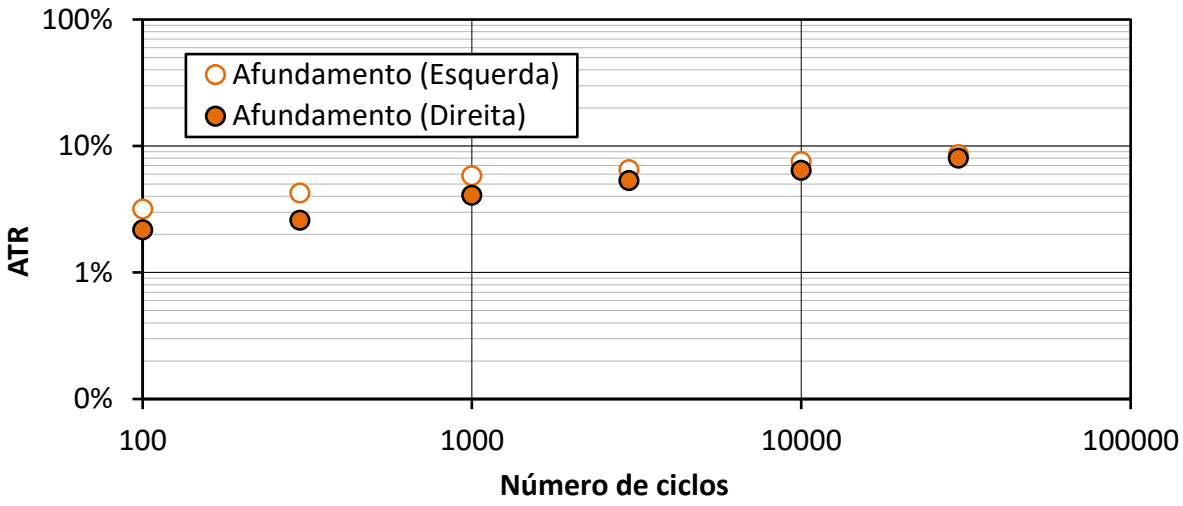


Figura 31: Resultados do ensaio de afundamento da trilha de roda

Esse valor é resultado de um conjunto de fatores. Apesar de ser esperado das misturas do tipo gap-graded uma melhor resistência à deformação permanente, as mesmas apresentam teor de ligante mais elevado que as misturas convencionais como CBUQ, um volume de vazios maior que 4% (nessa mistura adotou-se um valor de 5%) e distribuição granulométrica dos agregados mais fina apesar da descontinuidade. Além disso, o emprego da compactação vibratória pode ter mudado o travamento dos agregados, bem como, o reaquecimento em laboratório pode ter alterado as propriedades da mistura.

6.3.2. Comparações entre os levantamentos da textura superficial do pavimento em campo

Com a finalidade de exemplificar e quantificar as melhorias realizadas na superfície do pavimento dos trechos experimentais em estudo serão apresentadas as comparações dessas medições para os trechos Norte e Sul. Com esse intuito, foram utilizados os seguintes materiais:

- Planilhas em formato Microsoft Excel® contendo as medições de textura e de atrito, abrangendo os quilômetros 555,000 a 545,000 da pista no sentido Norte e Sul da Rodovia Régis Bittencourt coletadas em outubro de 2015 (fonte: Dynatest).
- Planilhas em formato Microsoft Excel® contendo as medições de textura e atrito, abrangendo os quilômetros 562,000 a 543,000 e quilômetros 518,000 a 512,000 da

pista no sentido Norte da Rodovia Régis Bittencourt coletadas em dezembro de 2016 (fonte: Road Runner).

- Planilhas em formato Microsoft Excel® contendo as medições de textura e atrito, abrangendo os quilômetros 545,000 a 565,000 da pista no sentido Sul da Rodovia Régis Bittencourt coletadas em setembro de 2017 (fonte: Road Runner).
- Planilhas em formato Microsoft Excel® contendo as medições de textura e atrito, abrangendo os quilômetros 547,000 a 543,000 e quilômetros 520,000 a 516,000 da pista no sentido Norte da Rodovia Régis Bittencourt coletadas em dezembro de 2017 e em junho de 2018 (fonte: Road Runner).
- Planilhas em formato Microsoft Excel® contendo as medições de textura e atrito, abrangendo os quilômetros 547,000 a 551,000 e quilômetros 558,000 a 565,000 da pista no sentido Sul da Rodovia Régis Bittencourt coletadas em dezembro de 2017 e em junho de 2018 (fonte: Road Runner).
- Software Microsoft Excel®, licença pertencente ao Departamento de Engenharia de Transportes - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Software R de licença livre.

6.3.2.1. Pista Norte

Na data de coleta dos primeiros dados de atrito e textura não eram certos os detalhes de posicionamento dos trechos experimentais e a medição 01 não abrangeu os quilômetros que posteriormente sofreram intervenção. Dessa forma, não estão disponíveis dados de superfície do trecho experimental 01 e 02 da pista no sentido Norte da rodovia e a medição 01 será usada para fins de representação do que era a textura antes da intervenção.

Além disso, os dados da faixa 2 do trecho experimental 02, que foi refeita em 11/04/2017, foram aferidos antes de a pista ser recomposta. As medições 01 ocorreram antes da intervenção, já as medições 02, 03 e 04 após a mesma.

A seguir são apresentadas as medições que ocorreram ao longo do projeto e são feitas as devidas observações.

Atrito - Grip Number

Na Figura 32 apresentam-se as medições para a faixa 1 dos quilômetros próximos ao experimental 01, km 518,000 a km 517,530, da pista Norte e as medições feitas exatamente no trecho experimental. Essas últimas são destacadas pelo termo “TE” apresentada na frente de seu nome.

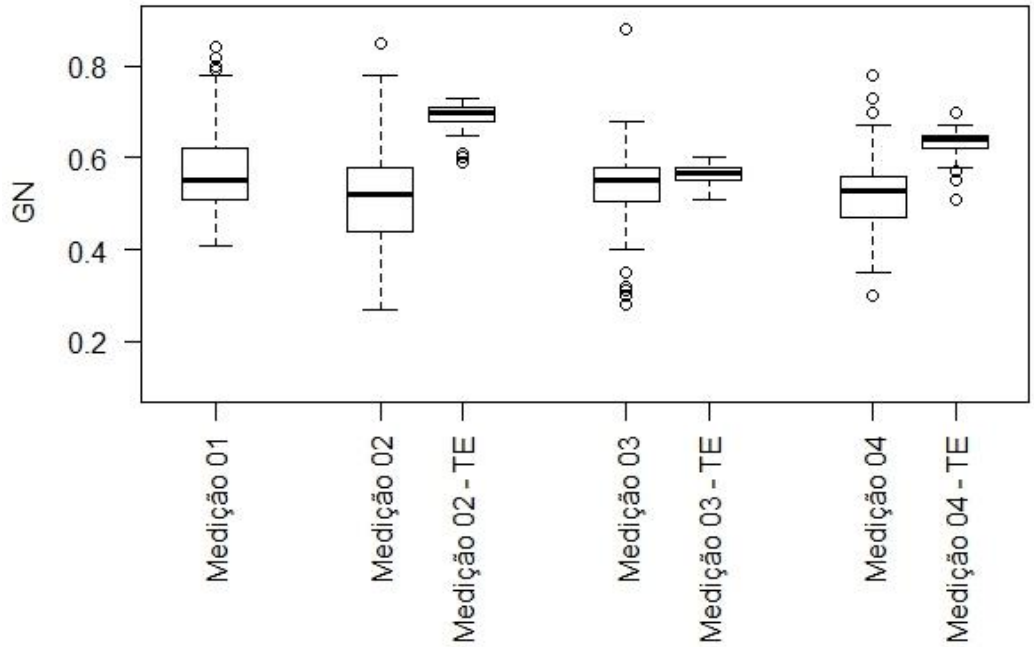


Figura 32: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 01 Norte.

Observando-se a mediana dos valores de Grip Number, na Figura 32, entre a medição 02 e 03, que ocorreram com um intervalo de aproximadamente um ano, vê-se uma diminuição no Grip Number seguida de uma elevação. Supõe-se que esse fato se deve a variações relacionadas às mudanças climáticas que alteram as medições, dado que a intervenção ocorreu antes da medição 02. Na Figura 33 são apresentadas as comparações para a faixa 2 do mesmo trecho.

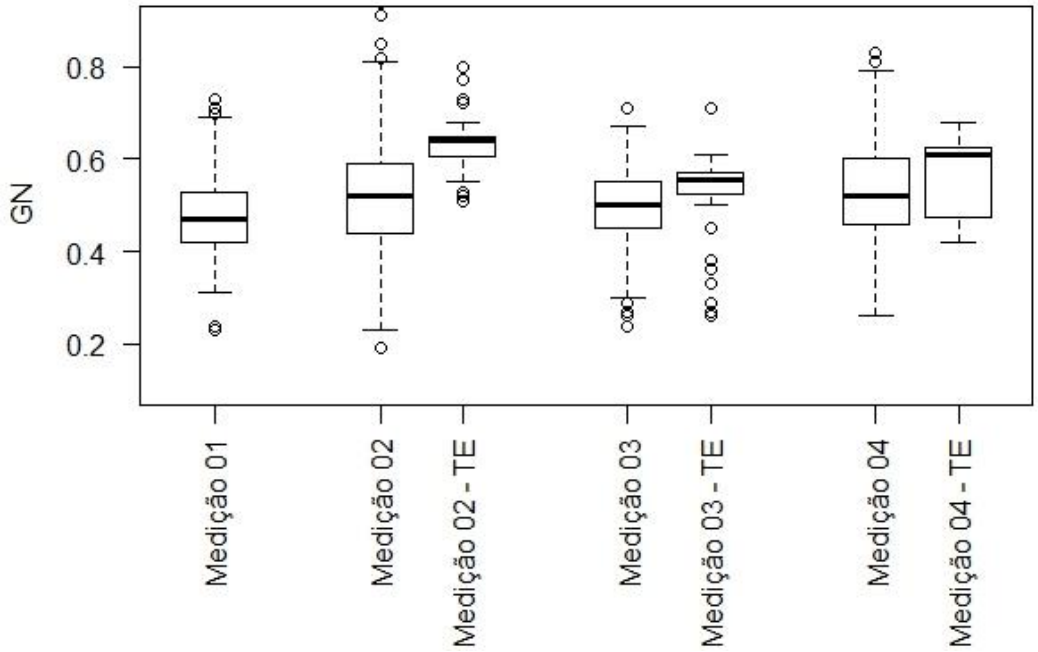


Figura 33: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 01 Norte.

Pela Figura 33 a mediana dos valores de Grip Number para a faixa 2 entre a medição 02 e 03 observa-se uma diminuição nas medianas, seguida também da elevação da mesma. Na Figura 34 são apresentadas as comparações para a faixa 1 próxima ao trecho experimental 02, km 545,370 e km 544,720, e também exatamente no trecho experimental.

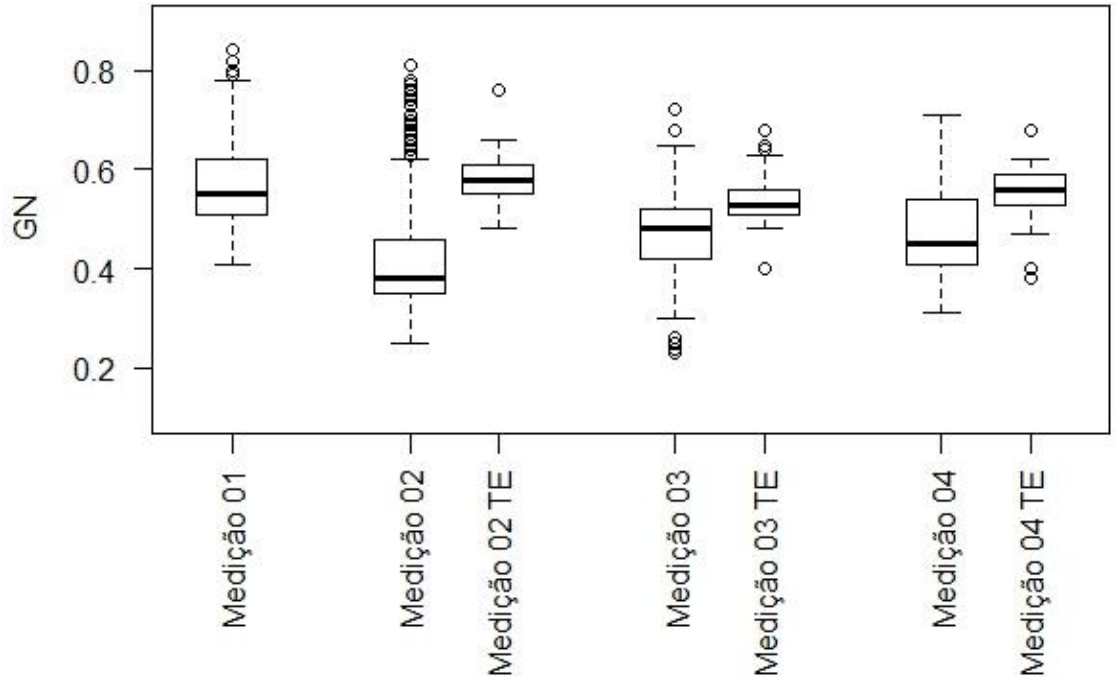


Figura 34: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 02 Norte.

Pelas medianas dos valores de Grip Number apresentados na Figura 34 entre a medição 02 e 03 observa-se uma diminuição entre as medições seguida de pequeno acréscimo. Já na Figura 35: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 02 Norte., são apresentadas as medições para a faixa 2 do mesmo trecho.

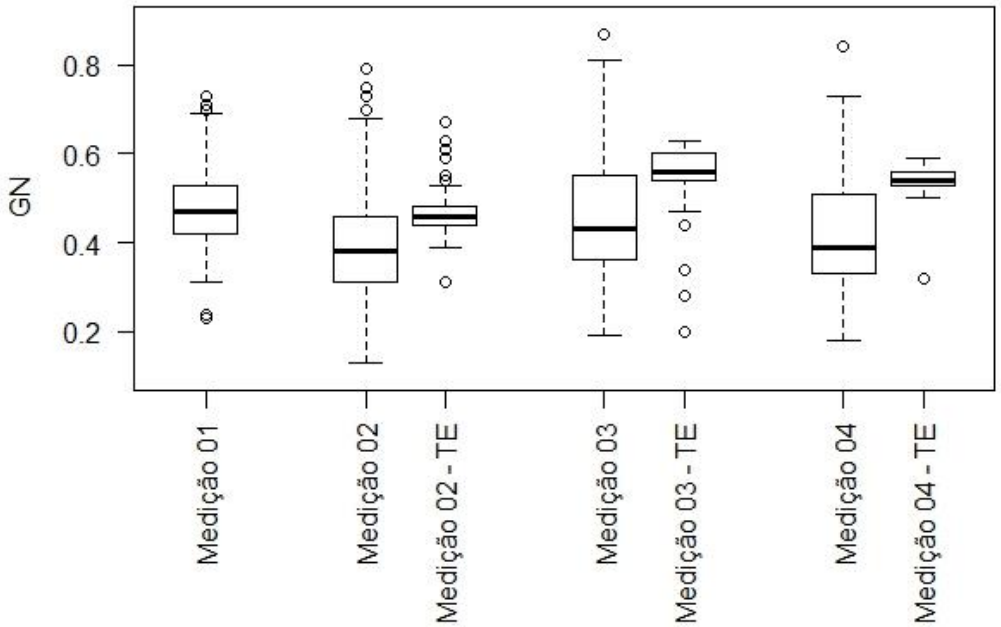


Figura 35: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 02 Norte.

Na Figura 35, vê-se pelas medianas dos valores de Grip Number entre a medição 02 e 03 um aumento, já esperado, de 0,2 nas mesmas. Dado que houve escorregamento, a medição 02 aferiu valores incorretos. O valor da mediana das medições se manteve praticamente constante entre as medições 03 e 04.

Cabe ressaltar que, quanto aos valores de grip number, os trechos experimentais apresentaram resultado superior aos trechos adjacentes em todas as medições comprovando a melhoria na resistência à derrapagem dos trechos.

Macrotextura - Mean Profile Depth

A Figura 36 apresenta as medições feitas na faixa 1 nos quilômetros próximos ao trecho experimental 01, km 518,000 a km 517,530, da pista Norte.

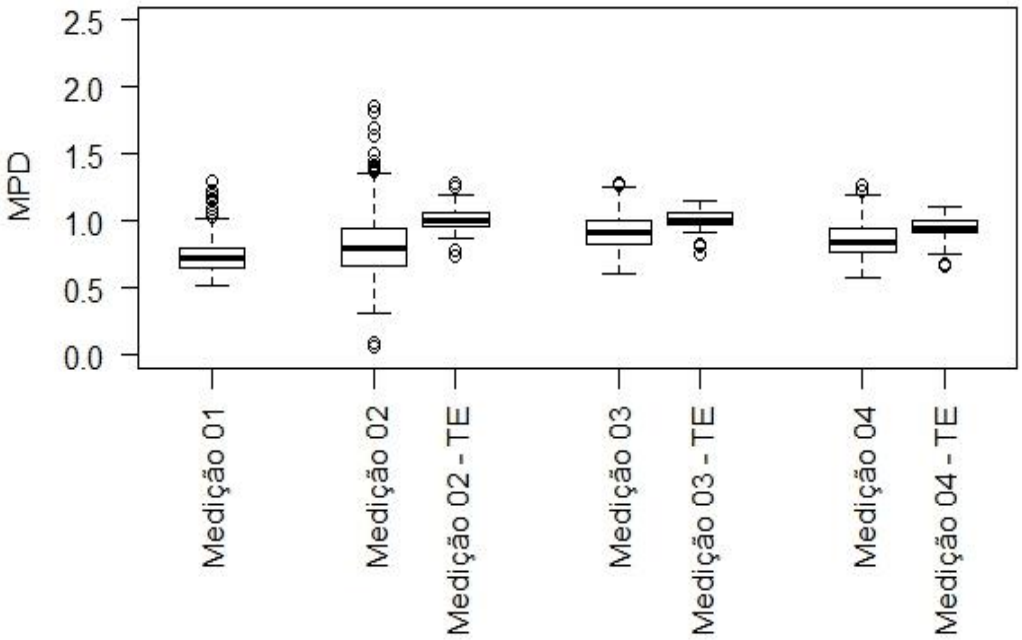


Figura 36: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 01 Norte.

Observando-se a mediana dos valores de MPD entre as medições 02, 03 e 04, na Figura 36, nota-se uma elevação insignificante nos valores aferidos. Estimando-se as medianas em

valores de mancha de areia teríamos um valor aproximado de 1,0 mm para a mancha de areia em todas medições. Na Figura 37, têm-se os resultados para a faixa 2 do mesmo trecho.

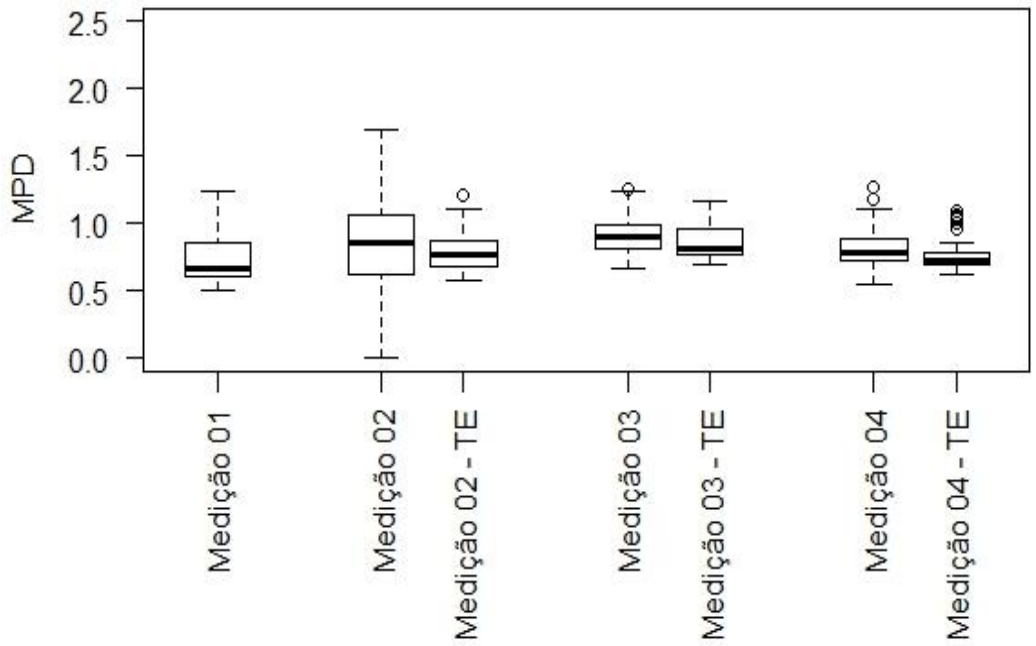


Figura 37: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 01 Norte.

Pelas medianas dos valores de MPD, vistas na Figura 37, entre as medições 02 e 03 houve uma elevação insignificante, seguida de decréscimo. Estimando-se as medianas em valores de mancha de areia teríamos um valor aproximado de 0,82 mm para a mancha de areia. Entretanto, percebe-se que nessa faixa os valores de MPD para os trechos experimentais nas medições 03 e 04 apresentaram mediana inferior àquela dos trechos adjacentes, ou seja, sua condição se encontra em nível inferior, entretanto com maior homogeneidade.

Na Figura 38 têm-se os valores aferidos para as medições da faixa 1 nas proximidades do trecho experimental 02, km 545,370 e km 544,720, e no mesmo.

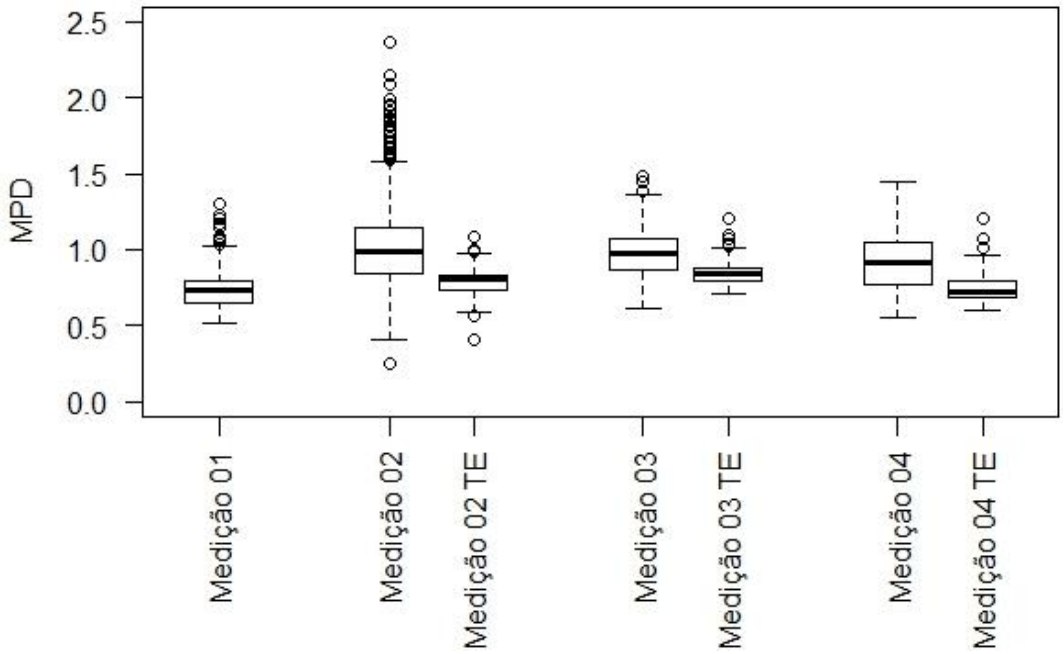


Figura 38: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 02 Norte.

Observando-se as medianas dos valores de MPD entre a medição 02 e 03 nota-se uma elevação na mesma, conforme Figura 38, seguida de decréscimo. Estimando-se as medianas em valores de mancha de areia teríamos um valor médio de 0,85 mm. Novamente observa-se um pior desempenho do trecho experimental em relação aos quilômetros adjacentes. Na Figura 39 mostra-se a faixa 2 do mesmo trecho experimental.

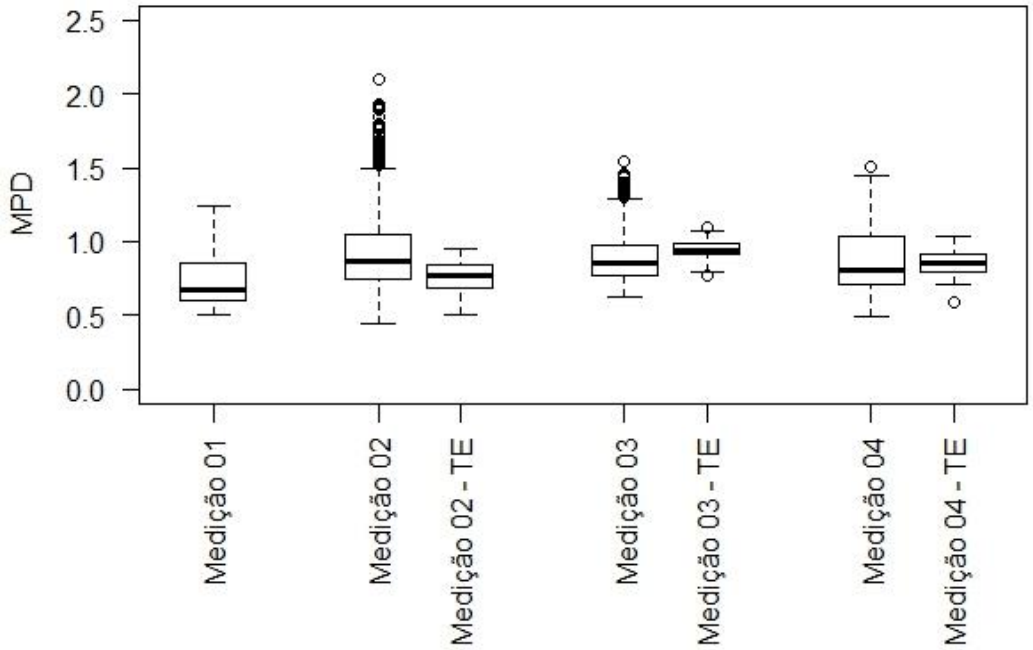


Figura 39: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 02 Norte.

Observa-se na Figura 39, a mediana dos valores de MPD entre a medição 02 e 03 afere-se um aumento de 0,2 mm nas medianas, seguida de decréscimo de 0,1 mm. Como os valores da segunda medição são inválidos, dado que houve escorregamento e a faixa foi refeita, é esperado que os valores em campo sejam mais elevados na medição 03. Estimando-se a mediana da medição 04 em valores de mancha de areia teríamos um valor de 0,8 mm.

6.3.2.2. Pista Sul

Na data de coleta dos primeiros dados de atrito e textura[4] não eram certos os detalhes de posicionamento dos trechos experimentais. Dessa forma, não estão disponíveis dados de superfície do trecho experimental 02 da pista no sentido Sul da rodovia na Medição 01. Entretanto, a medição 01 feita no trecho experimental 01 será utilizada apenas para fins de representação da textura antes da intervenção. As medições 01 e 02 ocorreram antes da intervenção e a 03 e 04 após a mesma.

[4] Observação: as datas das medições e coletas são apresentadas no item 6.3.2

Atrito - Grip Number

Na Figura 40 apresentam-se as medições para a faixa 1 dos quilômetros próximos ao trecho experimental 01, km 548,784 e km 549,420, da pista Sul e as medições feitas no trecho experimental demarcadas pela sigla “TE”.

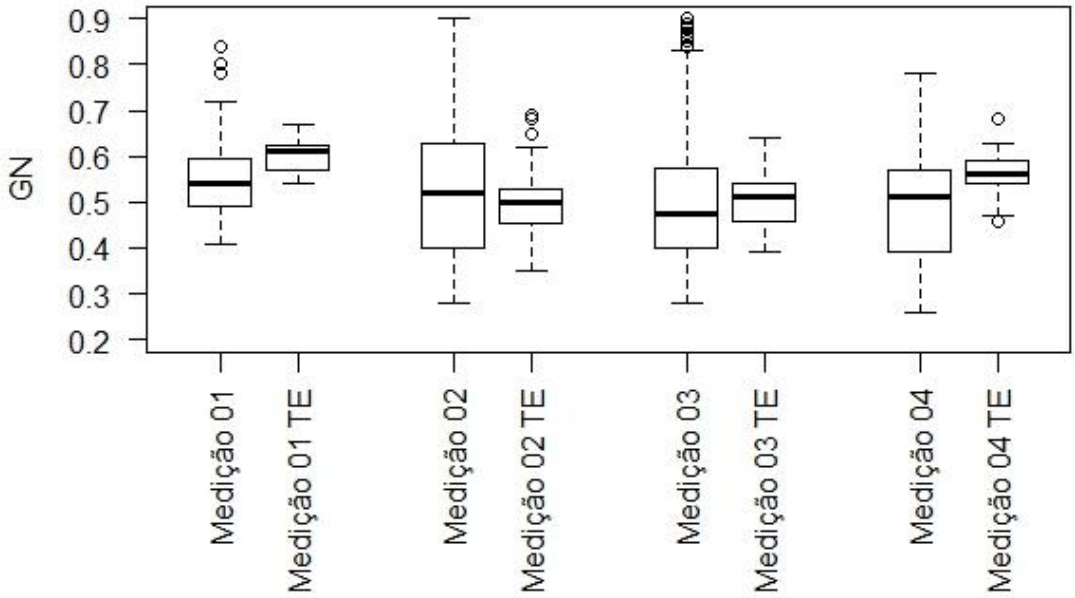


Figura 40: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 03 da faixa 01 do trecho experimental 01 Sul.

Observando-se a mediana dos valores de Grip Number na Figura 40, entre a medição 02 e 03 percebe-se uma elevação já esperada nas medianas que se manteve na medição 04. Já os valores altos apresentados na primeira medição podem ser explicados pela quantidade de pontos medidos. Enquanto que nas medições 02 a 04 o valor de atrito era aferido de 10 m em 10 m na primeira eram aferidos de 100 m em 100 m não caracterizando devidamente o pavimento. Entre as medições 02 e 03 houve um intervalo aproximado de seis meses.

Na Figura 41 são apresentados os valores aferidos para a faixa 2 do mesmo trecho experimental.

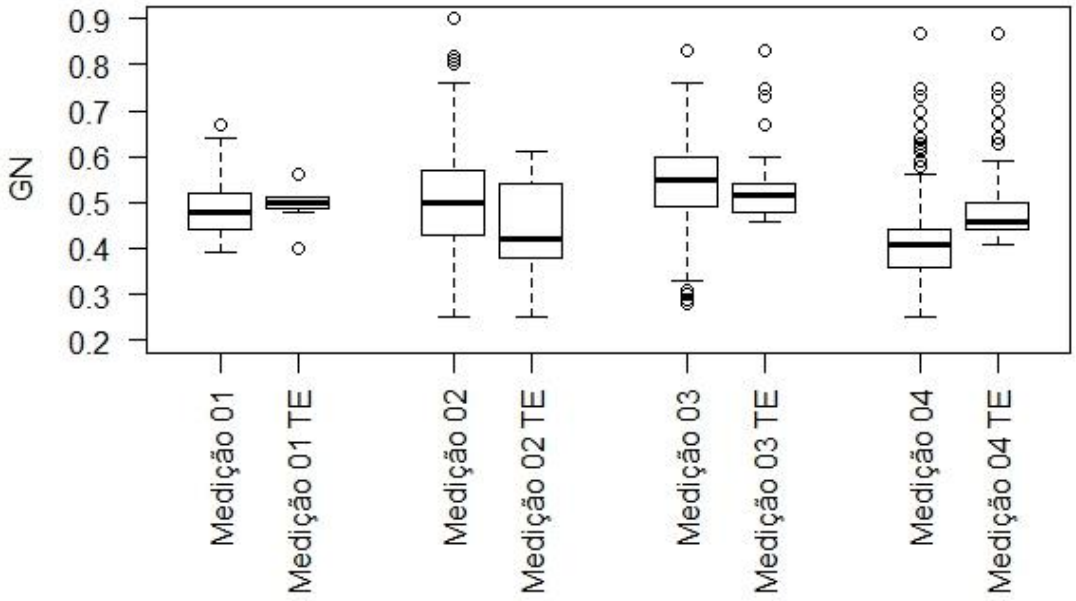


Figura 41: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 01 Sul.

Observando-se a mediana dos valores de Grip Number, na Figura 41, entre a medição 02 e 03 percebe-se uma elevação já esperada nas mesmas. A mediana dos valores no trecho experimental cai na medição 04, porém, a grande quantidade de pontos *outliers* confirma que ainda há muitos pontos com uma boa resistência à derrapagem. A Figura 42 mostra a terceira e última faixa do trecho experimental 01 da pista Sul.

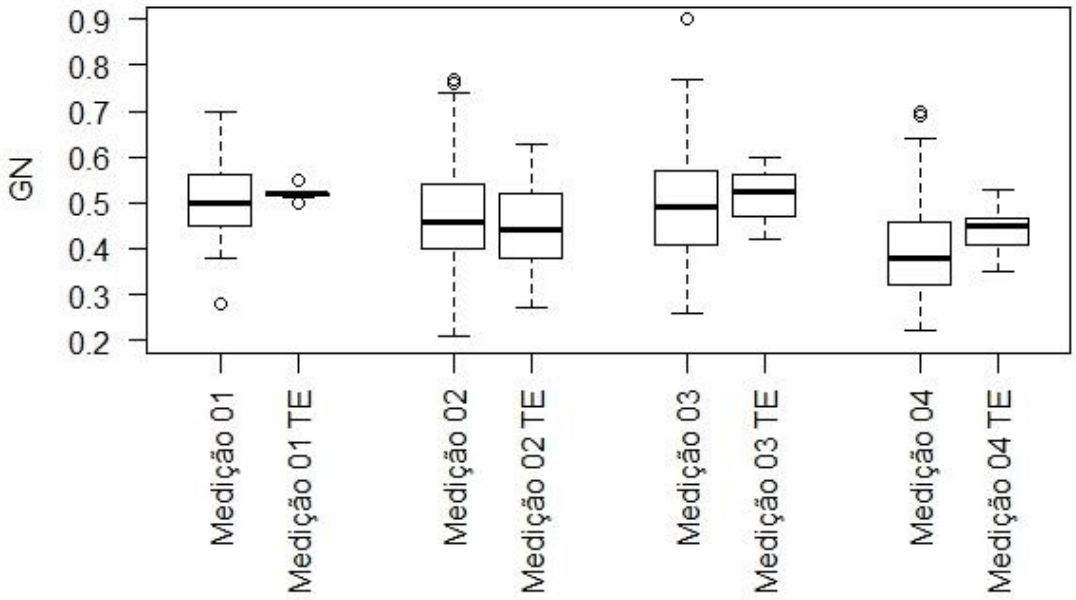


Figura 42: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 03 do trecho experimental 01 Sul.

Na Figura 42 a mediana dos valores de GN tem uma elevação já esperada entre a medição 02 e 03, seguida de um decréscimo na medição 04. Já os valores altos apresentados na primeira medição podem ser explicados pela quantidade de pontos medidos. Na Figura 43 apresentam-se as medições para a faixa 1 do trecho experimental 02, pista Sul.

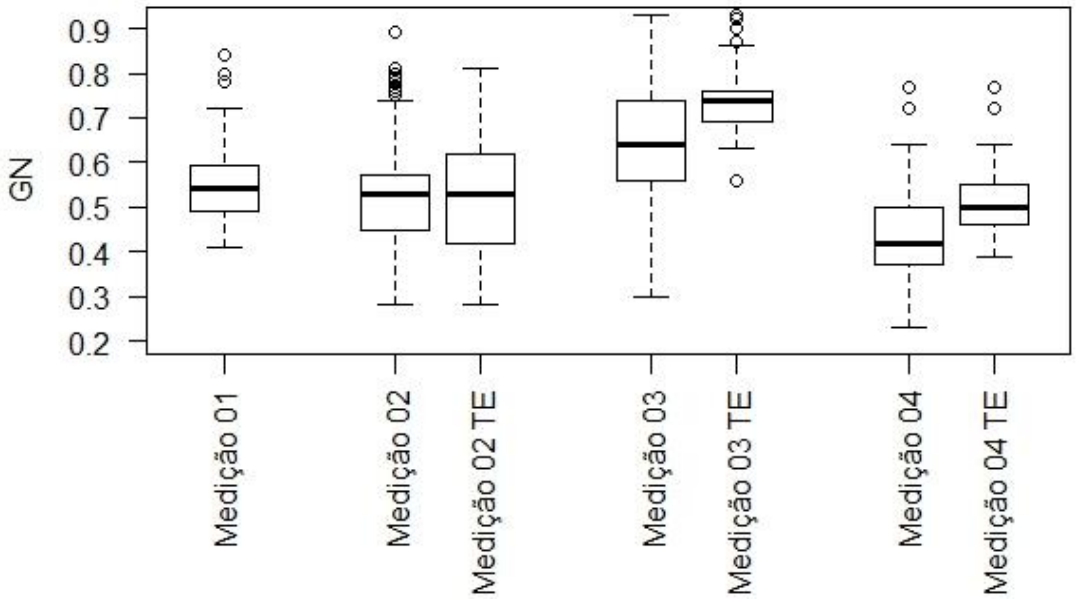


Figura 43: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 02 Sul.

Nas medições apresentadas na Figura 43 vê-se a melhoria ocasionada pela intervenção no pavimento. Um aumento de aproximadamente 0,25 ou 50% no valor do Grip Number pode ser medido e, em seguida, um decréscimo de mesma ordem. Ressalta-se também um grande número de valores considerados *outliers* mas que reforçam pontos com uma boa resistência à derrapagem. Já na Figura 44 são apresentados os valores para a faixa 2 do mesmo trecho experimental.

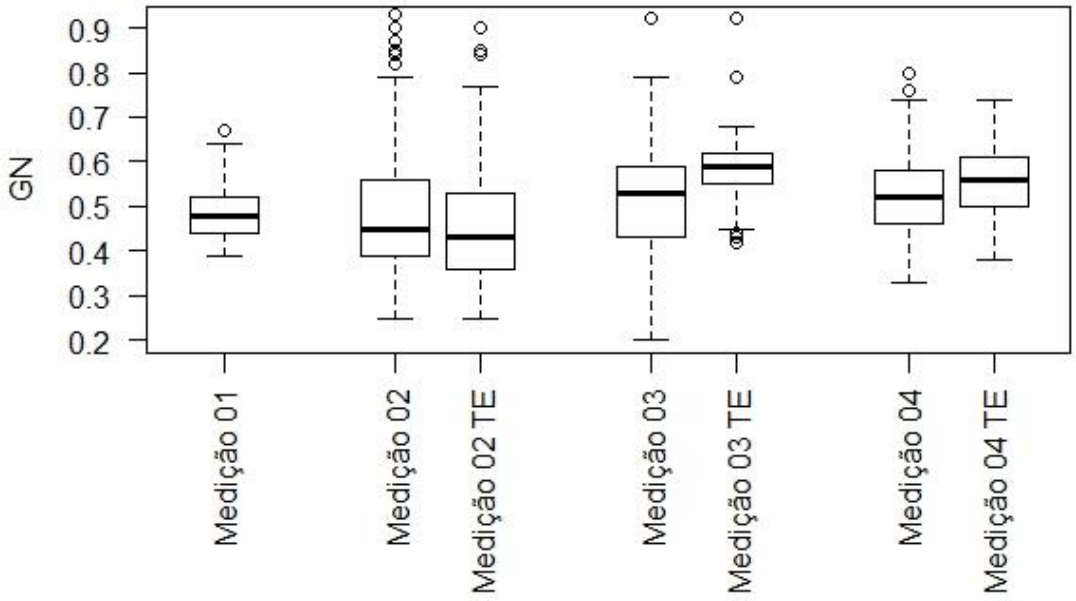


Figura 44: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 02 Sul.

Na Figura 44, mais uma vez evidencia-se a melhoria ocasionada pela intervenção no pavimento, onde se observa um aumento de aproximadamente 0,2 ou 33% no valor do Grip Number após a intervenção.

Como prova da eficácia da intervenção, observa-se que em quase todas as medições os valores de atrito nos trechos experimentais são mais elevados que nos trechos próximos aos trechos experimentais. Nos casos que são exceção observa-se um elevado número de pontos *outliers*, ou seja, que se encontram com um valor muito elevado de atrito.

Macrotextura - Mean Profile Depth

Na Figura 45 apresentam-se as medições para a faixa 1 nos pontos próximo ao trecho experimental 01, km 548,784 e km 549,420, da pista Sul e nos pontos exatamente no trecho experimental.

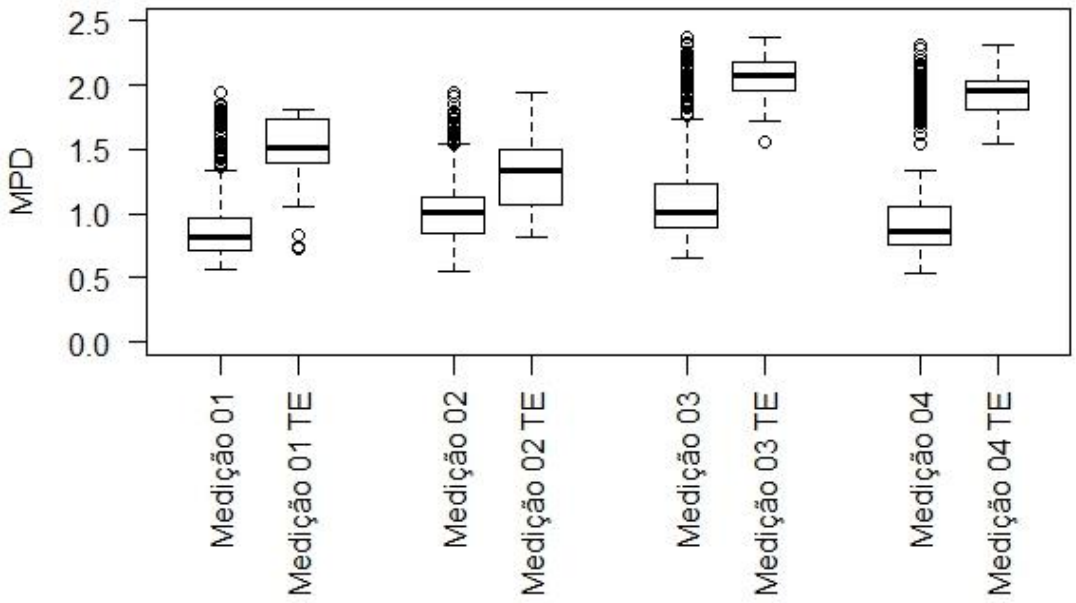


Figura 45: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 01 Sul.

Observando-se a mediana dos valores de MPD entre a medição 02 e 03 nota-se uma elevação considerável em seus valores, conforme Figura 45. Estimando-se o valor de mancha de areia após a intervenção obtém-se um valor médio de 1,8 mm que se manteve alto mesmo na quarta medição. A Figura 46 mostra a faixa 2 do mesmo trecho experimental.

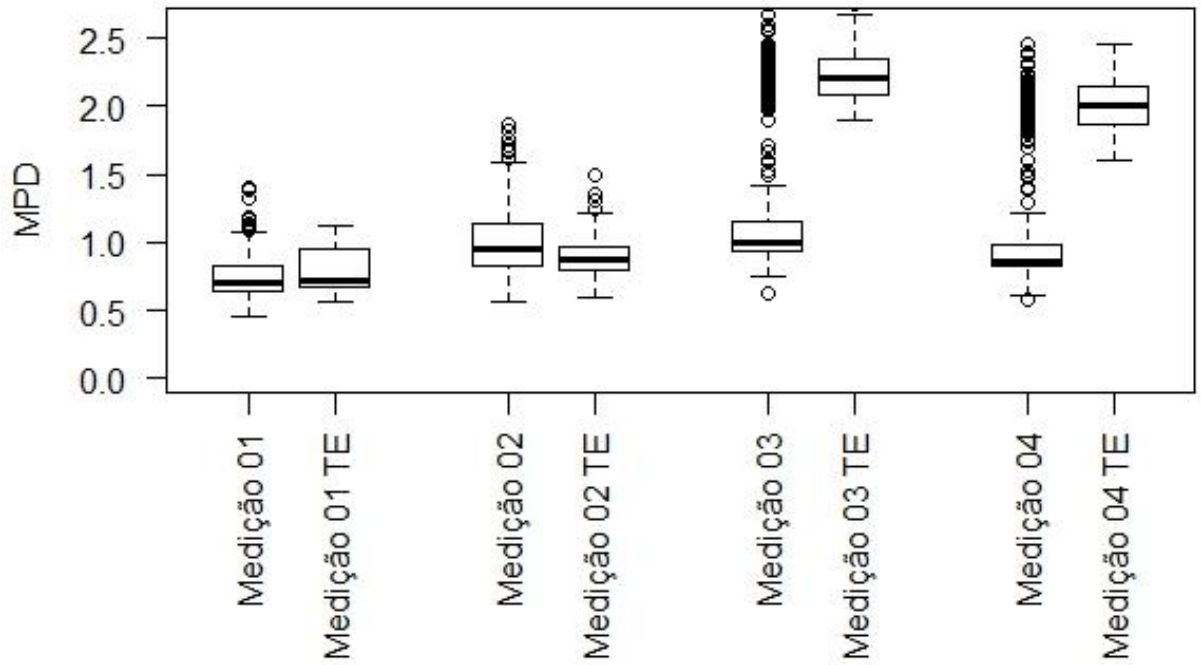


Figura 46: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 01 Sul.

Observando-se na Figura 46 as medianas dos valores de MPD entre a medição 01 e 03 nota-se novamente uma elevação considerável na mediana. Estimando-se o valor de mancha de areia após a intervenção obtém-se um valor médio de 2,0 mm com um pequeno decréscimo na medição 04. Na Figura 47, são apresentadas as medições da faixa 3 do trecho experimental 01, pista Sul.

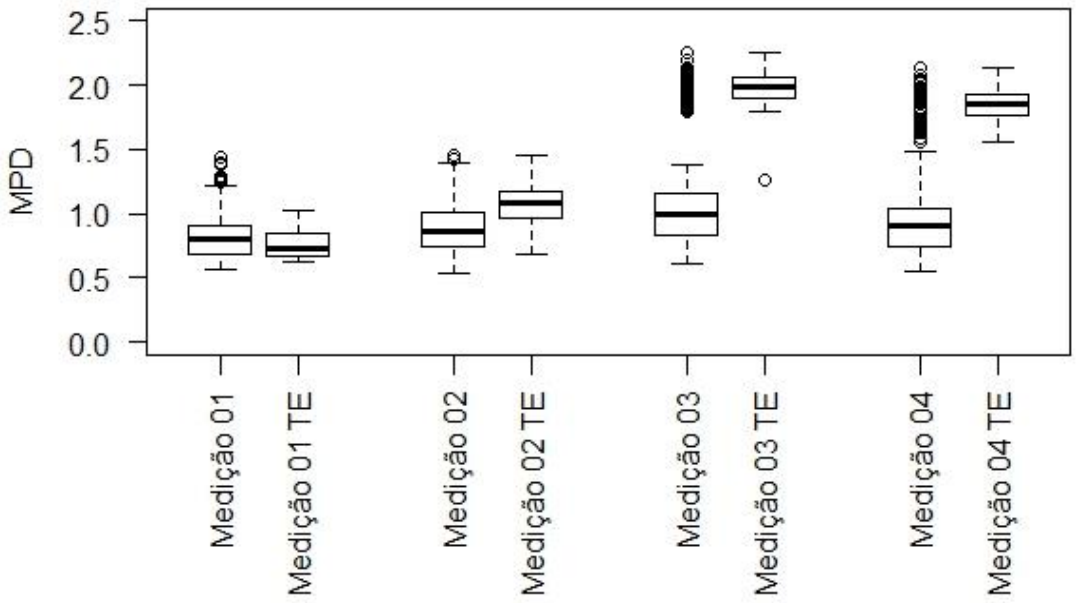


Figura 47: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 03 do trecho experimental 01 Sul.

Observando-se a mediana dos valores de MPD entre a medição 01 e 03 nota-se a mesma elevação na mediana seguida de um pequeno decréscimo. Estimando-se o valor de mancha de areia após a intervenção obtém-se um valor médio de 1,8 mm, conforme Figura 47.

Na Figura 48 apresentam-se as medições para a faixa 1 dos quilômetros próximos ao trecho experimental 02, km 560,000 e km 563,300, e situados no próprio trecho.

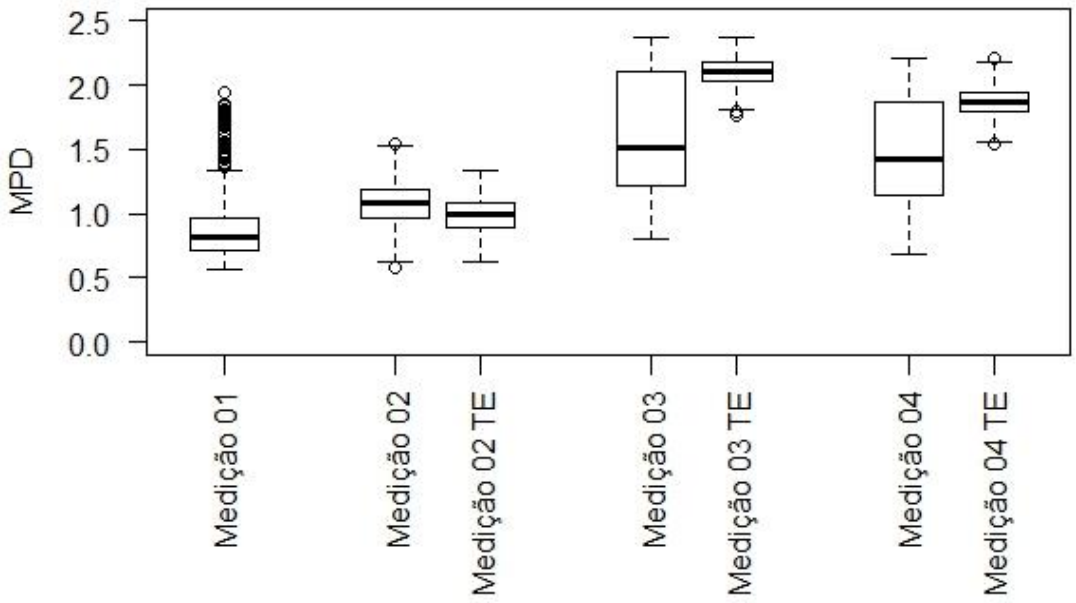


Figura 48: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 01 do trecho experimental 02 Sul.

Observando-se a mediana dos valores de MPD, apresentados na Figura 48, entre a medição 02 e 03 nota-se uma elevação nos valores, como tem sido apresentado em todas as comparações, seguida de um pequeno decréscimo. Estimando-se o valor de mancha de areia após a intervenção obtém-se um valor médio de 1,8 mm. Por fim, na Figura 49 apresenta-se as medições realizadas na faixa 2 do trecho experimental 02 da pista Sul.

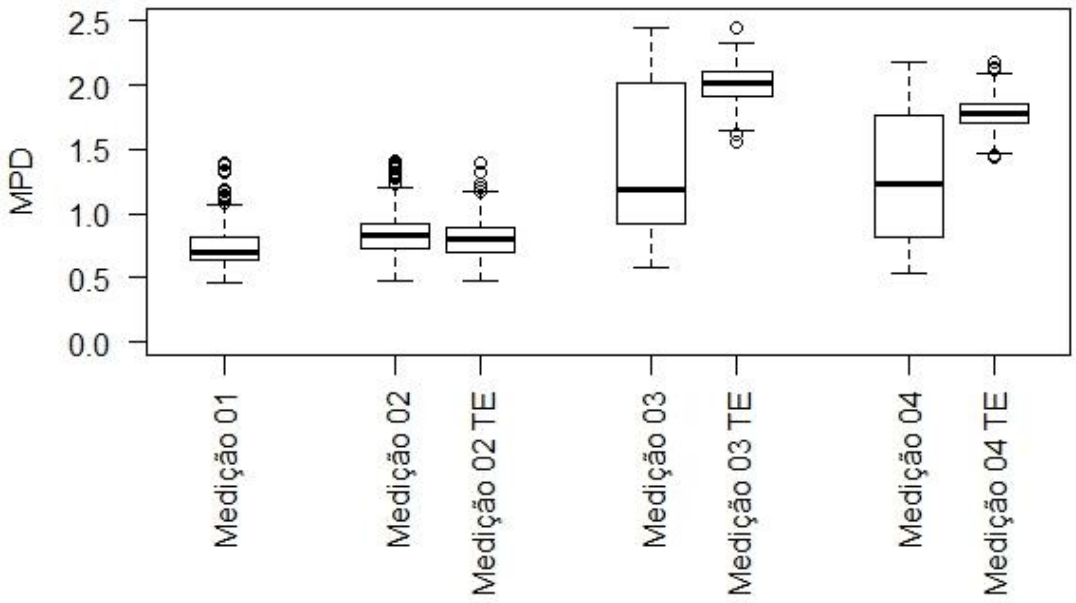


Figura 49: Comparação entre medições 01, 02, 03 e 04 da faixa 02 do trecho experimental 02 Sul.

