

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Eduardo Martins Renz**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA**  
**RETROREFLETIVIDADE DE PINTURA DE DEMARCAÇÃO VIÁRIA**  
**EM MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO À FRIO**

Santa Maria, RS  
2018

**Eduardo Martins Renz**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA  
RETROREFLETIVIDADE DE PINTURA DE DEMARCAÇÃO VIÁRIA  
EM MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO À FRIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**

Orientador: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira

Santa Maria, RS  
2018

Renz, Eduardo Martins

Avaliação do Comportamento da Retrorrefletividade de  
Pintura de Demarcação Viária em Micro Revestimento  
Asfáltico à Frio / Eduardo Martins Renz.- 2018.  
191 p.; 30 cm

Orientador: Deividi da Silva Pereira  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Retrorrefletividade 2. Demarcações Viárias 3.  
Macrotextura 4. Microtextura 5. Sinalização Horizontal I.  
Pereira, Deividi da Silva II. Título.

**Eduardo Martins Renz**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA RETRORREFLETIVIDADE DE  
PINTURA DE DEMARCAÇÃO VIÁRIA EM MICRO REVESTIMENTO  
ASFÁLTICO À FRIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil,  
Área de Concentração em Construção Civil, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**Aprovado em 30 de julho de 2018:**



---

**Deividi da Silveira Pereira, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)



---

**Christine Tessele Nodari, Dra. (UFRGS)**



---

**Luciano Pivoto Spech, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, pelo apoio em todas as etapas de minha vida. Aos meus pais que me proporcionaram a melhor educação dentro de suas possibilidades e, mesmo não estando mais aqui participando da jornada, comemoram minhas conquistas. A minha irmã, Gabriela, por estar sempre presente ao meu lado independentemente da situação. As minhas avós por sempre torcerem muito e rezarem por mim.

A minha namorada, Giovanna, melhor amiga e companheira. Que além de apoio, teve paciência nos momentos críticos da jornada. Seu incentivo foi fundamental.

Ao professor Deividi Pereira, pela orientação, motivação e paciência. Mas, principalmente, por acreditar em mim e em meu trabalho. Obrigado por entender determinados momentos e ter sempre a palavra certa para cada um deles, não só em relação a esta pesquisa, mas também nas conversas e a amizade transmitida em todas as ocasiões.

Aos demais professores do GEPPASV pelas vezes que me deram auxílio sobre a pesquisa ou me motivaram na realização deste trabalho.

Aos meus amigos de GEPPASV, Lucas Bueno, Fernando Boeira, Eduardo Druzian, Cléber Faccin, Valdir Barboza, Gustavo Pinheiro, Pablo Vestena, Guilherme Ceretta e demais colegas de grupo que me auxiliaram de alguma forma.

A empresa Cotrel – Terraplanagem e Pavimentações Eireli, que disponibilizou equipamento e equipe de pintura de sinalização rodoviária para que algumas etapas deste trabalho fossem cumpridas.

Ao gerente de operações do Rio Grande do Sul da empresa RUMO logística, Jorge Alves, pelo apoio e suporte a mim concedido para que fosse possível o desenvolvimento final do trabalho.

Ao 2º Batalhão Rodoviário da Brigada Militar de Santa Maria pela disponibilidade a auxílio sempre que possível.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma colaboraram para a finalização deste trabalho ou simplesmente torceram por mim.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

# AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA RETORREFLETIVIDADE EM RODOVIA COM MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO À FRIO

AUTORIA: Eduardo Martins Renz  
ORIENTADOR: Deividi da Silva Pereira

Mais de um milhão de pessoas perdem a vida anualmente ao redor do mundo em decorrência de acidentes de trânsito. No Brasil, essa epidemia custa aos cofres públicos 56 bilhões anuais. Mais da metade dos acidentes fatais no Rio Grande do Sul ocorrem em períodos da noite ou madrugada, porém, menos de um terço dos deslocamentos ocorrem nestes horários. Considerando tais afirmativas, os dispositivos de segurança viária atuantes em períodos com ausência da luz solar devem ser efetivos, a fim de proporcionar segurança aos usuários das rodovias. Os principais dispositivos atuantes nestes períodos são as demarcações viárias e placas retrorrefletivas. Com isso, o objetivo desta pesquisa é realizar o acompanhamento dos índices retrorrefletivos das demarcações viárias aplicadas sobre um trecho da BR-287, localizado na cidade de Santa Maria – RS. A superfície do pavimento é dotada de MRAF. O trabalho consistiu no acompanhamento de retrorrefletividade e textura superficial do trecho durante dois anos. Os resultados expuseram que essas demarcações aplicadas sobre este tipo de revestimento tende a apresentar valores de retrorrefletividade inferiores aos demais, porém, com a mesma taxa de degradação, 0,01% ao dia. Os valores de retrorrefletividade tendem a cair mais rapidamente nos primeiros dias de vida, apresentando um pico próximo dos 30 dias e, após isso, voltam a cair de forma suave até apresentarem uma assíntota horizontal. Não foi constatada influencia da precipitação nos valores de retrorrefletividade nesta pesquisa, já que no trecho de estudo havia pouca solicitação das linhas frente ao atrito com os pneus de veículos. O sentido de medição não interfere nos resultados de retrorrefletividade em locais onde a velocidade de pintura foi baixa. As demarcações brancas apresentam, em média, valores 30% maiores de retrorrefletividade frente às demarcações amarelas. As demarcações apresentaram valores de retrorrefletividade 50% menores quando medidas com equipamento de geometria igual a 30m quando comparados aos valores medidos com geometria de 15m. Quando úmidas, as demarcações perdem cerca de 80% de sua capacidade retrorrefletiva. A limpeza periódica das demarcações se mostrou benéfica para os índices de retrorrefletividade. Foi evidenciado que a macrotextura do pavimento está ligada de forma direta com a retrorrefletividade das demarcações, classes mais fechadas apresentam maiores valores de retrorrefletividade. A microtextura das demarcações também apresentou influência sobre as propriedades retrorrefletivas. Além disso, o estudo determinou como taxa ótima de aplicação de microesferas de vidro 325g/m<sup>2</sup> pintado, diferente do que consta hoje no SICRO 250g/m<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Retrorrefletividade. Demarcações viárias. Macrotextura. Microtextura.

## ABSTRACT

### PERFORMANCE EVALUATION OF PAVEMENT MARKINGS RETROREFLECTIVITY IN HIGHWAY WITH MICRO SURFACING

AUTHOR: Eduardo Martins Renz

ADVISOR: Deividi da Silva Pereira

More than one million people are killed annually around the world as a result of traffic accidents. In Brazil, this epidemic costs the public coffers 56 billion a year. More than half of the fatal accidents in Rio Grande do Sul occur in night or dawn periods, but less than a third of the displacements occur at these times. Considering these affirmatives, road safety devices operating in periods with no sunlight should be effective in order to provide safety to road users. The main devices acting in these periods are road demarcations and retroreflective signs. Therefore, the objective of this research is to follow the retroreflective indices of the road demarcations applied on a section of BR-287, located in the city of Santa Maria - RS. The surface of the pavement is equipped with MRAF. The work consisted in the monitoring of retroreflectivity and surface texture of the stretch during two years. The results showed that these demarcations applied on this type of surface tend to have lower retroreflectivity values than the others, but with the same degradation rate, 0.01% per day. The retroreflectivity values tend to fall more rapidly in the first days of life, presenting a peak near the 30 days and, after that, fall again smoothly until they present a horizontal asymptote. No influence of the precipitation on the retroreflectivity values was found in this study, since in the study section there was little request of the lines in front of the friction with the vehicle tires. The measurement direction does not interfere in the results of retroreflectivity in places where the paint speed was low. The white demarcations present, on average, 30% higher retroreflectivity values compared to the yellow demarcations. The demarcations showed 50% lower retroreflectivity values when measured with geometry equipment equal to 30m when compared to values measured with 15m geometry. When wet, demarcations lose about 80% of their retroreflective capacity. The periodic cleaning of the demarcations was beneficial for the retroreflectivity indices. It was evidenced that the macrotexture of the pavement is directly connected with the retroreflectivity of the demarcations, flatter classes have higher retroreflectivity values. The microtexture of the demarcations also had an influence on the retroreflective properties. In addition, the study determined the optimal rate of application of glass microspheres 325g / m<sup>2</sup> painted, different from what is today in SICRO 250g / m<sup>2</sup>.

Key-words: Pavement Markings. Retroreflectivity. Macrotexture. Traffic Safety. Microtexture.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exetmplo de rodovia dotada de sinalização horizontal (linhas de eixo e de bordo).....	20
Figura 2 - Linha de eixo esquerda sem material retrorrefletivo e direita com material retrorrefletivo.....	22
Figura 3 - Fenômenos óticos ocorrendo em demarcações sem e com microesferas de vidro respectivamente.....	24
Figura 4 - Aspersor de aplicação de demarcações em estilo premix.....	27
Figura 5 - Aspersores de aplicação de demarcação em estilo drop-on.....	27
Figura 6 - Ancoragem das microesferas (esquerda para direita) simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90% de seu diâmetro.....	28
Figura 7 - Geometria para retrorrefletômetro de 15m.....	29
Figura 8 - Geometria para retrorrefletômetro de 30m.....	30
Figura 9 – Queda da microesfera de vidro com e sem velocidade horizontal (condição ideal).....	32
Figura 10 - Fluxograma do acompanhamento de trecho monitorado.....	59
Figura 11 – Fluxograma das modelagem e análise das placas 3D.....	60
Figura 12 - Cidade de Santa Maria no mapa do Rio Grande do Sul.....	61
Figura 13 - Trecho da BR-287 onde se localiza o segmento de estudo.....	61
Figura 14 - Segmento de estudo.....	62
Figura 15 - Equipe de pintura realizando demarcação no segmento escolhido.....	62
Figura 16 - Alocação das estações de medição.....	63
Figura 17 - Pontos de análise demarcados na via.....	63
Figura 18 - Diagrama de nomenclatura dos pontos.....	64
Figura 19 - Exemplo de nomenclatura inserida na estação de medição número 1.....	64
Figura 20 - Pontos com acompanhamento da macrotextura desde a pintura (em preto).....	67
Figura 21 – Levantamento de mancha de areia realizado sobre a sinalização.....	67
Figura 22 - Levantamento de Pêndulo Britânico sendo realizado sobre as demarcações.....	69
Figura 23 - a. Retrorrefletômetro b. Monitor do equipamento.....	70
Figura 24 - Posicionamento do retrorrefletômetro segundo NBR 14723.....	72

Figura 25 - Posicionamento do retrorrefletômetro quando medido no sentido oposto.	73
Figura 26 - Retrorrefletividade pré e após limpeza.....	75
Figura 27 - Pontos eleitos para receber limpeza em preto. ....	75
Figura 28 - Ficha para contagem de tráfego.....	77
Figura 29 - Localização da estação pluviométrica. ....	78
Figura 30 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura fechada. ....	79
Figura 31 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura média.....	79
Figura 32 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura muito aberta.....	80
Figura 33 - Equipamento sendo testado antes da pintura das placas. ....	81
Figura 34 - Exemplo de amostras após realização da pintura. ....	82
Figura 35 - Escova utilizada para escovação das amostras. ....	83
Figura 36 - Retrorrefletividade média por cor da demarcação ao longo do tempo – Bordo e eixo – Geometria de 15 e 30m. ....	85
Figura 37 - Retrorrefletividade média por cor da demarcação ao longo do tempo – Bordo e eixo – Geometria de 15 e 30m (escala log).....	86
Figura 38 - Retrorrefletividade média – Bordos – Geometria de 15 e 30m.....	89
Figura 39 - Retrorrefletividade média – Eixos – Geometria de 15 e 30m. ....	90
Figura 40 - Modelos de retrorrefletividade em função da idade das demarcações sem manutenção – Bordos e eixos – Geometria de 15 e 30m. ....	91
Figura 41 - Modelos de retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) vs tempo (dias) – Cor branca – Geometria de 15m.....	92
Figura 42 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais - Bordos - Geometria de 15m.....	95
Figura 43 - Retrorrefletividade média com valores mínimos internacionais - Bordos - Geometria de 30m.....	96
Figura 44 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais - Eixos - Geometria de 15m.....	98
Figura 45 - Retrorrefletividade média com valores mínimos internacionais - Eixos - Geometria de 30m.....	99
Figura 46 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais e internacionais - Bordos - Geometria de 15m.....	101

Figura 47 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais e internacionais - Eixos - Geometria de 15m.....	102
Figura 48 - Diferença de valores de retrorrefletividade com geometrias diferentes – Eixos – Geometria de 15 e 30m.....	107
Figura 49 - Diferença de valores de retrorrefletividade com geometrias diferentes – Bordos – Geometria de 15 e 30m. ....	108
Figura 50 - Diferença de valores de retrorrefletividade com geometrias diferentes – Bordos e eixos – Geometria de 15 e 30m.....	109
Figura 51 - Altura média de areia dos pontos (mm) x Tempo (dias).....	113
Figura 52 - Retrorrefletividade média para diferentes classes de macrotextura – Bordos – Geometria de 15m. ....	116
Figura 53 - Retrorrefletividade média para diferentes classes de macrotextura – Eixos – Geometria de 15m. ....	118
Figura 54 – Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) x Tempo (dias) para diferentes macrotexturas – Eixos – Geometria de 15m.....	119
Figura 55 - HS (mm) x Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) - 17/09/2016 (150 dias) – Eixos - Geometria de 15m. ....	120
Figura 56 - HS (mm) x Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) - 17/09/2016 – Bordos - Geometria de 15m. ....	121
Figura 57 - Médias de HS (mm) e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) – 150 dias após pintura - Eixos - Geometria de 15m. ....	122
Figura 58 - Médias de HS (mm) e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) - 150 dias após pintura - Bordos - Geometria de 15m.....	122
Figura 59 – HS (mm) antes e depois da limpeza – Eixos – Geometria de 15m. ....	125
Figura 60 - HS (mm) antes e depois da limpeza – Bordos – Geometria de 15m. ....	126
Figura 61 - Médias de HS (mm) e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) – 241 dias após pintura (demarções limpas) - Eixos - Geometria de 15m. ....	127
Figura 62 - Médias de HS (mm) e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) – 241 dias após pintura (demarções limpas) - Bordos - Geometria de 15m.....	127
Figura 63 - Retrorrefletividade inicial (RI) das placas 3D pintadas – Cor amarela - Geometria de 15m. ....	130
Figura 64 – Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura fechada – Cor amarela - Geometria de 15m. ....	132

Figura 65 - Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura média – Cor amarela - Geometria de 15m. ....	133
Figura 66 - Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura muito aberta – Cor amarela - Geometria de 15m.....	133
Figura 67 - Curvas de retrorrefletividade inicial para diferentes taxas de aplicação de microesferas – Cor amarela - Geometria de 15m. ....	134
Figura 68 - Retrorrefletividade residual (RI) das placas 3D pintadas – Cor amarela - Geometria de 15m.....	136
Figura 69 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura fechada – Cor amarela - Geometria de 15m.....	137
Figura 70 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura média – Cor amarela - Geometria de 15m.....	137
Figura 71 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura muito aberta – Cor amarela - Geometria de 15m.....	138
Figura 72 - Curvas de retrorrefletividade residual (após escovação) para diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro – Cor amarela - Geometria de 15m.....	138
Figura 73 – Valor de Resistência a Derrapagem médio das demarcações – Bordos e eixos.....	142
Figura 74 – Valores médios de VRD e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) – 150 dias após pintura - Eixos - Geometria de 15m.....	143
Figura 75 - Valores médios de VRD e Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) – 150 dias após pintura - Bordos - Geometria de 15m. ....	144
Figura 76 – Valores de Resistência a Derrapagem antes e após limpeza – Eixos. ....	145
Figura 77 - Valores de Resistência a Derrapagem antes e após limpeza – Bordos....	146
Figura 78 - Variação na retrorrefletividade medida nos dois sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 15m.....	151
Figura 79 - Variação na retrorrefletividade medida nos dois sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 30m.....	152

Figura 80 - Retrorrefletividade média (mcd/m <sup>2</sup> /lux) nas demarcações em ambos os sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 15m .....	153
Figura 81 - Retrorrefletividade média (mcd/m <sup>2</sup> /lux) nas demarcações em ambos os sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 30m .....	153
Figura 82 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) média das demarcações quando secas e úmidas – Bordos - Geometria de 30m. ....	159
Figura 83 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) média das demarcações quando secas e úmidas – Eixos - Geometria de 30m. ....	159
Figura 84 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) da estação 4 antes e após limpeza – Bordos -Geometria de 15m. ....	162
Figura 85 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) da estação 4 antes e após limpeza – Eixos -Geometria de 15m. ....	162
Figura 86 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) por classe de macrotextura antes e após limpeza - Bordos - Geometria de 15m. ....	165
Figura 87 - Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux) por classe de macrotextura antes e após limpeza - Eixos - Geometria de 15m. ....	165
Figura 88 - Modelos de desempenho da retrorrefletividade com e sem manutenção – Bordos e eixos - Geometria de 15m. ....	167

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa granulométrica das esferas e microesferas de vidro.....	25
Tabela 2 - Índice de Retrorefletividade mínimo para rodovias do Rio Grande do Sul – Geometria de 15m.....	35
Tabela 3 - Classe de retrorefletividade para demarcações secas – Geometria de 30m.....	36
Tabela 4 - Classe de Retrorefletividade de demarcações quando úmidas – Geometria de 30m.....	36
Tabela 5 - Classe de Retrorefletividade de demarcações durante chuva – Geometria de 30m.....	37
Tabela 6 - Valores mínimos de retrorefletividade em mcd/m <sup>2</sup> /lux.....	39
Tabela 7 - Resumo dos parâmetros mínimos de retrorefletividade.....	40
Tabela 8 - Coeficientes do modelo de Bahar et al. (2006).....	48
Tabela 9 - Cronograma de avaliações seguido pela pesquisa.....	65
Tabela 10 - Classes de macrotextura.....	68
Tabela 11 – Idade da demarcação ao reeber campanha de levantamentos de retrorefletividade.....	71
Tabela 12 - Distribuição de taxas de aplicação e macrotextura.....	82
Tabela 13 - Retrorefletividade média em cada levantamento.....	84
Tabela 14 - Mínimos nacionais e internacionais para geometria de 15m e tempo de serviço previsto pelo modelo.....	100
Tabela 15 - Diferença média na retrorefletividade entre cores.....	105
Tabela 16 - Altura Média de Areia (HS) e Classes de macrotextura (Cl) dos pontos avaliados.....	111
Tabela 17 – Retrorefletividade média dos bordos para cada classe de macrotextura.....	114
Tabela 18 - Médias de retrorefletividade dos eixos para cada classe de macrotextura.....	117
Tabela 19 - Retrorefletividade média dos eixos por classe de macrotextura.....	119
Tabela 20 – Tendência de comportamento da retrorefletividade com diminuição do HS – geometrias de 15m.....	123
Tabela 21 - Resultados de HS e Retrorefletividade antes e depois da limpeza dos pontos.....	123

Tabela 22 - Retrorrefletividade das amostras com geometria de 15m. ....	129
Tabela 23 - Valor gasto em microesferas de vidro para aplicação em um quilômetro de rodovia com diferentes taxas de aplicação. ....	132
Tabela 24 - Retrorrefletividade das amostras com geometria de 30m. ....	135
Tabela 25 – Valor de Resistência à Derrapagem dos pontos avaliados.....	140
Tabela 26 - Tendência de comportamento da retrorrefletividade com diminuição do VRD – geometria de 15m. ....	144
Tabela 27 - Valor de F60 dos pontos avaliados. ....	147
Tabela 28 - Tendência de comportamento da retrorrefletividade com diminuição do F60 – geometrias de 15m e 30m. ....	149
Tabela 29 – Diferença de retrorrefletividade média entre as medições em sentidos opostos. ....	154
Tabela 30 - Retrorrefletividade média dos eixos com as demarcações secas e úmidas. ....	155
Tabela 31 - Retrorrefletividade média dos bordos com as demarcações secas e úmidas. ....	156
Tabela 32 - Retrorrefletividade média dos eixos com as demarcações secas e úmidas por classe de macrotextura. ....	157
Tabela 33 - Retrorrefletividade média dos bordos com as demarcações secas e úmidas por classe de macrotextura. ....	157
Tabela 34 - Retrorrefletividade média dos pontos da estação 4 antes e após limpeza – Geometria de 15m. ....	161
Tabela 35 - Retrorrefletividade média dos pontos da estação 4 antes e após limpeza – Geometria de 30m. ....	163
Tabela 36 - Retrorrefletividade média dos PE antes e após limpeza por classe de macrotextura – Geometria de 15m ....	164

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

°C	Graus Célsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGERGRS	Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul
ASTM	American Society for Testing and Materials
BR	Brasil
cd	Candelas
CIE	International Commission for Illumination
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CREMA	Contrato de Restauração e Manutenção de Rodovias
CTP	Número acumulado de passagem de tráfego
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DAER	Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER-MG	Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais
DETRAN	Departamento Nacional de Trânsito do Rio Grande do Sul
DFT	British Department for Transport
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EN	England
FHWA	Federal Highway Administration
g	gramas
h	horas
IFI	International Friction Index
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQS	Índice de Qualidade da Sinalização
IRI	Índice de Irregularidade Longitudinal
km	quilômetros
l	litros
lx	lux
m	metros
mcd	milicandelas



MDOT	Michigan Department of Transportation
Mm	milímetros
MnDOT	Minnesota Department of Transportation
MRAF	Micro Revestimento Asfáltico a Frio
MSU	Michigan State University
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices
NCDOT	North Carolina Department of Transportation
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NCSU	North Carolina State University
ONSV	Observatório Nacional de Segurança Viária
PER	Projeto de Exploração Rodoviária
PIARC	The World Road Association
PRC	Potters Research Center
pol.	Polegadas
RA	Coefficiente de retroreflexão
RI	Coefficiente de intensidade luminosa
RL	Coefficiente de luminância retrorefletida
RS	Rio Grande do Sul
SCDOT	South Carolina Department of Transportation
TxDOT	Texas Department of Transportation
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VDOT	Virginia Department of Transportation
VDM	Volume Diário Médio
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
	OBJETIVO GERAL .....	15
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	SINALIZAÇÃO VIÁRIA .....	17
2.1.1	Sinalização Viária Horizontal .....	18
2.2	RETORREFLETIVIDADE NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL .....	22
2.2.1	Unidades de retrorrefletividade .....	23
2.2.2	Esferas e Microesferas de Vidro .....	23
2.2.3	Equipamento e Geometrias de Avaliação da Retrorrefletividade .....	29
2.2.4	Fatores Intervenientes na Retrorrefletividade .....	30
2.2.5	Parâmetros Normativos e Mínimos Aceitáveis .....	33
2.2.6	Estudos anteriores de previsão do comportamento da retrorrefletividade .....	41
2.3	MACROTEXTURA DO PAVIMENTO NA RETORREFLETIVIDADE .....	56
2.4	MICROTEXTURA DO PAVIMENTO NA RETORREFLETIVIDADE.....	57
2.5	IFI – INTERNATIONAL FRICTION INDEX NA RETORREFLETIVIDADE.....	57
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>59</b>
3.1	PLANEJAMENTO DA PESQUISA .....	59
3.2	CENÁRIO DE PESQUISA.....	60
3.3	AVALIAÇÃO DE MACROTEXTURA .....	66
3.4	AVALIAÇÃO DE MICROTEXTURA .....	69
3.5	AVALIAÇÃO DE RETORREFLETIVIDADE.....	69
3.5.1	Equipamento Utilizado.....	69
3.5.2	Levantamentos .....	70
3.6	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO .....	76
3.6.1	Volume Diário Médio .....	76
3.7	DETERMINAÇÃO DA CHUVA ACUMULADA.....	77
3.8	PINTURA DE CHAPAS 3D COM DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO .....	78
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
4.1	LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES SECAS NO SENTIDO DA PINTURA 84	
4.1.1	Retrorrefletividade Média ao Longo do Tempo.....	84
4.1.2	Taxa de Degradação da Retrorrefletividade ao Longo do Tempo .....	103
4.1.3	Retrorrefletividade em Cores Distintas .....	104
4.1.4	Transformação Entre Geometrias.....	107

4.2	RETROREFLETIVIDADE E MACROTEXTURA .....	111
4.3	COMPORTAMENTO DA RETROREFLETIVIDADE EM PLACAS 3D COM DISTINTAS MACROTEXTURAS .....	129
4.4	RETROREFLETIVIDADE E MICROTEXTURA .....	140
4.5	RETROREFLETIVIDADE E IFI – INTERNATIONAL FRICTION INDEX.....	147
4.6	RETROREFLETIVIDADE EM SENTIDO OPOSTO AO DE PINTURA .....	150
4.7	LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES ÚMIDAS .....	155
4.8	LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES APÓS LIMPEZA .....	161
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>169</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	169
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>173</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN –RS, 2018), 1.741 pessoas perderam a vida em acidentes de trânsito no estado durante o ano de 2017. Mesmo com os números diminuindo frente a anos anteriores, como 2014, em que 2.026 pessoas acabaram falecendo em acidentes rodoviários, os valores continuam estarrecedores. Grande parte da diminuição se dá graças ao trabalho eficaz realizado pelo projeto da “Lei Seca” no estado.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016):

- Cerca de 1,25 milhão de pessoas, ao redor do mundo, morrem por ano em decorrência de acidentes de trânsito;
- Acidentes de trânsito são a principal causa de morte de jovens com idades entre 15 e 29 anos;
- 90% das mortes em estradas ocorrem em países de baixa e média renda, mesmo que estes países tenham apenas metade dos veículos do mundo;

O Brasil registra, em torno de, 47 mil mortes no trânsito por ano, além de 400 mil pessoas que ficam com algum tipo de seqüela após sofrerem acidentes. O custo dessa epidemia ao país é de R\$ 56 bilhões, segundo levantamento do Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV, 2017). Com esse montante, seria possível a construção de 28 mil escolas ou 1,8 mil hospitais.

O DETRAN-RS (2017) constatou em seu diagnóstico de acidentes no trânsito que mais da metade dos acidentes fatais ocorrem nos períodos da noite e da madrugada, sendo que menos de um terço dos deslocamentos acontecem em tais horários. Essa maior ocorrência de acidentes fatais se dá pelo aumento da imprudência, visto que as vias estão com tráfego reduzido, e também porque, em muitos casos, os motoristas não estão em condições de dirigir (alcooolizados ou sonolentos), além das falhas na sinalização viária.

No período noturno o campo de visão do motorista se comporta de maneira diferente do período diurno. De acordo com Lee e Donnell (2007), muitas vezes, durante a noite, o único meio de visibilidade do condutor são os faróis do veículo e as demarcações horizontais. Sendo assim, é crucial que o conjunto de sinalização viárias horizontal seja constituído de materiais capazes de guiar o veículo com segurança na via, sobretudo à noite.

Zhang et al. (2010) explica que, durante a luz do dia, o motorista consegue discernir as demarcações viárias simplesmente pelo contraste entre suas cores e a superfície do pavimento. Entretanto, a visibilidade noturna é uma função do contraste luminoso entre as demarcações da

estrada e a superfície do pavimento, que é geralmente determinada pela retrorrefletividade da marcação. A *Federal Highway Administration* (FHWA, 2009), em seu Manual “*Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD, 2009)” define retrorrefletividade como a propriedade de uma superfície que permite que grande parte da luz vinda de uma fonte seja direcionada de volta para este mesmo ponto emissor ou ponto próximo a ele. No caso de um veículo sobre a via, refere-se à quantidade de luz emitida pelos faróis que é refletida pelas demarcações de volta aos olhos do condutor.

Zhang et al. (2010) ainda diz que a luz refletida dá ao motorista a condição de perceber informações das demarcações e, assim, proporcionar uma dirigibilidade segura durante o período noturno. Tal propriedade só é atingida através do uso de materiais retrorrefletivos aplicados junto às tintas de demarcação. Na sinalização horizontal o material em questão são as microesferas de vidro.

Várias pesquisas já tentaram correlacionar a segurança viária durante períodos noturnos com os valores de retrorrefletividade das demarcações. Hoberry et al. (2006) constataram que quando motoristas são expostos, durante à noite, à pista molhada, com demarcações de alta qualidade retrorrefletiva, os mesmos apresentam uma dirigibilidade mais adequada, isto é, conseguirão manter-se na via, em velocidade constante, mais facilmente.

Donnell et al. (2009) e Smadi et al. (2008) não conseguiram traçar um paralelo entre a retrorrefletividade e o número de acidentes em período noturno. Dravitzki et al. (2006), em pesquisa realizada na Nova Zelândia, também não encontraram relação no aumento da segurança em rodovias com demarcações de elevada retrorrefletividade. Bahar et al. (2006) teve como resultado em um estudo do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP, p. 170) a seguinte afirmativa: “...a diferença na segurança entre demarcações novas e demarcações antigas durante períodos sem luz do dia e em locais sem intersecções é aproximadamente zero”. Porém os dados utilizados são de locais onde a política de manutenção é muito mais rigorosa daquela aplicada no Brasil, chegando a localidades onde a demarcação recebe até três repinturas por ano.

Em estudo mais recente, Carlson et al. (2013), discordando dos citados anteriormente, demonstraram claramente que o aumento da retrorrefletividade das demarcações, tanto do bordo quando do eixo, traz segurança aos condutores durante períodos sem incidência da luz do dia.

A vida útil das demarcações é medida através do valor de retrorrefletividade residual. Vários trabalhos mostraram que esse valor tende a cair no decorrer do tempo. Salles et al. (2015) evidenciaram que a curva retrorrefletividade versus tempo cai de maneira suave, com pequenos

picos em épocas de chuva, uma vez que as demarcações acabam sendo limpas nesses períodos, até que atinjam um valor constante muito abaixo do considerado ideal.

Uma pesquisa recente, realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), mostrou que a sinalização da malha rodoviária brasileira tem menos de 50% de sua extensão classificada como boa ou ótima, o que negligencia a capacidade de retrorrefletir a luz proveniente dos faróis durante o período noturno.

Múltiplos estudos tentam prever o comportamento da curva de retrorrefletividade dos materiais de demarcação através de modelos matemáticos, porém diversos fatores influenciam no comportamento desta curva. Dale (1998) afirma que o tempo de serviço das demarcações está ligado ao tipo de pavimento, volume de tráfego, e quantidade de neve por ano e se os materiais foram aplicados de maneira correta em superfícies preparadas. Alguns autores adicionaram outros itens a essa lista, como Rich et al. (2002), que citam a densidade de microesferas de vidro como uma variável importante para a modelagem da curva de tempo de serviço das demarcações.

