

2017

MATERIAIS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO



Escola Politécnica da USP

CCR – Nova Dutra

26/06/2017



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**MATERIAIS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE
DESEMPENHO**

Nº PROCESSO FDTE: 001587

EPUSP – PTR – CCR - FDTE

RELATÓRIO DE ATIVIDADES FINAL

Coordenadores: Prof^a Dr^a Liegi Bernucci e Prof. Dr. José Alberto Quintanilha

Junho de 2017

1.	Introdução.....	5
2	Atividades Realizadas	6
2.1	Revisão da Literatura.....	6
2.2	Execução do Experimento.....	9
	2.2.2 Seleção do local do segmento teste	9
	2.2.3 Aplicação dos materiais no segmento teste	10
	2.2.4 Definição da configuração do Experimento	11
	2.2.5 Aplicação da sinalização na pista.....	13
2.3	Monitoração do segmento teste.....	19
	2.3.1. Monitoração da retrorefletividade da sinalização	19
	2.3.2. Monitoração do tráfego	26
2.4.	Verificação visual das condições dos materiais testados durante o experimento	29
2.5.	Identificação de possíveis associações entre as diferentes medidas de monitoração.....	30
3.	Avaliação dos Resultados.....	30
3.1	Análise Estatística	30
3.2	Análise do comportamento da sinalização	41
4.	Dificuldades Encontradas.....	43
5.	Equipe Técnica.....	43
6.	Conclusões	44
7.	Recomendações para estudos futuros.....	47
8.	Referências Bibliográficas	48
	Anexo 1. Link com todos os anexos do relatório	52
	Anexo 2. Interpolação Espacial (Krigagem)	52

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivo da iniciativa “Década de Ação pela Segurança no Trânsito” – ONU.....	06
Figura 2 – Local selecionado: praça de pedágio Arujá, situado na rodovia Presidente Dutra, km 204, SP.....	09
Figura 3 – Configuração física da sinalização horizontal do experimento.....	10
Figura 4 – Distância entre as linhas e posições de leitura	11
Figura 5 – Pré demarcação Material A: HOT= termoplástico por aspersão (hotsppray)	14
Figura 6 – Pré-demarcação nas faixas de tráfego nº11 e nº12	14
Figura 7 – Veículo e equipamentos de aplicação do Material A.....	15
Figura 8 – Material A aplicado nas faixas de tráfego nº11 e nº 12.....	15
Figura 9 – Veículo e equipamentos de aplicacção Material B	16
Figura 10 – Aplicação do Material B	16
Figura 11 – Materiais A e B aplicados nas faixas de tráfego nº11 e nº 12	17
Figura 12 – Materiais A, B e C aplicados nas faixas de tráfego nº11 e nº 12.....	17
Figura 13 – Retrorrefletômetro horizontal.....	18
Figura 14 – Retrorrefletômetro horizontal.....	18
Figura 15 – Retrorrefletômetro horizontal.....	21
Figura 16 – Display do retrorrefletômetro horizontal	21
Figura 17– Retrorrefletômetro horizontal	22
Figura 18 – Certificado de ajuste de calibração do retrorrefletômetro horizontal.....	22
Figura 19 – Medição da retrorrefletividade com o uso de retrorrefletômetro horizontal.	23
Figura 20 – Medição da retrorrefletividade com o uso de retrorrefletômetro horizontal.	23
Figura 21 – Gráfico retrorrefletividade versus volume diário médio de tráfego	34
Figura 22 – Gráfico log retrorrefletividade média por material versus tempo.....	39
Figura 23 – Gráfico log retrorrefletividade média por posição versus tempo.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilhas de campo	25
Tabela 2 – Volumes de tráfego horários	27
Tabela 3 – Distribuição de veículos comerciais nas balanças de Guararema e Queluz - 2016	28
Tabela 4 – Resumo com informações do tráfego: volume, número N e repetições de ..	29
Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA).....	36
Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA).....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Monitorações realizadas	19
Quadro 2 – Fatores de influência.....	32

1 Introdução

O presente relatório apresenta as atividades realizadas na pesquisa firmada por meio do processo FDTE: 001587 EPUSP – PTR – CCR – FDTE e do contrato de prestação de serviços CCR ACT-ND-4600033591/2016, no âmbito da concessão rodoviária da Rodovia Presidente Dutra, BR-116 - RJ/SP.

A pesquisa envolveu experimento de sinalização viária na pista da rodovia, em local situado no trecho no estado de São Paulo. A equipe executora contou com pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP e do Centro de Pesquisas Rodoviárias da CCR NovaDutra.

A pesquisa teve início em junho de 2016, e o conteúdo do presente relatório descreve as atividades executadas, os resultados do experimento e sua análise.

O objetivo geral da pesquisa foi o de estudar diferentes tipos de materiais para sinalização horizontal, a fim de verificar o desempenho para as mesmas condições de implantação e solicitação, na Rodovia Presidente Dutra.

Para alcançar o objetivo proposto, as seguintes atividades foram realizadas:

- a. Elaboração de revisão da literatura para aferição do atual Estado da Arte sobre o tema objeto da pesquisa.
- b. Execução do experimento com a seleção de três produtos disponíveis no mercado nacional para aplicação em segmento teste da Rodovia Presidente Dutra.
- c. Realização de monitorações para medição da retrorrefletividade (a cada quinze dias, durante o período da pesquisa) dos materiais adotados para a sinalização horizontal, de acordo com o experimento executado.
- d. Verificação visual das condições dos materiais testados durante o experimento.
- e. Identificação de possíveis associações entre as diferentes medidas de monitoração;
- f. Apresentação dos relatórios parcial (dezembro/2016) e final (julho/2017)

2 Atividades Realizadas

A seguir são descritas as atividades realizadas durante a execução do presente projeto de pesquisa, pelas equipes de pesquisadores da EP-USP e de apoio da CCR Nova Dutra.

2.1 Revisão da Literatura

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 trâfego. A figura 1 ilustra o objetivo da iniciativa proposta pela ONU de interromper ou reverter a tendência crescente das vítimas do trâfego rodoviário ao redor do mundo, bem como a previsão do cenário se nada for feito.

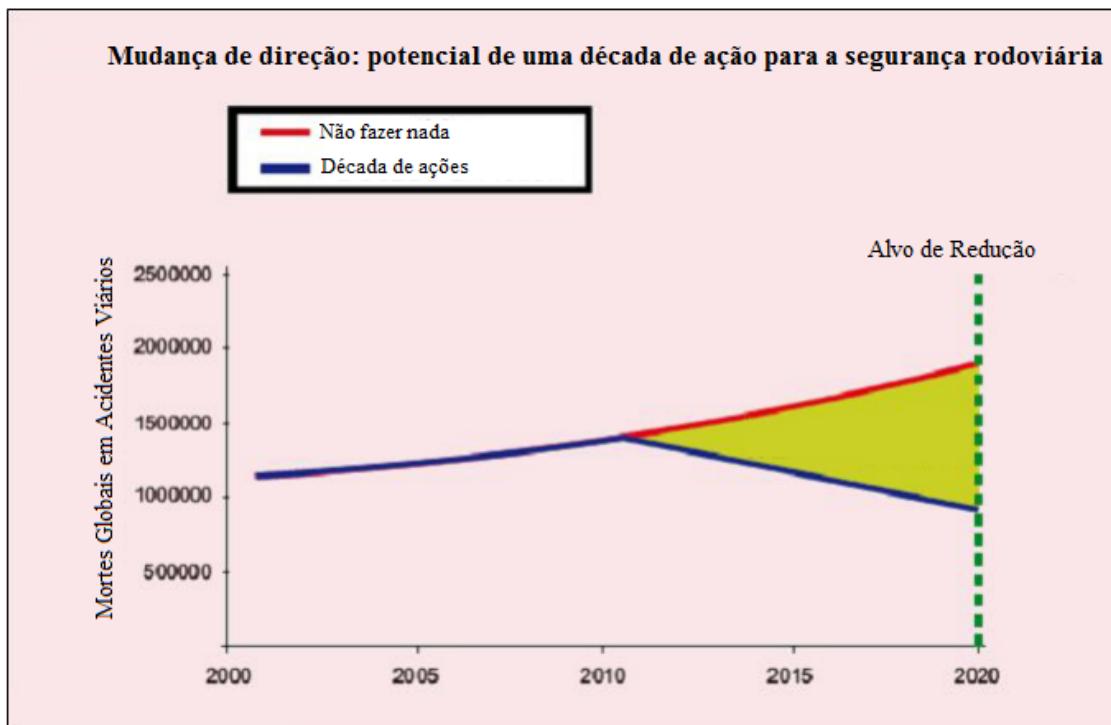


Figura 1: Objetivo da iniciativa “Década de Ação pela Segurança no Trânsito” - ONU
Fonte: Adaptado de <http://www.who.int/roadsafety/ministerial_conference/a_decade_of_action.pdf>

Os governos de todo mundo se comprometem a tomar novas medidas para prevenir os acidentes viários, que ocasionam cerca de 1,3 milhão de mortes por ano. Além disso, os acidentes de trâfego ferem de 20 a 50 milhões de pessoas a cada ano (ONU, 2011). Esses números alarmantes permitem afirmar que os acidentes viários caracterizam um dos problemas mais preocupantes para a gestão e operação de rodovias, pois impõem sérios

problemas para a sociedade, e os seus custos (individuais e sociais) são bastante significativos. 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, WANG *et al.*, 2013).

A Organização Mundial de Saúde - OMS (2004) afirma que os acidentes viários acarretam um dos principais, porém negligenciado, problema de saúde pública mundial, configurando-se, segundo Çela *et al.* (2013), uma epidemia global, que exige ações de prevenção eficiente e sustentável.

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 (geometria, pavimento, sinalização, fiscalização, etc.), 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). 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.*, 2014; THEOFILATOS e YANNIS, 2014).

Dentre os fatores estruturais acima elencados, cuja falha pode acarretar a ocorrência de acidentes, está a sinalização, que tem como função informar, orientar e guiar os usuários das vias. A sinalização viária é o meio de comunicação visual utilizado entre a via e seus usuários, e como toda a comunidade, e deve ser de fácil compreensão (Lima *et al.*, 2015). A sinalização é o equipamento que mais contribui de maneira mais eficaz para a segurança do tráfego, assim sendo, é fundamental a sua correta implementação e adequada manutenção. A sinalização é

um verdadeiro suporte de vida na segurança da rodovia e é uma das medidas na infraestrutura rodoviária que maior benefício produz com um custo menor (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2013).

A sinalização viária pode ser vertical (placas, painéis, pórticos, etc. ao longo da via) ou horizontal, ou seja, as marcações na rodovia. As marcas rodoviárias são as valetas, guias, meio-fio, lancis, fiadas de calçada, elementos metálicos ou de outro material (por exemplo, tachões, tachas ou “olho de gato”), as pinturas (faixas, símbolos ou legendas), etc. As marcas são fixadas na superfície da rodovia, em especial no pavimento (pista de rolamento) e são constituídas por distintos materiais. As pinturas podem ser executadas com materiais termoplásticos, os plásticos a frio, e normalmente acompanham as microesferas de vidro ou cerâmica, que realçam a retrorreflexão, permitindo que a luz do farol dos veículos retorne ao condutor quando são iluminadas (CONTRAN, 2007; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2013).

A retrorreflexão é a quantidade de luz devolvida desde uma superfície determinada para a fonte emissora. No caso da sinalização horizontal, a luz dos faróis dos veículos que iluminam a superfície da via retorna para o condutor (e eventuais outros usuários). O coeficiente de luminância retrorrefletida ou retrorreflexão de uma zona da rodovia (“ R_L ”) é a relação entre o coeficiente de luminância “L” (quantidade de luz por unidade de superfície devolvida para a rodovia) na direção de observação e a iluminância (quantidade procedente dos faróis que incide nessa zona) medida perpendicularmente em relação à direção da luz incidente (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2013). Segundo Donnell *et al.* (2009) e Salles *et al.* (2015) a retrorrefletividade decaiu com o tempo e de forma diferente conforme o tipo de material empregado na sinalização horizontal, mas sempre em função da perda do material retrorrefletivo (microesferas) devido à ação abrasiva do tráfego. Maiores informações em Fujii, 2017.