Comparando-se as medianas dos valores de MPD das medições 02 e 03 nota-se uma elevação. Estimando-se o valor de mancha de areia após a intervenção obtém-se o mesmo valor médio de 1,8 mm, comprovando a eficácia da intervenção.

Além do valor médio de 1,8 mm ou superior de mancha de areia apresentado na maioria das medições, a melhoria da textura fica evidente quando se compara os trechos experimentais com os quilômetros adjacentes. Em todas as medições fica evidente a melhoria da macrotextura pelos valores apresentados. Entretanto, o valor de mancha de areia já apresenta um pequeno decréscimo que precisa ser acompanhado.

6.3.2.3. International Friction Index

Durante a execução do projeto optou-se pela utilização do International Friction Index como índice de comparação entre medições. Essa ideia decorre do fato de que tanto as medições de textura de uma superfície de pavimento quanto de atrito podem ser realizadas por diversos equipamentos. A fim de que seja possível comparar os resultados obtidos por

diferentes métodos foi elaborado em 1995 o International Friction Index (IFI), proposto pelo Permanent International Association of Road Congress (PIARC) (APS, 2006).

Esse índice foi desenvolvido a partir de estudos realizados em trechos rodoviários na Europa, resultando em equações capazes de harmonizar os resultados obtidos por vários equipamentos (WAMBOLD *et al*., 1995). Atualmente o procedimento para estimativa do IFI também é encontrado na ASTM E1960, que descreve o procedimento para o cálculo do valor de harmonização das medidas de textura, utilizando de parâmetros como o Sp, e também para os valores de atrito, usando a equação do F_{60}. Por fim, ambos os valores são incorporados na fórmula do FR_{60}, de onde é obtido o valor de IFI.

Sendo assim, com a finalidade de transformar os valores de atrito e textura medidos nos trechos experimentais do presente projeto em resultados harmonizados e passíveis de comparação, foram realizados os cálculos dos valores de IFI, os quais serão apresentados a seguir. Esperava-se assim, possibilitar uma efetiva comprovação da melhoria de atrito desses trechos através da análise crítica e comparação com estudos presentes na literatura sobre o assunto.

Entretanto, Fuentes *et al*. (2012) sugere que esse índice não possui bons resultados para valores de macrotextura iguais ou acima de 1,5 mm, como é o caso da solução empregada nos trechos experimentais sentido sul. Por conta disso, só serão apresentados os resultados de IFI para os trechos experimentais sentido norte.

Resultado de IFI

Na Figura 50 apresentam-se as harmonizações dos ensaios de MPD e *grip number* realizadas por meio do IFI e das Equações 4 a 6 para o Trecho Experimental 1 Norte, faixa 1.

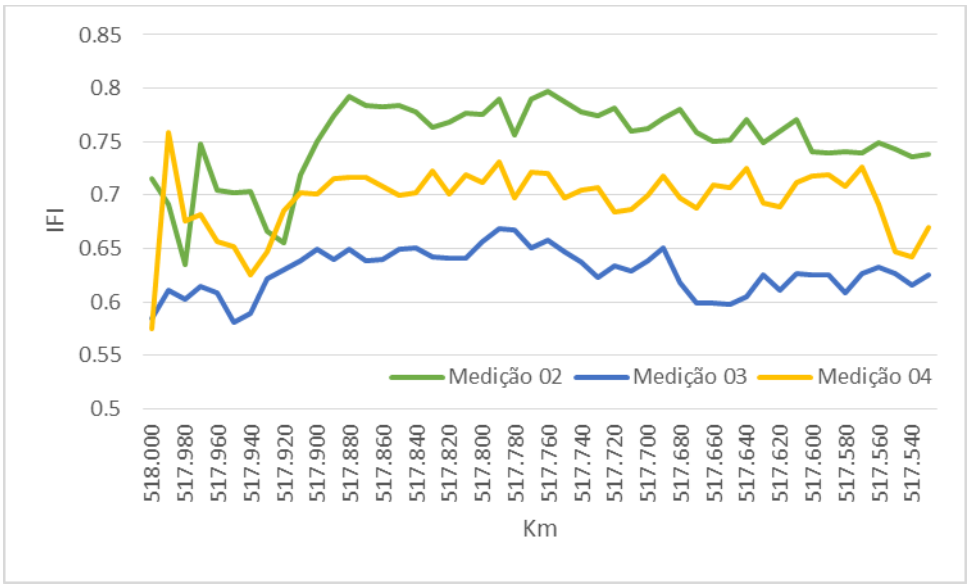


Figura 50: IFI para o Trecho Experimental 1 Norte - faixa 1

Na Figura 51 apresenta-se o IFI calculado para a faixa 2 do Trecho Experimental 1 Norte.

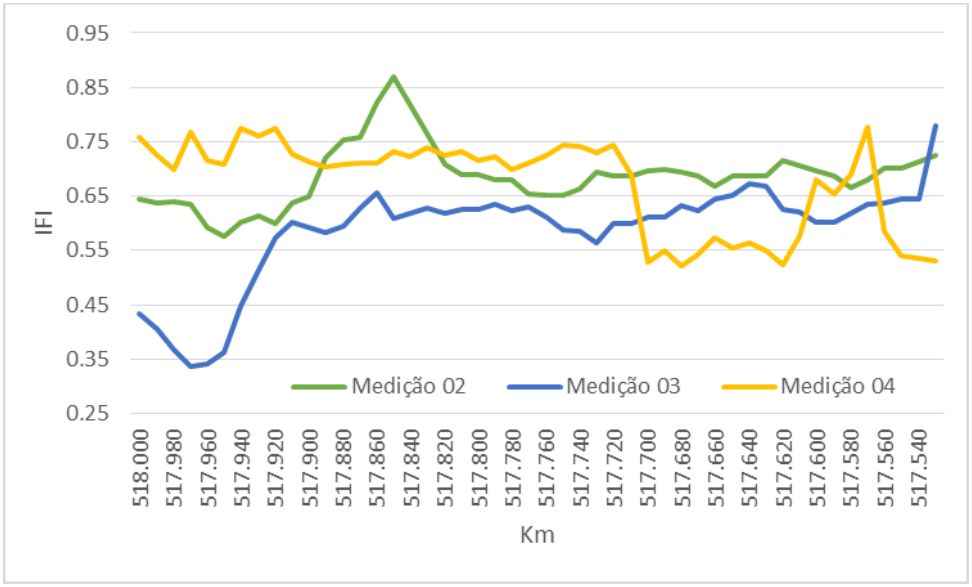


Figura 51: IFI para o Trecho Experimental 1 Norte - faixa 2

O IFI calculado para o Trecho Experimental 2 Norte, faixa 1, é apresentado na Figura 52.

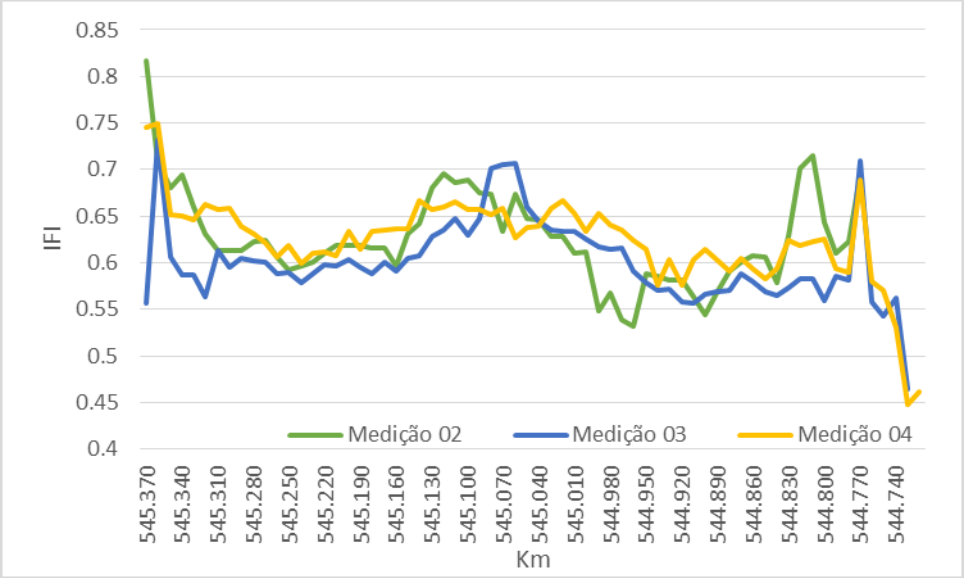


Figura 52: IFI para o Trecho Experimental 2 Norte - faixa 1

Por fim, os valores de IFI para a faixa 2 do Trecho Experimental 2 Norte são expostos na Figura 53.

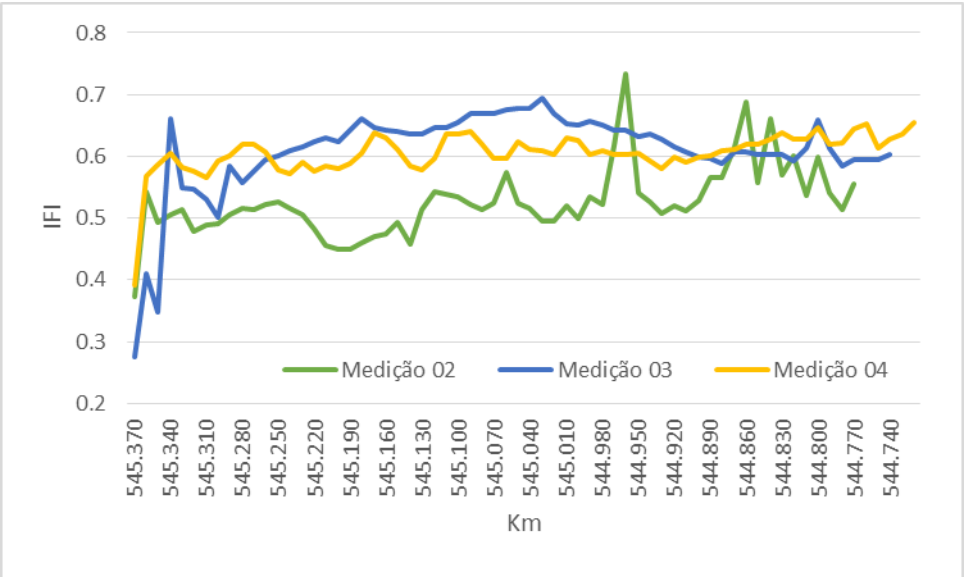


Figura 53: IFI para o Trecho Experimental 2 Norte - faixa 2

Observa-se que, excetuando-se a medição 04 apresentada na Figura 51, os valores de IFI apresentam uma mesma tendência em todas as medições. Entretanto, as séries não são inteiramente coincidentes por conta de pontos discrepantes. Além disso, os maiores valores

de IFI nem sempre estão correlacionados com a medição 02 como esperado, dado que ela se deu logo após a intervenção para melhoria da textura. Entretanto, nenhuma das medições obteve valores inferiores a 0,15, limite estabelecido pelo DNIT.

A forma de coleta dos dados, sem considerar o período do dia, temperatura, além de outras variáveis ambientais, podem ser fatores que originaram as diferenças entre medições. Outra consideração a ser feita se dá quanto ao deslocamento dos equipamentos na via. Pela velocidade de deslocamento tanto do perfilômetro laser quanto do Grip Tester não é possível garantir que sejam aferidos os mesmos locais exatos em todas as campanhas de medição.

Por fim, quanto a medição 04 apresentada na Figura 51, acredita-se que seja a menos correlacionada às demais pelas alterações feitas nessa faixa do trecho experimental. Houve a necessidade de se refazer alguns pontos dessa seção de pavimento por conta de defeitos apresentados, ocasionando alterações nas medições.

6.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

6.4.1. Análise Temporal de Acidentes – Antes da Intervenção – Pistas Norte e Sul

6.4.1.1. Histogramas de Frequências de Acidentes – Diagnóstico Preliminar

Os estudos deste projeto contam com a elaboração dos histogramas de frequência dos acidentes ocorridos na rodovia.

Os histogramas foram separados por trecho de rodovia (CW, PR e SP) e sentido (norte e sul), como apresentados nas Figura 54 a Figura 59.

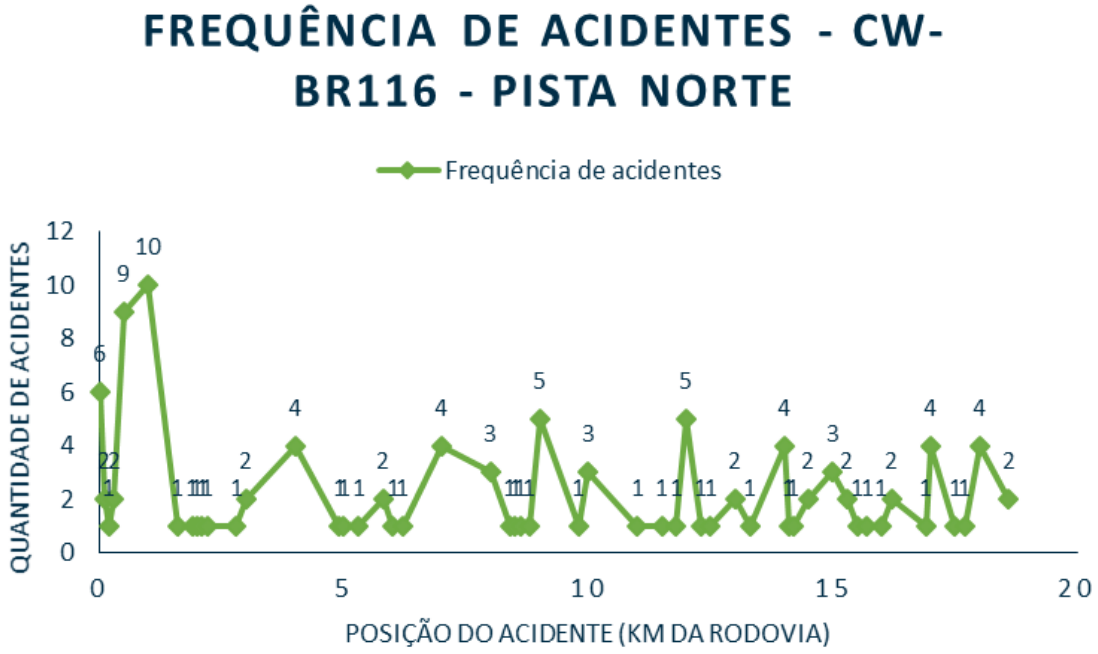


Figura 54: Acidentes ocorridos no trecho CW-BR116 – Pista Norte de agosto/2008 a novembro/2014

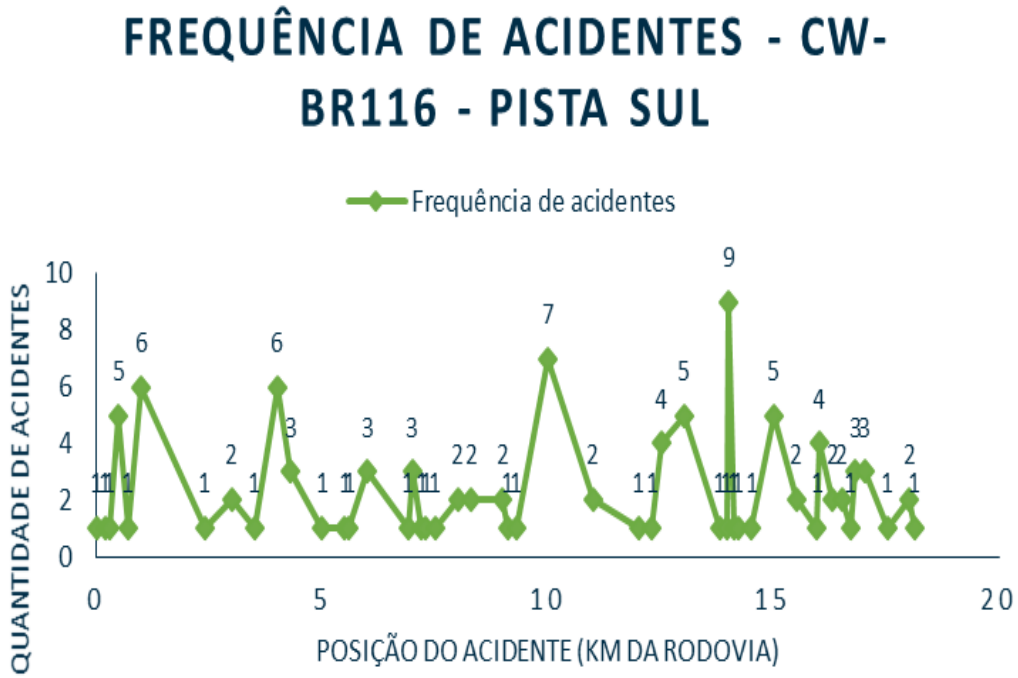


Figura 55: Acidentes ocorridos no trecho CW-BR116 – Pista Sul de agosto/2008 a novembro/2014

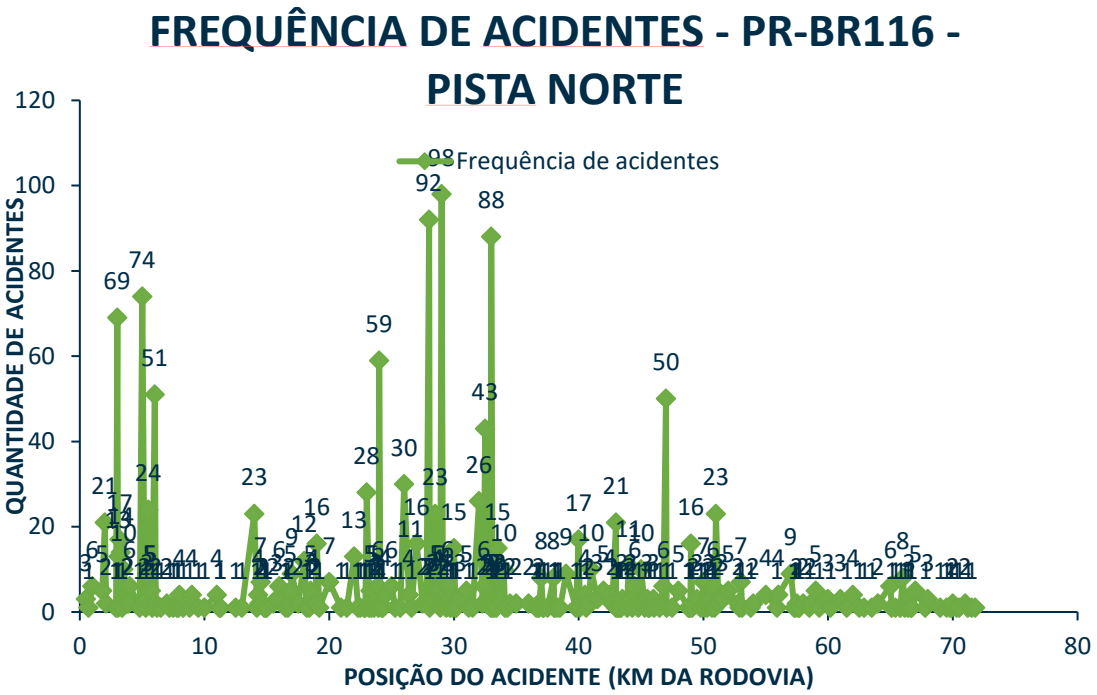


Figura 56: Acidentes ocorridos no trecho PR-BR116 – Pista Norte de agosto/2008 a novembro/2014

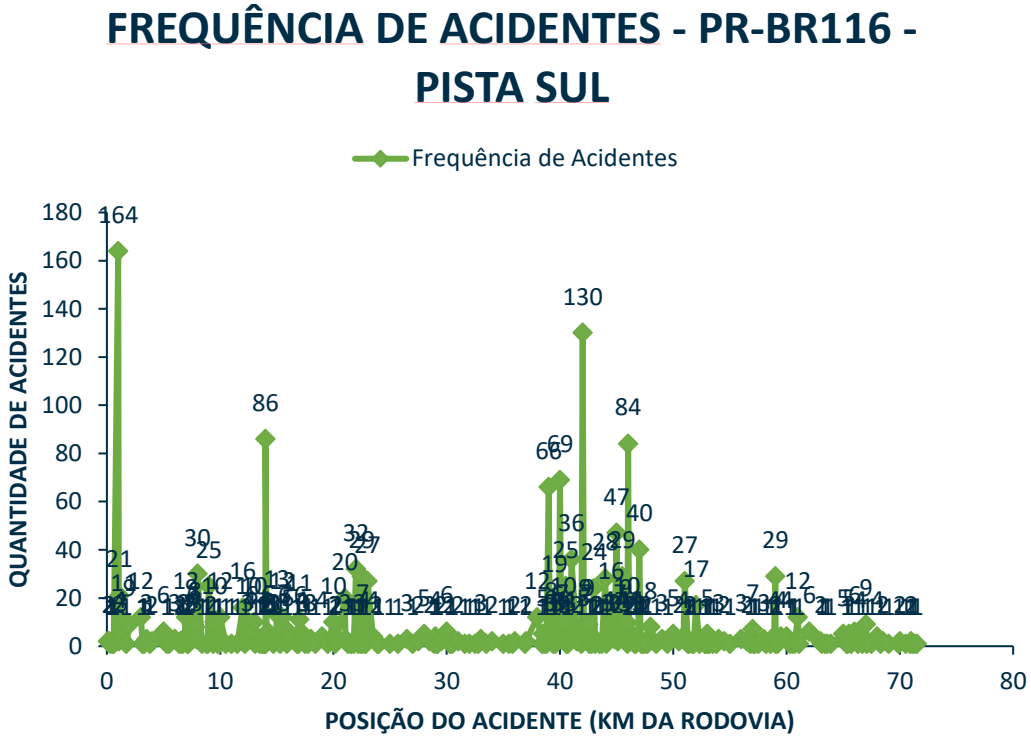


Figura 57: Acidentes ocorridos no trecho PR-BR116 – Pista Sul de agosto/2008 a novembro/2014

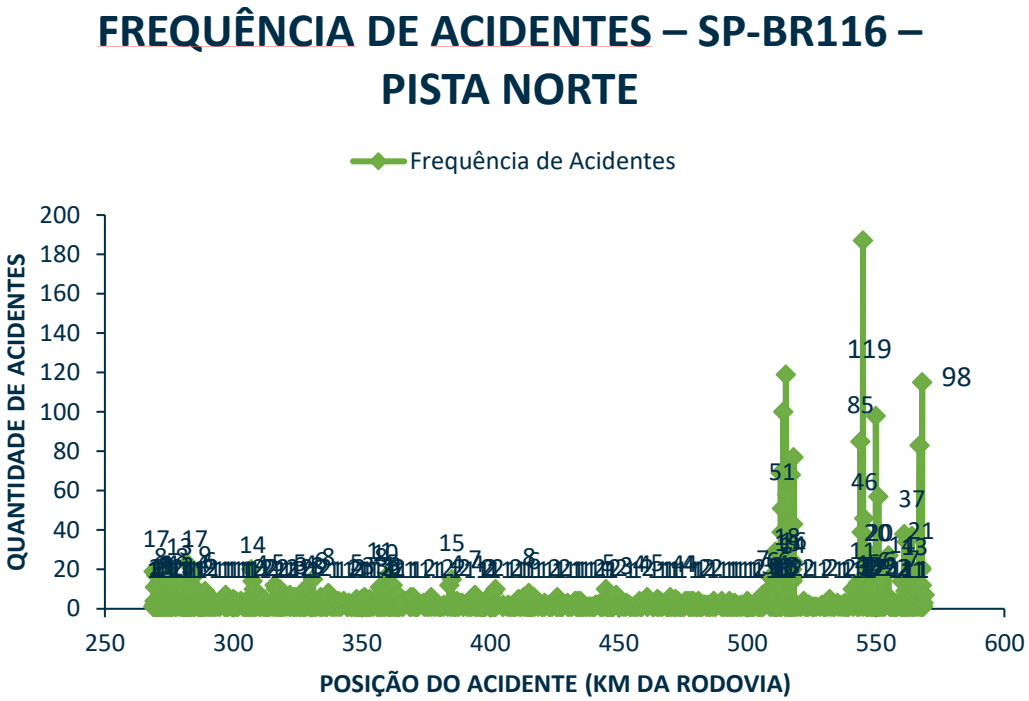


Figura 58: Acidentes ocorridos no trecho SP-BR116 – Pista Norte de agosto/2008 a novembro/2014

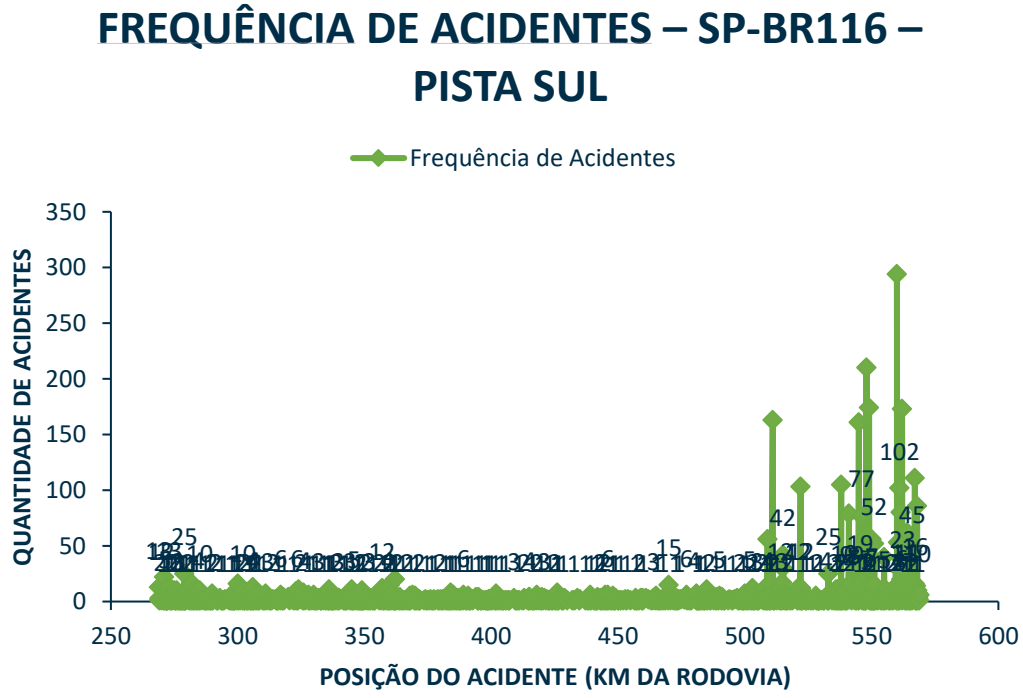


Figura 59: Acidentes ocorridos no trecho SP-BR116 – Pista Sul de agosto/2008 a novembro/2014

Os histogramas indicaram onde estão localizados os segmentos mais críticos para a segurança viária da rodovia. Encontrou-se 3 potenciais locais para se aprofundar as investigações: (i) o início da via na Região Metropolitana de São Paulo, trecho eminentemente urbano devido a conurbação da cidade de São Paulo com o município de Taboão da Serra cuja composição do tráfego é totalmente diferente do restante da rodovia, com muitos veículos particulares, especialmente motocicletas e intenso tráfego de pedestres; (ii) região da Serra do Cafezal, que durante a execução deste projeto estava passando por obras de duplicação, que foram finalizadas e liberadas ao tráfego em dezembro de 2017; (iii) região da Barra do Turvo, mais especificamente na Serra do Azeite.

Após os primeiros diagnósticos realizaram-se análises espaciais em SIG e estudos estatísticos mais aprofundados para definição de quais os quilômetros mais problemáticos para atuação direta no pavimento, como descrito a seguir.

6.4.1.2. Análises Espaciais

Os histogramas apresentados já começaram a delinear a metodologia e os procedimentos adotados para a identificação e seleção dos trechos mais críticos da via no que se refere à segurança viária.

Além desse diagnóstico inicial foram realizadas análises espaciais em ambiente SIG para apoiar a seleção dos segmentos que seriam os candidatos a trechos experimentais, que receberiam a solução de pavimento, tendo como alvo os acidentes ocorridos com pista molhada, e; portanto, onde deveria ser melhorada a aderência pneu-pavimento.

A primeira providência para iniciar a abordagem espacial foi a geocodificação dos marcos quilométricos e dos acidentes na área de estudo. Utilizou-se o perfil da rodovia em formato vetorial (Figura 60). Para cada trecho (linha) do arquivo foram definidos os quilômetros inicial e final. Dessa forma, o resultado foi uma sequência de trechos consecutivos, onde o quilômetro inicial de um trecho coincide com o quilômetro final do trecho imediatamente anterior. Para a geocodificação, os marcos quilométricos e os acidentes foram interpolados espacialmente, usando como referência as quilometragens iniciais e finais de cada trecho de via. A Figura 61 ilustra a etapa da geocodificação dos marcos quilométricos, a Figura 62 a

geocodificação dos acidentes. A Figura 63 mostra com detalhes a geocodificação dos acidentes e a Figura 64 o detalhe da geocodificação dos marcos quilométricos.

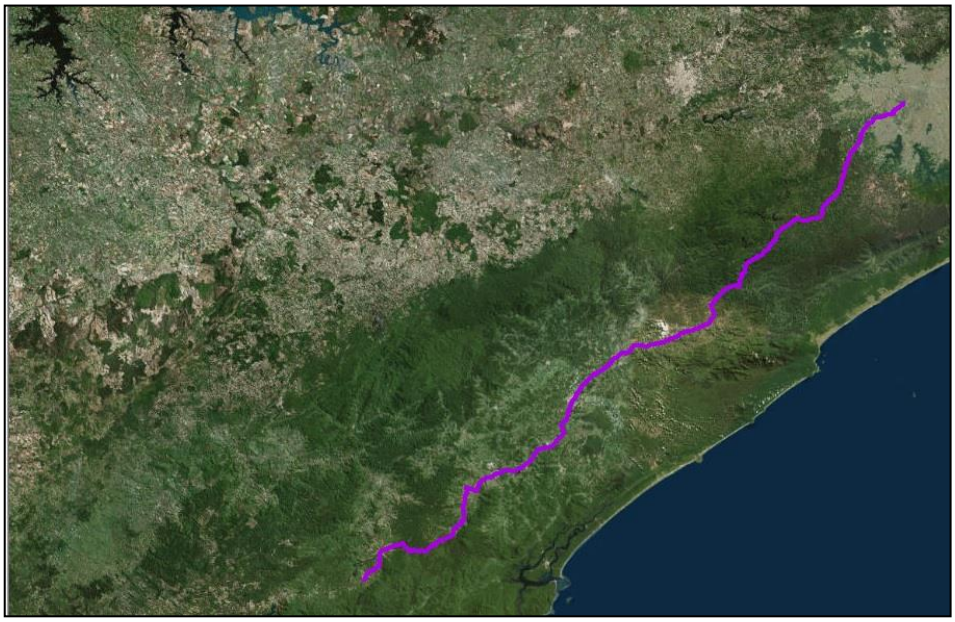


Figura 60: Perfil longitudinal da rodovia
Fonte: DNIT

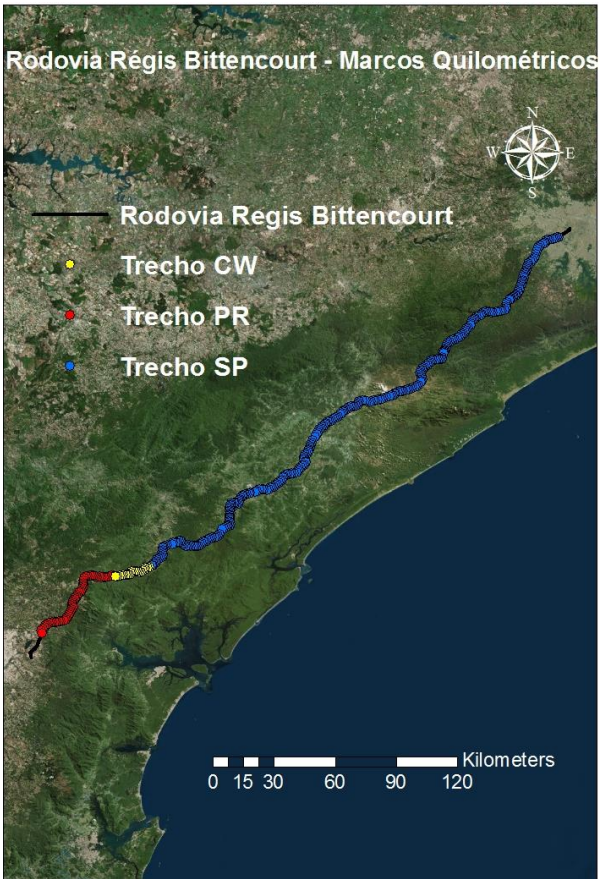


Figura 61: Geocodificação dos marcos quilométricos da Rodovia Régis Bittencourt

Figura 62: Geocodificação dos acidentes ocorridos na rodovia de agosto/2008 a novembro/2014

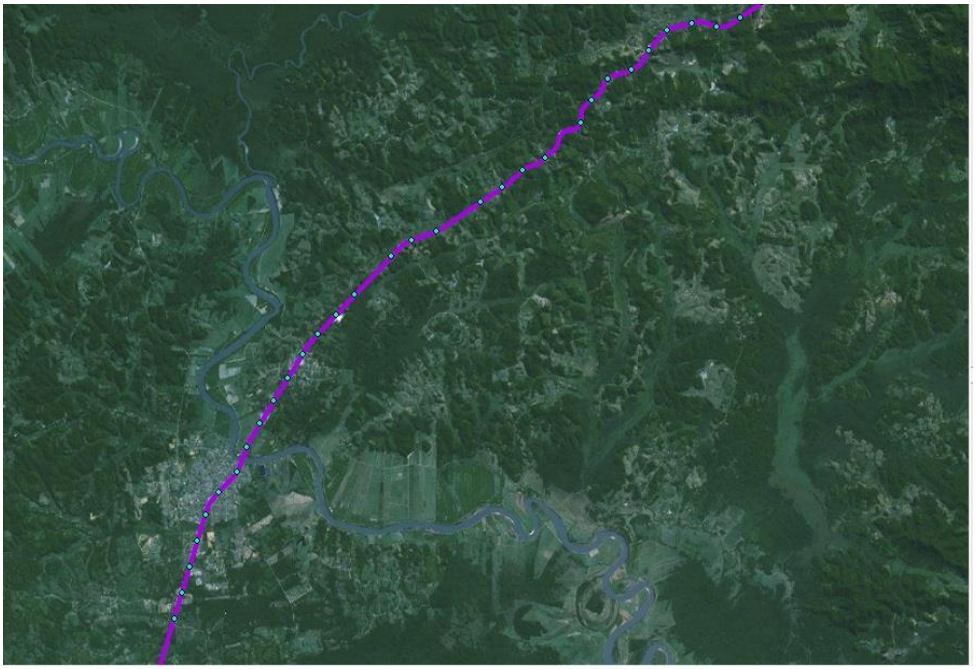


Figura 63: Detalhe da geocodificação dos acidentes em um trecho da rodovia

Figura 64: Detalhe da geocodificação dos marcos quilométricos da Rodovia Régis Bittencourt - Trecho SP.

Com os pontos georreferenciados, os atributos que compõem a base de dados do projeto foram adicionados às camadas de informações no ambiente SIG. O banco de dados espacial é composto das seguintes informações:

- Localização do acidente (quilômetro e sentido – norte ou sul);
- Data (dia, mês e ano), dia da semana e horário do acidente;
- Tipo de ocorrência (fatal, com vítima ou com dano material);
- Tipo de acidente (colisão, choque, tombamento lateral, capotamento, atropelamento, etc.);
- Causa Provável (excesso de velocidade, perda de controle do veículo/imperícia, derrapagem, chuva, etc.);
- Local da via onde ocorreu o acidente (faixa de rolamento, acostamento, canteiro central, etc.);
- Identificação dos veículos envolvidos;
- Número de veículos envolvidos;
- Número de vítimas (leves, moderadas, graves ou fatais), e de ilesos;
- Condição de visibilidade no momento do acidente (boa, regular ou ruim);
- Existência ou não de uma condição especial na pista (buraco, lama, poça d'água, óleo, areia, etc.);

- Condições meteorológicas no momento do acidente (normais, nublado, neblina, nevoeiro, garoa, chuva, etc.);
- Condição da pista (seca ou molhada);
- Traçado da pista (tangente, curva suave ou curva acentuada);
- Perfil da pista (em nível, aclive ou declive).

Para a condução desta fase dos estudos, os registros de acidentes passaram por uma verificação prévia para consolidação da base de dados que seria efetivamente utilizada, subtraindo-se os registros que apresentavam inconsistências ou ausência de alguma informação relevante para as análises espaciais. Desta forma, considerou-se 6231 acidentes na Rodovia Régis Bittencourt em seu sentido norte e 7626 acidentes no sentido sul, ocorridos entre 2008 e 2013. A partir de então, foram realizadas as análises de densidade (Kernel planar), e seus resultados são apresentados a seguir. A Figura 65 mostra o resultado do EKD para a pista norte e a Figura 66 evidencia os quilômetros críticos.

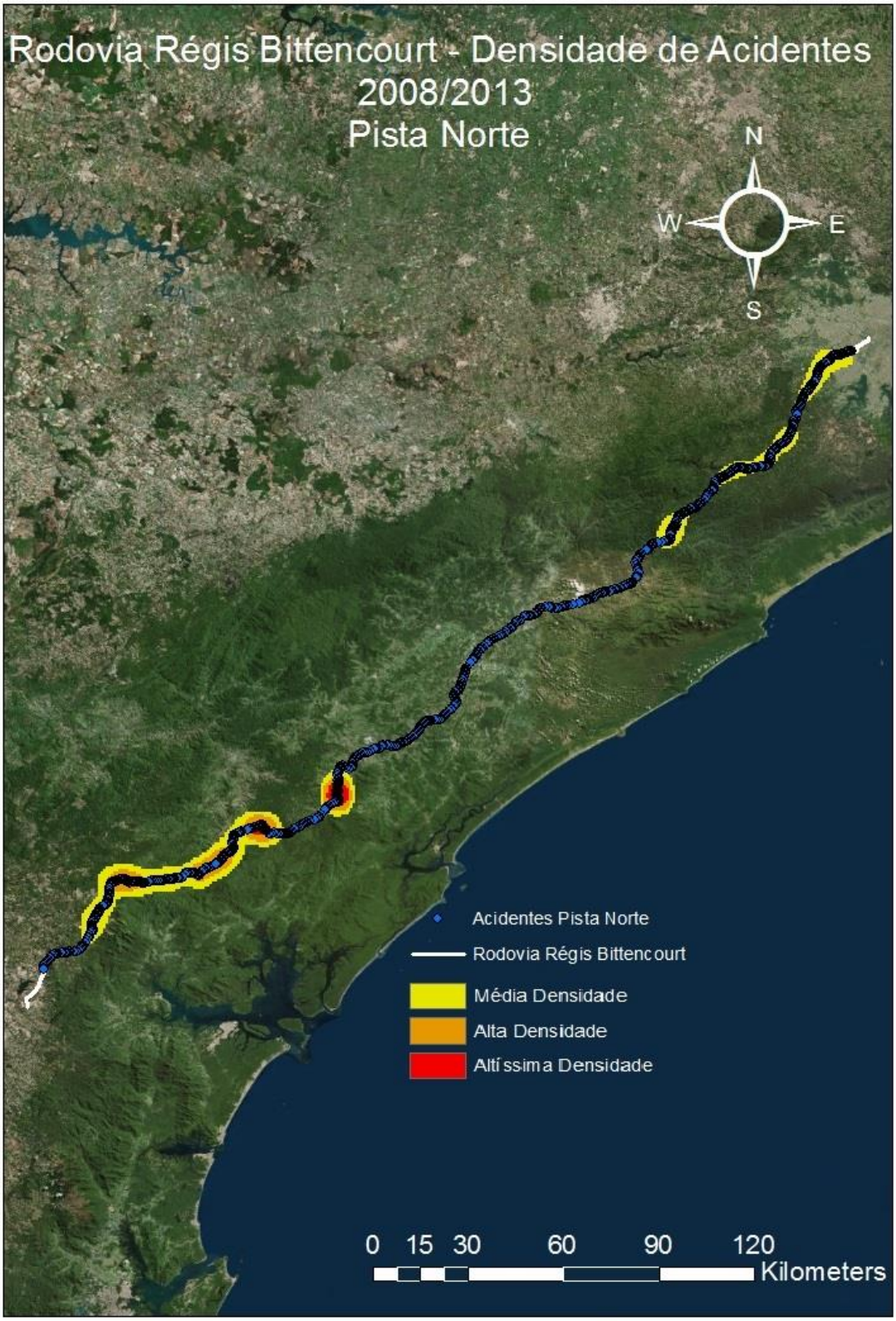


Figura 65: Densidade Kernel planar para acidentes totais - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Norte.

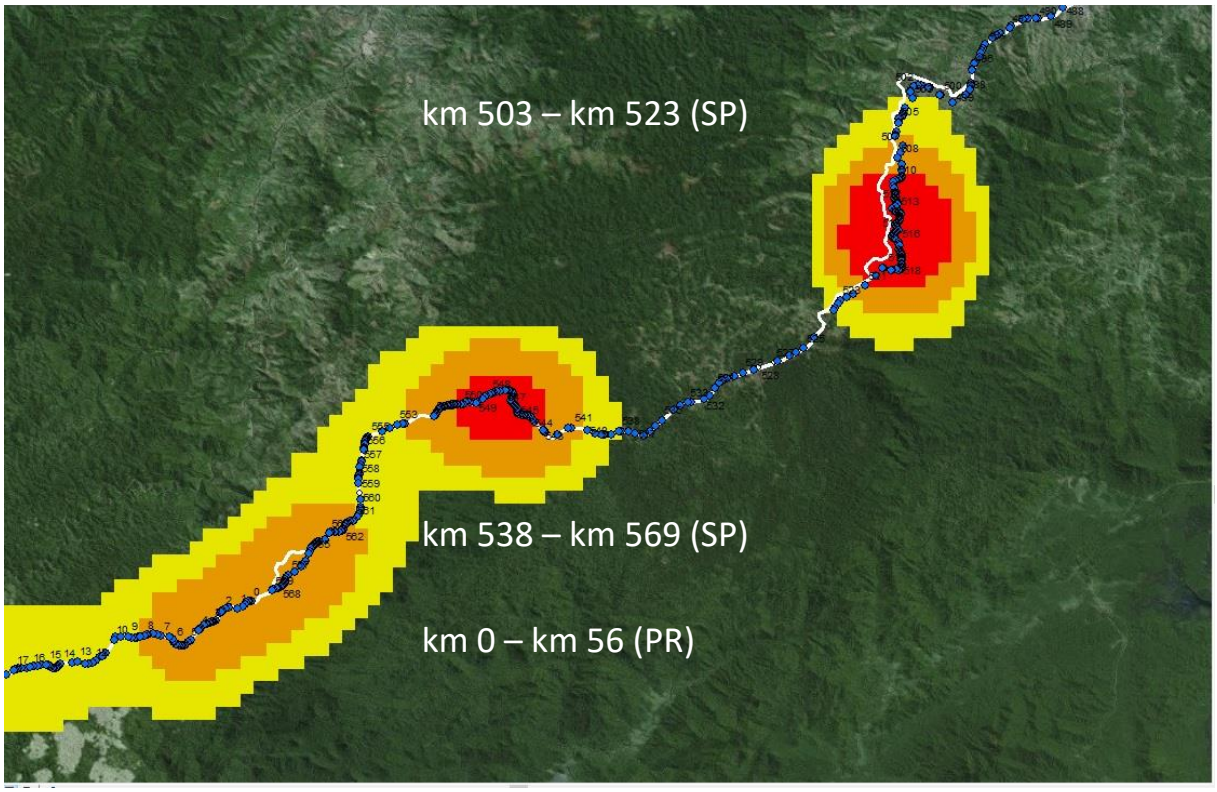


Figura 66: Quilômetros críticos – Acidentes Totais - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Norte.

Dentre o número de acidentes considerados nas análises, na pista norte, 4059 ocorreram em condição de pista molhada (Figura 67 e Figura 68), 250 acidentes com causa provável derrapagem e 627 acidentes por tombamento lateral (que pode ser um indicativo de problemas de aderência pneu-pavimento).

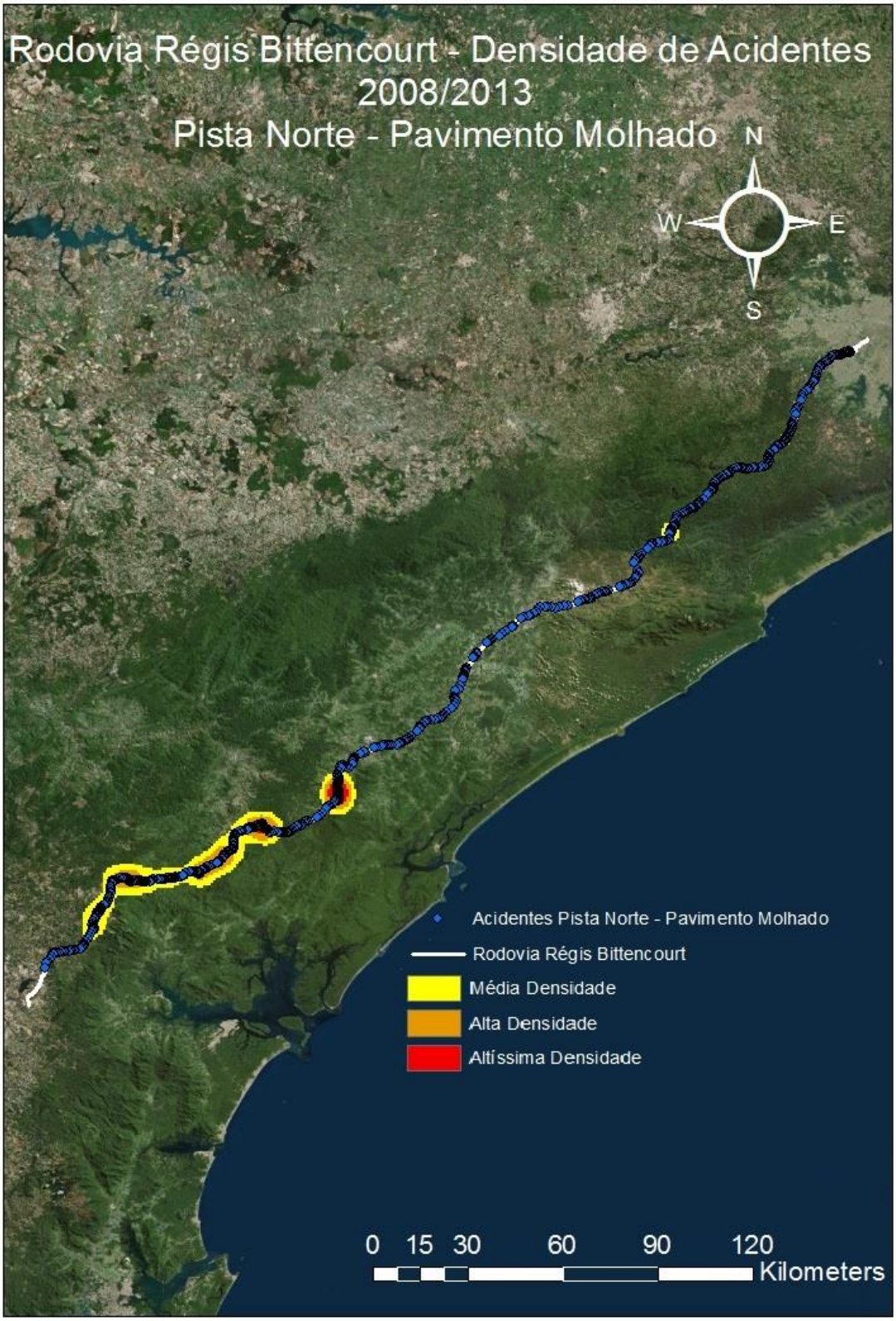


Figura 67: Densidade Kernel para acidentes com pavimento molhado - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Norte.

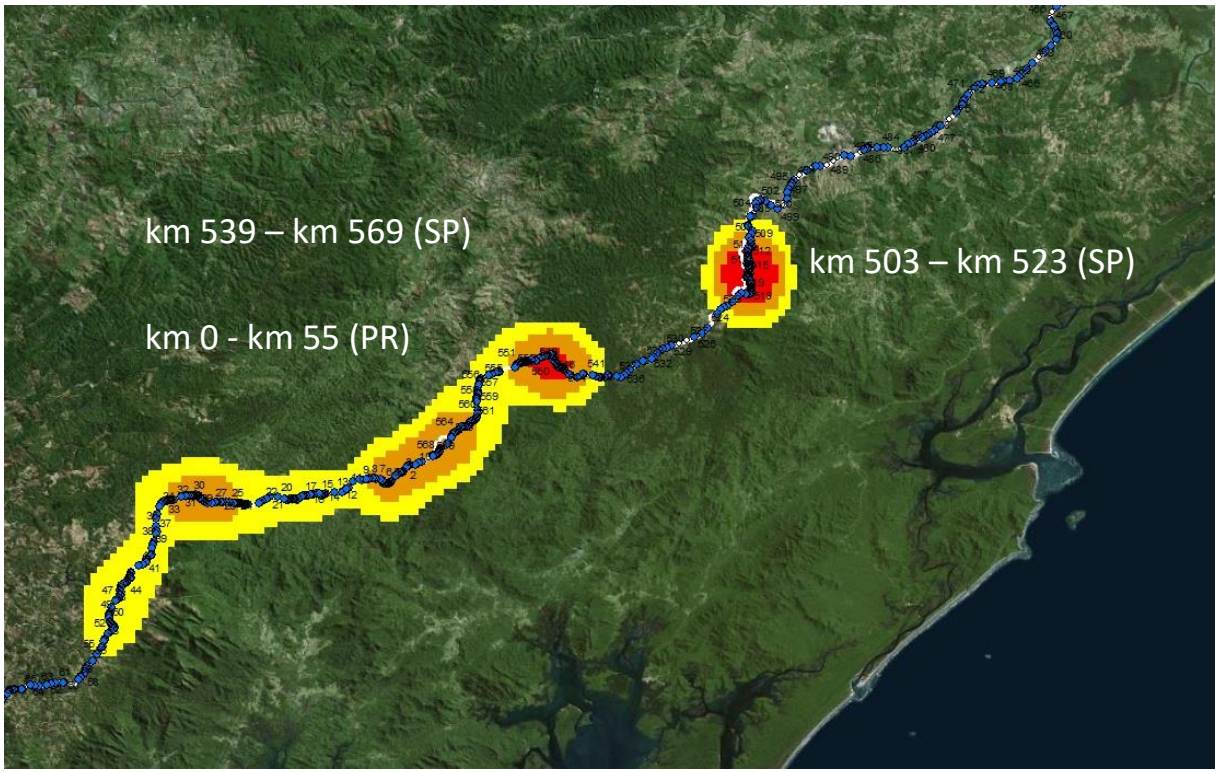


Figura 68: Quilômetros críticos – Acidentes com Pista Molhada - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Norte.

Na pista Sul da rodovia foram considerados 7626 acidentes durante o período de análise compreendido entre os anos de 2008-2013, a Figura 69 mostra o resultado do EKD e a Figura 70 evidencia os quilômetros críticos para a mesma situação.