O presente estudo pretende avaliar o desempenho da retrorrefletividade em um segmento experimental dotado de micro revestimento asfáltico (MRAF). Esse tipo de superfície tende a apresentar classes de macrotextura mais abertas em relação aos demais tipos de revestimento.

O trecho escolhido é pertencente à rodovia BR-287, localizado na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O segmento possui pista simples e faixa dupla continua de pintura, com velocidade máxima de 60 km/h. Composto por duas faixas de rodagem, que receberam a aplicação de microrrevestimento e têm pontos de macrotextura e microtextura distintos, porém, tiveram a pintura das demarcações horizontais na mesma data, tornando-se, assim, candidatas ao estudo, já que muitas variáveis teriam valores compartilhados por se tratar do mesmo trecho na mesma rodovia.

## OBJETIVO GERAL

Constitui-se o objetivo geral desta pesquisa analisar o comportamento da retrorrefletividade da pintura de demarcação viária de um trecho dotado de MRAF, cuja macrotextura tende a ser aberta.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Analisar o comportamento da retrorrefletividade do trecho escolhido em função de variáveis já conhecidas como influentes na vida de serviço das demarcações, como tempo, volume diário médio acumulado de veículos e chuva acumulada;
- b) Realizar ensaios na mesma data em pontos pré e após limpeza para determinação do comportamento da retrorrefletividade e analisar o comportamento destes ao longo do tempo;
- c) Observar o comportamento da retrorrefletividade das demarcações quando a superfície do pavimento estiver úmida;
- d) Monitorar a macrotextura e microtextura de pontos específicos onde as leituras de retrorrefletividade estão sendo realizadas e, com isso, avaliar se diferentes texturas de pavimento podem interferir no comportamento da retrorrefletividade;
- e) Realizar leituras de retrorrefletividade em determinados pontos, variando a posição do equipamento de medição para determinar se os resultados serão afetados;
- f) Observar uma relação entre as geometrias do equipamento utilizado durante a pesquisa e determinar a vida de serviço da sinalização horizontal tanto para valores nacionais e internacionais de referência;
- g) Desenvolver modelos de desempenho da retrorrefletividade em MRAF e correlacioná-los com modelos existentes sobre concreto asfáltico;
- h) Avaliar se a retrorrefletividade será afetada positivamente pela ação de precipitação pluviométrica em condição de ausência de confinamento (sem meio fio junto da faixa de rodagem);
- i) Desenvolver curvas de taxa de aplicação ótima de microesferas de vidro para diferentes macrotexturas de superfícies;

O trabalho está dividido em introdução e objetivos, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusão. A primeira parte traz uma breve visão do assunto e inserção do tema específico na atualidade, além do que objetiva a pesquisa. A revisão bibliográfica apresenta estudos consagrados na área, que trazem premissas utilizadas neste trabalho. Ainda, as normas nacionais e internacionais são revisitadas. Na metodologia, explica-se exatamente como cada procedimento deste estudo foi realizado, além de trazer quais características cada procedimento esperou avaliar. Nos resultados, os valores medidos durante a pesquisa são apresentados e correlacionados com a literatura existente. As conclusões são os resultados apresentados de forma mais específica e pontual, revelando novos arremates que corroboram ou não com a literatura consultada.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SINALIZAÇÃO VIÁRIA

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 1997) conceitua sinalização como um conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança alocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando, assim, maior fluidez no tráfego e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam.

A sinalização rodoviária tem papel fundamental na segurança e orientação dos usuários das vias e se torna cada vez mais essencial à medida que a velocidade operacional e o volume de tráfego crescem. A finalidade dos sinais de trânsito (sinalização vertical, sinalização horizontal, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica, sinalização de obras e sinalização de gestos) é comunicar aos usuários das rodovias normas, instruções e informações que visem a circulação correta e segura (DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010).

O objetivo básico da sinalização viária é fazer com que os usuários atinjam seus destinos com segurança e ordem. Para isso, regulamenta os deveres dos motoristas e pedestres impondo limitações e proibições, a fim de advertir sobre condições de perigo, informar o posicionamento do automóvel e direções a serem tomadas (CASTILHO, 2009).

Segundo o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER, 1999, p. 1), “a sinalização deve conquistar a atenção e a confiança do usuário, permitindo-lhe, ainda, um tempo de reação adequado” tal afirmativa salienta que a atenção depende de uma série de fatores relacionados ao ambiente em torno da ação, como a velocidade máxima permitida no trecho, uso do solo na lateral da via, a distribuição da frota e seu volume e a dificuldade do percurso em função das características próprias da via. Na mesma publicação, encontra-se uma lista de necessidades de cada etapa para uma sinalização eficiente, são elas:

- Projeto: definição de projetos específicos de sinalização, padronizados com forma, cor, dimensão e localização dos dispositivos;
- Implantação: deve ser posicionada conforme padrões estabelecidos para cada dispositivo levando em consideração possíveis mudanças decorrentes do local de aplicação;
- Operação: a sinalização deve ter seu desempenho constantemente avaliado e se necessário, ajustado sempre que não atender os parâmetros mínimos;

- Manutenção: deve ser conduzida uma manutenção criteriosa e permanente de forma a manter a confiança do usuário;
- Materiais: precisam estar de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e/ou outros órgãos competentes, placas, estruturas de sustentação, tintas, películas e dispositivos auxiliares (tachas e elementos refletivos).

Para Fontana (2005), os sinais de trânsito constituem um dos componentes mais importantes de toda a estrutura viária, visto que os mesmos são responsáveis por orientar os usuários de como utilizar de maneira adequada as vias públicas. Sendo assim, a sinalização é essencial para a eficiência e segurança do trânsito.

Castilho (2009) assume que se deve ter como princípio básico na concepção e implantação da sinalização de trânsito as condições de percepção dos usuários da via, garantindo assim a real eficácia dos sinais. Para tanto, os sinais de trânsito devem possuir:

- Legalidade: estar de acordo com o CTB e a legislação complementar;
- Suficiência: fácil percepção do que realmente é importante, tendo somente a quantidade de sinalização necessária;
- Padronização: seguir um padrão estabelecido, sendo que situações iguais devem ser tratadas com os mesmos critérios;
- Clareza: mensagens objetivas de fácil compreensão;
- Precisão e Confiabilidade: corresponder à situação existente, ter credibilidade;
- Conspicuidade: conseguir chamar a atenção no ambiente em que está inserida;
- Visibilidade de Legibilidade: estar no campo de visão em posição adequada e ser lida em tempo hábil para a tomada de decisão;
- Manutenção e Conservação: estar permanentemente limpa, conservada, fixa e livre de interferência para ser visível.

De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2004), além da sinalização horizontal, compõem a sinalização viária a sinalização vertical e a sinalização semafórica.

### **2.1.1 Sinalização Viária Horizontal**

O DNIT (2010), define sinalização horizontal como o conjunto de marcas, legendas e símbolos que são aplicados sobre o pavimento. Esse modelo de sinalização é utilizado para

ordenar e canalizar o sentido do fluxo de veículos, orientar o curso de pedestres, orientar os possíveis deslocamentos de veículos em função das condições da via (como geometria, topografia e obstáculos) e complementar a sinalização vertical.

O Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2007), traz que a sinalização horizontal tem por finalidade transmitir e orientar aos usuários sobre as condições de utilização adequada da via, compreendendo as proibições, restrições e informações que lhes permitam adotar comportamento adequado, de forma a aumentar a segurança e ordenar os fluxos de tráfego.

Por serem compostas de mensagens expressas, na maioria dos casos, através de desenhos e cores, isto é, sinais não verbais, as demarcações horizontais são rapidamente compreendidas e aceitas pelo usuário da via. Quando em situações de má iluminação e condições climáticas desfavoráveis, a sinalização horizontal mostra-se uma essencial parte da segurança de motoristas e pedestres no uso da via, haja visto que ela acaba se tornando o único meio de direção do condutor (EUROPEAN CO-COPERATION IN THE FIELD OF SCIENCE AND TECHNICAL RESEARCH, 1999).

Por estar no centro do campo visual do condutor, este não precisa desviar a atenção para ver e interpretar a mensagem. Outra vantagem desse tipo de sinalização é que, em comparação com a sinalização vertical, ela recebe uma quantidade de luz muito maior oriunda dos faróis dos veículos, tornando-se a mais visível e legível no período noturno. Porém, a sinalização horizontal apresenta menor durabilidade, principalmente quando submetida ao tráfego intenso (Lee e Donnel, 2007).

Robertson (2011) define esse tipo de marcação no pavimento como parte vital para que seja assegurada a segurança no sistema de transportes rodoviário. Cita, ainda, que essas marcas são utilizadas para delinear os limites das faixas de rodagem e as bordas do pavimento, auxiliando os motoristas a perceberem e facilmente distinguirem por onde eles devem trafegar. Algumas características das demarcações, como cor e formato, ajudam os usuários a determinar direções de deslocamento, zonas de ultrapassagem e divisão de fluxo de tráfego. A maioria das demarcações em pavimentos são retrorrefletivas, uma característica que aumenta a visibilidade delas em períodos noturnos. A Figura 1 apresenta um exemplo de rodovia dotada de sinalização horizontal.

Figura 1 - Exetmplo de rodovia dotada de sinalização horizontal (linhas de eixo e de bordo).



Fonte: autor.

As demarcações viárias, segundo Hacker (1995), podem ser de três grandes tipos de materiais: tintas, termoplásticos e elastoplásticos. Migletz e Graham (2002), afirmam que os materiais usualmente utilizados são: tintas à base de solvente, tintas à base de água, epóxi, poliéster e termoplásticos. Além destes, os autores, durante a pesquisa realizada nos Estados Unidos (EUA) e Canadá, encontraram dezesseis tipos de materiais utilizados para pinturas viárias. Ficou evidenciado para os autores que os materiais mais comumente utilizados eram a tinta à base de água e termoplásticos, representando 60% e 22,7% respectivamente da extensão total demarcada.

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG, 2006), os materiais utilizados no Brasil são as tintas, tanto à base de solventes como de água, termoplásticos e elastoplásticos. Sendo que o material com uso mais difundido no país, com larga vantagem, é a tinta à base de água.

Zhang (2009) explica que a tinta é o material mais antigo e amplamente utilizado para a demarcação de vias. É geralmente composta de pigmentos finamente moídos que são misturados em um sistema de resina ou ligante. Vários ingredientes e aditivos são incorporados para atingir propriedades desejadas. Um líquido, água ou solvente, é adicionado à mistura para que o material ganhe trabalhabilidade e possa ser utilizado com o equipamento de aplicação (Virginia Department of Transportation - VDOT, 2008). As tintas são divididas em dois

grandes grupos: à base de solventes e à base de água. As tintas à base de solvente também são conhecidas como tintas convencionais.

Um projeto do Programa Nacional de Pesquisas Cooperativas em Rodovias (*National Cooperative Highway Research Program*, NCHRP) dos Estados Unidos, apontou que as tintas estão associadas a um alto teor de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) (Andrady, 1997). VOC é definido como qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas atmosféricas, que têm um impacto negativo sobre o ambiente (Zhang, 2009). Materiais do tipo epóxi podem ter pequenas quantidades de VOC em sua composição, já os termoplásticos e as fitas pré-fabricadas não têm qualquer composto deste tipo.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1998) publicou uma norma com o objetivo de diminuir a emissão de VOC de revestimentos arquitetônicos. Essa norma especifica que as demarcações viárias devem utilizar materiais com limite máximo de 150g/l de VOC. Deixando alguns pontos específicos de pequena área superficial para utilização de materiais de até 450g/l de VOC, porém, essa categoria de material só pode ser comercializada em embalagens de até 5 galões. Os materiais utilizados nas demarcações viárias são vendidos geralmente em embalagens de 30 galões, essa restrição no tamanho das embalagens limitou o uso das tintas à base de solventes, que, segundo Andrady (1997), possuem 383g/l de VOC enquanto que as tintas à base de água contêm apenas 84g/l.

Zhang (2009) cita que as demarcações onde se faz uso de tinta têm geralmente de 0,38 a 0,64mm de espessura quando aplicada. O tempo de secagem depende da espessura e da composição. Como regra, um caminhão de pintura a uma velocidade de 16 a 19km/h irá resultar em uma pintura com 0,38 a 0,46mm de espessura. Segundo o Departamento de Transportes do Texas (Texas Department of Transportation - TxDOT, 2004), as tintas geralmente apresentam uma retrorrefletividade inicial baixa e degradam em uma velocidade maior do que os outros materiais empregados em pinturas de demarcação viária. Elas são geralmente classificadas como materiais de demarcação não duráveis. A sinalização com esse material pode durar de três meses a dois anos ou mais, dependendo do volume de tráfego, ocorrência de neve, qualidade e cuidados na aplicação, além de outros fatores.

Uma pesquisa conduzida pela Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU), de 1989 a 1994, concluiu que uma apropriada instalação das pinturas poderia resultar numa extensão de sua vida de serviço. Se as demarcações fossem realizadas com cuidado, equipamentos configurados corretamente e calibrados, a vida útil delas poderia ser maior do que quatro anos.

Salles et al. (2015) afirmam que para que a sinalização horizontal seja perfeitamente visível durante o período da noite, os elementos que a compõem devem retornar a luz oriunda dos faróis dos veículos para o campo de visão do motorista. Este fenômeno é conhecido como retrorrefletividade.

## 2.2 RETRORREFLETIVIDADE NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

Evans et al. (2012) dizem que retrorrefletividade é um tipo único de reflexão que se difere por refletir e focar a luz de volta em direção à sua fonte. Zhang (2009) explica que o termo “retrorrefletividade da sinalização horizontal” é usado para descrever a quantidade de luz retornada para os olhos do condutor saída dos faróis do veículo ao serem refletidas nas demarcações do pavimento. A luz retrorrefletida dá ao motorista informações sobre a rodovia, como trajeto e pontos de ultrapassagem, e garante uma viagem segura durante o período noturno. Sendo assim, ele conclui que a retrorrefletividade é de suma importância para a segurança viária. A Figura 2 demonstra uma rodovia com linha de eixo dupla contínua, a da direita dotada de material retrorrefletivo e a da esquerda desprovida deste.

Figura 2 - Linha de eixo esquerda sem material retrorrefletivo e direita com material retrorrefletivo.



Fonte: Moreira e Menegon (2003).

### 2.2.1 Unidades de retrorrefletividade

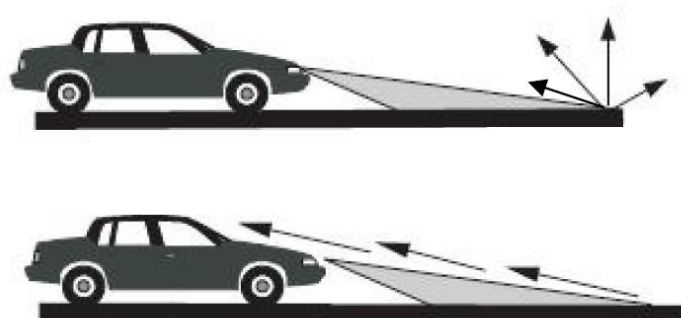
A retrorrefletividade é representada pela medida do coeficiente de luminância retrorrefletida - *Retroreflected Luminance* ( $R_L$ ) e é expressa em unidades de candelas por metro quadrado por lux ( $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ). A unidade comumente utilizada em demarcações de pavimento é milicandelas por metro quadrado por lux ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) por apresentar valores baixos (American Society for Testing and Materials – ASTM, 2001). Quanto maior o valor de  $R_L$ , maior é a visibilidade das demarcações no período noturno.

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) define que a medida da retrorrefletividade é o coeficiente de intensidade luminosa ( $R_I$ ). Esse parâmetro é definido como a relação entre a intensidade luminosa na direção de observação e a iluminação no plano perpendicular à luz. A unidade de medida para tal parâmetro é a candelas/lux. Thamizharasan et al. (2003) afirmam que um parâmetro relacionado a esse é geralmente utilizado para medidas de retrorrefletividade em objetos. O coeficiente de retrorreflexão ( $R_A$ ) é definido como  $R_I/A$ , onde  $A$  é a área da superfície em metros quadrados. Esse coeficiente é representado em candelas/lux/ $\text{m}^2$ .

### 2.2.2 Esferas e Microesferas de Vidro

A propriedade de retrorrefletir é alcançada nas demarcações viárias através, principalmente, do emprego de esferas ou microesferas de vidro parcialmente ancoradas na superfície da pintura (Kopf, 2004). Utilizar microesferas de vidro para conseguir a retrorrefletividade nas demarcações durante períodos noturnos já é uma prática consagrada e aceita ao redor do mundo. Segundo Zhang (2009), as demarcações sem esferas de vidro estão, durante a noite, muito longe de ter uma visibilidade adequada quando não iluminadas por fontes externas. A Figura 3 apresenta, acima, o fenômeno de reflexão difusa, em demarcações sem microesferas, e, abaixo, o fenômeno da retrorreflexão, em demarcações dotadas de microesferas.

Figura 3 - Fenômenos óticos ocorrendo em demarcações sem e com microesferas de vidro respectivamente.



Fonte: Virginia Department of Transportation, 2008.

Durante os períodos com luz solar, demarcações viárias sem esses elementos irão apresentar uma cor mais viva e uniforme (VDOT, 2008). Ainda assim, uma quantidade muito mais alta de luz será refletida durante a noite pelos dispositivos se forem dotados de esferas de vidro ancoradas em sua face.

Schwab (1999) explica que as esferas de vidro são fabricadas com vidro tipo soda-cal-sílica, com teor de sílica superior a 65%. A sucata de vidro plano é moída e submetida a elevadas temperaturas, cerca de 1200°C, com velocidade controlada, em fornos verticais com correntes ascendentes de gás aquecido, por tensão superficial tornam-se partículas esféricas.

O índice de refração das esferas de vidro, a porcentagem de ancoragem, e a densidade das mesmas, são fatores que impactam nos valores da retrorefletividade que será apresentado pela demarcação. Além destes parâmetros, a quantidade de luz retrorefletida depende também do tipo de esfera de vidro. O índice de refração é determinado pela composição química e física do material (Zhang, 2009).

Schwab (1999) cita um número ainda maior de variáveis que influenciam na quantidade de luz retrorefletida ligadas às esferas de vidro. Segundo a autora são: granulometria em relação à espessura do filme de tinta; formato, tamanho e imperfeições; número de esferas presentes e expostas aos raios de luz; forma de aplicação; natureza do vidro; índice de refração; e tratamento superficial das esferas. Carlson et al. (2005) complementam informando que a quantidade de luz refletida à fonte depende além dos parâmetros já citados, das condições do tempo e das características do ligante utilizado na mistura asfáltica.

As esferas e microesferas de vidro são divididas em tipos, de acordo com sua faixa granulométrica. A Tabela 1, adaptado de “ABNT NBR: 16184/13 – Sinalização horizontal



viária – Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e métodos de ensaio” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013), apresenta os tipos existentes. São chamadas de esferas de vidro aquelas com diâmetro superior a 1000 µm e as com diâmetro igual ou inferior a esse valor são conhecidas como microesferas de vidro.

Tabela 1 - Faixa granulométrica das esferas e microesferas de vidro.

(Continua)

Peneiras Conforme ABNT		% Passando										
Nº	Abert µm	Tipo I		Tipo II				Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI	Tipo VII
		A	B	A	B	C	D					
6	3350										100	
8	2360									100	95 - 100	
10	2000								100	95 - 100	80- 95	
12	1700							100	95 - 100	80 - 95	10 - 40	
14	1400							95 - 100	80 - 95	10 - 40	0-5	
16	1180							80 - 95	10 - 40	0-5	0-2	100
18	1000			100		100	100	10 - 40	0-5	0-2		
20	850	100		98 - 100	100	90- 100	95- 100	0-5	0-2			95 - 100
25	710							0-2				
30	600	90 - 100		75 - 95		10 a 30	85- 100					55 - 75
40	425				90- 100							15 - 35
50	300	18 - 35	100	9 - 35		0-5	0-10					0 - 5

Tabela 1- Faixa granulométrica das esferas e microesferas de vidro.

(Conclusão)

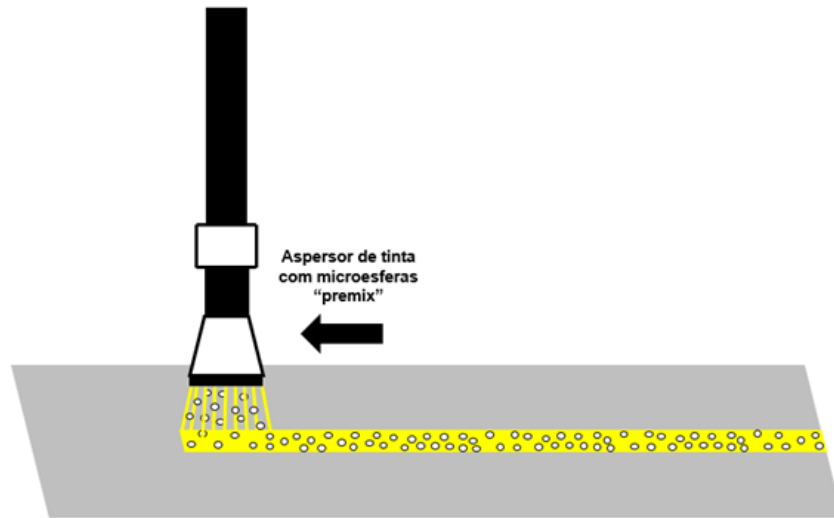
Peneiras Conforme ABNT		% Passando										
N°	Abert µm	Tipo I		Tipo II				Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI	Tipo VII
		A	B	A	B	C	D					
70	212		85 - 100		0-10		0					
80	180			0 - 5								
100	150	0 - 10	15 - 55		0-5							
140	108											
200	75	0 - 2										
230	63		0 - 10									

Fonte: Adaptado de ABNT NBR: 16184 – Sinalização horizontal viária – Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e métodos de ensaio (2013).

As esferas podem ser aplicadas na tinta de demarcação de duas maneiras distintas, podendo vir a ser aplicada das duas maneiras em conjunto:

- *Premix*: Quando incorporadas ao material de pintura antes da aplicação, podendo ser adquirida com esse volume inserido, ou inserção dele em campo pela equipe de pintura (Salles et al., 2015). Segundo Zhang (2009), as tintas com microesferas do tipo premix já foram muito utilizadas nos Estados Unidos, porém vêm perdendo espaço por apresentarem problemas como tempo de inatividade da tinta, decantação do material, queixa da tripulação de pintura sobre os reais volumes de microesferas de vidro e incompatibilidade com alguns equipamentos de aplicação. A Figura 4 apresenta um aspersor de aplicação de demarcações em estilo premix.

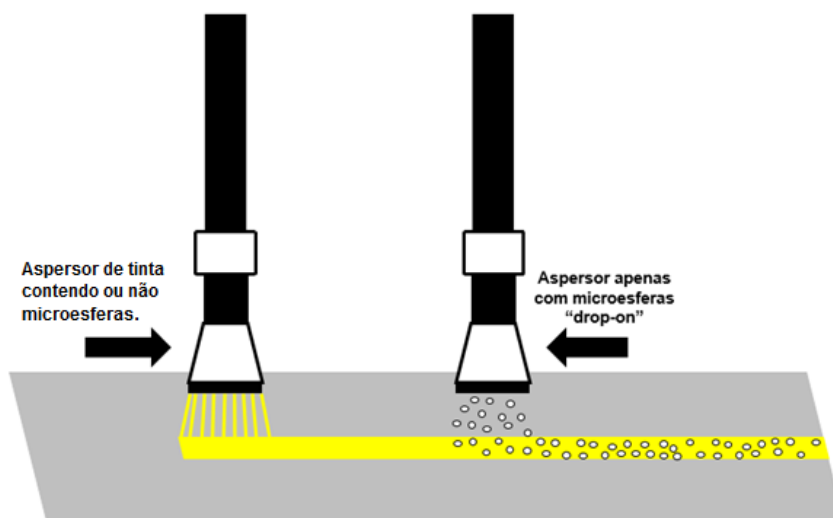
Figura 4 - Aspersor de aplicação de demarcações em estilo premix.



Fonte: Autor.

- *Drop-on*: Caracteriza-se pela aplicação das microesferas separada da aplicação da tinta. Segundo Largergren (2005), podem ser aplicadas manualmente, quando um operário joga as microesferas direto na demarcação recém-pintada, e através de sistemas de aspersão simples ou duplos. A Figura 5 apresenta aspersores para aplicação de demarcações em estilo drop-on, elas podem ser utilizadas com ou sem premix.

Figura 5 - Aspersores de aplicação de demarcação em estilo drop-on.



Fonte: Autor.

Zhang (2010) cita que os valores de retrorrefletividade das demarcações viárias estão intuitivamente ligados à quantidade e qualidade das esferas de vidro nas demarcações. Entretanto, se uma esfera ou microesfera de vidro estiver totalmente incorporada no material de pintura, ela não irá refletir as luzes dos faróis de volta aos condutores. A refletividade está intimamente ligada à porção das microesferas expostas acima da pintura. Um estudo realizado no *Potters Research Center* (PRC, 1996), apresentou que a otimização da retrorrefletividade ocorre quando 40% de cada esfera está exposta acima da demarcação e 60% está incorporada na pintura. A Figura 6 demonstra que quanto mais próximo a esses valores de ancoragem, maior será a retrorrefletividade fornecida pela demarcação.

Figura 6 - Ancoragem das microesferas (esquerda para direita) simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90% de seu diâmetro.



Fonte: POTTERS RESEARCH CENTER (1996), apud SCHWAB (1999).

Um estudo realizado por Schwab (1999) sobre a taxa ideal de microesferas a serem aplicadas na demarcação, demonstrou que a taxa para que se consigam valores maiores de retrorrefletividade inicial está entre  $237\text{g/m}^2$  e  $295\text{g/m}^2$ , esses valores correspondem a quantas gramas devem ser aplicadas a cada metro quadrado de demarcação pintada.

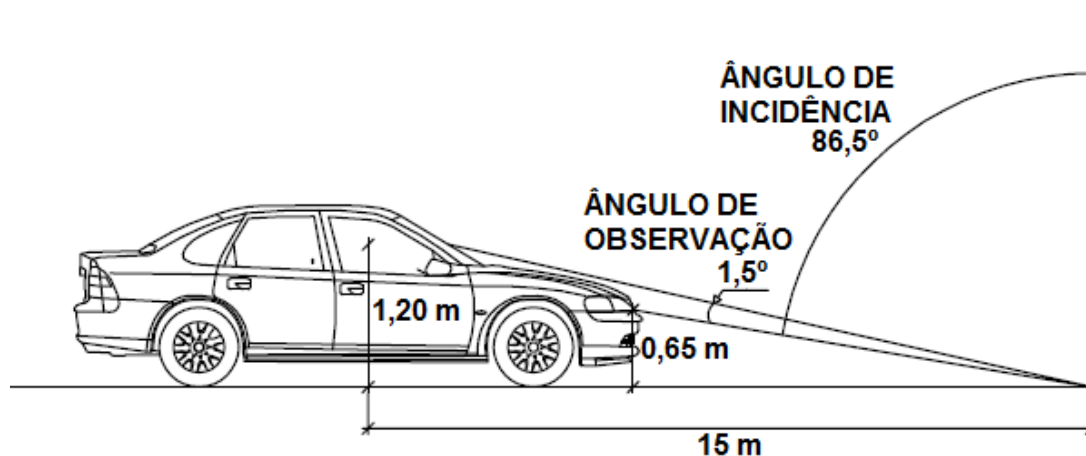
### 2.2.3 Equipamento e Geometrias de Avaliação da Retrorrefletividade

Austin e Schultz (2006) explicam que os valores de retrorefletividade das demarcações horizontais são medidos através do retrorefletômetro. Esse equipamento determina o quanto da luz emitida pelos faróis retorna aos olhos do motorista após contato com as demarcações.

Moreira e Menegon (2003) explicam o equipamento como um simulador da interação entre luz dos faróis, sistema retrorefletivo e olhos do motorista, reproduzindo e quantificando o fenômeno ótico da retrorefletividade. Babic et al. (2014) comentam que o equipamento pode ser tanto manual e estático (lendo valores de um ponto específico), quanto dinâmico (que ao ser acoplado em um veículo que percorre a via, mede a retrorefletividade continuamente). Os autores, por meio de testes, determinaram que os resultados apresentados pelos dois tipos de equipamentos são compatíveis, porém, o equipamento dinâmico é mais adequado para medições sistemáticas e detalhadas, além de não comprometer a segurança do operador e deixar o fluxo da via livre.

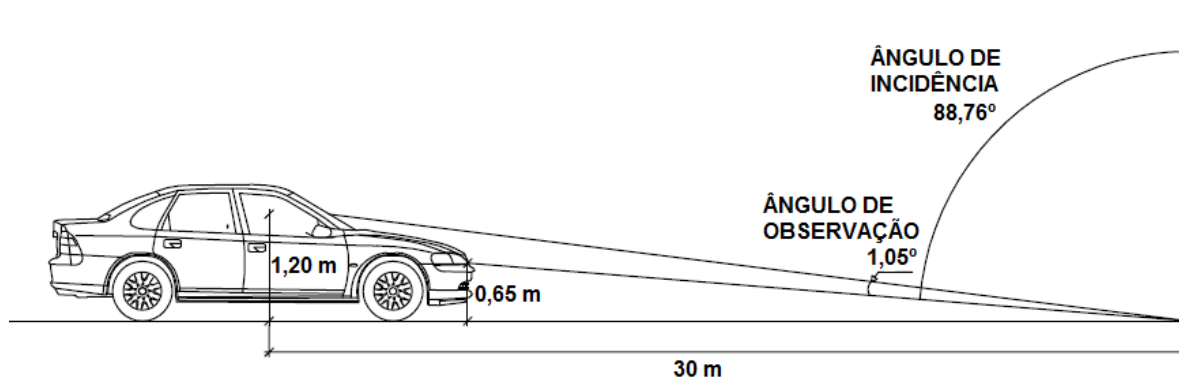
O retrorefletômetro pode realizar leituras principalmente em duas geometrias distintas, quinze e trinta metros, que correspondem à distância que o veículo hipotético estaria do ponto em que a medição está sendo realizada. O equipamento faz essa diferença mudando os ângulos de incidência das luzes internamente. As Figuras 7 e 8 apresentam as simulações realizadas pelo retrorefletômetro para as geometrias de 15m e 30m, respectivamente.