A correta implantação da sinalização de trânsito deve-se ter como princípio as condições de percepção dos usuários da via, garantindo a sua real eficácia. Para tanto, é necessário assegurar à sinalização horizontal alguns princípios, dentre os quais a visibilidade e legibilidade (ser vista à distância necessária e ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão, para garantir, por exemplo, uma distância segura para frenagem, conversões e manobras;) e sua manutenção e conservação.

Rebuelta (2012) destaca a importância da sinalização horizontal ressaltando melhor aproveitamento do espaço viário disponível, maximizando o seu uso. Também aumenta a

segurança em condições adversas tais como: neblina, chuva e noite. Como resultado contribui para redução de acidentes.

Os materiais retrorrefletores têm a capacidade de redirecionar quantidades substanciais de luz incidente. Esta capacidade levou ao uso generalizado de artigos retrorrefletores em uma variedade de aplicações relacionadas à segurança de tráfego. As faixas retrorrefletoras são úteis para orientar os motoristas em condições de baixa iluminação, como por exemplo, sob condução noturna ou sob condições climáticas desfavoráveis.

2.2 Execução do Experimento

2.2.1 Seleção dos materiais

Os três materiais empregados na pesquisa estão disponíveis no mercado nacional, dentro das especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, e foram selecionados pela CCR NovaDutra com base em sua utilização mais comum na rodovia:

- Termoplástica spray, aplicado com espessura de 1,5 mm;
- Metilmetacrilato bi-componente (PMMA – “Plástico a frio”), aplicado com espessura de 0,5 mm;
- Acrílica à base de água, aplicado com espessura de 0,5 mm.

As microesferas de vidro foram utilizadas:

- Pré-misturadas à tinta: Microesferas Tipo IB - 200 a 250 g/l;
- Aspergidas na superfície da tinta: Microesferas Tipo IIC 300 a 400 g/m² – por simples aspersão.

2.2.2 Seleção do local do segmento teste

O local selecionado para o experimento foi uma faixa de tráfego, especificamente a de cobrança automática de uma praça de pedágio da Rodovia Presidente Dutra – ver Figura 1 – devido a características que facilitam o controle do experimento e a coleta de dados, como a disponibilidade de registros da quantidade de veículos e sua classificação por tipo ou por eixos e uma menor interferência no fluxo local no momento das medidas.

Na figura 2 abaixo destaca-se a praça de pedágio Arujá. O experimento foi realizado na cabine 12, na faixa mais à direita, com velocidade máxima de passagem de veículos prevista de 40 km/h.



Figura 2 – Local selecionado: praça de pedágio Arujá, situado na rodovia Presidente Dutra - km 204, SP

2.2.3 Aplicação dos materiais no segmento teste

Para facilitar a citação dos materiais, a partir de agora passam a ser designados neste relatório como:

- Termoplástica spray = “A”
- Metilmetacrilato bi-componente = “B”
- Acrílica à base de água = “C”

Adotaram-se linhas transversais de sinalização horizontal para o experimento, visando obter resultados de desgastes acelerados se comparados com as linhas longitudinais da pista.

A configuração física ficou como a da Figura 3 a seguir.

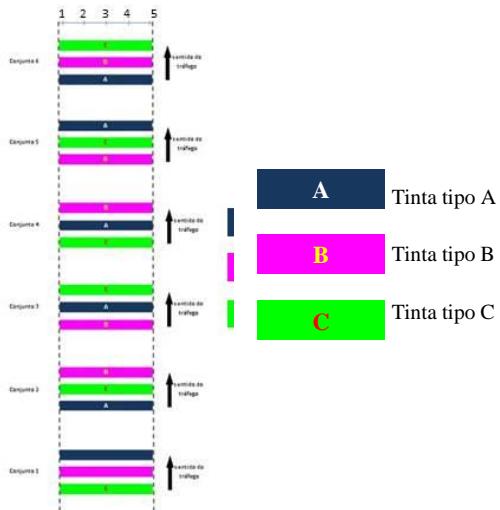


Figura 3 – Configuração física da sinalização horizontal do experimento

2.2.4 Definição da configuração do Experimento

Com intuito de acelerar os efeitos do tráfego na sinalização, os elementos escolhidos para o experimento foram linhas transversais à faixa de rolamento, que, nessa direção, acabam sendo mais solicitadas pela passagem de pneus dos veículos do que se fossem longitudinais. Assim, foi possível desenvolver um experimento acelerado, isto é, com a obtenção de resultados em prazos mais breves do que em aplicações usualmente longitudinais, com menor solicitação de esforços da passagem de pneus de veículos, o que levaria à necessidade de longos períodos para alcançar os mesmos efeitos.

Em virtude do sentido único do tráfego, presumiu-se que a solicitação dos pneus sobre cada linha seria diferente, conforme a posição da linha, sendo que a primeira receberia constantemente o maior impacto do tráfego. Para tanto, foram aplicadas várias linhas transversais com cada material, em sequências variadas dentro do mesmo conjunto de materiais A, B, C, de modo a evitar a repetição da mesma sequência. Os arranjos dos materiais foram de três em três, resultando em seis conjuntos. Dessa forma, a configuração de implantação ficou como apresentada na figura 3.

Cada um dos seis conjuntos é composto por um trio de linhas, sendo que cada linha foi demarcada com um tipo de material “A”, “B” ou “C”. No total, foram 18 linhas transversais. Em cada linha transversal foram definidas 5 posições de leitura da retrorrefletividade, considerando a heterogeneidade dos esforços solicitantes (pneus) ao longo da mesma linha. As posições 1 (hum) e 5 (cinco) são extremas, a posição 3 corresponde ao centro da faixa de tráfego, e as posições 2 (dois) e 4 (quatro) são intermediárias e aproximadamente coincidentes com as trilhas de roda dos veículos. A configuração mais detalhada, com as distâncias longitudinais e transversais, é apresentada no croqui a seguir – Figura 4.

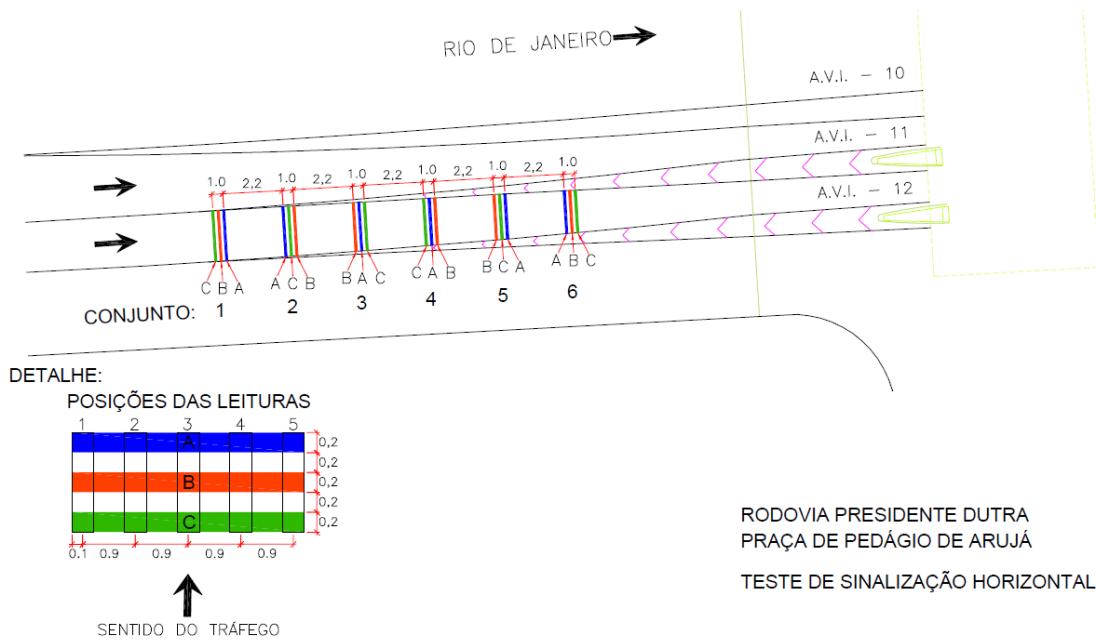


Figura 4 – Distâncias entre as linhas e posições de leitura

Além da já mencionada abreviação do tempo necessário para a obtenção dos resultados em função da utilização transversal da sinalização, a configuração com os seis conjuntos dispostos sequencialmente, cada um com um trio de linhas aplicadas com os materiais A, B e C, também permitiu representar, numa pequena área, todos os arranjos possíveis entre três materiais diferentes: ABC, BCA, CAB, BAC, ACB e CBA. Desse modo, não foi necessário utilizar longos trechos da rodovia para a realização do experimento, possibilitando a concentração em trecho de pequena área, o que facilitou sua monitoração.

Outra característica deste experimento é que permitiu, com esta configuração, desenvolver a análise comparativa entre três elementos distintos simultaneamente, sendo que o mais comum em estudos estatísticos é comparar dois elementos de cada vez.

Esta otimização do experimento implicou na redução do tempo e da quantidade de observações necessárias e, portanto, custos menores de execução das atividades em campo. Esta técnica de planejamento é conhecida como Design of Experiments (DoE), ainda pouco utilizada em experimentos na área de engenharia de transportes, que possibilita, por exemplo, analisar fatores múltiplos e possíveis interações com base em quantidades reduzidas de observações.

Neste experimento, foram consideradas as correlações espaciais de posicionamento longitudinal e transversal, além da ocorrência de chuvas, que variaram durante o período observado.

2.2.5 Aplicação da sinalização na pista

Após definição da configuração geométrica indicada no item anterior, a aplicação da sinalização foi realizada entre as 22h00 do dia 13 e as 03h15 do dia 14 de julho de 2016, com sucesso. Este horário foi escolhido por ser o de menor movimento naquele trecho da rodovia e, portanto, o de menor impacto sobre os usuários da via durante a aplicação da sinalização, que requer cuidados especiais relacionados à segurança dos profissionais que executam os serviços na pista, bem como a dos usuários da rodovia. A interdição de algumas faixas de tráfego foi necessária durante os trabalhos e também durante o período requerido para a secagem do material aplicado. Logo, era imprescindível escolher o melhor período do dia, de modo a minimizar eventuais efeitos negativos sobre a segurança (por exemplo: ocorrência de acidentes) e sobre a fluidez do tráfego (por exemplo: ocorrência de congestionamentos).

Após a implantação do desvio do tráfego, foram feitas as pré-demarcações no pavimento, manualmente. Depois disso, as tintas foram aplicadas pelos equipamentos e veículos adequados, sendo:

- material A = Termoplástica
- material B = Metilmetacrilato bi-componente
- material C = Acrílica à base de água

A faixa de rolamento escolhida para as demarcações foi a da cabine mais à direita (cabine nº 12). E, para evitar heterogeneidades na aplicação dos materiais, decidiu-se aplicar a sinalização a partir da faixa de tráfego contígua (cabine nº 11), de modo que quando o

equipamento chegasse à faixa da cabine nº 12 (do experimento), já estivesse em condições estabilizadas de aplicação. Desse modo, cada linha foi demarcada sobre duas faixas de tráfego contíguas, facilitando ao operador do equipamento manter velocidade constante de aplicação do material (tinta+microesferas) sobre a faixa nº 12, sendo que a passagem pela faixa nº 11 serviu como uma "calibração".

Ocorreram alguns problemas pontuais não previstos, como a existência de depressões no pavimento entre as duas faixas de tráfego, afetando o deslocamento do equipamento de sinalização, e também a existência de laços detectores de tráfego instalados no pavimento. Assim, foi necessário readequar o posicionamento da sinalização in loco, para evitar tais obstáculos, mas sem alteração da configuração planejada.

Após a conclusão das aplicações, a equipe de campo realizou o primeiro levantamento da retrorrefletividade, utilizando equipamento retrorrefletômetro horizontal Easylux (nacional), seguindo a norma ABNT correspondente. Estas primeiras leituras foram realizadas apenas para controle da execução, e os valores lidos não foram utilizados na análise estatística.

Inicialmente, planejava-se efetuar as leituras da retrorrefletividade a cada 15 dias, contudo, devido ao tráfego intenso (mesmo à noite, o tráfego de veículos comerciais é alto), a sinalização acabaria sofrendo desgaste ainda mais acelerado do que se previa. Logo, as leituras da retrorrefletividade tiveram de ser realizadas com maior frequência nesta fase. No caso, passaram a ser semanais.