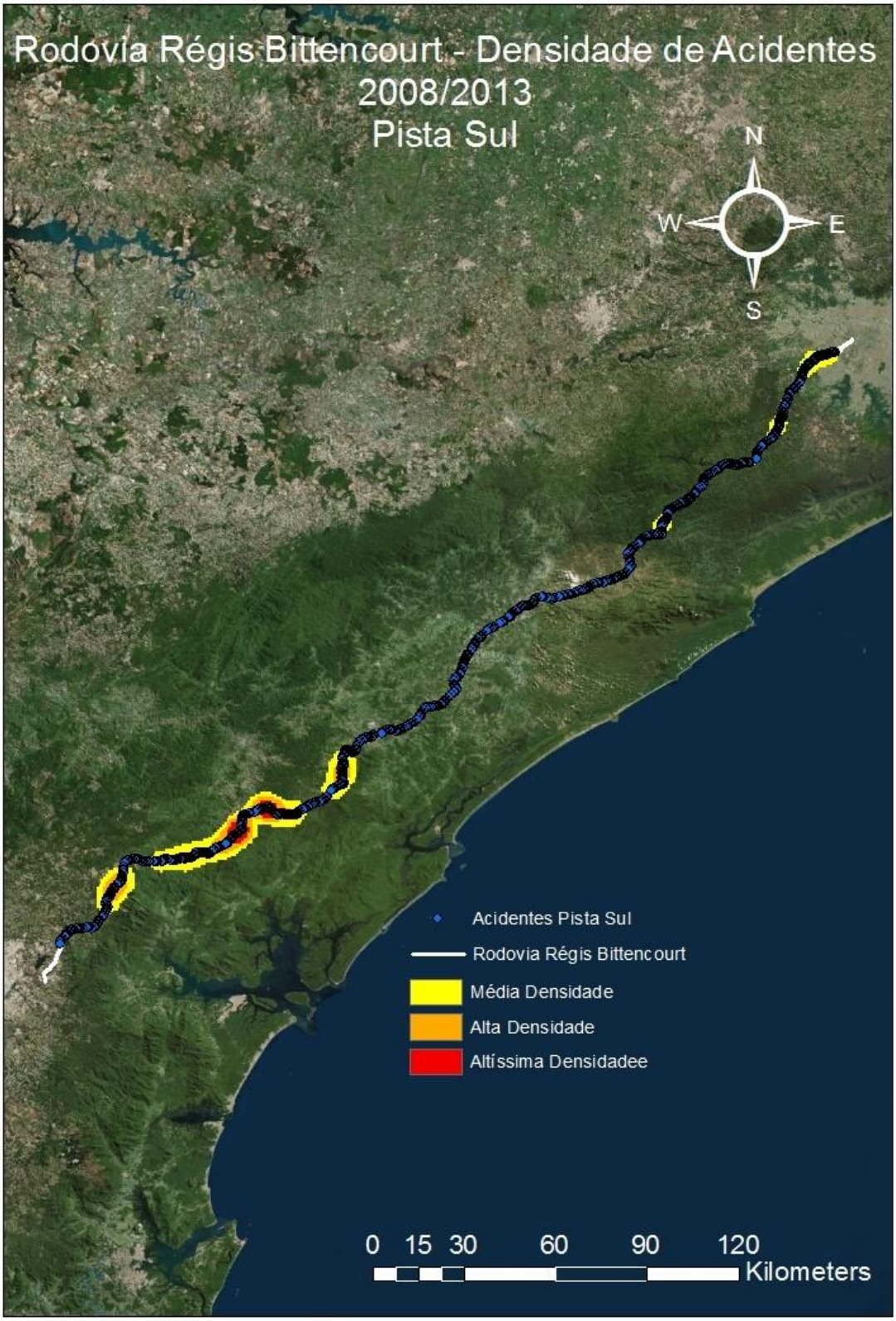


Figura 69: Densidade Kernel para acidentes totais - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Sul.

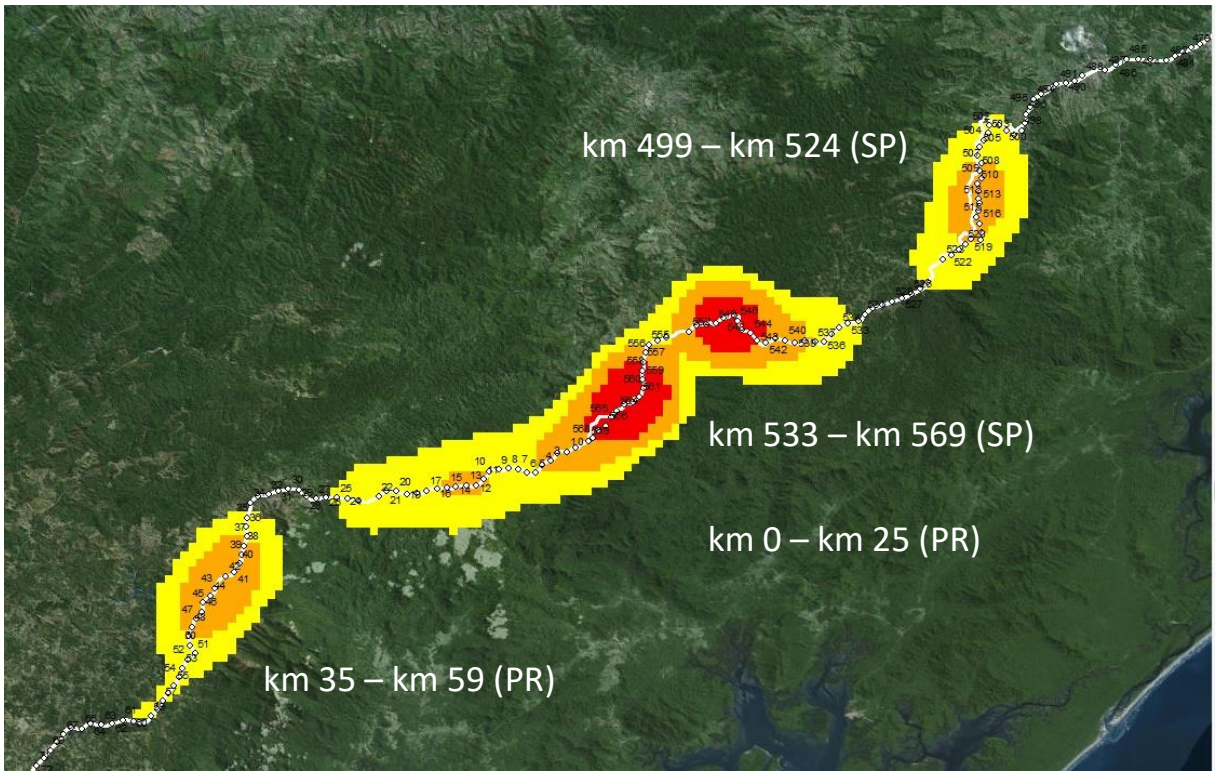


Figura 70: Quilômetros críticos – Acidentes Totais - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Sul.

Dentre o número de acidentes considerados nas análises da pista sul, 5513 ocorreram em condição de pista molhada (Figura 71), 290 acidentes com causa provável derrapagem, e 363 acidentes por tombamento lateral (que pode ser um indicativo de problemas de aderência pneu-pavimento).

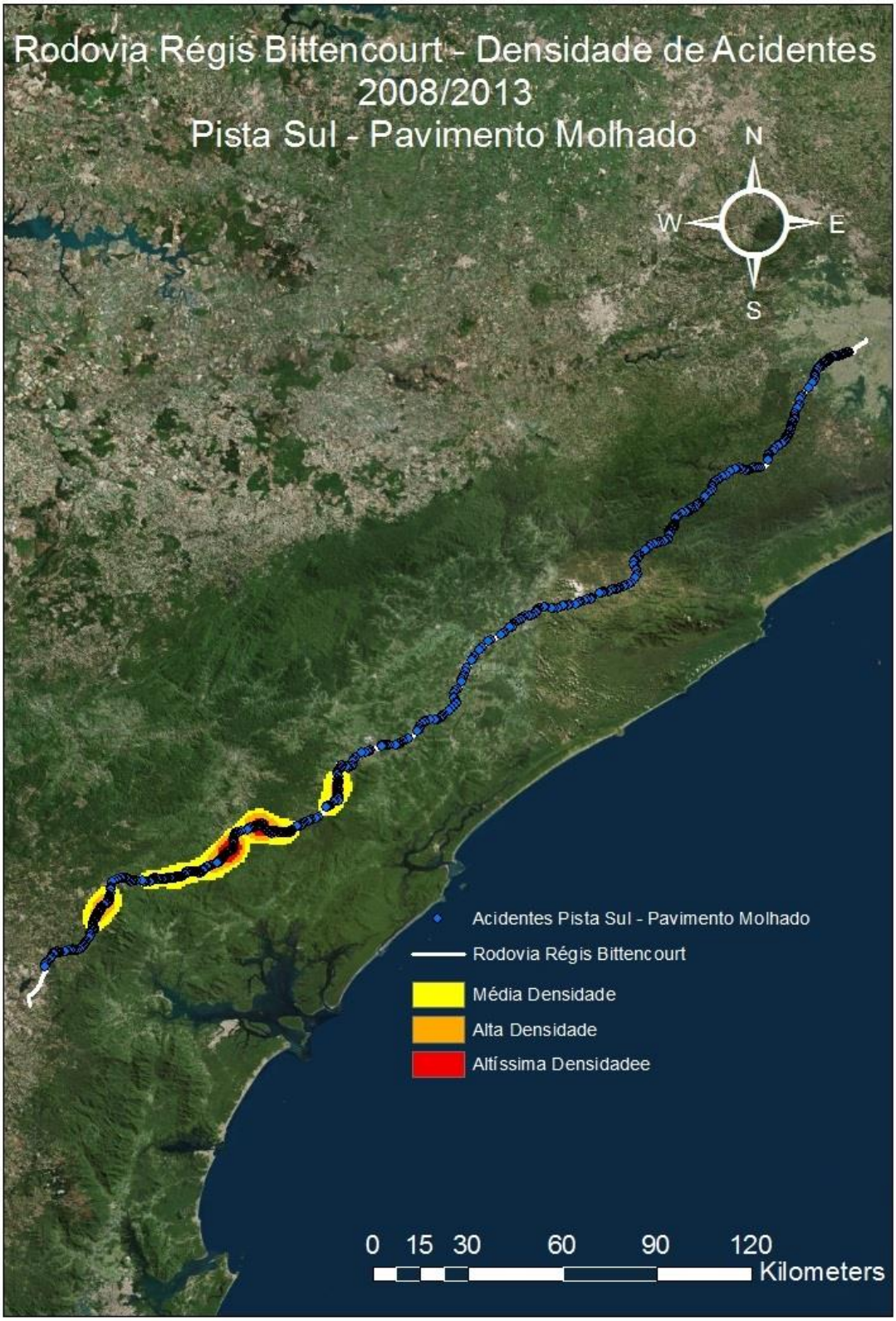


Figura 71: Densidade Kernel para acidentes com pista molhada - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Sul.

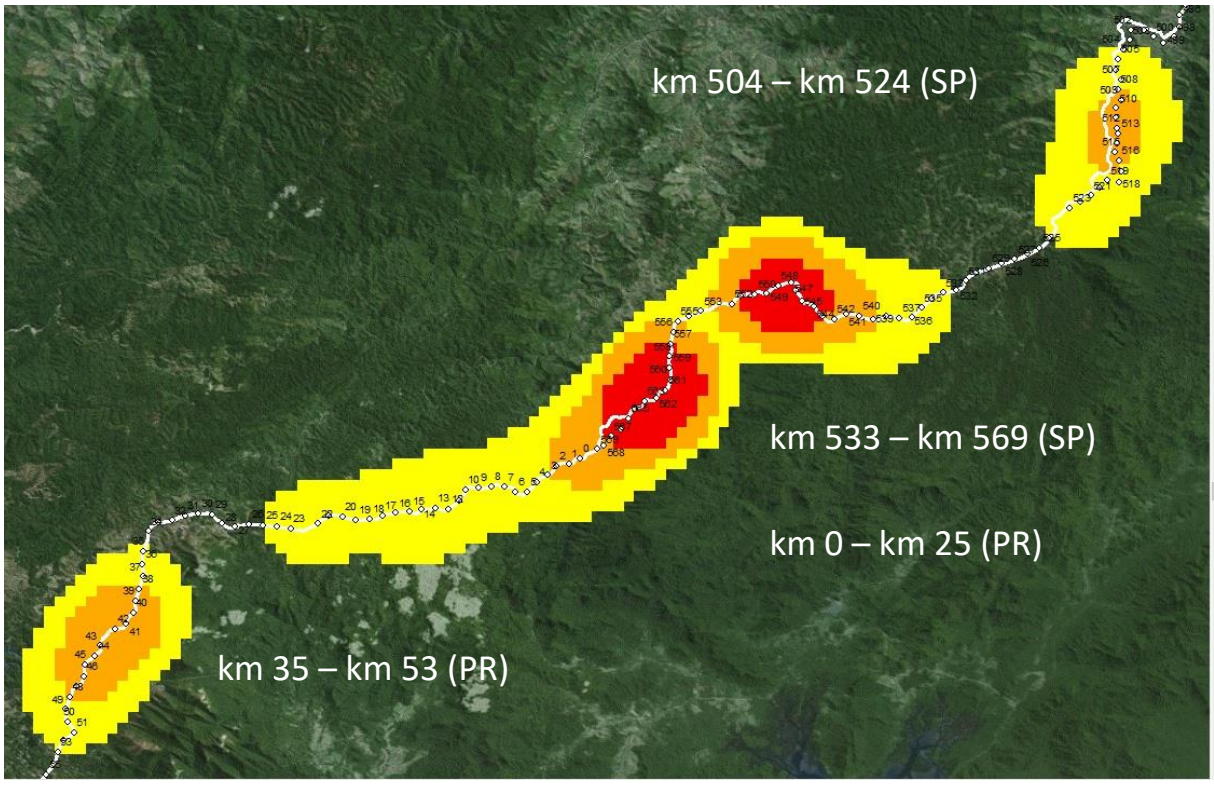


Figura 72: Quilômetros críticos – Acidentes com Pista Molhada - Rodovia Régis Bittencourt - Pista Sul.

A sequência das análises foi o cálculo da densidade de acidentes através da ferramenta SANET, ou seja, o estimador de densidade Kernel em rede, conforme amplamente detalhado no item 6.1.2 e seus subitens. Essa segunda análise de densidade foi feita para refinar o resultado inicial obtido, para que fosse possível indicar com maior precisão os quilômetros mais críticos quanto à ocorrência de acidentes. Para o cálculo do Kernel em rede utilizou-se um inventário de registros de acidentes na pista norte da rodovia entre agosto de 2008 e outubro de 2015.

A partir dos dados referentes à restituição das imagens adquiridas de vôo realizado em 2008 sobre a rodovia, iniciou-se a aplicação da ferramenta SANET, para análise de densidade Kernel em rede. Foram disponibilizados pela ARTERIS para o projeto de pesquisa imagens no formato “tiff” (“Tagged Image File Format”) e arquivos em formato “dwg” (“Drawing”) extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do software AutoCAD – AutoDesk. A Figura 73 ilustra exemplos dos dados acima descritos.

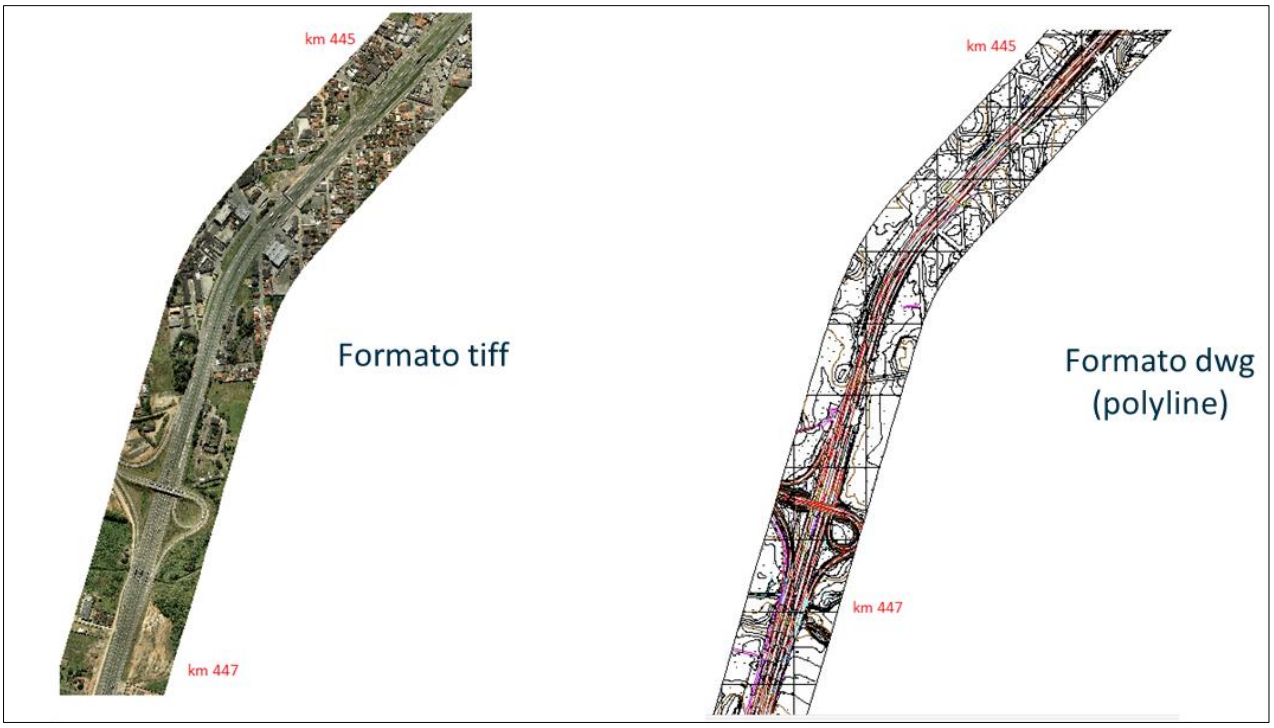


Figura 73: Dados referentes à restituição do vôo realizado em 2008

Todavia, a ferramenta SANET é uma extensão que é executada na plataforma ArcGIS, onde o formato dos dados de entrada e saída não são compatíveis com os formatos proprietários da AutoDesk. Portanto, antes de iniciar as análises propriamente ditas foi necessário um amplo trabalho de edição dos dados, compatibilização cartográfica (para possibilitar o georreferenciamento das informações), a geocodificação dos acidentes, e por fim a análise de densidade Kernel em rede (SANET).

O resultado obtido com essa análise, para a pista norte da Rodovia Régis Bittencourt é apresentado na Figura 74 a seguir, em uma visão tridimensional da via, onde os trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes estão representados em vermelho, e correspondem a Serra do Cafezal e a Barra do Turvo. Uma vez que a Serra do Cafezal na época das análises estava passando por intervenções para melhorias realizadas pela concessionária "Autopista Régis Bittencourt" – ARTERIS (obras de duplicação), a análise deste projeto se concentrou na região da Barra do Turvo, na Serra do Azeite.

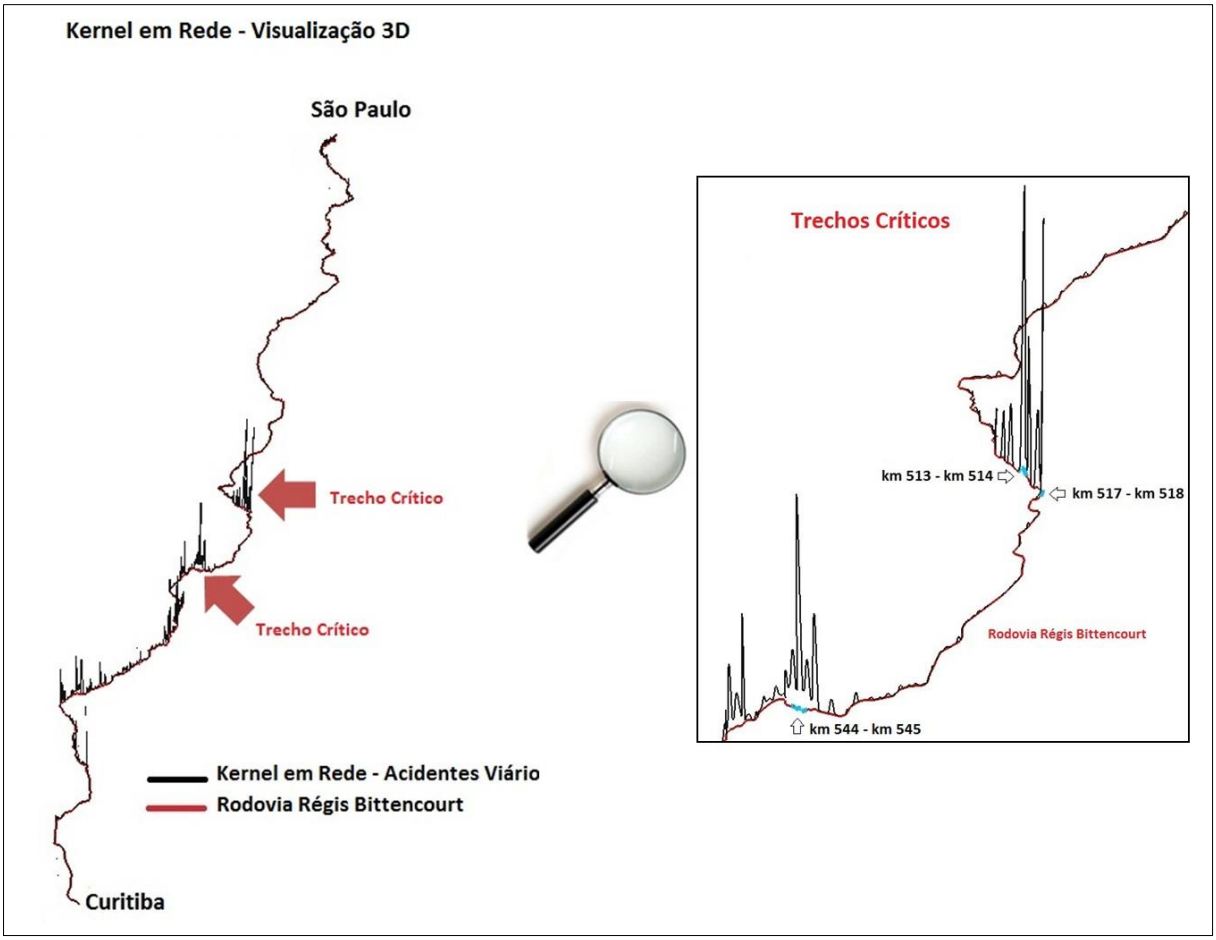


Figura 74: Análise espacial Pista Norte – Estimador de Densidade Kernel em rede – SANET

Portanto, dois trechos críticos na pista norte foram identificados através da análise espacial, e foram selecionados 3 segmentos (localizados na Serra do Azeite) candidatos a receberem as intervenções no pavimento para aumento da aderência e consequente redução na quantidade e/ou severidade dos acidentes:

- km 513 – km 514
- km 517 – km 518
- km 544 – km 545

6.4.1.3. Análises Estatísticas

Como o objetivo do projeto era implementar soluções de pavimento para redução de acidentes, e os recursos financeiros e humanos envolvidos nas execuções dessas obras são muito significativos, não se poderia correr o risco de executar as obras em trechos que não

fossem os mais críticos. Por esta razão, foram desenvolvidas análises estatísticas para corroborar os resultados até então obtidos.

As variáveis disponíveis para o projeto foram estudadas, de modo a se estabelecer as correlações entre elas, verificando quais são as variáveis mais importantes e os efeitos mais contundentes na ocorrência dos acidentes viários. Para apontar os quilômetros mais críticos da rodovia há necessidade de identificar qual é o perfil padrão dos acidentes e onde estes ocorrem, o que se denominou de trecho “Baseline”.

Para esta etapa a base de dados foi reestruturada e ampliada, com base em novas informações advindas da concessionária Desta forma, considerou-se 16.173 acidentes na Rodovia Régis Bittencourt em seu sentido norte e 16.883 acidentes no sentido sul, ocorridos entre agosto de 2008 e outubro de 2015 (ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Vale destacar que a partir de 2012 nota-se uma diminuição significativa de acidentes nos dois sentidos da Rodovia. Em 2013, por exemplo, houve uma diminuição de acidentes, nas pistas norte e sul, de 13,3% e 12,5%, respectivamente, em relação ao ano anterior. Por fim, sublinha-se que, nesse período de estudo, nos meses de dezembro e janeiro na pista norte e sul registraram-se em média 230 e 259 acidentes por mês respectivamente, enquanto que nos outros meses o número médio de acidentes foi de 192 e 198 respectivamente.

Número de acidentes	Ano								**Total**
	2008*	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*	
Pista norte	217	2471	2589	2548	2453	2126	2118	1651	16173
Pista sul	299	2476	2520	2822	2733	2392	2095	1546	16883
Total	516	4947	5109	5370	5186	4518	4213	3197	33056

Tabela 9: Número de acidentes por ano. (entre 08/2018* até 10/2015*).

Para as seguintes avaliações será considerando o Volume Diário Médio de veículos (VDM) e, portanto, será analisada a taxa de acidentes por 100 mil veículos, de acordo com a equação 4.

$$t_k = \frac{y_k}{VDM_i} \times 100.00 \quad (4)$$

Onde:

y_k: Número de acidentes ocorridos no quilômetro k.

VDM_i: Volume diário médio de veículos no pedágio $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Na Tabela 10, apresentam-se os valores do VDM separados por praças de pedágio (P1 até P5). Para os anos entre 2008-2010 imputaram-se estes valores por meio de uma regressão linear.

Praça de Referência	Início (km)	Fim (km)	VDM Total						
			2008	2009	2010	2111	2012	2013	2014
P1	268,9	278	9959	10215	10471	10652	11061	11302	11424
P1	278	336	12548	12870	13193	13421	13937	14240	14394
P2	336	367	9085	9245	9405	9499	9787	9959	9975
P3	367	498	10815	11008	11202	11337	11637	11860	11908
P5	498	569,1	8702	8830	8958	9015	9266	9457	9379

Tabela 10: Valores do VDM

A Figura 75 ilustra o gráfico de dispersão dos números de acidentes por 100 mil veículos ocorridos entre 2008-2015 versus a localização em quilômetros na rodovia. Pode-se constatar que o número de ocorrência nos dois sentidos da pista é relativamente baixo no trecho entre os quilômetros 375 a 500 quando comparado com outros trechos. Neste trecho ocorreu um total de 3897 e 3576 acidentes entre 2008-2015 no sentido norte e sul, que resulta numa taxa média de 4,26 e 3,91 acidentes por (km x ano) respectivamente.

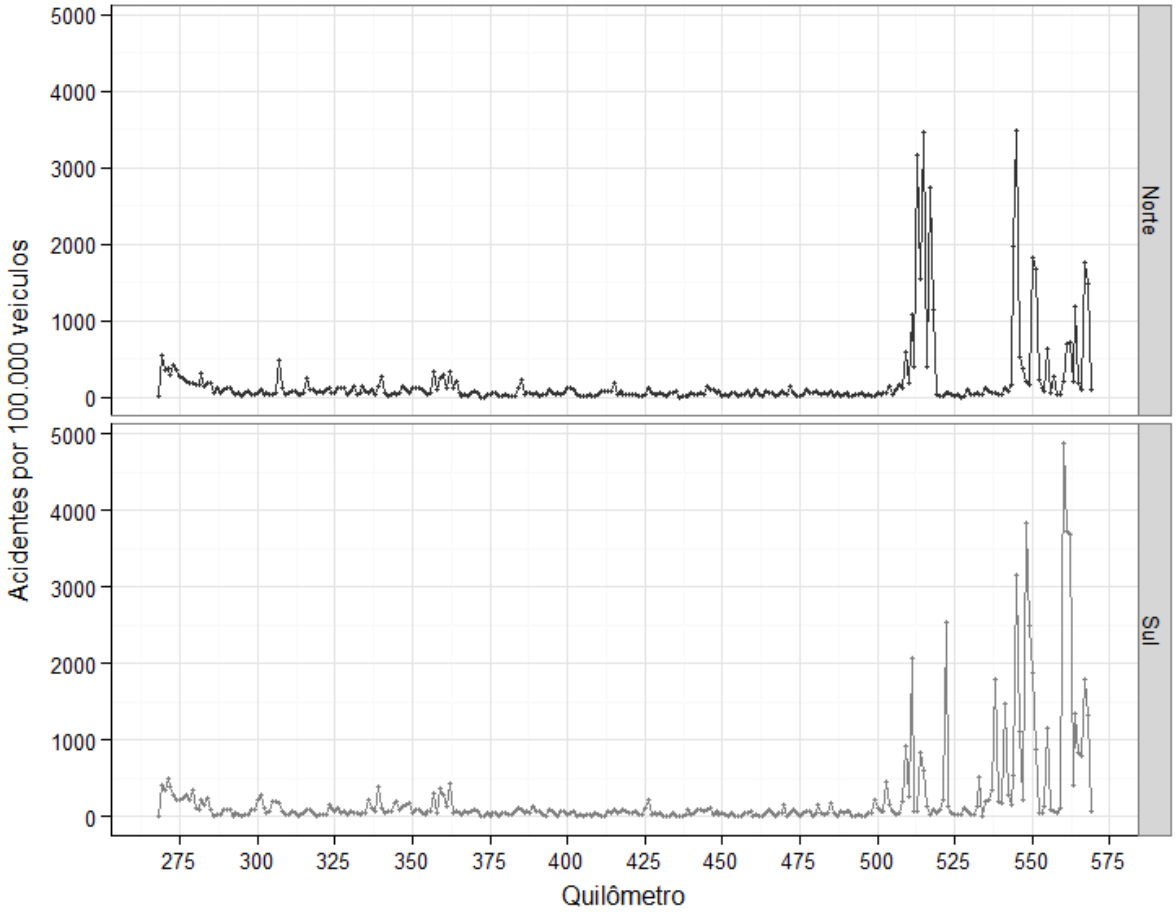


Figura 75: Taxa do número de acidentes por 100 mil veículos x localização (km) da Rodovia - 2008-2015

No entanto, no sentido norte os quilômetros: 509; 511; 513; 514; 515; 517; 518; 544; 545; 550; 551; 555; 561; 562; 564; 567; 568 apresentaram claramente um número superior de acidentes comparado com outros trechos totalizando, entre 2008-2015, 3.845 acidentes, equivalente a uma taxa média de 31,19 por km x ano. Já no sentido sul os quilômetros 509; 511; 514; 515; 522; 538; 541; 544; 545; 546; 548; 549; 550; 551; 555; 560; 561; 562; 564; 565; 566; 567; 568 apresentaram um total de 5.308 acidentes equivalente a uma taxa média de 31,8 por km x ano.

O gráfico da taxa de acidentes por 100 mil veículos versus a localização em km considerando a condição meteorológica da pista, isto é, se a pista estava molhada ou seca na ocasião da ocorrência do acidente, pode ser verificado na Figura 76. Observa-se que o número de acidentes quando a pista estava molhada foi sempre maior do que quando estava seca,

como era de se esperar. Entre os anos 2008-2015 o número de acidentes em pista molhada totalizou 60,3% no sentido norte e 67,6% no sul. Já nos quilômetros acima mencionados, onde houve um número maior de acidentes, estas porcentagens foram de 67,5% e 98,4% no sentido norte e no sentido sul, respetivamente.

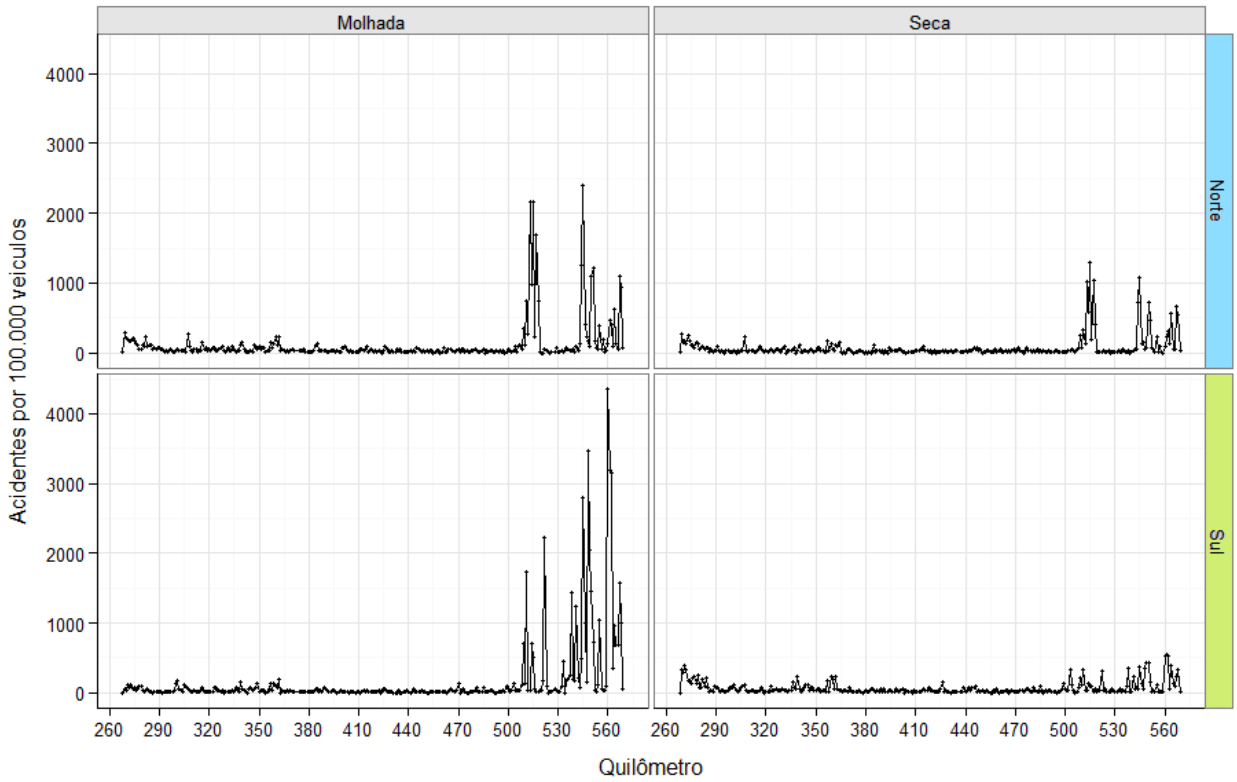


Figura 76: Taxa de acidentes por 100 mil veículos x condição da pista x localização (km) da Rodovia -2008-2015

A Figura 77 mostra a proporção de acidentes por 100 mil veículos, considerando as variáveis: traçado e perfil da pista versus a localização em km. Observa-se que, nos dois sentidos em trechos com perfis acentuados com traçados declive e aclive, o número de acidentes é consideravelmente maior em comparação com trechos com outros perfis geométricos. Já nas Figura 78 e Figura 79 pode-se observar que nos trechos com as condições anteriores somadas à pista molhada ocorrem mais acidentes do que em outras situações. Destaca-se que, no sentido norte, quando a pista está seca os trechos com perfis Acentuada/Declive e Tangente/Plano também apresentam um número considerável de acidentes (ver Figura 78).

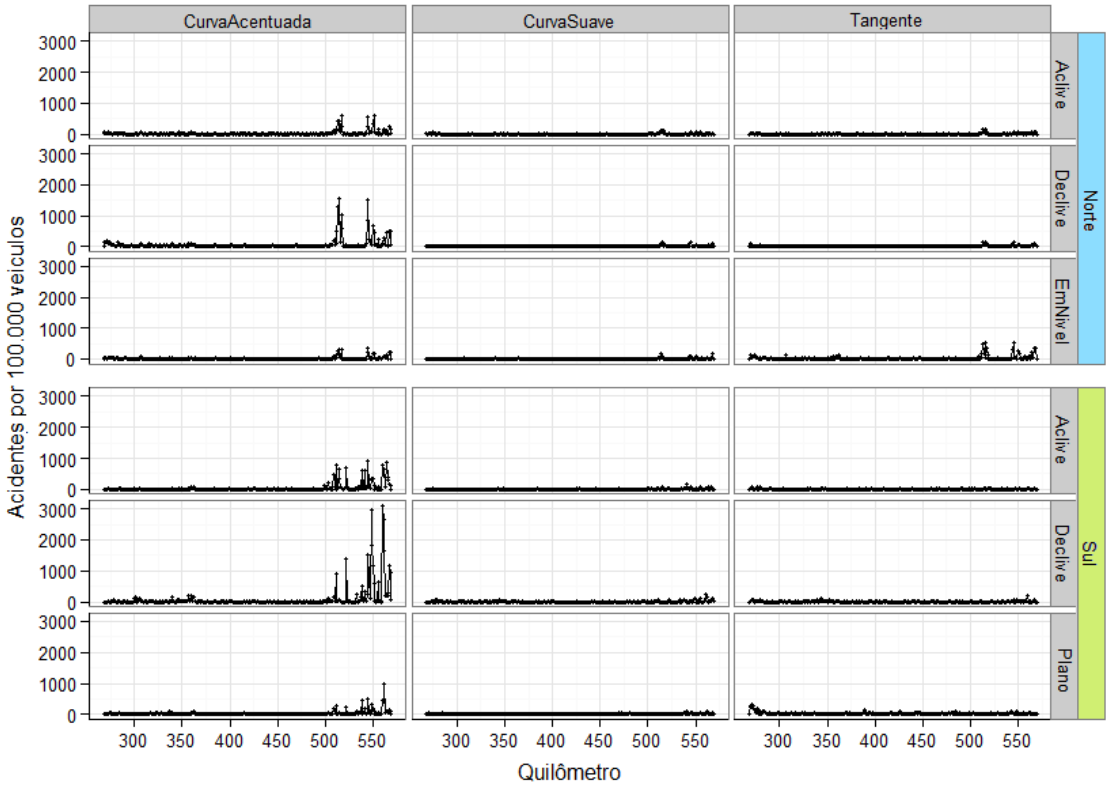


Figura 77: Número de acidentes por 100 mil veículos x condição da pista x localização (km) da Rodovia -2008-2015

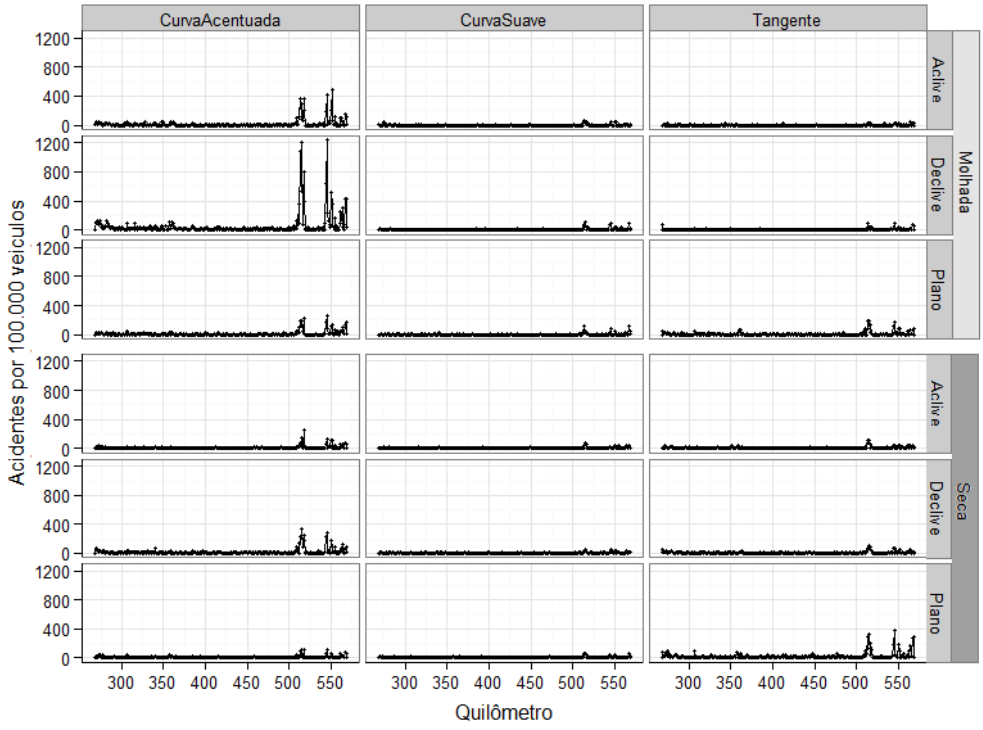


Figura 78: Taxa de acidentes por 100 mil veículos x condição, tração e perfil da pista x localização (km) da Rodovia -2008-2015- Sentido Norte.

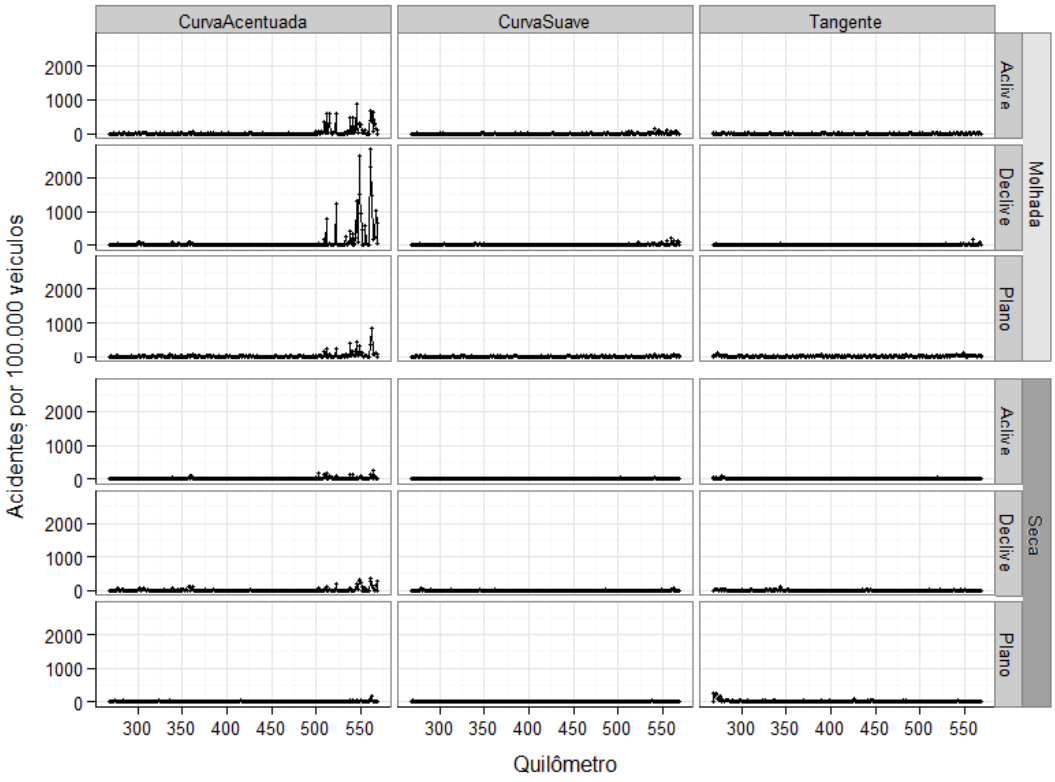


Figura 79: Taxa de acidentes por 100 mil veículos x condição, tração e perfil da pista x localização (km) da Rodovia -2008-2015- Sentido Sul.

Baseado na análise anterior, o trecho entre os quilômetros 375 a 500 foi selecionado como Baseline e será utilizado para caracterizar os pontos mais críticos e determinar os possíveis fatores que diferenciam estes trechos. Os quilômetros no sentido norte 509, 511, 513, 514, 515, 517, 518, 544, 545, 550, 551, 555, 561, 562, 564, 567, 568 e no sentido sul 509, 511, 514, 515, 522, 538, 541, 544, 545, 546, 548, 549, 550, 551, 555, 560, 561, 562, 564, 565, 566, 567, 568 serão de agora em diante, referenciados como trechos críticos. O comportamento observado do trecho Baseline será comparado com o perfil do trecho crítico conforme é detalhado a seguir.

a) Análise estatística descritiva dos números de acidentes – pista sentido norte

✓ Traçado da pista versus perfil da pista

A distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos no trecho Baseline segundo o traçado e perfil da pista está resumida na Tabela 11. Os valores entre parêntesis correspondem à porcentagem em relação ao total. Pode-se notar que existe uma associação entre a ocorrência de acidentes em função do traçado e perfil da pista. Neste trecho 32,3% dos acidentes ocorrem no declive com o traçado acentuado. O segundo tipo de localização de acidentes acontece em traçado tangente e com um perfil plano, 23,4% de acidentes. Na Tabela 12 está a distribuição de frequência do trecho crítico segundo os mesmos critérios.

	Traçado		
Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Aclive	841 (12,50%)	138 (2,08%)	244 (3,65%)
Declive	2.192 (32,29%)	310 (4,56%)	336 (5,08%)
Plano	809 (12,11%)	258 (4,30%)	1.540 (23,44%)

Tabela 11: Distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – sentido norte

	Traçado		
Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Aclive	4.746 (16,24%)	889 (3,04%)	1.055 (3,61%)
Declive	11.659 (39,89%)	1.067 (3,65%)	1.292 (4,42%)
Plano	3.072 (10,51%)	1.098 (3,76%)	4.350 (14,88%)

Tabela 12: Distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho crítico – Sentido Norte

✓ Traçado da pista versus perfil da pista versus visibilidade

A distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos nos trechos Baseline e crítico segundo o traçado e perfil da pista e visibilidade está resumida respectivamente nas Tabela 13 e Tabela 14. Os números assinalados em vermelho na Tabela 14 indicam as tipologias do trecho crítico cujas proporções são maiores que o trecho Baseline das mesmas

tipologias. Todos os casos ocorrem na condição de visibilidade ruim, em trechos com traçados acentuados/aclive, acentuados/plano e com perfil plano/suaves e tangente/aclive. Note que não foram assinaladas as tipologias do trecho crítico com proporções de ocorrência menores que o trecho Baseline.

Visibilidade		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Boa	Aclive	9,55%	1,42%	2,39%
	Declive	20,77%	3,02%	3,96%
	Plano	8,83%	3,45%	16,57%
Ruim	Aclive	3,16%	0,66%	1,19%
	Declive	11,82%	1,60%	1,18%
	Plano	3,18%	0,92%	6,34%

Tabela 13: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – Sentido Norte

Visibilidade		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Boa	Aclive	8,60%	1,67%	1,74%
	Declive	20,70%	2,16%	2,60%
	Plano	4,79%	1,67%	7,88%
Ruim	Aclive	7,87%	1,40%	1,89%
	Declive	19,89%	1,52%	1,77%
	Plano	5,62%	1,98%	6,25%

Tabela 14: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho crítico – Sentido Norte

- ✓ Traçado da pista versus perfil da pista versus condição da pista

A distribuição de porcentagem de ocorrência da proporção de acidentes por 100 mil veículos nos trechos Baseline e crítico segundo o traçado e perfil da pista e condição da pista está resumida respectivamente nas Tabela 15 e Tabela 16. Todos os casos ocorrem na condição

de pista molhada, em trechos com traçados acentuados e perfis aclive/declive e traçados suaves com perfis aclive/plano.

Condição		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Aclive	4,66%	1,33%	2,40%
	Declive	9,48%	1,20%	3,58%
	Plano	4,51%	2,94%	17,42%
Molhada	Aclive	8,08%	0,77%	1,19%
	Declive	23,08%	3,43%	1,58%
	Plano	7,40%	1,44%	5,54%

Tabela 15: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – Sentido Norte

Condição		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Aclive	4,43%	1,52%	2,63%
	Declive	9,11%	1,18%	2,47%
	Plano	3,10%	1,45%	9,50%
Molhada	Aclive	11,99%	1,56%	0,99%
	Declive	31,58%	2,51%	1,93%
	Plano	7,30%	2,21%	4,54%

Tabela 16: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Crítico – Sentido Norte

- ✓ Traçado da pista versus perfil da pista, condição da pista e visibilidade

A distribuição de porcentagem de ocorrência de acidentes nos trechos Baseline e crítico segundo o traçado, perfil da pista, visibilidade e condição da pista está resumida respectivamente nas Tabela 17 e Tabela 18.

Condição	Visibilidade		Traçado		
		Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Boa	Aclive	3,33%	0,79%	1,74%
		Declive	5,42%	0,93%	2,91%
		Plano	3,58%	2,41%	13,73%
	Ruim	Aclive	1,33%	0,53%	0,66%
		Declive	4,06%	0,27%	0,66%
		Plano	0,92%	0,53%	3,70%
Molhada	Boa	Aclive	6,25%	0,64%	0,66%
		Declive	15,29%	2,09%	1,05%
		Plano	5,14%	1,05%	2,89%
	Ruim	Aclive	1,83%	0,13%	0,53%
		Declive	7,79%	1,33%	0,52%
		Plano	2,26%	0,39%	2,66%

Tabela 17: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – Sentido Norte

Os números assinalados em vermelho na Tabela 18 indicam a tipologia do trecho crítico cuja proporção é maior que o trecho Baseline da mesma tipologia. Observa-se que todos os casos são em condições de pista molhada, com visibilidade ruim, em traçados acentuados e suaves para qualquer condição de perfil.

Condição	Visibilidade		Traçado		
		Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Boa	Aclive	2,68%	0,80%	1,30%
		Declive	6,04%	0,72%	1,44%
		Plano	1,56%	0,72%	5,65%
	Ruim	Aclive	1,75%	0,72%	1,33%
		Declive	3,06%	0,46%	1,03%
		Plano	1,53%	0,73%	3,86%
Molhada	Boa	Aclive	5,86%	0,87%	0,42%
		Declive	14,73%	1,45%	1,17%
		Plano	3,22%	0,95%	2,20%
	Ruim	Aclive	6,13%	0,68%	0,57%
		Declive	16,85%	1,47%	0,76%
		Plano	4,08%	1,26%	2,35%

Tabela 18: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Crítico – Sentido Norte

b) Análise descritiva dos números de acidentes – pista sentido Sul

✓ Traçado da pista versus perfil da pista

A distribuição de frequência de ocorrência da taxa de acidentes por 100 mil veículos no trecho Baseline segundo o traçado e perfil da pista está resumida na Tabela 19. Os valores entre parêntesis correspondem à porcentagem em relação total. Neste trecho 42,12% dos acidentes ocorrem no plano com o traçado tangente. O segundo tipo de localização de acidentes acontece em traçado acentuado/plano com 23,4%. Na Tabela 20 está a distribuição de frequência do trecho crítico segundo os mesmos critérios. Intervalos de confiança a 95% para diferença das proporções entre trecho Baseline e trecho crítico (da mesma tipologia) foram calculados. Em sete dos nove intervalos de confiança, o valor zero pertence ao intervalo, indicando que as proporções de acidentes considerando o perfil e traçado não são diferentes nos dois trechos. No entanto, para trechos com perfil em aclive e

declive com curvas acentuadas, a proporção de acidentes é maior que o trecho Baseline da mesma tipologia.

	Traçado		
Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Aclive	485 (7,65%)	245 (3,86%)	498 (7,85%)
Declive	461 (7,27%)	235 (3,71%)	390 (6,14%)
Plano	686 (10,82%)	670 (10,57%)	2.671 (42,12%)

Tabela 19: Distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – sentido sul

	Traçado		
Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Aclive	10.297 (24,00%)	1.009 (2,35%)	294 (0,69%)
Declive	23.221 (54,12%)	1.461 (3,41%)	625 (1,46%)
Plano	4.872 (11,36%)	650 (1,51%)	473 (1,10%)

Tabela 20: Distribuição de frequência da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho crítico – sentido sul

- ✓ Traçado da pista versus perfil da pista versus visibilidade

A distribuição de porcentagem de ocorrência de acidentes nos trechos Baseline e crítico está resumida respectivamente nas Tabela 21 e Tabela 22. Os números assinalados em vermelho na Tabela 22 indicam as tipologias do trecho crítico, cujas proporções são maiores que o trecho Baseline das mesmas tipologias, segundo o traçado e perfil da pista e visibilidade. Todos os casos ocorrem em trechos com traçados acentuados, com perfis aclive e declive para condições com visibilidade boa e para qualquer perfil quando a visibilidade é ruim. Não foram assinaladas as tipologias do trecho crítico com proporções de ocorrência menores que o trecho Baseline.

Visibilidade		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Boa	Aclive	4,95%	2,50%	5,52%
	Declive	4,53%	2,59%	4,93%
	Plano	7,41%	6,90%	31,54%
Ruim	Aclive	2,70%	1,36%	2,33%
	Declive	2,73%	1,12%	1,21%
	Plano	3,42%	3,67%	10,58%

Tabela 21: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – sentido sul

Visibilidade		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Boa	Aclive	12,19%	1,44%	0,33%
	Declive	25,44%	1,56%	0,66%
	Plano	4,97%	0,94%	0,58%
Ruim	Aclive	11,81%	0,91%	0,36%
	Declive	28,67%	1,85%	0,80%
	Plano	6,39%	0,58%	0,53%

Tabela 22: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho crítico – sentido sul

- ✓ Traçado da pista versus perfil da pista versus condição da pista

A distribuição de porcentagem de ocorrência da proporção de acidentes por 100 mil veículos nos trechos Baseline e crítico segundo o traçado e perfil da pista e condição da pista está resumida respectivamente nas Tabela 23 e Tabela 24. Os números assinalados em vermelho na Tabela 24 indicam as tipologias do trecho crítico, cujas proporções são maiores que o trecho Baseline das mesmas tipologias. Todos os casos ocorrem na condição de pista molhada, em trechos com traçados acentuados com qualquer perfil, exceto para trechos

com traçado acentuado/declive que também apresentaram proporções de acidentes maiores quando a pista está seca.

Condição		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Aclive	5,14%	1,84%	4,97%
	Declive	3,69%	2,33%	4,27%
	Plano	5,24%	5,15%	27,25%
Molhada	Aclive	2,54%	2,03%	2,77%
	Declive	3,60%	1,38%	1,89%
	Plano	5,62%	5,45%	14,85%

Tabela 23: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – sentido sul

Condição		Traçado		
	Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Aclive	3,96%	0,40%	0,23%
	Declive	7,16%	0,40%	0,26%
	Plano	1,60%	0,49%	0,28%
Molhada	Aclive	20,08%	1,96%	0,46%
	Declive	46,89%	2,99%	1,20%
	Plano	9,80%	1,01%	0,83%

Tabela 24: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Crítico – sentido sul

- ✓ Traçado da pista versus perfil da pista, condição da pista e visibilidade.