Figura 7 - Geometria para retrorefletômetro de 15m.



Fonte: Autor.

Figura 8 - Geometria para retrorrefletômetro de 30m.



Fonte: Autor.

Os resultados para as geometrias diferentes não têm um fator de correlação definido que seja difundido, apesar de algumas pesquisas determinarem esse fator para casos isolados. As agências brasileiras estão baseadas em equipamentos de geometria de 15m, diferentemente das normas americanas e europeias, que consideram valores determinados com equipamentos utilizando geometria de 30m (Moreira e Menegon, 2003).

Os valores de retrorrefletividade quando medidos na geometria de 30m, apresentam maior segurança, visto que tendem a ser menores àqueles medidos com equipamentos de geometria de 15m.

#### 2.2.4 Fatores Intervenientes na Retrorrefletividade

Diversos autores têm estudado possíveis fatores de influência nos índices de retrorrefletividade. Medições em que inicialmente esperava-se o mesmo índice têm apresentado disparidade de resultados, fazendo com que os pesquisadores evoluam no entendimento dos fatores intervenientes para o comportamento da retrorrefletividade.

Segundo Zhang (2009), para as cores utilizadas nas pinturas rodoviárias (branca e amarela), os valores de retrorrefletividade não costumam ser iguais. Parker e Meja (2003), explicam que é comumente aceito que as pinturas de cor amarela apresentem valores de retrorrefletividade equivalentes a apenas 70 a 80% dos índices apresentados por pinturas de cor branca nas mesmas condições.

Scheuer et al. (1997) analisaram em sua pesquisa que a pintura de cor amarela é menos retrorrefletiva do que pinturas de cor branca, porém, as duas perdem essa propriedade com a mesma taxa de degradação ao longo do tempo. Sasigharan, Karwa e Donnell (2009),

averiguaram que demarcações de cor branca apresentam tempo de vida útil maior que demarcações de coloração amarela.

Zwahlen e Schnell (1995) comentam que a média de distância de percepção das linhas brancas costuma ser de 35 a 38 metros maiores do que das linhas amarelas em mesma condição. Os mesmos autores, em outro estudo realizado em 1996, não encontraram aumento na distância de percepção por substituir linhas brancas centrais por linhas amarelas. Também determinaram que uma rodovia totalmente demarcada (com linhas de bordo e de eixo), tem a distância de percepção de sua sinalização horizontal quase 100% maior do que uma rodovia dotada apenas de linha de eixo, sem linhas de bordo.

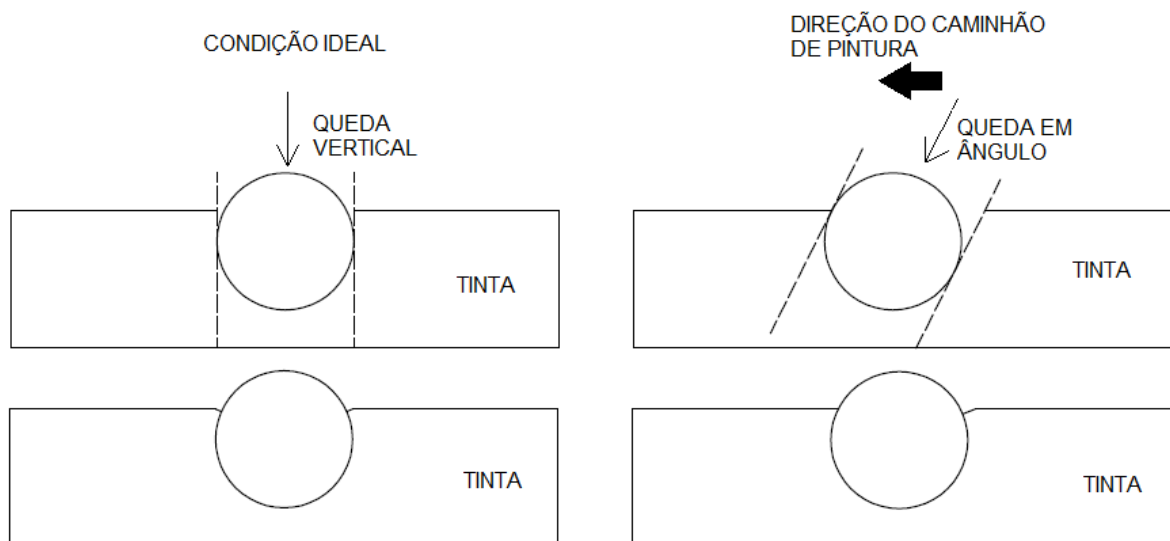
Nos Estados Unidos existe um projeto, “Project 4-28 FY 2000”, do NCHRP, publicado em 2002, que sugere migrar todo o sistema de demarcação rodoviária do país de um sistema amarelo e branco, para um sistema completamente branco. Tal projeto traz argumentos como: motoristas não tem compreensão da real função das marcas amarelas; demarcações brancas apresentam maior retrorrefletividade; demarcações brancas são mais baratas e o uso de apenas uma cor baratearia o processo de pintura.

Na Inglaterra, por exemplo, de acordo com o Highway Code (2016) do Department for Transport (DFT), é utilizada nas rodovias apenas a cor branca para as demarcações viárias. Outras cores são utilizadas em marcações dentro das cidades, como amarelo e vermelho, para atender a proibições ou locais específicos para alguma ação.

Outro fator que foi relacionado à variação dos resultados é o sentido do posicionamento do retrorrefletômetro sobre o ponto de medição (Rasdorf et al. 2009). Os autores realizaram medições da retrorrefletividade das linhas amarelas de eixo em duas rodovias de mão dupla na Carolina do Norte, EUA. As medições foram realizadas no sentido da pintura e no sentido contrário nas duas linhas centrais. Os autores constataram que os valores de retrorrefletividade tendem a ser maiores quando medidos no sentido em que a pintura foi realizada.

A explicação que os pesquisadores encontraram para esse fenômeno foi de que quando as microesferas são aspergidas pelo equipamento de pintura, elas possuem certa velocidade horizontal. Assim, ao se chocarem com a tinta, são ancoradas com um ângulo de inclinação, fazendo com que um lado da microesfera fique coberto com a tinta de pintura. A Figura 9 ilustra o fenômeno.

Figura 9 – Queda da microesfera de vidro com e sem velocidade horizontal (condição ideal).



Fonte: Adaptado de Rasdorf et al. (2009).

Aktan e Schnell (2003) realizaram um estudo em Minnessota, EUA, patrocinado pela empresa 3M, visando determinar o comportamento de diferentes materiais em condições secas, úmidas e com chuva simulada de uma hora. A metodologia aplicada foi de avaliação subjetiva por motoristas de 55 a 75 anos. Esses motoristas deveriam dirigir por uma pista experimental, onde determinariam em seções controladas onde era o ponto em que eram capazes de ver o fim das demarcações no pavimento. No estudo foi evidenciado que quando existe água sobre as demarcações, as microesferas são cobertas por este filme de água fazendo com que a luz incidente retorne de forma difusa e não mais sendo retrorrefletiva. No estudo dos autores, o material com melhor desempenho nas três condições (seca, úmida e com chuva) foi uma fita específica para pista molhada, a qual não foi descrita tecnicamente.

Estudos anteriores (Bowman e Kowshik, 1994), verificaram que a utilização de esferas de vidro maiores funciona como elemento de quebra para este filme de água sobre a demarcação. As esferas maiores tem custo superior e precisam de uma espessura de demarcação também maior, elevando os custos totais de aplicação. Os autores realizaram comparações entre preços de aplicação e determinaram que quando se fala em utilização de tinta para as demarcações, a aplicação de esferas de vidro maiores não é aconselhável monetariamente, já que a tinta desgasta muito rapidamente. Porém, para o caso de materiais que possuam vida útil mais elevada, como é o caso de termoplásticos, os autores aconselham a utilização de esferas de diâmetro maior. Caso o local de avaliação tenha índice de chuvas anual muito elevado e um histórico de acidentes noturnos, é aconselhável a utilização das esferas maiores independentemente do material.



Zhang et al. (2013) realizaram estudos na Carolina do Norte, Estados Unidos, visando definir o impacto do tipo de revestimento e Índice de Irregularidade Internacional (IRI) na retrorrefletividade da sinalização horizontal. Os autores determinaram que os valores médios de retrorrefletividade das demarcações em pavimentos com revestimento misturados em usinas, apresentam valores maiores do que as demarcações em pavimentos que sofreram apenas tratamento superficial.

### **2.2.5 Parâmetros Normativos e Mínimos Aceitáveis**

A norma vigente no território nacional para a avaliação da retrorrefletividade para sinalização horizontal viária é a NBR 14723/2013 da ABNT, que prevê os métodos e critérios para avaliação da retrorrefletividade. A norma está em vigor desde 28 de dezembro de 2013 com o seguinte título: Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15m. Segundo o documento: “Deve-se utilizar o retrorrefletômetro com ângulo de observação de 1,5° e ângulo de incidência 86,5°, e geometria de 15m. O equipamento deve ser calibrado conforme instrução do fabricante e equipado com dispositivo de vedação de luz solar” (ABNT, 2013, p. 2).

A norma brasileira não define limites mínimos para os valores medidos, não classificando os resultados como satisfatórios ou não. Atualmente, quem determina valores e critérios mínimos são os entes autárquicos federais e estaduais, que são responsáveis pela regulamentação e fiscalização, tais como CONTRAN, DENATRAN, DNIT, DAER, Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS), Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP), etc.

No mês de outubro de 2014, a ABNT publicou a norma ABNT 16307/2014 intitulada “Sinalização horizontal viária - Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 30m”, ela admite a utilização de equipamentos retrorrefletômetros com ângulo de observação de 1,05° e ângulo de incidência de 88,76°, característicos da geometria de 30m. Porém as agências nacionais em grande maioria seguem com os mínimos exigidos para geometria de 15m.

Ambas as normas trazem a mesma amostragem de levantamentos, onde escolhe-se apenas três estações de medição em segmentos de 10 quilômetros, e a média aritmética da retrorrefletividade das três estações deve ser feita para a obtenção de um valor único representativo do segmento inteiro de 10 quilômetros. Segundo as normativas, dez medições

são realizadas em cada estação com um espaçamento de 0,5 metros entre elas, somando então 5 metros de rodovia por estação. Somando-se as três estações, tem-se 15 metros de rodovia em 10 quilômetros, o que representa apenas 0,15% do segmento de faixa de demarcação avaliado.

Pensando na heterogeneidade de fatores em um segmento de 10 quilômetros, como condições climáticas, capacidade de tráfego, condição de tráfego, geometria e etc. em 2015 a ABNT publica a norma ABNT NBR 16410/2015 intitulada “Sinalização horizontal viária — Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento dinâmico com geometria de 15m ou 30m”, a qual preconiza a realização de campanhas de medição com equipamentos dinâmicos, independente da geometria utilizada. A norma ainda estabelece que o levantamento deve ser realizado em toda a extensão das demarcações horizontais, com espaçamento máximo de 50 cm entre cada medição. Assim como as normativas anteriores, ela não traz valores mínimos de retrorrefletividade, porém, dá um passo nesse sentido trazendo critérios de aprovação como:

“A avaliação deve ser feita em cada faixa longitudinal em trechos de 10 quilômetros, considerando-se aprovado o trecho que apresentar 70% das medições com valores acima do valor residual exigido no projeto ou contrato. Neste intervalo de 10 quilômetros para cada faixa longitudinal avaliada, havendo 500 metros contínuos com valores de retrorrefletividade inferiores aos valores residuais exigidos no projeto ou contrato, no mesmo quilômetro, este quilômetro deve ser rejeitado (ABNT NBR 16410, 2015).”

Além das normas de abrangência nacional elaboradas pela ABNT, existem algumas normativas de departamentos estaduais. No estado do Rio Grande do Sul, a AGERGS, a partir de 2006, passou a divulgar notas técnicas de seus próprios indicadores de medição, dentre esses, está o Índice de Qualidade da Sinalização (IQS). No ano de 2006, o Projeto de Exploração de Rodovia (PER) estabeleceu metas de valores mínimos de retrorrefletividade residual para as rodovias gaúchas que estavam sob concessão. De acordo com a nota técnica DQ 01/2006 da AGERGS, o valor mínimo deveria ser de 80mcd/m<sup>2</sup>/lux, medido com geometria de 15m, independentemente da cor da demarcação.

O DAER-RS (2013), em sua Instrução de Serviço para estudos e projetos IS - 112/13 para Contratos de Restauração e Manutenção de Rodovias (CREMA), elabora estudos e projetos de restauração e manutenção da malha de rodovias pavimentadas do estado do Rio Grande do Sul, trazendo valores mínimos de índice de retrorrefletividade, utilizando equipamentos com geometria de 15m para as rodovias do estado, conforme Tabela 2. Nela constam, além dos valores residuais, os valores de retrorrefletividade iniciais mínimos, utilizados para controle tecnológico.

Tabela 2 - Índice de Retrorefletividade mínimo para rodovias do Rio Grande do Sul – Geometria de 15m.

<b>Cor dos Elementos (Tinta)</b>	<b>Índice de Retrorefletividade mínimo (mcd/m<sup>2</sup>/lux) – geometria de 15m</b>
Branca	> 220 (inicial)
Amarela	> 170 (inicial)
Branca/Amarela	> 130 (residual)

Fonte: CREMA IS-112/13 (2013)

Conforme especificado no mesmo documento, nenhum segmento rodoviário restaurado com extensão maior do que dois quilômetros, poderá permanecer sem sinalização por mais de 72 horas. O contratante aceitará sinalização provisória após o encobrimento da sinalização horizontal existente. A sinalização provisória não poderá permanecer por mais de trinta dias.

O DNIT, em licitações para sinalização no estado do Rio Grande do Sul (DNIT, 2013), seguindo especificações técnicas do programa BR-LEGAL, exige que os valores da retrorefletividade residual das demarcações nunca estejam abaixo de 80mcd/m<sup>2</sup>/lux para a cor amarela e 100mcd/m<sup>2</sup>/lux para as demarcações de cor branca. Esses valores correspondem à utilização de retrorefletômetro com geometria de 15m.

Na Europa, a norma vigente é a “EN 1436:2007 – Road Marking Performance for road-users”, ela define o método de medição da retrorefletividade em demarcações viárias utilizando equipamento portátil ou dinâmico. Ela claramente define os requerimentos mínimos para a visibilidade noturna para um condutor de veículo de passeio comum. A normativa estipula que a geometria do equipamento deve ser de 30m. A Tabela 3 demonstra os valores requeridos pela norma para demarcações secas. As classes citadas na norma correspondem à classe de retrorefletividade para a via em questão. Cada país pode definir suas classes, como a Irlanda, por exemplo, onde as classes de suas rodovias devem ser para demarcações brancas classe R2 e para demarcações amarelas classe R1.

A norma europeia não apenas determina valores mínimos para a retrorefletividade das demarcações viárias quando secas, como também quando úmidas ou durante chuva. As Tabelas 4 e 5 demonstram requisitos para essas duas condições, respectivamente.

Tabela 3 - Classe de retrorrefletividade para demarcações secas – Geometria de 30m.

<b>Tipo de demarcação e cor</b>	<b>Classe</b>	<b>Coefficiente de retrorrefletividade mínimo (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	
<b>Permanente</b>	Branca	R0	Sem mínimo definido
		R2	≥ 100
		R3	≥ 150
		R4	≥ 200
		R5	≥ 300
	Amarela	R0	Sem mínimo definido
		R1	≥ 80
		R3	≥ 150
		R4	≥ 200
		<b>Temporária</b>	R0
R3	≥ 150		
R5	≥ 300		

Fonte: BS EN 1436:2007

Tabela 4 - Classe de Retrorrefletividade de demarcações quando úmidas – Geometria de 30m.

<b>Condição de umidade</b>	<b>Classe</b>	<b>Coefficiente de retrorrefletividade mínimo (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>
<b>Obtida um minuto após inundar a superfície</b>	RW0	Sem mínimo definido
	RW1	≥ 25
	RW2	≥ 35
	RW3	≥ 50
	RW4	≥ 75
	RW5	≥ 100
	RW6	≥ 150

Fonte: BS EM 1436:2007

Tabela 5 - Classe de Retrorefletividade de demarcações durante chuva – Geometria de 30m.

Condição de chuva	Classe	Coefficiente de retrorefletividade mínimo
		(mcd/m <sup>2</sup> /lux)
<b>Obtida depois de pelo menos cinco minutos de exposição durante chuva de 20mm/h</b>	RR0	Sem mínimo definido
	RR1	≥ 25
	RR2	≥ 35
	RR3	≥ 50
	RR4	≥ 75
	RR5	≥ 100
	RR6	≥ 150

Fonte: BS EN 1436:2007

A norma em utilização nos Estados Unidos é a “ASTM D7585/15 – *Standard Practice for Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments*”. A americana, assim como a brasileira, apresenta apenas os procedimentos de medida para determinação da retrorefletividade nas demarcações, sem determinar parâmetros mínimos satisfatórios. Porém, o equipamento utilizado para medição dos valores deve ser o retrorefletômetro com geometria de 30m.

Além dos requisitos mínimos apresentados pelas normas, vários pesquisadores, agências e departamentos ao redor do mundo citam números diferentes como requisitos mínimos para uma sinalização aceitável no período da noite. Paniati e Schwab (1991) discutiram o desenvolvimento de um modelo para tratar a retrorefletividade necessária de dispositivos de controle de tráfego para atender aos requisitos de visibilidade do condutor. Tal trabalho esclarece que determinar um valor mínimo para a retrorefletividade é um processo complexo que envolve a interação das características do motorista, configurações dos faróis dos veículos, geometria da via, tamanho e localização das demarcações e a luz oriunda dos veículos que trafegam no sentido contrário.

Graham e King (1991), através de avaliações subjetivas de 59 observadores e medições com retrorefletômetro de geometria igual a 30m nas demarcações rodoviárias, determinaram os níveis mínimos de retrorefletividade aceitáveis. De acordo com a pesquisa, 90% dos participantes considerou o valor de 93mcd/m<sup>2</sup>/lux como adequado ou mais que adequado. É importante salientar que a pesquisa foi realizada com população jovem e operando em condições de campo ideais. Assim, os próprios autores citam que é provável que para um

condutor mais velho, operando em uma situação de condução de campo desfavorável, seja necessário um valor superior ao definido na pesquisa.

Graham et al. (1996), em estudo focado especialmente na necessidade da retrorrefletividade para motoristas de idade avançada, realizaram medições dos valores em pista e avaliações subjetivas para, assim, determinar um limite. Os autores concluíram que 85% dos participantes com idade acima de 60 anos classificaram uma demarcação de 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux, medidos com equipamentos de geometria de 30m, como adequada ou mais do que adequada para condições de trafegabilidade noturna.

Migletz et al. (1999) em pesquisa utilizando dados de trinta e dois estados e agências rodoviárias norte americanas, tentaram identificar valores de retrorrefletividade mínimos para diferentes condições. Com o estudo, os autores encontraram uma faixa de retrorrefletividade mínima entre 80 e 130mcd/m<sup>2</sup>/lux, para equipamentos de geometria de 30m, como sendo adequada em situações favoráveis de dirigibilidade e condição de pavimento seco.

Em 1999, o Departamento de Transporte de Minnessota (MnDOT), conduziu uma pesquisa para determinação de limites de retrorrefletividade para suas demarcações viárias. Membros comuns da população foram convidados a dirigir pelas rodovias do estado, durante o percurso, uma entrevista era feita aos participantes sobre o brilho da pintura em pontos pré-definidos. Como conclusão, foi determinado que o limiar entre o valor de retrorrefletividade inaceitável e o valor aceitável se encontrava entre 80 e 120mcd/m<sup>2</sup>/lux, utilizando um equipamento com geometria de 30m. Como resultado do projeto, o MnDOT começou a adotar o valor limite para suas demarcações de 120mcd/m<sup>2</sup>/lux (LOETTERLE, BECK E CARLSON, 1999).

No ano de 1999, a FHWA patrocinou três workshops para discutir os esforços em determinar um valor mínimo para a retrorrefletividade em demarcações horizontais. Mais de 67 agências estaduais e municipais deram suas contribuições para o assunto. Para demarcações brancas, foi recomendado um mínimo de 100mcd/m<sup>2</sup>/lux em autoestradas e 80mcd/m<sup>2</sup>/lux para vias secundárias (valores para equipamentos de geometria de 30m). Infelizmente, os participantes não alcançaram um acordo para esses valores sem maiores investigações (ROBERTSON, 2011).

Em estudo realizado em New Jersey em 2003, Parker e Meja (2003), utilizando um retrorrefletômetro de 30m e questionários, chamaram os motoristas da cidade para determinar a visibilidade das demarcações em um circuito de 32 milhas. Concluíram que o nível mínimo aceitável de retrorrefletividade está entre 80 e 130mcd/m<sup>2</sup>/lux para motoristas com menos de 55 anos e entre 120 e 165mcd/m<sup>2</sup>/lux para os condutores com 55 anos ou mais.

Debaillon et al. (2007) fizeram uma recomendação de valores mínimos encontrados em sua pesquisa, utilizando um equipamento de geometria igual a 30m. Em sua metodologia, foi considerado o tipo de pavimento, tipo de veículo, presença ou não de dispositivos auxiliares (tachas e/ou tachões), configuração das demarcações e velocidade da via. Algumas das variáveis foram consideradas como de pouca interferência e a Tabela 6 demonstra as recomendações dos autores.

Tabela 6 - Valores mínimos de retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux.

Configuração da demarcação	Sem dispositivos auxiliares			Com dispositivos Auxiliares
	≤ 90 km/h	Entre 100 - 120 km/h	≥ 125 km/h	
Rodovias com demarcação total (linhas de eixo e linhas de bordo)	40*	60*	90*	40*
Rodovias apenas com linhas de eixo	90*	250*	570*	50*

Fonte: DEBAILLON e CARLSON (2007)

\*Valores em mcd/m<sup>2</sup>/lux.

Hummer et al. (2011) arrecadaram valores de retrorrefletividade em 25 estradas rurais na Carolina do Norte, EUA, durante quatro anos, visando determinar o ciclo de vida das demarcações. Com a pesquisa, os autores determinaram como mínimo de retrorrefletividade aceitável os valores de 100 e 65 mcd/m<sup>2</sup>/lux para as pinturas de cor branca e amarela, respectivamente, quando utilizando equipamento com geometria de 30m. Segundo os autores, valores menores do que os citados representam um cenário inseguro para os usuários da via.

De acordo com Robertson (2011), antecipando-se aos padrões mínimos, alguns estados fixaram um valor inicial como parâmetro de qualidade. O Departamento de Transporte da Carolina do Sul (SCDOT), em seu documento “*Permanent Pavement Markings Fast Dry, High Build, High Durability Waterborne Paint*”, determinou que as demarcações brancas deveriam apresentar valores de retrorrefletividade mínimos de 350mcd/m<sup>2</sup>/lux trinta dias após sua aplicação, obtidas através de equipamentos com geometria igual a 30m. Seguindo na mesma direção, o Departamento de Transportes da Carolina do Norte (NCDOT) fixou como requerimentos mínimos para as pinturas de demarcação um valor de 225mcd/m<sup>2</sup>/lux logo após instalação (RASDORF et al. 2008).

Gibbons et al. (2013) realizaram pesquisa visando determinar um limiar mínimo para a retrorrefletividade em pavimentos quando molhados. A pesquisa consistiu na instalação de seis diferentes tecnologias de pintura de demarcação e utilizou fatores humanos em condições naturais de chuva. Após trinta e três meses de avaliação, os autores determinaram um valor mínimo admissível de retrorrefletividade de 150mcd/m<sup>2</sup>/lux, medido quando seco, para que a segurança seja aceitável em situações críticas, como noites chuvosas.

Atualmente nos Estados Unidos, a Federal Highway Administration (FHWA, 2008) relaciona valores mínimos de retrorrefletividade para cada coloração e velocidade máxima permitida na rodovia. Os valores citados como mínimos estão entre 85 e 150mcd/m<sup>2</sup>/lux para demarcações brancas e entre 55 e 100mcd/m<sup>2</sup>/lux para pinturas de cor amarela. Tais valores devem ser medidos utilizando retrorrefletômetro de geometria de 30m.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos valores apresentados por normativas, órgãos e autores, considerando valores para uma rodovia com velocidade máxima de 60 km/h.

Tabela 7 - Resumo dos parâmetros mínimos de retrorrefletividade.

(Continua)

<b>Ano</b>	<b>Autor/Norma/Órgão</b>	<b>Geometria (m)</b>	<b>Retrorrefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	<b>Cores</b>
1991	Graham e King	30	93	Todas
1996	Graham <i>et al</i>	30	100	Todas
1999	FHWA	30	100	Branca
1999	MnDOT	30	120	Todas
1999	Migletz <i>et al</i>	30	130	Todas
2003	Parker e Meja	30	165	Todas
2006	AGERGS	15	80	Todas
2007	BS EN 1436	30	80/100	Amarela/Branca
2007	Debailon e Carlson	30	90	Todas
2008	FHWA	30	100/150	Amarela/Branca
2011	Hummer	30	100/65	Amarela/Branca
2011	SCDOT	30	350 <sup>1</sup>	Todas
2011	NCDOT	30	225 <sup>2</sup>	Todas
2013	Gibbons	30	150	Todas



Tabela 7 - Resumo dos parâmetros mínimos de retrorrefletividade.

(Conclusão)

Ano	Autor/Norma/Órgão	Geometria (m)	Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Cores
2013	DAER/RS (CREMA)	15	130	Todas
2013	DNIT (BR-LEGAL)	15	80/100	Amarela/Branca

Fonte: Autor.

<sup>1</sup> Medido 30 dias após aplicação.<sup>2</sup> Medido de 24 a 48 horas após aplicação.

Excluindo os valores definidos para retrorrefletividade inicial (SCDOT e NCDOT), os demais apresentam números parecidos, mesmo com geometrias de medição distintas. De acordo com Salles et al. (2015), ao medir um ponto com equipamentos de geometria de 30m obtém-se um valor 50% menor do que quando se utiliza um equipamento de geometria de 15m. Sendo assim, os parâmetros mínimos exigidos não mais podem ser considerados semelhantes.

## 2.2.6 Estudos anteriores de previsão do comportamento da retrorrefletividade

Muitos estudos realizados anteriormente apresentaram modelos de previsão da vida útil das linhas de demarcação, ou então modelos de previsão do comportamento da retrorrefletividade da sinalização horizontal, levando em consideração, entre outros aspectos, o volume de tráfego e idade da demarcação.

### 2.2.6.1 Estudos desenvolvidos por Andrady (1997)

Andrady (1997) apud Robertson (2011), financiado pelo NCHRP, desenvolveu um dos primeiros modelos de degradação para a retrorrefletividade em demarcações rodoviárias, utilizando equipamento de geometria de 30m. O objetivo do estudo era determinar o impacto dos VOCs e identificar materiais alternativos. Uma parte dos testes consistiu em avaliar o desempenho das demarcações em termos de retrorrefletividade. Com avaliações realizadas em diversas rodovias, com volume diário médio de veículos passantes (VDM) distintos, o autor criou um modelo logarítmico para os termoplásticos. Para Andrady, a vida útil da demarcação teria atingido seu valor final quando o limiar de 100mcd/m<sup>2</sup>/lux fosse alcançado. O modelo pode ser visto na Equação 1.

$$T_{100} = 10^{(Ri-100)/b} \quad (1)$$

Onde:

$T_{100}$  = Tempo em meses para a retrorrefletividade alcançar o limiar de 100mcd/m<sup>2</sup>/lux;

$Ri$  = Retrorrefletividade inicial em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$b$  = Gradiente da curva semi-logaritmica de retrorrefetividade.

#### 2.2.6.2 Estudos desenvolvidos por Perrin, Martin e Hansen (1998)

Perrin, Martin e Hansen (1998), no ano de 1997 avaliaram os materiais das demarcações viárias em rodovias do estado de Utah, nos EUA. Os pesquisadores compararam três tipos distintos de materiais: tinta, epóxi e fitas pré-fabricadas. Os revestimentos do pavimento eram em Concreto de Cimento Portland e Concreto Asfáltico.

A pesquisa coletou dados para investigar a relação entre a idade do material, volume anual médio de veículos e o tipo de pavimento na vida útil da retrorrefletividade das demarcações. Os autores concluíram que cada uma das variáveis citadas era significativa, e a relação comum entre as variáveis dependentes e a variável independente era hiperbólica.

Os pesquisadores desenvolveram modelos de previsão relacionando a idade da demarcação com a retrorrefletividade. Além disso, comparativos de custos e deterioração das demarcações em relação à idade e tráfego acumulado foram feitas. Foi constatado que existem diferenças significantes nos resultados entre pavimentos de concreto e de asfalto. As equações 2, 3 e 4 trazem os modelos desenvolvidos pelos pesquisadores em 1997.

$$\text{Para tintas: } RL = 117e^{-0,0024(t)} \quad (R^2 = 0,052); \quad (2)$$

$$\text{Para epoxy: } RL = 130e^{-0,0098(t)} \quad (R^2 = 0,274); \quad (3)$$

$$\text{Para faixas pré-fabricadas: } RL = 366e^{-0,0215(t)} \quad (R^2 = 0,578). \quad (4)$$

Onde:

RL = Retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

t = Tempo em meses desde a realização da pintura.

Todos os levantamentos da pesquisa foram efetivados pelo menos seis meses após a realização das pinturas, o que pode ter contribuído para modelos com baixo índice  $R^2$ . Os autores não apresentam o VDM dos locais estudados na pesquisa.

#### 2.2.6.3 *Estudos desenvolvidos por Migletz et al. (1999)*

Migletz et al. (1999) realizaram estudo em nome da FHWA, entre os anos de 1994 e 1995, onde a retrorrefletividade de seções selecionadas em pavimentos de 32 agências de transporte norte americanas foram avaliadas com equipamentos de geometria igual a 30m. Embora baseada em uma quantidade limitada de dados, procedimentos estatísticos foram determinados para avaliar as necessidades de repintura das demarcações. Os resultados não levaram a uma previsão de vida útil das demarcações, mas determinaram quando, segundo a base de dados, as demarcações deveriam ser substituídas.