A baixa temperatura durante os trabalhos na madrugada retardou a secagem do material C. As faixas de tráfego nº 11 e nº 12 tiveram de permanecer fechadas por mais tempo, sendo liberadas ao tráfego somente na manhã do dia seguinte.

A seguir, apresentam-se alguns registros fotográficos que ilustram as atividades realizadas.



Figura 5 – Pré-demarcação Material A: HOT = termoplástico aplicado por aspersão (hotspray); Material B: PF = plástico a frio (multimetacrilato bi-componente); Material C: AQ = acrílica à base d'água



Figura 6 – Pré-demarcação nas faixas de tráego nº 11 e nº 12



Figura 7 – Veículo e equipamentos de aplicação da Material A. Posteriormente o mesmo veículo foi utilizado na aplicação da Material C

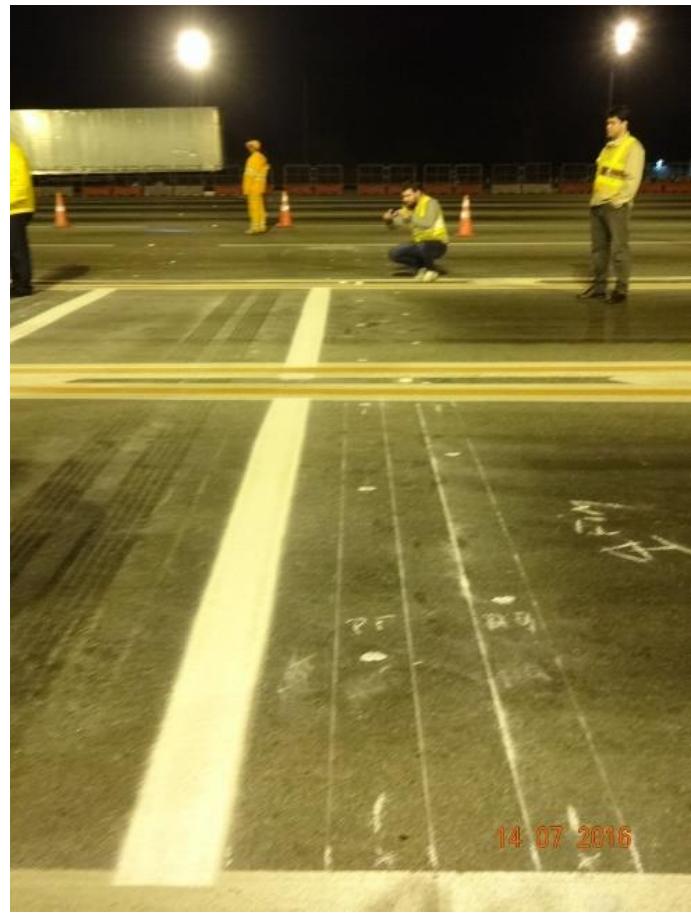


Figura 8 – Material A aplicada nas faixas de tráfego nº 11 e nº 12



Figura 9 – Veículo e equipamentos de aplicação da Material B



Figura 10 – Aplicação da Material B

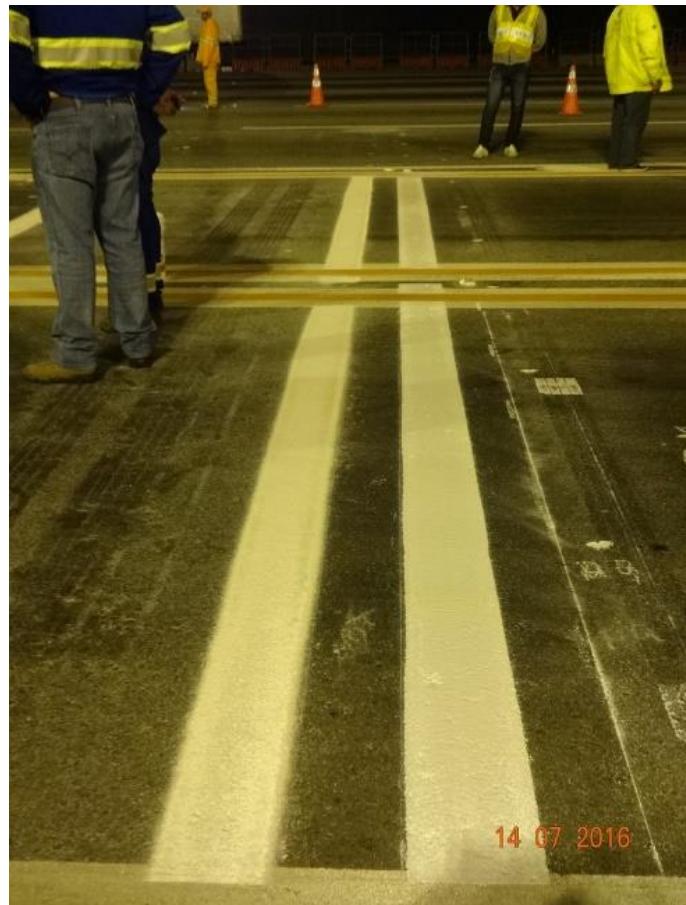


Figura 11 – Materiais A e B aplicados nas faixas de tráfego nº 11 e nº 12



Figura 12 – Materiais A, B e C aplicadas nas faixas de tráfego nº 11 e nº 12

2.3 Monitoração do segmento teste

2.3.1. Monitoração da retrorrefletividade da sinalização

O levantamento da retrorrefletividade foi realizado por meio de retrorrefletômetro portátil como o das Figuras 3 e 4, sendo que a primeira leitura foi realizada após a aplicação e secagem da sinalização, apenas para verificação. Essas leituras iniciais foram descartadas da análise, como se verá adiante.



Figura 13 – Retrorrefletômetro horizontal



Figura 14 – Retrorrefletômetro horizontal

Inicialmente, planejava-se que a monitoração da retrorrefletividade da sinalização seria feita com frequência quinzenal. Considerando o desgaste acelerado da sinalização horizontal devido ao intenso tráfego de veículos no trecho do experimento, houve um rápido

declínio da retrorrefletividade inicial, levando à necessidade de monitoração mais frequente (semanal) enquanto as leituras estivessem sofrendo alterações tão céleres.

As monitorações realizadas são indicadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Monitorações realizadas

Monitoração	Data	Dia da Semana	Observação
1 ^a	13/07/2016	quarta-feira	Aplicação
2 ^a	20/07/2016	quarta-feira	-
3 ^a	27/07/2016	quarta-feira	-
4 ^a	03/08/2016	quarta-feira	-
5 ^a	10/08/2016	quarta-feira	-
6 ^a	17/08/2016	quarta-feira	-
7 ^a	24/08/2016	quarta-feira	-
8 ^a	01/09/2016	quinta-feira	Choveu no dia 31/08
9 ^a	08/09/2016	quinta-feira	Feriado 07/09
10 ^a	14/09/2016	quarta-feira	-
11 ^a	21/09/2016	quarta-feira	-
12 ^a	28/09/2016	quarta-feira	-
13 ^a	05/10/2016	quarta-feira	-
14 ^a	13/10/2016	quinta-feira	Feriado 12/10
15 ^a	19/10/2016	quarta-feira	-
16 ^a	27/10/2016	quinta-feira	Choveu no dia 26/10
17 ^a	03/11/2016	quinta-feira	Feriado 02/11
18 ^a	09/11/2016	quarta-feira	-
19 ^a	17/11/2016	quinta-feira	Mov. Intenso feriado
20 ^a	24/11/2016	quinta-feira	Choveu no dia 23/11
21 ^a	01/12/2016	quinta-feira	Choveu no dia 30/11
22 ^a	08/12/2016	quinta-feira	Choveu no dia 07/12

23 ^a	21/12/2016	quarta-feira	-
24 ^a	06/01/2017	sexta-feira	Problemas operacionais durante a semana
25 ^a	25/01/2017	quarta-feira	-
26 ^a	09/02/2017	quinta-feira	Choveu no dia 08/02
27 ^a	22/02/2017	quarta-feira	-
28 ^a	09/03/2017	quinta-feira	Choveu no dia 08/03
29 ^a	22/03/2017	quarta-feira	-
30 ^a	05/04/2017	quarta-feira	-
31 ^a	19/04/2017	quarta-feira	-
32 ^a	03/05/2017	quarta-feira	-

Ao redor de cada posição de 1 a 5 de cada linha transversal pintada, foram feitas 5 leituras, movimentando-se o equipamento ao redor de cada posição, sempre nos mesmos pontos e na mesma sequência.

Após a conclusão das pinturas, a equipe de campo realizou o primeiro levantamento da retrorrefletividade, utilizando retrorrefletômetro horizontal da marca Easylux (nacional), seguindo a norma ABNT NBR 14723:2013, devidamente calibrado – Figuras 5 a 10. Estes valores não foram considerados na análise, pois de acordo com a mesma norma, a retrorrefletividade inicial da sinalização corresponde à leitura realizada entre 24 e 48 horas após a liberação do trecho da rodovia ao tráfego ou entre 24 e 48 horas após a aplicação da sinalização horizontal.



Figura 15 – Retrorrefletômetro horizontal

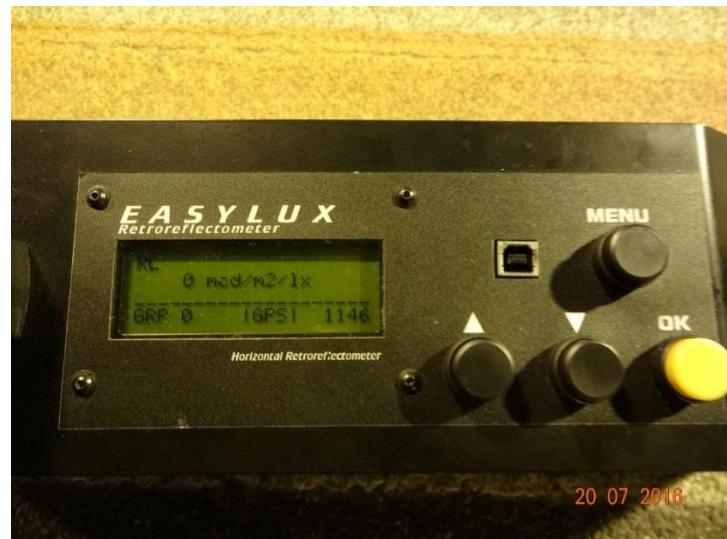


Figura 16 – Display do retrorrefletômetro horizontal

HORIZONTAL

Retrorrefletômetro Clássico

EN1436	RL Qd
ASTM E1710	RL
ASTM E2302	Qd
ASTM E2177	RL wet

Disponível em:

- Geometria de 15 metros
- Geometria de 30 metros
- Dual 15/30 metros



Figura 17 – Retrorrefletômetro horizontal



Figura 18 – Certificado de ajuste de calibração do retrorrefletômetro horizontal

As monitorações subsequentes foram realizadas da mesma forma. – Figuras 19 e 20.



Figura 19 – Medição da retrorrefletividade com o uso de retrorrefletômetro horizontal



Figura 20 – Medição da retrorrefletividade com o uso de retrorrefletômetro horizontal

Os dados foram então anotados em planilhas de campo. Uma parte dessas planilhas é apresentada na Tabela 1 adiante. As planilhas completas, de todas as monitorações realizadas até o momento, são apresentadas no ANEXO deste relatório.

Os dados de pluviometria foram obtidos por meio da estação pluviométrica do CEMADEM – estação pluviométrica da cidade de Arujá devido à proximidade da estação à praça de pedágio.

A variável derivada é a de número de dias com precipitação antes das medições para saber se a pista estava molhada ou seca antes das medições. Para as leituras serem feitas a pista sempre esteve seca.