A distribuição de porcentagem de ocorrência de acidentes nos trechos Baseline e crítico segundo o traçado, perfil da pista, visibilidade e condição da pista está resumida respectivamente nas Tabela 25 e Tabela 26.

Intervalos de confiança (a 95% de confiança) para diferença das proporções entre trecho Baseline e trecho crítico (da mesma tipologia) foram calculados. Os números assinalados em vermelho na Tabela 26 vindicam a tipologia do trecho crítico cuja proporção é maior que o trecho Baseline da mesma tipologia. Observa-se que todos os casos são em condições de pista molhada, com traçado acentuado para qualquer condição de perfil e de visibilidade.

Condição	Visibilidade	Traçado			
		Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Boa	Aclive	3,83%	1,84%	4,57%
		Declive	3,15%	2,20%	4,01%
		Plano	4,83%	4,88%	25,38%
	Ruim	Aclive	1,31%	0,00%	0,40%
		Declive	0,53%	0,14%	0,27%
		Plano	0,41%	0,27%	1,87%
Molhada	Boa	Aclive	1,13%	0,67%	0,97%
		Declive	1,39%	0,40%	0,93%
		Plano	2,60%	2,04%	6,11%
	Ruim	Aclive	1,40%	1,36%	1,80%
		Declive	2,21%	0,98%	0,95%
		Plano	3,02%	3,41%	8,74%

Tabela 25: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Baseline – sentido sul

Condição	Visibilidade		Traçado		
		Perfil	Acentuado	Suave	Tangente
Seca	Boa	Aclive	3,35%	0,40%	0,23%
		Declive	5,79%	0,35%	0,23%
		Plano	1,42%	0,38%	0,25%
	Ruim	Aclive	0,62%	0,00%	0,00%
		Declive	1,37%	0,05%	0,03%
		Plano	0,18%	0,10%	0,03%
Molhada	Boa	Aclive	8,87%	1,04%	0,10%
		Declive	19,66%	1,21%	0,43%
		Plano	3,57%	0,56%	0,33%
	Ruim	Aclive	11,22%	0,92%	0,36%
		Declive	27,21%	1,78%	0,78%
		Plano	6,23%	0,45%	0,50%

Tabela 26: Distribuição de porcentagem da taxa de acidentes por 100 mil veículos – Trecho Crítico – sentido sul

As análises estatísticas indicam alguns quilômetros com alta frequência de acidentes. A seguir a descrição desses trechos.

Sentido Norte

- Quilômetro 513

- ✓ Dos 440 acidentes que ocorreram neste quilômetro registraram-se duas vítimas graves, seis fatais e 81,65% dos acidentes com danos materiais (sem vítimas).
- ✓ 68,75% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 31,25% quando a pista estava seca.
- ✓ 35,14% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 7,10% dos acidentes.

- ✓ 11,55% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 2,47% dos acidentes.
- ✓ O número médio de acidentes no período de 2009-2014 foi de 63,14 por ano. A partir do ano 2013 há uma leve tendência decrescente na ocorrência de acidentes. Já no ano de 2015 (dados coletados até o mês de outubro) ocorreram 34 acidentes.
- ✓ A geometria desse trecho é bastante sinuosa.

- Quilômetro 517

- ✓ Dos 339 acidentes que ocorreram neste quilômetro registraram-se 8 vítimas graves e 5 fatais e 71,03% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ 61,95% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 38,05% quando a pista estava seca.
- ✓ 29,83% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 8,87% dos acidentes.
- ✓ 13,35% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 9,25% dos acidentes.
- ✓ O número de acidentes apresentou uma tendência crescente ao longo dos anos, no período de 2009-14 o número médio de acidentes foi de 52,5 por ano. Já no 2015 (dados coletados até o mês de outubro) têm ocorrido 15 acidentes.
- ✓ A geometria desse trecho é bastante sinuosa.

- Quilômetro 545

- ✓ Dos 454 acidentes que ocorreram neste quilômetro registraram-se 15 vítimas graves e 10 fatais e 78,63% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ 69,15% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 30,85% quando a pista estava seca.
- ✓ 35,51% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 7,88% dos acidentes.
- ✓ 11,92% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 3,50% dos acidentes.
- ✓ Cumpre ressaltar que 10,37% dos acidentes aconteceram em tangente/plano com pista seca. Já em pista molhada, com as condições anteriores, aconteceram 4,70% dos acidentes.
- ✓ Vale ressaltar que no período 2009-2012 houve uma tendência crescente enquanto ao número de acidentes, já no período 2013-2015 evidenciou-se uma tendência decrescente. Em 2012 registraram-se 149 acidentes enquanto que em 2014 ocorreram 30. Por fim, nos 10 primeiros meses de 2015 ocorreram 28 acidentes nesse quilômetro.
- ✓ No quilômetro 544 está localizado um pedágio.

- Quilômetro 551

- ✓ 72,82% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 27,18% quando a pista estava seca.
- ✓ 30,06% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 6,53% dos acidentes.
- ✓ 21,39% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 5,20% dos acidentes.

- ✓ Ressalta-se que dos 208 acidentes que ocorreram neste quilômetro houve uma vítima grave e outra fatal. Além disso, 83,87% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ Apresentou-se uma tendência crescente ao longo dos últimos anos em relação ao número de acidentes. Por exemplo, no ano 2012 ocorreram 15 acidentes, já nos anos 2013, 2014 e 2015 (dados coletados até o mês de outubro) ocorreram 41, 48 e 42 acidentes, respectivamente.

Na Figura 80 apresenta-se a tendência do número do número de acidentes por ano dos quilômetros anteriormente mencionados, considerando o volume diário médio de veículos.

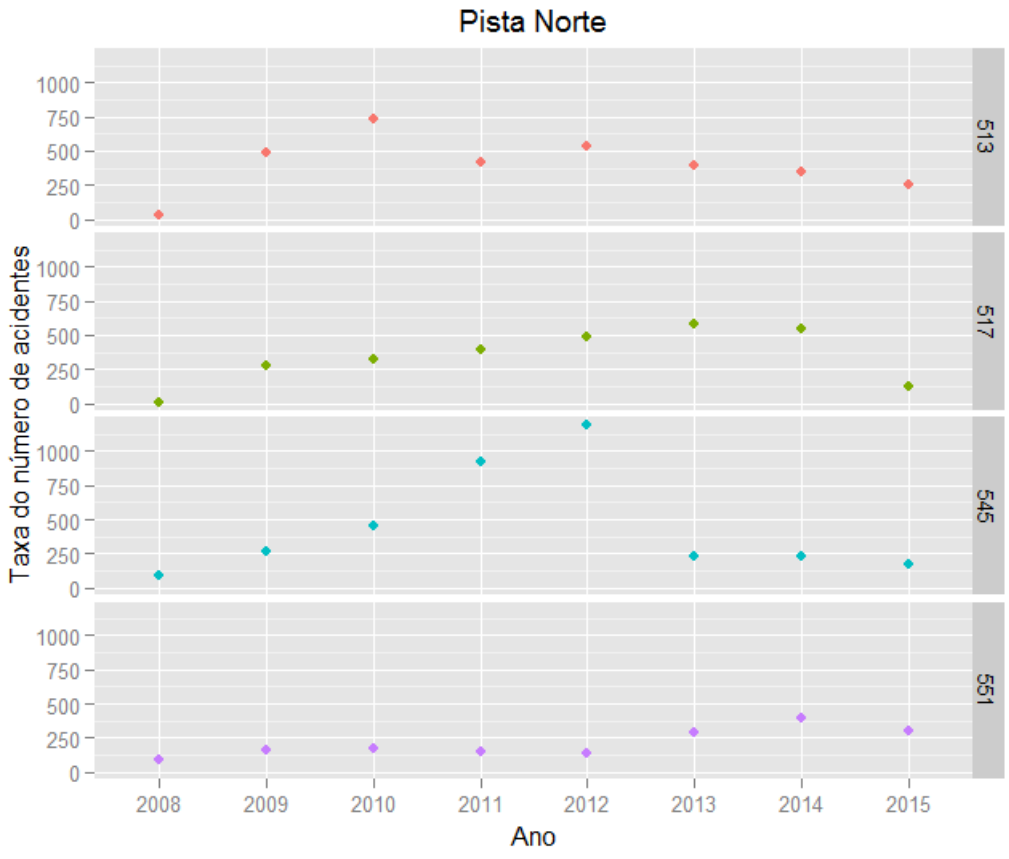


Figura 80: Pista Norte- Taxa do número de acidentes por quilômetro / ano

Sentido Sul

- Quilômetro 545

- ✓ 88,50% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 11,50% quando a pista estava seca.
- ✓ 41,59% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 7,07% dos acidentes.
- ✓ 27,84% dos acidentes aconteceram em curva suave/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 1,76% dos acidentes.
- ✓ Dos 355 acidentes que ocorreram neste quilômetro houve uma vítima grave e não registraram-se vítimas fatais. Por fim, 82,0% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ No período 2011-2013 o número médio de acidentes por ano foi de 76. Já entre 2014 e 2015 (dados coletados até o mês de outubro) aconteceram 21 e 23 acidentes respectivamente.

- Quilômetro 548

- ✓ 90,52% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 9,48% quando a pista estava seca.
- ✓ 70,75% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 7,98% dos acidentes.
- ✓ Dos 463 acidentes que ocorreram neste quilômetro houve 1 vítima grave e nenhuma fatal. Além disso, 82,88% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ No período 2008-2012 o número de acidentes neste quilômetro apresentou uma tendência crescente, o número médio de acidentes por ano foi de 94,75. Já no período 2013-2015 o número médio de acidentes foi de 28.

- Quilômetro 560

- ✓ 89,37% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 10,63% quando a pista estava seca.
- ✓ 58,33% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 5,26% dos acidentes.
- ✓ 13,77% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 2,56% dos acidentes.
- ✓ Vale ressaltar que dos 574 acidentes que ocorreram neste quilômetro registrou-se uma vítima grave e 4 fatais. Além disso, 85,16% dos acidentes foram acidentes com danos materiais.
- ✓ No período 2009-2012 o número de acidentes neste quilômetro apresentou uma tendência crescente, o número médio de acidentes por ano foi de 117,25. Já no período 2013-15 o número médio de acidentes foi de 35 apresentando uma tendência decrescente ao longo dos anos.

- Quilômetro 561

- ✓ 85,96% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 14,04% quando a pista estava seca.
- ✓ 62,35% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 9,23% dos acidentes.
- ✓ 10,51% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 1,79% dos acidentes.
- ✓ Dos 424 acidentes que ocorreram neste quilômetro registraram-se 6 vítimas graves e dois fatais. Ressalta-se que, 82,39% dos acidentes apresentaram danos materiais.
- ✓ No período 2009-2013 o número de acidentes neste quilômetro apresentou uma tendência crescente, o número médio de acidentes por ano foi de 68.6.

Nos anos 2014 e 2015 (dados coletados até o mês de outubro) registraram-se 29 e 36 acidentes, respectivamente.

- Quilômetro 562

- ✓ 85,96% dos acidentes ocorreram quando a pista estava molhada e 14,04% quando a pista estava seca.
- ✓ 40,63% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/declive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 4,81% dos acidentes.
- ✓ 15,75% dos acidentes aconteceram em curva acentuada/aclive com pista molhada. Já em pista seca, com as condições anteriores, aconteceram 2,13% dos acidentes.
- ✓ Dos 385 acidentes que ocorreram neste quilômetro houve 6 vítimas graves e uma fatal. Por fim, 82,0% dos acidentes tiveram somente danos materiais.
- ✓ O maior número de acidentes foi registrado no período 2011-2013, em que o número médio de acidentes por ano foi de 93,3. Já em 2014 e 2015 (dados coletados até o mês de outubro) registraram-se 10 e 25 acidentes respectivamente.

Na Figura 81 apresenta-se a tendência do número do número de acidentes por ano dos quilômetros anteriormente mencionados, considerando o volume diário médio de veículos.

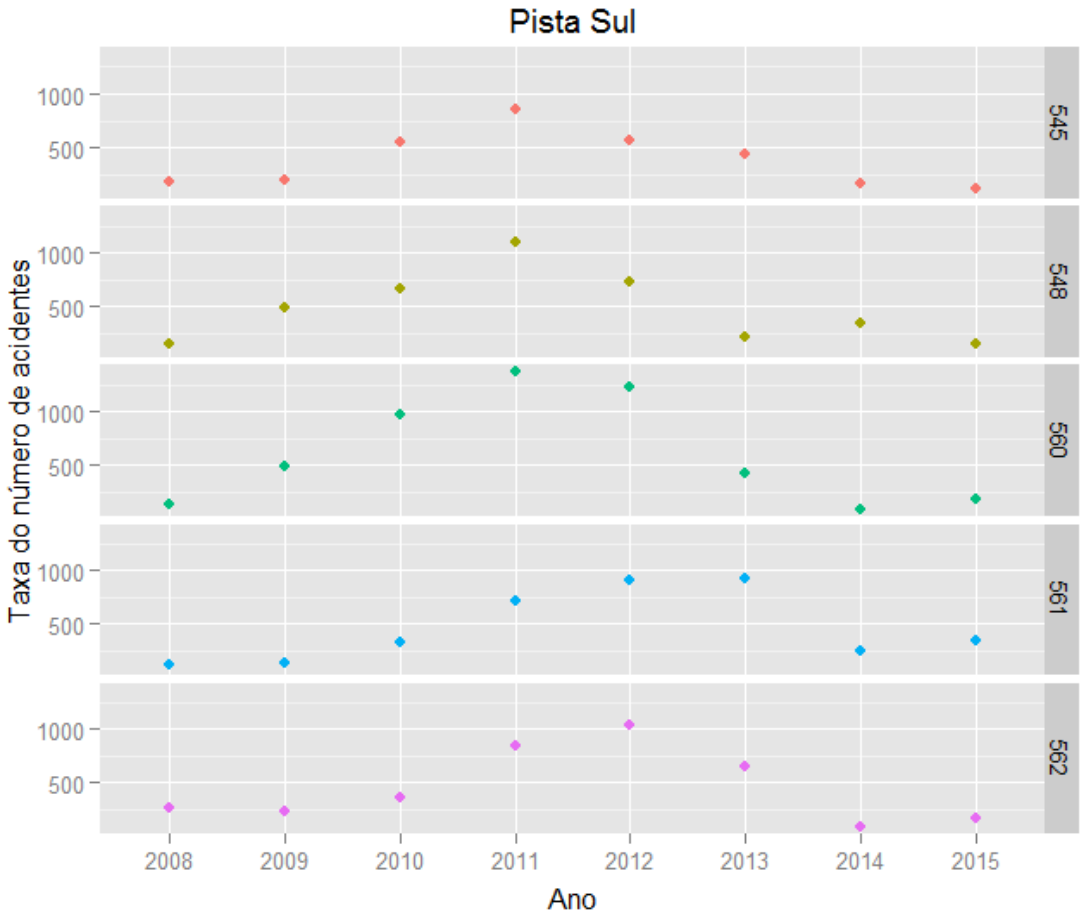


Figura 81: Pista Sul- Taxa do número de acidentes por quilômetro / ano

Portanto, os trechos mais críticos apontados pelos estudos até então são os compreendidos entre os quilômetros:

- Pista norte:
  - ✓ km 513 – km 514
  - ✓ km 517 – km 518
  - ✓ km 545 – km 546
  - ✓ km 551 – km 552
- Pista sul:
  - ✓ km 545 – 546
  - ✓ km 548 – 549
  - ✓ km 560 – km 561
  - ✓ km 562 – km 563

Estes são os trechos candidatos a receberem as intervenções no pavimento visando aumento do atrito e textura e consequente melhora na aderência pneu-pavimento.

6.4.1.4. Análise Temporal de Acidentes Segundo o Tipo de Acidente e o Estado de Saúde da Vítima

Complementando o estudo dos acidentes ocorridos na rodovia Régis Bittencourt, pista norte, no período de agosto de 2008 a outubro de 2015, procedeu-se na análise temporal dos acidentes de acordo com o tipo de ocorrência e a severidade decorrente de tais eventos.

Embasado na análise anterior, os quilômetros: 513; 514; 515; 517; 518; 544; 545; 550; 551; 564; 567; 568 da pista norte serão, de agora em diante, referenciados como Trechos Críticos - Alto (alta criticidade) e os quilômetros 269; 270; 271; 272; 273; 274; 275; 282; 307; 316; 357; 362; 509; 511; 512; 516; 546; 547; 555; 561; 562 como Trechos Críticos- Médios (média criticidade). Os demais trechos serão nomeados Trechos Críticos – Baixos (baixa criticidade). Na Figura 82, apresenta-se a distribuição dos acidentes na Rodovia.

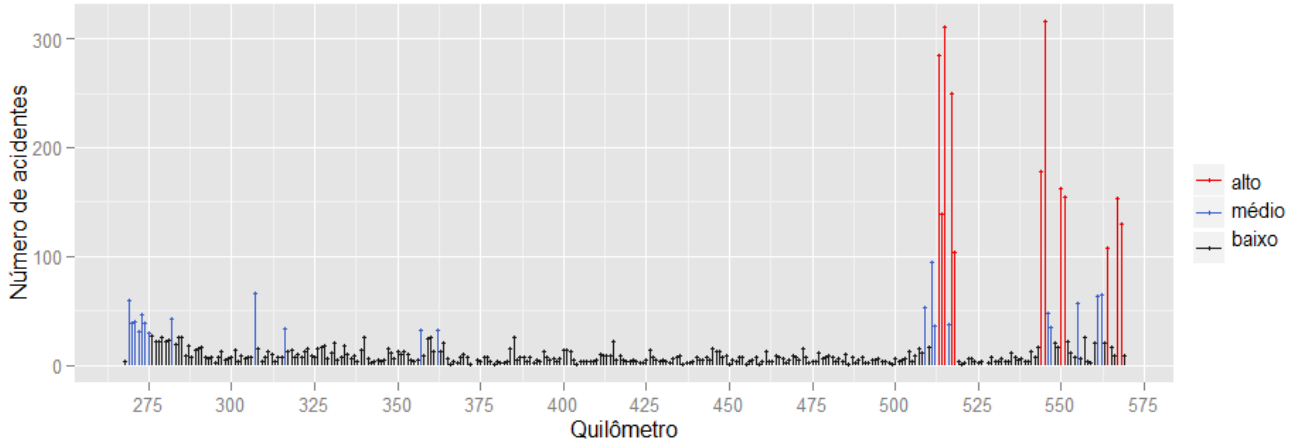


Figura 82: Número de acidentes na Rodovia Régis Bittencourt entre 2008-2015- Sentido Norte.

a) Acidentes com vítimas Fatais

Durante o período supramencionado, aconteceram 75 acidentes com vítimas fatais, o que representa 1,34% do total de acidentes na rodovia na pista norte. O maior número de acidentes com vítimas fatais aconteceu em trechos que têm criticidade baixa (vide Figura

82). Ao longo dos 269 quilômetros que pertencem a este grupo crítico, ocorreram, aproximadamente, 59% do total de acidentes com vítimas fatais. Nos trechos que têm criticidade alta e média (vide Figura 82) nota-se uma tendência descrente no número de acidentes com vítimas fatais a partir de 2012. Na Tabela 27 mostra-se a distribuição da frequência de acidentes com vítimas fatais considerando a criticidade dos quilômetros.

	Acidentes com vítimas fatais			
Ano	**Alto**	**Médio**	**Baixo**	**Total**
2008	0,0%	4,0%	0,0%	4,0%
2009	2,7%	2,7%	9,3%	14,7%
2010	1,3%	5,3%	13,3%	19,9%
2011	0,0%	4,0%	8,0%	12,0%
2012	5,3%	2,7%	4,0%	12,0%
2013	4,0%	5,3%	5,3%	14,6%
2014	1,3%	0,0%	9,3%	10,6%
2015	0,0%	2,7%	9,3%	12,0%
Total	14,7%	26,7%	58,7%	75 acidentes

Tabela 27: Distribuição do número de acidentes com vítimas fatais nos trechos críticos da pista norte da Rodovia Régis Bittencourt

O gráfico da Figura 83 mostra a taxa de acidentes com vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro. Nota-se uma clara tendência decrescente na taxa de acidentes nos trechos que têm criticidade alta a partir do ano de 2012. No entanto, destaca-se que nesse período a taxa de acidentes foi sempre maior quando comparado com os trechos com criticidade média e baixa, exceto em 2015. Nesse ano, a taxa de acidentes por quilômetro por 100 mil veículos foi maior para os quilômetros que pertencem ao grupo crítico médio. Por último, salienta-se que de janeiro de 2015 a outubro de 2015 não se registraram acidentes com vítimas fatais nos trechos com criticidade alta.

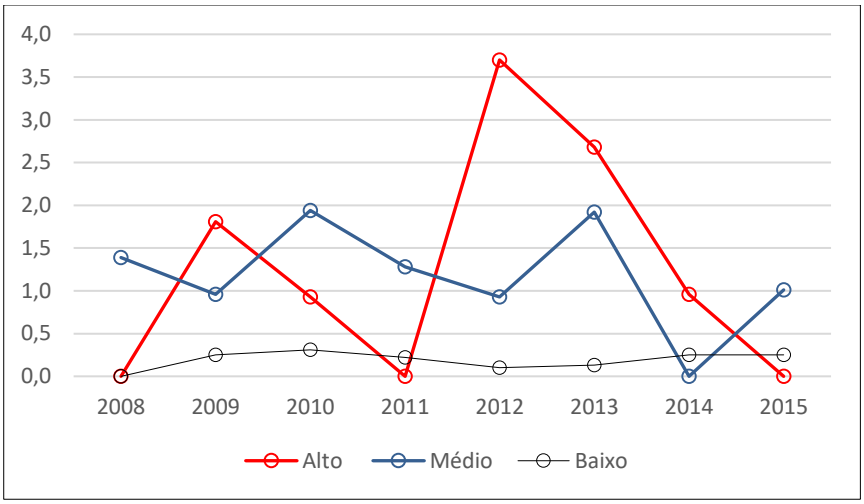


Figura 83: Taxa de acidentes com vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro segundo a criticidade dos quilômetros.

a) Acidentes sem vítimas fatais

A Tabela 28 mostra a distribuição da frequência de acidentes sem vítimas fatais considerando a criticidade dos quilômetros. Durante este período aconteceram 16358 acidentes sem vítimas fatais, o que corresponde a 27,6% do total de acidentes na pista Norte da Rodovia. Neste período, os 12 quilômetros que têm criticidade crítica alta totalizaram 2844 acidentes, o que corresponde a 32,3% do total de acidentes sem vítimas fatais. Nos trechos que têm criticidade alta e média nota-se uma leve tendência decrescente no número de acidentes com vítimas fatais a partir de 2012.

	Acidentes sem vítimas fatais			
Ano	**Alto**	**Médio**	**Baixo**	**Total**
2008	1,36%	1,42%	2,52%	5,31%
2009	4,53%	3,69%	7,31%	15,53%
2010	6,02%	3,17%	6,21%	15,40%
2011	6,21%	2,52%	6,99%	15,73%
2012	5,57%	3,30%	7,31%	16,18%
2013	3,95%	2,91%	5,11%	11,97%
2014	3,24%	1,94%	6,86%	12,04%
2015	1,42%	1,68%	4,72%	7,83%
Total	32,30%	20,65%	47,06%	1.545 acidentes

Tabela 28: Distribuição do número de acidentes sem vítimas fatais nos trechos críticos da pista norte da Rodovia Régis Bittencourt

Na Figura 84 é apresentada a taxa de acidentes sem vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro. Nota-se uma clara tendência decrescente nos trechos pertencentes ao grupo crítico alto a partir do ano de 2011. Durante todo o período do estudo, a taxa de acidentes por quilômetro por 100 mil veículos foi sempre maior em trechos que têm criticidade alta. Percebe-se também uma leve tendência decrescente nos trechos com criticidade média a partir de 2012. No ano de 2015, a taxa de acidentes sem vítimas por 100 mil veículos por quilômetro nos trechos com criticidade alta foi de aproximadamente 8 vezes a taxa em quilômetros que têm criticidade baixa e 1,8 vezes a taxa em quilômetros que têm criticidade média.

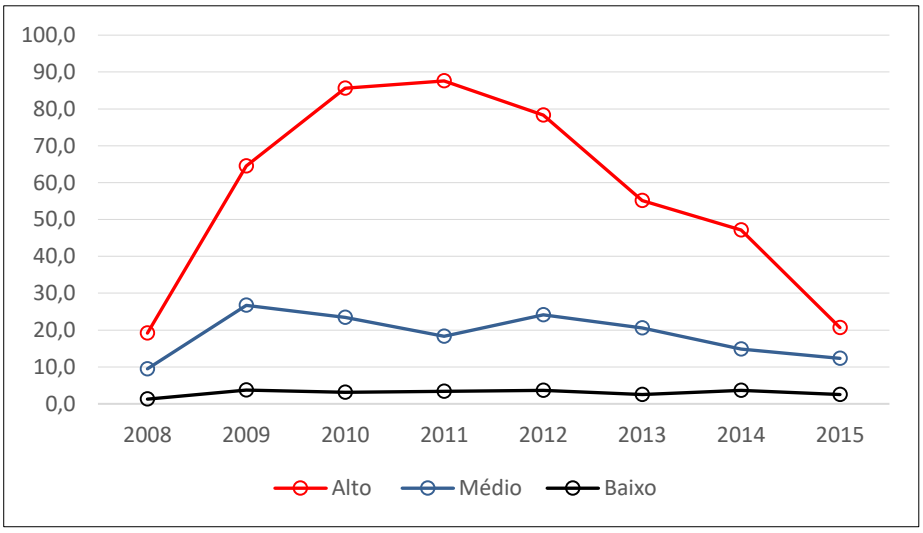


Figura 84: Taxa de acidentes sem vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro segundo a criticidade dos quilômetros.

a) Acidentes sem vítimas (apenas danos materiais)

Durante este período aconteceram 3.976 acidentes sem vítimas, número que corresponde a 71,1% do total dos acidentes na pista norte da Rodovia. Na Tabela 29 mostra-se a distribuição da frequência de acidentes sem vítimas considerando a criticidade dos quilômetros. Neste período, os 12 quilômetros que pertencem ao grupo crítico alto totalizaram 1.820 acidentes sem vítimas, o que corresponde a 45,7% do total de acidentes sem vítimas. Em média, ocorreram 19 acidentes sem vítimas por quilômetro por ano, nos trechos que têm criticidade alta.

	Acidentes sem vítimas			
Ano	**Alto**	**Médio**	**Baixo**	**Total**
2008	0,60%	1,06%	1,79%	3,45%
2009	5,81%	3,12%	6,04%	14,96%
2010	8,38%	2,52%	5,53%	16,42%
2011	8,98%	2,26%	6,19%	17,43%
2012	9,18%	2,74%	4,48%	16,40%
2013	5,81%	2,01%	4,75%	12,58%
2014	4,63%	1,71%	4,80%	11,14%
2015	2,39%	1,06%	4,18%	7,62%
Total	45,77%	16,47%	37,75%	3.976 acidentes

Tabela 29: Distribuição do número de acidentes sem vítimas fatais nos trechos críticos da pista norte da Rodovia Régis Bittencourt

A Figura 85 ilustra a taxa de acidentes com vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro. Nota-se, que nos trechos que têm criticidade alta esta taxa é claramente maior quando comparados com os trechos com criticidade média e baixa. No entanto, existe uma clara tendência decrescente nos trechos pertencentes ao grupo crítico alto a partir do ano de 2012. Em 2015, a taxa de acidentes sem vítimas por 100 mil veículos por quilômetro, nos trechos com criticidade alta foi de aproximadamente 16 vezes a taxa em quilômetros que têm criticidade baixa e 4,3 vezes em quilômetros que têm criticidade média.

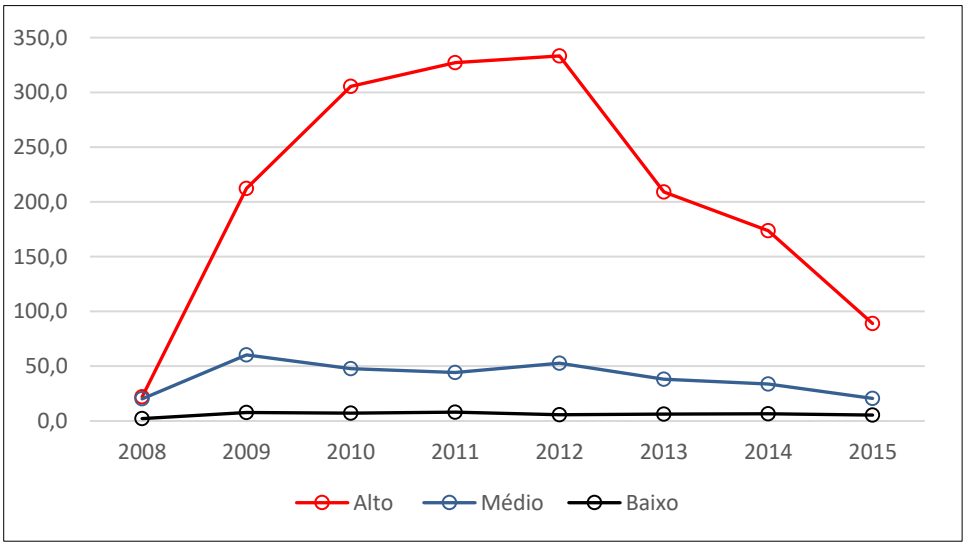


Figura 85: Taxa de acidentes sem vítimas fatais por 100 mil veículos por quilômetro segundo a criticidade dos quilômetros.

A seguir, apresenta-se uma análise dos acidentes na pista norte da Rodovia Régis Bittencourt no período de agosto de 2008 a outubro de 2015 segundo o tipo de acidente. Durante este período, o maior número de acidentes aconteceu pelo motivo "saída de pista" (o que denota problema com derrapagem) (segundo planilha disponibilizada pela "Autopista Régis Bittencourt"), totalizando 2.042 acidentes, o que representa 36,6% do total dos acidentes na pista norte da Rodovia. Por outro lado, os acidentes por motivos "capotamento", "choque com objeto fixo ou veículo parado" e "colisão" corresponderam a 17,6%, 15,9% e 15,2% do total de acidentes respectivamente. Os 12 quilômetros que tem criticidade alta totalizaram 1.034 acidentes pelo motivo "saída de pista", o que equivale a 18,5% do total de acidentes na Rodovia. No entanto, nestes quilômetros, nota-se uma tendência decrescente neste tipo de acidente a partir de 2012. Vide Tabela 30 a seguir.

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Atropelamento	Alto	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Médio	0,02%	0,04%	0,00%	0,02%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,09%
	Baixo	0,00%	0,07%	0,11%	0,05%	0,02%	0,02%	0,04%	0,00%	0,31%
Capotamento	Alto	0,22%	1,01%	1,48%	1,83%	2,15%	1,01%	0,85%	0,29%	8,84%
	Médio	0,18%	0,61%	0,61%	0,38%	0,51%	0,34%	0,22%	0,05%	2,91%
	Baixo	0,40%	0,90%	0,76%	0,87%	0,80%	0,72%	0,74%	0,65%	5,84%
Choque com objeto fixo ou veículo parado	Alto	0,13%	0,87%	1,05%	1,01%	0,87%	1,39%	1,59%	0,83%	7,74%
	Médio	0,16%	0,47%	0,25%	0,22%	0,42%	0,45%	0,51%	0,43%	2,91%
	Baixo	0,13%	0,60%	0,56%	0,47%	0,47%	0,56%	0,76%	0,74%	4,29%
Colisão	Alto	0,05%	0,27%	0,33%	0,31%	0,33%	0,18%	0,24%	0,09%	1,79%
	Médio	0,25%	0,72%	0,71%	0,72%	0,63%	0,56%	0,22%	0,24%	4,05%
	Baixo	0,27%	1,54%	1,56%	1,61%	0,98%	1,41%	1,18%	0,85%	9,39%
Engavetamento	Alto	0,00%	0,00%	0,02%	0,05%	0,04%	0,07%	0,02%	0,02%	0,22%
	Médio	0,02%	0,04%	0,11%	0,09%	0,07%	0,14%	0,09%	0,07%	0,63%
	Baixo	0,00%	0,11%	0,09%	0,14%	0,02%	0,05%	0,09%	0,11%	0,61%
Queda de moto	Alto	0,02%	0,07%	0,09%	0,07%	0,05%	0,07%	0,07%	0,00%	0,45%
	Médio	0,02%	0,09%	0,05%	0,13%	0,11%	0,11%	0,09%	0,07%	0,67%
	Baixo	0,07%	0,22%	0,31%	0,36%	0,47%	0,34%	0,49%	0,18%	2,44%
Saída da pista	Alto	0,20%	2,48%	3,87%	4,14%	4,16%	1,86%	1,14%	0,65%	18,50%
	Médio	0,43%	1,14%	0,74%	0,65%	0,99%	0,45%	0,36%	0,29%	5,06%
	Baixo	0,87%	2,30%	1,75%	2,21%	1,50%	1,50%	1,48%	1,37%	12,98%
Soterramento	Alto	0,00%	0,02%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
	Médio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Baixo	0,02%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%
Tombamento	Alto	0,20%	0,65%	0,72%	0,72%	0,63%	0,72%	0,34%	0,24%	4,23%
	Médio	0,09%	0,16%	0,22%	0,18%	0,20%	0,24%	0,29%	0,11%	1,48%
	Baixo	0,13%	0,49%	0,60%	0,54%	0,81%	0,25%	0,52%	0,47%	3,82%
Outros	Alto	0,00%	0,11%	0,11%	0,05%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,29%
	Médio	0,04%	0,04%	0,07%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,16%
	Baixo	0,02%	0,11%	0,00%	0,00%	0,04%	0,02%	0,00%	0,00%	0,18%

Tabela 30: Distribuição do número de acidentes na Rodovia na pista norte segundo o tipo de acidente.

Na Figura 86 é apresentada a taxa de acidentes por 100 mil veículos por quilômetro segundo o tipo de acidente. Nota-se, que para os acidentes por motivo “capotamento”, “choque com objeto fixo ou veículo parado”, “saída de pista” e “tombamento” os trechos que têm criticidade alta apresentaram uma taxa de acidentes claramente maior, durante o período de 2008 a 2015, quando comparada com os trechos com criticidade média e baixa. A partir de 2012 observa-se uma forte tendência decrescente no número de acidente por motivo “capotamento” e “saída de pista” nos trechos com criticidade alta e média. Em 2015, a taxa de acidentes por motivo “saída de pista” por 100 mil veículos por quilômetro nos trechos com criticidade alta foi de aproximadamente 13 vezes a taxa dos quilômetros que têm criticidade baixa e 4 vezes a taxa dos quilômetros que têm criticidade média. Por último, em 2015 houve também uma redução na taxa de acidentes por motivo “choque com objeto fixo ou veículo parado” de 47,5% em relação ao ano anterior. Nota-se também que a taxa de acidentes por motivo “colisão” é semelhante para os trechos com criticidade média e alta, com uma taxa média de acidentes por 100 mil veículos por quilômetro de 14,9% e 13,9% respectivamente.

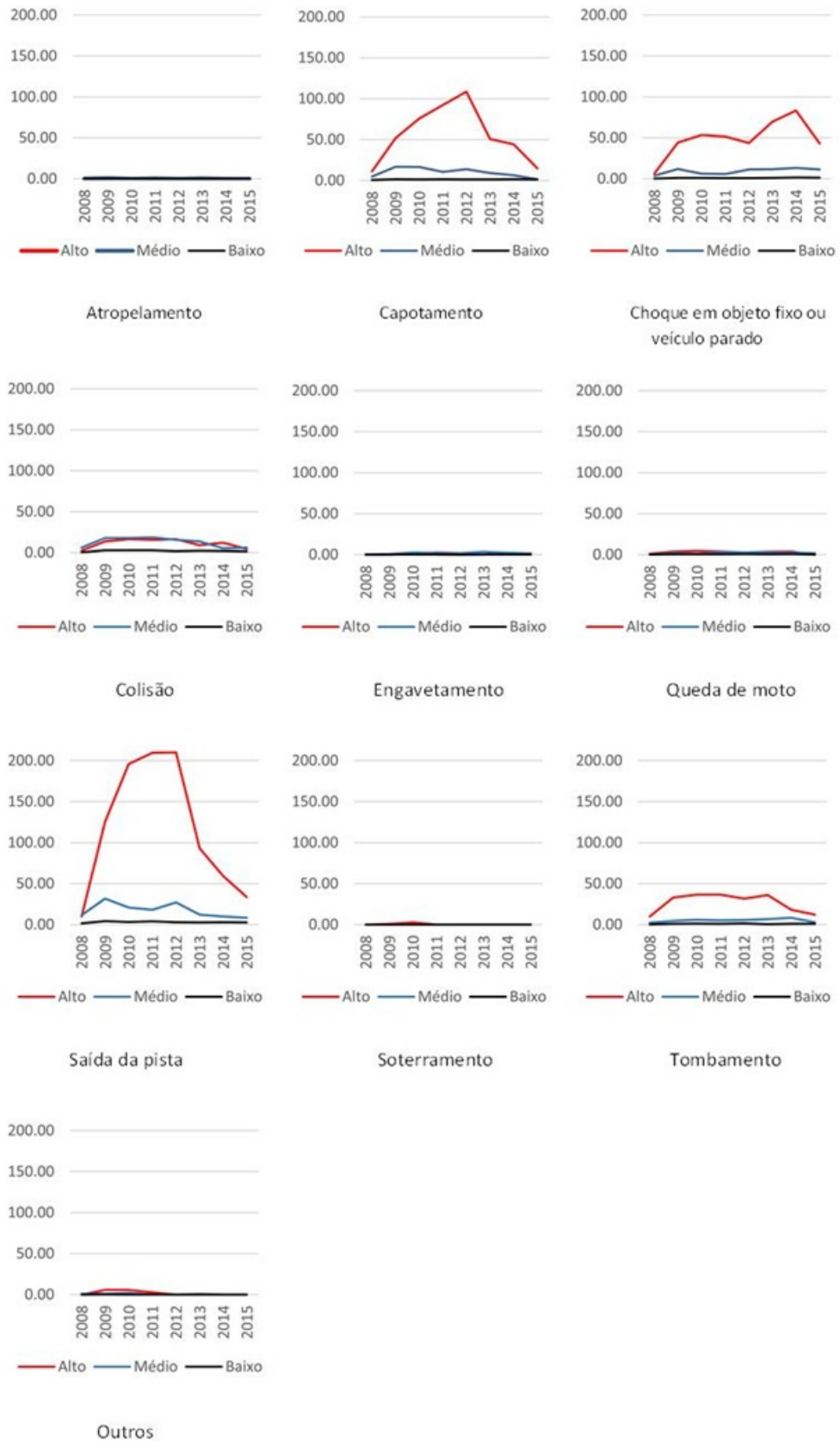


Figura 86: Taxa de acidentes por 100 mil veículos por quilômetro segundo o tipo de acidente

A seguir, apresenta-se uma análise dos acidentes na pista da Rodovia Régis Bittencourt, no período de agosto de 2008 a outubro de 2015, segundo o estado de saúde das vítimas e o tipo de acidente.

Em 2015, do total de acidentes com vítimas fatais, 31,0% aconteceram por motivo “choque em objeto fixo ou veículo parado”, 24,1% por “tombamento”, 12,6% por “capotamento”, 12,5% por colisão, 10% por “saída de pista” e 9,5% por “queda de moto”. A

Figura **87** mostra a porcentagem, acumulada por ano, do número de acidentes com vítimas fatais segundo o tipo de acidente. Nota-se que não houve acidentes pelo motivo “saída de pista” com vítimas fatais no período de 2011 a 2014, e a partir de 2013 aconteceram 33,9% e 53,5% do total de acidentes por motivo “tombamento” e “choque em objeto fixo ou veículo parado”, respectivamente. Por último, a partir de 2010, por motivo “atropelamento” ocorreram 12,3% do total de acidentes com vítimas fatais.

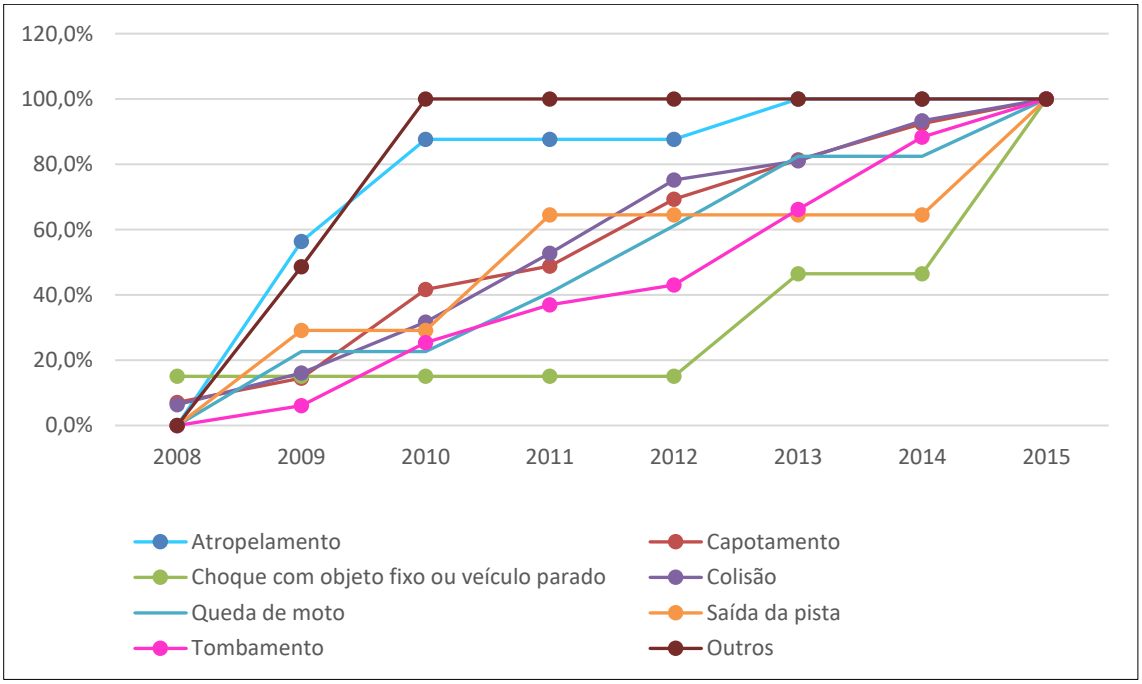


Figura 87: Porcentagem acumulada por ano do número de acidentes com vítimas fatais segundo o tipo de acidente

Na Figura 88 é apresentada a taxa de acidentes com vítimas fatais por 100 mil veículos segundo o tipo de acidente. Os acidentes com vítimas fatais pelos motivos “colisão” e “capotamento” mostraram uma clara tendência decrescente a partir do ano 2012. Estes tipos de acidentes diminuíram 70,1% e 63,2% respectivamente no ano 2015, quando comparado com 2012. Já os acidentes por motivo “tombamento” diminuíram 47% em relação ao ano de 2014. Destaca-se também, que em 2014 não houve acidentes com vítimas fatais por motivo “choque com objeto fixo ou veículo parado”, em contrapartida, em 2015, esta foi a maior causa de acidentes com vítimas fatais.

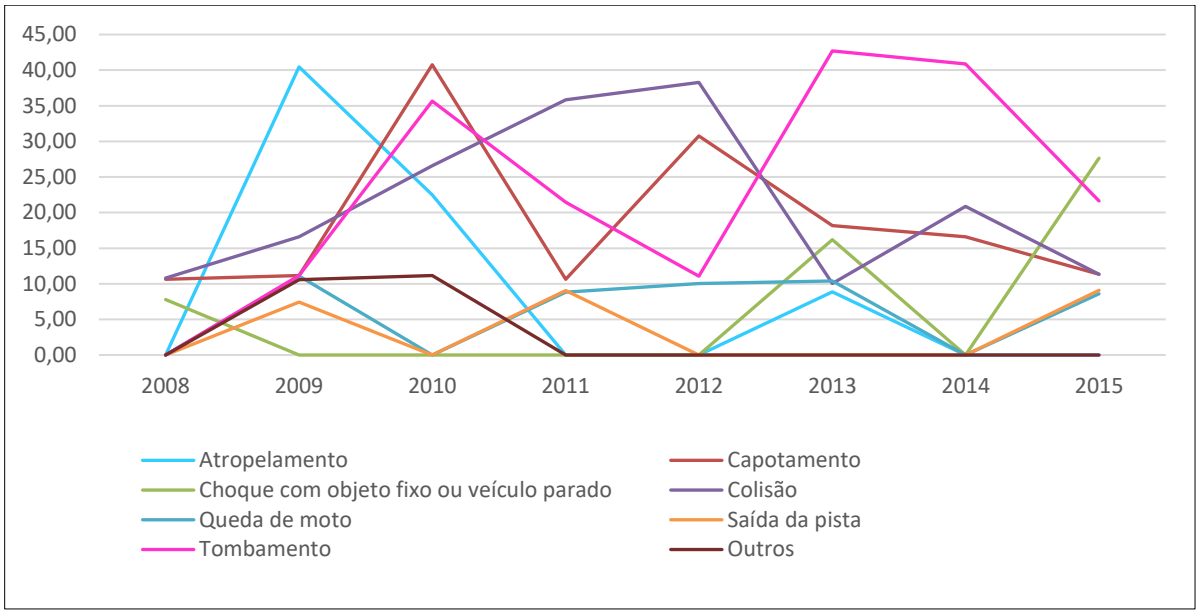


Figura 88: Porcentagem acumulada por ano do número de acidentes com vítimas fatais segundo o tipo de acidente

A Figura 89 ilustra a porcentagem acumulada por ano do número de acidentes sem vítimas fatais segundo o tipo de acidente. Destaca-se que a partir de 2010 não ocorreram acidentes sem vítimas fatais por motivo “soterramento”, em 2011 por outro tipo de acidentes diferentes aos estudados e, em 2015 por “atropelamento”. Adicionalmente, em 2015 os acidentes por motivo “engavetamento” e “choque com objeto fixo ou veículo parado” apresentaram os maiores aumentos em relação ao ano anterior, com 62,8% e 39,6% respectivamente. Por último, aproximadamente 85% dos acidentes pelos motivos “atropelamento” e “saída de pista” sem vítimas fatais aconteceram antes de 2013.

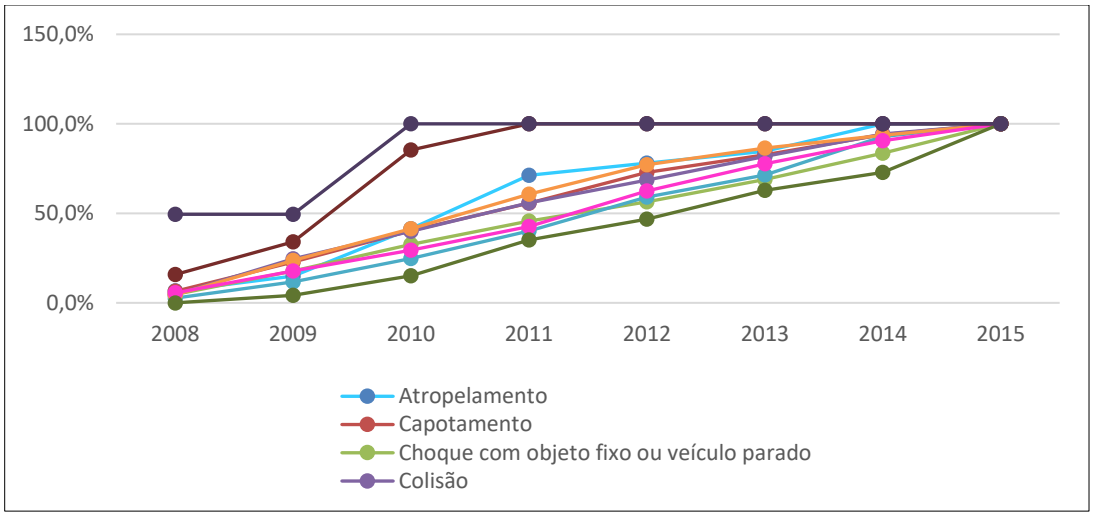


Figura 89: Porcentagem acumulada por ano do número de acidentes sem vítimas fatais segundo o tipo de acidente.

Na Figura 90 apresenta-se a taxa de acidentes com vítimas fatais por 100 mil veículos segundo o tipo de acidente. No ano de 2015, os acidentes sem vítimas fatais pelos motivos "capotamento", "choque com objeto fixo ou veículo parado" e "tombamento" totalizaram 62,3% do total de acidentes sem vítimas fatais. Destaca-se também, que os acidentes sem vítimas fatais por "capotamento" e "tombamento" mostraram uma clara tendência decrescente a partir do ano 2012, diminuindo 64,1% e 52,2% respectivamente, quando comparado ao ano de 2015. Por último, os acidentes sem vítimas fatais por "choque com objeto fixo ou veículo parado" aumentaram 58,8% de 2012 até 2015.

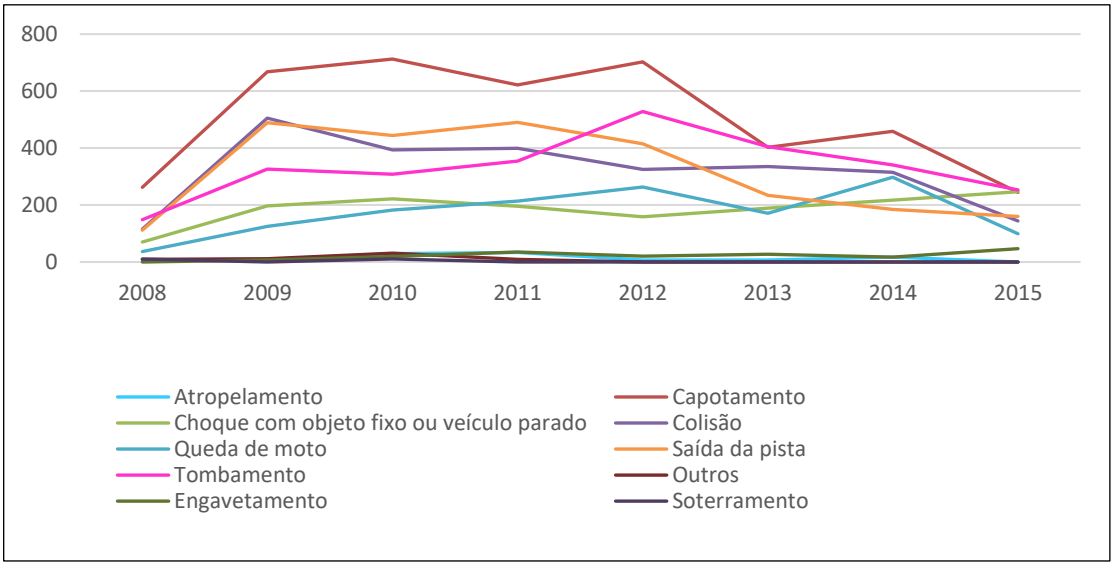


Figura 90: Taxa de acidentes sem vítimas fatais por 100 mil veículos segundo o tipo de acidente.

No ano de 2015, os acidentes sem vítimas pelo motivo “saída de pista” representaram 37,6% do total de acidentes sem vítimas. Na Figura 91 apresenta-se a porcentagem acumulada por ano do número de acidentes sem vítimas segundo o tipo de acidente. Destaca-se que nos anos de 2009 e 2010 não ocorreu acidentes sem vítimas por “atropelamento” e “soterramento”. Todavia, no período de 2008 a 2012 aconteceram 71,9%; 75,1%; 71,1% do total de acidentes sem vítimas pelos motivos “capotamento”, “saída de pista” e “tombamento”. Vide Figura 91 a seguir.

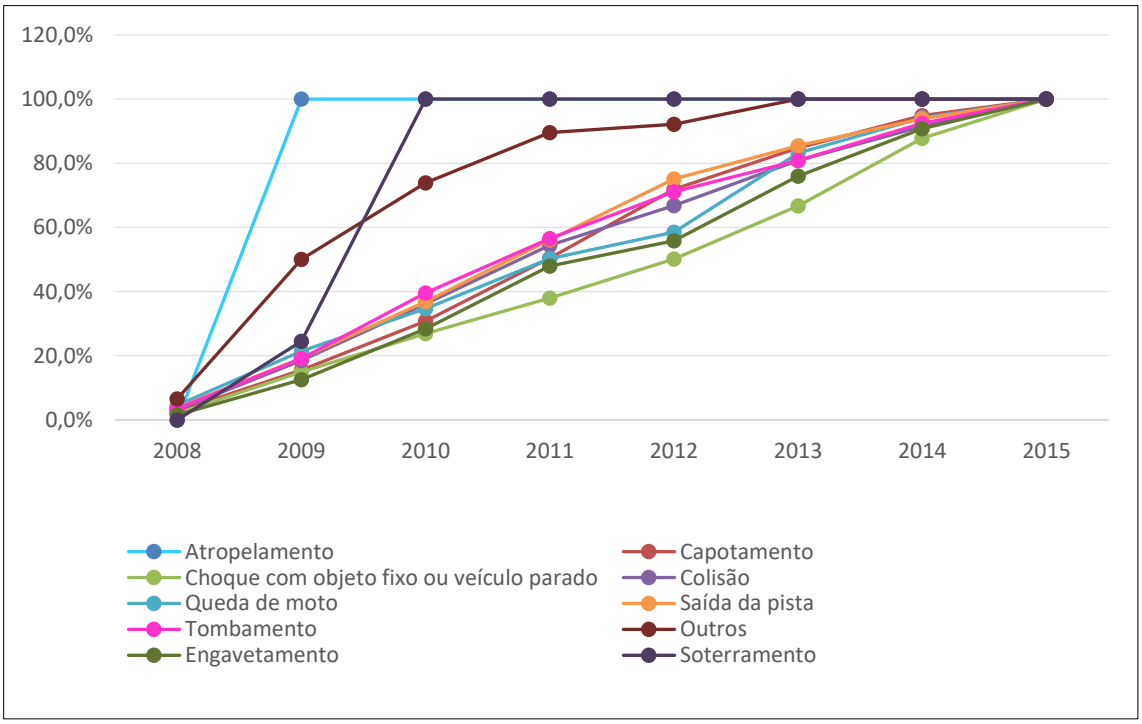


Figura 91: Porcentagem acumulada por ano do número de acidentes sem vítimas segundo o tipo de acidente.