Foram consideradas duas abordagens; na primeira, as demarcações foram consideradas com necessidade de substituição quando a retrorrefletividade média de quinze amostras ficasse abaixo de valor limite específico. A outra abordagem recomendou repintura quando mais de 50% dos valores medidos ficasse abaixo deste valor limite. Para determinação de uma abordagem correta de manutenção, foram consideradas situações onde os valores limites eram de 60, 80, 100, 120 e 150 mcd/m<sup>2</sup>/lux. Foi constatado que, independente da abordagem utilizada quando os valores limites são os mesmos, a porcentagem de trechos que necessitam de repintura é equivalente. Os autores ainda afirmaram que a utilização de critérios estatísticos como base de substituição de demarcações viárias aumentaria o orçamento de demarcações de 6 a 53%, dependendo do tipo de demarcação.

Como a pesquisa se resumiu em levantamentos no outono de 1994 e primavera de 1995, além dos autores não possuírem a idade das demarcações, um modelo de desempenho não pôde ser determinado.

#### 2.2.6.4 *Estudos desenvolvidos por Lee, Maleck e Taylor (1999)*

Lee, Maleck e Taylor, da Universidade Estadual de Michigan (MSU), apresentaram estudo em 1999 para o Departamento de Transportes de Michigan (MDOT) a fim de determinar um modelo de degradação para demarcações pintadas com diferentes tipos de materiais. Eles reportaram resultados de seus quatro anos de projeto, que avaliou demarcações rodoviárias

deste estado para desenvolver técnicas focadas numa utilização mais rentável. Os trechos avaliados apresentavam VDM entre 5,6 mil e 26 mil veículos.

Os resultados dessa pesquisa foram baseados em dados adquiridos com retrorrefletômetro manual, com geometria de 30m. Os autores concluíram que a degradação da retrorrefletividade diária fica em torno de 0,14%, levando a uma vida de serviço de 445 dias para demarcações utilizando tinta à base de água. Foi analisada a relação entre a degradação da retrorrefletividade e o tráfego médio diário, velocidade limite da via e quantidade de veículos comerciais nas seções avaliadas. Os autores não encontraram significância estatística na relação destes valores com a perda de retrorrefletividade dos materiais. Além disso, em locais de clima mais frio, com maior ocorrência de neve (e, com isso, maior ocorrência de campanhas de remoção dessa neve), a velocidade da degradação das propriedades retrorrefletivas dos materiais é acentuada.

Assim, os autores desenvolveram modelos de regressão para tintas à base de água, conforme a Equação 5 e para termoplásticos, conforme Equação 6:

$$\text{Para tintas à base de água: } RL = -0,4035 \times t + 279,42 \quad (5)$$

$$\text{Para termoplásticos: } RL = -0,3622 \times t + 354,82 \quad (6)$$

Onde:

$RL$  = Valor da retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em dias.

#### 2.2.6.5 Estudos desenvolvidos por Migletz et al. (2001)

Estudos posteriores começaram a utilizar o número acumulado de passagem do tráfego (CTP) como variável, que é um produto do tráfego diário pelo tempo, contabilizado como milhões de passagens de veículos por pista. Isso seria a exposição da demarcação a veículos desde que foi instalada.

Migletz et al. (2001) publicaram um artigo de pesquisa no qual apresentam os resultados de seus quatro anos de estudo em dezenove estados dos Estados Unidos, para analisar a durabilidade de uma variedade de materiais de demarcação utilizando geometria de 30m. Neste estudo, o CTP foi utilizado como variável primária e quantificou a relação entre o coeficiente de retrorrefletividade e o CTP, fazendo uso de diferentes modelos como regressões lineares,

quadráticas e exponenciais. As formas gerais dos modelos apresentados pelos autores são representadas abaixo nas Equações 7, 8 e 9:

$$\text{Modelo Linear } RL = Ri + (b \times CTP) \quad (7)$$

$$\text{Modelo Logarítmico: } RL = Ri + b \times \ln(CTP) \quad (8)$$

$$\text{Modelo Exponencial: } RL = Ri + e^{(b \times CTP)} \quad (9)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$Ri$  = Retrorrefletividade inicial em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$b$  = Coeficiente numérico de CTP;

$CTP$  = Número de veículos passantes acumulado, expresso em milhões.

No estudo, o limiar mínimo, de retrorrefletividade, foi determinado entre 85 e 150mcd/m<sup>2</sup>/lux para demarcações brancas. Usando tais limiares, foi encontrado que a vida de serviço das linhas com pintura a base de água em rodovias está entre 4,1 e 18,4 meses. Durante todo o estudo os autores utilizaram equipamentos com geometria de 30m. Os autores não disponibilizaram o VDM ou CTP dos locais de estudo.

#### 2.2.6.6 Estudos desenvolvidos por Abboud e Bowman (2002)

Abboud e Bowman (2002) realizaram estudo do custo e longevidade das marcas a base de água para determinar sua via útil em rodovias de 32 cidades do estado do Alabama, EUA. As rodovias variavam o VDM até pouco acima de 5mil veículos diários unilaterais. Os autores utilizaram como limiar mínimo de retrorrefletividade 150mcd/m<sup>2</sup>/lux, referente a uma geometria de 30m, determinado em estudo anterior dos próprios. A pesquisa desenvolveu um modelo logarítmico relacionando à retrorrefletividade e à exposição das marcas ao tráfego, que apresentou  $R^2 = 0,31$ . A Equação 10 apresenta o cálculo desenvolvido pelos autores.

$$RL = -19.457 \ln(VE) + 267 \quad (10)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$VE$  = Veículos passantes em milhares.

### 2.2.6.7 Estudos desenvolvidos por Lindly e Wijesundera (2003)

Um estudo de Lindly e Wijesundera (2003), realizado no estado americano do Alabama, que consistiu em testar diferentes formas de modelos de regressão, determinou que o CTP tem uma relação maior com a retrorrefletividade do que a própria idade da demarcação. Os autores também consideraram outras variáveis secundárias, como localização geográfica, velocidade da via, largura da demarcação e tipo de pavimento, que não apresentaram significância estatística para o estudo, regido com equipamentos de medição de geometria igual a 30m. O modelo linear desenvolvido por Migletz et al. em 2001 foi considerado o de maior confiabilidade e é demonstrado na Equação 7.

$$RL = a + b \times CTP \quad (7)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$a$  e  $b$  = Coeficientes do modelo;

$CTP$  = Número acumulado de passagem do tráfego.

### 2.2.6.8 Estudos desenvolvidos por Thamizharasan et al. (2003)

Thamizharasan et al. (2003) apresentaram uma pesquisa onde desenvolveram modelos de degradação das pinturas de demarcação em rodovias interestaduais. Primeiramente, foi desenvolvido um modelo não linear em função do tempo. Os autores constataram que quando as demarcações são pintadas, a retrorrefletividade inicialmente aumenta até que as microesferas de vidro fiquem expostas e então o parâmetro começa a cair linearmente para valores mínimos. Isso ocorre por vários fatores, como ambiental e exposição ao tráfego. Foram levadas em consideração outras variáveis secundárias como cor da pintura, tipo de superfície, volume de tráfego e material utilizado na pintura. O estudo concluiu que o volume de tráfego não tem significância na perda de retrorrefletividade em trechos de retas. Os autores não apresentaram o VDM das rodovias estudadas na publicação. As Equações 11 a 14 apresentam os modelos desenvolvidos durante o estudo para geometria de 30m.

$$\text{Para termoplásticos brancos: } Diff = -0,06 \times t - 6,80 \quad (11)$$

$$\text{Para termoplásticos amarelos: } Diff = -0,03 \times t - 3,63 \quad (12)$$

$$\text{Para tinta branca: } Diff = -0,16 \times t + 1,22 \quad (13)$$

$$\text{Para tinta amarela: } Diff = -0,16 \times t - 4,29 \quad (14)$$

Onde:

$Diff$  = Diferença na retrorrefletividade ao longo do tempo em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Tempo em dias.

#### 2.2.6.9 Estudos desenvolvidos por Bahar et al. (2006)

Bahar e sua equipe realizaram uma pesquisa em onze estados dos Estados Unidos, objetivando não só observar o comportamento da retrorrefletividade, mas também quantificar a relação entre a retrorrefletividade das demarcações com a segurança viária ao longo do tempo. A pesquisa desenvolveu diversos modelos de previsão para múltiplos tipos de materiais de pintura, considerou também o clima da região e a quantidade de remoção de neve que ocorria nas localidades. Dentre os locais onde medições foram realizadas, o VDM médio foi de 9 mil veículos diários. Os modelos, desenvolvidos a partir de retrorrefletômetros com geometria igual a 30m, para o cenário do estudo, estão expressos na Equação 15.

$$RL = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \times t + \beta_2 \times idade^2} \quad (15)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Tempo em meses desde a pintura;

$\beta_0, \beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes do modelo.

A

Tabela 8 Tabela 8 apresenta os coeficientes a serem utilizados de acordo com o clima da região e remoção de neve (os coeficientes determinados no estudo para locais com neve foram suprimidos):

Tabela 8 - Coeficientes do modelo de Bahar et al. (2006).

Material	Cor	Clima	Remoção de neve	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Epóxi	Branca	Todos	Indiferente	2.95E-03	6.96E-05	-6.01E-07
Epóxi	Amarela	Todos	Indiferente	4.22E-03	1.33E-04	-8.40E-07
Metacrilato	Branca	Todos	Indiferente	2.65E-03	8.81E-05	3.00E-07
Metacrilato	Amarela	Todos	Indiferente	5.56E-03	8.76E-05	6.57E-06
Fita pré-fabricada	Branca	Todos	Indiferente	1.82E-03	1.96E-04	7.40E-07
Fita pré-fabricada	Amarela	Todos	Indiferente	2.59E-03	4.01E-04	-1.10E-07
Tinta à base de solvente	Branca	Todos	Indiferente	5.49E-03	3.35E-04	1.25E-05
Tinta à base de solvente	Amarela	Todos	Indiferente	7.82E-03	4.30E-04	1.40E-05
Termoplástico	Branca	Quente e úmido	Sem remoção	2.42E-03	1.32E-04	-1.18E-06
Termoplástico	Amarela	Quente e úmido	Sem remoção	4.89E-03	1.85E-04	-8.00E-08
Termoplástico	Branca	Misto e úmido	Sem remoção	2.52E-03	9.31E-05	-3.30E-07
Termoplástico	Amarela	Misto e úmido	Sem remoção	3.99E-03	1.79E-04	8.70E-07
Termoplástico	Branca	Quente e seco	Sem remoção	3.02E-03	1.79E-04	-2.48E-06
Termoplástico	Amarela	Quente e seco	Sem remoção	6.38E-03	2.58E-04	-1.30E-07
Tinta à base de água	Branca	Quente e úmido	Sem remoção	2.81E-03	2.19E-04	-4.14E-06
Tinta à base de água	Amarela	Quente e úmido	Sem remoção	4.20E-03	3.83E-04	-1.75E-06
Tinta à base de água	Branca	Misto e úmido	Sem remoção	2.99E-03	1.21E-04	1.00E-07
Tinta à base de água	Amarela	Misto e úmido	Sem remoção	4.25E-03	1.35E-04	-1.00E-09

Fonte: Adaptado de Bahar et al. (2006)

#### 2.2.6.10 Estudos desenvolvidos por Sasidharan et al. (2009)

Sasidharan et al. (2009) durante um ano fizeram medições periódicas em 88 pontos (com VDM variado) de rodovias da Pensilvânia, Estados Unidos, objetivando determinar modelos de degradação da retrorrefletividade das demarcações para implementar o sistema de manutenção estadual. Os autores, fazendo uso de equipamentos com geometria de 30m, chegaram a um modelo geral para os pavimentos do estado em condições exclusivas e fizeram uma comparação de custo-benefício entre diferentes materiais, que mostrou que tintas à base de água são mais econômicas do que o epóxi em longo prazo.



Os autores não determinaram um modelo específico de degradação da retrorrefletividade, apenas apresentaram uma fórmula geral que poderia ser utilizada na determinação do comportamento da retrorrefletividade, como demonstrado na Equação 16:

$$Retro_{it} = \beta X_{it} + \mu_i + V_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T; \quad (16)$$

Onde:

$Retro_{it}$  = Retrorrefletividade da demarcação do pavimento tipo "i" no tempo "t", em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$\beta$  = Vetor dos parâmetros estimados;

$X_{it}$  = Vetor das variáveis explicáveis;

$\mu_i$  = Efeito específico de seção transversal não observado;

$V_{it}$  = Erro agregado.

#### 2.2.6.11 Estudos desenvolvidos por Stizabee et al. (2009)

Stizabee et al. (2009) com equipamentos de geometria de 30m, averiguaram as características da retrorrefletividade em pavimentos da Carolina do Norte, EUA. As rodovias estudadas apresentaram VDM médio de 21 mil veículos bidirecionais. Com os dados obtidos e utilizando informações de pesquisas mais antigas, conseguiu-se chegar a modelos de degradação da retrorrefletividade tanto para termoplásticos quanto para tintas. O trabalho dos autores defendeu que a localização da demarcação, bordo ou eixo, deveria ser considerada como uma variável nos modelos para termoplásticos, além das variáveis já consagradas. O modelo para demarcações com materiais termoplásticos está apresentado na Equação 17.

$$RL = 190 + 0,39 \times Ri - 2,09 \times t - 0,0011 \times AADT + 20,7 \times x1 - 20,7 \times x2 + 19 \times x3 - 19 \times x4 \quad (17)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade (termoplástico) em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$Ri$  = Valor de retrorrefletividade no dia da aplicação em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade das demarcações em meses;

$AADT$  = Tráfego diário médio;

$x_1$  = Variável 1 para posição, se forem linhas de bordo,  $x_1 = 1$ , se não,  $x_1 = 0$ );

$x_2$  = Variável 2 para posição, se forem linhas de eixo,  $x_2 = 1$ , se não,  $x_2 = 0$ ;

$x_3$  = Variável 1 para cor, se forem brancas,  $x_3 = 1$ , se não,  $x_3 = 0$ ;

$x_4$  = Variável 2 para cor, se forem amarelas,  $x_4 = 1$ , se não,  $x_4 = 0$ .

Os autores também determinaram um modelo para tintas, como é mostrado na Equação 18:

$$RL = 55.2 + 0.77 \times Ri - 4.17 \times t \quad (18)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorefletividade (tinta) em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$RL_{inicial}$  = Retrorefletividade no dia da aplicação em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = idade das demarcações em meses.

O modelo para tintas foi de grande aceitação, já que apresentou valores de R<sup>2</sup> igual a 0,75.

#### 2.2.6.12 Estudos desenvolvidos por Rasdorf et al. (2009)

Um estudo realizado por Rasdorf et al. (2009) desenvolveu modelos para a determinação do ciclo de vida de demarcações com tinta à base de água em diferentes cenários no estado da Carolina do Norte, EUA, sempre com aparelhos de medição de geometria de 30m. Os autores utilizaram como variáveis independentes  $RL$  inicial, tempo e exposição ao tráfego. A maioria das localidades que receberam medições apresentavam VDM unidirecional inferior a 4 mil veículos. Foram determinados modelos para situações distintas, a primeira situação é quando se tem dados de retrorefletividade inicial das demarcações em questão, Equações 19 e 20.

$$\text{Para bordos brancos à base de água: } RL = Ri - 0.205 \times t \quad (19)$$

$$\text{Para eixos amarelos à base de água: } RL = Ri - 0.069 \times t \quad (20)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m na data desejada;

$Ri$  = Valor de retrorrefletividade no dia da aplicação em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = idade da demarcação em dias na data desejada.

E a segunda situação, caso não existam dados de retrorrefletividade inicial das demarcações, os autores sugerem o uso das Equações 21 e 22.

$$\text{Para bordos brancos à base de água: } RL = 310 - 0.205 \times t \quad (21)$$

$$\text{Para eixos amarelos à base de água: } RL = 143 - 0.069 \times t \quad (22)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade na data desejada em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = idade da demarcação em dias na data desejada.

Utilizando tais equações, foi determinado que a taxa de degradação de demarcações de bordo brancas pintadas com materiais à base de água é de -75mcd/m<sup>2</sup>/lux anual, tendo uma média de vida de serviço de 34,2 meses se o limiar de aceitação for de 100mcd/m<sup>2</sup>/lux e tiver um valor inicial em torno de 310mcd/m<sup>2</sup>/lux.

#### 2.2.6.13 Estudos desenvolvidos por Hummer et al. (2011)

Hummer et al. (2011), em estudo já citado, realizado em 25 estradas com tráfego bilateral no estado americano da Carolina do Norte, tentaram determinar um modelo de previsão para a deterioração da retrorrefletividade de demarcações viárias. Foram realizadas campanhas de medição periódicas durante quatro anos e dois modelos lineares de efeitos mistos foram determinados como mais adequados. Todas as medições foram realizadas com aparelho de

geometria igual a 30m. O VDM da maioria das rodovias era inferior a 4 mil veículos. Os modelos podem ser vistos nas Equações 23 e 24.

$$\text{Para demarcações brancas: } RL = Ri - 0,178 \times t \quad (23)$$

$$\text{Para demarcações amarelas: } RL = Ri - 0,065 \times t \quad (24)$$

Onde:

$RL$  = Valor de retrorrefletividade na data desejada em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$RL_{inicial}$  = Valor de retrorrefletividade no dia da aplicação em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em dias na data desejada.

#### 2.2.6.14 Estudos desenvolvidos por Mull e Stizabee (2012)

Mull e Stizabee (2012) realizaram estudos com objetivo de desenvolver um novo modelo de desempenho para pinturas de demarcação rodoviária, relacionando retrorrefletividade com o efeito das operações de remoção de neve das pistas. Primeiramente, foi utilizado o banco de dados do estado da Carolina do Norte, e depois, aplicou-se o modelo em outros estados dos Estados Unidos, sempre com geometria de 30m. Como os pesquisadores utilizaram um vasto banco de dados, o VDM das rodovias estudadas ia de 200 a 50.000 veículos diários. A conclusão dos autores foi que cada operação para retirada de neve do pavimento diminui em mais de um mês a vida útil da demarcação. A Equação 25 foi determinada pelos autores e chamada de “modelo final de degradação da retrorrefletividade em demarcações viárias pintadas com tinta”.

$$RL = 65,5 + 0,72 \times Ri - 2,55 \times t - 3,22 \times s - 0,0005 \times AADT \quad (25)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$Ri$  = Retrorrefletividade inicial em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Tempo de vida da demarcação em meses;

$s$  = Número de limpezas de neve realizadas;

$AADT$  = Tráfego diário médio.

#### 2.2.6.15 Estudos desenvolvidos por Ozelim e Turochy (2014)

Ozelim e Turochy (2014) realizaram estudos no estado americano do Alabama para determinar o comportamento da retrorrefletividade das demarcações rodoviárias na região, e com isso, desenvolver um modelo de previsão específico para as condições locais, empregando equipamentos com geometria de 30m. Foram utilizados como variáveis independentes a idade da demarcação, retrorrefletividade inicial e tráfego diário de veículos. Os autores conseguiram determinar, primeiramente, que valores de retrorrefletividade inicial não são totalmente significantes para estimativa de valores de retrorrefletividade residual. Também determinaram um modelo linear baseado em idade e volume de tráfego, os autores não apresentaram o VDM das rodovias estudadas no trabalho. As Equações 26 a 29 foram determinadas pelos autores.

Quando se possui valores de retrorrefletividade inicial:

$$\text{Para demarcações brancas: } RL = 512,5 - 5,026 \times t - 0,006580 \times AADT + 0,1833 \times Ri \quad (26)$$

$$\text{Para demarcações amarelas: } RL = 349,6 - 4,933 \times t - 0,002080 \times AADT - 0,1420 \times Ri \quad (27)$$

Quando não se possui valores de retrorrefletividade inicial:

$$\text{Para demarcações brancas: } RL = 619,4 - 5,130 \times t - 0,006990 \times AADT \quad (28)$$

$$\text{Para demarcações amarelas: } RL = 407,3 - 4,969 \times t - 0,002170 \times AADT \quad (29)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em meses;

$AADT$  = Tráfego diário médio.

$Ri$  = Retrorrefletividade inicial em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m.

### 2.2.6.16 Estudos desenvolvidos por Zhang et al. (2013)

Nenhum dos modelos de previsão de comportamento de retrorrefletividade apresentados anteriormente levou em consideração a textura do pavimento em que as demarcações estão inseridas. Zhang et al. (2013), entretanto, como já citado, chegou o mais perto disso, estudando o impacto do tipo de revestimento e de sua rugosidade na pintura de demarcação retrorrefletiva.

Utilizando o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e um retrorrefletômetro com geometria de 30m, identificaram que pavimentos com IRI mais elevado tendem a apresentar valores de retrorrefletividade mais baixos. Assim, puderam considerar uma diferença na vida útil das demarcações em pavimentos pré-misturados em usinas e pavimentos que receberam apenas tratamento superficial. Ainda, comentam que as equipes de pintura deveriam aplicar camadas de tinta mais espessas e uma mistura com maior presença de esferas de vidro quando o pavimento em questão apresentar irregularidade elevada. Os autores não disponibilizaram dados de tráfego das rodovias estudadas.

As Equações de 30 a 33 apresentam os modelos retirados do trabalho dos pesquisadores. É importante lembrar que a base de dados foi bem limitada, consistindo em apenas uma campanha de medição de retrorrefletividade em cada ponto, estes pontos relacionados estão em rodovias diferentes, tendo ações externas também diferentes, como tráfego.

Para pavimentos com CBUQ misturado em usina:

$$\text{Para linhas de eixo: } RL = 164,80 \times e^{-3E-04 \times t} \quad (30)$$

$$\text{Para linhas de bordo: } RL = 0,0016 \times \text{dias}^2 - 2,4313 \times t + 1040,4 \quad (31)$$

Para pavimentos com tratamento superficial:

$$\text{Para linhas de eixo: } RL = 0,0268 \times t + 73,76 \quad (32)$$

$$\text{Para linhas de bordo: } RL = 261,02 \times e^{-7E-4 \times t} \quad (33)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em dias.

### 2.2.6.17 Estudos desenvolvidos por Salles et al. (2015)

Salles et al. (2015) realizaram estudos em três trechos no interior do Rio Grande do Sul, Brasil, visando determinar o comportamento das demarcações viárias ao longo de dois anos e comparar a efetividade da norma brasileira com os parâmetros internacionais. Dos trechos, um era rodoviário, próximo à cidade de Júlio de Castilhos e dois urbanos, na cidade de Santa Maria. Os trechos possuíam materiais distintos, possibilitando, assim, o estudo do desempenho de cada um deles. Os autores realizaram, nos trechos urbanos, medições com retrorrefletômetro de dupla geometria, 15 e 30 metros, possibilitando a comparação dos resultados com as normas internacionais.

Dos trechos urbanos, um possuía demarcações transversais de diferentes materiais. O outro era constituído de linhas longitudinais de cor branca, por se tratar de via separada por canteiro central não apresentava demarcações amarelas. As Equações 34 e 35 apresentam modelos de desempenho da retrorrefletividade para a linha de bordo escolhida para o estudo (a de tráfego mais pesado, VDM de 10 mil veículos unidirecional).

$$\text{Para geometria de 15m: } RL = 387,13 \times e^{-0,002 \times t} \quad (34)$$

$$\text{Para geometria de 30m: } RL = 145,70 \times e^{-0,002 \times t} \quad (35)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em mcd/m<sup>2</sup>/lux para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em dias.

O trecho rodoviário era composto por pista simples, de mão dupla, dotado de linhas de bordo branca e linha de eixo amarela. O trecho era dotado de um VDM de 3 mil veículos unidirecionais. Neste trecho o equipamento utilizado pelos autores foi o retrorrefletômetro de geometria única, 30m. Os pesquisadores determinaram modelos de desempenho para os bordos e para o eixo separadamente. As Equações 36 e 37 apresentam estes modelos.

$$\text{Para os bordos: } RL = 161,23 \times e^{-0,002 \times t} \quad (36)$$

$$\text{Para o eixo: } RL = 112,01 \times e^{-0,001 \times t} \quad (37)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade residual em  $\text{mcd/m}^2/\text{lux}$  para geometria de 30m;

$t$  = Idade da demarcação em dias.

### 2.3 MACROTEXTURA DO PAVIMENTO NA RETRORREFLETIVIDADE

A macrotextura do pavimento é uma propriedade da superfície que se refere às variações verticais na superfície da estrada ao longo de um percurso longitudinal com comprimento de onda de 0,5mm (0,020pol.) a cerca de 50mm (1,969pol.) (Descornet, 1990; Gyenes e Mitchell, 1994; ASTM, 2004). Segundo Hill e Henry (1982) apud Pulugurtha et al. (2012), macrotextura é a profundidade média da parcela entre os agregados na superfície do revestimento que exerce papel fundamental no atrito pneu-pavimento quando a velocidade chega a 65km/h ou mais. A macrotextura também controla como as mudanças de atrito ocorrem com o aumento da velocidade de deslocamento (Kennedy et al. 1990; Gunaratne et al. 2003; Ergun et al. 2005; apud Pulugurtha et al. (2012)).

O tamanho dos agregados, graduação das misturas, tipo de pavimento, e porcentagem de ligante são fatores da construção da rodovia que afetam a macrotextura (Kennedy et al. 1990). Segundo Stroup-Gardiner et al. (2001), a macrotextura, em particular, foi considerada como principal fator de interferência na resistência à derrapagem quando a velocidade de deslocamento atinge 65km/h.

Vários estudos já discutiram a relação entre a resistência à derrapagem do revestimento e acidentes, Rizenbergs et al. (1972), Schulze et al. (1976), Gandhi et al. (1991), Hall Jr. et al. (2009) e Pulugurtha et al. (2012) são alguns exemplos. Porém, nenhum estudo discutiu a relação da macrotextura do pavimento com a taxa de perda de retrorrefletividade da sinalização horizontal.

O único estudo que correlacionou de alguma forma as duas características foi o de Castro e Alencar (2009), que realizaram medições apenas de retrorrefletividade inicial com equipamento de geometria de 15m em pinturas de demarcação viária realizadas em diferentes tipos de revestimento que apresentavam, então, diferentes valores de macrotextura. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com o objetivo de inferir o grau da associação linear entre as variáveis e sua dispersão. Ficou demonstrado que quanto mais uniforme a superfície do pavimento, maior será a incidência dos raios luminosos retrorrefletidos para o observador e, à medida que sua superfície se torna rugosa, mais difusa se torna a reflexão dos raios incidentes, diminuindo a retrorrefletividade.



## 2.4 MICROTTEXTURA DO PAVIMENTO NA RETRORREFLETIVIDADE

A parcela da superfície do pavimento entendida por microtextura depende da aspereza dos agregados utilizados na mistura asfáltica de revestimento. Essa aspereza é em função, principalmente, da composição mineralógica dos agregados e da estrutura desses, como por exemplo a existência ou não de arestas vivas.

A microtextura é fator predominante na resistência à derrapagem quando a velocidade de deslocamento do veículo é inferior a 50km/h. Conforme Berthier (1998) apud Ferreira (2002), os granulares contidos na mistura é que são responsáveis pelo bom desempenho ou não da microtextura. Os autores citam três requisitos para que o desempenho seja satisfatório: apresentar e conservar as arestas vivas por longo período de tempo; altos valores de dureza e resistência; não sofrer com polimento acelerado.

Segundo Mattos (2009), em dias chuvosos, o filme d'água se torna mais difícil de ser rompido em velocidades mais elevadas, devido ao menor tempo de contato entre o pneu e o pavimento, sendo necessário, então, que a drenagem superficial do pavimento esteja em boas condições, para que a microtextura continue influenciando no atrito.

Não há estudos que correlacionem a microtextura do pavimento com o comportamento da retrorrefletividade de suas demarcações horizontais.

## 2.5 IFI – INTERNATIONAL FRICTION INDEX NA RETRORREFLETIVIDADE

Objetivando unificar as medidas de atrito e de textura foi desenvolvido um índice, aceito internacionalmente, para avaliação da irregularidade do pavimento, cujo desenvolvimento inicial originou-se no Brasil, em pesquisas realizadas na década de 1980. Nesse índice, os valores de aderência, tanto para macro quanto para microtextura podem ser quantificados através de um número composto denominado *International Friction Index* (IFI).

Esse índice foi desenvolvido em 1992, pela Permanent International Association of Road Congress, conhecida hoje como World Road Association (PIARC). No experimento, centenas de equipamentos de diversos países foram utilizados para determinação e correlação de medidas de textura e atrito.

O experimento selecionou 54 locais, 28 situados na Bélgica (22 em rodovias nacionais, 2 em aeroportos e 4 em um circuito fechado de corridas) e 26 na Espanha (18 em rodovias nacionais, 1 no aeroporto de Alicante e 7 em bases aéreas) (Wanbold et al. 1995). Pistas

experimentais foram descartadas buscando variáveis verdadeiras de tráfego. Rodovias em serviço foram escolhidas por possuírem diferentes tipos de materiais, desgaste e polimento variado, apresentando, então, uma grande abrangência de atrito e textura superficial. A escolha de segmentos de estudo em dois países distintos objetivou resultados em clima seco e úmido (Aps, 2006).