Tabela 1 – Planilhas de campo

Concessionária: Nova Dutra

Rodovia: Presidente Dutra BR 116

Local/Sentido: Cabine 12 - Pedágio de Arujá Norte

Data: 20/07/2016

MEDIDAS EM: mcd/lux.m

Conjunto 1

"C" Base d'água						"B" PMMA						"A" Termo Plástico								
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	217	220	219	217	212	217	1	209	214	218	214	208	213	1	238	236	238	250	240	240
2	105	105	104	104	104	104	2	159	156	156	151	150	154	2	155	135	137	136	137	140
3	221	218	222	225	227	223	3	232	229	232	232	229	231	3	240	214	210	208	208	216
4	114	115	113	112	116	114	4	140	140	142	141	139	140	4	142	146	147	139	138	142
5	296	289	291	304	304	297	5	136	134	136	137	133	135	5	300	304	299	301	304	302

Conjunto 2

"A" Termo Plástico						"C" Base d'água						"B" PMMA								
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	156	155	160	157	154	156	1	208	208	210	208	210	209	1	198	187	192	196	194	193
2	105	136	126	106	123	119	2	89	90	90	95	90	91	2	135	134	137	138	139	137
3	196	147	150	151	142	157	3	211	206	203	212	197	206	3	156	151	156	152	155	154
4	97	106	108	108	103	104	4	96	92	94	90	93	93	4	125	128	129	130	133	129
5	252	280	272	273	251	266	5	261	272	290	309	278	282	5	128	123	142	149	149	138

Conjunto 3

"B" PMMA						"A" Termo Plástico						"C" Base d'água								
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	209	212	208	210	204	209	1	196	2189	189	207	204	597	1	244	235	227	213	223	228
2	160	155	161	162	159	159	2	119	149	132	118	107	125	2	130	120	115	115	119	120
3	158	157	152	159	165	158	3	147	155	145	147	165	152	3	215	199	243	250	256	233
4	139	141	133	142	137	138	4	107	143	159	113	112	127	4	124	111	122	116	119	118
5	144	131	129	142	150	139	5	362	323	326	304	315	326	5	253	247	272	249	240	252

Conjunto 4

"C" Base d'água						"A" Termo Plástico						"B" PMMA								
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	203	206	203	196	194	200	1	172	171	173	170	176	172	1	231	232	232	230	231	231
2	125	123	120	121	122	122	2	116	110	104	106	108	109	2	142	142	142	141	140	141
3	235	235	233	239	246	238	3	171	172	157	160	170	166	3	176	172	172	170	169	172
4	101	101	100	100	100	100	4	131	133	137	139	132	134	4	170	167	168	167	167	168
5	247	245	244	243	248	245	5	244	253	245	246	245	247	5	130	128	128	130	130	129

Conjunto 5

"B" PMMA						"C" Base d'água						"A" Termo Plástico								
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	184	186	183	186	192	186	1	200	202	204	202	204	202	1	138	138	141	143	149	142
2	174	173	170	173	172	172	2	103	107	108	107	102	105	2	108	108	111	102	104	107
3	337	337	340	352	348	343	3	191	190	177	194	197	190	3	176	161	165	169	160	166
4	181	152	181	149	149	162	4	90	91	92	93	91	91	4	106	105	107	105	108	106
5	147	149	148	146	146	147	5	291	302	304	300	302	300	5	235	209	205	186	201	207

Conjunto 6

"A" Termo Plástico							"B" PMMA							"C" Base d'água						
Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média	Posição de leitura	Leituras					Média
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1	147	144	144	145	143	145	1	226	220	221	219	222	222	1	188	179	180	185	182	183
2	105	102	96	98	96	99	2	169	167	166	166	167	167	2	125	124	120	120	123	122
3	122	113	117	122	120	119	3	171	169	165	164	162	166	3	182	181	177	171	179	178
4	97	103	100	100	108	102	4	160	159	162	158	157	159	4	102	105	101	106	103	103
5	196	215	215	196	205	205	5	157	157	151	154	152	154	5	267	260	255	248	252	256

2.3.2. Monitoração do tráfego

O efeito do tráfego foi considerado de 3 formas diferentes:

- Volumes de veículos: quantidade de veículos que passam pela faixa sinalizada entre uma monitoração e outra, sem considerações quanto à sua classificação.
- Número N: equivalência do tráfego em termos de carga ou esforço solicitante sobre o pavimento. O número N é parâmetro utilizado no dimensionamento estrutural do pavimento flexível de uma rodovia, sendo definido pelo *“número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN) durante o período de vida útil do projeto, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento.”* (DNIT, 2006). Os fatores considerados no seu cálculo englobam a composição do tráfego (classificação das categorias de veículos), pesos das cargas transportadas e sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos, e são conhecidos por meio das pesagens realizadas em postos de pesagem veicular (balanças de veículos).
- Número de eixos de veículos: quantidade de eixos que passam pela faixa sinalizada entre uma monitoração e outra, sem considerações quanto à sua carga.

Na Tabela 2 a seguir apresenta-se a planilha com parte dos dados volumétricos de tráfego, obtidos pelos equipamentos instalados na praça de pedágio, naquela faixa da cabine nº 12.

Para a estimativa de parâmetros de carga no cálculo do número N, foram tomados os dados disponíveis da balança de veículos, situada próximo à praça de pedágio – ver Tabela 3 adiante. No caso, a balança mais próxima corresponde à de Guararema.

Os resumos dos dados de volume, número N e repetições de eixo são apresentados na Tabela 4 adiante.

A tabela 4 descreve o volume de tráfego diário observado na cabine de pedágio nº 12 objeto do experimento (vide figura 2).

Tabela 2 – Volumes de tráfego horários

Data	Hora	Total	Auto	2 Eixos	3 Eixos	4 Eixos	5 Eixos	6 Eixos	7 Eixos	8 Eixos	9 Eixos	Moto	3s	4s	Onib 2d	Onib 3d	Onib 4d	Esp
27/07/2016	12	243	115	37	35	9	22	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	13	430	198	70	76	9	35	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	14	409	185	72	65	10	37	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	15	432	208	85	54	15	36	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	16	425	186	87	86	8	27	30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
27/07/2016	17	482	260	84	75	14	24	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	18	557	392	59	62	6	16	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	19	506	376	55	35	8	19	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/07/2016	20	410	289	62	34	2	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Na tabela 2, exibe-se parte dos dados volumétricos de tráfego obtidos pelos equipamentos instalados na praça de pedágio, na faixa da cabine nº 12. Os volumes estão classificados por categoria de veículo.

Tabela 3 – Distribuição de veículos comerciais nas balanças de Guararema e Queluz - 2016

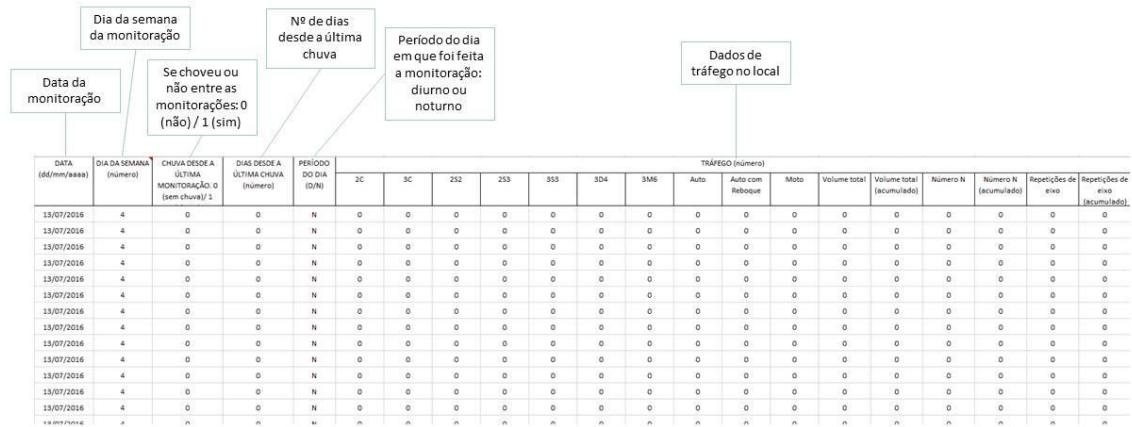
Quantidade de eixos	Classe	Guararema						Queluz						Médias		Distribuição		Classe de veículos que mais trafegam na rodovia	
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Guararema	Queluz	Guararema	Queluz	Eixos	Classe
2	2CC	12.691	13.252	13.914	12.178	14.733	14.856	1.086	1.076	1.266	1.248	1.294	1.341	13.604	1.219	11%	1%	2	2C
2	2C	23.590	23.732	23.906	20.893	27.579	26.307	18.506	17.784	20.591	19.882	21.300	20.768	24.335	19.805	20%	14%	3	3C
3	3C	34.791	33.859	34.112	28.560	36.489	35.754	36.711	34.159	40.152	37.401	39.548	38.964	33.928	37.823	27%	27%	4	2S2
3	2S1	3.799	3.830	3.599	3.315	4.046	4.141	2.230	2.243	2.361	2.332	2.806	2.759	3.788	2.455	3%	2%	5	2S3
4	2S2	14.717	15.358	16.102	13.929	17.463	17.576	16.921	16.156	19.246	17.677	18.755	18.758	15.858	17.919	13%	13%	6	3S3
4	3S1	272	214	231	170	242	271	125	140	130	118	155	168	233	139	0%	0%	7	3D4
4	4C	64	90	95	97	117	92	115	118	117	115	120	132	93	120	0%	0%	8	3M6
4	2C2	2.451	2.607	2.616	2.259	2.942	2.791	2.505	2.666	3.103	2.788	3.436	3.290	2.611	2.965	2%	2%	9	3M6
5	3C2	882	859	890	740	1.203	1.075	1.438	1.301	1.590	1.620	1.759	1.666	942	1.562	1%	1%	10	2S3
5	2S3	9.591	10.224	10.924	8.790	11.548	11.780	16.955	16.274	20.110	19.130	20.581	21.555	10.476	19.101	8%	14%	11	2I3
5	2I3	421	513	459	334	512	423	1.029	844	1.063	931	995	1.052	444	986	0%	1%	12	3S2
5	3S2	1.766	1.681	1.999	1.516	1.870	1.942	1.805	1.718	2.232	1.897	2.118	2.210	1.796	1.997	1%	1%	13	2C3
5	2C3	192	177	180	164	231	210	266	240	220	234	271	280	192	252	0%	0%	14	3C3
6	3C3	248	219	188	189	219	226	373	329	385	396	389	432	215	384	0%	0%	15	3S3
6	3S3	7.917	7.785	7.936	6.775	8.652	8.704	17.401	16.434	19.091	18.023	19.343	19.273	7.962	18.261	6%	13%	16	3I3
6	3I3	6.302	5.914	5.368	4.803	6.137	5.616	8.378	7.666	8.805	8.627	8.994	8.322	5.690	8.465	5%	6%	17	3D4
7	3D4	1.244	1.339	1.198	1.128	1.262	1.101	3.231	3.058	3.708	3.533	3.626	3.149	1.212	3.384	1%	2%	18	3R6
9	3R6	151	141	149	119	145	146	425	344	455	430	423	469	142	424	0%	0%	19	3M6
9	3M6	415	414	370	310	442	420	1.731	1.513	1.778	1.608	1.609	1.511	395	1.625	0%	1%	20	

Na tabela 3 - Dados disponíveis das balanças de veículos da rodovia Presidente Dutra, trecho São Paulo. Estes dados são necessários para a estimativa de parâmetros de carga no cálculo do número N. No estudo, foram tomados os dados referentes à balança de Guararema, situada a 25 km da praça de pedágio. A balança de Queluz, embora situada no mesmo sentido da pista onde foi realizado o experimento, encontra-se mais distante (a 204 km de distância).

*Ver Classificação DNIT

Classes utilizadas no estudo de Sinalização

Tabela 4 – Resumo com informações do tráfego: volume, número N e repetições de eixo



Na tabela 4, exibem-se os Dados do tráfego (volume observado) registrados entre as monitorações com seus respectivos tratamentos para análise do experimento (tabela completa encontra-se no anexo 1).

2.4 Verificação visual das condições dos materiais testados durante o experimento

A análise visual mostrou um desgaste muito maior do material nas posições 2 (dois) e 4 (quatro) (figura 4), por conta da passagem dos eixos dos veículos (trilha de roda). A posição 5 (extrema direita) apresentou o menor desgaste, porque os condutores dos veículos evitam essa posição (paralaxe).

De semana em semana é difícil perceber visualmente a diferença no desgaste dos materiais, porém conforme a evolução do experimento percebeu-se que o material teve maior desgaste, soltando placas de tintas.