Na Figura 92 apresenta-se a taxa de acidentes sem vítimas por 100 mil veículos segundo o tipo de acidente. Destaca-se que os acidentes por motivo “saída de pista” mostraram uma clara tendência decrescente a partir do ano 2012 diminuindo 67,5% do ano 2012 até 2015. Além disso, os acidentes por motivo “choque com objeto fixo ou veículo parado” totalizaram 28,5% do total de acidentes sem vítimas. Este tipo de acidente apresenta uma tendência crescente do ano 2011 até 2014, e a partir deste último ano, os acidentes diminuíram 41,73%. Por último, os acidentes sem vítimas por “capotamento” diminuíram 83,6% entre 2012 e 2015.

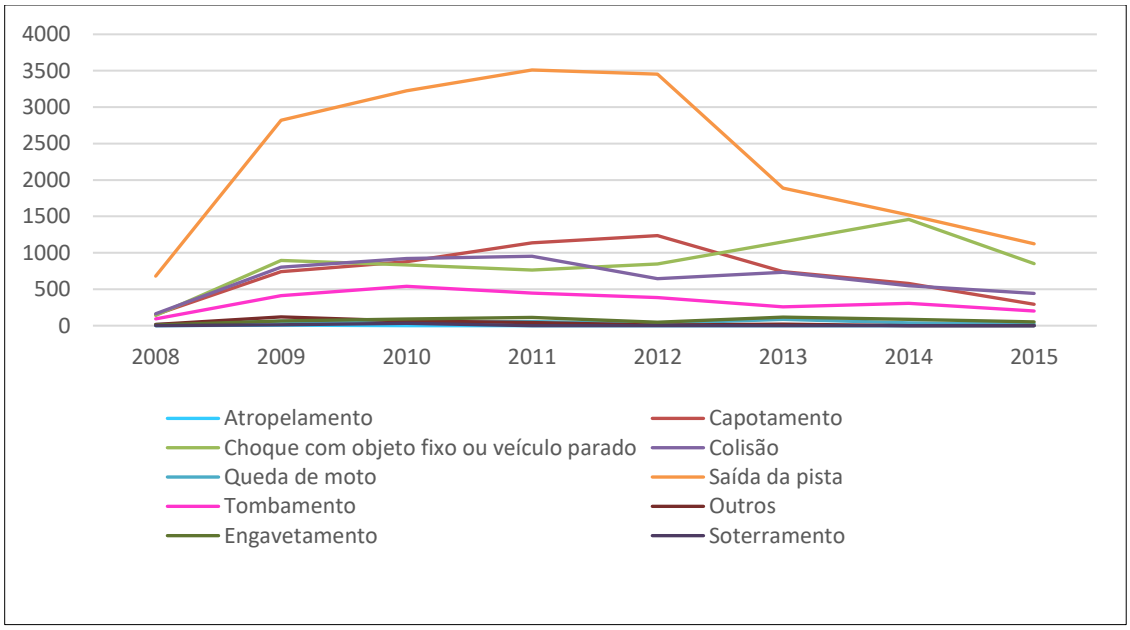


Figura 92: Taxa de acidentes sem vítimas por 100 mil veículos segundo o tipo de acidente.

Estas análises permitiram elaborar um panorama da segurança viária bastante abrangente e preciso da rodovia Régis Bittencourt. As informações aqui geradas, a partir dos resultados obtidos com as análises, fornecem importantes subsídios para gestores públicos e privados, bem como para a equipe técnica da rodovia, para atuarem de forma mais efetiva e eficiente na redução da quantidade e severidade dos acidentes, melhorando, desta forma, a qualidade do serviço prestado aos usuários, elevando o padrão de excelência da gestão rodoviária, e, o mais importante, salvando vidas.

6.4.2. Análise temporal de acidentes – Após a Intervenção para Pista Norte

Em junho e julho de 2016 realizaram-se, na pista sentido Norte, as intervenções com a solução asfáltica Gap-graded para alterações de atrito e textura nos trechos experimentais 1 (km 518 a km 517 + 530 m – liberado ao tráfego em 26/06/2016) e 2 (km 545 + 370 m a km 544 + 720 m – liberado ao tráfego em 12/07/2016).

Os trechos analisados compreendem os trechos experimentais mais 100 metros em cada extremidade, lembrando que na pista sentido Norte a numeração das estacas está em ordem decrescente em relação ao sentido do tráfego. A Figura 93 e a Figura 94, a seguir, ilustram os trechos analisados nos dois trechos experimentais da pista Norte.

Figura 93: Esquema do primeiro trecho analisado no trecho experimental 1

Figura 94: Esquema do segundo trecho analisado no trecho experimental 2

Uma análise comparativa é desenvolvida para analisar a frequência de acidentes antes e depois das intervenções. Vale ressaltar que os acidentes registrados nos dois últimos períodos ocorreram após as alterações de atrito.

Na Tabela 31 apresenta-se o número de acidentes nos dois trechos com alterações em quatro períodos. Observa-se que no trecho 517,530 km ao 518,000 km no primeiro período após as intervenções houve uma diminuição de acidentes de 77,8%, já no segundo período os acidentes aumentaram 12,9% em relação ao período imediatamente anterior as intervenções. Por outro lado, no trecho 544,720km ao 545,370km nota-se uma diminuição de acidentes após as intervenções de mais de 48% em relação ao período imediatamente anterior as intervenções.

517,530 km ao 518,000 km	26Jun/2014 25Jun/2015	26Jun/2015 25Jun/2016	26Jun/2016 25Jun/2017	26Jun/2017 25Jun/2018
	47	36	8 (-77,8%)	41 (+12,9%)
544,720 km ao 545,370 km	17Jul/2014 16Jul/2015	17Jul/2015 16Jul/2016	17Jul/2016 16Jul/2017	17Jul/2017 16Jul/2018
	25	29	15 (-48,3%)	12 (-58,6%)

Tabela 31: Frequência de acidentes nos trechos com intervenção no sentido norte

Na Figura 95 apresenta-se o número de acidentes no trecho km 517,530 -100 m ao km 518,000 + 100 m segundo o tipo de acidente. Nota-se que nesse trecho os acidentes ocorrem majoritariamente por capotamento, choques com objeto fixo ou veículo parado e por saída da pista. Vale ressaltar que, no primeiro período após as intervenções, houve uma diminuição significativa de 92,3%, 83,3% e 92,3% em relação aos acidentes decorrentes de capotamento, choques e saída da pista, respectivamente. Já no último período do estudo observa-se um aumento significativo de acidentes em relação ao período imediatamente anterior. No entanto, quando comparado com o período anterior as intervenções observa-se que não há um aumento de acidentes por choque ou capotamento, já por saída da pista nota-se que houve um aumento de 63,6%.

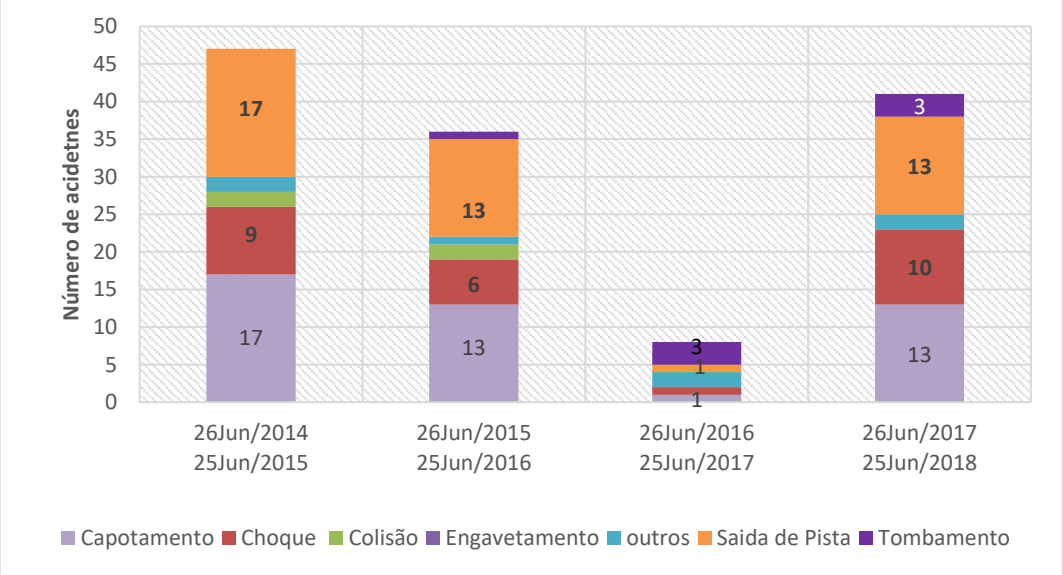


Figura 95: Frequência de acidentes no trecho km 517,430 ao km 518,100 segundo o tipo de acidentes.

Na Figura 96 apresenta-se o número de acidentes segundo a condição do pavimento no instante da ocorrência. Nota-se que, neste trecho, os acidentes ocorreram majoritariamente na presença de pista molhada. Nessa condição, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções ocorreram, respectivamente, 88,8% (32) e 25,0% (2) dos acidentes. Isto é, houve uma redução de acidentes, nesta condição, de 93,8%. Por outra parte, no

último período de estudo, houve um aumento de acidentes, na presença de pista molhada de 78,2% (32) em relação ao período imediatamente anterior as alterações.

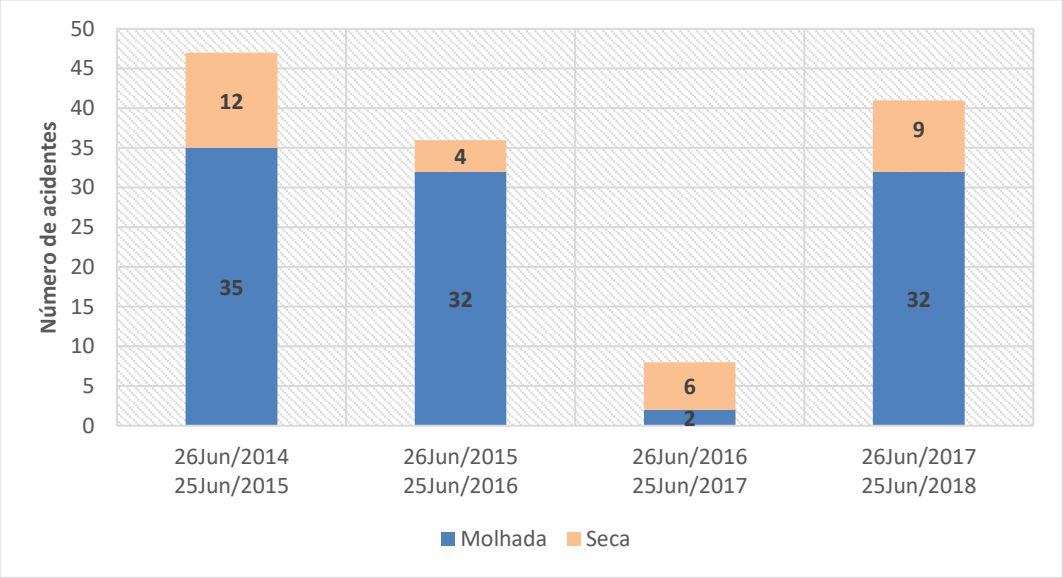


Figura 96: Frequência de acidentes no trecho km 517,430 ao km 518,100 segundo a condição da pista.

A distribuição de acidentes segundo a condição da pista e da visibilidade no instante da ocorrência é apresentada na Tabela 32. Ressalta-se que os acidentes, nesse trecho, antes das intervenções, aconteceram principalmente na presença de pista molhada e visibilidade boa. Por outro lado, no primeiro período após as alterações de atrito observa-se que 87,5% (7) dos acidentes foram registrados com visibilidade boa, já no período anterior haviam sido registrados 63,9% (23), isto é, houve uma diminuição de 69,6%. Por último vale ressaltar que, no último período, 46,3% (19) dos acidentes acorreram na presença de pista molhada e visibilidade ruim.

Condição de Visibilidade	Condição da pista	10Dez/2014 30Nov/2015	10Dez/2015 30Nov/2016	10Dez/2016 30Nov/2017	10Dez/2017 30Nov/2018
Boa	Molhada	20(42.55%)	20(55.56%)	2(25.00%)	13(31.71%)
	Seca	11(23.40%)	3(8.33%)	5(62.50%)	8(19.51%)
	Total	31(65.96%)	23(63.89%)	7(87.50%)	21(51.22%)
Ruim	Molhada	15(31.91%)	12(33.33%)	0(0.00%)	19(46.34%)
	Seca	1(2.13%)	1(2.78%)	1(12.50%)	1(2.44%)
	Total	16(34.04%)	13(36.11%)	1(12.50%)	20(48.78%)

Tabela 32: Distribuição de acidentes segundo a condição e visibilidade da pista no instante da ocorrência.

Com relação às consequências dos acidentes, observa-se que nesse trecho os incidentes são registrados principalmente por danos materiais. Vale destacar que no primeiro período após as intervenções houve uma diminuição de 85,7% de acidentes com danos materiais e de 62.5% com vítimas em relação ao período anterior (ver Figura 97). No entanto, no último período do estudo (após intervenções) 82,9% (34) dos acidentes foram registrados com danos matérias representando um aumento de 17,6% em relação ao período imediatamente anterior as intervenções.

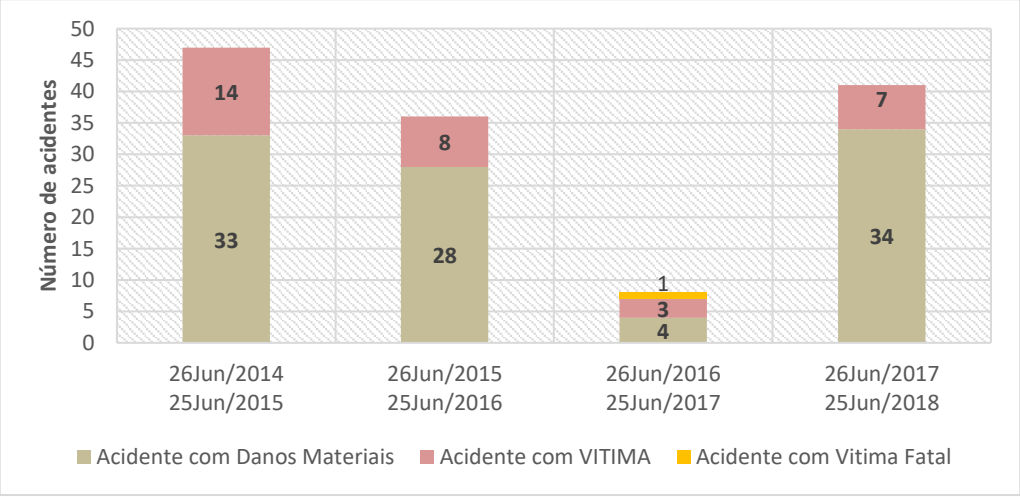


Figura 97: Frequência de acidentes no trecho km 517,430 ao km 518,100 segundo o tipo do acidente.

Finalmente, na Figura 98 apresenta-se o tipo de vítimas registradas nesse trecho. Observa-se que são registrados principalmente ilesos. No primeiro período após as intervenções foram registrados 80,6% menos de ilesos em relação ao período imediatamente anterior às intervenções. Por outro lado, ressalta-se que, no último período do estudo (após intervenções) 85,1% (40) dos acidentados foram registrados como ilesos implicando um aumento de 22.5% em relação ao período imediatamente anterior as intervenções.

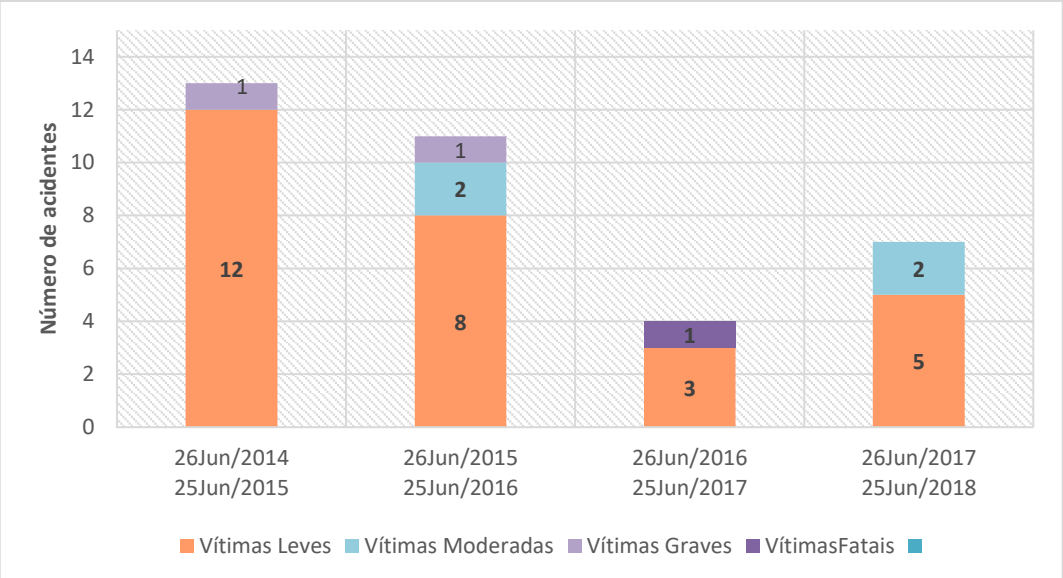


Figura 98: Frequência de acidentes no trecho km 517,430 ao km 518,100 segundo o tipo de vítima.

Análise do Trecho Experimental 2 - Sentido Norte

Na Figura 99 apresenta-se o número de acidentes no trecho km 544,720 -100 m ao km 545,370 + 100 m segundo o tipo de acidente. Nota-se que nesse trecho os acidentes ocorrem majoritariamente por choques com objeto fixo ou veículo parado e por capotamento. Vale ressaltar que, nos dois períodos após as intervenções, houve uma diminuição significativa de 61,5% dos acidentes decorrentes de choques em relação ao período anterior as intervenções. Já no último período do estudo observa-se um aumento significativo de acidentes em relação ao período imediatamente anterior. Por último é de ressaltar que depois das intervenções não houve diminuição significativa de acidentes decorrentes de capotamento.

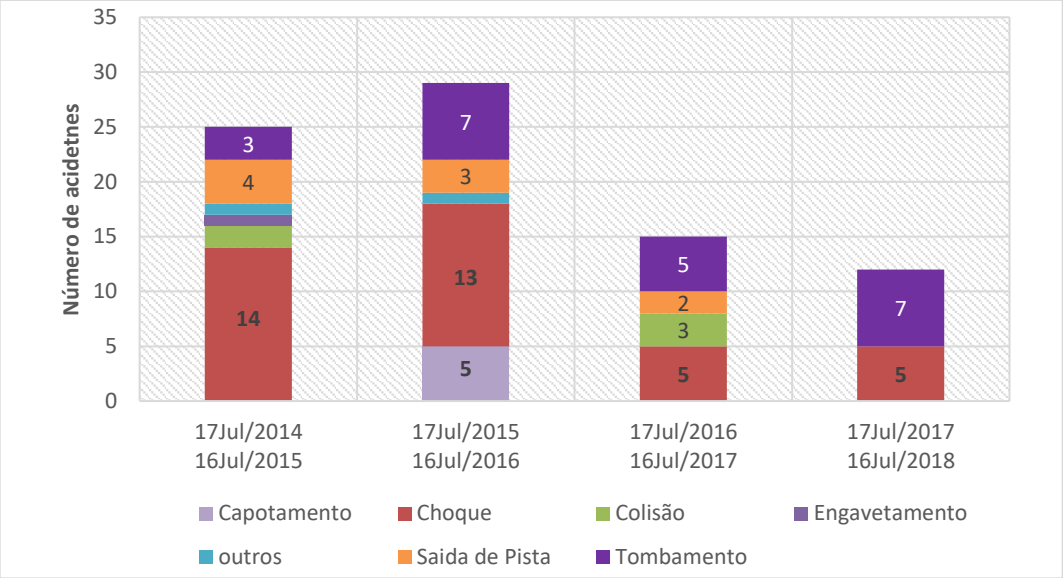


Figura 99: Frequência de acidentes no trecho km 544,620 ao km 545,470segundo o tipo de acidentes.

Na Figura 100 apresenta-se o número de acidentes segundo a condição do pavimento no instante da ocorrência. Nota-se que, neste trecho, os acidentes ocorreram majoritariamente na presença de pista molhada. Nessa condição, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções ocorreram, respectivamente, 75,8% (22) e 25,0% (9) dos acidentes. Isto é, houve uma redução de acidentes, nesta condição, de 59,1%. Finalmente, no último período de estudo observa-se que os acidentes registrados na presença de pista molhada continuaram diminuindo, nessa condição houve uma redução de acidentes de 68,2% em relação ao período imediatamente anterior as intervenções.

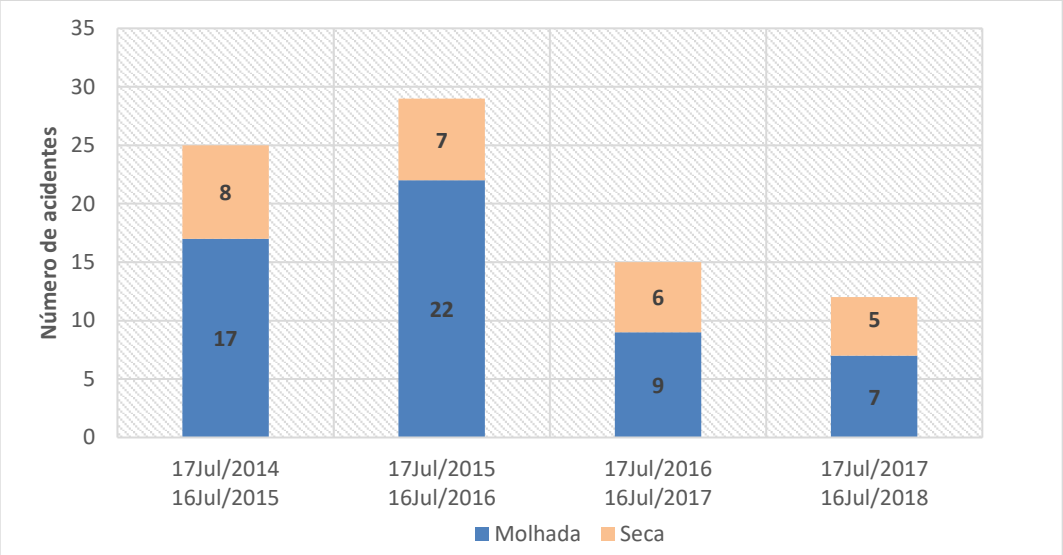


Figura 100: Frequência de acidentes no trecho km 544,620 ao km 545,470 segundo a condição da pista.

A distribuição de acidentes segundo a condição da pista e da visibilidade no instante da ocorrência é apresentada na Tabela 33. Ressalta-se que os acidentes, nesse trecho, antes das intervenções aconteciam principalmente quando a visibilidade era boa. É de ressaltar que a maior diminuição de acidentes, após as intervenções, se observa na presença de pista molhada e visibilidade boa, nos dois últimos períodos houve, respectivamente, uma diminuição de acidentes de 66,7% e 88,8% nessa condição em relação ao período imediatamente anterior as intervenções.

Condição de Visibilidade	Condição da pista	17Jul/2014 16Jul/2015	17Jul/2015 16Jul/2016	17Jul/2016 16Jul/2017	17Jul/2017 16Jul/2018
Boa	Molhada	9 (36.00%)	9 (31.03%)	3 (20.00%)	1 (8.33%)
	Seca	8 (32.00%)	7 (24.14%)	6 (40.00%)	5 (41.67%)
	Total	17 (68.00%)	16 (55.17%)	9 (60.00%)	6 (50.00%)
Ruim	Molhada	8 (32.00%)	13 (44.83%)	6 (40.00%)	6 (50.00%)
	Seca	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)
	Total	8 (32.00%)	13 (44.83%)	6 (40.00%)	6 (50.00%)

Tabela 33: Distribuição de acidentes segundo a condição e visibilidade da pista no instante da ocorrência.

Com relação às consequências dos acidentes, observa-se que nesse trecho os incidentes são registrados principalmente por danos materiais. Vale destacar que nos períodos após as intervenções houve uma diminuição de 50,0% de acidentes com danos materiais e de 54.5% de acidentes com vítimas em relação ao período anterior as alterações (ver Figura 101).

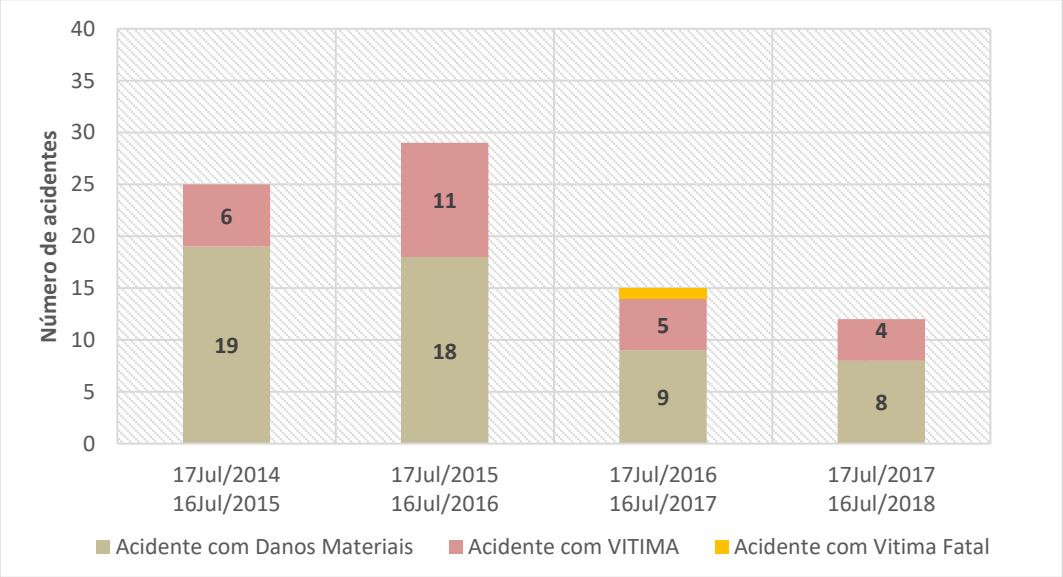


Figura 101: Frequência de acidentes no trecho km 544,620 ao km 545,470 segundo o tipo de vítima.

Finalmente, na Figura 102 apresenta-se o tipo de vítimas registradas nesse trecho. Observa-se que são registrados principalmente ilesos. No primeiro e no segundo período, após as intervenções, foram registrados, respectivamente, 52,4% e 61,9% menos de ilesos em relação ao período imediatamente anterior às intervenções. Por último destaca-se que no último período foi registrada uma vítima com status grave.

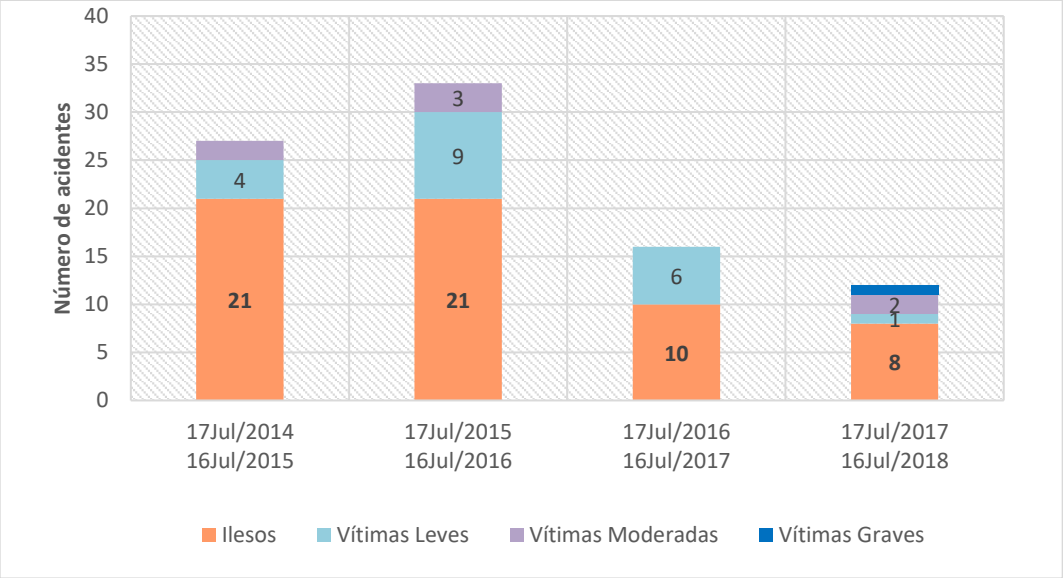


Figura 102: Frequência de acidentes no trecho km 544,620 ao km 545,470 segundo o tipo de vítima.

6.4.3. Análise temporal de acidentes – Após a Intervenção para Pista Sul

Em novembro e dezembro de 2017 realizaram-se, na pista sentido Sul, as intervenções com tratamento superficial duplo (TSD) para alterações de textura e atrito no trecho experimental 1 (km 548 + 784 m ao km 549 + 420 m - liberada ao tráfego em 15/11/2017) e no trecho experimental 2 (km 560 ao km 563 + 300 m – liberada ao tráfego em 10/12/2017).

Os trechos analisados compreendem os trechos experimentais mais 100 metros em cada extremidade, lembrando que na pista sentido Sul a numeração das estacas está em ordem crescente em relação ao sentido do tráfego. A Figura 103 e a Figura 104, a seguir, ilustram os trechos analisados nos dois trechos experimentais da pista Sul.

Figura 103: Esquema do primeiro trecho analisado no trecho experimental 1

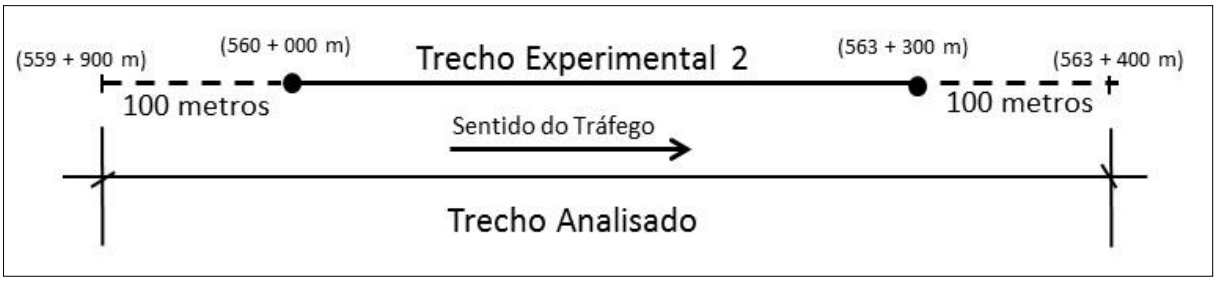


Figura 104: Esquema do primeiro trecho analisado no trecho experimental 2

Uma análise comparativa é desenvolvida para analisar a frequência de acidentes antes e depois das intervenções. Vale ressaltar que os acidentes registrados no último período ocorreram após as alterações de atrito.

Na Tabela 34 apresenta-se o número de acidentes nos dois trechos com alterações em quatro períodos. Observa-se que após as intervenções, no último período, houve uma diminuição de acidentes 75,8% e de 89,0%, nos trechos 548,784 km ao 549,420 km e 560,000km ao 563,300km, respectivamente.

548,784 km ao 549,420 km	15Nov/2014 14Nov/2015	15Nov/2015 14Nov/2016	15Nov/2016 14Nov/2017	15Nov/2017 14Nov/2018
	25	30	29	7 (-75,8%)
560,000km ao 563,300km	10Dez/2014 30Nov/2015	10Dez/2015 30Nov/2016	10Dez/2016 30Nov/2017	10Dez/2017 30Nov/2018
	109	161	200	22 (-89,0%)

Tabela 34: Frequência de acidentes nos trechos com intervenção no sentido sul.

Análise do Trecho Experimental 1 - Sentido Sul

Na Figura 105 apresenta-se o número de acidentes no trecho km 548,784 -100 m ao km 549,420 + 100 m segundo o tipo de acidente. Nota-se que nesse trecho os acidentes ocorrem majoritariamente por choques com objeto fixo ou veículo parado. Nos dois últimos períodos antes das intervenções (15nov/2015 a 14Nov/2016 e 15nov/2016 a 14Nov/2017), foram registrados 20 acidentes do tipo choque, respectivamente. Já no período após as intervenções aconteceram 7 acidentes por choques significando uma redução de 65,0% em

relação ao período anterior às intervenções. Finalmente, vale destacar que, após as intervenções, não foram registrados acidentes por saída da pista.

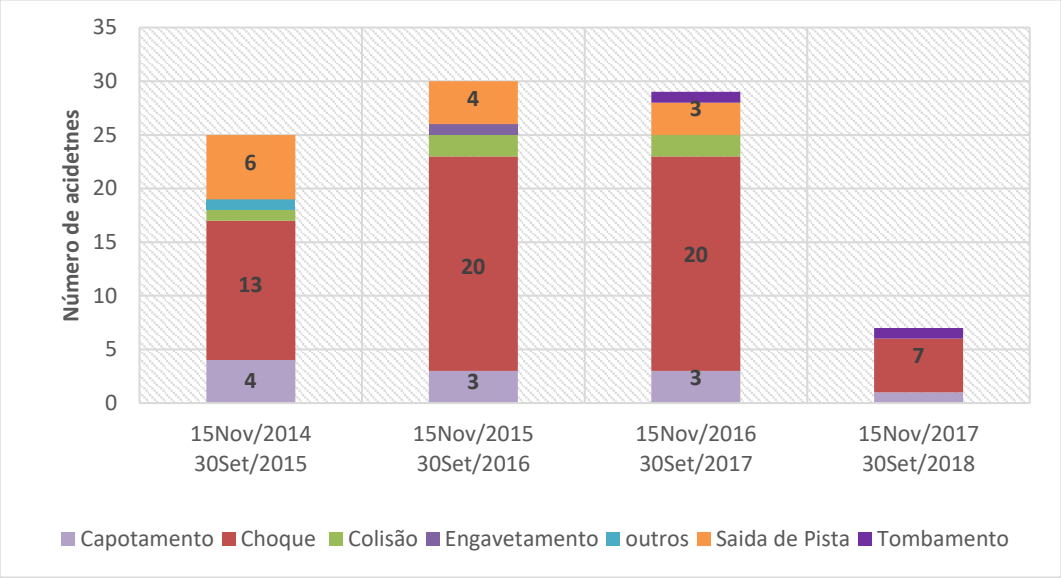


Figura 105: Frequência de acidentes no trecho km 548,684 ao km 549,520 segundo o tipo de acidentes.

Na Figura 106 apresenta-se o número de acidentes segundo a condição do pavimento no instante da ocorrência. Nota-se que nesse trecho os acidentes ocorriam majoritariamente na presença de pista molhada. Nesta condição, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções, foram registrados 79,3% (23) e 57,1% (4) dos acidentes, respectivamente, indicando uma redução de acidentes depois das intervenções em pavimento molhado de 82,6% em relação ao período anterior. Finalmente, observa-se também que houve uma redução de 50% dos acidentes registados em pista seca depois das intervenções em relação ao período imediatamente anterior.

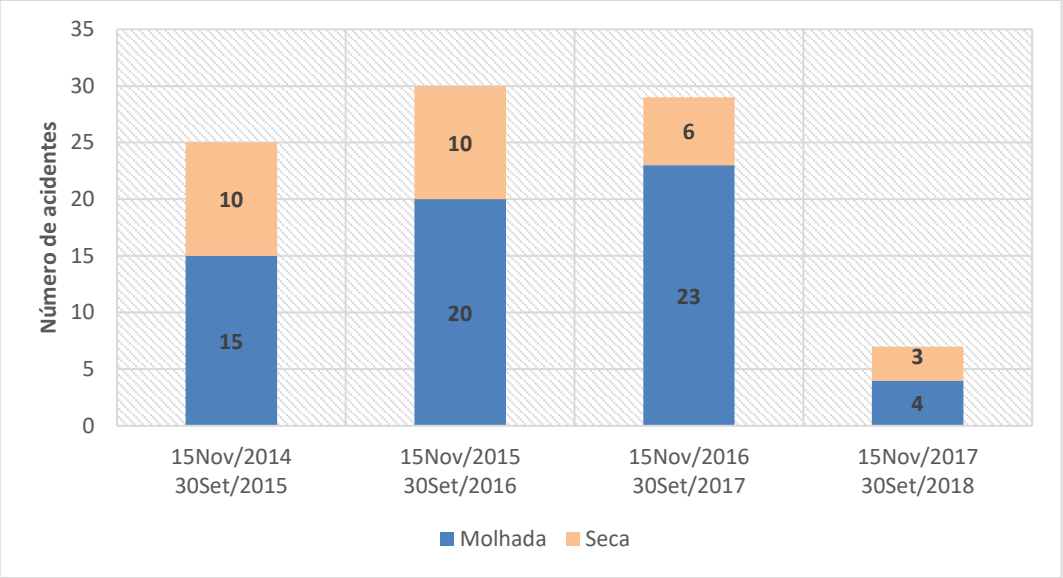


Figura 106: Frequência de acidentes no trecho km 548,684 ao km 549,520 segundo a condição da pista

A distribuição de acidentes segundo a condição da pista e da visibilidade no instante da ocorrência é apresentada na Tabela 35. Ressalta-se que os acidentes, nesse trecho, acontecem principalmente quando a visibilidade é boa. Nesta condição, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções aconteceram 62,0% (18) e 71.4% (5) dos acidentes, respectivamente. Por último observa-se que 42,86% (3) dos acidentes registrados depois das intervenções aconteceram na presença de pista seca e visibilidade boa.

Condição de Visibilidade	Condição da pista	15Nov/2014 30Set/2015	15Nov/2015 30Set/2016	15Nov/2016 30Set/2017	15Nov/2017 30Set/2018
Boa	Molhada	5 (20.00%)	11 (36.67%)	12 (41.38%)	2 (28.57%)
	Seca	9 (36.00%)	9 (30.00%)	6 (20.69%)	3 (42.86%)
	Total	14 (56.00%)	20 (66.67%)	18 (62.07%)	5 (71.43%)
Ruim	Molhada	10 (40.00%)	9 (30.00%)	11 (37.93%)	2 (28.57%)
	Seca	1 (4.00%)	1 (3.33%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)
	Total	11 (44.00%)	10 (33.33%)	11 (37.93%)	2 (28.57%)

Tabela 35: Distribuição de acidentes segundo a condição e visibilidade da pista no instante da ocorrência.

Com relação às consequências dos acidentes, observa-se que nesse trecho os incidentes são registrados principalmente por danos materiais. Por último, vale destacar que após as intervenções houve uma diminuição de 80,8% acidentes com danos materiais (ver Figura 107).

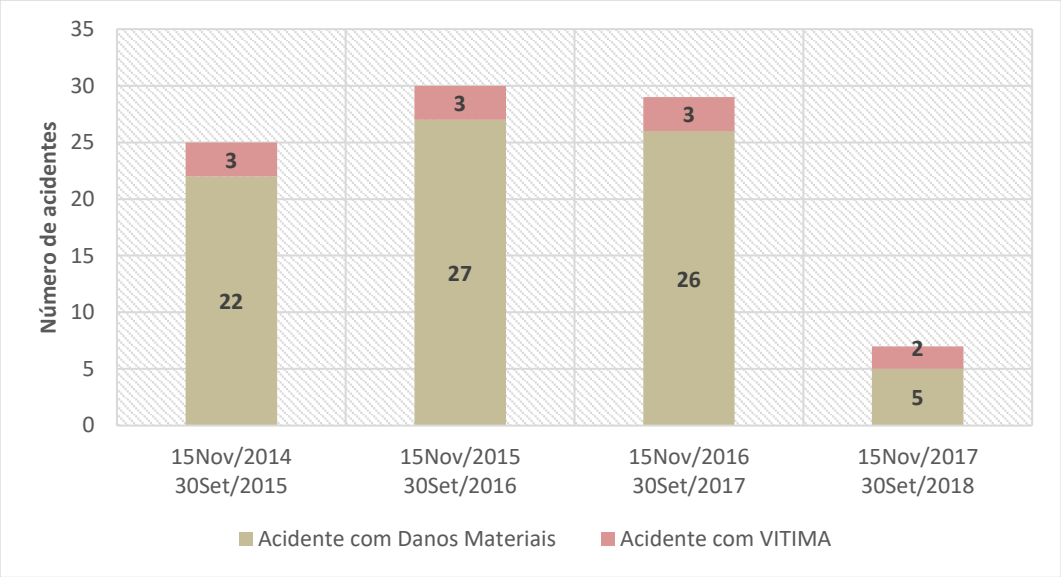


Figura 107: Frequência de acidentes no trecho km 548,684 ao km 549,520 segundo o tipo do acidente.

Finalmente, na Figura 108 apresenta-se o tipo de vítimas registradas nos acidentes ocorridos nesse trecho. Observa-se que são registrados principalmente ilesos. Após as intervenções foram registrados 80,8% menos de ilesos em relação ao período anterior. Por outro lado, ressalta-se que, em média, houve duas vítimas leves em cada um dos quatro períodos de estudo.

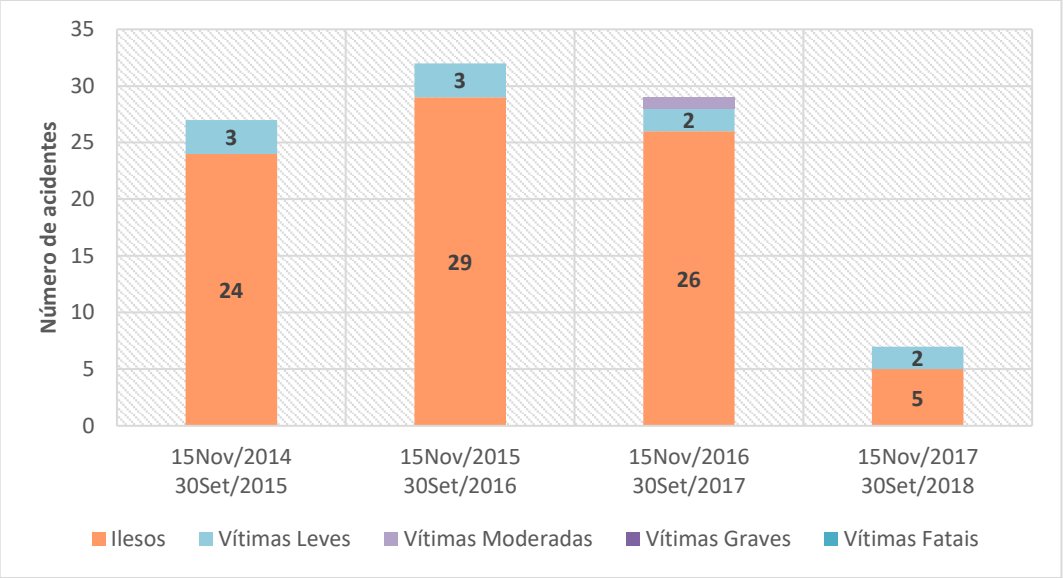


Figura 108: Frequência de acidentes no trecho km 548,684 ao km 549,520 segundo o tipo de vítima.

Análise do Trecho Experimental 2 - Sentido Sul

Na Figura 109 mostra-se a frequência de acidentes segundo o tipo de acidente no trecho km 560,00 -100 m ao km 563,300 + 100 m. Nota-se que nesse trecho os acidentes ocorrem majoritariamente por choques com objeto fixo ou veículo parado, por capotamento e por saída da pista. Nos dois últimos períodos antes das intervenções, 10Dez de 2015 a 30Nov de 2016 e 10Dez de 2016 a 30Nov de 2017, foram registrados, respectivamente, 46,6% (75) e 60,2% (121) dos acidentes devido a choques. Por outro lado, no período depois das intervenções aconteceram 40,9% (9) dos acidentes por choques, indicando uma redução de 92,5% e 88,0% em relação aos dois últimos períodos anteriores às intervenções. Finalmente, foram registrados após as intervenções 7 acidentes por saída da pista e capotamento. Já no período imediatamente anterior foram registrados em total 56 acidentes por saída da pista e capotamento o que evidencia uma redução de 87,5% de ocorrências por esse tipo de acidentes.

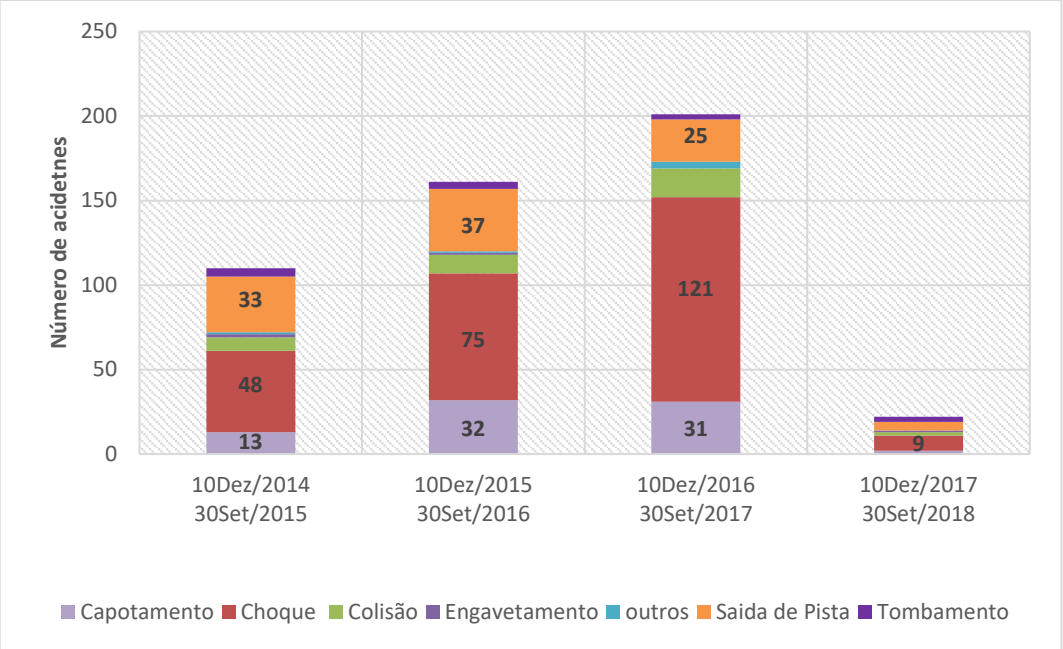


Figura 109: Frequência de acidentes no trecho km 559,900 ao km 563,400 segundo o tipo de acidentes.

Na Figura 110 apresenta-se o número de acidentes, segundo a condição do pavimento no instante da ocorrência. Nota-se que, neste trecho, os acidentes ocorreram majoritariamente na presença de pista molhada e que ademais existia uma tendência crescente, claramente, interrupta após as alterações de atrito. Na presença de pista molhada, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções ocorreram, respectivamente, 80,5% (161) e 54,5% (12) dos acidentes. Isto é, houve uma redução de acidentes, nesta condição, de 92,5%. Finalmente em relação aos acidentes registrados quando o pavimento estava seco observa-se que também houve uma diminuição de acidentes de 74,36% quando comparados os períodos imediatamente anterior e posterior as intervenções.

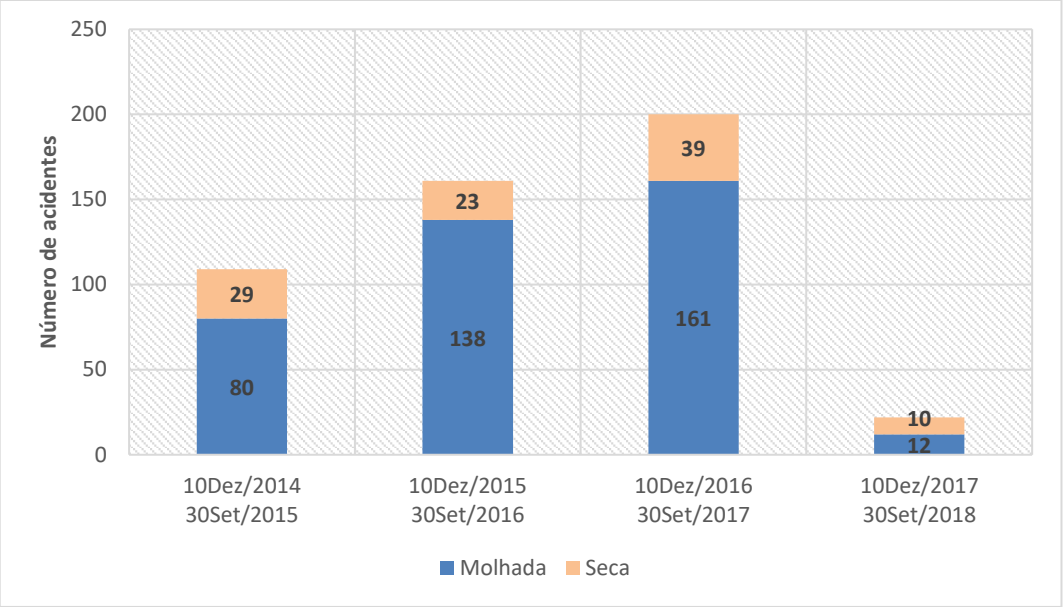


Figura 110: Frequência de acidentes no trecho km 559,900 ao km 563,400 segundo a condição da pista

A distribuição de acidentes segundo a condição da pista e da visibilidade no instante da ocorrência é apresentada na Tabela 36. Ressalta-se que os acidentes, nesse trecho, acontecem principalmente quando a visibilidade é boa. Nesta condição, no período imediatamente anterior e posterior as intervenções aconteceram, respectivamente, 71,5% (143) e 59,1% (13) dos acidentes. Por último, observa-se que houve uma maior redução de acidentes na presença de pista molhada e visibilidade boa, no período imediatamente anterior as alterações foram registrados 52.5% (105) dos acidentes, já após as intervenções observaram-se 27.7% (6) dos acidentes nessas condições. Isto é, houve uma redução de 94,3% desse tipo de acidentes.

Condição de Visibilidade	Condição da pista	10Dez/2014 30Nov/2015	10Dez/2015 30Nov/2016	10Dez/2016 30Nov/2017	10Dez/2017 30Nov/2018
Boa	Molhada	40 (36.70%)	64 (39.75%)	105 (52.50%)	6 (27.27%)
	Seca	25 (22.94%)	18 (11.18%)	38 (19.00%)	7 (31.82%)
	Total	65 (59.63%)	82 (50.93%)	143 (71.50%)	13 (59.09%)
Ruim	Molhada	40 (36.70%)	74 (45.96%)	56 (28.00%)	6 (27.27%)
	Seca	4 (3.67%)	5 (3.11%)	1 (0.50%)	3 (13.64%)
	Total	44 (40.37%)	79 (49.07%)	57 (28.50%)	9 (40.91%)

Tabela 36: Distribuição de acidentes segundo a condição e visibilidade da pista no instante da ocorrência.

Com relação às consequências dos acidentes, observa-se que nesse trecho os incidentes são registrados principalmente por danos materiais. Por último, vale destacar que, após as intervenções houve uma diminuição de 90,2% acidentes com danos materiais e 75,0% com vítimas (ver Figura 111).