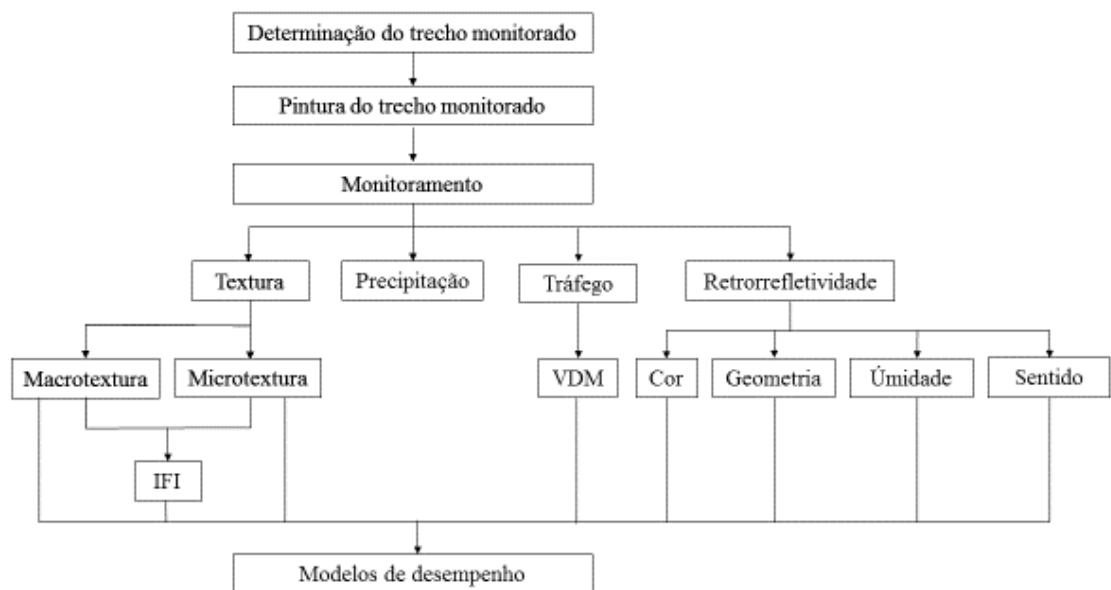
A pesquisa em seu fim, resultou em um total de 15000 valores no banco de dados para diversos tipos de superfícies. Através deles, foi possível criar uma escala comum que quantificasse a aderência no pavimento molhado. Esta escala comum, baseada em medidas de atrito ( $F_{60}$ ) e textura ( $S_p$ ), foi denominada então IFI – International Friction Index, cujo procedimento está descrito na ASTM E-1960 (ASTM, 2001; Wambolt et al., 1995). Assim como ocorreu em relação a microtextura, não há estudos que correlacionem o IFI do pavimento com os valores de retrorrefletividade de suas demarcações.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

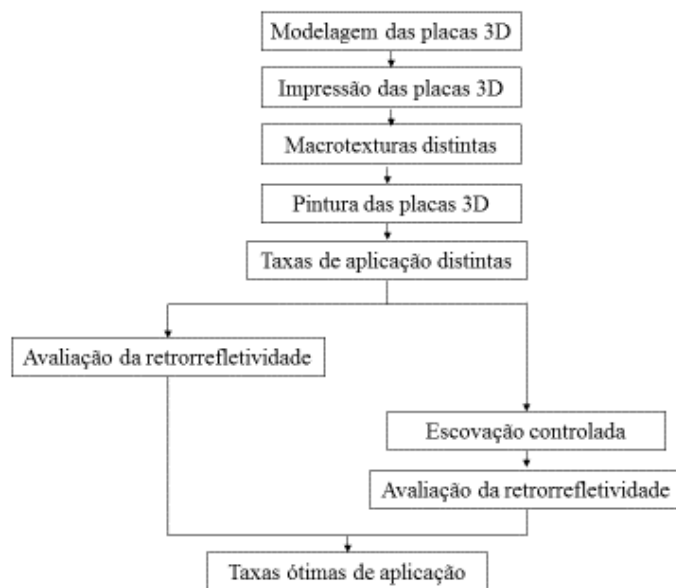
A pesquisa teve como foco principal acompanhar o desempenho da retrorrefletividade em pinturas de demarcação rodoviária aplicadas sobre MRAF, buscando, assim, entender os valores iniciais e taxas de degradação e compará-los com estudos realizados em outros revestimentos. Para realização do acompanhamento, campanhas de medições de retrorrefletividade, macrotextura e microtextura foram realizados em um trecho experimental. A Figura 10 apresenta o fluxograma dessa parte da pesquisa.

Figura 10 - Fluxograma do acompanhamento de trecho monitorado.



Além disso foram confeccionadas, com auxílio de impressora 3D, chapas de plástico que simulam superfícies de determinadas classes de macrotextura distintas. As chapas foram pintadas, da mesma maneira como ocorre em pavimentos, com a utilização de taxas de microesferas de vidro conhecidas, para que fosse possível a análise do comportamento dos valores de retrorrefletividade apresentados por estas, e determinação se a macrotextura influencia nos valores de retrorrefletividade. A Figura 11 apresenta o fluxograma dessa parte da pesquisa.

Figura 11 – Fluxograma das modelagem e análise das placas 3D.



### 3.2 CENÁRIO DE PESQUISA

No final do mês de março do ano de 2016, a empresa responsável pela sinalização da rodovia BR-287, COTREL - TERRAPLENAGEM E PAVIMENTACOES EIRELI, iniciou o serviço de implantação das demarcações viárias.

A rodovia situa-se na cidade de Santa Maria (Figura 12), Rio Grande do Sul e é de suma importância para o município, visto que é uma ligação do centro da cidade com a Universidade Federal de Santa Maria, que conta com mais de 30 mil alunos, além de técnicos administrativos e professores; e com a Base Aérea de Santa Maria que possui efetivo de quase 1,5 mil pessoas. Possuindo um VDM de 29014 bidirecional, essa rodovia também faz a ligação da cidade com Porto Alegre, capital do estado. Durante a fase inicial da pesquisa até próximo de seu fim, a rodovia BR-287 fora de jurisdição do DNIT. Ao final do ano de 2017, enquanto a pesquisa era finalizada, a jurisdição passou para o DAER. A Figura 13 apresenta o trecho da rodovia em que o segmento de estudo situa-se.

Figura 12 - Cidade de Santa Maria no mapa do Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptada de Wikipédia (2018).

Figura 13 - Trecho da BR-287 onde se localiza o segmento de estudo.



Fonte: Adaptada de Google Earth (2018).

O trecho escolhido para o estudo fica no km 238 desta rodovia, como localizado na Figura 14. É constituído de uma rodovia de mão dupla e pista simples, com velocidade admitida de até 60km/h. Por possuir densidade populacional elevada, o trecho é classificado como urbano. A sinalização horizontal do segmento de estudo possui faixa dupla contínua no eixo, impedindo ultrapassagens, completando quatro faixas de pintura. Tanto as demarcações de eixo como as de bordo possuem 15 centímetros de largura. O trecho também é dotado de dispositivos auxiliares de sinalização horizontal, tachas nos bordos e tachões no eixo.

Figura 14 - Segmento de estudo.



Fonte: Adaptada de Google Earth (2018).

O trecho inteiro recebeu microrrevestimento asfáltico a frio e as duas faixas receberam pintura de demarcação no mesmo dia, tendo assim todas as variáveis referentes à pintura, como tinta, quantidade de microesferas, equipe de aplicação, equipamento de aplicação e sentido de aplicação (sendo o sentido do tráfego para as linhas de bordo e o mesmo sentido para as linhas de eixo), iguais. A pintura foi realizada no dia 31 de março de 2016 no eixo da pista e no dia 05 de abril de 2016 nos bordos. A Figura 15 mostra a equipe de pintura realizando o serviço no segmento escolhido.

Figura 15 - Equipe de pintura realizando demarcação no segmento escolhido.



Fonte: Arquivo pessoal.

Os materiais utilizados para a realização da pintura foram tinta à base de água, tanto a de cor amarela quanto a de cor branca, pintadas em uma camada de 0,6mm, e as microesferas eram do tipo I-B para incorporação na tinta antes da aplicação (premix) e II-C para aplicação pneumática concomitantemente com a tinta (drop-on). A taxa de aplicação de drop-on foi de 400g/m<sup>2</sup>.

O segmento foi dividido em 5 estações de medição, conforme sentido do crescimento da quilometragem da via (Figura 16), onde cada linha de demarcação foi dividida em 20 pontos de leitura, ficando cada estação com 80 pontos, totalizando 400 pontos de avaliação. Para que os levantamentos fossem sempre realizados exatamente nos locais previstos, os pontos foram demarcados através de pinturas transversais na pista, fora das linhas da sinalização, com o tamanho exato da área de medição do retrorrefletometro utilizado no estudo, conforme Figura 17.

Figura 16 - Alocação das estações de medição.



Fonte: Adaptado Google Earth (2018).

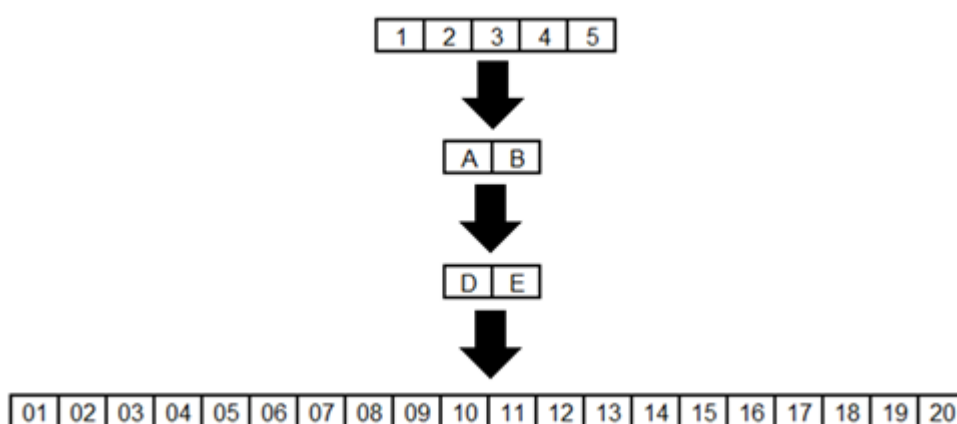
Figura 17 - Pontos de análise demarcados na via.



Fonte: Autor.

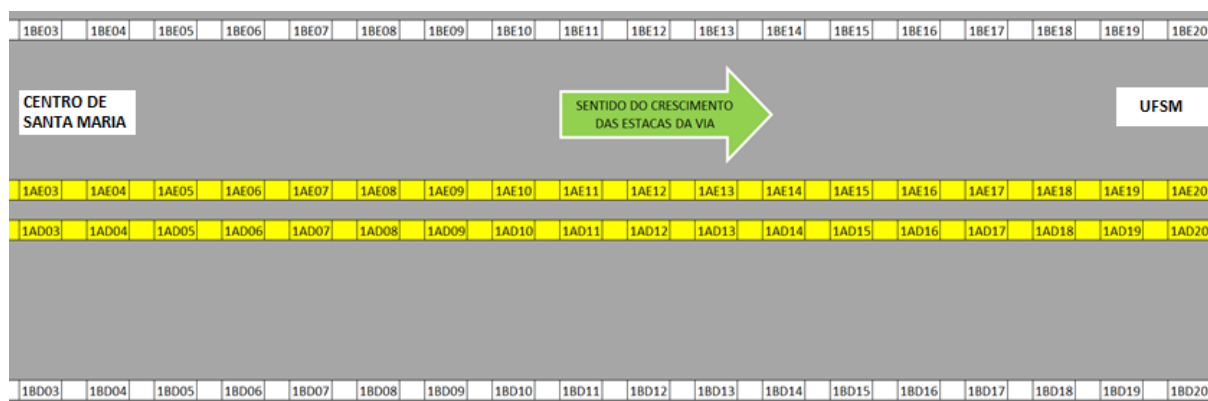
Os pontos receberam nomes específicos conforme posicionamento, sendo os nomes compostos por cinco caracteres. O primeiro representando a estação em que se encontra (“1” a “5”), o segundo descrevendo a cor da demarcação (“A” quando amarela e “B” quando branca), o terceiro referente à faixa (“D” quando na direita e “E” quando na esquerda) e ordem em que está posicionado na estação completa a nomenclatura (“01” a “20”). A Figura 18 apresenta um diagrama de como foi realizada a nomeação de cada um dos pontos.

Figura 18 - Diagrama de nomenclatura dos pontos.



Por exemplo, o ponto 2BD11 corresponde à estação de medição número 2, cor branca, faixa da direita e é o decimo primeiro ponto desta estação contada no sentido do crescimento da quilometragem da rodovia. A Figura 19 apresenta como exemplo a nomenclatura imposta à estação número 1.

Figura 19 - Exemplo de nomenclatura inserida na estação de medição número 1.





A marcação dos pontos de medição resultou numa matriz composta por 400 pontos específicos. Todos estes pontos foram acompanhados durante dois anos de pesquisa, sendo alguns com medições de retrorrefletividade residual, com pista seca e molhada, e alguns dos pontos foram eleitos para que tivessem seus valores de macro e microtextura acompanhados durante a realização do estudo, conforme será detalhado na sequência.

Durante esses dois anos de pesquisa, diversas campanhas de levantamentos foram realizadas, tanto para medição da retrorrefletividade quanto dos valores de macro e microtextura. A Tabela 9 apresenta quando os levantamentos foram realizados. Posteriormente, cada um dos levantamentos será detalhado neste trabalho.

Tabela 9 - Cronograma de avaliações seguido pela pesquisa.

(Continua)

Dias decorridos após pintura	Retro. em pista seca	Retro. em pista seca - sentido oposto ao de pintura	Retro. em pista úmida	Retro. em pista seca - após realização de limpeza	Macrotextura	Microtextura
0	X					
1	X					
2	X					
7	X					
15	X					
30	X					
60	X	X	X	X	X	
90	X	X	X	X		
120	X	X	X	X		
150	X	X	X	X	X	X
180	X	X	X	X		
210	X	X	X	X		
240	X	X	X	X	X	X
241*	X	X	X	X	X	X
270	X	X	X	X		
300	X	X	X	X		
330	X	X	X	X	X	X

Tabela 9 - Cronograma de avaliações seguido pela pesquisa.

(Conclusão)

Dias decorridos após pintura	Retro. em pista seca	Retro. em pista seca - sentido oposto ao de pintura	Retro. em pista úmida	Retro. em pista seca - após realização de limpeza	Macrotextura	Microtextura
360	X	X	X	X		
430	X	X	X	X	X	X
720	X	X	X	X	X	X

\*Aos 241 dias o levantamento do dia 240 foi refeito após realização de limpeza geral das demarcações afim de verificar se a sujeira estaria interferindo nos resultados.

A escolha de avaliações de retrorrefletividade mais recorrentes nos primeiros dias se deu pela maior variação nos valores. É importante salientar que aos 390 dias após a realização da pintura de demarcação, o revestimento apresentava sérios defeitos superficiais, principalmente nas trilhas de roda. Para resolver o problema, alguns locais foram fresados pela mesma empresa responsável pelo MRAF e recapados. Esse processo fez com que alguns dos pontos avaliados nesta pesquisa fossem contaminados por este revestimento de recapagem ou repintados. A pesquisa se seguiu na mesma metodologia para os dois levantamentos posteriores a essa intervenção, porém sem a medição destes pontos.

### 3.3 AVALIAÇÃO DE MACROTEXTURA

A determinação da macrotextura dos pontos de demarcação foi realizada pelo método de mancha de areia, seguindo a norma ASTM E 965/2015. Foram eleitos doze pontos em cada uma das cinco estações para que tivessem sua macrotextura acompanhada desde a pintura do pavimento. Os pontos escolhidos foram o primeiro, décimo e vigésimo ponto de cada linha em todas as estações, a fim de elencar pontos distantes entre si, como exemplificado na Figura 20.

Figura 20 - Pontos com acompanhamento da macrotextura desde a pintura (em preto).



As medidas foram realizadas exatamente sobre os pontos definidos, assim é possível saber com precisão a influência da macrotextura em cada um destes locais. Foi tomado o cuidado de não realizar ensaios de mancha de areia antes dos ensaios de retrorrefletividade, para que a areia utilizada não encobrisse as microesferas, prejudicando, assim, as leituras. De acordo com a norma, os pontos avaliados apresentam um diâmetro médio de areia, e com este valor calcula-se a altura média de areia (HS). A Figura 21 apresenta algumas etapas do levantamento sendo realizado.

Figura 21 – Levantamento de mancha de areia realizado sobre a sinalização.



A Tabela 10 apresenta as classes de macrotextura conforme a altura média de areia e traz as abreviações para elas utilizadas neste trabalho.

Tabela 10 - Classes de macrotextura.

Classe	Altura média de areia (mm)	Abreviação
Muito fechada ou muito fina	$HS \leq 0,20$	MF
Fechada ou fina	$0,20 < HS \leq 0,40$	FE
Média	$0,40 < HS \leq 0,80$	ME
Aberta ou grosseira	$0,80 < HS \leq 1,20$	AB
Muito aberta ou muito grosseira	$HS \geq 1,20$	MA

Fonte: Adaptado de BERNUCCI, L. C. et al. Pavimentação Asfáltica.

O primeiro ensaio de mancha de areia foi realizado dois dias antes do início das pinturas. Com isso, tornou-se possível determinar a macrotextura dos locais definidos antes das pinturas serem realizadas. A segunda determinação de macrotextura foi realizada 60 dias após a pintura, com os resultados foi possível determinar a macrotextura dos pontos de demarcação já com os volumes de tinta e microesferas inseridos, contando também com a ação abrasiva do tráfego, o que torna o valor mais representativo para a comparação com levantamentos posteriores. Os pontos voltaram a receber levantamentos de macrotextura a cada três meses durante o primeiro ano. No segundo ano de pesquisa, os pontos receberam levantamentos aos 420 e 720 dias.

Com os resultados dos dois primeiros levantamentos, foi possível determinar um coeficiente com o qual se pôde estimar a macrotextura de qualquer ponto na semana anterior à pintura, apenas conhecendo sua macrotextura 60 dias após tal data. A Equação 38 apresenta o modelo utilizado para transformação.

$$\text{Para bordo direito: } HS_{\text{inicial}} = 1,043 \times HS_{60} + 0,346 \quad (R^2 = 0,61) \quad (38)$$

Onde:

$HS_{\text{inicial}}$  = Altura média de mancha de areia inicial estimada;

$HS_{60}$  = Altura média de areia medida após 60 dias de idade da demarcação.

Fazendo uso deste coeficiente, foi determinada a classificação da macrotextura do revestimento de mais vinte pontos, além dos quais já possuíam resultados. Esses vinte novos pontos foram eleitos para receber limpeza periódica a partir do segundo mês de vida útil, conforme será apresentado posteriormente neste trabalho.

### 3.4 AVALIAÇÃO DE MICROTEXTURA

Assim como o acompanhamento que estava sendo realizado da macrotextura apresentada pelos pontos através de ensaios de mancha de areia, definiu-se que a partir do 150º dia de vida das linhas, os mesmos pontos que haviam sua macrotextura avaliada receberiam ensaios de microtextura, a fim de avaliar o comportamento da retrorefletividade com a variação desta característica. Sendo assim, ao 150º dia, os 60 pontos tiveram o primeiro levantamento.

O equipamento utilizado para tal determinação foi o pêndulo britânico. A norma seguida foi a ASTM E 303/2015, sendo realizado, então, nas mesmas datas da realização da mancha de areia, 150, 240, 330, 420 e 720 dias. A Figura 22 apresenta o levantamento sendo realizado sobre as demarcações.

Figura 22 - Levantamento de Pêndulo Britânico sendo realizado sobre as demarcações.



### 3.5 AVALIAÇÃO DE RETRORREFLETIVIDADE

Os levantamentos foram realizados seguindo metodologia adaptada da NBR 14723-13 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15m. Segundo ela, o equipamento que deve ser utilizado é o retrorefletômetro com ângulo de observação de 1,5° e ângulo de incidência 86,5°. A norma pede para que ele seja calibrado antes das campanhas de levantamentos.

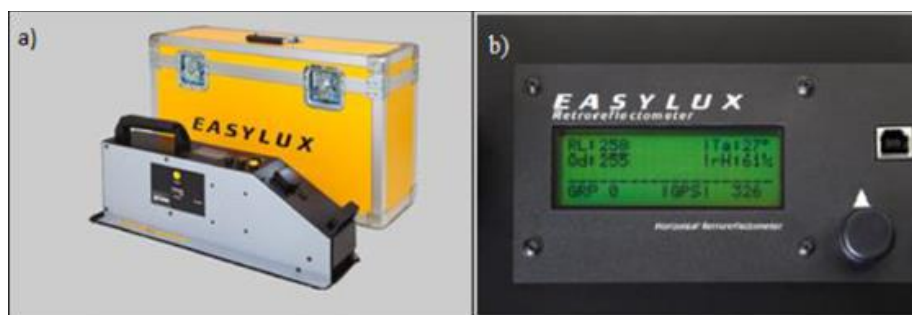
#### 3.5.1 Equipamento Utilizado

Na pesquisa, o equipamento utilizado foi o Easylux de dupla geometria. Este retrorefletômetro foi fabricado na cidade de Santo André, São Paulo, pela empresa brasileira

*Easylux Retroreflectometers*. Ele é capaz de realizar leituras tanto na geometria de 15m, quanto de 30m, de forma simultânea. Possui área de leitura de 153cm<sup>2</sup>, 9 cm de largura e 17 cm de comprimento e ângulos de incidência e observação são respectivamente 1,5° e 86,5° para geometria de 15m, e de 1,05° e 88,76° para geometria de 30m.

O equipamento, além de obedecer à norma brasileira, também obedece a uma série de normas internacionais, dentre elas a americana, ASTM E-1710/11 e a europeia, EN 1436/08. O retrorrefletômetro possui, ainda, calibração instantânea e dispõe de cerdas aplicadas à superfície de contato do aparelho com o pavimento, a fim de vedar a área de leitura perante a luminosidade ambiente. Na Figura 23 aparecem o equipamento e seu monitor.

Figura 23 - a. Retrorrefletômetro b. Monitor do equipamento.



Fonte: Adaptada de Easylux (2016).

### 3.5.2 Levantamentos

Em todas as campanhas de monitoramento de retrorrefletividade, os 400 pontos tiveram sua medida avaliada pelo menos uma vez. Após dois meses de pintura, foi estipulado que as medições em alguns pontos, além de realizadas em pista seca, seriam feitas em pista úmida, conforme norma europeia BS EN 1436:2007. Além disso, alguns pontos foram eleitos para receberem limpeza e nova leitura de sua retrorrefletividade, para que se possa determinar a influência deste tipo de manutenção nos valores. Outro ponto estudado pela pesquisa foi se o sentido em que o equipamento realiza a leitura influencia nos valores de retrorrefletividade, para isso alguns pontos receberam leituras também no sentido oposto ao de pintura.

### 3.5.2.1 Levantamentos com demarcações secas

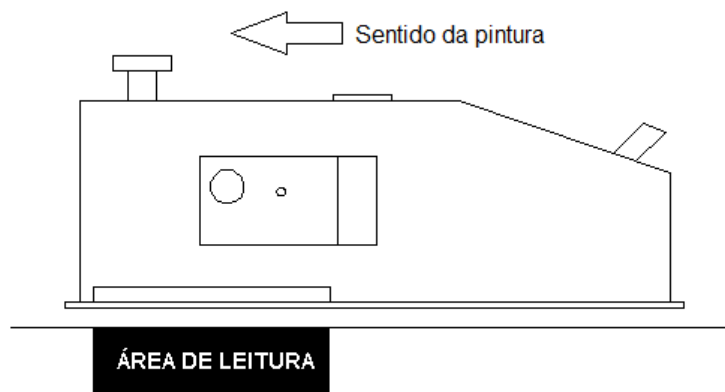
Os 400 pontos receberam acompanhamento de sua retrorrefletividade quando secos desde o dia de sua pintura. As datas estipuladas foram ao encontro com o que a literatura tem apresentado: a variação de valores na retrorrefletividade é maior nos primeiros dias após a pintura. Com isso, no primeiro mês de vida das demarcações, foram realizadas seis campanhas de levantamentos. A partir do trigésimo dia, apenas uma medição mensal foi realizada. Ao final de um ano, mais dois levantamentos foram realizados, um aos 420 dias e outro aos 720. A Tabela 11 apresenta a frequência em que os levantamentos em demarcações secas foram realizados.

Tabela 11 – Idade da demarcação ao receber campanha de levantamentos de retrorrefletividade.

<b>Levantamentos no 1º mês. (Dias)</b>	<b>Levantamentos entre o 2º e 24º mês. (Dias)</b>
00	60
01	90
03	120
07	150
15	180
30	210
	240
	270
	300
	330
	360
	420
	720

Uma campanha de levantamentos com demarcações secas consistiu em posicionar o retrorrefletômetro sobre cada um dos pontos demarcados, no sentido em que foram pintados (Figura 24) e fazer a leitura da retrorrefletividade apontada pelo equipamento tanto para a geometria de 15m quanto para de 30m.

Figura 24 - Posicionamento do retrorrefletômetro segundo NBR 14723.



O valor absoluto da retrorrefletividade para cada linha de cada estação é dado pela Equação 39. A equação é adaptada da norma brasileira NBR 14723-13, onde pede para que sejam realizadas medições em dez pontos por estação e o valor da retrorrefletividade daquela demarcação para aquela estação se dá pela média deles, quando descartados o maior e menor valor medido. Como neste estudo cada linha de estação apresenta vinte pontos, os dois maiores e os dois menores foram excluídos e a média realizada dos dezesseis valores restantes foi usada para representar o valor de retrorrefletividade daquela linha. Os valores gerais de retrorrefletividade se dão pela média dos valores das cinco estações de medição.

$$RL = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{20} - x_{\text{máx}1} - x_{\text{máx}2} - x_{\text{mín}1} - x_{\text{mín}2}}{16} \quad (39)$$

Onde:

$RL$  = Retrorrefletividade;

$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{20}$  = Soma das vinte medidas de retrorrefletividade mostradas pelo equipamento para esta linha;

$x_{\text{máx}1}$  = medida que apresenta o maior valor de retrorrefletividade entre as 20;

$x_{\text{máx}2}$  = medida que apresenta o segundo maior valor de retrorrefletividade entre as 20;

$x_{\text{mín}1}$  = medida que apresenta o menor valor de retrorrefletividade entre as 20;

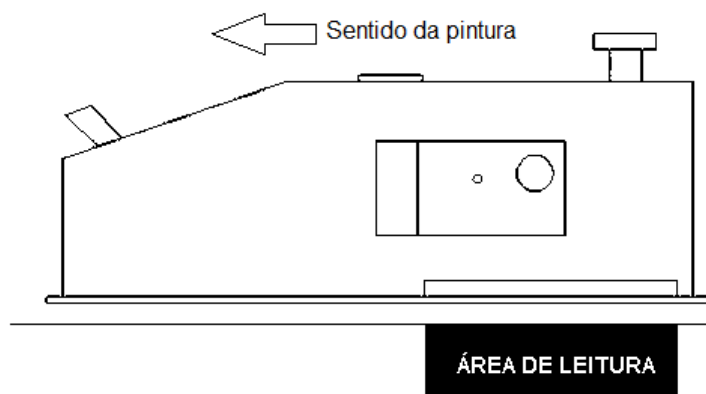
$x_{\text{mín}2}$  = medida que apresenta o segundo menor valor de retrorrefletividade entre as 20.



### 3.5.2.2 Levantamentos em sentidos opostos

Segundo a literatura consultada (Rasdorf et al. (2009)), o posicionamento do retrorrefletometro sobre a área de leitura pode influenciar os resultados. Sendo assim, determinou-se que a partir do segundo mês após implantação das marcas, alguns pontos começariam a receber levantamentos além do sentido de pintura, no sentido contrário a este, como aparece na Figura 25. O equipamento teve sua área de leitura posicionada exatamente sobre o mesmo ponto nas duas medições, e foram medições subsequentes, possibilitando a comparação de resultados sem a influência de nenhuma outra variável.

Figura 25 - Posicionamento do retrorrefletômetro quando medido no sentido oposto.



Essa metodologia foi aplicada em todos os levantamentos que ocorreram após o momento em que as demarcações alcançaram a idade de 60 dias. Assim, as demarcações já sofreram o desgaste inicial do tráfego e as microesferas inseridas no premix já estão agindo. Totalizaram-se treze campanhas de levantamentos em que esta metodologia foi aplicada.

Os pontos escolhidos para receber tal metodologia de estudo foram os mesmos que tiveram seu valor de macrotextura definidos antes da pintura ser realizada. A escolha destes pontos foi feita visando a quantidade de detalhes das características mais elevada dos mesmos.

### 3.5.2.3 Levantamentos com demarcações úmidas

Para realização de ensaios em demarcações úmidas foi adotado o procedimento descrito no anexo B.6 da norma europeia BS EN 1436:2007. A norma descreve a condição de ensaio

sendo criada usando água limpa derramada por um balde de uma altura de cerca de 0,3m acima da superfície. A água é despejada uniformemente ao longo da superfície de teste para que um filme de água momentaneamente inunde o campo de medição e arredores.

O coeficiente de retrorrefletividade em condição de umidade deve ser medido nas condições do teste  $60 \pm 5$  segundos depois de a água ser distribuída, com o equipamento posicionado no sentido em que a pintura foi realizada. A quantidade de água limpa por local de ensaio deve ser de pelo menos 3 litros, utilizou-se 3 litros como volume padrão para cada ponto de medição. Em caso de a superfície do pavimento estar muito quente, o procedimento descrito acima deve ser realizado mais de uma vez, para que a superfície esfrie e, assim, não seque muito rapidamente.

Essa metodologia foi aplicada em todos os levantamentos que ocorreram a partir do momento em que as demarcações alcançaram 60 dias de idade. Os pontos escolhidos para receber tal metodologia de estudo foram os mesmos que tiveram seu valor de macrotextura medidos antes da pintura ser realizada. A escolha destes pontos foi feita para se ter mais detalhes sobre eles e possibilitar a verificação da influência da macrotextura na drenagem superficial das demarcações.