2.5 Identificação de possíveis associações entre as diferentes medidas de monitoração

Após as leituras terem sido realizadas durante os monitoramentos foi criado um banco de dados para proceder às análises estatísticas (ver capítulo 3) bem como às análises espaciais, por meio da interpolação espacial (*Kriging/Kigragem*) apresentada nesse relatório no anexo 2, que de acordo com a revisão da literatura do projeto, não foi identificada sua aplicação antes desta pesquisa, configurando-se dessa forma um estudo inovador.

3. Avaliação dos Resultados

3.1 Análise Estatística

Cada um dos seis conjuntos de demarcações é composto por três linhas com material “A”, “B” ou “C”, totalizando, portanto, 18 linhas transversais. Em cada linha transversal há cinco posições de medida da retrorrefletividade, como indicado nas “posições das leituras” de 1 a 5. Ao redor de cada posição são feitas cinco leituras, totalizando, portanto, 25 leituras em cada linha demarcada. As posições 1 e 5 são as extremas (esquerda e direita, respectivamente), a posição 3 corresponde ao centro da faixa de tráfego, e as posições 2 e 4 são intermediárias e coincidentes com as trilhas de roda dos veículos (vide Figura 1).

Para a análise, o modelo genérico adotado foi:

$$y(ij)t = f[(\text{posição transversal}, \text{posição longitudinal}), \text{tempo}], \quad (4.1)$$

onde:

$$\begin{aligned} y(ij)t &= \text{valor da retrorrefletividade de cada posição } ij, \text{ no dia } t; \\ i &= 1, 2 \dots 17, 18 = \text{posição longitudinal da linha na pista}; \\ j &= 1, 2, 3, 4, 5 = \text{posição transversal na linha}; \\ t &= 1, \dots n, n = \text{número final de dias em que as medidas forem feitas}. \end{aligned}$$

Alguns fatores de influência considerados ao longo do estudo foram:

- tráfego;

- chuva;
- posicionamento longitudinal;
- posicionamento transversal (trilha de roda);
- sequência de leituras da retrorrefletividade;
- operador do retrorrefletômetro;
- período do dia (diurno) da leitura.

Para possibilitar a análise estatística do modelo pelo consultor, as informações coletadas foram tabuladas em planilha na forma de banco de dados. A planilha, com colunas de A a AA do Excel, contém as informações indicadas no Quadro 2 a seguir. (em anexo a planilha completa)

Quadro 2 – Fatores de influência

COLUNA	CABEÇALHO	DESCRIÇÃO
A	DATA (dd/mm/aaaa)	Dia, mês e ano de realização da leitura da retrorefletividade
B	DIA DA SEMANA (número)	Dia da semana: 1 = domingo, 2 = segunda, 3 = terça, 4 = quarta, 5 = quinta, 6 = sexta, 7 = sábado
C	CHUVA DESDE A ÚLTIMA MONITORAÇÃO	0 (não ocorreu chuva), 1 (ocorreu chuva ao menos uma vez)
D	DIAS DESDE A ÚLTIMA CHUVA (número)	Quantidade de dias desde a última chuva até o dia da leitura
E	PERÍODO DO DIA (D/N)	Período em que foi feita a leitura: D = diurno, N = noturno
F	2C	Volume de veículos 2C que passaram no local desde a última leitura
G	3C	Volume de veículos 3C que passaram no local desde a última leitura
H	2S2	Volume de veículos 2S2 que passaram no local desde a última leitura
I	2S3	Volume de veículos 2S3 que passaram no local desde a última leitura
J	3S3	Volume de veículos 3S3 que passaram no local desde a última leitura
K	3D4	Volume de veículos 3D4 que passaram no local desde a última leitura
L	3M6	Volume de veículos 3M6 que passaram no local desde a última leitura
M	Auto	Volume de veículos leves (automóveis) que passaram no local desde a última leitura
TRÁFEGO	Auto com Reboque	Volume de veículos leves com reboque que passaram no local desde a última leitura
	Moto	Volume de veículos motocicletas que passaram no local desde a última leitura
	Volume total	Volume TOTAL de veículos que passaram no local desde a última leitura
	Volume total (acumulado)	Volume TOTAL de veículos que passaram no local desde a implantação da sinalização na via
	Número N	Número N referente ao esforço do tráfego+carga sobre o pavimento do local desde a última leitura
	Número N (acumulado)	Número N referente ao esforço do tráfego+carga sobre o pavimento do local acumulado desde a implantação da sinalização na via
	Repetições de eixo	Número total de eixos de veículos que passaram no local desde a última leitura
	Repetições de eixo (acumulado)	Número total de eixos de veículos que passaram no local desde a implantação da sinalização na via
V	CONJUNTO (número)	Sequencial do conjunto de 3 linhas de pintura. Número de 1 a 6, sendo 1 o conjunto mais distante da cabine do pedágio, e 6 o conjunto mais próximo
X	POSIÇÃO LONGITUDINAL (1, 2, 3)	Sequencial da linha de pintura dentro do conjunto. Número de 1 a 3, sendo 1 a linha mais distante da cabine do pedágio, e 3 a mais próxima
W	MATERIAL (A, B, C)	Tipo de tinta: A = termoplástico aplicado por aspersão (hotspray), B = plástico a frio (multimetacrilato bi-componente) e C = acrílica à base d'água
Y	POSIÇÃO TRANSVERSAL (1, 2, 3, 4, 5)	Posição transversal da área de leitura dentro da linha de pintura. Número de 1 a 5, sendo 1 o um quinto da área mais à esquerda (no sentido do deslocamento do veículo), e 5 o um quinto da área mais à direita (no sentido do deslocamento do veículo)
Z	SEQUENCIA (1, 2, 3, 4, 5)	Sequencial de leitura efetuada com o aparelho no um quinto da área da linha de pintura
AA	LEITURA (número)	Valor da retrorefletividade medido com o aparelho

Foi gerado um gráfico inicial, mostrado na Figura 21 a seguir, para se obter o comportamento relativo dos três materiais no tempo. No eixo das abscissas está representado o tempo, medido em semanas, e no eixo das ordenadas, os valores referentes à retrorrefletividade média de cada material (de todas as 150 medidas de cada ponto y_{ij} , por material A, B, C), representados por seu valor original.

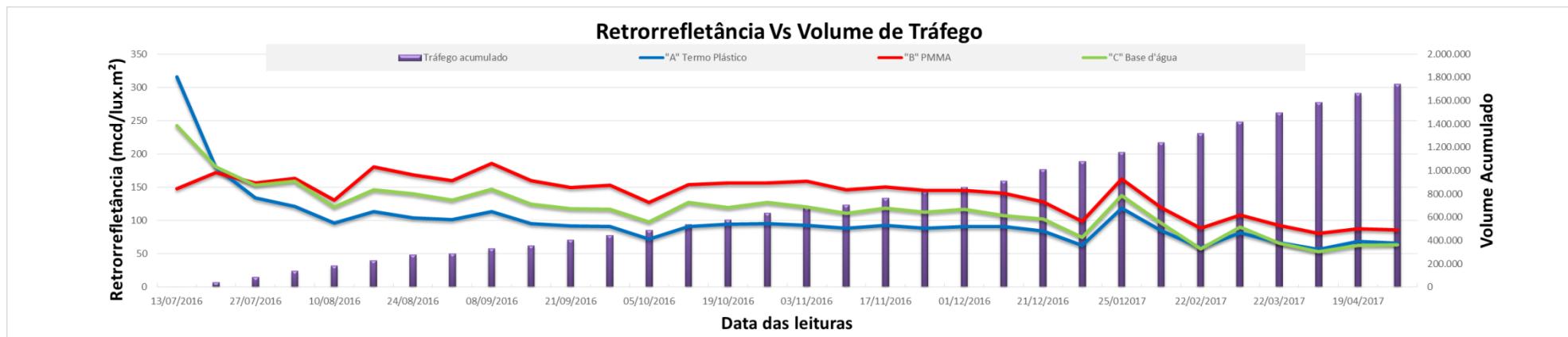


Figura 21 – Gráfico retrorefletividade versus volume observado de tráfego (conforme tabela 4)

No entanto, visando mostrar melhor as diferenças entre os materiais, a retrorrefletividade passou a ser tratada com o logaritmo de seu valor. Assim, foram obtidos outros gráficos, como aqueles das Figuras 22 e 23 adiante.

Na análise foram consideradas as correlações espaciais (na direção longitudinal e na direção transversal) e temporal. Outras variáveis explicativas que foram verificadas quanto ao efeito sobre a variável resposta foram: chuva, volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos.

Constatou-se que não havia diferenças entre as cinco medidas realizadas em torno de cada uma das cinco posições de cada linha, assim, utilizaram-se as médias desses valores em cada posição. Esta constatação indicou que não houve interferência do operador do equipamento nos resultados das medidas em campo.

As análises foram feitas no software estatístico R¹ (estruturas de dados longitudinais). Para o uso do software, foram criadas unidades observacionais (UO), que são os dados observados em campo, e unidades experimentais (UE), que são os resultados da aplicação dos diferentes modelos de testados. Para a construção do modelo, primeiramente verificou-se quais variáveis explicativas seriam incorporadas na análise. Para isso, realizou-se a Análise de Variância ANOVA (ANalysis Of VAriance - detalhes em Burdick *et al.*, 2005), com o objetivo de explicar as variações observadas nas retrorrefletividades dos três materiais, considerando-se alguns possíveis fatores explicativos. Adotou-se o modelo linear conforme descrito em Montgomery (2010).

Para uma primeira prospecção de quais variáveis explicativas comporiam o modelo linear, realizou-se a ANOVA utilizando seis conjuntos de informações, conforme tabela 5 a seguir. Porém, verificou-se que apenas essas variáveis não eram suficientes para descrever o fenômeno, ou seja, somente as fontes de variação Data, Posição e Tratamento (material) têm a média dos quadrados maior que o das EU. Além disso as fontes de interação Data:Conjunto, Data:Posição e Data:Tratamento apresentam média dos quadrados maiores que a interação Data: EU. Além disso, os resíduos (a parte não explicada do modelo) ficaram muito elevados.

¹ Software R – licença livre. Detalhes em <<https://www.r-project.org/>>

Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA)

Fator	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	F	Pf (>F)
Data	19	322,98	16,999	1936,0755	2,20E-16
Conjunto	5	9,64	1,927	219,5257	2,20E-16
Posição transversal	4	891,16	222,790	25374,4965	2,20E-16
Tratamento	2	228,13	114,065	12991,3989	2,20E-16
Unidade experimental	38	145,45	3,828	435,9581	2,20E-16
Unidade observacional	180	2,97	0,017	1,8823	1,81E-11
Data:Conjunto	95	20,33	0,214	24,3705	2,20E-16
Data:Posição transversal	76	70,68	0,930	105,9249	2,20E-16
Data:Tratamento	38	131,32	3,456	393,5964	2,20E-16
Data:Unidade experimental	722	60,49	0,084	9,5419	2,20E-16
Data:Conjunto:Distância	80	10,32	0,129	14,6994	2,20E-16
Resíduos	7740	67,96	0,009		

Portanto, procedeu-se em uma segunda análise de variância (ANOVA), com a introdução de mais variáveis explicativas e as devidas interações, conforme descrito na tabela 6. Os fatores (variáveis) chuva, volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos, que variam com o tempo, foram testados como substitutos do fator tempo. Volume de tráfego, número N e número de eixos de veículos são variáveis quantitativas associadas ao efeito do tráfego de veículos. A análise procurou identificar a variável mais explicativa, que foi, então, usada no modelo, e foi identificado que o fator chuva tem forte significância.

De acordo com Pinheiro e Bates, (2000), após a segunda análise de variância, aceitou-se a suposição de normalidade para ajustar e testar o modelo linear que melhor descreve o fenômeno estudado. Para aumentar a aderência à normalidade do modelo, testou-se um modelo logarítmico (conforme descrito em Box e Cox, 1964).

O modelo logarítmico do volume de tráfego resultou melhor do que o modelo sem logaritmo. O mesmo ocorreu com o número N, que também foi melhor do que o modelo não logarítmico do volume de tráfego. Com o número de eixos, entretanto, o modelo sem logaritmo melhorou a análise, comparado com o modelo logarítmico do número de eixos.