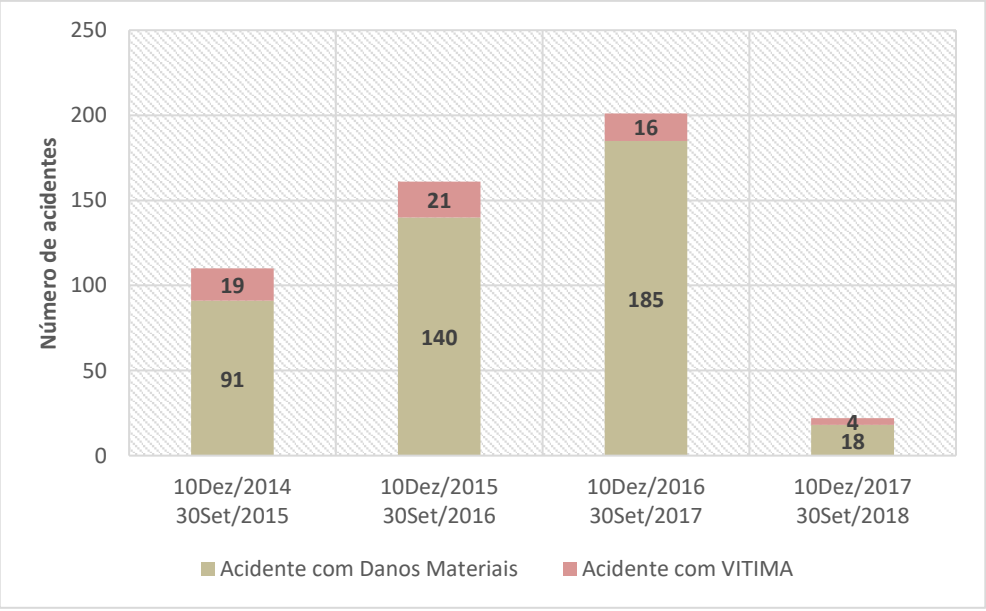


Figura 111: Frequência de acidentes no trecho km 559,900 ao km 563,400 segundo o tipo do acidente.

Finalmente, na Figura 112 apresenta-se o tipo de vítimas registradas nesse trecho. Observa-se que são registrados principalmente ilesos. Após as intervenções foram registrados 90,3% menos de ilesos em relação ao período anterior. Por outro lado, ressalta-se que, em cada um dos três períodos anteriores as alterações registraram-se, em média, 17 vítimas leves, já no último período foram registradas 4 vítimas leves.

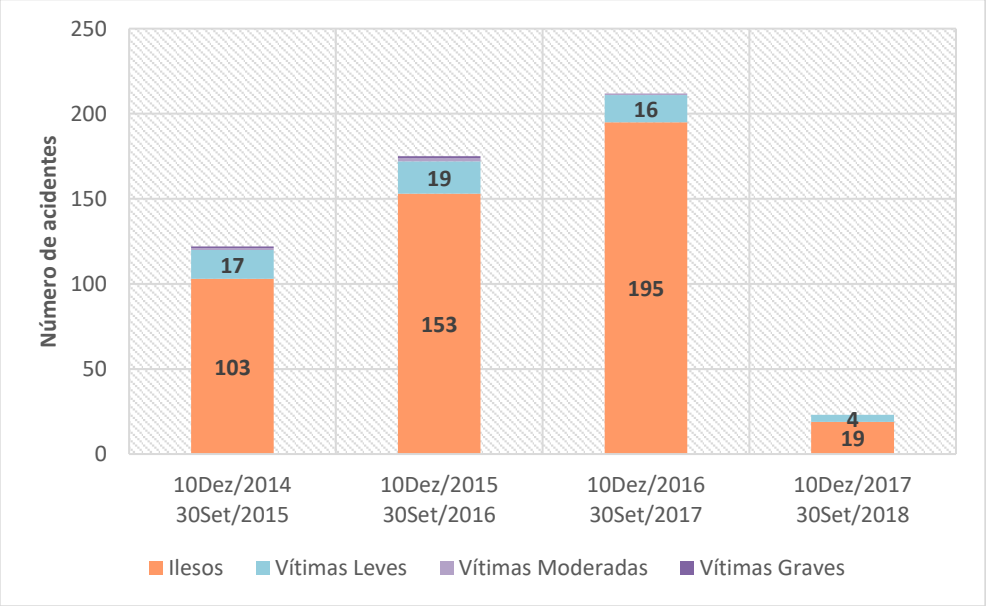


Figura 112: Frequência de acidentes no trecho km 559,900 ao km 563,400 segundo o tipo de vítima.

6.4.4. Modelo de regressão para previsão de acidentes – Pista Norte

Os acidentes de trânsito são um tema recorrente na literatura em razão da magnitude do problema e das consequências nefastas. Na última década, foram propostos numerosos modelos para estabelecer relações entre a frequência de acidentes e informações relacionadas com o fluxo de veículos, características geométricas das rodovias, velocidade permitida ou outros atributos relacionados, principalmente, à segurança das estradas.

Os Modelos Lineares Generalizados (MLG) têm sido amplamente utilizados para analisar dados de acidente em estradas urbanas ou rurais. Hardin e Hilbe (2007) afirmam que os MLG, assumindo as distribuições de Poisson ou Binomial Negativa, são os mais recorrentes

para modelar a frequência de acidentes viários, além de serem capazes de oferecer uma abordagem mais adequada e corretamente fundamentada para a análise desses dados. No entanto, para acomodar a alta variedade de situações, novas extensões destas distribuições vêm sendo desenvolvidas. Exemplos de extensões da distribuição de Poisson: Cheng *et al*. (2013) usaram um Poisson-modelo linear generalizado Weibull para analisar dados de acidentes de trânsito; Lord *et al*. (2008, 2010) aplicaram o modelo Conway - Maxwell (modelo linear de Poisson generalizado) para a análise de acidentes com veículos automotores. Outros estudos utilizam extensões derivadas da distribuição binomial negativa para ajustar, por exemplo, o excesso de zeros, como é proposto nos trabalhos de Geedipally *et al*. (2012) e Lord e Geedipally (2011).

Esta etapa do estudo tem como objetivo propor um modelo estatístico para prever acidentes de trânsito e entender os principais fatores (geometria da pista, condições do pavimento, condição de visibilidade, entre outros) que influenciam na frequência destas ocorrências na Rodovia Régis Bittencourt, na pista sentido Norte.

Na ausência de informações quantitativas, uma abordagem é proposta usando os Modelos Mistos Lineares Generalizados (MMLG), que é uma extensão dos modelos MLG, nos quais o preditor linear contém efeitos aleatórios, além dos efeitos fixos usuais. Usando este modelo, será estimado o número médio de ocorrências em trechos com determinado tipo de traçado e perfil, condicionado, por sua vez, ao tipo de curva e perfil existente 500 metros antes do local estudado. Numa segunda etapa, baseado nas estimativas anteriores, é calculado o número médio de ocorrências por quilômetros.

Os acidentes na pista Norte da Rodovia Régis Bittencourt foram coletados dos registros fornecidos pela Concessionária Autopista Régis Bittencourt. Nesta análise são estudados os acidentes ocorridos no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015.

6.4.4.1. Modelo de Regressão

Na presente pesquisa, utilizou-se a distribuição de Poisson, uma vez que os gráficos residuais usuais indicaram que não há afastamento das suposições do modelo. Parâmetros aleatórios

podem ser apropriados em nosso caso, dada a potencial heterogeneidade dos dados e a ausência de informações importantes sobre a rodovia.

O número médio de ocorrências (μ_{ij}), no período de estudo, em trechos com uma combinação geométrica de perfil e traçado j, considerados no pedágio i, é relacionada com variáveis explicativas por meio da função de ligação (2), em que a função de logaritmo é a função de link escolhida.

$$log(\mu_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 Visibilidade + \beta_2 CondicãoPavimento + \beta_3 ZonaUrbana + \\ + \beta_4 Pedagio + \sum_{l=5}^{8} \beta_l Tracado_l + \sum_{k=9}^{10} \beta_k Perfil_k + b_{ij} \quad (2)$$

A condição climática é indicada em duas condições: pavimento seco ou molhado; a visibilidade da pista é descrita como boa ou ruim; zona urbana e pedágio indicam ausência ou presença destas variáveis no trecho na forma binária 0 ou 1. O perfil é retratado em três classes: plano, aclive e declive; o traçado em: curva muito segura, curva segura, curva não segura e tangente.

Com relação ao traçado, este foi classificado segundo o raio da curva, assim:

- Raio < 200 m: curvas não seguras
- Raios entre 200 m e 400 m: curvas seguras
- Raios > 400 m: curvas muito seguras

Esta classificação foi baseada em diferentes estudos elaborados em diversos países e principalmente no livro *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, Lamm *et al*. (1999).

Na Tabela 37 apresentam-se as estimativas dos parâmetros do modelo (2). Dado que este é um modelo de referência, os efeitos das variáveis devem ser interpretados como incrementos nas médias em relação às categorias de referência que, em nosso caso, são: zonas não urbanas, ausência de pedágio, pavimento seco, visibilidade boa, perfil em nível e

traçado tangente. Vale destacar que os efeitos com coeficientes positivos indicam que na presença destas condições o número médio de acidentes aumenta.

Assim, por exemplo, em trechos localizados em zonas urbanas, na presença das condições de referência anteriores, o número médio de acidentes é $e^{1,46} \approx 4{,}31$ maior, quando comparado com trechos não urbanos. Por outro lado, o número médio de acidentes em trechos localizados em pedágios, na presença das condições de referência, é $e^{1,72} \approx 5{,}58$ maior, em relação aos trechos localizados em zonas sem praças de pedágio. No entanto, quando há interações a interpretação destes efeitos deve ser feita com mais detalhe.

Effect	Coeficiente	Estimativa	S.E.	P-value
Efeitos principais	Intercept	-2,24	0,05	<0,001
	Zona Urbana	1,46	0,05	<0,001
	Presenca de pedagio	1,72	0,10	<0,001
	Pavimento molhado	0,16	0,05	0,003
	Má Visibilidade	-2,34	0,06	<0,001
	Aclive	-0,25	0,08	0,001
	Declive	-0,52	0,08	<0,001
	CurvaMuitoSeguraDir	-0,07	0,10	0,486
	CurvaNoSeguraDir	-0,35	0,42	0,403
	CurvaNoSeguraEsq	0,55	0,21	0,009
	CurvaSeguraDir	-0,07	0,14	0,592
	CurvaSeguraEsq	0,47	0,12	<0,001
Interacões	Molhada x M Visibilidade	2,44	0,07	<0,001
	Molhada x Aclive	0,85	0,08	<0,001
	Molhada x Declive	1,20	0,07	<0,001
	Molhada x CurvaMuitoSeguradir	0,23	0,09	0,013
	Molhada x CurvaNoSeguradir	0,39	0,12	0,002
	Molhada x CurvaNoseguraesq	0,29	0,14	0,036
	Molhada x CurvaSeguradir	0,50	0,12	<0,001
	Aclive x NoSeguradir	1,02	0,51	0,046
	Declive x muitoseguradir	0,37	0,21	0,077

Tabela 37: Parâmetros estimados do modelo

6.4.4.2. Previsão de acidentes usando efeito fixo

Suponha que se deseja calcular o número médio de acidentes, no período de estudo, em trechos com: perfil em declive; traçado com curva segura à esquerda; pavimento molhado; com visibilidade boa; na ausência de praça de pedágio e em zonas não urbanas.

$$\hat{\mu} = \exp(-2.24 + 0.16(pavimentoMolhado) - 0.52(declive) + 0.47(curva\ segura\ Esq) + 1.20(Interação\ molhada\ x\ Declive)) = 0.395$$

Já na presença de visibilidade ruim o número médio de acidentes é dado por:

$$\mu = \exp(-2.24 + 0.16(pavimentoMolhado) - 2.34\ (visibilidade\ ruim) - 0.52(declive) + 0.47(curva\ segura\ Esq) + 2.44(interação\ molhada\ x\ visb\ ruim) + 1.20(Interação\ molhada\ x\ Declive)) = 0.436$$

Na Figura 113 apresenta-se o número observado de acidentes versus o número previsto, usando-se o modelo (2). Observa-se que o mesmo consegue prever de maneira satisfatória o número de ocorrências, num modelo perfeito todos os pontos estariam sob a reta. Como indicador da precisão do ajuste foi considerado o Erro Quadrático Médio (EQM), definido como sendo a média da diferença entre o valor observado e o valore previsto ao quadrado.

$$EQM = \sum(\hat{y}_j - y)^2 \quad (3)$$

Em que y_j é o número de acidentes observados no trecho j e $\hat{y}_j$ o seu valor previsto. Usando-se os valores previstos pelo modelo (2) o EQM foi de 15,88. Isto é, o número médio de acidentes está sendo predito, no período de estudo, em cada trecho, com um erro de aproximadamente $\sqrt{15{,}88} \approx 3{,}96$ acidentes.

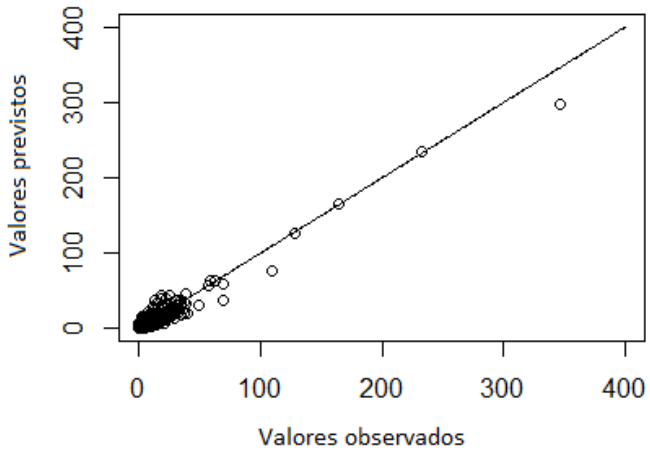


Figura 113: Valores observados versus valores previstos

Finalmente, foi calculado o número esperado de acidentes por quilômetro na pista Norte da rodovia Régis Bittencourt. Na Figura 114 observam-se a frequência de acidentes e seus valores previstos por quilômetro. Nota-se que, os valores baseados no ajuste do modelo (2), capturam o comportamento dos acidentes da rodovia estudada.

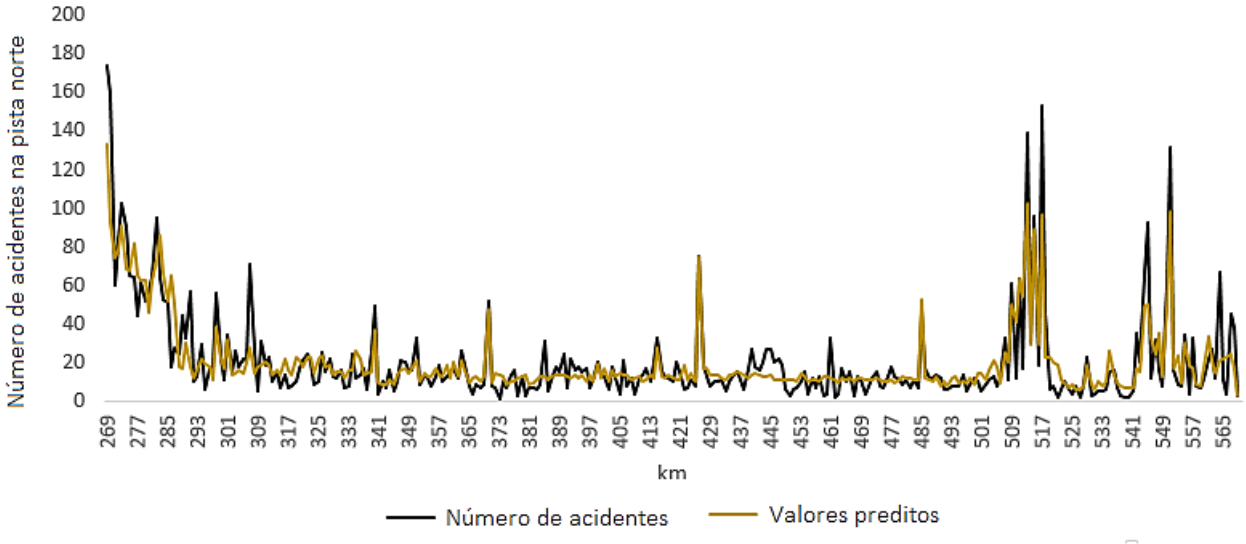


Figura 114: Número de acidentes observados e preditos na pista Norte

Por fim, nas Figura 115 e Figura 116 são apresentados os valores ajustados e previstos segundo a condição da pista: molhada ou seca, respectivamente. Observa-se que há uma maior precisão na previsão de acidentes quando o pavimento está seco.

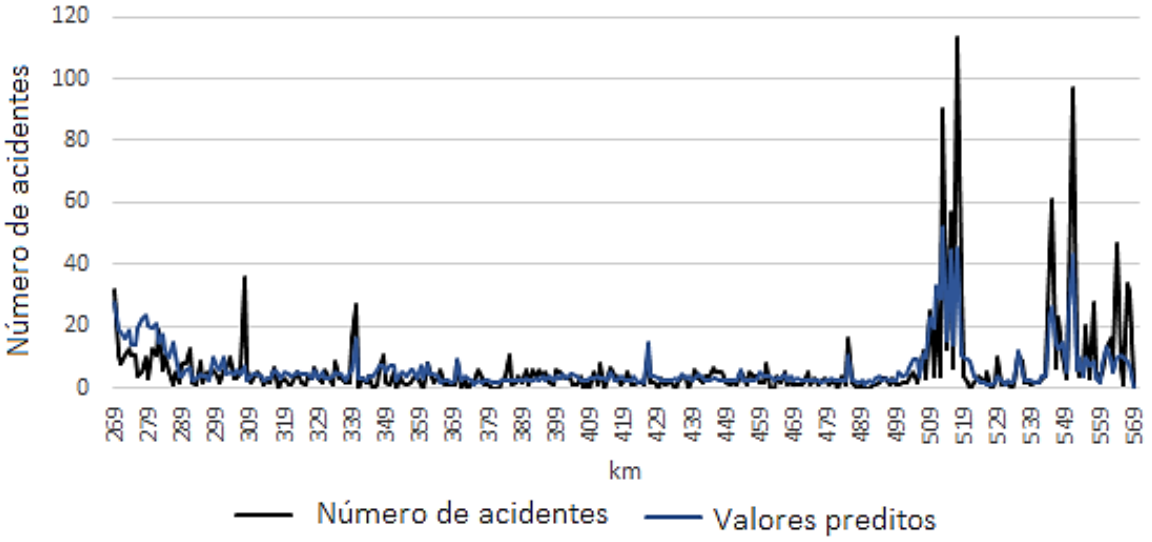


Figura 115: Número de acidentes observados e preditos na Pista Norte- Pista molhada

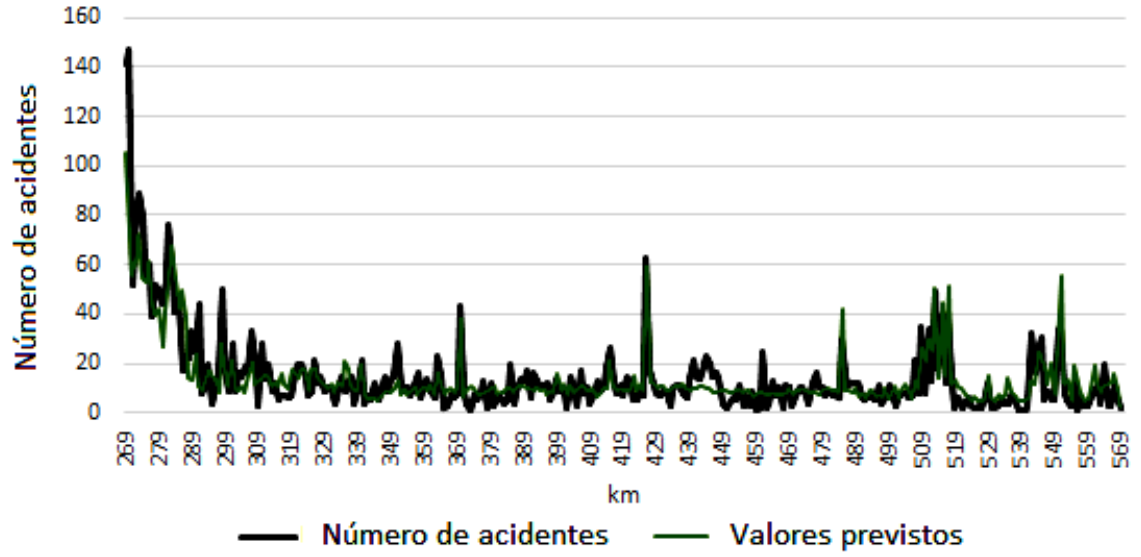


Figura 116: Número de acidentes observados e preditos na Pista Norte- Pista seca

Destacam-se os quilômetros 517, 513, 545, 551 e 564, sentido Norte, em que o número de ocorrências em pista molhada foi muito superior ao valor previsto pelo modelo. Este fato se dá, provavelmente, pois o modelo não considera valores de atrito, uma vez que não estava disponível um banco de dados para esta variável durante o desenvolvimento do modelo.

Ressalta-se que o modelo de previsão de acidentes desenvolvido neste estudo comtempla a pista norte da Rodovia Régis Bittencourt, pois as características geométricas (traçado, perfil, condições de visibilidade, etc.) e outros parâmetros de entrada utilizados dizem respeito à pista norte. Porém, o modelo foi concebido de forma a ser generalista, ou seja, ele pode ser replicado para a pista sul, bastando para isso, mudar a entrada de dados (variáveis de "input"), conforme apresentado na Tabela 37.

6.5 ESTUDO DE SOLUÇÕES CORRETIVAS

No início do projeto foi estabelecido que a definição e seleção dos segmentos críticos ocorreria após estudo minucioso dos dados de acidentes e levantamentos em campo, para que fosse possível eleger as melhores alternativas para alteração do revestimento asfáltico. Estas alternativas compreendem o uso de tecnologias de pavimentação, que internacionalmente são aceitas e empregadas, principalmente, para aumento de aderência pneu-pavimento. Os fatores considerados foram a geometria viária, drenagem superficial e, principalmente, a megatextura, macrotextura e microtextura da superfície de rolamento, de modo a melhorar o contato pneu-pavimento. Conforme também previsto, foram executados, nos segmentos críticos, os projetos de concepção da mistura, da dosagem de misturas asfálticas, e de determinação de propriedades mecânicas de interesse para os revestimentos.

Pesquisadores da área de pavimentos rodoviários vêm, já há algum tempo, estudando e explorando as diferentes possibilidades de misturas asfálticas, visando a mitigação da frequência e severidade de acidentes viários, principalmente sob condições meteorológicas adversas, com pista molhada e redução da visibilidade dos usuários e da aderência pneu-pavimento. Segundo Kabir *et al*. (2012) as condições da superfície do pavimento contribuem com cerca de 30% das fatalidades ocorridas em acidentes de tráfego.

Aps *et al*., (2003) afirmam que a aderência é responsável por parte da segurança do usuário, seja ele condutor ou passageiro de veículo, quer seja no sistema viário urbano, rodoviário, ou ainda, aeroportuário. Os autores citam estudo de caso em que 500 ocorrências de acidentes registrados em condições de pavimento molhado foram observadas, e os resultados indicaram que os pavimentos nos locais dos acidentes apresentavam pequena

macrotextura, as profundidades dos sulcos dos pneus eram pequenas, os valores dos coeficientes de atrito nos locais de acidentes eram baixos e as velocidades dos veículos imediatamente antes dos acidentes eram altas. No meio rodoviário assume-se que aproximadamente 2,5% dos acidentes são causados por problemas relacionados à via (fator via considerado isoladamente); no entanto, é amplamente reconhecido pelo meio técnico e acadêmico, que na maioria das vezes um acidente possui mais de um fator contribuinte, e quando a interação entre os diversos fatores intervenientes é analisada, esse valor aumenta para 28%. A Tabela 38 mostra alguns fatores contribuintes dos acidentes viários e sua porcentagem de participação na ocorrência do evento.

FATORES	%
HUMANOS SOMENTE	65
HUMANOS + VIA	24
HUMANOS + VEÍCULO	4,5
HUMANOS + VIA + VEÍCULO	1,25
VIA SOMENTE	2,5
VIA + VEÍCULO	0,25
VEÍCULO SOMENTE	2,5
TOTAL	100,0

Tabela 38: Fatores contribuintes em acidentes

Fonte: Aps *et al*. (2003)

Uma vez que o usuário de um sistema viário espera que o pavimento forneça segurança, conforto e economia são necessários constantes estudos sobre a aderência que a camada de rolamento proporciona ao usuário, e para que isso ocorra, é necessário o entendimento dos mecanismos da aderência, em particular na determinação do coeficiente de atrito e a textura do pavimento, de modo a melhorar a aderência entre a borracha do pneu e o revestimento asfáltico, principalmente em condições de pista molhada, e desta forma reduzir a frequência e severidade dos acidentes viários (APS *et al.,* 2003).

De acordo com Tehrani *et al*. (2017) a rugosidade do pavimento afeta a interação da superfície do pneu/pavimento, diminuindo as forças laterais disponíveis necessárias para a dirigibilidade dos veículos e pode afetar severamente o controle do veículo quando se deseja realizar uma manobra de ultrapassagem (especialmente nas curvas) e/ou mudar de faixas nas pistas a altas velocidades (normalmente praticadas nas rodovias). Além dos problemas na dirigibilidade do veículo, a variação na rugosidade do pavimento pode produzir níveis de fricção diferencial que afetam gravemente a frenagem do veículo aumentando o potencial de acidentes severos. Muitos estudos têm sido conduzidos nesse sentido, como por exemplo, Chan *et al*. (2010), usaram modelo de regressão binomial negativo para avaliar a relação entre o número de acidentes ocorridos em 2006 no estado norte-americano do Tennesse, e as variáveis envolvidas no desgaste e diminuição da profundidade dos sulcos do pavimento, e concluem que a textura e o coeficiente de atrito influenciam significativamente a ocorrência de acidentes de tráfego. Lee *et al*. (2015), usaram a regressão logística ordenada por modelo Bayesiano para investigar a relação entre a condição do pavimento e os níveis de severidade dos acidentes em rodovias, e consideraram vias de baixa, média e alta velocidade e acidentes únicos ou múltiplos neste estudo, e os resultados indicaram que os níveis de severidade da maioria dos tipos de acidentes podem ser reduzidos quando a condição de conservação do pavimento é bem mantida, principalmente no que se refere à aderência pneu/pavimento.

No Brasil, de acordo com Vasconcelos *et al*. (2011) os pavimentos asfálticos são os mais utilizados, quer para situações de tráfego leve em vias urbanas, como para rodovias de tráfego lento e pesado. As soluções diferenciam-se entre si no que se refere aos tipos de misturas asfálticas que podem ser empregadas, onde podem variar a granulometria e o tipo de ligante asfáltico. O desempenho das misturas asfálticas a quente é significativamente influenciado pelas propriedades da combinação de agregados: (a) granulometria, (b) forma (angularidade), (c) textura (rugosidade) e (d) resistência. Dentre essas propriedades, a textura é o que mais influência aspectos de segurança viária, por ser relevante quanto a aderência pneu-pavimento. Nesse mesmo sentido, Vavrik *et al*. (2001) afirmam que na dosagem de uma mistura asfáltica para determinado esforço de compactação, os parâmetros que controlam os Vazios no Agregado Mineral (VAM) são: (a) granulometria, (b)

textura superficial e (c) forma. Portanto, a textura do pavimento é um dos requisitos mais importantes para o desempenho do pavimento, e está diretamente ligada com a aderência do veículo com a superfície do pavimento.

Algumas das vantagens das misturas asfálticas a quente em relação às misturas a frio são:

- Maior durabilidade;
- Menos susceptíveis a ação da água;
- Apresentam envelhecimento lento;
- Suportam tráfego pesado;
- Não exigem tempo de cura.

Por outro lado, também existem algumas desvantagens, a saber:

- Difícil fabricação;
- Exigem aquecimento do agregado;
- Alto custo;
- Necessidade de equipamentos especiais no processo construtivo;
- Não permite estocagem.

A utilização de misturas asfálticas a quente, principalmente as misturas abertas e/ou descontínuas, muito utilizadas nos países da Europa e Estados Unidos, melhora a resistência à deformação permanente, além de apresentar bom comportamento funcional relativo à qualidade de rolamento, durabilidade, aumento da aderência pneu/pavimento, redução da reflexão de luzes em pista molhada e de ruído (VASCONCELOS *et al.,* 2011).

As misturas abertas de concreto asfáltico (CA) são porosas, com granulometria uniforme e agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados. Estudos conduzidos por Kabir *et al*. (2012) no Estado norte-americano da Louisiana (Louisiana Department of Transportation and Development - DOTD), indicam que as misturas abertas de CA são benéficas para a redução de acidentes em clima úmido e/ou chuvoso, para a preservação da superfície do pavimento, e atenuam a formação de fendas ou fissuras em pavimentos compostos. Os

autores supracitados avaliaram, por um período de cinco anos, quatro rodovias quanto à ocorrência de acidentes de tráfego, antes e após intervenções no pavimento com solução de mistura aberta de CA. Os resultados obtidos são apresentados a seguir na Tabela 39, em alguns casos, após as intervenções no pavimento, a redução na taxa de acidentes chega a 100%.

Rodovia	Condições Meteorológicas	Taxa de Acidentes/Ano		Taxa de Fatalidades/Ano		Redução da Taxa de Acidentes (%)	Redução da Taxa de Fatalidades (%)
		Antes	Depois	Antes	Depois		
US - 71	Úmida/Chuvosa	0,5	0,0	0,2	0,0	100	100
	Outras	2,0	0,2	0,2	0,0	92	100
I - 20	Úmida/Chuvosa	28,6	6,8	0,6	0,0	76	100
	Outras	66,0	38,0	1,4	0,6	42	57
US – 61	Úmida/Chuvosa	19,3	22,0	0,0	0,5	0	0
	Outras	175,6	191,5	1,1	1,5	0	0
US - 171	Úmida/Chuvosa	1,6	0,7	0,0	0,0	57	0
	Outras	8,7	14,7	0,0	0,0	0	0

Tabela 39: Redução das ocorrências de acidentes viários
Fonte: Adaptado de Kabir *et al*. (2012)

Um fator importante a ressaltar é que as misturas abertas de soluções asfálticas apresentam bom desempenho no quesito drenagem, devido aos poros e vazios contendo ar. Esta característica do pavimento evita o acúmulo de água (em condições climáticas adversas) na pista, afastando assim o problema da hidroplanagem decorrente da presença de lâmina d'água entre o pneu e a superfície, podendo causar sérios acidentes por derrapagem, tombamento, colisões, quedas de moto, etc.

Entretanto, pavimentos porosos requerem manutenção e limpeza contínuas para que os poros não percam sua função. Além disso, nos últimos anos muitos estudos têm sido realizados a fim de que se aumente a durabilidade dos pavimentos porosos, porém eles ainda são os menos duráveis (ELVIK *et al*., 2009). Sua aplicação em curvas de raio curto, ou seja, curvas acentuadas, pode levar a uma redução ainda maior de sua durabilidade, devido

à força centrípeta exercida pelos veículos pesados. Por este motivo, a hipótese de aplicação desta solução nos novos trechos experimentais foi descartada.

Dessa forma, chegou-se à conclusão que a solução adotada para o sentido norte da rodovia seria o emprego da mistura com granulometria do tipo descontínua. Um novo projeto de mistura asfáltica a quente foi definido para a camada de rolamento empregando granulometria de faixa descontínua (Gap-graded) com tamanho nominal máximo de 9,5 mm. Ao se adotar uma distribuição granulométrica descontínua cria-se uma ausência de grãos de agregado de tamanho intermediário. Objetiva-se assim tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente através de um maior contato entre os agregados graúdos. Além disso, o emprego do gap-graded resulta em uma macrotextura aberta ou rugosa, mas não em teor de vazios elevado, facilitando a drenagem superficial do pavimento (BERNUCCI *et al*. 2008).

Outra observação quanto ao projeto é que o ligante asfáltico empregado nesse tipo de mistura geralmente encontra-se modificado por polímero elastomérico (SBS). Os polímeros quando empregados em misturas asfálticas e em determinadas quantidades podem alterar as propriedades das mesmas, buscando sua melhoria. Em alguns estudos, por exemplo, ficou comprovada uma melhor performance dos ligantes modificados quando comparados aos virgens em relação à fadiga e a deformação permanente (SARGAND e KIM, 2001).

Entretanto, o comportamento final do polímero depende de inúmeros fatores como: os monômeros que se apresentavam inicialmente no material, a reação utilizada para obtenção dos mesmos e das técnicas empregadas. O SBS (estireno-butadieno-estireno), por exemplo, é obtido por modificação química de outro polímero. Além disso, ele se classifica como elastômero termoplástico, ou seja, a baixas temperaturas apresenta comportamento elástico e ao ser aquecido apresenta comportamento termoplástico tornando-se maleável reversivelmente (BERNUCCI *et al.* 2008). Por conta dessas propriedades, Becker *et al*. (2001) afirmam que o SBS é capaz de aumentar a elasticidade do asfalto em baixas temperaturas.

Já para a rodovia no sentido sul optou-se por uma solução que fosse ainda mais eficaz quanto a melhoria da macrotextura, optando-se pelo emprego do tratamento superficial. O Tratamento Superficial é um revestimento flexível de pequena espessura, executado por

espalhamento sucessivo de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltipla em comboio de forma quase simultânea (TEIXEIRA, 2012). Este tratamento tem como principal função criar um revestimento de baixa espessura com alta resistência ao desgaste, bem como impermeabilizar o pavimento caso a camada subjacente possua pequena quantidade de trincas ou elevada quantidade de vazios, além de proporcionar um pavimento com alta resistência a derrapagem. O Tratamento Superficial pode ser executado através da aplicação de uma única camada de ligante asfáltico coberta por uma camada de agregados, sendo neste caso denominado Tratamento Superficial Simples (TSS) ou através da aplicação de duas camadas sucessivas de ligante asfáltico cobertas por camadas de agregados, sendo neste caso denominado Tratamento Superficial Duplo (TSD).

As soluções de Tratamentos Superficiais, tanto Simples quanto Duplo (TSS e TSD) são executados por aplicações sucessivas de camadas de ligante asfáltico, que pode ser a quente com CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) ou a frio com emulsão asfáltica, e camadas de agregados de dimensões semelhantes. No TSS há uma camada de ligante seguida da aplicação de uma única camada de agregados (Figura 117), enquanto que no TSD há a aplicação de duas camadas de ligante asfáltico e duas de agregado, sendo uma delas de agregados graúdos e a outra de agregados miúdos (Figura 118). Nos TSS e TSD a textura superficial resultante varia de “aberta” a “muito aberta”, a depender da dimensão dos agregados utilizados (APS, 2006).

Figura 117: Esquema de TSS.
Fonte: Aps (2006)

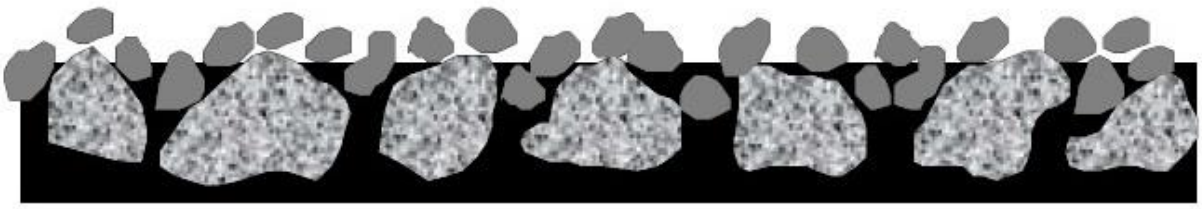


Figura 118: Esquema de TSD.

Specht *et al*. (2007) conduziram estudo avaliando diversos tipos de pavimento no que se refere à macrotextura. Segundo os autores, a solução de pavimento com tratamento superficial apresenta os maiores valores de macrotextura em comparação com outras soluções asfálticas, e é muito utilizada em rodovias, sendo bastante segura do ponto de vista da textura e aderência. A Figura 119 ilustra a comparação feita, sendo o número entre parênteses ao lado do nome do revestimento (no eixo das abscissas do gráfico), se refere à quantidade de medidas realizadas. Além do bom desempenho, segundo Emeasoba e Ogbuefi (2013), a solução de tratamento superficial (TSS ou TSD) apresenta uma boa relação custo/benefício em comparação com outras soluções disponíveis.

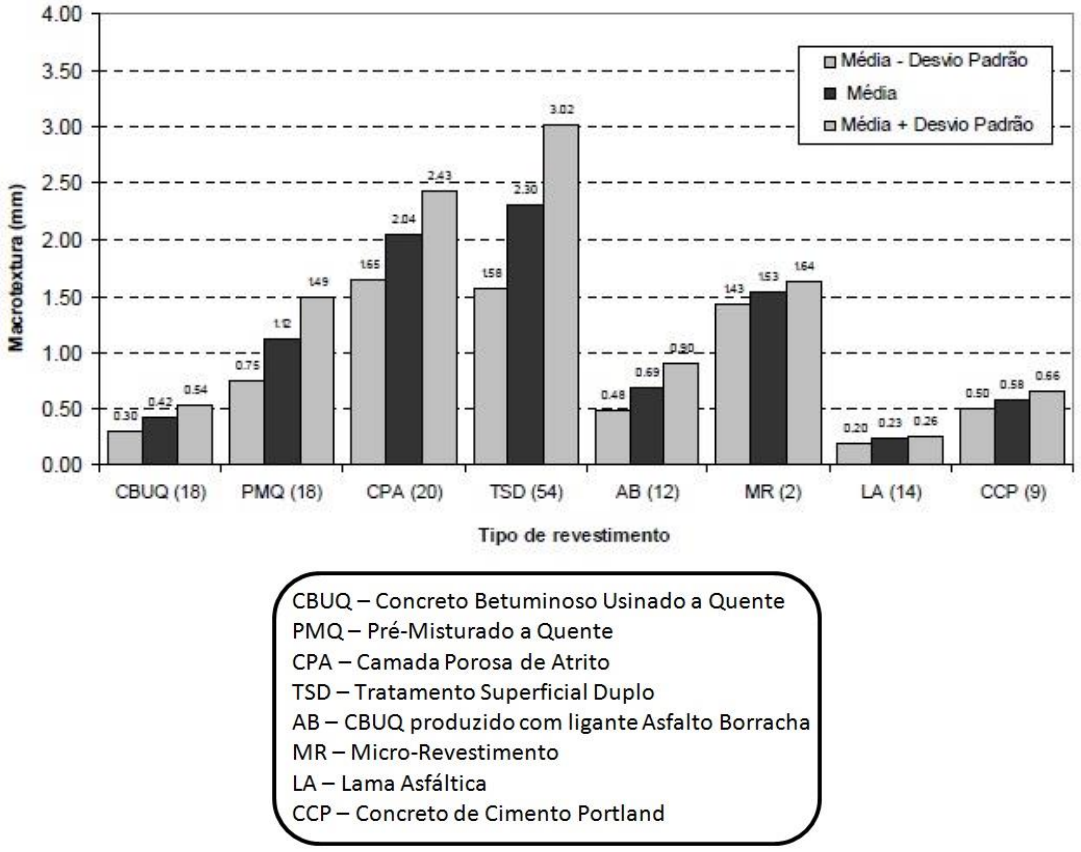


Figura 119: Comparação da macrotextura de diferentes tipos de pavimento.
Fonte: Specht et al. (2007)

Para esta pesquisa, optou-se pelo emprego de TSD com utilização de asfalto borracha, devido à sua textura rugosa que auxilia no processo de redução de acidentes em condições

climáticas adversas. A Figura 120 e a Figura 121 ilustram o processo de aplicação desta técnica e a aparência deste tratamento após sua aplicação, respectivamente.

Figura 120: Aplicação da camada de Tratamento Superficial.

Figura 121: Aparência do serviço executado.

6.6 RESTAURAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS COM SOLUÇÕES ESTUDADAS

Na fase 1 do projeto foi estabelecido que após estudo dos acidentes e das especificidades dos pontos críticos ou de interesse selecionados, seriam executadas as obras específicas em cada um dos trechos selecionados, aplicando as soluções indicadas no item anterior.

Somente um estudo preliminar das condições de pavimento no local pode indicar qual das alternativas de solução de pavimentação asfáltica pode ser aplicada de modo a obter aumento de aderência em pista molhada. Não há solução única e este fato é de conhecimento dos técnicos de pavimentação. Houve, então, a definição de soluções de

camada de rolamento de pavimento durante a realização da pesquisa e de posse dos resultados de acidentes.

O Programa de Exploração da Rodovia (ANTT-Régis Bittencourt) denota deveres e obrigações da concessão relacionadas à conservação viária da rodovia. Além disso, menciona as necessidades de cuidados relativos à segurança viária no que tange à sinalização horizontal, vertical e elementos auxiliares. Neste âmbito, a restauração de pontos críticos com as soluções estudadas visou não só a manutenção ou conservação de segmentos deficientes da qualidade e segurança ao rolamento, como também o incremento e desenvolvimento de novas técnicas que primam o conforto e a segurança do usuário ao trafegar na rodovia, objetivo de interesse frisado no item de Conservação da Rodovia do PER (Régis Bittencourt).

O recurso dispensado para construção dos segmentos com as soluções asfálticas de aumento de aderência visa testes de soluções para compreender o impacto destas na redução de acidentes. Este foi um estudo inovador no Brasil, pois procura isolamento de uma variável responsável por problemas de segurança do usuário, no caso a aderência pneu-pavimento.

Os recursos foram divididos em duas etapas (ano de 2016 e 2017) pois foram testadas soluções diferentes ou complementares e os primeiros resultados (2016), obtidos no sentido norte, apontaram o que deveria ser feito na segunda etapa construtiva (2017), sentido sul.

Observa-se que as etapas ficam concentradas em um mês em cada um dos anos (2016 e 2017) pois as obras são realizadas em um único mês, em etapa única neste mês. Entretanto, a pista norte utilizou um mês para cada trecho experimental em meados de 2016. A diluição de recursos implicaria em construção de poucos metros de extensão de locais, o que é tecnicamente inviável e de altíssimo custo, pois a mobilização de usinas e de equipamentos de pista é responsável por uma parte expressiva destes custos.

6.6.1. Restauração de pontos críticos - 2016

A fim de melhorar o atrito pneu/pavimento foram feitas intervenções em dois trechos críticos da pista norte da Rodovia Régis Bittencourt. As intervenções foram realizadas nos

quilômetros 518 + 000 ao 517 + 530, e 545 + 370 ao 544 + 720, totalizando trechos de 470 metros e 650 metros de extensão, respectivamente.

Ressalta-se que as obras no pavimento foram realizadas em dois meses próximos, em etapa única, para minimizar os efeitos provenientes da sazonalidade, de acordo com a estação do ano (clima, temperatura, insolação, condições de iluminação natural, etc.). Além disso, foram coletadas amostras das misturas asfálticas para a execução dos ensaios de atrito e textura.

6.6.2. Método Construtivo dos Trechos Experimentais – Pista Norte

Os trechos foram escolhidos em pontos de criticidade alta. Além da coletada e análise de dados da rodovia e de acidentes, foram realizados ensaios para avaliação do atrito (*griptester*) e textura (*laser*) nos segmentos onde ocorreram as intervenções, a fim de determinar os melhores trechos para intervenção. Sendo escolhidos dois entre os trechos experimentais, a saber:

- ✓ **Trecho Experimental 1**: km 518 ao km 517 + 530, faixas 1 e 2, Pista Norte – obra concluída e liberada ao tráfego em 26/06/2016. Esse trecho experimental foi executado com recursos financeiros provenientes do RDT.
- ✓ **Trecho Experimental 2**: km 545 + 370 m a km 544 + 720 m, faixas 1 e 2, Pista Norte – obra concluída e liberada ao tráfego em 12/07/2016. Esse trecho experimental foi executado com recursos financeiros provenientes do RDT.

Para melhoria da textura superficial do pavimento visando uma boa drenagem superficial, um novo projeto de mistura asfáltica, com granulometria de faixa descontínua, foi definido para a camada de revestimento. Para tanto, foi adotada uma mistura do tipo (*Gap-graded*) com tamanho nominal máximo de 9,5 mm conforme a Figura 122.

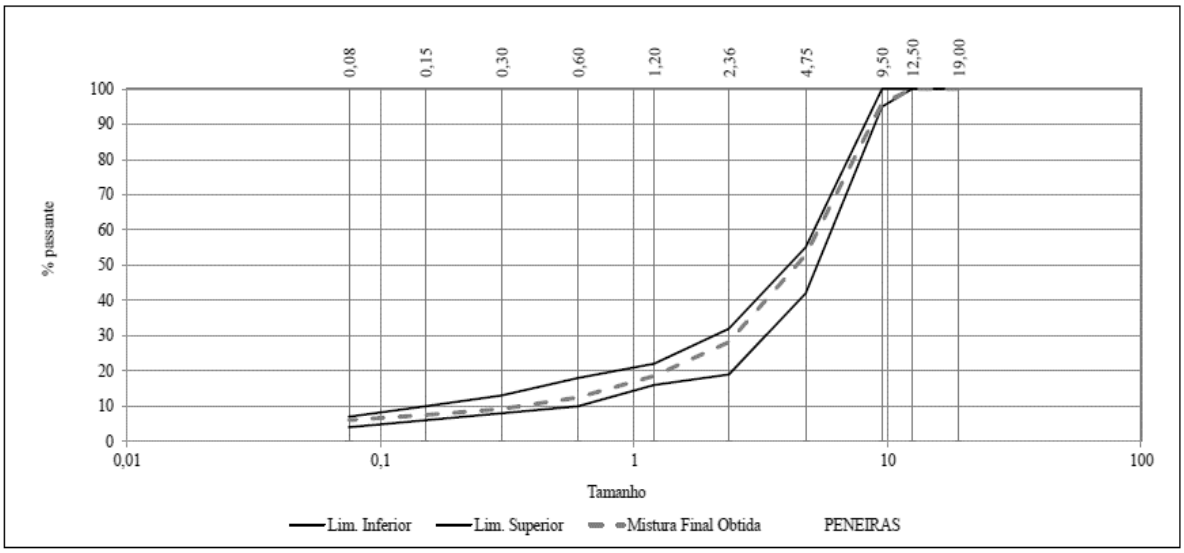


Figura 122: Distribuição granulométrica da mistura empregada nos trechos experimentais
Fonte: Autopista Régis Bittencourt (2016)

O Anexo 12 traz a descrição e detalhamento do projeto de mistura asfáltica do tipo gap-graded empregado, e o Anexo 13 mostra o certificado de qualidade emitido para o ligante asfáltico. Outra observação quanto ao projeto é que o ligante asfáltico empregado na mistura foi modificado por polímero elastomérico (estireno-butadieno-estireno) enquadrado segundo a Agência Nacional de Petróleo e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes como o tipo 60/85-E.

- ✓ Pista Norte - Trecho experimental 1 – (km 518 ao km 517 + 530)

A solução empregada no trecho experimental foi uma mistura asfáltica do tipo gap-graded a quente para o aumento de textura e aumento de atrito. A Figura 123 ilustra o trecho experimental 1 norte.

Figura 123: Execução do Trecho Experimental 1 norte
Fonte: Concessionária Autopista Régis Bittencourt (2016)

✓ Pista Norte - Trecho experimental 2 – (km 545 + 370 a km 544 + 720)

Inicialmente a solução proposta para o segundo trecho experimental era o emprego de um microrrevestimento a frio com camada espessa (25 mm), reproduzindo o gap-graded a quente quanto à granulometria, porém, o mesmo não suportou a técnica a frio utilizada. A cura foi extremamente demorada pela falta de sol e temperaturas baixas, não levando a emulsão modificada por polímero a curar inteiramente. Para que este problema técnico não ocasionasse problemas complementares operacionais e acidentes, resolveu-se remover a solução e repor com uma mistura asfáltica a quente, usinada, copiando a técnica utilizada no trecho experimental 1, por não haver tempo hábil de estudar outra solução e correr o risco de mais um insucesso técnico. A Concessionária teve um grande desembolso para refazer o trecho com outra solução, uma vez que o insucesso não foi devido à incapacidade da empreiteira executora da solução. Foram fatos climáticos intransponíveis.

A faixa 1 do trecho experimental 2 obteve sucesso no momento de sua execução. Como pode ser visto na Figura 124.

Figura 124: Execução do Trecho Experimental 2 norte
Fonte: Concessionária Autopista Régis Bittencourt (2016)

Entretanto, a faixa 2 do Trecho Experimental 2 teve de ser refeita em decorrência de um escorregamento da mistura asfáltica que pode ser visto na Figura 125. O mesmo se deu por falhas construtivas na pintura de ligação por parte da empreiteira encarregada de execução das obras. Sendo assim, a faixa foi liberada ao tráfego novamente em 11/04/2017.

Figura 125: Faixa 2 do Trecho Experimental 2 após o escorregamento da mistura asfáltica
Fonte: Concessionária Autopista Régis Bittencourt (2016)

Na Figura 126 vê-se a textura da mistura asfáltica aplicada em campo.

Figura 126: Mistura asfáltica após a execução
Fonte: Concessionária Autopista Régis Bittencourt (2016)

6.6.3. Restauração de pontos críticos - 2017

As intervenções no pavimento com intuito de melhora da textura e aumento do atrito apresentaram grande potencial para reduzir a frequência e/ou a severidade dos acidentes, como foi demonstrado com a solução de pavimento adotada nos trechos experimentais da pista norte da Rodovia Régis Bittencourt. O próximo passo do projeto foi a implementação da solução de pavimento em trechos experimentais da pista sentido sul e avaliação do comportamento do pavimento na diminuição dos acidentes, notadamente em condições de pista molhada.

A restauração nos segmentos críticos da pista sul estava prevista inicialmente para o mês de maio de 2017; no entanto, optou-se por solicitar à ANTT um adiamento desta data para evitar os rigores do inverno, uma vez que se trata de região de serra, e historicamente o mês de maio apresenta baixas temperaturas ambientes e superficiais no pavimento. Desta forma, afastou-se a possibilidade de transtornos, como os causados pela execução incorreta da faixa 2 do trecho experimental 2 da pista norte, que foi executada no mês de julho de 2016. Esta alteração no cronograma não trouxe prejuízos à pesquisa, pelo contrário, contribuiu para maior probabilidade de sucesso de aplicação da solução.

Durante o decorrer dessa fase do projeto, foram continuamente estudados diversos materiais e técnicas para emprego na construção dos novos trechos experimentais da pista sul, objetivando a melhoria na textura do pavimento e consequente incremento no coeficiente de atrito. Dentre todas as alternativas possíveis, optou-se pela aplicação de Tratamento Superficial Duplo (TSD), com utilização de asfalto modificado por borracha moída de pneus, para garantia de uma textura de maior rugosidade (maior macrotextura). Porém, para que a solução não tenha o seu desempenho comprometido, se faz necessário que as condições ambientais colaborem para seu sucesso, ou seja, é necessário que o local de aplicação não apresente temperaturas baixas, bem como ventos excessivos e chuva.

6.6.4. Método Construtivo dos Trechos Experimentais – Pista Sul

As análises estatísticas desenvolvidas nas etapas anteriores indicaram alguns trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes, tanto em condições normais de operação quanto sob condições meteorológicas adversas com pavimento molhado. Dentre os segmentos críticos foram selecionados, com base em critérios técnicos e operacionais da rodovia, dois trechos a receberem a solução asfáltica visando melhora no atrito e textura, denominados trechos experimentais. A saber:

- ✓ **Trecho Experimental 1**: km 548,784 ao km 549,420, faixas 1, 2 e 3, Pista Sul – obra concluída e liberada ao tráfego em 15/11/2017. Esse trecho experimental foi executado com recursos financeiros provenientes do RDT.
- ✓ **Trecho Experimental 2**: km 560,000 ao km 563,300, faixas 1 e 2, Pista Sul – obra concluída e liberada ao tráfego em 10/12/2017. Esse trecho experimental foi executado com recursos financeiros provenientes da concessionária Autopista Régis Bittencourt.

Em ambos os trechos experimentais foram utilizados os mesmos materiais e taxas de aplicação. Para determinação da taxa ideal de espalhamento do ligante asfáltico e dos agregados foi empregado o método direto, também conhecido como método da caixa dosadora. Este método consiste no espalhamento dos agregados horizontalmente em uma caixa com dimensões de 800mm x 250mm x 40mm (Figura 127), de forma a se obter um mosaico igual ao que se deseja executar em pista (Bernucci *et al.*, 2008) e posterior determinação da quantidade de ligante asfáltico a ser utilizada.

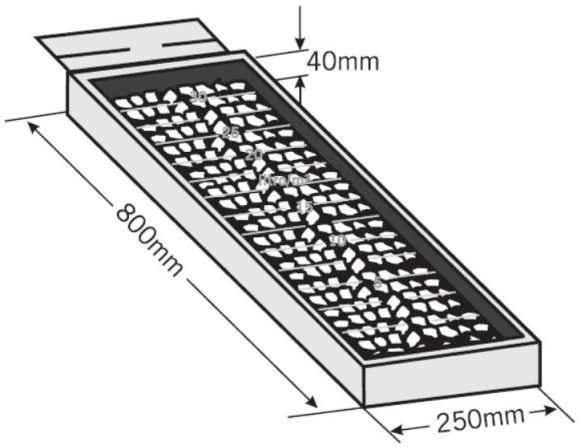


Figura 127: Caixa Dosadora
Fonte: adaptado de Bernucci *et al*., 2008

A dosagem ótima é aquela que permite a não ocorrência de exsudação com uma taxa mínima de rejeito na camada superior do Tratamento Superficial. Maiores detalhes deste procedimento podem ser encontrados em Bernucci *et al.* (2008), Pinto (2004) e Larsen (1985).