#### *3.5.2.4 Levantamentos com demarcações antes e após limpeza*

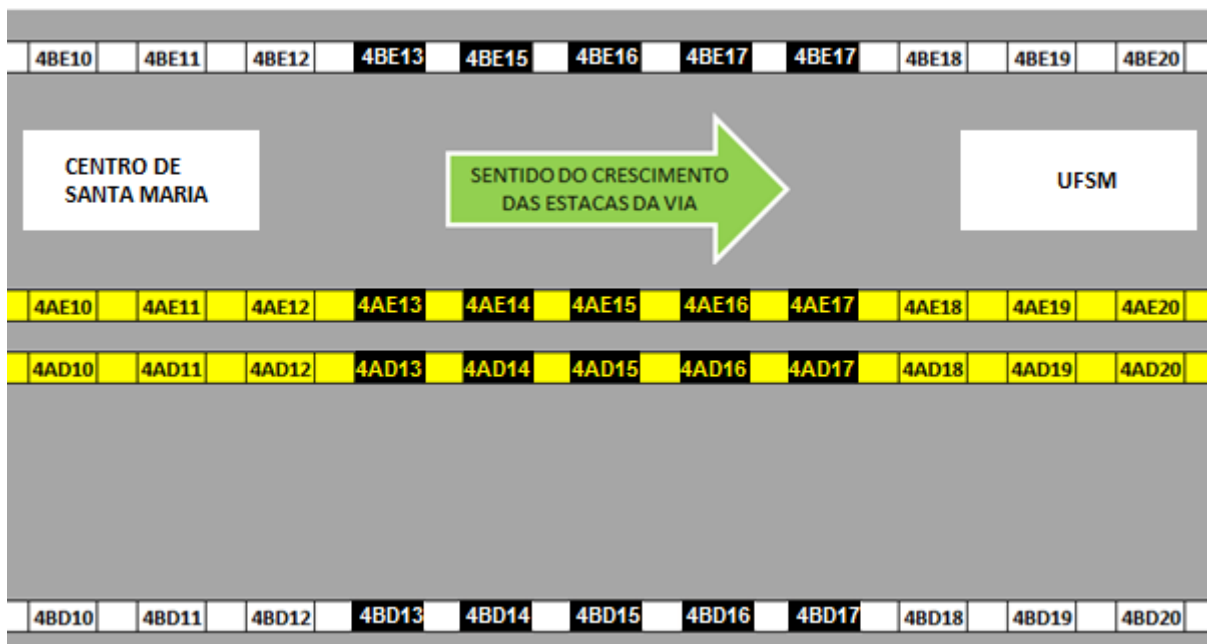
Para verificar ativamente o efeito de limpeza das demarcações, determinou-se que 20 pontos seriam eleitos para que, a partir da idade de 60 dias da demarcação, começassem a receber limpeza periódica mensal. A metodologia empregada consiste inicialmente na determinação da retrorrefletividade dos 20 pontos normalmente, como consta na seção “levantamentos com demarcações secas”. Após isso, foi realizada uma rápida limpeza destes pontos, utilizando água limpa e vassoura macia, e, depois de a demarcação seca, a medida de retrorrefletividade foi refeita seguindo novamente a metodologia de “levantamentos com demarcações secas”. Esse procedimento ocorreu mensalmente até a finalização do primeiro ano e após, mais duas campanhas foram realizadas, aos 420 e 720 dias. A Figura 26 apresenta a metodologia sendo aplicada.

Figura 26 - Retrorefletividade pré e após limpeza.



Todos os pontos estão alocados na estação de medição número 4, dispostos lado a lado conforme Figura 27. Os pontos escolhidos estão em sequência para facilitar a logística de ensaio.

Figura 27 - Pontos eleitos para receber limpeza em preto.



\*Pontos em preto receberam limpeza.

Os pontos citados acima não tiveram suas macrotexturas medidas antes da aplicação da tinta. Para determinação de tal, ensaios de mancha de areia foram realizados na idade de 60 dias das demarcações e através do modelo desenvolvido com dados de outros pontos, os valores de macrotextura inicial destes então foram estimados.

## 3.6 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO

### 3.6.1 Volume Diário Médio

Para que o volume diário médio fosse determinado no trecho estudado, foi utilizada uma metodologia adaptada do Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), aplicada também pela Rede Temática de Asfalto (2012), que é uma rede de universidades em parceria realizando acompanhamento técnico de diversas rodovias brasileiras, a fim de determinar um novo método de dimensionamento de pavimento flexíveis no Brasil. A contagem é realizada manualmente por dois indivíduos posicionados ao lado da faixa de rolamento, cada um fazendo a contagem de um sentido, de posse de uma ficha demonstrada na Figura 28 (nela, cada tipo de veículo está exemplificado).

Os responsáveis pela contagem de tráfego devem fazer uma marcação na ficha que corresponda a cada veículo que tenha cruzado o trecho. O cartão é trocado a cada hora, para que o espaço suficiente para contagem seja assegurado. O período de contagem foi de dezesseis horas, das 6 às 22 horas, durante uma quarta-feira, de uma semana considerada comum, sem feriados, e com condições de clima bom. Nos dias e horários desta semana em que não houveram contagem, os valores foram extrapolados de acordo com metodologia utilizada por DOS SANTOS (2015).

A determinação do volume diário médio se dá, então, pela soma de todos os veículos passantes durante o horário de contagem mais a extrapolação para as horas em que não foi realizada a contagem. A contagem ocorreu no dia 12 de abril de 2017.

Figura 28 - Ficha para contagem de tráfego.

Data da contagem:		Hora de início:		Hora de término:				
Local da contagem em marco quilométrico:				Posto:				
<b>A</b>	Trecho:			<b>B</b>	Sentido:		A  B <input type="checkbox"/> B  A <input type="checkbox"/>	
TIPO DE VEÍCULO		CONFIGURAÇÃO	Horário		Total	Horário		Total
Moto								
Carro de passeio								
Utilitário, pick-up e furgão								
Ônibus (2 eixos)								
Ônibus (3 eixos)								
Caminhão médio	2C							
	3C							
	4C							
Caminhão semi-reboque	2S1							
	2S2							
	2S3							
	2S3							
	3S3							
Duplo semi-reboque	3S2S2							
Caminhão + reboque	2C2							
	2C3							
	3C2							
	3C3							
Treminhão	3C2C2							
Rodotrem	3S2C4							
Outros								

Fonte: Manual de Execução de Trechos Monitorados (2012) – Rede Temática de Asfalto

### 3.7 DETERMINAÇÃO DA CHUVA ACUMULADA

A determinação do volume de chuva acumulada se deu conforme dados extraídos do site oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O portal disponibiliza dados de temperatura, umidade, pressão, radiação e chuva para cada hora do dia. O volume da precipitação acumulada em cada campanha de ensaios foi sempre o somatório simples da quantidade de chuva em milímetros registrada pela estação pluviométrica nas últimas 72 horas (3 dias) precedentes ao levantamento.

A localização da estação é -29,724960 latitude e -53,720469 longitude e 103 metros de altitude. Situa-se no bairro Camobi, o mesmo em que se encontra o trecho estudado. A distância

entre os dois locais é de cerca de 3.200 metros. A Figura 29 apresenta a localização da estação de medição em relação ao trecho experimental.

Figura 29 - Localização da estação pluviométrica.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

### 3.8 PINTURA DE CHAPAS 3D COM DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO

Além do monitoramento do trecho experimental, foram confeccionadas chapas em uma impressora 3D que simulam a altura média de areia em diferentes classes de macrotextura na superfície de pavimentos. Como o pavimento do segmento estudado não apresentava grande amplitude de valores de altura média de areia em ensaios de mancha de areia, o que impossibilitou uma conclusão cabal sobre o comportamento dos valores de retrorrefletividade, confeccionou-se então, as placas, com alturas de areia medias bem distintas.

Primeiramente pensou-se em replicar superfícies de pavimento reais, com distintas classes de macrotextura. Após análise, foi constatado que seria mais coerente a utilização de superfícies fictícias, porém com toda a sua extensão apresentando a mesma altura média de areia. As superfícies adotadas são então padrões que apresentam a mesma altura de areia de uma superfície de pavimento através de elevações e depressões na superfície da placa.

Inicialmente as placas foram modeladas digitalmente, através do programa AutoCad, com dimensões de 11x19cm. Através de ferramentas de medida de volume do próprio software,

foi possível aplicar a macrotextura desejada em cada uma das placas. Foram modeladas chapas com três alturas de areia (HS) diferentes, resultando em três classes de macrotextura distintas. Os valores de HS para as placas foram de 0,35mm, 0,70mm e 1,30mm, resultando em placas de macrotextura fechada, média e muito aberta, respectivamente. Cada modelo teve cinco cópias impressas, resultando em quinze placas no total. Não foram confeccionadas placas com HS menores por limitações técnicas da impressora utilizada. As Figura 30 a 32 apresentam os modelos criados já no software utilizado para impressão.

Figura 30 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura fechada.

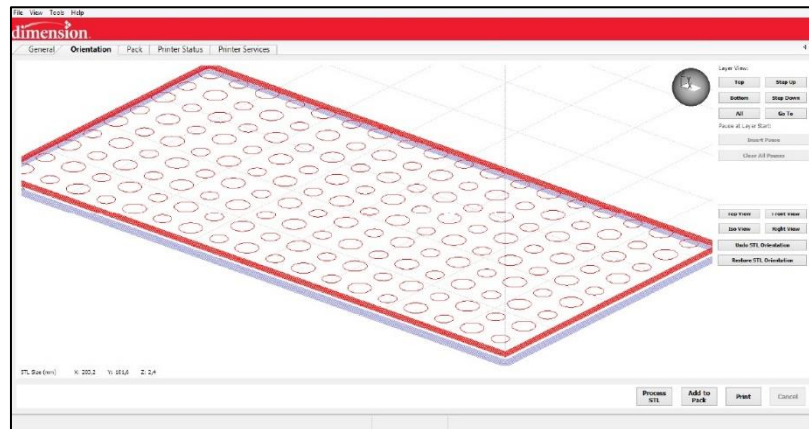


Figura 31 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura média.

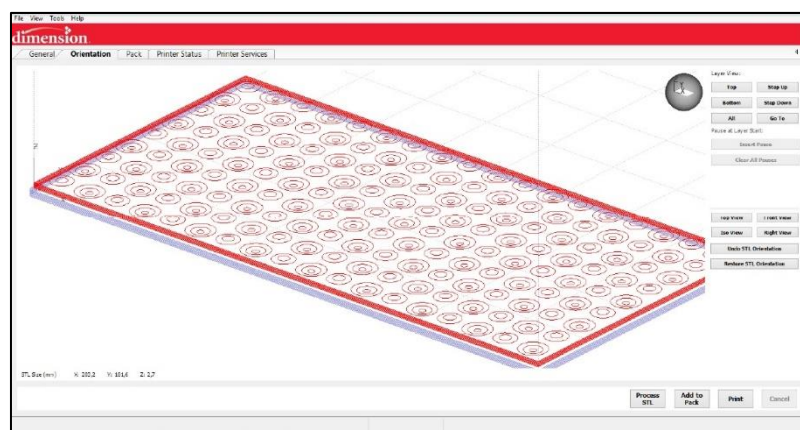
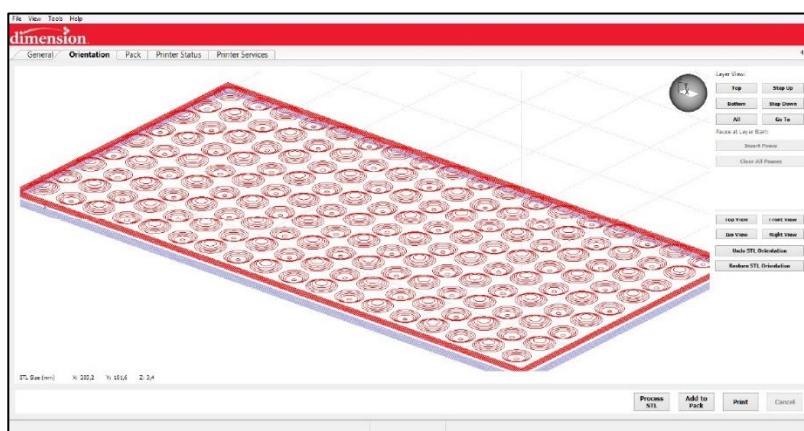


Figura 32 - Tela do programa pronto para iniciar a impressão das placas de macrotextura muito aberta.



Cada uma das chapas de plástico levou 6 horas para ser impressa. Após a finalização das impressões, contatou-se uma equipe especializada em pinturas de demarcações viárias e obras em pavimentação (Cotrel – Terraplanagem e Pavimentações Eireli), objetivando a realização da pintura sobre as mesmas.

Nesta fase, fez-se a utilização de cinco taxas de aplicação de microesferas de vidro distintas (50g/m<sup>2</sup>; 150g/m<sup>2</sup>; 250g/m<sup>2</sup>; 350g/m<sup>2</sup> e 450g/m<sup>2</sup>), cada uma usada em três placas de diferentes macrotexturas, resultando numa matriz de quinze amostras, todas tendo variáveis distintas, macrotextura ou taxa de aplicação de microesferas de vidro. A Figura 33 apresenta o equipamento utilizado na pintura das placas.

No dia 02 de dezembro de 2017 a pintura foi realizada, na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O procedimento seguiu de maneira ao operador sempre passar sobre as placas em velocidade constante de 3km/h, resultando em uma espessura de 0,6mm de tinta. A tinta utilizada foi acrílica à base de água com cor amarela e as microesferas de vidro são do tipo II-C.

O equipamento utilizado não possuía aparelhamento de calibragem direta de taxas de aplicação de microesferas. Para determinação das taxas de emprego, o operador modificava a pressão com que as microesferas eram aspergidas e um coletor era colocado na ponta do aspersor, coletando todas as microesferas que saíam durante um percurso de 10m à 3km/h. Esse volume de esferas era então pesado e a taxa de aplicação por m<sup>2</sup> era determinada. Com a taxa de aplicação de acordo com a pretendida, três placas eram colocadas no trecho de pintura de 10m e o operador refazia a operação agora sem o coletor de microesferas, deixando que as mesmas caíssem sobre as amostras.



Figura 33 - Equipamento sendo testado antes da pintura das placas.



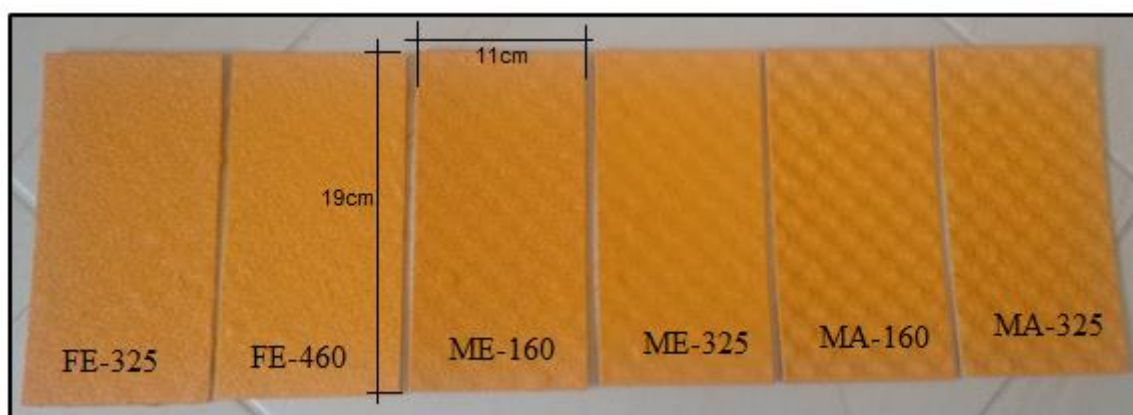
Todas as passagens, tanto com ou sem coletor eram cronometradas para que se o tempo sem coletor fosse diferente do tempo com coletor, um ajuste na taxa de aplicação fosse feito. Após realizados os ajustes matemáticos, as taxas de aplicação empregadas ficaram em 85/160/250/325/460g/m<sup>2</sup>. A

Tabela 12 12 apresenta a distribuição das taxas de aplicação e a macrotextura de cada amostra. As amostras foram nomeadas e os nomes são compostos por 5 caracteres, os dois primeiros representando a macrotextura (“FE” para fechada, “ME” para média e “MA” para muito aberta) e os três caracteres seguintes representando a taxa de microesferas empregada. A Figura 34 apresenta algumas placas depois de pintadas.

Tabela 12 - Distribuição de taxas de aplicação e macrotextura

<b>Amostra</b>	<b>Macrotextura da placa</b>	<b>Taxa de aplicação de microesferas de vidro (g/m<sup>2</sup>)</b>
FE-085	Fechada	85
ME-085	Média	85
MA-085	Muito aberta	85
FE-160	Fechada	160
ME-160	Média	160
MA-160	Muito aberta	160
FE-250	Fechada	250
ME-250	Média	250
MA-250	Muito aberta	250
FE-325	Fechada	325
ME-325	Média	325
MA-325	Muito aberta	325
FE-460	Fechada	460
ME-460	Média	460
MA-460	Muito aberta	460

Figura 34 - Exemplo de amostras após realização da pintura.



As placas tiveram sua retrorrefletividade medida em três momentos: o primeiro antes da pintura, chamado de retrorrefletividade zero ( $R_{L0}$ ); o segundo, chamado de

retrorefletividade inicial ( $R_i$ ), foi realizado poucas horas após a realização da pintura, sem que a superfície das placas tenha sofrido interferência, apenas deixou-se cair as microesferas que não ficaram ancoradas; o terceiro ocorreu três dias após a pintura, quando as placas sofreram escovação controlada e foi chamado de retrorefletividade residual ( $R_L$ ).

A  $R_{L0}$  serviu para observar se haviam diferenças nos valores de retrorefletividade entre cada amostra. A  $R_i$  teve como intuito avaliar os valores iniciais de retrorefletividade para cada combinação de macrotextura e taxa de aplicação de microesferas. Já na  $R_L$  buscou-se avaliar os índices de retrorefletividade após interação de atrito. A escovação tentou simular o contato entre o pneu dos veículos e a demarcação. Nesse levantamento, tentou-se realizar a escovação das placas de forma homogênea e de intensidade igual em todas elas. A escova utilizada tem largura maior do que as placas, o que facilitou essa fase. Todas as quinze placas receberam 100 escovações, que consistiram na passagem da escova sobre toda a face pintada da placa 100 vezes. A escova utilizada aparece na Figura 35. Todos os resultados medidos foram analisados e estão apresentados no decorrer deste trabalho.

Figura 35 - Escova utilizada para escovação das amostras.



## 4 RESULTADOS

Foram realizados todos os levantamentos previstos na metodologia da pesquisa, completando 2 anos de medições em campo. O presente capítulo traz os resultados observados após compilação e análise dos dados. Para todas as análises, primeiramente serão apresentados os resultados para a geometria de 15m e comentados. Caso o comportamento não seja análogo para a geometria de 30m, os resultados para esta geometria também serão apresentados e comentados.

### 4.1 LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES SECAS NO SENTIDO DA PINTURA

#### 4.1.1 Retrorrefletividade Média ao Longo do Tempo

Conforme apresentado na metodologia, dezenove campanhas de medição de retrorrefletividade foram realizadas para cada cor das demarcações, totalizando 38 campanhas para coleta de dados. Os seus resultados ao longo do tempo estão apresentados na Tabela 13, separadamente de acordo com a cor da pintura e a geometria de medição, 15m ou 30m.

A tabela traz os valores médios, após expurgos explicados na metodologia, de retrorrefletividade dos 200 pontos de bordo e 200 pontos de eixo avaliados em cada levantamento. A Figura 36 apresenta os valores plotados, uma curva para as demarcações brancas medidas à 15m e outra para as demarcações brancas medidas à 30m. Assim como as demarcações brancas, as amarelas tiveram seus valores plotados da mesma forma.

Tabela 13 - Retrorrefletividade média em cada levantamento.

(Continua)

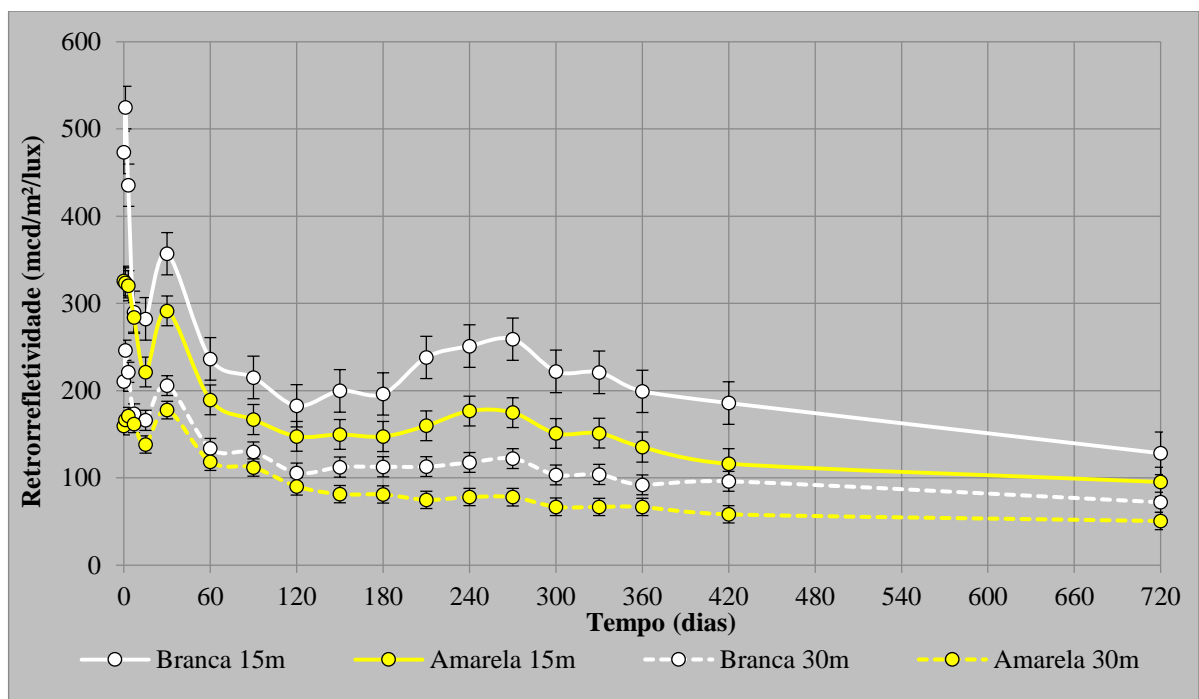
Idade (dias)	Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)			
	Bordos (BR)		Eixos (AM)	
	15m	30m	15m	30m
0	473	211	326	159
1	524	246	324	166
3	435	221	320	171
7	290	174	284	162
15	282	166	221	138

Tabela 13 - Retrorefletividade média em cada levantamento.

(Conclusão)

Idade (dias)	Retrorefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)			
	Bordos (BR)		Eixos (AM)	
	15m	30m	15m	30m
30	357	206	291	178
60	236	134	189	119
90	215	130	167	112
120	183	106	148	90
150	200	112	150	81
180	196	113	147	81
210	238	113	160	75
240	251	118	177	78
270	259	122	175	78
300	222	103	151	67
330	221	104	151	67
360	199	92	135	67
420	186	96	116	58
720	128	72	95	51

Figura 36 - Retrorefletividade média por cor da demarcação ao longo do tempo – Bordo e eixo – Geometria de 15 e 30m.

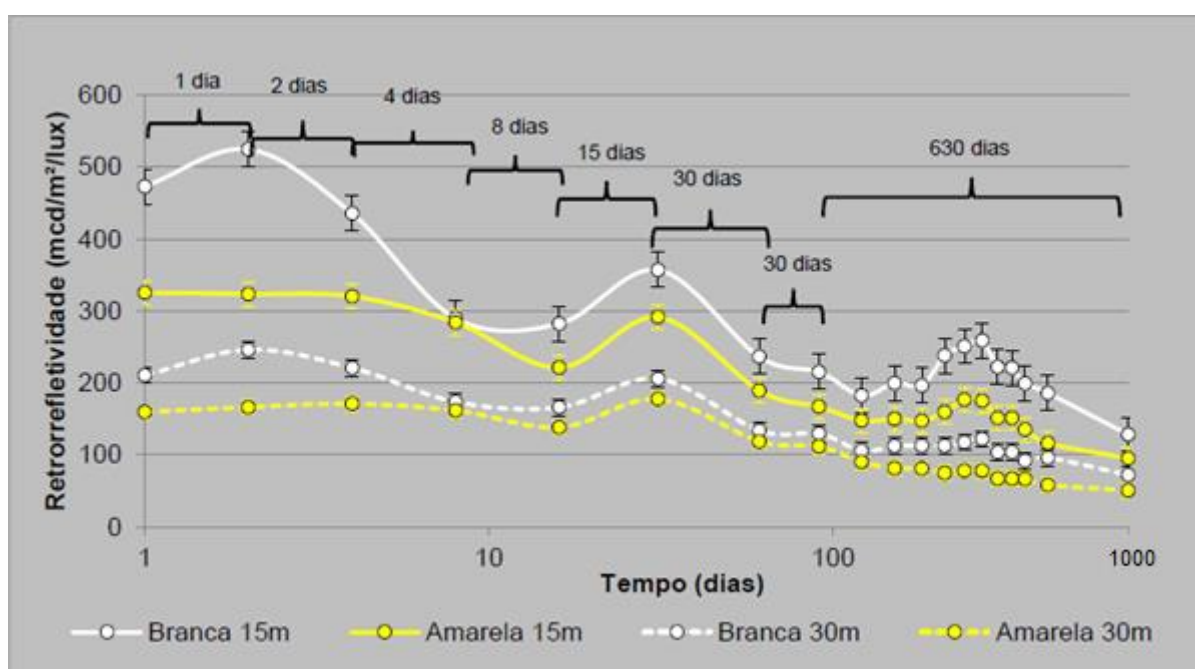


Observando a Figura 36 percebeu-se a conformidade de valores como predito na revisão literária (Salles, 2015). Tendo as avaliações realizadas com geometria de 15m índices de retrorrefletividade maiores do que as realizadas com equipamento de 30m. Observou-se que os comportamentos das curvas são muito parecidos entre as geometrias, mudando apenas a ordem de grandeza dos valores de retrorrefletividade médios.

Fica evidente a predisposição natural da cor branca para refletir a luz, já que os resultados obtidos nas demarcações desta cor são maiores do que os verificados nas demarcações de cor amarela em todos os levantamentos, mesmo com a taxa de microsferas aplicada sendo a mesma para ambas as cores (abordado mais profundamente em 4.1.3).

As curvas de retrorrefletividade versus tempo tem valores maiores nos primeiros dias de idade, tendendo a uma assíntota horizontal após 60 dias. Para melhor observação do comportamento da retrorrefletividade ao longo dos dias, principalmente nos dias logo após a pintura, a Figura 37 apresenta o mesmo gráfico, porém agora com escala logarítmica no eixo das abscissas. Os valores neste eixo que apresenta o tempo, em dias, trazem como primeiro valor em  $t = 1$ . Isso porque na escala Logarítmica não é possível zero. Sendo assim, o valor da retrorrefletividade em  $t = 1$  foi medido no dia da aplicação da tinta, o em  $t = 2$  representa o valor medido 24 horas após aplicação, e assim sucessivamente. Os valores que aparecem na parte superior do gráfico, junto aos colchetes, representam a extensão daquele intervalo de tempo, entre as medições.

Figura 37 - Retrorrefletividade média por cor da demarcação ao longo do tempo – Bordo e eixo – Geometria de 15 e 30m (escala log).



A Figura 37 possibilitou uma análise mais detalhada do comportamento dos valores de retrorrefletividade nos primeiros dias após aplicação dos materiais. No dia da pintura, as demarcações apresentaram valores elevados de retrorrefletividade, chegando a 473mcd/m<sup>2</sup>/lux nas demarcações de bordo medidas com geometria de 15m e 326mcd/m<sup>2</sup>/lux nas demarcações de eixo para esta mesma geometria. Um dia após pintura, os valores tenderam a aumentar nos pontos de cor branca, 11% para geometria de 15m e 17% de elevação para geometria de 30m. Já para os pontos de cor amarela, os valores se mantiveram constantes, chegando a baixar quase 1% na geometria de 15m e subir pouco mais de 4% para geometria de 30m.

O aumento da retrorrefletividade 24 horas após a pintura pode ocorrer quando existe excesso de microesferas de vidro na composição da tinta. Como logo após a pintura as microesferas ficaram sobrepostas, a luz incidente se torna difusa e não reflete na demarcação pintada. Depois de o tráfego ser liberado, a ação dos pneus de alguns veículos sobre a pintura, e o próprio deslocamento de ar na passagem dos veículos, arranca as microesferas sobressalentes que não ficaram bem ancoradas, justamente por estarem sobrepostas às outras melhor fixadas. A retirada desse excesso resulta em uma melhor reflexão da luz incidente sobre as demarcações, elevando os índices de retrorrefletividade.

Conforme já dissertado, a taxa de microesferas utilizada foi de 400 g/m<sup>2</sup> e a espessura da camada de tinta foi de 0,6mm, tanto nos bordos quanto no eixo. Schwab 1999, diz que a taxa de aplicação considerada ótima para retrorrefletividade inicial é próxima de 250 g/m<sup>2</sup> para pinturas de 0,6mm de espessura. Neste mesmo estudo, a autora mostrou que utilizando uma taxa de aplicação de 400 g/m<sup>2</sup>, os valores iniciais de retrorrefletividade tem uma queda de quase 50%, quando comparados com o valor da taxa ótima encontrada naquela pesquisa.

Tendo em vista essa afirmação da autora e os valores encontrados na pesquisa (em que apenas as linhas de bordo apresentaram esse aumento nos valores de retrorrefletividade 24 horas após liberação ao tráfego e as linhas de eixo permaneceram com valores constantes), fica a dúvida do comportamento distinto das linhas. É preciso lembrar que o trecho objeto de estudo possui dispositivos auxiliares, tachas nos bordos e tachões no eixo da pista, além de ter a ultrapassagem proibida em toda a sua extensão. Supõe-se, então, que os motoristas trafeguem mais próximos aos bordos da pista e mais afastados do eixo, por motivos de segurança e conforto, já que a passagem com o pneu sobre um tachão gera um desconforto muito maior do que a passagem sobre uma tacha. Assim, a retirada das microesferas sobressalentes das linhas de eixo não aconteceu com a mesma facilidade dos bordos.

Passados três dias da pintura, ao ser realizada a medição, constatou-se que, nos bordos, os valores de retrorrefletividade caíram em relação aos apresentados 24 horas após pintura,

porém em alguns casos ainda eram maiores que o índice inicial. Chegando a 92% do valor inicial para geometria de 15m e 105% do valor inicial para geometria de 30m. Para a cor amarela, os valores andaram de lado em relação ao levantamento realizado 24 horas após liberação do tráfego. Apresentando 98% do valor inicial na geometria de 15m e 107% do valor inicial na geometria de 30m.

A partir do levantamento realizado sete dias após aplicação das linhas, os valores já estavam sofrendo degradação do tempo e tráfego. As demarcações brancas estavam apresentando 61% e 82% dos valores iniciais para as geometrias de 15m e 30m respectivamente. Já para as demarcações amarelas, os valores estavam com 87% e 101% do valor inicial para as geometrias de 15m e 30m. As quedas nos índices dos eixos menos acentuadas podem-se creditar também à utilização de tachões no eixo da rodovia, diminuindo a degradação proveniente do contato dos pneus com a tinta.

Este levantamento também foi o que, dentre toda a pesquisa, teve os valores de retrorrefletividade das demarcações amarelas mais próximos dos valores apresentados pelas demarcações brancas. Isso será explicado mais adiante quando os valores de bordos e eixos serão apresentados separadamente junto com a precipitação acumulada nos dias que antecederam as medições, mas pode-se adiantar que tal resultado provavelmente tenha ocorrido devido à sujeira sobre as demarcações provenientes de descarga de solo próxima ao local de pesquisa.