A análise de variância final é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA)

Fator	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	F
Posição transversal	4	2,8429	0,7107	56,32
Tipo de material	2	0,7278	0,3639	28,835
Chuva	1	4,4875	4,4875	355,598
Eixos	1	8,5262	8,5262	675,637
Posição transversal e Chuva	4	0,9656	0,2414	19,13
Tipo de material e Chuva	2	2,9622	1,4811	117,367
Chuva e Eixos	1	3,9029	3,9029	309,271
Chuva e Eixos ²	2	6,3795	3,1898	252,763
Posição transversal, Chuva e Eixos	8	2,2441	0,2805	22,228
Tipo de material, Chuva e Número N	6	5,5259	0,921	72,981
Posição transversal , Chuva e Eixos ²	8	1,571	0,1964	15,561
Tipo de material, Chuva e Eixos ²	4	2,6499	0,6625	52,496

A interação entre posição transversal e chuva mostrou-se significante. Infere-se que a chuva aumenta a retrorrefletividade da sinalização nas posições de maior solicitação (posições 2 e 4), porém, nas demais posições (1, 3 e 5) diminui a retrorrefletividade com o aumento do tráfego.

Para representação do efeito do tempo cronológico, a chuva foi uma das melhores formas encontradas como variável indicadora, assim como o número equivalente de eixos acumulado. A cada 10.000 eixos de veículos que passam, o logaritmo da retrorrefletividade diminui em média 0,26, sobretudo nas posições próximas às da passagem das rodas dos veículos.

Quanto à análise do modelo, a melhor variável explicativa do efeito do tráfego sobre a retrorrefletividade não foi o volume de veículos, mas sim, a quantidade de eixos, e sem considerações de carga.

No eixo das abcissas do gráfico da Figura 22 adiante está representado o tempo, medido em semanas, e no eixo das ordenadas, os valores referentes à retrorrefletividade média de cada material, representados pelo seu logaritmo (a fim de melhor mostrar as diferenças entre os materiais, conforme mencionado).

O material B parece ter demonstrado maior estabilidade dos que os demais, embora não tenha partido de um valor de retrorrefletividade inicial muito alto. Pouco perdeu de retrorrefletividade ao longo do tempo, tornando-se o mais retrorrefletivo dos

três materiais, considerando apenas os valores médios de cada material, sem distinção das posições de leitura. As quedas nas curvas do gráfico coincidem com períodos sem a ocorrência de chuva, enquanto os picos seguiram-se a ocorrência de chuva, sugerindo interação entre os fatores.

No gráfico da Figura 23, nota-se o efeito por posição transversal, considerando todos os materiais. Os valores de retorrefletividade se reduzem mais acentuadamente nas posições 2 e 4 do que nas demais. As posições 2 e 4 correspondem, fisicamente, à área de passagem dos pneus dos veículos, ou seja, sua trilha de roda, conforme já mencionado.

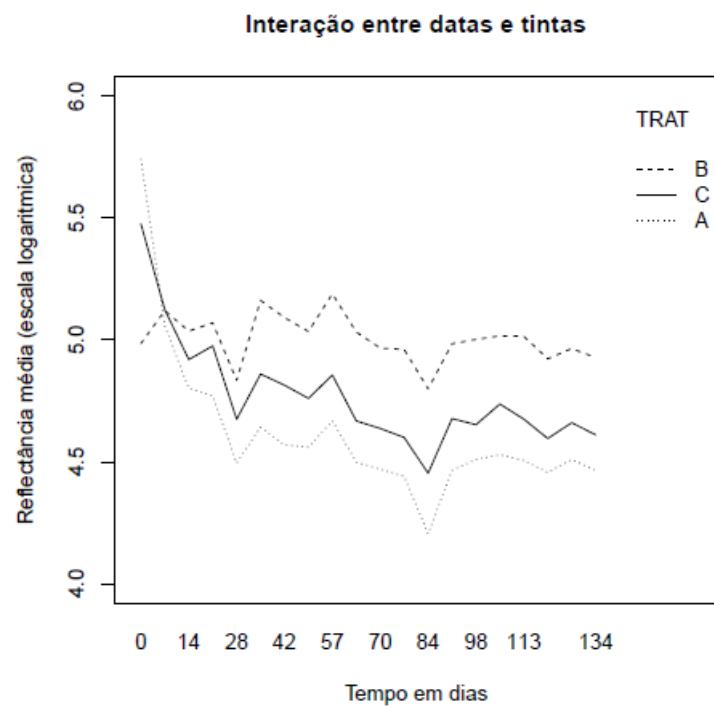


Figura 22 – Gráfico log retrorefletividade média por material *versus* tempo

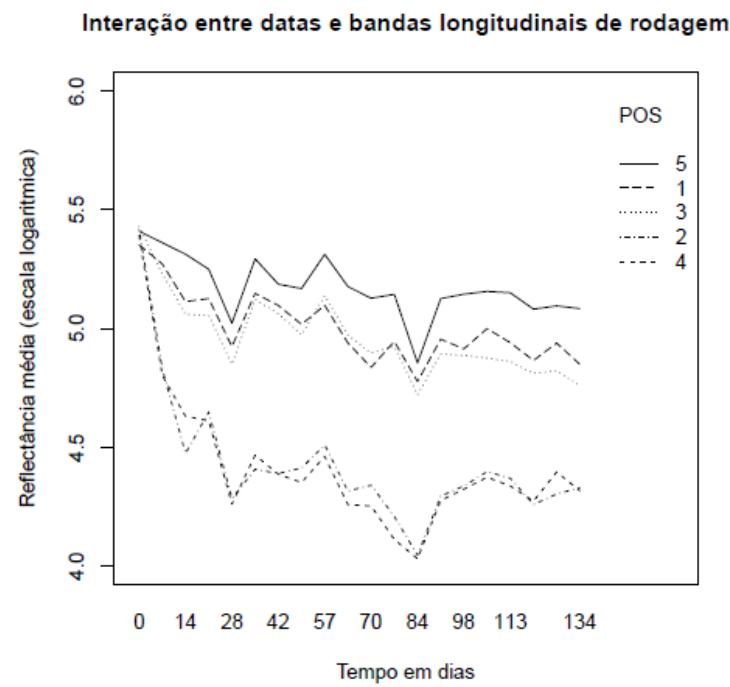


Figura 23 – Gráfico log retrorefletividade média por posição *versus* tempo

No gráfico da Figura 24, os valores no eixo das ordenadas referem-se à retrorrefletividade média de cada material (A, B, C), por posição (1, 2, 3, 4, 5), representados por seu logaritmo.

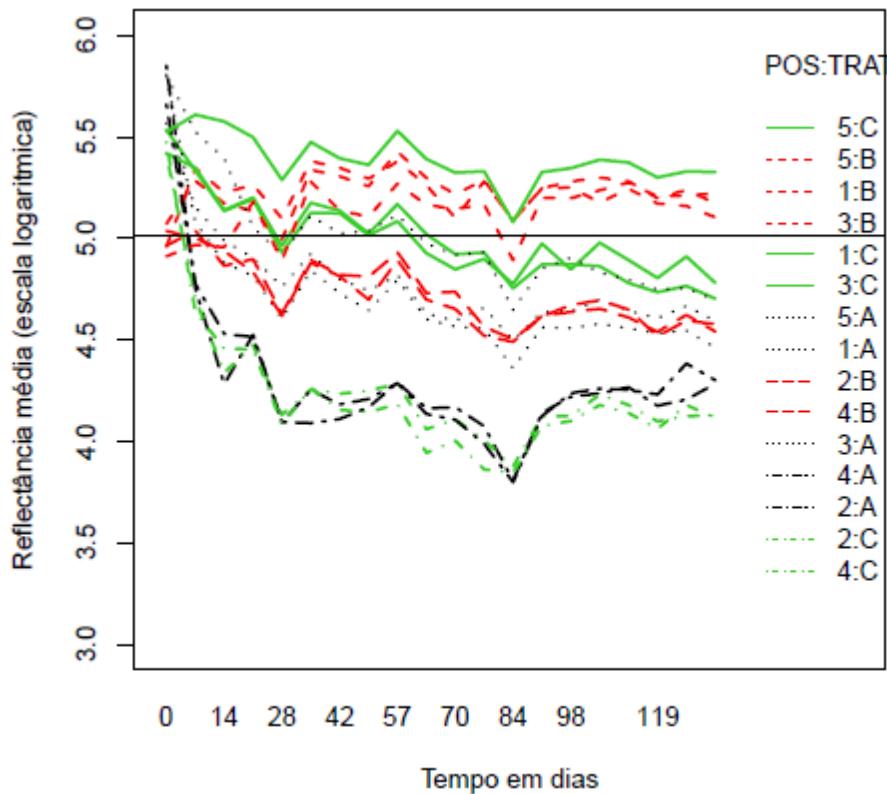


Figura 24 – Gráfico log retrorrefletividade média por material e posição versus tempo

É possível notar que os valores correspondentes às posições 5 (cinco), 1 (hum) e 3 (três) (extrema direita, extrema esquerda e central, respectivamente) apresentaram-se, ao longo do experimento, superiores à retrorrefletividade das demais posições. Essas posições foram menos utilizadas, ou seja, os veículos passaram, preferencialmente, nas posições 2 (dois) e 4 (quatro).

As posições 2 (dois) e 4 (quatro), se tronaram as trilhas de roda dos veículos, apresentaram menores valores de retrorrefletividade, em todos os materiais utilizados no experimento, dado o próprio desgaste dos materiais em função do uso.

As quebras bruscas nas curvas para cima foram ganhos de retrorrefletividade, que corresponderam a leituras realizadas após a ocorrência de chuvas.

Nota-se que a retrorrefletividade nas posições críticas do material B é similar à do material A em posição menos rodada, e muito maior que a dos materiais A e C nas posições críticas.

3.2 Análise do comportamento da sinalização

Os resultados demonstraram que a retrorrefletividade decaiu com o tempo para todos os materiais testados, observando seu desgaste físico (não houve reaplicação da sinalização ao longo do experimento). A retrorrefletividade parece ter-se estabilizado ao longo do tempo, porém, próximo ao fim do experimento houve dificuldade nas leituras devido à cada vez menor quantidade de material de sinalização no pavimento.

Salles *et al.* (2015) desenvolveram um estudo similar sob as condições e as normas nacionais. O estudo partiu de uma avaliação, ao longo de dois anos, de três segmentos viários experimentais: um rodoviário e dois urbanos, com diferentes tipos de demarcações e materiais. No experimento, observaram que o tráfego de veículos pesados foi responsável pelo maior desgaste da demarcação nas faixas mais solicitadas. Constataram, também, que a chuva, combinada com a passagem dos pneus dos veículos, provocou aumento da retrorrefletividade, devido ao efeito de limpeza dos elementos retrorrefletivos (microesferas de vidro) da sinalização. Outra observação registrada foi que a retrorrefletividade depende, também, da sua posição (longitudinal e transversal), e no trecho rodoviário a linha de eixo acabou apresentando maiores níveis de retrorrefletividade do que a linha de bordo, pois mais veículos trafegaram sobre a primeira, somado ao efeito de limpeza da chuva. Este efeito combinado do tráfego e a chuva foi observado no experimento na rodovia Presidente Dutra, onde se observou que os valores médios de retrorrefletividade com registro positivo de ocorrência chuva no dia anterior à monitoração foram inferiores àqueles quando a chuva ocorreu quatro dias antes. Aparentemente houve tempo suficiente para que o tráfego limpasse a sinalização, com a ajuda da chuva.

Conforme visto na análise estatística, para representação do efeito do tempo cronológico, a chuva foi uma das melhores formas encontradas como variável indicadora, assim como o número equivalente de eixos acumulado.

Na análise estatística, não ficou evidente que haja diferenças na perda da retrorrefletividade quanto ao posicionamento longitudinal. Isto significa que o efeito observado nos conjuntos 1(um) a 6 (seis) é o mesmo. Para o posicionamento transversal, contudo, observou-se que há diferenças significativas, já que os valores de retrorrefletividade nas posições 2 (dois) e 4 (quatro) correspondentes à trilha de roda dos veículos apresentaram maiores reduções do que as posições extremas, 1 (um) e 5 (cinco) e central, 3 (três).