A seguir são apresentados os materiais utilizados para execução dos serviços, bem como a taxa ideal de aplicação dos mesmos obtida após a realização da dosagem pelo método direto (caixa dosadora).

- Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado por Borracha – ECOFLEX TS.

Trata-se de um material desenvolvido especialmente para utilização em tratamentos superficiais. Dentre suas principais características, pode-se citar o seu alto poder de adesividade e retorno elástico, características essenciais para garantia do desempenho da camada em serviço. A Tabela 40 e Tabela 41 apresentam as características dos materiais utilizados em campo:

Trecho 1 - km 548,784 ao km 549,420			
ENSAIO	**NORMA**	**ESPECIFICAÇÃO**	**RESULTADOS**
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0,1mm	NBR-6576	30 - 70	46
Ponto Amolecimento, °C	NBR-6560	Mínimo de 57	60
Recuperação Elástica, %	NLT-329/91	Mínimo de 55	70
Ponto de Fulgor, °C	NBR-11341	Mínimo de 235	>240
Densidade Relativa, 25°C, g/cm³	NBR-6296	Anotar	1.03
Viscosidade Brookfield a 175ºC, SP 3, 20 RPM, cP	NBR-15529	2200-4000	3750

Tabela 40: Análise do CAP Borracha utilizado no Trecho Experimental 1 sul

Trecho 2 - km 560,000 ao km 563,300			
ENSAIO	**NORMA**	**ESPECIFICAÇÃO**	**RESULTADOS**
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0,1mm	NBR-6576	30 - 70	47
Ponto Amolecimento, °C	NBR-6560	Mínimo de 57	60
Recuperação Elástica, %	NLT-329/91	Mínimo de 55	70
Ponto de Fulgor, °C	NBR-11341	Mínimo de 235	>240
Densidade Relativa, 25°C, g/cm³	NBR-6296	Anotar	1.02
Viscosidade Brookfield a 175ºC, SP 3, 20 RPM, cP	NBR-15529	2200-4000	3300

Tabela 41: Análise do CAP Borracha utilizado no Trecho Experimental 2 sul

- Agregados – Brita 1 e Pedrisco.

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), são os agregados que conferem a textura e a cor da pista nos tratamentos superficiais, tendo ele como funções principais resistir a fragmentação e a abrasão do tráfego, resistir ao intemperismo, assegurar uma superfície com alta resistência à derrapagem e promover uma drenagem superficial adequada. Para esta pesquisa, foram utilizados agregados provenientes da pedreira Bernamarti, localizada no município de Colombo-PR. Os agregados utilizados foram enquadrados na faixa 5 da Especificação de Serviço DEINFRA-SC-ES-P-12/16, tanto para a primeira quanto para a segunda camada. A Tabela e Tabela 42 apresentam as características dos agregados bem como a granulometria obtida:

Ensaio	Unidade	Especificação	Brita 1	Pedrisco
Densidade Aparente Solta	(g/cm³)	-	1,504	1,543
Índice de Lamelaridade (DAER/RS-EL 108/01)	(%)	30 – máx.	22,5	14,5
Abrasão "Los Angeles" (NBR 6465)	(%)	40 – máx.	12,9	

Tabela 20: Características básicas dos agregados, fundamentais para execução do TSD

Peneira		Brita 1	Faixa 5 DEINFRA 1ª Camada	Pedrisco	Faixa 5 DEINFRA 2ª Camada
Pol.	mm				
1”	25,40	100,00	100	-	-
3/4”	19,10	97,50	95 - 100	-	-
1/2”	12,50	36,40	20 – 40	-	100
3/8”	9,50	4,70	0 – 10	97,80	95 - 100
¼”	6,35	-	-	-	-
Nº4	4,75	0,0	0 – 5	15,40	0 – 20
Nº10	2,00	-	-	0,10	0 – 5
N° 200	0,075	0,0	0 – 1	0,10	0 – 1

Tabela 42: Granulometria dos agregados para aplicação na 1ª e 2ª camada

A Tabela 43 apresenta as quantidades de materiais a serem utilizadas para execução do TSD.

Taxa da 1ª aplicação do ECOFLEX TS	0,9 Kg/m²
Taxa da 1ª aplicação de Agregado – Brita 1	18,3 Kg/m²
Taxa da 2ª aplicação do ECOFLEX TS	1,0 Kg/m²
Taxa da 2ª aplicação de Agregado – Pedrisco	11,0 Kg/m²

Tabela 43: Taxas de aplicação dos materiais para execução do TSD

Uma vez confirmado o atendimento de todas características necessárias para o bom desempenho do serviço pelos materiais, e com a dosagem ideal definida, iniciou-se a execução do trecho experimental. Inicialmente, foi realizado o pré envolvimento dos agregados com cimento asfáltico de petróleo convencional de classificação 50/70. Este pré envolvimento deve ser realizado em usina de concreto asfáltico usinado a quente, onde deve ser utilizada uma taxa de ligante entre 0,3% e 0,9% em massa de agregado, com a finalidade de reduzir a influência do material pulverulento presente no agregado, de forma a melhorar sua característica de adesividade. Para este serviço, devido às características dos agregados utilizados, a taxa de ligante para realização do pré envolvimento foi de 0,5% para a Brita 1 e de 0,8% para o pedrisco. A Figura 128 ilustra os agregados após a realização do pré envolvimento.

Figura 128: Pré envolvimento realizado nos agregados (Brita 1 e Pedrisco, respectivamente)

Após a realização do pré envolvimento, foi realizada a calibração dos equipamentos no canteiro de obra para garantia da aplicação dos materiais nas taxas corretas definidas anteriormente. A calibração foi realizada através da aplicação dos materiais separadamente sobre uma lona de área conhecida (Figura 129) e posterior pesagem e cálculo da taxa de material por metro quadrado.

Figura 129: Calibração das taxas de aplicação no canteiro de obras

Uma vez ajustada a vazão dos materiais, o equipamento multi distribuidor de asfalto e agregados utilizado é capaz de garantir a correta taxa de aplicação realizando correções constantes de acordo com a velocidade de operação. Caso exista uma variação considerável de velocidade do equipamento durante a execução dos serviços, a vazão de materiais é

automaticamente cortada e deve-se reiniciar os trabalhos, o que evita que ocorram falhas de aplicação da solução asfáltica.

Também foi realizada a calibração da altura da barra espargidora de ligante asfáltico. De acordo com o Asphalt Institute (2010), a altura da barra espargidora sobre a superfície do pavimento deve ser ajustada de forma a garantir a uniformidade do espalhamento do asfalto. Barras espargidoras posicionadas com altura insuficiente em relação à superfície do pavimento podem causar falhas de recobrimento, enquanto barras posicionadas com altura excessiva em relação à superfície do pavimento podem sofrer a influência de ventos com consequente distorção do spray pulverizado pelo equipamento. O Asphalt Institute (2010) cita que os melhores resultados são obtidos quando ocorre o recobrimento triplo do spray pulverizado. Caso não seja possível calibrar o equipamento para execução de um recobrimento triplo, devido à distância entre os bicos da barra espargidora (superior a 150mm) em alguns equipamentos, pode-se ajustar a altura para execução de um recobrimento duplo, sem prejuízos à execução dos serviços. A Figura 130 ilustra a sobreposição dos sprays de acordo com a altura da barra espargidora.

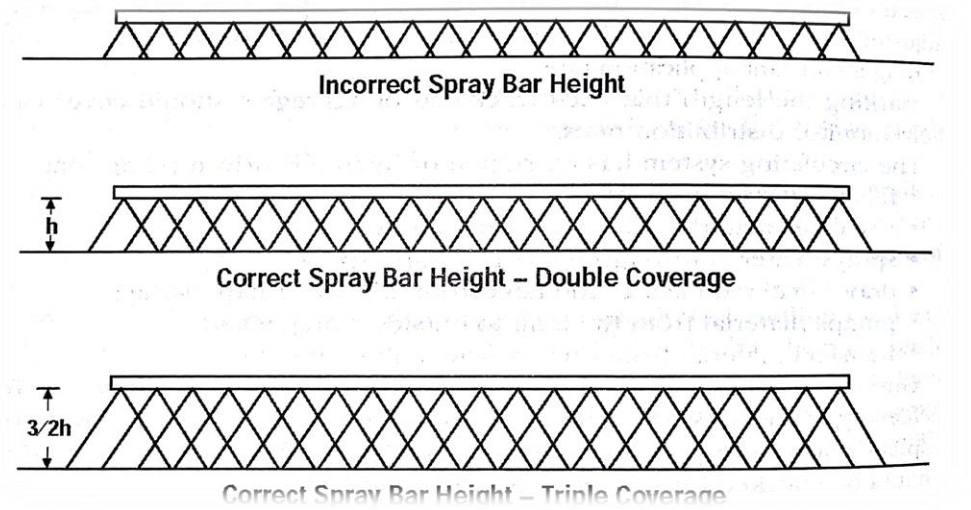


Figura 130: Sobreposição dos Sprays e altura da Barra Espargidora

Para execução dos serviços, foi possível a calibração da altura da barra para garantia de um recobrimento triplo.

- ✓ <u>Pista sul - Trecho experimental 1 – (km 548 + 784 m a km 549 + 420 m)</u>

Após a realização da calibração dos equipamentos no canteiro de obras, deu-se início a execução do trecho experimental 1. Posicionou-se uma faixa de papel Kraft no início do segmento (Figura 131) para garantia de um bom acabamento da junta transversal. Esta técnica permite que a aplicação dos materiais se inicie sobre o papel, de forma que as taxas de aplicação dos materiais estejam em completo equilíbrio ao atingirem a superfície a ser tratada. O mesmo procedimento deve ser realizado ao final do segmento, de forma a garantir uma perfeita junta transversal. A Figura 132 ilustra o espalhamento dos materiais da primeira camada (Brita 1).

Figura 131: Posicionamento do papel Kraft no início do segmento

Figura 132: Espalhamento dos materiais da primeira camada do TSD

Após o espalhamento dos materiais, dá-se início a compactação dos agregados. Para compactação da primeira camada devem ser utilizados rolos pneumáticos com pressões de pneu entre 60-90 Psi (ASPHALT INSTITUTE, 2010). Os pneus forçam que o lado de maior dimensão dos agregados seja firmemente comprimido contra o ligante asfáltico aplicado, sem quebrar as partículas. A Figura 133, Figura 134 e a Figura 135 ilustram o processo de compactação sendo executado, o aspecto da superfície acabada e a textura da primeira camada, respectivamente.

Figura 133: Compactação da 1ª camada com utilização de rolo pneumático

Figura 134: Aspecto visual da 1ª camada compactada

Figura 135: Textura obtida após aplicação da 1ª camada

Para execução da segunda camada, com aplicação do pedrisco, a faixa de papel Kraft foi posicionada alguns centímetros antes do início da primeira camada, para evitar a ocorrência de degraus na pista. A Figura 136 ilustra este procedimento.

Figura 136: Posicionamento do papel Kraft para início da execução da 2ª camada

Para a segunda camada, foram realizados os mesmos procedimentos descritos anteriormente. Após a conclusão do espalhamento e da compactação dos materiais, foi

realizado o resfriamento da camada com espalhamento de água em sua superfície, para que fosse possível realizar a limpeza com a remoção dos agregados que não aderiram perfeitamente à camada subjacente. A Figura 137 e a Figura 138 ilustram estes procedimentos.

Figura 137: Aplicação de água para resfriamento da camada

Figura 138: Limpeza da camada finalizada, para remoção de agregados soltos

A Figura 139 e a Figura 140 ilustram a textura final obtida, bem como uma comparação da solução asfáltica aplicada com uma solução de concreto betuminoso usinado a quente convencional, após derramamento de água em sua superfície.

Figura 139: Textura final obtida

Figura 140: Comparação entre as camadas de TSD e CBUQ após derramamento de água na superfície

✓ Pista sul - Trecho experimental 2 – (km 560 a km 563 + 300 m)

Para execução do trecho experimental 2, foram tomados os mesmos cuidados descritos na execução do trecho experimental 1. As Figuras 140 a 145 ilustram a execução do segmento.

Figura 141: Espalhamento da 1ª camada no trecho experimental 2

Figura 142: Aspecto da 1ª camada compactada

Figura 143: Posicionamento do papel Kraft para execução da 2ª camada

Figura 144: Aplicação dos materiais da 2ª camada

Figura 145: Aspecto da 2ª camada aplicada e compactada

Figura 146: Escoamento superficial da água na solução executada

As obras com as intervenções no pavimento dos trechos experimentais da pista sentido sul foram concluídas em dezembro de 2017.

6.7 RELATÓRIO FINAL

6.7.1. Resultados e Conclusões

Os estudos foram feitos inicialmente com banco de dados de milhares de acidentes entre os anos de 2008 (ano inicial da Concessionária na operação da Rodovia BR 116, entre São Paulo e Curitiba) e 2015, para definir trechos onde a criticidade era alta e o estudo se aplicaria. Posteriormente, dados foram coletados e analisados até 2018. A partir de 2012 nota-se uma diminuição significativa de acidentes nos dois sentidos da Rodovia. Em 2013, por exemplo, houve uma diminuição de acidentes, nas pistas norte e sul, de 13,3% e 12,5%, respectivamente, em relação ao ano anterior. Ressalta-se que a implementação da pesquisa se deu em trecho em serra, com grande sinuosidade, com projeto de via antigo, da década de 50-60. Em 2012, a Concessionária implantou recursos complementares de sinalização e radares para o controle efetivo de velocidade nas áreas de serra, principalmente em trechos com maior ocorrência de acidentes. Como ainda havia ocorrência de acidentes, mesmo com todas estas iniciativas, foi proposto este projeto de pesquisa de forma a estudar a possibilidade de reduzir acidentes pela alteração da textura superficial dos pavimentos, de modo a aumentar a aderência pneu-pavimento e reduzir os acidentes principalmente em dias de chuva.

Durante a execução do projeto houve a atualização constante, por parte da empresa concessionária “Autopista Régis Bittencourt”, da base de dados de registros de acidentes e informações operacionais de fluxo de veículos, ou seja, o VDM, calculado a partir das contagens de veículos nas praças de pedágio da rodovia nas pistas norte e sul.

Como o objetivo do projeto era implementar soluções de pavimento para redução de acidentes, e os recursos financeiros e humanos envolvidos nas execuções dessas obras são muito significativos, não se poderia correr o risco de executar as obras em trechos que não fossem os mais críticos. A análise empregada foi estatisticamente robusta, tendo sido possível classificar os trechos pela criticidade com grande confiabilidade. Para tanto, várias etapas foram desenvolvidas para esta definição e são descritas a seguir sucintamente. Inicialmente, empregaram-se histogramas de frequências de acidentes como diagnóstico preliminar. Posteriormente para a geocodificação, os marcos quilométricos e os acidentes

foram interpolados espacialmente, e com os pontos georreferenciados, os atributos que compõem a base de dados do projeto foram adicionados às camadas de informações no ambiente SIG; importante ressaltar que um grande banco de dados espacial foi especialmente criado em um sistema informações geográficas para esta pesquisa. A partir deste banco de dados com duas dezenas de atributos, foram realizadas as análises de densidade Kernel planar. A sequência das análises foi o cálculo da densidade de acidentes através da ferramenta SANET, ou seja, o estimador de densidade Kernel em rede. Para o cálculo do Kernel em rede utilizou-se um inventário de registros de acidentes na pista norte da rodovia entre agosto de 2008 e outubro de 2015. A partir dos dados referentes à restituição das imagens adquiridas de vôo realizado em 2008 sobre a rodovia, iniciou-se a aplicação da ferramenta SANET, para análise de densidade Kernel em rede. Para corroborar os resultados até então obtidos, foram desenvolvidas análises estatísticas com grande base de dados, envolvendo todos os acidentes cadastrados.

As análises realizadas corroboraram os resultados iniciais obtidos durante a fase de investigação para seleção dos trechos experimentais. As analises estatísticas mostraram com robustez que as maiores ocorrências de acidentes e as mais graves se dão na combinação de curvas fechadas, declives e pavimento molhado. As análises estatísticas confirmaram a tendência de redução da quantidade de acidentes após as intervenções no pavimento, em especial quando se trata de acidentes ocorridos em condição de pista molhada.

Isto quer dizer que as soluções adotadas, tanto na pista norte (Gap-graded) quanto na sul (Tratamento Superficial Duplo (TSD)), vêm cumprindo satisfatoriamente seu papel, ao atingir o objetivo deste projeto de reduzir os acidentes em pavimento molhado através da melhora do coeficiente de atrito e textura. Similarmente, os ensaios laboratoriais permitem as mesmas conclusões quanto à eficiência da solução de pavimento implementada.

É importante ressaltar que as decisões da escolha dos trechos experimentais, bem como das soluções de pavimento adotadas, foram embasadas em rígidos critérios teóricos e técnicos, aliados a questões construtivas e de segurança da equipe que realiza as obras.

No decorrer da vigência do projeto, visando comprovar o desempenho dos pavimentos restaurados nos trechos experimentais das pistas norte e sul, o monitoramento dos registros

de ocorrências foi sendo continuamente atualizado, da mesma forma que a avaliação da integridade do pavimento.

Conclui-se que a redução dos acidentes ocorrida nos trechos experimentais foi muito significativa, o que denota o sucesso obtido nesse estudo, tanto nos trechos da pista Norte, como na Sul. Adicionalmente, cumpre-se salientar que a aplicação do modelo de regressão para previsão de acidentes para a pista Sul da Rodovia Régis Bittencourt, aqui desenvolvido de forma inovadora, obteve um desempenho bastante satisfatório. A grande vantagem deste modelo é seu grau de generalização, ou seja, é um modelo muito útil no combate à ocorrência de acidentes (devido à boa aderência dos valores previstos aos valores observados) e que pode ser replicado para a pista sul (e eventualmente para outras rodovias, caso os mesmos tipos de variáveis de entrada estejam disponíveis), atuando de forma sistemática na melhoria da segurança viária das rodovias brasileiras.

A oitava e última fase do projeto de pesquisa acaba de ser finalizada. Realizaram-se análises estatísticas e espaciais visando a identificação dos segmentos considerados críticos quanto à ocorrência de acidentes viários nas pistas sentidos Norte e Sul da Rodovia Régis Bittencourt, a execução de intervenções no pavimento em 4 trechos experimentais (2 na pista norte e 2 na pista sul), bem como o acompanhamento da evolução das soluções asfálticas implementadas nos trechos experimentais quanto ao se desempenho na redução da frequência de acidentes viários.

Portanto, o objetivo geral deste projeto de pesquisa, que foi a redução dos acidentes e melhoria das condições de segurança viária, bem como os objetivos específicos, que foram a avaliação e execução de procedimentos para a determinação da megatextura, macrotextura, microtextura e atrito do pavimento (principalmente em condição de pista molhada) visando o aumento da aderência superficial foram plenamente atingidos, como pode ser comprovado pelos resultados apresentados.

Primeiramente, procedeu-se na identificação de trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes viários, principalmente em condições climáticas adversas (situação de pista molhada), com o propósito de desenvolver e implantar soluções no pavimento para redução

de frequência e severidade de tais eventos. Houve significativa redução da quantidade de acidentes nos trechos experimentais que receberam as intervenções.

Realizaram-se os ensaios de campo e de laboratório para aferição do coeficiente de atrito e textura através de comparação temporal antes e após as intervenções, cujos resultados foram aqui apresentados. Além disso, também foi apresentado um modelo estatístico de previsão de acidentes para a pista norte, com base na literatura acadêmica e científica mundialmente aceita e comprovada quanto aos resultados obtidos.

A utilização prática dos resultados aqui apresentados para redução de acidentes (frequência e/ou severidade) está na operação mais efetiva e eficiente da rodovia, melhorando o nível de serviço, aumento conforto, satisfação e segurança dos usuários, e o mais importante: salvando vidas.

As metodologias desenvolvidas e as soluções implementadas são economicamente e tecnicamente viáveis, pois apresentam uma relação custo X benefício amplamente satisfatória, principalmente porque o benefício que se vislumbra é o aumento da segurança das centenas de milhares de pessoas que utilizam a rodovia todos os anos.

Ressalta-se que este estudo, da maneira como foi conduzido, tem um caráter bastante inovador, na medida em que além das soluções locais, procuraram-se procedimentos e metodologias genéricos, que podem ser replicados em outras rodovias de modo a se obter resultados tão satisfatórios quanto aqueles aqui alcançados.

Mesmo o projeto tendo alcançado resultantes muito importantes na redução de acidentes, a equipe executora enfatiza que continua na busca incessante pela excelência na operação de rodovias, e o único resultado que se almeja é zerar a ocorrência de acidentes, não sendo aceitável a perda de nenhuma vida.

Outra importante consequência deste projeto diz respeito à difusão, divulgação e compartilhamento dos conhecimentos conquistados, por meio da capacitação técnica, evidenciada pelo desenvolvimento de Pesquisas de Pós-doutorado, Dissertações de Mestrado, Projetos de Iniciação Científica, participação em eventos nacionais e

internacionais, elaboração de ao menos 4 artigos científicos, produção de material didático, etc.

6.7.2. Considerações Finais

Realizaram-se análises estatísticas e espaciais visando a identificação dos segmentos considerados críticos quanto à ocorrência de acidentes viários nas pistas sentidos Norte e Sul da Rodovia Régis Bittencourt, a execução de intervenções no pavimento em 4 trechos experimentais (2 na pista norte e 2 na pista sul), bem como o acompanhamento da evolução das soluções asfálticas implementadas nos trechos experimentais quanto ao seu desempenho na redução da frequência de acidentes viários.

Portanto, o objetivo geral deste projeto de pesquisa, que foi a redução dos acidentes e melhoria das condições de segurança viária, bem como os objetivos específicos, que foram a avaliação e execução de procedimentos para a determinação da megatextura, macrotextura, microtextura e atrito do pavimento (principalmente em condição de pista molhada) visando o aumento da aderência superficial foram plenamente atingidos, como pode ser comprovado pelos resultados apresentados.

Primeiramente, procedeu-se na identificação de trechos críticos quanto à ocorrência de acidentes viários, principalmente em condições climáticas adversas (situação de pista molhada), com o propósito de desenvolver e implantar soluções no pavimento para redução de frequência e severidade de tais eventos. Houve significativa redução da quantidade de acidentes nos trechos experimentais que receberam as intervenções.

Realizaram-se os ensaios de campo e de laboratório para aferição do coeficiente de atrito e textura através de comparação temporal antes e após as intervenções, cujos resultados foram aqui apresentados. Além disso, também foi apresentado um modelo estatístico de previsão de acidentes para a pista norte, com base na literatura acadêmica e científica mundialmente aceita e comprovada quanto aos resultados obtidos, de forma inovadora no país.

A utilização prática dos resultados aqui apresentados para redução de acidentes (frequência e/ou severidade) está na operação mais efetiva e eficiente da rodovia, melhorando o nível de serviço, aumento conforto, satisfação e segurança dos usuários, e o mais importante: salvando vidas.

As metodologias desenvolvidas e as soluções implementadas são economicamente e tecnicamente viáveis, pois apresentam uma relação custo X benefício amplamente satisfatória, principalmente porque o benefício que se vislumbra é o aumento da segurança das centenas de milhares de pessoas que utilizam a rodovia todos os anos.

Ressalta-se que este estudo, da maneira como foi conduzido, tem um caráter bastante inovador, na medida em que além das soluções locais, procuraram-se procedimentos e metodologias genéricos, que podem ser replicados em outras rodovias de modo a se obter resultados tão satisfatórios quanto aqueles aqui alcançados.

Mesmo o projeto tendo alcançado resultantes muito importantes na redução de acidentes, a equipe executora enfatiza que continua na busca incessante pela excelência na operação de rodovias, e o único resultado que se almeja é zerar a ocorrência de acidentes, não sendo aceitável a perda de nenhuma vida.

Outra importante consequência deste projeto diz respeito à difusão, divulgação e compartilhamento dos conhecimentos conquistados, por meio da capacitação técnica, evidenciada pelo desenvolvimento de Pesquisas de Pós-doutorado, Dissertações de Mestrado, Projetos de Iniciação Científica, participação em eventos nacionais e internacionais, elaboração de ao menos 4 artigos científicos, produção de material didático, etc.

6.8 CAPACITAÇÃO TÉCNICA E DE PESSOAL

Durante a execução deste projeto de pesquisa procedeu-se à capacitação técnica e científica de recursos humanos. A saber:

- Desde novembro de 2016 está sendo conduzido o projeto de Pós-doutoramento da Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado intitulado "Caracterização espaço-temporal de acidentes viários", sob a supervisão do Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (anexo 9).
- Dissertação de Mestrado: "Análise da textura superficial de pavimentos asfálticos e sua influência na ocorrência de acidentes de tráfego em condição de pista molhada", autora Fernanda Santana Carvalho, orientadora Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início março de 2017 até o presente (anexo 10).
- Dissertação de Mestrado: "Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de tratamento superficial duplo com asfalto modificado por borracha (TSD-AMB)", autor Guilherme Rodrigues Linhares, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início março de 2017 até o presente (anexo 11).
- Iniciação Científica: "Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos", autor Gustavo Sassone Matsunaga, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – início agosto de 2016 – término em agosto de 2017 (anexo 12).

Adicionalmente, foram apresentados trabalhos em congressos nacionais e internacionais, bem como a realização de palestras para o corpo técnico da concessionária "Autopista Régis Bittencourt" – ARTERIS:

- Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em 07 de agosto de 2015 (anexo 1).

- Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em agosto de 2016 (anexo 2).
- Palestra no X Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 30 de agosto de 2016 (anexo 3).
- Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em 19 de julho de 2017 (anexo 4).
- Palestra no XI Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 17 de agosto de 2017 (anexo 5).
- XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes: 29 de outubro e 01 de novembro de 2017, na cidade de Recife, capital do Estado do Pernambuco: apresentação do relatório de Dissertação de Mestrado em andamento da aluna Fernanda Carvalho, sob orientação da Prof. ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado "Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos". O trabalho aborda o tema deste projeto, com ênfase à solução asfáltica implementada nos trechos experimentais da pista sentido norte. O trabalho foi apresentado dentro da área temática de Infraestrutura, na sessão técnica sobre Dimensionamento, Avaliação e Gestão de Pavimentos (anexo 6).
- "Making roadsides safer for vulnerable road users", autores José Alberto Quintanilha, Liédi Legi Bariani Bernucci, Linda Lee Ho, Cláudia Soares Machado, Orlando Yesid Esparza Albarracin - TRB First International Roadside Safety Conference: Safer Roads, Saving Lifes, Saving Money - AFB20(2) Subcommittee on International Research Activities: 12 a 15 de Junho de 2017, São Francisco, Califórnia, Estados Unidos da América (anexo 7).

Além disso, foram elaborados pela equipe executora do projeto quatro (04) artigos científicos que se encontram em estágio final de revisão para serem submetidos para publicação em periódicos indexados com relevância internacional sobre o tema segurança viária.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

A empresa que coordena os serviços é o Grupo ARTERIS, associada com:

- Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP – Escola Politécnica da USP;

Identificação dos participantes

- Coordenador Geral: Liedi Legi Bernucci

- Equipe Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Grupo ARTERIS
  - ✓ Hugo Florencio
  - ✓ Guilherme Linhares
- Assessoramento técnico - USP
  - ✓ Prof.ª. Dr.ª Liedi Bernucci, engenheira civil, professor titular do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PTR-EPUSP
  - ✓ Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, estatístico, professor livre docente (aposentado) do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PTR – EPUSP
  - ✓ Prof.ª Dr.ª Linda Lee Ho, estatística, professora Titular do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PRO - EPUSP
  - ✓ Prof.ª. Dr.ª Mariana Abrantes Giannotti, engenheira agrônoma, professora doutora do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PTR - EPUSP
  - ✓ Dra. Cláudia Aparecida Soares Machado, engenheira civil, pós-doutoranda do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PTR - EPUSP
  - ✓ Dr. Edson Moura
  - ✓ Prof. Dr. Orlando Yesid Esparza, matemático, professor doutor do Departamento de Estatística do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo - IME-USP

- ✓ Fernanda Santana Carvalho, engenheira civil e mestre em engenharia de transportes pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PTR - EPUSP.

7. REFERÊNCIAS

ABDEL-ATY, M.; ABDALLA, M. F. Linking roadway geometrics and real-time traffic characteristics to model daytime freeway crashes: Generalized Estimating Equations for correlated data. Journal of the Transportation Research Board, nº 1897, 2004, p. 106–115.

ABDEL-ATY, M.; CHUNDI, S. S.; LEE, C. Geo-spatial and log-linear analysis of pedestrian and bicyclist crashes involving school-aged children. Journal of Safety Research, vol. 38, 2007, p. 571–579.

ABDEL-ATY, M.; EKRAM A.; HUANG, H.; CHOIC, K. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke. Accident Analysis and Prevention, vol. 43, nº 5, 2011, p. 1730–1737.

ABDELWAHAB, H. T.; ABDEL-ATY, M. A. Artificial neural networks and logit models for traffic safety analysis of toll plazas. Transportation Research Record, nº 1784, 2002, p. 115-125.

ABPv - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. Informativo Técnico sobre a avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. Rio de Janeiro, nº 18, 1999.

ABREU, J. V.; BALBO, J. T.; MULLER, R. M. O efeito dos microrevestimentos cimentícios no atrito de rolamento dos pavimentos. 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, Bahia, 2008.

AHMED, M. M.; ABDEL-ATY, M. Evaluation and spatial analysis of automated red-light running enforcement cameras. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Special Issue on Road Safety and Simulation, vol. 50, 2015, p. 130–140.

AHMED, M. M.; ABDEL-ATY, M.; LEE, J.; YU, R. Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: A feasibility analysis. Accident Analysis and Preventio n, vol. 72, 2014, p. 309–317.

AHMED, M.; HUANG, H.; ABDEL-ATY, M.; GUEVARA, B. Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. Accident Analysis and Prevention, vol. 43, nº 4, 2011, p. 1581–1589.

AL-MASAEID, H. R. Impact of pavement condition on rural road accidents. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 24, 1997, p. 523–531.

ALVAREZ, A. E.; MARTIN, A. E.; ESTAKHRI, C. K.; BUTTON, J. W.; GLOVER, C. J.; JUNG, S. H. Synthesis of current practice on the design, construction, and maintenance of porous friction courses. FHWA, Report 0-5262, 2006, 86p.

ALVAREZ, A. E.; MARTIN, A. E.; ESTAKHRI, C. K.; BUTTON, J. W.; KRAUS, Z.; PRAPAITRAKUL, N.; GLOVER, C. J. Evaluation and recommended improvements for mix design of permeable friction courses. FHWA, Report 0-5262-3, 2007, 180p.

AMIN, S. R.; ZAREIE, A.; AMADOR-JIMÉNEZ, L. E. Climate change modeling and the weather-related road accidents in Canada. Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 32, 2014, p. 171–183.

ANASTASOPOULOS, P. Ch.; MANNERING, F. L. A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 1, 2009, p. 153–159.

ANASTASOPOULOS, P. Ch.; MANNERING, F. L.; SHANKAR, V. N.; HADDOCK, J. E. A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model. Accident Analysis and Prevention, vol. 45, 2012, p. 628–633.

ANDERSON, T. K. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 3, 2009, p. 359–364.

ANDRADE, L.; VISSOCI, J. R. N.; RODRIGUES, C. G.; Finato, K.; CARVALHO, E.; PIETROBON, R.; SOUZA, E. M.; NIHEI, O. K.; LYNCH, C.; CARVALHO, M. D. B. Brazilian road traffic fatalities: A spatial and environmental analysis. PLoS ONE, vol. 9, nº 1, e87244, 2014, 10p.

ANDREY, J.; YAGAR, S. A temporal analysis of rain-related crash risk. Accident Analysis and Prevention, vol. 25, nº 4, 1993, p. 465– 472.

APS, M. Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International friction index para revestimentos asfálticos. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006, 208p.

APS, M.; BERNUCCI, L. L. B.; COSTA, A. L.; QUINTANILHA, J. A.; MACHADO FILHO, P. R. Aderência pneu-pavimento obtida por meio de ensaios de macro e microtextura e em provas de frenagem com veículos comerciais. Revista Estradas, vol. 5, 2003, p. 31-37.

ARAÚJO, J. P.; PALHA, C.; SILVA, H.; OLIVEIRA, J.; COSTA, L. Desenvolvimento de equipamento para avaliação do consume e da desagregação devido à resistência ao rolamento de pavimentos rodoviários. 1º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil, 2016.

ARIËN, C.; BRIJS, K.; BRIJS, T.; CEULEMANS, W.; VANROELEN, G.; JONGEN, E. M. M.; DANIELS, S.; WETS, G. Does the effect of traffic calming measures endure over time? – A simulator study on the influence of gates. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 22, 2014, p. 63–75.

ASHLEY, W. S.; STRADER, S.; DZIUBLA, D. C.; HABERLIE, A. Driving blind: Weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 96, nº 5, 2015, p. 755-778.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. Informativo Técnico sobre a avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. Rio de Janeiro, n. 18, 1999.

ASSUM, T. Attitudes and road accident risk. Accident Analysis and Prevention, vol. 29, nº 2, 1997, p. 153–159.

ASTM E1960: Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface. American Society for Testing and Materials, United States: 2001.

ASTM E274/E274M. Standard method for skid resistance of paved surfaces using a full-scale tire. ASTM International, Pensilvânia, Estados Unidos, 2011.

ASTM E303. Standard test method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum Tester, ASTM International, 2009.

ASTM E965: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Using a Volumetric Technique. ASTM International. Pennsylvania, United States: 2006.

ASTM, D 2041: standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures. Pennsylvania, United States: 2000.

ASTM, D 2726: standard test method for bulk specific gravity and density of non-absorptive compacted bituminous mixtures. Pennsylvania, United States: 2000.

ASTM, E1845: Standard Test Method for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth. ASTM International. Pennsylvania, United States: 2009.

ASTM, E303: Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. ASTM International, 2009.

ASTM, E965: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Using a Volumetric Technique. ASTM International. Pennsylvania, United States: 1996.

BALAGH, A. K. G.; NADERKHANI, F.; MAKIS, V. Highway accident modeling and forecasting in winter. Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 59, 2014, p. 384–396.

BARAT, J. O Planejamento em Transportes. Revista de Administração Pública, vol. 5, nº 1, 1971, p. 49-98.

BASSANI, M.; DALMAZZO, D.; MARINELLI, G.; CIRILLO, C. The effects of road geometrics and traffic regulations on driver-preferred speeds in northern Italy: An exploratory analysis.

Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 25, Part A, 2014, p. 10–26.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L.M. G., CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. Abeda, Petrobrás. Rio de Janeiro, 2008.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L.M. G., CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. Abeda, Petrobrás. Rio de Janeiro: 2008.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. Diagnóstico de segurança viária 2013. 2013, 12p.

BÍL, M.; ANDRÁŠIK, R.; JANOŠKA, Z. Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. Accident Analysis and Prevention, vol. 55, 2013, p. 265–273.

BLAZQUEZ, C. A.; CELIS, M. S. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. Accident Analysis and Prevention, vol. 50, 2013, p. 304–311.

BRAY, J. The role of crash surveillance and program evaluation: NYSDOT's Skid Accident Reduction Program (SKARP). 28th International Forum on Traffic Records and Highway information Systems, Orlando, Florida, 2002.

BRIJS, T.; KARLIS, D.; WETS, G. Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, nº 3, 2008, p. 1180–1190.

BRODSKY, H.; HAKKERT, A. S. Risk of a road accident in rainy weather. Accident Analysis and Prevention, vol. 20, nº 3, 1988, p. 161– 176.

BRYCE, J.; SANTOS, J.; FLINTSCH, G.; KATICHA, S.; McGHEE, K.; FERREIRA, A. Analysis of rolling resistance models to analyse vehicle fuel consumption as a function of pavement properties. In: Asphalt Pavements, vol. 1, Editor KIM, R. Y., CRC Press Taylor & Francis Group: London, 2014, p. 263-276.

CADORE, M. Serviços públicos delegados: consumidor ou usuário do serviço público? Marco Regulatório nº 8, Revista da AGERGS (Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul), Porto Alegre, 2005, p. 89-94.

CAFISO, S.; GRAZIANO, A. D.; SILVESTRO, G. D.; CAVA, G. L.; PERSAUD, B. Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 4, 2010, p. 1072-1079.

CAI, X.; LU, J. J.; XING, Y.; JIANG, C.; LU, W. Analyzing driving risks of roadway traffic under adverse weather conditions: In case of rain day. Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 96, 2013, p. 2563-2571.

CAIRNEY, P. Skid resistance and crashes – A review of the literature. Research Report nº 311, ARRB Transport Research Ltd., Vermont South Victoria, Australia, 1997.

CAIRNEY, P.; BENNETT, P., Relationship between road surface characteristic and crashes on Victorian rural roads. 23rd ARRB Conference – Research Partnering with Practitioners, Adelaide, Australia, 2008, 9p.

CALIENDO, C.; GUIDA, M.; PARISI, A. A crash-prediction model for multilane roads. Accident Analysis and Prevention, vol. 39, nº 4, 2007, p. 657–670.

CALIFORNIA DEPARTMENT of TRANSPORTATION Maintenance Technical Advisory guide (MTAG). California Department of Transportation, Division of Maintenance. Sacramento: 2007.

CARDOSO, G. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2006.

CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G. Análise de Eventos Pontuais. In DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (editores) "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, Capítulo 2, 2004.

ÇELA, L.; SHIODE, S.; LIPOVAC, K. Integrating GIS and spatial analytical techniques in an analysis of road traffic accidents in Serbia. International Journal for Traffic and Transport Engineering, vol. 3, nº 1, 2013, p. 1 – 15.

CHAKRABARTY, N.; GUPTA. K. Analysis of driver behaviour and crash characteristics during adverse weather conditions. Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 104, 2013, p. 1048–1057.

CHAKRABARTY, N.; GUPTA. K.; KUMAR, R.; SINGH, G. Effect of extreme weather conditions on speed profiles of drivers: A case study in Delhi, India. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), vol. 2, nº 11, 2014, p. 461-469.

CHAN, C. Y.; HUANG, B.; YAN, X.; RICHARDS, S. Effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee utilizing Pavement Management System (PMS). Journal of Advanced Transportation, vol. 44, nº 3, 2010, p. 150–161.

CHANG, G-L.; PARK, S. Y.; PARACHA, J. Intelligent Transportation System field demonstration: Integration of Variable Speed Limit control and Travel Time Estimation for a recurrently congested highway. Journal of the Transportation Research Board, nº 2243, 2011, p. 55-66.

CHANG, L.; CHEN, W. Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. Journal of Safety Research, vol. 36, nº 4, 2005, p. 365 – 375.

CHANG, L-Y. Analysis of freeway accident frequencies: Negative binomial regression versus artificial neural network. Safety Science, vol. 43, nº 8, 2005, p. 541–557.

CHENG, L., GEEDIPALLY, S. R.; LORD, D. The Poisson-Weibull generalized linear model for analyzing motor vehicle crash data. Safety Science, vol. 54, 2013, p. 38-42.

CHENG, L.; GEEDIPALLY, S. R.; LORD, D. The Poisson-Weibull generalized linear model for analyzing motor vehicle crash data, Safety Science, vol. 54, 2013, p. 38–42.

CHIN, H. C.; QUDDUS, M. A. Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. Accident Analysis and Prevention, vol. 35, nº 2, 2003, p. 253–259.

CHIOU, Y-C. An artificial neural network-based expert system for the appraisal of two-car crash accidents. Accident Analysis and Prevention, vol. 38, nº 4, 2006, p. 777–785.

CLAEYS, X.; YI, J.; ALVAREZ, L.; HOROWITZ, R.; WIT, C. C.; RICHARD, L. The friction modeling under wet road conditions. Proceedings of the American Control Conference. Arlington: June-2001.

CZICHOS, H.; HABIG, K. Tribologie-Handbuch: Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik. Vieweg + Teubner: Berlin, 2010.

DEKA, L.; QUDDUS, M. Network-level accident-mapping: Distance based pattern matching using artificial neural network. Accident Analysis and Prevention, vol. 65, 2014, p. 105–113.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, Brasil: DNIT, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

DO, M. T.; CEREZO, V.; BEAUTRU, Y.; KANE, M. Modeling of the connection road surface microtexture/water depth/friction. Wear, vol. 302, nº 1-2, 2013, p. 1426-1435.

DO, M.; CEREZO, V.; LÉON, E. de; NAJAFI, S. Road surface texture and skid resistance. Surface Topography: Metrology and Properties, 2015.

DURDURAN, S. S. A decision making system to automatic recognize of traffic accidents on the basis of a GIS platform. Expert Systems with Applications, vol. 37, nº 12, 2010, p. 7729–7736.

ECKLEY, D. C.; CURTIN, K. M. Evaluating the spatiotemporal clustering of traffic incidents. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 37, 2013, p. 70–81.

EISENBERG, D. The mixed effects of precipitation on traffic crashes. Accident Analysis and Prevention, vol. 36, nº 4, 2004, p. 637– 647.

EISENBERG, D.; WARNER, K. E. Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. American Journal of Public Health, vol. 95, nº 1, 2005, p. 120-124.

EJSMONT, J.; SJÖGREN, L.; ŚWIECZKO-ŻUREK, B.; RONOWSKI, G. Influence of road wetness on tire-pavement rolling resistance. Journal of Civil Engineering and Architecture, vol. 9, 2015, p. 1302-1310.

EL-BASYOUNY, K.; BARUA, S.; ISLAM, M. T. Investigation of time and weather effects on crash types using full Bayesian multivariate Poisson lognormal models. Accident Analysis and Prevention, vol. 73, 2014, p. 91–99.

EL-BASYOUNY, K.; SAYED, T. Accident prediction models with random corridor parameters. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 5, 2009, p. 1118–1123.

ELVIK, R. Risk of road accident associated with the use of drugs: A systematic review and meta-analysis of evidence from epidemiological studies. Accident Analysis and Prevention, vol. 60, 2013, p. 254–267.

ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T.; SØRENSEN, M. The handbook of road safety measures. Emerald. Oslo, Noruega, 2009.

ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T.; SØRENSEN, M. The handbook of road safety measures. Emerald. Oslo, Noruega: 2009.

EMEASOBA, U. R. B.; OGBUEFI, J. U. Sustainable socio-economic development in Nigeria: a case for road infrastructure maintenance. Journal of Environment and Earth Science, vol. 3, nº 5, 2013, p. 129-137.

EN 12697-22: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking, 2003.

ERDOGAN, S.; ILÇI, V.; SOYSAL, O. M.; KORKMAZ, A. A model suggestion for the determination of the traffic accident hotspots on the Turkish highway road network: A pilot study. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 21, nº 1, 2015, p. 169-188.

ERDOGAN, S.; YILMAZ, I.; BAYBURA, T.; GULLU, M. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, 2008, p. 174–181.

ESTAKHRI, C. K.; ALVAREZ, A. E.; MARTIN, A. E. Guidelines on construction and maintenance of porous friction courses in Texas. FHWA, Report 0-5262-2, 2007, 44p.

FERNANDES, A.; NEVES, J. Threshold values of pavement surface properties for maintenance purposes based on accidents modelling. International Journal of Pavement Engineering, vol. 15, nº 10, 2014, p. 917–924.

FLAHAUT, B.; MOUCHART, M.; SAN MARTIN, E.; THOMAS, I. The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones - A comparative approach. Accident Analysis and Prevention, vol. 35, 2003, p. 991–1004.

FLINTSCH, G. W.; MCGHEE, K. K.; LÉON, E. de; NAJAFI, S. The little book of tire pavement friction. Pavement Surface Properties Consortium, 2012.

FLINTSCH, G; W.; AL-QADI, I.; DAVIS, R.; McGUEE, K. K. Effect of HMA Properties on Pavement Surface Characteristics. Transportation Research Record. Washington D.C.: 2002.

FRIDSTRØM, L.; IFVER, J.; INGEBRIGTSEN, S.; KULMALA, R.; THOMSEN, L. K. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. Accident Analysis and Prevention, vol. 27, nº 1, 1995, p. 1–20.

FUENTES, L. G; GUNARATNE, M; DE LÉON IZEPPI, E. FLINTSCH, G. W.; MARTINEZ, G. Determination of Pavement Macrotexture Limit for Use in International Friction Index Model. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2306, p. 138 – 143, 2012.

FWA, T. F.; ONG, G. P. Wet-Pavement Hydroplaning Risk and Skid Resistance: Analysis. Journal of Transportation Engineering, 2008.

GALLEN, R.; HAUTIÈRE, N.; CORD, A.; GLASER, S. Supporting drivers in keeping safe speed in adverse weather conditions by mitigating the risk level. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, nº 4, 2013, p. 1558-1571.

GANDHI, P.M.; COLUCCI, B.; GANDHI, S. P. Polishing of aggregates and wet-weather accident rates for flexible pavements. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, nº 1300, Washington, D.C., 1991.

GBD - The Global Burden of Disease. A comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. MURRAY, C. J. L.; LOPEZ, A. D. (Editors), The Harvard School of Public Health, 1996, 43p.

GEEDIPALLY, S. R.; LORD, D.; DHAVALA, S. S. The negative binomial–Lindley generalized linear model: Characteristics and application using crash data, Accident Analysis & Prevention, vol. 45, 2012, p. 258–265.

GEEDIPALLY, S. R.; LORD, D.; DHAVALA, S. S. The negative binomial Lindley generalized linear model: Characteristics and application using crash data. Accident Analysis and Prevention, vol. 45, 2012, p. 258-265.

GEURTS, K., THOMAS, I.; WETS, G. Understanding spatial concentrations of road accidents using frequent item sets. Accident Analysis and Prevention, vol. 37, nº 4, 2005, p. 787–799.

GIBBS, D.; IWASAKI, R.; BERNHARD, R.; BLEDSOE, J.; CARLSON, D.; CORBISIER, C.; FULTS, K.; HEARNE JR, T.; MCMULLEN, K.; NEWCOMB, D.; ROBERTS, J.; ROCHAT, J.; SCOFIELD, L.; SWANLUND, M. Quiet pavements in Europe. US Department of Transportation. Washington D.C., 2005, 48p.

GIBIN, M.; LONGLEY, P.; ATKINSON, P. Kernel density estimation and percent volume contours in general practice catchment area analysis in urban areas. Proceedings of the GIScience Research UK Conference (GISRUK) Ireland, 2007.

GILES, C. G.; SABEY, B. E.; CARDEW, K. H. F. Development and performance of the portable skid-resistance tester. Road Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Technical paper 66, HMSO, Londres, Reino Unido, 1962, p. 50-74.

GOTHIE, M. Relationship between surface characteristics and accidents. Proceedings of 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics, Christchurch, New Zealand, 1996.

GOTHIÉ, M.; PARRY, T.; ROE, P. The relative influence of the parameters affecting road surface friction. International Colloquium on Vehicle-Tyre Road Interaction. Italy: Florence, 2001.

GUO, F.; WANG, X.; ABDEL-ATY, M. A. Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 1, 2010, p. 84–92.

HABIBOVIC, A.; DAVIDSSON, J. Causation mechanisms in car-to-vulnerable road user crashes: Implications for active safety systems. Accident Analysis and Prevention, vol. 49, 2012, p. 493– 500.

HABIBOVIC, A.; DAVIDSSON, J. Requirements of a system to reduce car-to-vulnerable road user crashes in urban intersections. Accident Analysis and Prevention, vol. 43, 2011, p. 1570–1580.

HALEKOH, U.; HØJSGAARD, S.; YAN, J. The R Package geepack for generalized estimating equations. Journal of Statistical Software, vol. 15, nº 2, 2006, p. 1–11.

HALL, J. W.; SMITH, K. L.; TITUS-GLOVER, L.; WAMBOLD, J. C.; YAGER, T. J.; RADO, Z. Guide for pavement friction. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Web-Only Document 108, Final Report for NCHRP Project 01-43, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, USA, 2009, 257p.

HANLEY, J. A.; NEGASSA, A.; EDWARDES, M. D. deB.; FORRESTER, J. E. Statistical analysis of correlated data using Generalized Estimating Equations: An orientation. American Journal of Epidemiology, vol. 157, nº 4, 2003, p. 364-375.

HAQUE, M.; CHIN, H. C.; HUANG, H. Applying Bayesian hierarchical models to examine motorcycle crashes at signalized intersections. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 1, 2010, p. 203– 212.

HARDIN, J. W., HILBE, J. M. Generalized linear models and extensions. 2nd Edition, Stata Press: College Station, Texas, 2007, 387p.

HARDIN, J. W.; HILBE, J. M.; HILBE, J. GENERALIZED LINEAR MODELS AND EXTENSIONS, STATA PRESS, 2007.

HARWOOD, D. W.; BLACKBURN, R.; HEENAN, P. J. Effectiveness of alternative skid reduction measures. Reports n. FHWA-RD-79-22, 23, 24, 25. FHWA, Washington, DC, 1978, 144p.

HENRY, J. J. Evaluation of pavement friction characteristics, Transportation Research Board, 2000.

HENRY, J. J. Tire wet-pavement traction measurement: A State-of-the-art review. The Tire Pavement Interface, ASTM STP 929, M. G. Pottinger and T. J. Yager, Eds., American Society for Testing and Materials, Filadélfia, 1986, p. 03-25.

HUANG, H.; ABDEL-ATY, M. Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 6, 2010, p. 1556–1565.

HUANG, H.; CHIN, H. C.; HAQUE, M. Empirical evaluation of alternative approaches in identifying crash hot spots: Naive ranking, empirical Bayes, and full Bayes methods. Journal of the Transportation Research Board, nº 2103, 2009, p. 32-41.

HUANG, X.; SHI, Y. Distribution characteristics and countermeasures of traffic accidents in rural road. 1st International Conference on Transportation Infrastructure and Materials (ICTIM), 2016, 8p.

HUSSEIN, N.; HASSAN, R. An assessment of safety at signalized intersections post resurfacing. International Journal of Transport Development and Integration, vol. 1, nº 2, 2017, p. 256–266.

IHS, A.; MAGNUSSON, G. The significance of various road surface properties for traffic and surroundings. VTI notat 71A. Swedish National Road and Transport Research Institute. Sweden, 2000.

ISO 13473-2. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 2: terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis, International Standard. 2002. Disponível online em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=25638>.

JADAAN, K. S.; AL-FAYYAD, M.; GAMMOH, H. F. Prediction of Road Traffic Accidents in Jordan using Artificial Neural Network (ANN). Journal of Traffic and Logistics Engineering, vol. 2, nº 2, 2014, p. 92-94.

JIANG, B.; OKABE, A. Different Ways of Thinking about Street Networks and Spatial Analysis. Geographical Analysis, vol. 46, nº 4, 2014, p. 341–344.

JOVANIS, P. P.; CHANG, H-L. Disaggregate model of highway accident occurrence using survival theory. Accident Analysis and Prevention, vol. 21 nº 5, 1989, p. 445–458.

JUNG, S.; JANG, K.; YOON, Y.; KANG, S. Contributing factors to vehicle to vehicle crash frequency and severity under rainfall. Journal of Safety Research, vol. 50, 2014, p. 1–10.

JUNG, S.; QIN, X.; NOYCE, D. A. Modeling highway safety and simulation in rainy weather. Journal of the Transportation Research Board, nº 2237, 2011, p. 134–143.

JUNG, S.; QIN, X.; NOYCE, D. A. Rainfall effect on single-vehicle crash severities using polychotomous response models. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 1, 2010, p. 213–224.

KABIR, M. S.; KING JR, W.; ABADIE, C.; ICENOGLE, P.; COOPER JR, S. B. Louisiana's experience with open-graded friction course mixtures. Journal of the Transportation Research Board, vol. 2295, 2012, 9p.

KAMEL, N.; GARTSHORE, T. Ontario's wet pavement accident reduction program. ASTM Special Technical Publication nº 763, American Society of Testing and Materials, (ASTM), Philadelphia, Pennsylvania, 1982.

KANE, M.; RADO, Z.; TIMMONS, A. Exploring the texture–friction relationship: from texture empirical decomposition to pavement friction. International Journal of Pavement Engineering, vol. 16, nº 10, 2015, p. 919-928.

KAYGISIZ, Ö.; DÜZGÜN, Ş.; YILDIZ, A.; SENBIL, M. Spatio-temporal accident analysis for accident prevention in relation to behavioral factors in driving: The case of South Anatolian Motorway. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 33, 2015, p. 128–140.

KHATTAK, A. J.; KANTOR, P.; COUNCIL, F. M. Role of adverse weather in key crash types on limited-access roadways: Implications for advanced weather systems. Journal of the Transportation Research Board, nº 1621, 1998, p. 10-19.

KHATTAK, A. J.; KNAPP, K. K. Snow event effects on interstate highway crashes. Journal of Cold Regions Engeneering, vol. 15, nº 4, 2001, p. 219-229.

KINGHAM, S.; SABEL, C. E.; BARTIE, P. The impact of the 'school run' on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis. Journal of Transport Geography, vol. 19, nº 4, 2011, p. 705–711.

KLASSEN, J.; EL-BASYOUNY, K.; ISLAM, M. T. Analyzing the severity of bicycle-motor vehicle collision using spatial mixed logit models: A City of Edmonton case study. Safety Science, vol. 62, 2014, p. 295–304.