Observou-se na Figura 37 uma elevação nos valores de retrorrefletividade aos 30 dias após a realização da pintura. Com valores chegando mais próximos do valor inicial ou até mesmo voltando a superá-lo, como é o caso do valor de retrorrefletividade de eixo medido com geometria de 30m, que foi 11% maior do que o valor medido no dia da pintura. Esses aumentos nos números podem ser um indicativo de que ao fim dos 15 dias, as microesferas que não estavam devidamente ancoradas foram arrancadas pela exposição ao tráfego e os valores de retrorrefletividade decresceram, com a ação dos pneus sobre as demarcações, ocorreu desgaste inicial da camada de tinta, resultando na maior exposição das microesferas que estavam encobertas por essa camada de tinta, principalmente do premix, fazendo com que os valores de retrorrefletividade se elevassem aos 30 dias de pintura. A partir daí os valores de retrorrefletividade decrescem gradualmente, sob contínua ação do tráfego, apresentando variações que serão comentadas mais adiante.



#### 4.1.1.1 Interferência da Precipitação Acumulada

Em relação aos resultados dos levantamentos de retrorrefletividade realizados, outras comparações foram efetivadas. Em todos os levantamentos foi considerada a interferência da precipitação nos dias anteriores aos de medição. As Figura 38 e 39 trazem os dados onde bordo e eixo foram isolados para que fosse possível determinar o comportamento em cada um deles, juntamente com a precipitação acumulada nos três dias antecedentes às medições. A Figura 38 apresenta a retrorrefletividade média dos bordos em função do tempo para ambas as geometrias. Enquanto que, a Figura 39 traz os valores de retrorrefletividade média das linhas de eixo em função do tempo também para ambas as geometrias.

Figura 38 - Retrorrefletividade média – Bordos – Geometria de 15 e 30m.

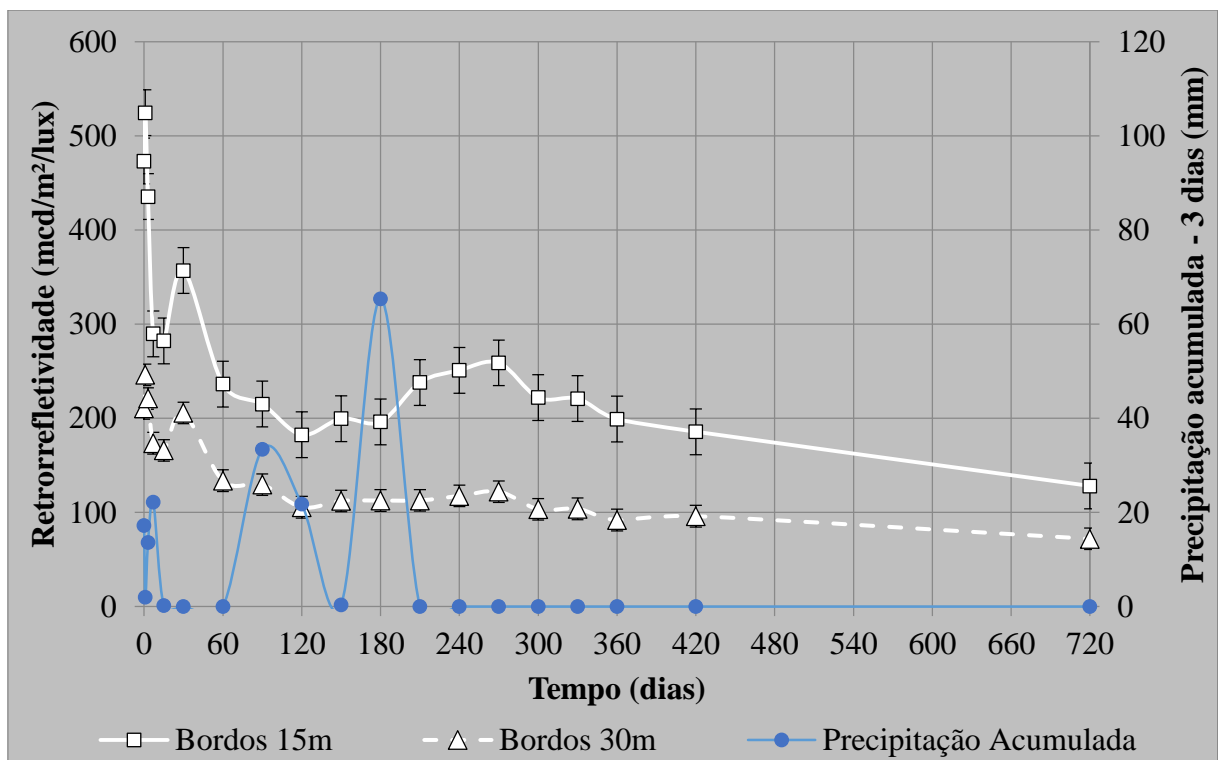
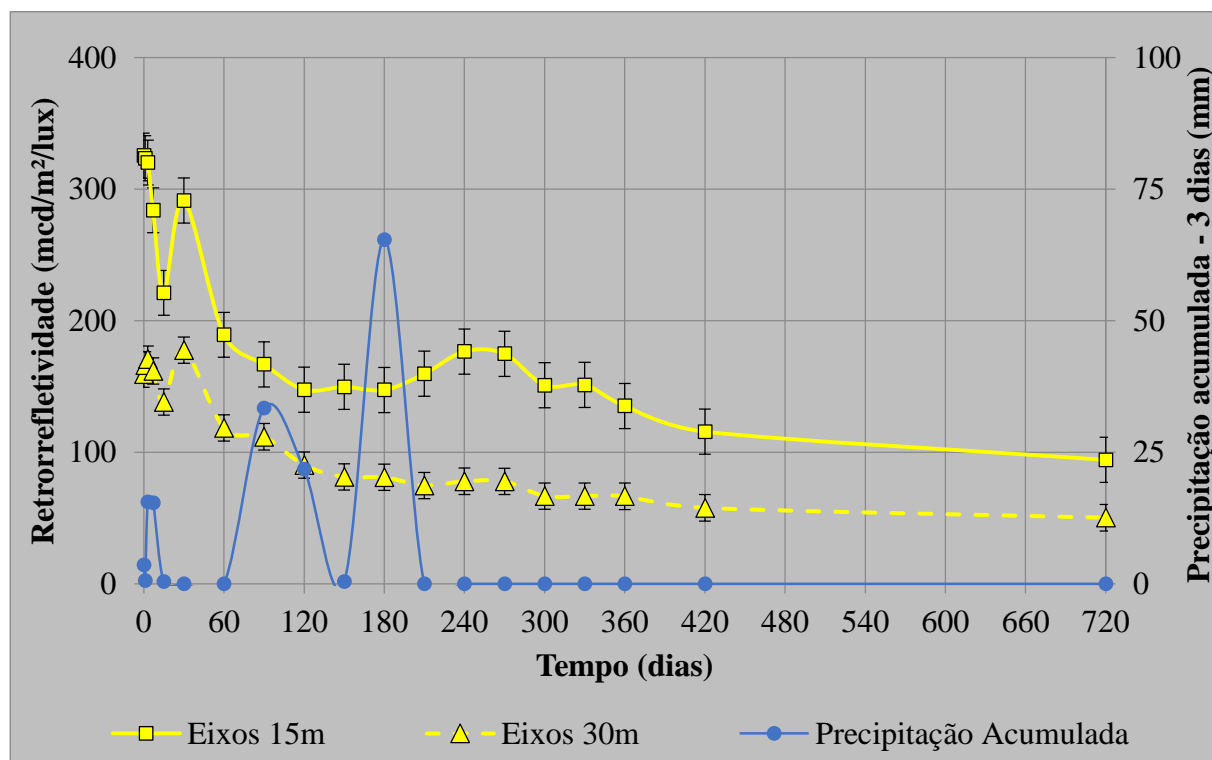


Figura 39 - Retrorrefletividade média – Eixos – Geometria de 15 e 30m.



Através das Figuras 38 e 39, pôde-se observar que os valores não apresentam variações consideráveis quando os números referentes à precipitação crescem. Os índices representam o volume de chuvas acumulada nos três dias que antecederam a avaliação. Esses resultados de não melhora da retrorefletividade em dias após precipitação, ocorrem provavelmente pelo fato da existência de dispositivo auxiliares no trecho em questão.

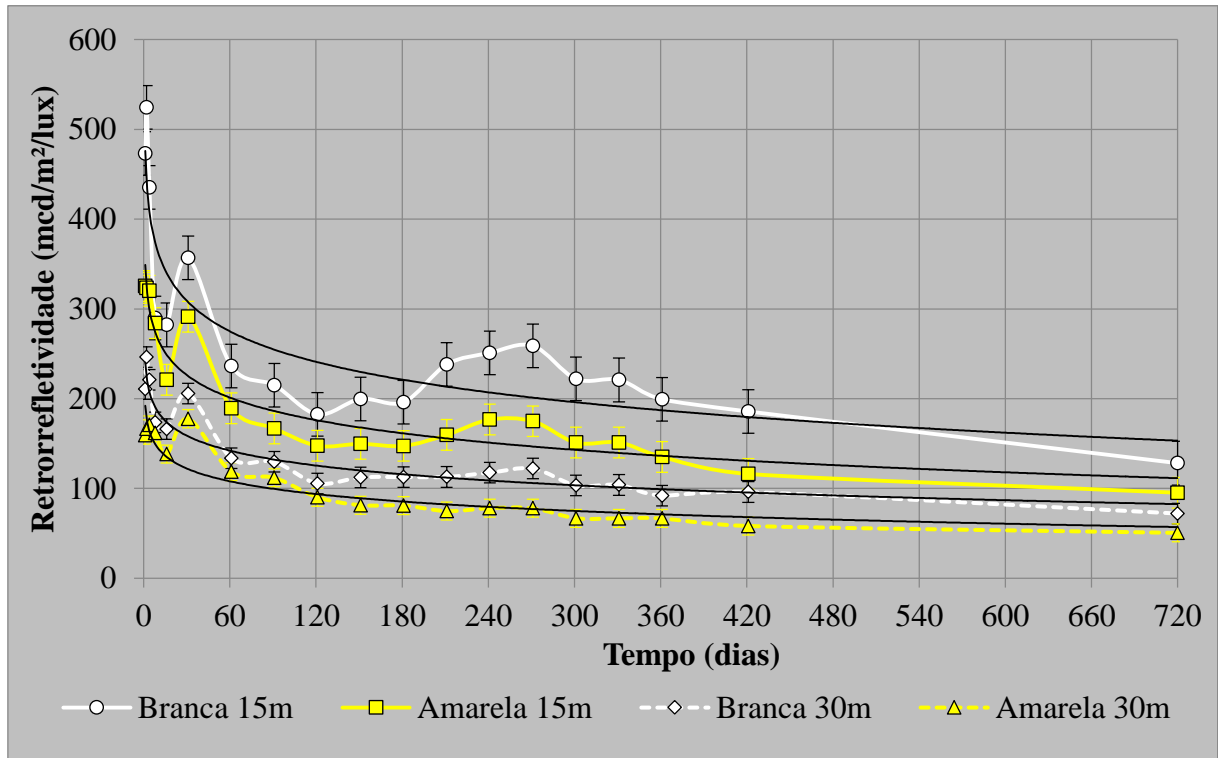
A existência de tachas e tachões faz com que os veículos não trafeguem com os pneus sobre as demarcações, ainda mais em dias chuvosos, quando os motoristas tendem a trafegar mais no centro da faixa de rolamento por motivos de segurança, diminuindo muito a ação abrasiva dos pneus sobre as linhas que, provavelmente, ocasionaria a limpeza delas, aumentando o valor de retrorefletividade, conforme observado por Salles et al. (2015).

#### 4.1.1.2 Modelos de Desempenho da Retrorefletividade

Após análise do comportamento da retrorefletividade, foi possível realizar a determinação de modelos de desempenho para as diferentes geometrias e cores estudadas em função da idade das demarcações. A Figura 40 apresenta as curvas dos modelos definidos sobre as curvas de retrorefletividade. As Equações 40 a 43 trazem os modelos com o  $R^2$

correspondente a cada um deles. Os dados utilizados para desenvolvimento dos modelos são dos pontos que não receberam manutenção periódica.

Figura 40 - Modelos de retrorrefletividade em função da idade das demarcações sem manutenção – Bordos e eixos – Geometria de 15 e 30m.



$$\text{Cor branca, 15m: } R_L = -49,06 \times \ln(t) + 475,93; R^2 = 0,8189 \quad (40)$$

$$\text{Cor amarela, 15m: } R_L = -36,15 \times \ln(t) + 349,21; R^2 = 0,8976 \quad (41)$$

$$\text{Cor branca, 30m: } R_L = -24,00 \times \ln(t) + 240,38; R^2 = 0,8828 \quad (42)$$

$$\text{Cor amarela, 30m: } R_L = -20,52 \times \ln(t) + 191,97; R^2 = 0,8456 \quad (43)$$

Onde:

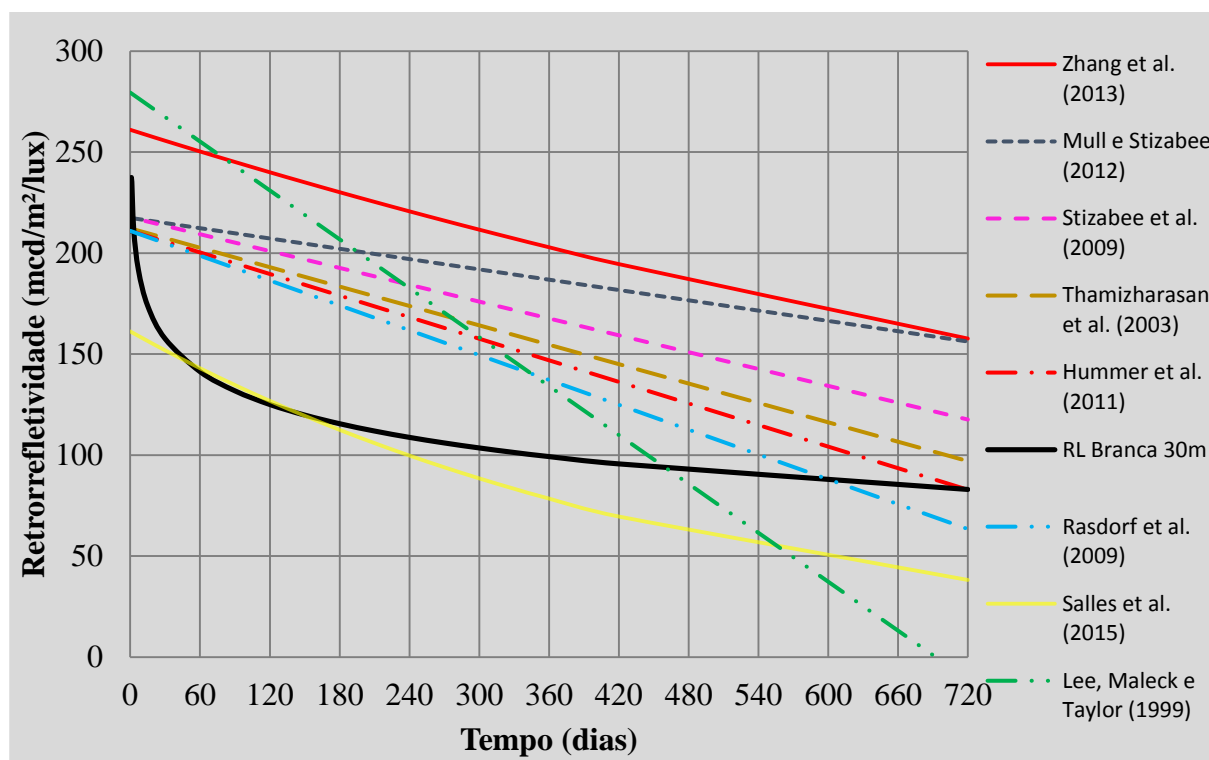
$R_L$  = Retrorrefletividade em mcd/m²/lux;

t = Tempo em dias.

Como demonstrado na revisão bibliográfica, outros autores também buscaram desenvolver modelos do comportamento da retrorrefletividade ao longo do tempo. A Figura 41

apresenta o modelo desenvolvido nessa pesquisa para cor branca com geometria de medição igual a 30m, já que todos os modelos descritos foram criados para tal geometria.

Figura 41 - Modelos de retrorrefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) vs tempo (dias) – Cor branca – Geometria de 15m.



Através da comparação com outros modelos, percebe-se que o modelo desenvolvido nesta pesquisa, prevê um baixo desempenho da retrorrefletividade nas idades iniciais. Aos 60 dias, o modelo apresenta os menores valores de retrorrefletividade de toda a lista. O segundo modelo mais restritivo, com valores muito parecidos com o desta pesquisa aos 360 dias, é o de Salles et al. (2015) para tinta à base de água (Equação 35). Isso pode ser explicado pela localização geográfica em que foi desenvolvido, pelo método de aplicação das demarcações e materiais, que foram muito semelhantes.

Os demais modelos, por terem sido gerados fora do Brasil, foram desenvolvidos em locais com políticas de repintura muito mais pesadas das praticadas em solo nacional, fazendo com que, nestes locais, os materiais utilizados fossem de melhor qualidade, apresentando desempenho superior já nos primeiros dias. Próximo dos 170 dias, o presente modelo tende a uma assíntota horizontal, enquanto que Salles (2015) segue em queda linear até o final dos 720

dias. Tais modelos apresentarem desempenho semelhante era esperado, visto que foram os únicos modelos desenvolvidos no Brasil, como já citado.

O modelo em questão, ao final de 720 dias já se aproximou dos valores apresentados pelos modelos estrangeiros. O modelo de Lee, Maleck e Taylor (1999) (Equação 5) ao final de dois anos foi o único que apresentou valores de retrorrefletividade iguais a zero, mesmo tendo o valor de retrorrefletividade inicial mais alto dentre todos. Os autores, em 1999, após estudo de 4 anos, demonstraram que a vida de serviço de demarcações pintadas com tinta à base de água é em torno de 445 dias. Como o modelo desenvolvido durante este trabalho considera apenas o tempo como variável, exatamente como na pesquisa de 1999, o modelo atingiu os 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux considerado como limiar mínimo próximo aos 445 dias de serviço. Após isso, seguiu caindo de forma linear até chegar ao zero próximo dos 690 dias.

O modelo desenvolvido por Salles et al. (2015) para tintas à base de água, ao final de dois anos apresenta valores próximos de 40 mcd/m<sup>2</sup>/lux, bem abaixo dos demais. O modelo dos pesquisadores apresentou retrorrefletividade inicial mais baixa entre todos os exibidos e ocupou na maior parte do tempo o posto de modelo com menores índices de retrorrefletividade. O baixo desempenho em relação aos valores de outros autores pode estar ligado às características brasileiras intervenientes a retrorrefletividade, como técnicas de aplicação e material.

Rasdorf et al. (2009) (Equação 19) apresenta valores próximos à 60 mcd/m<sup>2</sup>/lux ao final de dois anos. O estudo desenvolvido pelos autores foi muito criterioso no sentido de quantificar as microesferas de vidro ancoradas nas demarcações, chegando a desenvolver métodos para tal. O estudo também determinou que linhas de bordo degradam a uma taxa mais lenta do que as linhas de eixo (análise que será abordada posteriormente neste trabalho). Na publicação, os autores apresentaram que, para um VDM dois terços menores que do desta pesquisa, a vida de serviço das demarcações seria de 5,4 anos. Nesta pesquisa, com o VDM de quase 30 mil veículos, a vida de serviço caiu para 1,8 anos, exatamente dois terços menor da apresentada pela pesquisa de 2009. Ou seja, triplicando o VDM, a vida de serviço cai em 66%.

O modelo de Hummer et al. (2011), (Equação 23) apresentou valores ao final de dois anos praticamente iguais aos desta pesquisa. Porém durante todo o restante do tempo, os valores entre os dois divergiram muito. É preciso salientar que o modelo de Hummer et al. é linear, enquanto que o desta pesquisa é logarítmico.

Naquele estudo, os autores constaram que linhas de bordo brancas, pintadas com tinta à base de água, têm uma vida de serviço próxima de 37,5 meses, considerando como limiar mínimo 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux. Nesta pesquisa, o modelo atingiu tal limiar aos 21 meses. Pode-se

considerar que esse fato ocorreu devido à baixa retrorrefletividade inicial apresentada, 211 mcd/m<sup>2</sup>/lux, em relação à média no estudo de 2011, que foi próxima à 300 mcd/m<sup>2</sup>/lux.

Outra questão a salientar é de que no estudo de 2011 o VDM era inferior ao desta pesquisa, não passando de 4 mil veículos, enquanto que neste estudo, o VDM foi de quase 15 mil veículos unidirecionais. Isso pode ter levado a taxas de degradação menores, já que no modelo dos autores apenas o tempo é considerado.

Thamizharasan et al. (2003), é o único modelo (Equação 13) concebido de forma a determinar o valor da diferença entre o índice de retrorrefletividade ao longo do tempo e não o valor da retrorrefletividade em si. Os pesquisadores, em análise de 28 meses, também verificaram na maioria dos casos aumento nos valores de retrorrefletividade em idades iniciais, porém, por não identificarem a data exata em que esse comportamento tem fim e início, preferiram um modelo de degradação linear. O resultado foi um modelo muito parecido com o apresentado por Hummer et al. em 2011, culminando num valor próximo de 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux ao final de 2 anos.

O segundo modelo com melhor desempenho da retrorrefletividade dentre os apresentados foi o de Mull e Stizabee (2012) (Equação 25). Os pesquisadores realizaram levantamentos em rodovias da Carolina do Norte, Estados Unidos, para determinação do modelo, após isso utilizaram o mesmo para determinação da vida de serviço de rodovias em Ohio. A estimativa de boa performance para as demarcações em questão é vinda do fato de que a pesquisa dos autores visou determinar se campanhas de remoção de neve sobre as linhas resultaria em perda acentuada de retrorrefletividade e quantificar essa possível perda (sim, existe uma perda de mais de um mês na vida de serviço das demarcações para cada campanha de remoção de neve). Como nesta pesquisa não houve nenhum tipo de interferência de neve, a variável *S* do modelo, foi zero, resultando numa performance acima da média.

O modelo que previu valores de retrorrefletividade mais altos ao final de dois anos foi o desenvolvido por Zhang et al. (2013) (Equação 33). A pesquisa realizada pelos autores não visava especificamente determinar um modelo de previsão de vida útil das demarcações, e sim identificar se a rugosidade da superfície traria alguma variação nos índices de retrorrefletividade. O trabalho realizou levantamentos únicos de retrorrefletividade em cada rodovia, não tendo acompanhamento dos valores ao longo do tempo, possivelmente por isso tenha exibido previsões de valores tão distintas da maioria dos modelos apresentados.

Após análise de todos os modelos apresentados, observa-se que o modelo em questão traz uma previsão de retrorrefletividade ao longo do tempo coerente com a literatura. Nos primeiros dias, até completar um ano de pintura, apresenta valor bem abaixo dos trazidos por

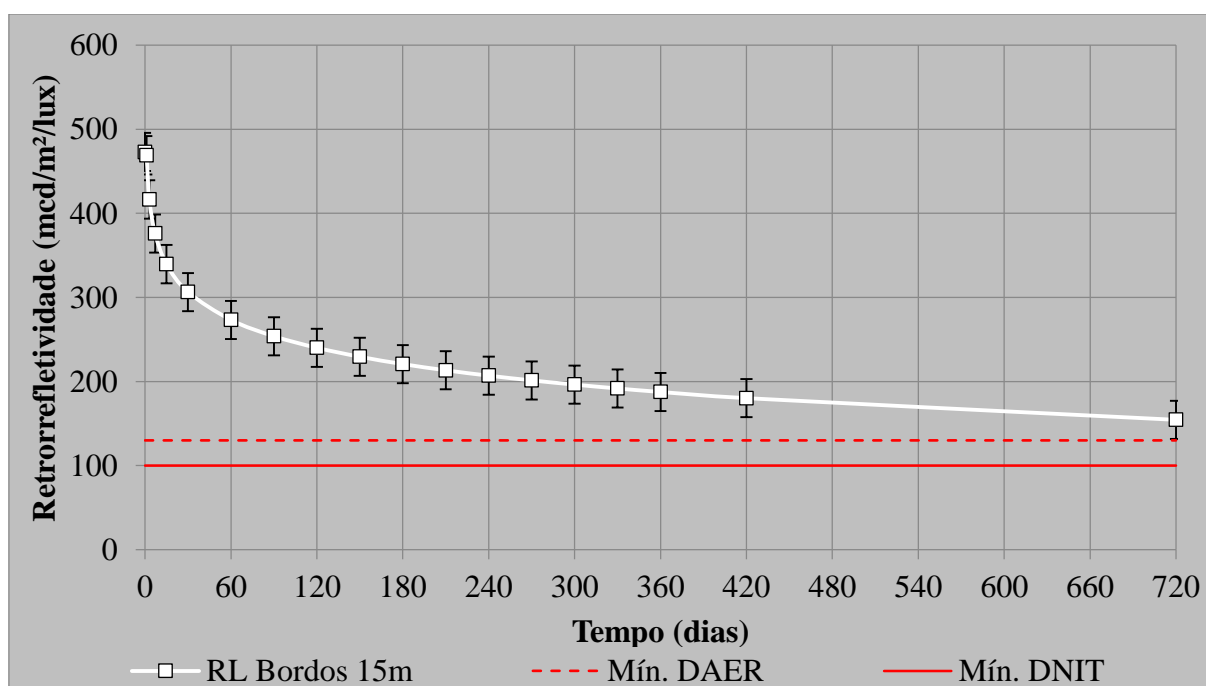
autores internacionais, mas bem próximos dos expostos por autores brasileiros, levando a crer que esse comportamento esteja realmente ligado aos materiais e métodos de aplicação empregados em território nacional. Outro ponto de atenção é que os autores costumam apresentar modelo lineares de degradação, mesmo que em suas pesquisas observem que as taxas de degradação não se mantem constante ao longo do tempo.

#### 4.1.1.3 Comparação Com Limites Mínimos Exigidos

Para observação do desempenho dos valores de retrorrefletividade das demarcações, é importante que seja realizada a comparação com os valores mínimos exigidos pelos órgãos regulamentadores. Como explicado na metodologia deste trabalho, no território nacional, a geometria utilizada para levantamentos na grande maioria dos casos é a de 15m. A rodovia em questão estava sob jurisdição do DNIT, que exige um mínimo de 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux para acor branca, até os momentos finais desta pesquisa, quando passou para o DAER. Nas rodovias sob jurisdição do DAER, esse valor sobe para 130 mcd/m<sup>2</sup>/lux.

Foram utilizadas as equações dos modelos desenvolvidos nesta pesquisa para comparação com os índices de segurança dos órgãos. A Figura 42 traz o modelo da Equação 40 comparados com os mínimos exigidos para a geometria de 15m.

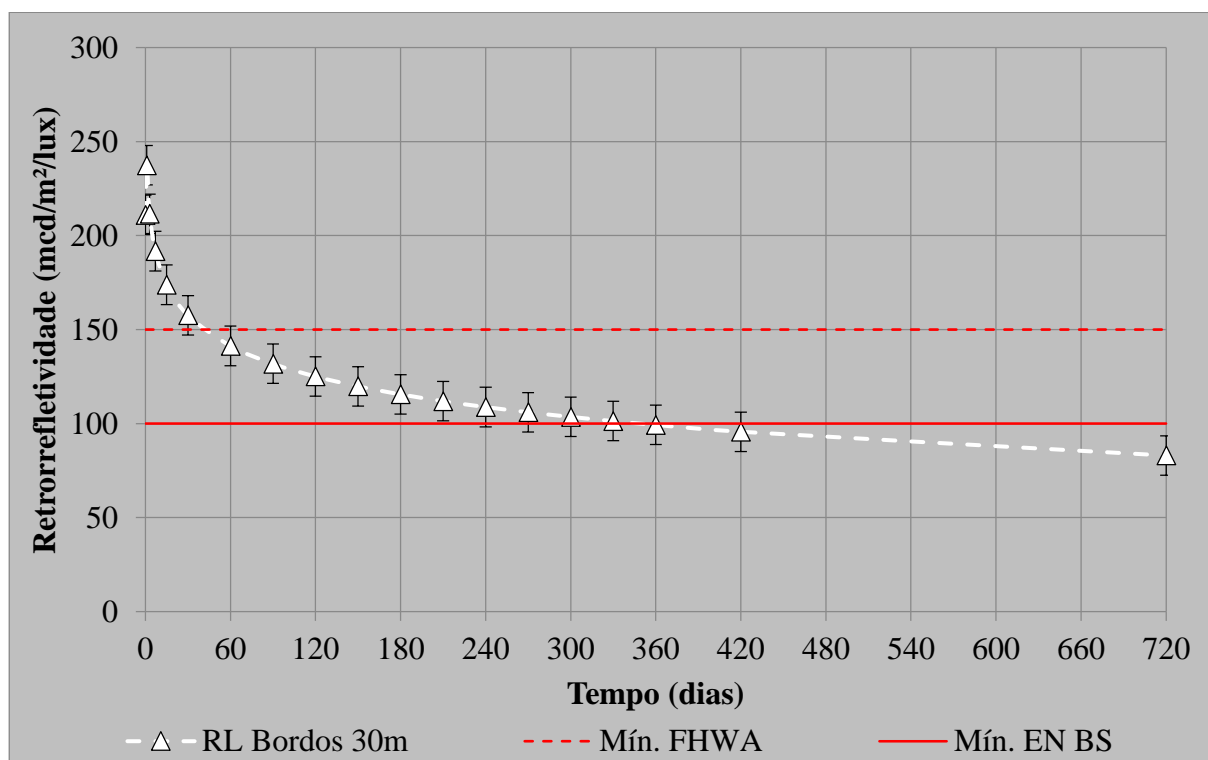
Figura 42 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais - Bordos - Geometria de 15m.



Observou-se que os valores iniciais de retrorrefletividade estão bem acima do mínimo exigido no território nacional, chegando a quase cinco vezes mais do que o mínimo determinado. Ao longo dos levantamentos, os valores de retrorrefletividade cada vez mais se aproximam dos limites de segurança, sem ficarem abaixo destes limites em nenhum dos casos. Mesmo depois de dois anos e quase 21 milhões de passagens de veículos acumuladas, as demarcações seguem apresentando desempenho satisfatório frente ao DNIT.