Sob as mesmas condições de operação, conclui-se que, em termos de valores médios do material, sem considerações quanto ao posicionamento transversal, o material B apresentou o melhor desempenho do que A e C, do ponto de vista da manutenção da retrorrefletividade. Por outro lado, não há como desconsiderar o efeito do posicionamento transversal na análise, sendo que, assim, os materiais B e C apresentam desempenhos semelhantes e superiores ao material A.

É importante destacar que este experimento foi realizado de modo a obter resultados de uso e desgaste da estrutura acelerados e, portanto, as condições de sua execução foram bastante específicas. A disposição transversal das faixas demarcadas no pavimento maximizou a interação entre o tráfego e a estrutura da sinalização. Em condições normais de operação da rodovia, contudo, a intensidade dos movimentos de veículos sobre a sinalização horizontal é menos expressiva, já que ocorre apenas quando os veículos mudam de faixa, transpondo as linhas longitudinais que dividem as faixas de tráfego. Além disso, o experimento foi aplicado em área totalmente inserida em uma praça de pedágio, que possui características físico-operacionais distintas de outras seções da rodovia.

4. Dificuldades Encontradas

O efeito da chuva sobre o comportamento dos materiais mostrou-se relevante, porém, devido à indisponibilidade de informações mais precisas de precipitação, como dados de intensidade e duração das chuvas, no local, as observações restringiram-se ao registro de ocorrência / não ocorrência de precipitações entre as leituras de retrorrefletividade, obtidas em estação meteorológica próxima.

A velocidade foi considerada constante e igual a 40 Km/h, exigida no pedágio, uma vez que não haviam condições de se efetuarem medidas de velocidade, o pavimento foi suposto homogêneo.

A análise descritiva dos dados originais coletados nas monitorações mostrou a necessidade de transformação para obter a normalidade da distribuição. Foi, então, adotada uma transformação logarítmica dos dados para se atingir a normalidade. Ao plotar os dados em escala logarítmica (ln), obtiveram-se gráficos que evidenciaram as interações entre as variáveis do problema.

A monitoração não pode ser feita em dias de chuva, pois com a água da chuva cria-se uma lâmina de água sobre a superfície das microesferas de tinta impossibilitando a medição acurada da refletividade com o retrorreflectômetro.

5. Equipe Técnica

A equipe técnica é formada por pesquisadores da EPUSP, da CCR e da Universidade Federal de Lavras.

Quadro da CCR/Engelog

- Valéria Cristina Faria – Coordenadora do projeto na CCR Nova Dutra.
- Daiane Fávaro – Coordenadora Engelog, Grupo CCR.
- Tiago Simione Azzone – Engenheiro, Grupo CCR

Quadro Consultoria

- Júlio Silvio de Souza Bueno Filho – Consultor - UFLavras (MG)

Quadro da EPUSP

- Liedi Legi Bariani Bernucci – Coordenadora do Projeto – EP-USP
- José Alberto Quintanilha – Coordenador/Pesquisador do projeto na EP-USP.
- Cláudia Soares Machado – Pós-doutoranda – Bolsista FDTE/ PTR/EPUSP
- Ana Clara Ferrarese Machado – Iniciação Científica – Bolsista FDTE/ PTR/EPUSP
- Janaina Bezerra Silva – Técnica de Nível Superior
- Mariana Lage – Doutoranda – PROCAM – USP
- Leonardo Godoy – Especialista em Laboratório – Laboratório de Geoprocessamento EP-USP/PTR

A infraestrutura de computadores existente no Laboratório de Geoprocessamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LGP) foi ambiente de apoio às análises espaciais deste projeto.

A CCR contribuiu com a realização das monitorações e com a equipe de suporte para execução dos trabalhos na Rodovia Presidente Dutra.

A equipe técnica do projeto efetuou a tabulação das informações no banco de dados para execução das análises estatísticas e espaciais.

6. Conclusões

O experimento realizado permitiu avaliar o desempenho de três materiais de sinalização horizontal rodoviária quanto ao comportamento de sua retrorrefletividade ao longo do período de 11 (onze) meses contínuos, sob o efeito do tráfego de veículos, em condições reais de operação da rodovia.

Os valores de retrorrefletividade foram medidos com aparelho retrorrefletômetro calibrado, em pontos distribuídos sobre a área de demarcação da sinalização. A análise dos valores de retrorrefletividade consideraram, portanto, a localização física relativa dos pontos observados, tendo constatado que houve interação entre a posição e o tempo, sendo mais notável a diferença observada na retrorrefletividade das posições da seção transversal da faixa de rolamento ao longo do tempo: as posições “2” e “4”, que correspondem aos locais de passagem das rodas dos veículos, apresentaram valores expressivamente menores de retrorrefletividade do que as posições “1” (extremidade esquerda), “2” (central) e “5” (extremidade direita) da sinalização.

Outra observação que o experimento permitiu registrar foi o efeito da chuva sobre a retrorrefletividade. Observou-se que cada precipitação, independentemente de sua intensidade ou duração, foi seguida de aumento da retrorrefletividade. Este efeito positivo, entretanto, não poderia ser atribuído somente à chuva, lembrando que outros fatores poderiam colaborar para o efeito de “limpeza” da superfície da sinalização horizontal, como por exemplo, o tráfego de veículos. A análise dos dados mostrou que a melhor forma encontrada para representar o efeito do tempo foi o uso da chuva (sua ocorrência ou não) como variável indicadora e do número de eixos de veículos acumulado, o que acabou por confirmar a pressuposição já mencionada quanto ao efeito de “limpeza” da sinalização pelos pneus dos veículos.

A conclusão do atual experimento é de que cada passagem de 10.000 eixos sobre a sinalização representou a redução de 0,26 do logaritmo de sua retrorrefletividade.

O resultado da análise estatística apontando que a chuva foi uma das melhores formas encontradas como variável indicadora, assim como o número equivalente de eixos acumulado, ratifica o fenômeno já observado por profissionais atuantes no setor, apenas com a ressalva de que a influência do tráfego era considerada pelo volume de veículos, ou média dos volumes observados por dia de veículos, e não pelo número de eixos.

Nas posições “2” (dois) e “4” (quatro), a perda da retrorrefletividade é maior, porém, quando ocorre precipitação a retomada também é mais expressiva nesses locais.

O comportamento dos três materiais experimentados foi diferente, e houve interação com o tempo. O material “B” apresentou maior estabilidade, ou menores variações, da retrorrefletividade durante o tempo deste experimento. Embora sua retrorrefletividade inicial fosse menor do que a dos materiais “A” e “C”, conservou-se melhor ao longo do tempo, em uso, do que aquelas.

Da Figura 24, observa-se que os maiores valores de retrorrefletividade corresponderam à posição 5 (cinco) do material “C”, seguido das posições 5 (cinco), 1 (hum) e 3 (tês) do material “B”. Isto permite inferir que as posições das extremidades laterais esquerda e direita preservam melhor a retrorrefletividade por não sofrerem tanta solicitação do tráfego quanto as posições 2 (dois) e 4 (quatro), o que pode também ser comprovado pelos menores valores de retrorrefletividade apresentados pelas posições 4 (quatro) e 2 (dois) do material “C” e das posições 2 (dois) e 4 (quatro) do material “A”, no mesmo gráfico.

Cabe observar, também, que valores maiores de retrorrefletividade não significam, necessariamente, melhor desempenho do material de sinalização, pois outros fatores devem ser computados em sua avaliação, como durabilidade, forma de utilização, custos de implantação e de manutenção, desgaste observado (segundo apresentado no ítem 2.4) além de fatores psicológicos que dizem respeito à percepção do motorista, para o qual a visibilidade e compreensão são requisitos fundamentais. A retrorrefletividade pode contribuir para a visibilidade, porém a compreensão depende da conspicuidade da sinalização, ou seja, da capacidade de o elemento viário ser identificado e compreendido corretamente. (Fujii, 2017).

Ficou clara a influência da chuva sobre a retrorrefletividade. Neste experimento este fator foi considerado apenas quanto à sua ocorrência (sim ou não). Como sugestão para futuros experimentos, seria monitorar outras características da chuva, como sua intensidade e duração, que talvez pudessem explicar melhor o efeito da chuva sobre a retrorrefletividade da sinalização horizontal da rodovia. Outro fator a ser monitorado seria a velocidade. Neste experimento, realizado em área de velocidade controlada, este fator foi considerado constante e sua possível influência sobre a retrorrefletividade não foi estudada.

Sobre a leitura da retrorrefletividade, convém observar que é um procedimento lento e pouco produtivo, que interfere na operação da rodovia. O uso de equipamento móvel ou dinâmico, com leitura contínua da retrorrefletividade de sinalização horizontal, tem sido utilizado no Brasil, mas ainda é uma prática recente. Como a avaliação do desempenho da sinalização depende da medição da retrorrefletividade, será necessário aprimorar os meios de monitoração desse parâmetro.

7. Recomendações para estudos futuros

Tendo em vista os resultados obtidos, julga-se oportuno apresentar algumas recomendações para futuros projetos de pesquisa sobre esse tema. Para melhorar o modelo aqui desenvolvido outras variáveis poderiam ser medidas e incorporadas nas análises, tais como:

- Velocidade real dos veículos (nesta pesquisa admitida 40 km/h e constante para todos os veículos)
- Volume de precipitação no local do experimento, ou seja, instalação de um pluviômetro (mm de chuva);
- Temperatura ambiente e no pavimento;
- Insolação medida diretamente na sinalização horizontal (faixas de material);
- Coeficiente de atrito e textura do pavimento

A introdução de outras variáveis explicativas (acima exemplificadas) poderia deixar o modelo mais robusto e confiável. Ressalta-se ainda que o modelo desenvolvido descreve o desempenho dos materiais empregados na sinalização horizontal (variação entre os três materiais adotados), e não se propõe a servir como um modelo de previsão de desgaste dos materiais.

8. Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.699: 2012 – Sinalização horizontal viária – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13159: 2013 - Sinalização horizontal viária — Termoplástico aplicado pelo processo de aspersão (Termoplástica Spray).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14723: 2013 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.405:2014 – Sinalização horizontal viária - Tintas - Procedimentos para execução da demarcação e avaliação.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15870 Sinalização horizontal viária – Plástico a frio à base de resinas metacrílicas reativas – Fornecimento e aplicação (PMMA Spray – Plástico a frio).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16.184:2013 – Sinalização Horizontal Viária – Microesferas de vidro.

Burdick, R. K.; Borror, C. M.; Montgomery, D. C. Design and Analysis of Gauge R&R Studies: Making Decisions with Confidence Intervals in Random and Mixed ANOVA Models. ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Probability, SIAM, Philadelphia, ASA Alexandria, VA, 2005, 201p. <https://www.amazon.com.br/Engineering-Statistics-Douglas-Montgomery/dp/0470631473>

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.

Cemadem – Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemadem – acesso em 2016 -2017 -
<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego – Rio de Janeiro, 2006,. 384 p. (IPR. Publ.. 723).

Domínguez, F. S, García, J. A. R.; Balula, N. "Inspeção Dinâmica da Sinalização Horizontal e Vertical." AFESP – Associação Portuguesa de Sinalização e Segurança Rodoviária, 2013, 10p.

Donnell, E. T.; Karwa, V.; Sathyaranayanan, S. Analysis of effects of pavement marking retroreflectivity on traffic crash frequency on highways in North Carolina. Transportation Research Record, n. 2103, 2009, p. 50 – 60.

Fujii, W. Y. – Avaliação do Desempenho dos Elementos de Sinalização Viária em Rodovias. 2017. 169 p. Versão corrigida – Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP – Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2017.

G.E.P.Box ; D.R.Cox. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). Vol. 26, No. 2, pp. 211-252.

Goos, P., Jones, E. D. Optimal Design of Experiments: A Case Study Approach. 2011 John Wiley & Sons, Ltd.

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.

Lima, S. C. R.; Santos, M. A. A.; Alves, E. V. A relação entre a sinalização viária e os acidentes de trânsito em um trecho da BR-251. ANTP. 2015. http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2015/06/12/531507C3-837F-4431-B708-6F676F47072C.pdf.

Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal. DENATRAN: Resolução n.236/2007. Brasil. 2007.