KOETSE, M. J.; RIETVELD, P. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Transportation Research Part D, vol. 14, nº 3, 2009, p. 205–221.

KOKKALIS, A. G.; PANAGOULI, O. K. Fractal evaluation of pavement skid resistance variations. I: surface wetting. Chaos, Solitons and Fractals, vol. 9, nº 11, 1998, p. 1875-1890.

KUTTESCH, J. S., Quantifying the Relationship between skid resistance and wet weather accidents for Virginia data. Dissertação de Mestrado, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, Estados Unidos, 2004, 140p.

LAMB, D. S.; DOWNS, J. A.; LEE, C. The network K-function in context: examining the effects of network structure on the network K-function. Transactions in GIS, vol. 20, 2016, p. 448-460.

LARSON, R. M. Consideration of tire/pavement friction/texture effects on pavement structural design and materials mix design. Federal Highway Administration (FHWA), Office of Pavement Technology, Washington, D.C., 1999.

LAURESHYN, A.; CEUNYNCK, T. D.; KARLSSON, C.; SVENSSON, Å.; DANIELS, S. In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. Accident Analysis and Prevention, vol. 98, 2017, p. 46–56.

LEARD, B.; ROTH, K. Weather, traffic accidents, and climate change. Resources for the Future Discussion Paper 15-19, 2015, 43p. Disponível on line: <http://ssrn.com/abstract=2622713> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2622713>.

LEE, J.; NAM, B.; ABDEL-ATY, M. Effects of pavement surface conditions on traffic crash severity. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, vol. 141, nº 10, 2015.

LEE, J.; NAM, B.; ABDEL-ATY, M. Effects of pavement surface conditions on traffic crash severity. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, vol. 141, nº 10, 2015.

LEVINE, N. CrimeStat IV: A spatial statistics program for the analysis of crime incident locations. Houston, TX and Washington, DC: Ned Levine & Associates and The National Institute of Justice. 2010.

LI, X.; LORD, D.; ZHANG, Y.; XIE, Y. Predicting motor vehicle crashes using Support Vector Machine models. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, nº 4, 2008, p. 1611–1618.

LI, Z.; LIU, P.; WANG, W.; XU, C. Using support vector machine models for crash injury severity analysis. Accident Analysis and Prevention, vol. 45, 2012, p. 478–486.

LIANG, K-Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. Biometrika, vol. 73, nº 1, 1986, p. 13-22.

LORD, D. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. Accident Analysis and Prevention, vol. 38, nº 4, 2006, p. 751-766.

LORD, D., GEEDIPALLY, S. R.; GUIKEMA, S. Extension of the application of Conway Maxwell Poisson models: Analyzing traffic crash data exhibiting under dispersion. Risk Analysis, vol. 30, nº 8, 2010, p. 1268-1276.

LORD, D.; GEEDIPALLY, S. R. The negative binomial Lindley distribution as a tool for analyzing crash data characterized by a large amount of zeros. Accident Analysis and Prevention, vol. 43, nº 5, 2011, p. 1738-1742.

LORD, D.; GEEDIPALLY, S. R. The negative binomial-Lindley distribution as a tool for analyzing crash data characterized by a large amount of zeros, Accident Analysis & Prevention, vol. 43, n. 5, 2011, p. 1738–1742.

LORD, D.; GEEDIPALLY, S.; GUIKEMA, S. Extension of the application of Conway–Maxwell–Poisson models: Analyzing traffic crash data exhibiting underdispersion, Risk Analysis, vol. 30, n. 8, 2010, p. 1268–1276.

LORD, D.; GUIKEMA, S. D.; GEEDIPALLY, S. R. Application of the Conway-Maxwell-Poisson generalized linear model for analyzing motor vehicle crashes, Accident Analysis & Prevention, vol. 40, n. 3, 2008, p. 1123–1134.

LORD, D.; GUIKEMA, S. D.; GEEDIPALLY, S. R. Application of the Conway Maxwell- Poisson generalized linear model for analyzing motor vehicle crashes. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, nº 3, 2008, p. 1123-1134.

LORD, D.; MAHLAWAT, M. Examining the application of aggregated and disaggregated Poisson-gamma models subjected to low sample mean bias. Transportation Research Record, nº 2136, 2009, p. 1–10.

LORD, D.; MANAR, A.; VIZIOLI, A. Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. Accident Analysis and Prevention, vol. 37, nº 1, 2005b, p. 185–199.

LORD, D.; MANNERING, F. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 44, nº 5, 2010, p. 291–305.

LORD, D.; MIRANDA-MORENO, L. F. Effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter of Poisson-gamma models for modeling motor vehicle crashes: A Bayesian perspective. Safety Science, vol. 46, nº 5, 2008, p. 751–770.

LORD, D.; PERSAUD, B .N. Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. Transportation Research Record, nº 1717, 2000, p. 102–108.

LORD, D.; WASHINGTON, S. P.; IVAN, J. N. Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. Accident Analysis and Prevention, vol. 37, nº 1, 2005a, p. 35-46.

LORD, D.; WASHINGTON, S.; IVAN, J. N. Further notes on the application of zero-inflated models in highway safety. Accident Analysis and Prevention, vol. 39, nº 1, 2007, p. 53-57.

LUO, Z.; LI, J.; ZHOMG, M. Prediction of seasonal variation in traffic collisions on rural highways: A case study in the province of British Columbia. IEEE 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2017, p. 23-26.

MACEDO, A. L. Estratégia e programa de ID&I 2013-2020 do Departamento de Transportes do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), Relatório 110, Lisboa, 2015, 67p.

MACHADO, C. A. S.; GIANNOTTI, M. A.; CHIARAVALLOTI NETO, F.; TRIPODI, A.; PERSIA, L.; QUINTANILHA, J. A. Characterization of Black Spot Zones for Vulnerable Road Users in São Paulo (Brazil) and Rome (Italy). ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 4, 2015, p. 858-882.

MACHADO, C. A. S.; GIANNOTTI, M. A.; SHINOHARA, E. J.; NISHISAKI, H.; QUINTANILHA, J. A. Characterization of the sites of traffic accidents involving vulnerable road users (VRU) in São Paulo city. Proceedings of the Transport Research Arena (TRA 2014)—5th Conference Transport Solutions: From Research to Deployment-Innovative Mobility, Mobilise Innovation, Paris, France, 2014; 10p.

MAHER, M. J.; SUMMERSGILL, I. A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. Accident Analysis & Prevention, vol. 28, nº 3, 1996, p. 281-296.

MALTA, D. C.; BERNAL, R. T. I.; MASCARENHAS, M. D. M.; MONTEIRO, R. A.; SÁ, N. N. B.; ANDRADE, S. S. C. A.; GAWRYSZEWSKI, V. P.; SILVA, M. M. A.; MORAIS NETO, O. L. Atendimentos por acidentes de transporte em serviços públicos de emergência em 23 capitais e no Distrito Federal – Brasil, 2009. (Traffic accident emergency medical care by emerging services in 23 state capitals and the Federal District – Brazil, 2009). Epidemiologia e Serviços de Saúde, vol. 21, nº 1, 2012, p. 31-42.

MALYSHKINA, N. V.; MANNERING, F. L. Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 1, 2010a, p. 131-139.

MALYSHKINA, N. V.; MANNERING, F. L. Zero-state Markov switching count-data models: An empirical assessment. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 1, 2010b, p. 122– 130.

MALYSHKINA, N. V.; MANNERING, F. L.; TARKO, A. P. Markov switching negative binomial models: An application to vehicle accident frequencies. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 2, 2009, p. 217– 226.

MANFRÈ, L. A.; NÓBREGA, R. A. A.; QUINTANILHA, J. A. Evaluation of Multiple Classifier Systems for Landslide Identification in LANDSAT Thematic Mapper (TM) Images. International Journal of Geo-Information, vol. 5 (9), 164, 2016, 17p.

MANNERING, F. L.; SHANKAR, V.; BHAT, C. R. Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. Analytic Methods in Accident Research, vol. 11, 2016, p. 1-16.

MAYORA, J. M. P.; PIÑA, R. J. An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 4, 2009, p. 881-886.

MAZE, T. H.; AGARWAL, M.; BURCHETT, G. Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow. Journal of the Transportation Research Board, nº 1948, 2006, p. 170–176.

McCULLOUGH, B. V.; HANKINS, K. D. Skid resistance guidelines for surface improvements on Texas highways. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, nº 131, Washington, D.C., 1966.

McLEAN, J. The relationship between pavement condition and road safety. Paper presented at the Load-Pavement Interaction Workshop, Newcastle, 1995.

MIAOU, S.; SONG, J. J.; MALLICK, B. K. Roadway traffic crash mapping: A space-time modeling approach. Journal of Transportation and Statistics, vol. 6, nº 1, 2003, p. 33-57.

MIAOU, S-P. The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. Accident Analysis and Prevention, vol. 26, nº 4, 1994, p. 471– 482.

MILLER, M. M.; H.D. JOHNSON, H. D. Effects of resistance to skidding on accidents: Surface dressing on an elevated section of the M4 Motorway. Report nº LR 542, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, United Kingdom, 1973.

MILLER, T.; SWIERTZ, D.; TASHMAN, L.; TABATABAEE, N.; BAHIA, H. U. Characterization of asphalt pavement surface texture. Journal of the Transportation Research Board, nº 2295, 2012, p. 19-26.

MILTON, J. C.; MANNERING, F. L. Then relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. Transportation, vol 25, nº 4, 1998, p. 395-413.

MOEINADDINI, M.; ASADI-SHEKARI, Z.; SHAH, M. Z. The relationship between urban street networks and the number of transport fatalities at the city level. Safety Science, vol. 62, 2014, p. 114–120.

MOORE, D. F. Design of Texture in Standard Surfaces. Surface Texture versus Skidding: Measurements, Frictional Aspects, and Safety Features of Tire-Pavement Interactions. ASTM International. Tallahassee, United States: 1975.

MOORE, D. F. Drainage criteria for runway surface roughness. Royal Aeronautical Society, 1964.

MOORE, D. F. Friction and Wear in Rubber and Tyres. International rubber Conference. Kiev: Ukraine, 1978.

NARDI, A. C. F.; MALTA, D. C.; DUARTE, E.; GARCIA, L. P. Segurança no trânsito: tempo de resultados. Epidemiologia e Serviços de Saúde, vol. 24, nº 4, 2015, p. 593-594.

NG, J. C.; SAYED, T. Effect of geometric design consistency on road safety. Canadian Journal of Civil Engineering vol. 31, nº 2, 2004, p. 218-227.

NHTSA. Update on the status of splash and spray suppression technology for large trucks. National Highway Traffic Safety Administration, 2000, 42p.

NICHOLSON, A.; WONG, Y-D. Are accidents poisson distributed? A statistical test. Accident Analysis and Prevention, vol. 25, nº 1, 1993, p. 91-97.

NOYCE, D. A.; BAHIA, H. U.; YAMBO, J. M.; KIM, G. Incorporating road safety into pavement management: maximizing asphalt pavement surface friction for road safety improvements. Midwest Regional University Transportation Center Traffic Operations and Safety TOPS Laboratory. Wiscosin, Estados Unidos, 2005.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. Road surface characteristics – Their Interaction and their optimization. OECD Scientific Expert Group, Road Transport Research, Paris, France, 1984.

OH, C.; OH, J-S.; RITCHIE, S. G. Real-time hazardous traffic condition warning system: Framework and evaluation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, nº 3, 2005, p. 265-272.

OKABE, A.; OKUNUKI, K-I.; SHIODE, S. SANET: A toolbox for spatial analysis on a network. Geographical Analysis, vol. 38, nº 1, 2006b, p. 57–66.

OKABE, A.; SATOH, T. Uniform network transformation for points pattern analysis on a non-uniform network. Journal of Geographical Systems, vol. 8, nº 1, 2006, p. 25-37.

OKABE, A.; SHIODE, S.; OKUNUKI, K-I. The SANET toolbox: New methods for Network Spatial Analysis. Transactions in GIS, vol. 10, nº 4, 2006a, p. 535-550.

OKABE, A.; SUGIHARA, K. Spatial Analysis along Networks: Statistical and Computational Methods. Chichester: John Wiley, a volume in the Wiley series of Statistics in Practice, 2012, 306p.

OMS - Organização Mundial de Saúde. Global status report on road safety 2013 – Supporting a decade of action. Genebra, Suíça, 2013, 318p.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Global status report on road safety 2015. Geneva, Switzerland, 2015, 340p.

OÑA, J.; LÓPEZ, G.; MUJALLI, R.; CALVO, F. J. Analysis of traffic accidents on rural highways using Latent Class Clustering and Bayesian Networks. Accident Analysis and Prevention, vol. 51, 2013, p. 1–10.

ONU – Organização das Nações Unidas. "Sustainable development goals – 17 goals to transform our world". Disponível em: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em 02 de janeiro de 2019.

OSMAN, M. A.; ADAM, Z. M. Local Scour of Highway Cross Drainage Structures. University of Khartoum Engineering Journal, vol. 5, nº 1, 2015, p. 1-9.

OTTE, D.; JÄNSCH, M.; HAASPER, C. Injury protection and accident causation parameters for vulnerable road users based on German In-Depth Accident Study GIDAS. Accident Analysis and Prevention, vol. 44, nº 1, 2012, p. 149-153.

PANAGOULI, O. K.; KOKKALIS, A. G. Skid resistance and fractal structure of pavement surface. Chaos, Solitons and Fractals, vol. 9, nº 3, 1998, p. 493-505.

PARK, B-J.; LORD, D. Application of finite mixture models for vehicle crash data analysis. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 4, 2009, p. 683-691.

PARK, B-J.; LORD, D.; HART, J. D. Bias properties of Bayesian statistics in finite mixture of negative binomial regression models in crash data analysis. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, nº 2, 2010, p. 741– 749.

PARZEN, E. On estimation of a probability density function and mode. Annals of Mathematical Statistics, vol. 33, 1962, p. 1065-1076.

PAULA, G. A. Modelos de regressão com apoio computacional. Editora IME - Instituto de Matemática e Estatística da USP: São Paulo, 2013, 440p

PEDELI, X.; KARLIS, D. A bivariate INAR(1) process with application. Statistical Modelling, vol. 11, nº 4, 2011; p. 325–349.

PEDEN, M.; MCGEE, K.; SHARMA, G. The injury chart book: A graphical overview of the global burden of injuries. Geneva, World Health Organization, 2002, 81p.

PEREIRA, C. A.; SOARES, J. B.; PONTES FILHO, I. D. DA S.; BRANCO, V. T. F. C. Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes. Transportes, v. 20, n. 2 p. 65–74, 2012.

PERSSON, B. N. J. On the theory of rubber friction. Surface Science. 1998

PICKLE, L. W. Exploring spatio-temporal patterns of mortality using mixed effects models. Statistics in Medicine – Special Issue: Disease Mapping with a Focus on Evaluation, vol. 19, nº 17-18, 2000, p. 2251-2263.

PINTO, S. Tratamento superficial betuminoso. Rio de Janeiro: IME, 2004.

POCH, M.; MANNERING, F. Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. Journal of Transportation Engineering, vol. 122, nº 2, 1996, p. 105-113.

PRATICÒ, F. G.; VAIANA, R. Improving infrastructure sustainability in suburban and urban areas: Is porous asphalt the right answer? And how? Urban Transport XVIII, vol. 128, 2012, p. 673-684.

PRATICÒ, F. G.; VAIANA, R.; GIUNTA, M. Sustainable rehabilitation of porous European mixes. Integrating sustainability practices in the construction industry, Kansas City, Missouri, Estados Unidos, 2011, p. 535-541.

PULUGURTHA, S. S.; PATEL, K.; KUSAM, P. R. Pavement Macrotexture Thresholds to enhance safety: a case study using I-40 data in Durham County, North Carolina. Transportation Research Board (TRB), Washington, D. C., 2011.

QIN, X.; IVAN, J. N.; RAVISHANKER, N. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. Accident Analysis and Prevention, vol. 36, nº 2, 2004, p. 183–191.

QIU, L.; NIXON, W. A. Effects of adverse weather on traffic crashes: Systematic review and meta-analysis. Journal of the Transportation Research Board, nº 2055, 2008, p. 139–146.

QUDDUS, M. A. Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, nº 4, 2008a, p. 1486–1497.

QUDDUS, M. A. Time series count data models: An empirical application to traffic accidents. Accident Analysis and Prevention, vol. 40, nº 5, 2008b, p. 1732–1741.

RIVIERE, C.; LAURET, P.; RAMSAMY, J. F. M.; PAGE, Y. A Bayesian Neural Network approach to estimating the Energy Equivalent Speed. Accident Analysis and Prevention, vol. 38, nº 2, 2006, p. 248-259.

RIZENBERGS, R. L.; BURCHETT, J. L.; NAPIER, C. T. Accidents on rural interstate and parkway roads and their relation to pavement friction. Kentucky Transportation Center Research Report, Paper 1113, 1973, 64p.

RODRIGUES, D. S.; RIBEIRO, P. J. G.; NOGUEIRA, I. C. S. Safety classification using GIS in decision-making process to define priority road interventions. Journal of Transport Geography, vol. 43, 2015, p. 101–110.

ROE, P.; WEBSTER, D.; WEST, G. The relation between the surface texture of roads and accidents. Transport Road Research Laboratory, Report 296. Materials and Construction Division. United Kingdom: Crowthrone, 1991.

ROSENBLATT, M. Remarks on some nonparametric estimate of a density function. Annals of Mathematical Statistics, vol. 27, 1956, p. 832-837.

RUNGRUANGVIROJN, P.; KANITPONG, K. Measurement of visibility loss due to splash and spray: The comparison between Porous Asphalt, SMA, and Conventional Asphalt Pavements. Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos, 2009, 20p.

RUNGRUANGVIROJN, P.; KANITPONG, K. Measurement of visibility loss due to splash and spray: porous, SMA and conventional asphalt pavements. International Journal of Pavement Engineering, vol. 11, nº 6, 2010, p. 499–510.

RUSLI, R.; HAQUE, M. M.; KING, M.; VOON, W. S. Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model. Accident Analysis and Prevention, vol. 102, 2017, p. 153-164.

SANTOS, E. L. Análise histórica de medição de atrito das pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ. Trabalho de Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronaútica – ITA, Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 2004, 124p.

SANTOS, G.; BEHRENDT, H.; MACONI, L.; SHIRVANI, T.; TEYTELBOYM, A. Part I: Externalities and economic policies in road transport. Research in Transportation Economics, vol. 28, nº 1, 2010, p. 2–45.

SATTERTHWAITE, S. P. An assessment of seasonal and weather effects on the frequency of road accidents in California. Accident Analysis and Prevention, vol. 8, 1976, p. 87– 96.

SAWALHA, Z.; SAYED, T. Traffic accident modeling: some statistical issues. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 33, nº 9, 2006, p. 1115-1124.

SCHEPERS, P.; HAGENZIEKER, M.; METHORST, R.; VAN WEE, B.; WEGMAN, F. A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. Accident Analysis and Prevention, vol. 62, 2014, p. 331–340.

SCHULZE, K. H.; BECKMANN, L. Friction Properties of Pavements At Different Speeds. Symposium on Skid Resistance. American Society for Testing and Materials. ASTM International. Baltimore, United States: 1962.

SCHULZE, K. H.; GERBALDI, A.; CHAVET, J. Skidding accidents, friction numbers, and the legal aspects involved. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, nº 623, Washington, D.C., 1976.

SEEHERMAN, J.; LIU, Y. Effects of extraordinary snowfall on traffic safety. Accident Analysis and Prevention, vol. 81, 2015, p. 194–203.

SHANKAR, V. N.; ALBIN, R. B.; MILTON, J. C.; MANNERING, F. L. Evaluating median cross-over likelihoods with clustered accident counts: an empirical inquiry using the random effects negative binomial model. Transportation Research Record, nº 1635, 1998, p. 44–48.

SILVA, A. H. M.; BERNUCCI, L. L. B.; ARANHA, A. L.; SUZUKI, C. Y.; CHAVES, J. M. Avaliação da Redução de Acidentes em Pavimentos com Microrrevestimento a Frio. VII Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, Foz do Iguaçu, 2011.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis - Monographs on Statistics and Applied Probability. Ed. Chapman and Hall, London, 1ª Edição, 1986, 200p.

SINGH, G.; SACHDEVA, S. N.; PAL, M. M5 model tree based predictive modeling of road accidents on non-urban sections of highways in India. Accident Analysis and Prevention, vol. 96, 2016, p. 108–117.

SMALL, K.; VERHOEF, E. T. The economics of urban transportation. London: Routledge, 2007, 276p.

SMIT, A. F.; PROZZI, J. A. Quantification of the reduction of wet weather accidents using Porous Friction Courses (PFC). 13th COTA International Conference of Transportation Professionals, 2013, p. 2745-2755.

SMITH, M. J., GOODCHILD, F. M., LONGLEY, P. A. Geospatial Analysis. Leicester: The Winchelsea Press, 5th Edition, 2015, 748p.

SOHN, S. Y.; LEE, S. H. Data fusion, ensemble and clustering to improve the classification accuracy for the severity of road traffic accidents in Korea. Safety Science, vol. 41, nº 1, 2003, p. 1–14.

SOLTANI, A.; ASKARI, S. Analysis of intra-urban traffic accidents using spatiotemporal visualization techniques. Transport and Telecommunication Journal, vol. 15, nº 3, 2014, p. 227-232.

SPECHT, L. P.; ROZEK, T.; HIRSCH, F.; SANTOS, R. T. Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia Evaluation of pavement macrotexture by sand patch technique. Teoria e Prática na Engenharia Civil, vol. 10, 2007, p. 30-38.

STEENBERGHEN , T.; AERTS, K.; THOMAS, I. Spatial clustering of events on a network. Journal of Transport Geography, vol. 18, nº 3, 2010, p. 411–418.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. Variable Trends in Economic Time Series. The Journal of Economic Perspectives, vol. 2, nº 3, 1988, p. 147-174.

SUN, J.; SUN J. A dynamic Bayesian network model for real-time crash prediction using traffic speed conditions data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 54, 2015, p. 176–186.

SUZUKI, H.; CERVERO, R.; IUCHI, K. Transforming cities with transit – Transit and land-use integration for sustainable urban development. Urban Development Series, Washington: The World Bank, 2013, 205p.

TANG, Y. A comparative study of the application of the standard Kernel Density Estimation and Network Kernel Density Estimation in crash hotspot identification. 16th Road Safety on Four Continents Conference, Beijing, China, 2013, 11p.

TEHRANI, S. S.; FALLS, L. C.; MESHER, D. Effects of pavement condition on roadway safety in the province of Alberta. Journal of Transportation Safety and Security, vol. 9, nº 3, 2017, p. 259-272.

TEIXEIRA, L. H. Tratamento Superficial**.** São Paulo: Sinicesp - Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt12a.htm>. Acesso em: 18 jul. 2017.

THEOFILATOS, A.; YANNIS, G. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. Accident Analysis and Prevention, vol. 72, 2014, p. 244–256.

TILLEY, J. S.; KROEBER, S. S.; GREEN, J.; CLONCH, D.; HALLIDAY, D. Measurements of pavement condition and road weather environment within North Dakota using a tow-hitch mount road grip tester. Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology, Fourth National Conference on Surface Transportation Weather, Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Indianapolis, Indiana, 2008, p. 364-378.

TRB – Transportation Research Board. Sustainable transportation indicators: a recommended program to define a standard set of indicators for sustainable transportation planning. Transportation Research Board – TRB, Sustainable Transportation Indicators Subcommittee of the Transportation Research Board ADD40 [1], 2008, 14p.

TSAPAKIS, I.; CHENG, T.; BOLBOL, A. Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times. Journal of Transport Geography, vol. 28, 2013, p. 204–211.

VAIANA R.; CAPILUPPI G. F.; GALLELLI V.; IUELE T.; MINANI V. Pavement surface performances evolution: And experimental application. 5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures, 2012, p. 1151-1162.

VANDENBULCKE, G.; THOMAS, I.; PANIS, L. I. Predicting cycling accident risk in Brussels: A spatial case–control approach. Accident Analysis and Prevention, vol. 62, 2014, p. 341– 357.

VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. L. B.; MOURA, E.; SANBONSUGE, K.; CHAVES, J. M. Caracterização mecânica de misturas asfálticas contínuas e descontínuas com diferentes ligantes asfálticos. 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, Cataratas do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2011, 9p.

VAVRIK, W. R.; PINE, W. J.; HUBER, G. A.; CARPENTER, S. H.; BAILEY, R. The Bailey method of gradation evaluation: The influence of aggregate gradation and packing characteristics on voids in mineral aggregate. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 70, 2001, p. 132-169.

VÁZQUEZ, V. F.; LUONG, J.; BUENO, M.; TERÁN, F.; PAJE, S. E. Assessment of an action against environmental noise: Acoustic durability of a pavement surface with crumb rubber. Science of the Total Environment, vol. 542, Part A, 2016, p. 223–230.

VIEIRA, T. Asphaltic pavement surface analysis and its effects on the tyre-pavement friction performance. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VIEIRA, T. Asphaltic pavement surface analysis and its effects on the tyre-pavement friction performance. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014, 168p.

VIEIRA, T.; REDONDO, D. C.; KUCHIISHI, A. K.; CALLAI, S. C.; BERNUCCI, L. L. B. Avaliação da macrotextura média de superfícies de pavimentos: Comparação entre as técnicas com drenômetro e com mancha de areia. Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belém, XXVIII ANPET 2013, 12p.

VINER, H.; SINHAL, R.; PARRY, T. Review of UK skid resistance policy. Paper prepared for 5th International Symposium on Pavement Surface Characteristics---Road and Airports, Toronto, Ontario, Canada, 2004.

WALLER, S.; NG, M.; FERGUSON, E.; NEZAMUDDIN, N.; SUN, D. Speed harmonization and peak-period shoulder use to manage urban freeway congestion. Report nº FHWA/TX-10/0-5913-1, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 2009, 125p.

WALLMAN, C. G.; ASTRÖM, H. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI Meddelande 911A, Linkoping, Sweden, 2001, 47p.

WAMBOLD, J. C., ANTLE, C. E. J., HENRY, J., RADO, Z. International experiment to compare and harmonize skid resistance and texture measurements. PIARC report, 1995.

WAND, M. P; JONES, M. C. Kernel smoothing - Monographs on Statistics and Applied Probability. Ed. Chapman and Hall, London, 1ª Edição, 1995, 212p.

WANG, C.; QUDDUS, M. A.; ISON, S. G. The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. Safety Science, vol. 57, 2013, p. 264-275.

WANG, C.; QUDDUS, M. A.; ISON, S. Impact of traffic congestion on road accidents: A spatial analysis of the M25 motorway in England. Accident Analysis and Prevention, vol. 41, nº 4, 2009, p. 798–808.

WANG, D.; LIU, P.; WANG, H.; UECKERMANN, A.; OESER, M. Modeling and testing of road surface aggregate wearing behavior. Construction and Building Materials, vol. 131, 2017, p. 129–137.

WANG, X.; ABDEL-ATY, M. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. Accident Analysis and Prevention, vol. 38, nº 6, 2006, p. 1137–1150.

WANG, Y.; KOCKELMAN, K. M. A Poisson-lognormal conditional-autoregressive model for multivariate spatial analysis of pedestrian crash counts across neighborhoods. Accident Analysis and Prevention, vol. 60, 2013, p. 71–84.

WOODHAM, R. J. Photometric Method for Determining Surface Orientation from Multiple Images. Optical Engineering, vol. 19, n.1, p. 139 – 144, 1980.

XIAO, J., KULAKOWSKI, B. T.; EL-GINDY, M. Prediction of risk of wet-pavement accidents: fuzzy logic model. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, nº 1717, Washington, D.C., 2000, p.28-36.

XIAO, J.; LIU, Y. Traffic Incident Detection Using Multiple-Kernel Support Vector Machine. Journal of the Transportation Research Board, nº 2324, 2012, p. 44–52.

XIE, Y.; LORD, D.; ZHANG, Y. Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis. Accident Analysis and Prevention, vol. 39, nº 5, 2007, p. 922–933.

XIE, Z.; YAN, J. Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. Journal of Transport Geography, vol. 31, 2013, p. 64–71.

XIE, Z.; YAN, J. Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 32, nº 5, 2008, p. 396–406.

YALCIN, G.; DUZGUN, H. S. Spatial Analysis of Two-Wheeled Vehicles Traffic Crashes: Osmaniye in Turkey. KSCE Journal of Civil Engineering, 2015, p. 1-8.

YAMADA, I.; THILL, J-C. Comparison of planar and network K-functions in traffic accident analysis. Journal of Transport Geography, vol. 12, nº 2, 2004, p. 149–158.

YAMADA, I.; THILL, J-C. Local indicators of network-constrained clusters in spatial point patterns. Geographical Analysis, vol. 39, nº 3, 2007, p. 268–292.

YOUNG, M. S.; STANTON, N. A. Malleable attentional resources theory: A new explanation for the effects of mental underload on performance. Human Factors, vol. 44, nº 3, 2002, p. 365-375.

YU, H.; LIU, P.; CHEN, J.; WANG, H. Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification. Accident Analysis and Prevention, vol. 66, 2014, p. 80–88.

YU, R.; ABDEL-ATY, M. Analyzing crash injury severity for a mountainous freeway incorporating real-time traffic and weather data. Safety Science, vol. 63, 2014, p. 50–56.

YU, R.; ABDEL-ATY, M. Utilizing support vector machine in real-time crash risk evaluation. Accident Analysis and Prevention, vol. 51, 2013, p. 252–259.

YU, R.; ABDEL-ATY, M.; AHMED, M. Bayesian random effect models incorporating real-time weather and traffic data to investigate mountainous freeway hazardous factors. Accident Analysis and Prevention, vol. 50, 2013, p. 371– 376.

YU, R.; XIONG, Y.; ABDEL-ATY, M. A correlated random parameter approach to investigate the effects of weather conditions on crash risk for a mountainous freeway. Transportation

Research Part C: Emerging Technologies - Special Issue on Road Safety and Simulation, vol. 50, 2015, p. 68–77.

ZEGER, S. L.; LIANG, K-Y.; ALBERT, P. S. Models for longitudinal data: A Generalized Estimating Equation approach. Biometrics, vol. 44, nº 4, 1988, p. 1049-1060.

ZENG, Q.; HUANG, H. Bayesian spatial joint modeling of traffic crashes on an urban road network. Accident Analysis and Prevention, vol. 67, 2014, p. 105–112.

ZHANG, F.; YUAN, S. Analysis of the critical thickness of water film for driving on road surface in rainy condition. IEEE Second International Conference on Multimedia Technology (ICMT), Hangzhou, China, 2011, p. 4315-4318.

ZHANG, T.; CHAN, A. H. S. Sleepiness and the risk of road accidents for professional drivers: A systematic review and meta-analysis of retrospective studies. Safety Science, vol. 70, 2014, p.180–188.

ZHANG, Y.; XIE, Y.; LI, L. Crash frequency analysis of different types of urban roadway segments using generalized additive model. Journal of Safety Research, vol. 43, nº 2, 2012, p. 107-114.

ZORN, C. J. W. Generalized estimating equation models for correlated data: A review with applications. American Journal of Political Science, vol. 45, nº 2, 2001, p. 470-490.

Anexo 1

Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em 07 de agosto de 2015

Anexo 2

Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em agosto de 2016.

Anexo 3

Palestra no X Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 30 de agosto de 2016.

Anexo 4

Palestra realizada na sede da Autopista Régis Bittencourt, Registro/SP, em 19 de julho de 2017

Anexo 5

Palestra no XI Workshop de RDT da ANTT, Brasília, em 17 de agosto de 2017.

Anexo 6

XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes: 29 de outubro e 01 de novembro de 2017, na cidade de Recife, capital do Estado do Pernambuco: apresentação do relatório de Dissertação de Mestrado em andamento da aluna Fernanda Carvalho, sob orientação da Prof. ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado “Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos”. O trabalho aborda o tema deste projeto, com ênfase à solução asfáltica implementada nos trechos experimentais da pista sentido norte. O trabalho foi apresentado dentro da área temática de Infraestrutura, na sessão técnica sobre Dimensionamento, Avaliação e Gestão de Pavimentos.

Anexo 7

"Making roadsides safer for vulnerable road users", autores José Alberto Quintanilha, Liédi Legi Bariani Bernucci, Linda Lee Ho, Cláudia Soares Machado, Orlando Yesid Esparza Albarracin - TRB First International Roadside Safety Conference: Safer Roads, Saving Lifes, Saving Money - AFB20(2) Subcommittee on International Research Activities: 12 a 15 de Junho de 2017, São Francisco, Califórnia, Estados Unidos da América.

Disponível online em:

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/Conferences/2017/RoadsideSafety/Agenda.pdf> vide página 9 do documento.

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2017/roadsidesafety/1a-quintanilha.pdf>

Anexo 8

Projeto de Pós-doutoramento da Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado intitulado "Caracterização espaço-temporal de acidentes viários", sob a supervisão do Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Anexo 9

Dissertação de Mestrado: “Análise da textura superficial de pavimentos asfálticos e sua influência na ocorrência de acidentes de tráfego em condição de pista molhada”, autora Fernanda Santana Carvalho, orientadora Prof.ª Dr.ª Cláudia A. Soares Machado, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Anexo 10

Dissertação de Mestrado: “Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de tratamento superficial duplo com asfalto modificado por borracha (TSD-AMB)”, autor Guilherme Rodrigues Linhares, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Anexo 11

Iniciação Científica: “Soluções para a redução de acidentes por derrapagem em pista molhada através da textura superficial dos pavimentos”, autor Gustavo Sassone Matsunaga, orientadora Prof.ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Anexo 12

Projeto de Mistura Asfáltica

Autopista Régis Bittencourt / arteris	Latina Manutenção / arteris	Código: RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1	REV.: 2
		Emissão: 11/07/2016	Folha: 01/04
Lote :	Rodovia : Regis Bittencourt BR 116	Firma Projetista: Latina Manutenção de Rodovias	
Trecho : São Paulo - Curitiba		Concessionária: Autopista Regis Bittencourt	
Objetivo: Projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) Concreto Asfáltico (CA) camada de rolamento FAIXA DESCONTÍNUA - GAP 9,5		Contratada: Grupo Jorcal Usina : Jorcal Pedreira Jorcal	

Documentos de Referência:
ESPECIFICAÇÃO: Particular para Execução de Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA - Designação ARTERIS ES 027-Rev. 010 (MAIO/2016)
Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente ARTERIS-ET-001
Análise granulométrica de agregados finos e graúdos - designação ARTERIS T 27
Massa específica e absorção de agregados finos - designação ARTERIS T 84
Massa específica e absorção de agregados graúdos - designação ARTERIS T 85
Partículas chatas, alongadas ou chatas e alongadas no agregado graúdo - designação ARTERIS D 4791
Solo ou agregado miudo - Determinacao de equivalente de areia - NBR 12052
Projeto volumétrico Superpave para misturas asfálticas a quente - designação ARTERIS ET 35
Projeto volumétrico Superpave de mistura - designação ARTERIS ET 323
Condicionamento de mistura asfáltica a quente (MAQ) - designação ARTERIS ET 30
Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas usando amostras saturadas - superfície seca - designação ARTERIS T 166
Massa específica teórica máxima e densidade de misturas asfálticas para pavimentação - designação ARTERIS T 209
Porcentagem de vazios de misturas asfálticas densas e abertas compactadas - designação ARTERIS T 269
Resolução ANP Nº 32/2010
Certificados CDT: CERTIFICADO Nº 316/2016 - CERTIFICADO Nº 317/2016 - CERTIFICADO Nº 318/2016

Observações:

O ligante utilizado foi o do tipo MODIFICADO 60@85-E da Resolução ANP Nº 32/2010 e a pintura de ligação deve ser feita com emulsão polimerizada (SBR).

Este projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) deve ser REVISADO se a Massa Especifica Real Seca dos agregados for alterada para mais ou para menos de 0,040 g/cm³, ou decorrido o prazo de 1 (um) ano, o que ocorrer primeiro.

As porcentagens de agregados indicadas são válidas para as granulometrias dos agregados utilizados para a elaboração da dosagem, e devem ser ajustadas em função das granulometrias dos agregados da mesma origem, disponíveis no estoque em cada dia de produção da usina, para manter a granulometria resultante fielmente na faixa de trabalho definida.

Rev.	Data	Latina Manutenção de Rodovias	Autopista Regis Bittencourt	Grupo Jorcal
0	11/07/2016	Hugo Florêncio		

Projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ)

016

Latina Manutenção
arteris

Concreto Asfáltico (CA) camada de rolamento

RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1

FAIXA DESCONTÍNUA - GAP 9,5

Resumo do Projeto

Mencionar este código sempre que enviar amostras desta mistura para ensaios : RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1

Concessionária Autopista Regis Bittencourt - Rodovia BR 116 Contratada: Grupo Jorcal

ESPECIFICAÇÃO: Particular para Execução de Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA - Designação ARTERIS ES 027- Rev. 010 (MAIO/2016)

Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente ARTERIS-ET-001

TEOR ÓTIMO DE CAP= 5,5%

Identificação dos Materiais Utilizados

Usina: Jorcal

Ligante Asfáltico tipo:	Procedência :	Agregado Mineral Tipo:	Procedência :	Filler Tipo:	Procedência :
MODIFICADO 60@85-E da Resolução ANP N° 32/2010	Diversos	BRITA 1	Pedreira Jorcal	Cal CH 'T'	Diversos
		PEDRISCO	Pedreira Jorcal		
		PÓ DE PEDRA	Pedreira Jorcal		

Massas Específicas dos Materiais

	Massa Específica Real	Massa Específica Efetiva da Mistura de Agregados (Mef) ARTERIS T-209	Massa Específica Aparente SSS	Absorção de Água (%)
MODIFICADO 60@85-E	1,011	-	-	-
BRITA 1	2,757	-	2,733	0,3
PEDRISCO	2,736	-	2,695	0,6
PÓ DE PEDRA	2,770	-	2,723	0,6
Cal CH 'T'	2,430	-	-	-
Mistura Final Obtida	2,741	2,764	2,699	-

Quadro Resumo das Características do Projeto

BRITA 1	0,0%	Massa Específica Aparente da MAQ Compactada	2,397	Deformação do CP de MAQ a 25°C (mm)	2,1
PEDRISCO	66,1%	Massa Específica Máxima da MAQ (%VV=0)	2,523	Relação Filler / Ligante na MAQ	1,0
PÓ DE PEDRA	26,9%	Porcentagem de Vazios na MAQ (%VV)	5,0%	Energia de Compactação Aplicada na MAQ (Golpes por face)	75
Cal CH 'T'	1,4%	Vazios do Agreg. Mineral na MAQ (%VAM)	16,1%	Temperatura de Moldagem do C.P. de MAQ (°C)	165
Teor ótimo de CAP da MAQ (adicionado)	5,5%	Vazios Cheios de Asfalto na MAQ (%VCA)	68,9%	Tempo de Condicionamento da MAQ (ARTERIS-ET30)	2 h
Absorção de CAP na MAQ	0,9%	Resistência a Tração Indireta a 25°C (MPa)	2,0	% de Grãos no Agregado Graúdo com Relação > (1 : 3) ARTERIS D 4791	12

Observações:

O teor ótimo de CAP refere-se a mistura total como 100% (AGREGADOS + CAP = 100%).

As porcentagens de agregados indicadas são válidas para as granulometrias dos agregados utilizados para a elaboração da dosagem, e devem ser ajustadas em função das granulometrias dos agregados da mesma origem, disponíveis no estoque em cada dia de produção da usina, para manter a granulometria resultante finalmente na faixa de trabalho definida.

Este projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) deve ser REVISADO se a Massa Específica Real Seca dos agregados for alterada para mais ou para menos de 0,040 g/cm³, ou decorrido o prazo de 1 (um) ano, o que ocorrer primeiro.

Definição do teor ótimo de cap em função da porcentagem de vazios

A memória de cálculo está arquivada no CDT e está disponível para consulta sempre que for necessário.

Vargem, segunda-feira, 11 de julho de 2016

Hugo Florêncio
Coordenador de Laboratório de Engenharia
CDT Centro de Desenvolvimento Tecnológico

Projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ)

Latina Manutenção
Arteris

Concreto Asfáltico (CA) camada de rolamento — **FAIXA DESCONTÍNUA - GAP 9,5**

Mencionar este código sempre que enviar amostras desta mistura para ensaios : RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1

Concessionária Autopista Regis Bittencourt - Rodovia BR 116 — **Contratada: Grupo Jorcal**

ESPECIFICAÇÃO: Particular para Execução de Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA - Designação ARTERIS ES 027- Rev. 010 (MAIO/2016)

Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente ARTERIS-ET-001 — Usina: Jorcal

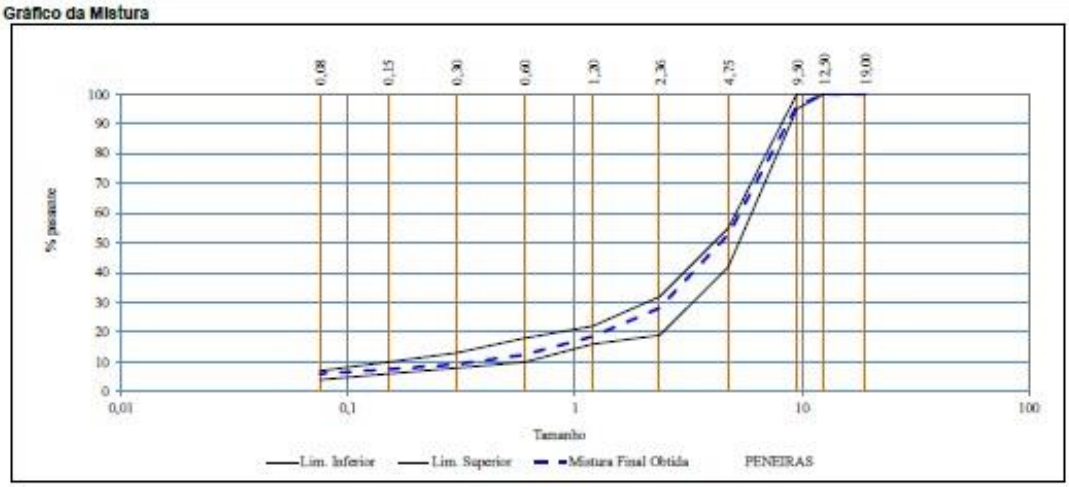
Granulometria dos Materiais (Porcentagem em peso passante na peneira) — Pedreira Jorcal

Peneiras		BRITA 1	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA	Cal CH "I"	Mistura Final Obtida	Faixa Especificada		Faixa de Trabalho	
Certificado		CERTIFICADO Nº 316/2016	CERTIFICADO Nº 317/2016	CERTIFICADO Nº 318/2016	-	-				
ASTM	mm	0,0%	70,0%	28,5%	1,5%	100,0%	Lim. Inferior	Lim. Superior	Lim. Inferior	Lim. Superior
3/4"	19	93,3	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100	100
1/2"	12,5	24,7	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100	100
3/8"	9,5	3,7	94,2	100,0	100,0	96	95	100	89	100
Nº 4	4,75	0,7	34,6	95,4	100,0	53	42	55	46	60
Nº 8	2,36	0,5	10,1	68,5	100,0	28	19	32	21	35
Nº 16	1,2	0,5	4,9	47,8	100,0	19	16	22	14	24
Nº 30	0,6	5,0	3,1	30,9	100,0	12	10	18	7	17
Nº 50	0,3	0,5	2,5	21,2	94,0	9	8	13	4	14
Nº 100	0,15	0,5	2,1	16,5	88,0	7,5	6	10	4,5	10,5
Nº 200	0,075	0,4	1,8	12,2	84,0	6,0	4	7	4,0	8,0

Caracterização dos Materiais

Tamanho máximo nominal	9,5 mm			
% de Grãos com Relação > (1 : 3)	ARTERIS D 4791		14	Máximo 20
% de Grãos com Relação > (1 : 5)	ARTERIS D 4791		0	Máximo 5
Desgaste Los Angeles	ABNT NBR-6465	%	12	Máximo 45
Equivalente de Areia	ABNT NBR-12052	%	54	Mínimo 60
Azul de Metileno	ARTERIS TP-57	(mg/g)	4,5	≤ 8

Gráfico da Mistura



As porcentagens de agregados indicadas são válidas para as granulometrias dos agregados utilizados para a elaboração da dosagem, e devem ser ajustadas em função das granulometrias dos agregados da mesma origem, disponíveis no estoque em cada dia de produção da usina, para manter a granulometria resultante fielmente na faixa de trabalho definida.

O ligante utilizado foi o do tipo MODIFICADO 60@85-E da Resolução ANP Nº 32/2010 e a pintura de ligação deve ser feita com emulsão polimerizada (SBR).

A memória de cálculo está arquivada no CDT e está disponível para consulta sempre que for necessário.

11/07/2016

Projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ)

RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1

Latina Manutenção
Arteris

Concreto Asfáltico (CA) camada de rolamento

FAIXA DESCONTÍNUA - GAP 9,5

Caracteristicas Marshall da Mistura

Mencionar este código sempre que enviar amostras desta mistura para ensaios : RB-JCL-GAP9,5-CDT042/2016-REV1

Concessionária Autopista Regis Bittencourt - Rodovia BR 116 — Contratada: Grupo Jorcal

Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente ARTERIS-ET-001

Materiais Utilizados na Mistura — Usina: Jorcal

BRITA 1	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA	Cal CH "I"	MODIFICADO 60@85-E da Resolução ANP Nº 32/2010
Pedreira Jorcal	Pedreira Jorcal	Pedreira Jorcal	Diversos	

Massas Especificas dos Materiais Combinados — Diversos

Massa Específica Real	Massa Específica Efetiva da Mistura de Agregados (Mef) ARTERIS T-209	Massa Específica Aparente 858	MODIFICADO 60@85-E	Massa Específica
2,741	2,764	2,699		1,011

Resultados Obtidos nos Corpos de Prova Moldados e Rompidos

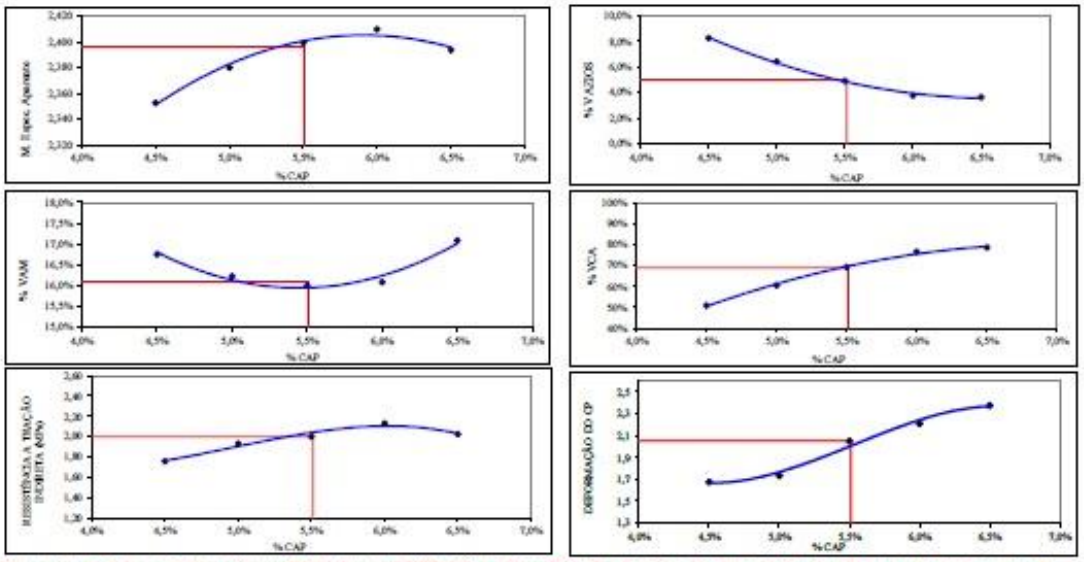
Energia de Compactação Aplicada na MAQ (Golpes por face)	Tempo de Condicionamento da MAQ (ARTERIS-ET30)	Temperatura de Moldagem do C.P. de MAQ (ºC)
75	2 h	165

% DE CAP	Massa Específica Aparente da MAQ Compactada	Massa Específica Máxima da MAQ (%VV=0)	Porcentagem de Vazios na MAQ (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral na MAQ (%VAM)	Vazios Cheios de Asfalto na MAQ (%VCA)	Resistência a Tração Indireta a 25ºC (MPa)	Deformação do CP de MAQ a 25ºC (mm)
4,5%	2,353	2,564	8,2%	16,7%	50,8%	1,76	1,67
5,0%	2,380	2,543	6,4%	16,2%	60,5%	1,93	1,73
5,5%	2,399	2,523	4,9%	16,0%	69,3%	2,00	2,05
6,0%	2,410	2,504	3,8%	16,1%	76,5%	2,13	2,21
6,5%	2,394	2,484	3,6%	17,1%	78,7%	2,02	2,38
ESPECIFICAÇÃO: Particular para Execução de Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA - Designação ARTERIS ES 027- Rev. 010 (MAIO/2016)							
Mínimo	-	-	3,0%	16,0%	65,0%	0,5	-
Máximo	-	-	5,0%	0,0%	80,0%	-	-

Definição do teor ótimo de cap em função da porcentagem de vazios

5,5%	**2,397**	**2,523**	**5,0%**	**16,1%**	**68,9%**	**2,0**	**2,1**

O teor ótimo de CAP refere-se à mistura total como 100% (AGREGADOS + CAP = 100%).



Este projeto de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) deve ser REVISADO se a Massa Específica Real Seca dos agregados for alterada para mais ou para menos de 0,040 g/cm³, ou decorrido o prazo de 1 (um) ano, o que ocorrer primeiro.

A memória de cálculo está arquivada no CDT e está disponível para consulta sempre que for necessário.

11/07/2016

Anexo 13

Certificado de Qualidade do Ligante Asfáltico

1º Via Cliente

GRECA ASFALTOS

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Asfalto Modificado por Polimero - FLEXPAVE 60/85

CUIDADOS COM O PRODUTO

O ligante FLEXPAVE não deverá ser aquecido acima de 180°C visando minimizar qualquer aumento de consistência que possa ocorrer. A temperatura ideal de usinagem deve estar entre 160 e 165°C. O produto está sendo entregue a uma temperatura entre 165 e 175°C e deverá ser descarregado em tanques isentos de lastro de outros produtos. Recomenda-se durante o armazenamento por períodos superiores há 2 dias que a temperatura seja mantida em torno de 155°C e que haja circulação do produto por uma hora a cada período de 8 horas (não deve ser feita agitação e circulação do produto a temperaturas inferiores a 150°C).

A temperatura durante o armazenamento deverá ser uniforme e a distribuição de calor deverá ocorrer de forma homogênea através da utilização da bomba de recirculação. A forma de aquecimento dos tanques de armazenamento deve ser por serpentinas de óleo térmico.

O produto não deve ser aplicado em dias de chuva, em superfícies molhadas e em temperaturas ambiente inferiores a 10°C.

A checagem da qualidade do produto deve ser realizada sempre sobre uma amostra retirada da unidade de transporte antes de seu descarregamento. Sendo que a qualidade da mesma não poderá ser questionada através de ensaios realizados após o descarregamento do produto.

A Greca Asfaltos não se responsabiliza por eventuais danos causados por armazenagem e/ou uso inadequado do produto na obra.

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

DATA	07/04/2017
PRODUTO	FLEXPAVE 60/85
CLIENTE	AUTOPISTA REGIS BITTENCOURT S/A
OBRA	PARIQUERA-ACU/SP
CERTIFICADO NÚMERO	054257 / 2017
FROTA / PLACA	AYY-9510 BBG-8688
LACRES	9668 9592 9602
CONTRA PROVA	88654

ENSAIO	NORMA	ESPECIFICAÇÃO (*)	RESULTADOS	Avaliação
Penetração a 25ºC, 100g, 5s, 0,1 mm	NBR-6576	40 - 70	57.0	
Ponto Amolecimento, °C	NBR-6560	Mínimo 60,0	66.0	
Viscosidade Brookfield a 135ºC, SP 21, cP	NBR-15184	Maximo 3.000	1777.5	
Viscosidade Brookfield a 150 ºC, SP 21, cP	NBR-15184	Máximo 2.000	812.0	
Viscosidade Brookfield a 177 ºC, SP 21, cP	NBR-15184	Máximo 1.000	260.5	
Ponto de Fulgor, °C	NBR-11341	Mínimo 235	>240	
Densidade Relativa, 25°C, g/cm³	NBR-6296	Anotar	1.03	
Recuperação Elástica p/ ductilometro a 25ºC, 20 cm, %	NBR-15086	Mínimo 85,0	89.0	

* Esta especificação atende a Resolução 32/2010 da ANP que regulamenta este tipo de produto e está de acordo com a especificação DNIT 129/2010-EM.

Assinado Digitalmente

Responsável pelas Análises
Wander P. S. Omena
Engenheiro Químico
CRQ - 09301917 - 9ª Região

Responsável pela Produção
José Antonio Antosczezem Júnior
Engenheiro Químico
CRQ - 09301606 - 9ª Região