Ministério dos Transportes. Programa de Exploração da Rodovia (PER). ANTT. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/concessaorod/ConcessoesRodoviarias.asp> >. Acesso em: 08 dezembro 2016. Brasil. 2016.

Moreira, H. Sinalização horizontal: Materiais e critérios de seleção. In: DER-MG – II Seminário de Sinalização e Segurança Viária. 2012. <http://www.assender.com.br/wp-content/uploads/2015/09/heverton-moreira.pdf>.

OMS – Organização Mundial de Saúde. World report on road traffic injury prevention. Edited by Peden, M.; Scurfield, R.; Sleet, D.; Mohan, D.; Hyder, A. A.; Jarawan, E.; Mathers, C. Geneva, 2004, 217p.

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. 72, 2014, p. 244–256.

Patente US6303058 Method of making profiled retroreflective marking material. Inventores Michele H. Kelley, Mais 8 ». Cessionário original 3M Innovative Properties Company. 2001.

Pinheiro, J. C.; Bates, D. M. Linear mixed-effects models: basic concepts and examples. Mixed-effects models in S and S-Plus, p. 3-56, 2000.

Rebuelta, D. Sinalização Horizontal - Plástico a Frio: Excelência em Visibilidade, Mobilidade e Sustentabilidade. In: DER-MG – II Seminário de Sinalização e Segurança Viária. 2012. <http://www.assender.com.br/wp-content/uploads/2015/09/debora-rebuelta.pdf>

Salles, L. S.; Pereira, D.; Krachevski. D. S. T; Specht, L. P. Avaliação retrorrefletiva de pintura de demarcação horizontal: peculiaridades e considerações sobre a norma e os requisitos mínimos nacionais. TRANSPORTES, 23(3), 5-17. Brasil. 2015.

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.

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.

Small, K.; Verhoef, E. T. The economics of urban transportation. London: Routledge, 2007, 276p.

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.

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.

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.

Anexo 1. Link com todos os anexos do relatório

<https://www.dropbox.com/sh/duf3dvfy65edn7v/AACHNKAj8GdaWquCIG9auOTya?dl=0>

Anexo 2. Interpolação Espacial (Krigagem)

1. Geostatística

A geoestatística foi criada e desenvolvida para calcular estimativas dentro de um contexto regido por fenômenos naturais com distribuição no espaço e supondo que os valores das variáveis, consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados. Devido a essa característica, tem sido grande a sua aplicação principalmente para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não amostrados. No caso do experimento das tintas, será utilizada a variável retrorrefletividade medida através do tempo, e será estudada a sua distribuição e comportamento, de cada tinta, no espaço onde ocorreram as medidas.

De uma forma geral, esta metodologia procura extrair uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado. O método de estimativa básico utilizado é o da krigagem. Trata-se de um processo de estimação que se utiliza de uma função denominada variograma (LADIM e STUARARO, 2002) para medir a correlação espacial.

Para a obtenção de um variograma, é suposto que a variável regionalizada, no caso a retrorrefletividade, tenham sempre os mesmos valores de média e variância na área utilizada para as medições. Assume-se pois, que os valores dentro da área de interesse não apresentem tendência que possam afetar os resultados.

A krigagem usa informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. Nessa situação o método fornece, além dos valores estimados, o erro

associado a tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação (LADIM e STUARARO, 2002).

2. Stanford Geostatistical Modeling Software (SGeMS)

É um software estatístico de código aberto, destinado à análise geoestatística, visando a solução e análise de variáveis espacialmente relacionadas. Foi desenvolvido na Stanford University, que o define como sendo o primeiro software a fornecer algoritmos para estatísticas de múltiplos pontos.

É utilizado por profissionais de áreas de meio ambiente e de aplicações de sensoriamento remoto. Quanto às suas funções, Bianchi e Zheng (2009), afirmam que o software SGeMS fornece um conjunto abrangente de ferramentas geoestatísticas fácil de usar. Estes incluem tanto algoritmos clássicos de krigagem, instrumentos para krigagem multivariada (co-krigagem), krigagem de indicadores e vários tipos de algoritmos de simulação estocástica. Dessa maneira, o SGeMS é um software completo para se trabalhar com krigagem e com simulações, muito utilizado para a geração de parâmetros estatísticos. Para melhores informações do software <<http://sgems.sourceforge.net/>>.

3. Análise Geostatística da Pesquisa

A análise geoestatística é uma ferramenta utilizada em estudos de dependência espacial. No que tange à dependência temporal, poucas são as análises realizadas com essa metodologia. O desenvolvimento aqui elaborado é de pesquisa e deverá resultar em um artigo científico utilizando a técnica de geoestatística para ajustar um modelo de série temporal de coleta de dados de retrorefletividade dos 3 (três) materiais aplicados nem área do pedágio de Arujá (SP) na rodovia Dutra, no Estado de São Paulo. A ideia é comparar o desempenho das tintas ao longo do tempo para analisar qual seria a melhor tinta.

Estudos geoestáticos que envolvam a variável tempo são escassos. No Brasil pode-se citar Holawe & Dutter (1999); Carvalho et al. (2009) e Mingot & Neves (1999), que apresentam exemplos de utilização da metodologia geoestatística aplicada à análise de séries temporais.

O objetivo deste trabalho será utilizar uma metodologia de análise geoestatística, no caso a krigagem, onde foram coletados dados de 3 tipos de materiais de tinta, em 6 faixas na estrada da Dutra com 5 coletas em cada faixa, assim teremos a latitude e longitude dos pontos coletados e tendo como terceira dimensão o tempo, no caso 29 semanas de coleta de dados. Sendo possível realizar qual a melhor tinta em pequenas escalas de tempo.

A metodologia usada para análise dos dados consistiu nas seguintes etapas:

- A. Levantamento de campo semanal (29 semanas) com 30 pontos de coletas distribuídos em 6 faixas com 3 tipos de materiais de tinta ao longo da faixa na rodovia Dutra.
- B. Criação do banco de dados com as coletas dos 3 tipos de materiais e suas coordenadas e o número da semana de coleta.
- C. Interpolação dos dados, utilizando o método de krigagem, de forma a gerar uma superfície de interpolação;
- D. Criação de uma animação com as superfícies geradas.
- E. Análise dos dados pós processamento

4. Resultados

Com a informação dos valores coletados da refletância da tinta fornecidos foi possível atribuir a cada ponto coordenado o respectivo valor de retrorrefletividade da tinta em cada semana. O banco de dados fornece as coordenadas X e Y de cada ponto de coleta (30 pontos) espalhados por 6 faixas na rodovia Dutra, com 3 tipos de materiais de tintas, e a variável Z, a semana em que foi coletado o ponto.

Em seguida, procedeu-se à geração de superfícies usando o método de interpolação de krigagem. Foi feito no software SGeMS com o método de análise geoestatística de Krigagem Ordinária.

A Figura A1, que tem no eixo das abscissas o tempo, nas ordenadas (a profundidade no gráfico, indo da faixa para a 5) o comprimento de cada faixa e no eixo z, a altura no gráfico, o sentido de movimento dos carros com as 6 (seis) faixas. Observam-se na figura

resultados similares a outros anteriormente obtidos, mostrando um desgaste menor das tintas nas primeiras faixa e no ponto mais à direita do sentido do fluxo de tráfego. Percebe-se na figura, que a tinta B (Material B na Figura) é a que resistiu mais no decorrer do tempo.

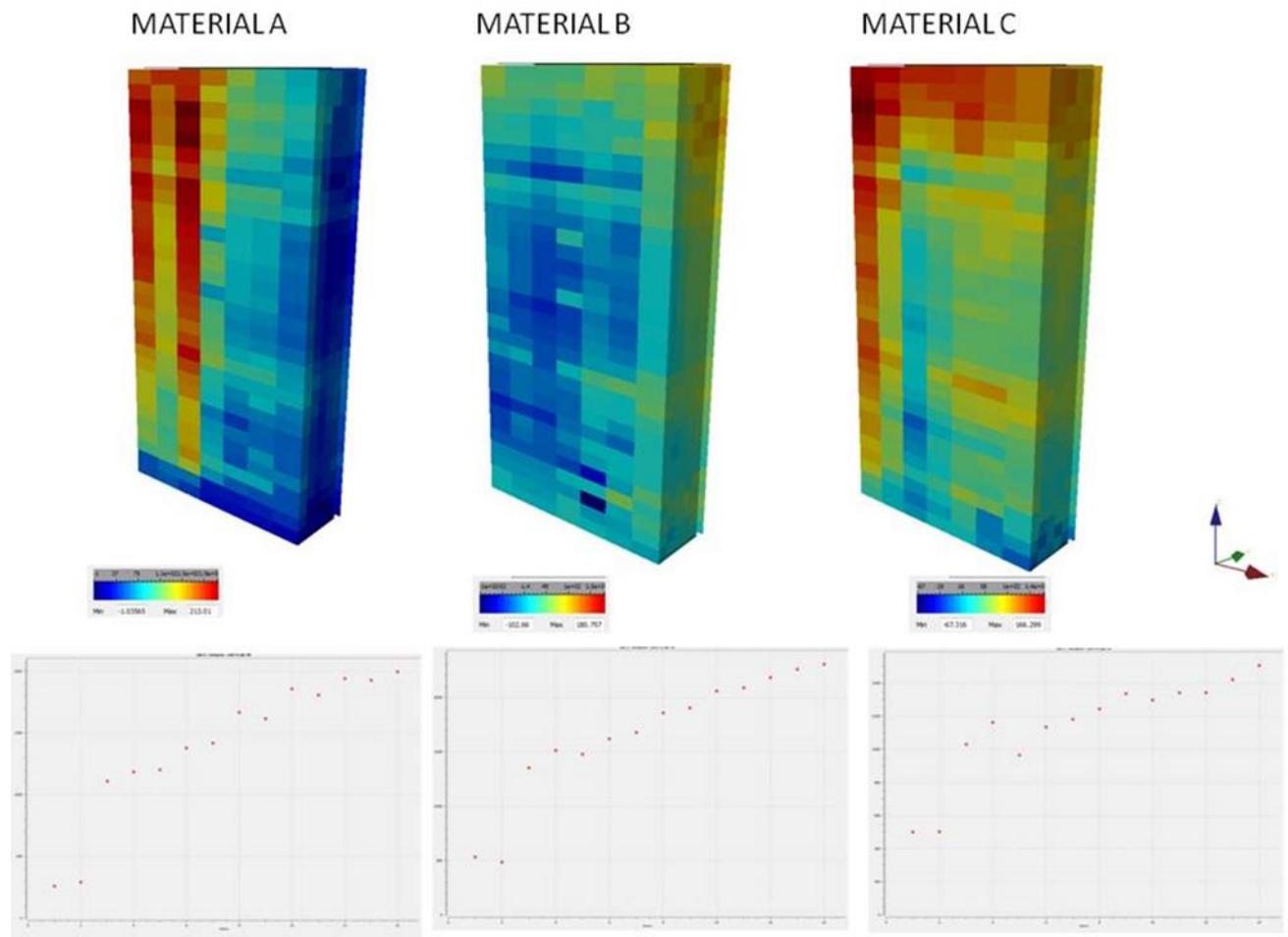


Figura A1 - Resultado preliminar da krigagem ordinária nos três materiais.

5. Referências

Bianchi, M; Zheng, C. SGeMS: A Free and Versatile Tool for Three Dimensional Geostatistical Applications. *Ground Water*. v. 47, n. 1.2009.

Carvalho, J. R. P.; Vieira, S. R.; Grego, C. R. Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, n.4, p.443-448, 2009.

Goovaerts, P. Geoestatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press, 1997.

Holawe, F.; Dutter, R. Geoestatistical study of precipitation series in Austria: time and pace. Journal of Hydrology, v.219, p.70-82, 1999.

Journel, A. G. Etude sur l'Estimation d'une Variable Regionalisée. Application à la Cartographie Sous-Marine: Service Central Hydrographique de la Marine, Paris, p.86, 1969.

Landim, P. M. B., Sturaro, J. R. Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Geomatématica, Texto Didático 6, DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, 2002.

Mingoti, S. A.; Neves, O. F. A metodologia de geoestatística aplicada na análise de séries temporais. Revista Escola de Minas, v.52, p.182-187, 1999.