Fora do Brasil, os órgãos regulamentadores exigem valores medidos com equipamentos calibrados com geometria de 30m. Para os bordos, a norma inglesa BS EN 1436 exibe como valor mínimo para segurança da via uma retrorrefletividade maior ou igual a 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux, enquanto que para a agência americana FHWA, o mínimo não pode cair à 150 mcd/m<sup>2</sup>/lux. A Figura 43 traz o modelo da Equação 41 junto com os valores mínimos internacionais para geometria de 30m.

Figura 43 - Retrorrefletividade média com valores mínimos internacionais - Bordos - Geometria de 30m.



O comportamento dos valores ao longo do tempo é análogo aos dados apresentados na Figura 40, mudando apenas a ordem de grandeza dos índices, o que não ocorre com os valores solicitados pelas agências. Já nos números alusivos aos primeiros dias após aplicação da



sinalização é possível perceber a diferença dos valores em relação aos mínimos exigidos. Enquanto que para a geometria de 15m os valores eram cinco vezes maiores do que os demandados pelos órgãos nacionais, para geometria de 30m os valores iniciais chegam próximos de três vezes o mínimo exigido internacionalmente.

Os valores apresentados pelas demarcações com 15 dias de vida, que para geometria de 15m ainda se encontravam bem acima dos limites, agora chegam próximos do que a FHWA considera valor de baliza para segurança viária. A partir do levantamento realizado 60 dias após a aplicação os números não são mais satisfatórios quando comparados com os mínimos estabelecidos pela FHWA nos Estados Unidos. Deste levantamento adiante os valores caem de maneira mais suave, chegando muito próximos do valor mínimo determinado pela norma europeia em algumas medições, chegando no levantamento de um ano após aplicação das linhas, onde os bordos apresentam desempenho insuficiente para os mínimos exigidos pela FHWA e valores idênticos ao mínimo solicitado pela BS EN 1436, culminando no levantamento realizado dois anos após a pintura, onde os índices apresentados seguem abaixo dos mínimos exigidos internacionalmente para ambas as normas.

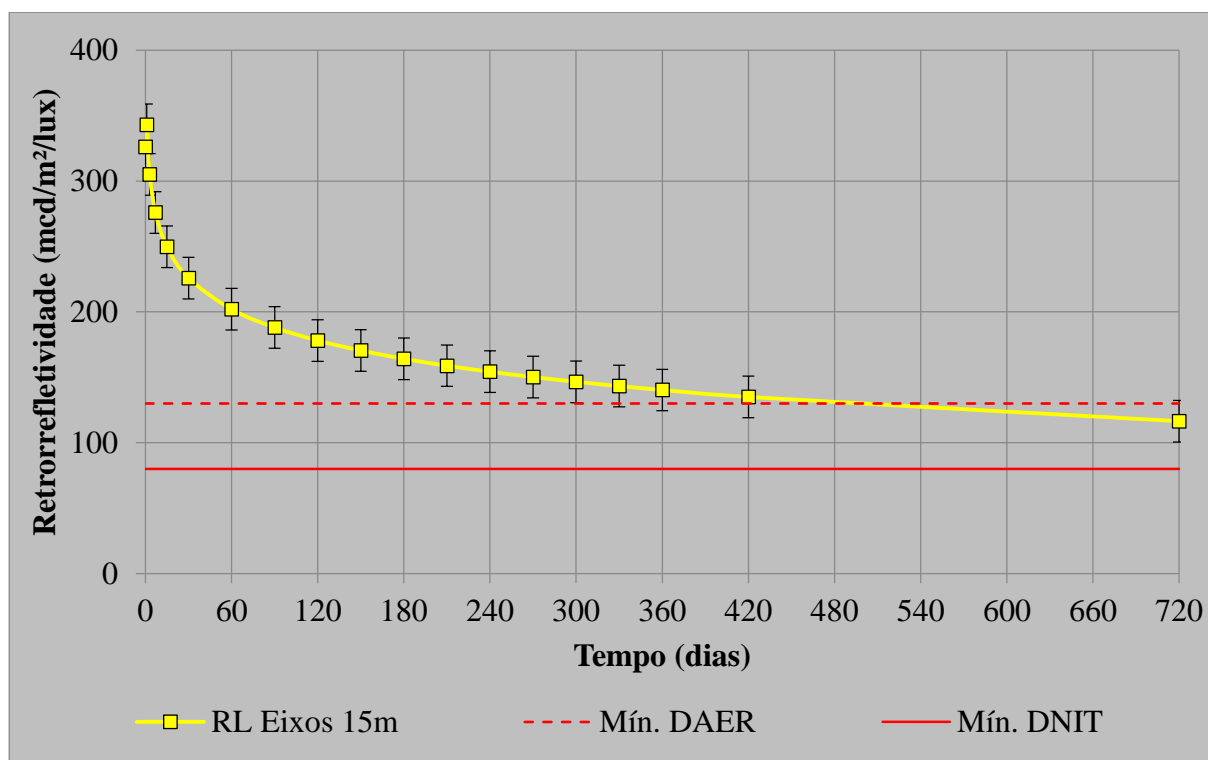
Através dos valores exibidos, conclui-se que os números mínimos exigidos no Brasil estão muito abaixo do estipulado internacionalmente. Para os órgãos brasileiros, após dois anos de vida, as demarcações se encontram com índices próximos aos mínimos exigidos e em alguns casos acima destes, enquanto que para as normas internacionais, as linhas já não exercem sua função primordial. Principalmente os valores exigidos pela FHWA, onde a demarcação com apenas dois meses de serviço já não se encontra dentro dos moldes mínimos de segurança.

Algumas agências regulamentadoras consideram que os parâmetros mínimos devem ser diferentes para as diferentes cores de pintura, geralmente menores para a cor amarela. Dentre os mínimos propostos para o território nacional, a geometria utilizada para medição utilizada é de 15m também para a cor amarela. A regulamentação de valores mínimos é de 80 mcd/m<sup>2</sup>/lux pelo DNIT (2013) e 130mcd/m<sup>2</sup>/lux pelo DAER (2014). A Figura 44 apresenta os valores de retrorrefletividade ao longo do tempo expressos pela Equação 42 em comparação com os mínimos exigidos em território nacional.

Os valores mais afastados dos mínimos exigidos foram medidos nos primeiros dias após a aplicação da tinta, não exibindo tanta margem como apresentado nas demarcações brancas. Os números dos eixos aparecem bem próximos do que o DAER avalia como valor limite para segurança da rodovia aos 270 dias depois da pintura, mantendo-se quase constante até o levantamento realizado 360 dias após aplicação. Ao fim de dois anos de levantamentos, os

valores não mais atendem aos 130mcd/m<sup>2</sup>/lux estipulados pelo DAER, porém são considerados satisfatórios frente ao mínimo de 80 mcd/m<sup>2</sup>/lux estipulado pelo DNIT.

Figura 44 - Retrorefletividade média com valores mínimos nacionais - Eixos - Geometria de 15m.



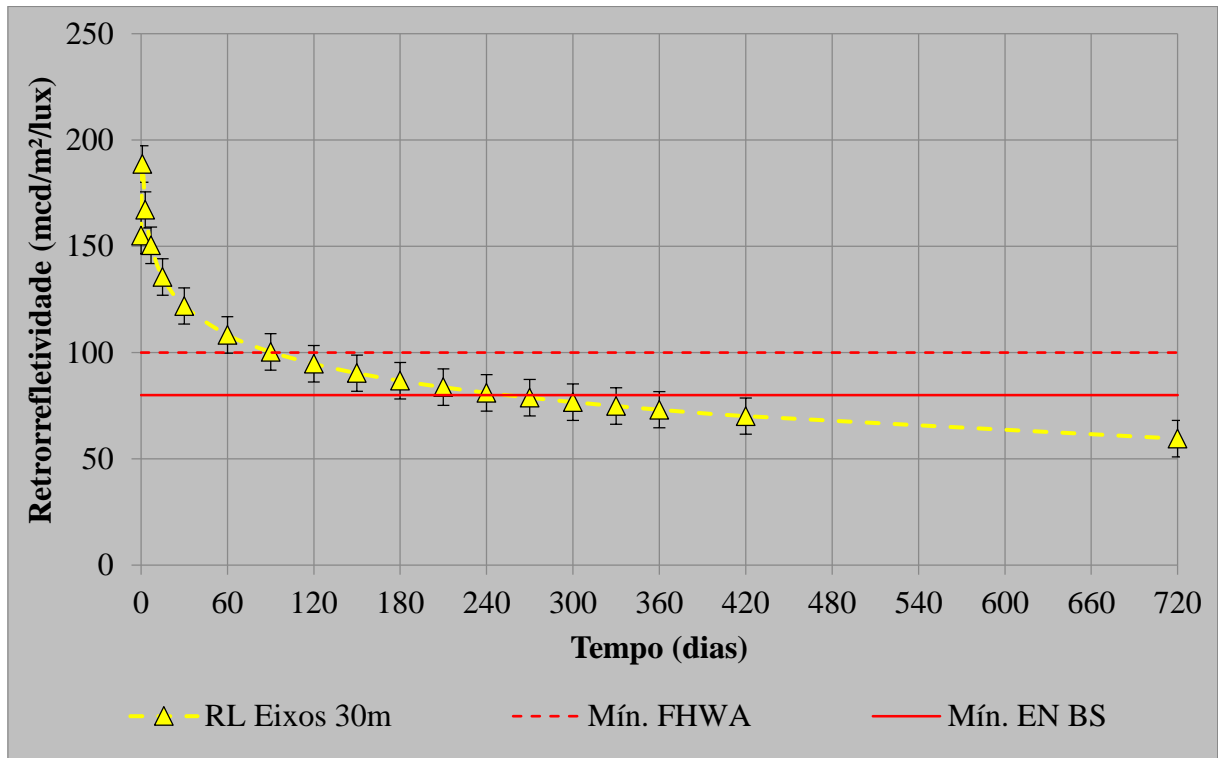
É importante compreender que o DAER exige o mesmo valor mínimo para as demarcações, 130mcd/m<sup>2</sup>/lux, independentemente da cor utilizada, enquanto o DNIT prevendo um desempenho pior da cor amarela diminui em 20% o valor mínimo, reduzindo de 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux para demarcações brancas para 80 mcd/m<sup>2</sup>/lux para demarcações amarelas.

Fora do Brasil, considerando a geometria de 30m, os órgãos regulamentadores costumam impor valores mínimos menores para demarcações amarelas, quando confrontados com os valores de referência para a cor branca. A FHWA baixa de 150 mcd/m<sup>2</sup>/lux para 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux e a BS EN que considerava para cor branca um valor mínimo de 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux agora traz como valor de referência 80mcd/m<sup>2</sup>/lux. A Figura 45 apresenta os valores de retrorefletividade do eixo medidos com geometria de 30m, Equação 43, relacionado com os limites exigidos internacionalmente.

Assim como ocorreu com as demarcações brancas, na comparação dos valores iniciais de retrorefletividade com os valores mínimos exigidos, os valores internacionais limites estão

muito mais próximos dos números medidos em campo para geometria de 30m. O comportamento da curva é análogo ao demonstrado para geometria de 15m, apenas variando a ordem de grandeza dos valores.

Figura 45 - Retrorefletividade média com valores mínimos internacionais - Eixos - Geometria de 30m.



Entretanto, diferentemente do que ocorreu para geometria de 15m, onde ainda após 360 dias os valores apenas se aproximaram dos mínimos exigidos sem ultrapassar esses, para a geometria de 30m e com os limites internacionais de referência, os valores se aproximam dos mínimos em 60 dias e caem abaixo destes já aos 150 dias de pintura, quando as linhas não atendem mais o mínimo de 100mcd/m²/lux exigido pela FHWA. Aos 330 dias a norma britânica também deixa de ser atendida.

Com a observação dos resultados, constatou-se que as normas brasileiras deixam muito a desejar quando comparadas com as normativas internacionais, também para levantamentos em cor amarela. A utilização de uma geometria distinta já dificulta a comparação, mas ao ser realizada, esta indica que os valores exigidos em território nacional são muito mais baixos dos mínimos demandados internacionalmente. A pesquisa demonstrou que os valores medidos com geometrias distintas apresentam valores muito diferentes, porém os mínimos nacionais, que

utilizam geometria de 15m, são muito parecidos com os mínimos internacionais, regidos por geometria de 30m, fazendo com que uma disparidade exista.

Através dos levantamentos realizados foi possível determinar um coeficiente de transformação entre as duas geometrias, que será apresentado posteriormente (Equação 46) nesta pesquisa. Com a utilização deste fator, foi realizada a conversão dos mínimos internacionais, medidos com equipamentos com geometrias de 30m, para valores referentes a uma geometria de 15m. Os valores encontrados constam na Tabela 14 juntamente com os mínimos exigidos no Brasil e o tempo de serviço calculado através do modelo determinado nesta pesquisa.

Tabela 14 - Mínimos nacionais e internacionais para geometria de 15m e tempo de serviço previsto pelo modelo.

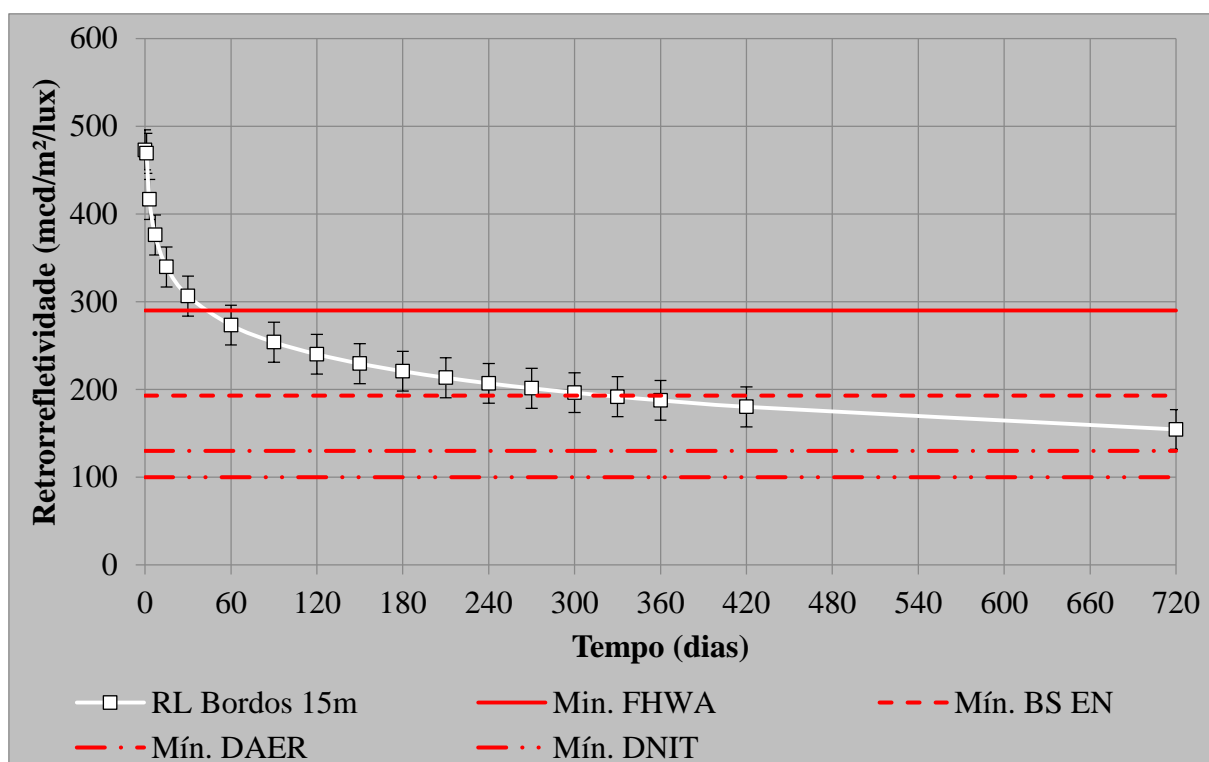
Cor	Órgão Regulamentador	Retrorefletividade mínima - geometria de 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Tempo de serviço (meses)
Branca	FHWA (2008)	290*	1,4
	BS EN (2007)	193*	10,8
	DAER (2013)	130	39,0
	DNIT (2014)	100	74,0
Amarela	FHWA (2008)	193*	2,6
	BS EN (2007)	155*	7,7
	DAER (2013)	130	16,0
	DNIT (2014)	80	68,2

(\*) valores após sofrerem conversão de geometria.

Observa-se que os valores agora são muito desiguais entre os nacionais e internacionais. O mínimo que o DAER exige é em torno de três vezes menor do que o valor considerado limite para segurança viária pelo FHWA se este exigisse medições com geometria de 15m. As maiores diferenças ocorrem para a cor branca. Isso advém principalmente pelo fato do DAER ser a única instituição da lista que não decreta o valor mínimo para demarcações amarelas distinto das brancas, deixando um valor relativamente alto para demarcações amarelas quando comparado com o DNIT, porém ainda baixo quando confrontado com valores internacionais.

Para melhor entendimento da questão, a seguir serão apresentados gráficos que trazem os valores de retrorrefletividade medidos com geometria de 15m em comparação com os mínimos nacionais e ainda os internacionais para geometria de 30m após estes serem transformados em valores indicativos à geometria de 15m. A Figura 46 apresenta os valores em relação a cor branca.

Figura 46 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais e internacionais - Bordos - Geometria de 15m



Os valores iniciais de retrorrefletividade continuam muito acima dos mínimos exigidos, mas não mais apresentam uma larga folga de quase cinco vezes como quando comparados apenas com os índices brasileiros, ficando os valores em torno de duas vezes os valores mínimos recomendados pela FHWA. No primeiro mês de serviço já são apresentados índices muito próximos do mínimo exigido pela FHWA. Aos 60 dias de idade da demarcação, a retrorrefletividade já está abaixo do indicado como mínimo seguro pela agência americana.

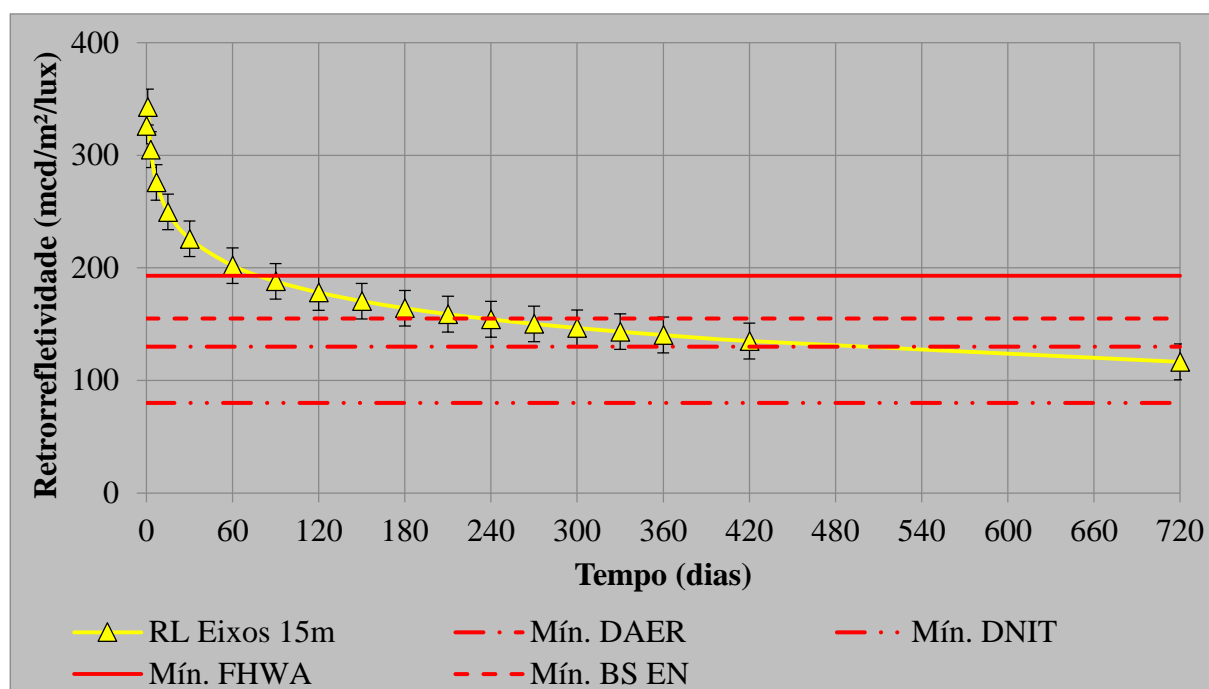
Aos 180 dias os valores já estão bem próximos do citado pela BS EN como mínimo para demarcações brancas. Na medição de 420 dias de serviço não atendem mais ao mínimo praticado no Reino Unido, diferente das normas nacionais, que exigem valores mínimos muito abaixo do que os pontos vêm apresentando ao final de um ano. Ao final do segundo ano de

pesquisa, as demarcações apresentam índices de retrorrefletividade próximos aos definidos pelas agências nacionais, segundo os quais ainda atendem a segurança viária.

O comportamento das curvas em relação aos mínimos internacionais exigidos é muito parecido com o que aconteceu com as curvas medidas com geometria de 30m ao serem plotadas sobre os mínimos da FHWA e BS EN para essa geometria, corroborando que a transformação entre as geometrias é confiável.

Assim como apresentado para as demarcações de bordo, a Figura 47 mostra os valores de retrorrefletividade das demarcações de eixo com geometria de 15m comparados não apenas aos mínimos nacionais, mas também os mínimos internacionais para geometria de 30m após realização das conversões necessárias.

Figura 47 - Retrorrefletividade média com valores mínimos nacionais e internacionais - Eixos - Geometria de 15m



Observa-se que os valores iniciais ainda estão bem acima do mínimo exigido pelas agências. Porém, assim como ocorreu com as demarcações brancas, agora que os mínimos internacionais aparecem, aos 60 dias de pintura os números medidos estão bem próximos do limite. Aos 90 dias os eixos não atendem mais aos requisitos de segurança da agência americana. Os números seguem caindo e se aproximando do mínimo da norma britânica, culminando aos 240 dias de idade em valores que não mais atendem esta norma

Ao final de 240 dias as demarcações apresentam valores muito próximos do mínimo exigido pelo DAER. Essa proximidade de valores entre os limites do DAER e da BSEN se dá ao fato do DAER ser o único órgão entre os apresentados que mantém o limite de retrorefletividade para demarcações amarelas igual ao limite para demarcações brancas, sendo assim, mais conservador. Mesmo com essa atitude, o limite fica abaixo das agências internacionais. Após dois anos de acompanhamento, as demarcações exibem valores ainda distantes ao mínimo exigido pelo DNIT, sendo consideradas suficientemente seguras por este órgão.

Fica evidenciada a distância entre os limites nacionais e internacionais para retrorefletividade das demarcações horizontais. Independente das agências comparadas, os índices brasileiros sempre apresentam valores muito mais baixos. Essa discrepância caracteriza o Brasil como um país despreocupado com a segurança rodoviária, e ineficiente em reduzir seus índices de acidentes.

#### **4.1.2 Taxa de Degradação da Retrorefletividade ao Longo do Tempo**

A taxa de degradação dos valores de retrorefletividade ao longo do tempo é muito parecida, de modo geral, entre as cores e geometrias utilizadas. Para geometria de 15m, independentemente da cor em questão, a taxa de degradação diária foi de 0,10% do valor de retrorefletividade inicial. Já para a geometria de 30m, essa taxa de degradação ficou em 0,09% da retrorefletividade inicial por dia, tanto para as demarcações de bordo quanto de eixo. Pode-se considerar então que a taxa de degradação diária ao longo do tempo para demarcações de ambas as cores, para ambas as geometrias é em torno de 0,1% do índice inicial de retrorefletividade.

É importante considerar que essa taxa, assim como a retrorefletividade, tende a decrescer ao longo do tempo. Ao considerar a demarcação em idade não tão avançada, a taxa apresentada é maior. Limitando a observação da taxa de degradação aos primeiros 60 dias após a aplicação, os números apresentados são bem diferentes. Nesse intervalo de tempo específico, o comportamento da degradação não foi coincidente entre as cores ou entre as geometrias. Para as demarcações de bordo, com geometria de 15m, teve-se uma taxa de degradação de 0,83% diário, enquanto que para geometria de 30m, a taxa foi de 0,54%, um terço menor. Já para as demarcações de eixo, as taxas apresentadas foram de 0,70% do valor inicial por dia com a geometria de 15m e 0,36% do valor inicial por dia com geometria de 30m.

Para ambas as cores, a taxa de degradação mais elevada ocorreu com a geometria de 15m, chegando a ser 50% maior para as demarcações de eixo. Essa diferença entre as geometrias ocorreu porque os valores medidos nos primeiros dias foram os que apresentaram maior diferença entre elas em valores absolutos. A diferença entre as taxas para as cores, se deu maior nesse caso porque é nos primeiros dias que a cor branca apresenta maior diferença em valores absolutos em relação às demarcações amarelas.

Ao comparar a taxa de degradação diária encontrada nesta pesquisa, 0,1%, percebe-se que está muito próxima da apresentada pela bibliografia especializada. Lee, Maleck e Taylor (1999) encontraram em sua pesquisa um índice de degradação de 0,14% diário da retrorefletividade inicial. Stizabee (2009) também encontrou uma taxa única para ambas as cores, porém muito mais elevada da apresentada neste trabalho, 1,66%. Esse valor pode estar ligado à idade das demarcações acompanhadas no estudo de 2009, provavelmente muito menos avançadas do que as demarcações em questão neste trabalho.

Thamizharesan (2003), Rasdorf et al. (2009) e Hummer et al. (2011) encontraram taxas de degradação diferentes para cada cor. O primeiro, defende que a demarcação amarela se degrada com o dobro de velocidade do que a branca, apresentando índices de degradação de 0,33% e 0,17% respectivamente. Já Rasdorf et al (2009) e Hummer et al. (2011) concordaram que, na verdade, quem tem uma degradação mais rápida é a demarcação de cor branca. Os dois estudos propuseram taxas de degradação diária de 0,1% e 0,04% do valor de retrorefletividade inicial.

Constatou-se então que a taxa de degradação da retrorefletividade independe da cor da demarcação. A taxa média é de 0,1% do valor da retrorefletividade inicial. Como a cor amarela tende a apresentar valores menores de retrorefletividade inicial, mesmo com a mesma taxa de aplicação de microesferas de vidro, as demarcações amarelas atingem patamares de ineficiência antes das brancas, quando os limites de segurança são o mesmo para ambas as cores.

#### **4.1.3 Retrorefletividade em Cores Distintas**

Apenas com esta pesquisa não é possível concluir-se cabalmente se os valores de retrorefletividade para cada cor respondem da mesma maneira com diferentes taxas de microesferas. Porém, para as condições estudadas nesta pesquisa, pode-se observar que ao manter as taxas de aplicação iguais (400g/m<sup>2</sup>), as demarcações amarelas apresentaram valores médios de retrorefletividade 27% menores para a geometria de 15m e 24% menores quando medidos com geometria de 30m, quando comparados com os valores apresentados pelas



demarcações brancas. Essa afirmação vai ao encontro de que a tinta amarela apresenta valores de retrorrefletividade em média um quarto menor daqueles apresentados pela tinta branca com a mesma taxa de aplicação de microesferas de vidro. A Tabela 15 apresenta os valores médios em porcentagem de quanto as demarcações brancas apresentaram valores acima das amarelas.

Tabela 15 - Diferença média na retrorrefletividade entre cores.

Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)						
Tempo de serviço (dias)	15m			30m		
	Branca	Amarela	Diferença (%)	Branca	Amarela	Diferença (%)
0	473	326	31%	211	159	24%
1	524	324	38%	246	166	32%
3	435	320	26%	221	171	23%
7	290	284	2%	174	162	7%
15	282	221	22%	166	138	17%
30	357	291	18%	206	178	14%
60	236	189	20%	134	119	11%
90	215	167	22%	130	112	14%
120	183	148	19%	106	90	15%
150	200	150	25%	112	81	28%
180	196	147	25%	113	81	28%
210	238	160	33%	113	75	34%
240	251	177	30%	118	78	34%
270	259	175	32%	122	78	36%
300	222	151	32%	103	67	35%
330	221	151	32%	104	67	36%
360	199	135	32%	92	67	28%
420	186	116	37%	96	58	39%
720	128	95	26%	72	51	30%
Média	268	196	27%	139	105	24%

Constatou-se que nos primeiros dias, a diferença entre as cores já apresentava valores acima da diferença média encontrada, chegando a 38% e 32% para geometrias de 15m e 30m, respectivamente. Nesse período é comum que haja excesso de microesferas sobre as demarcações, como dito anteriormente, e como neste estudo a retirada desse excesso ocorre de

maneira distinta entre as cores, devido a existência de tachões nos eixos e tachas nos bordos, essa maior disparidade de valores é então explicada.

Aos sete dias após a pintura, a diferença caiu drasticamente, sendo este levantamento o que exibiu menor disparidade entre os valores apresentados pelas cores, apenas 2% para geometria de 15m e 7% para geometria de 30m, subindo no levantamento seguinte, quando apresentou valores ainda abaixo da média geral.

O levantamento de 7 dias do eixo trouxe valores muito próximos aos apresentados no levantamento anterior, de 3 dias, apenas 11% e 5% menores para geometria de 15m e 30m. Já para os bordos, o levantamento realizado 7 dias após a pintura apresentou valores muito mais baixos daqueles apresentados aos 3 dias, 33% e 22% mais baixos para geometria de 15m e 30m.

É necessário lembrar que a pintura de bordo e de eixo não foram realizadas no mesmo dia, fazendo com que os primeiros levantamentos (0, 1, 3, 7, 15 e 30 dias) não fossem realizados na mesma oportunidade. O levantamento de 7 dias de idade dos bordos ocorreu 6 dias após o levantamento de 7 dias dos eixos, acarretando diferença visível na condição de limpeza do trecho. Havendo presença de sujeira sobre as demarcações de bordo por consequência de tempo chuvoso e carga e descarga de material em uma propriedade recém aterrada próxima ao segmento de pesquisa.

Após esse levantamento, a diferença entre as cores voltou a subir e permaneceu estável até os 150 dias após a pintura, quando os valores foram maiores tanto para 15m e 30m, apresentando pequenas variações nos levantamentos subsequentes, permanecendo sempre acima da média apresentada anteriormente.

Com o passar do tempo, as demarcações perdem as microesferas, drop-on, que nelas estão ancoradas, fazendo com que a retrorefletividade caia. A partir de certo ponto, entre 120 e 150 dias, a diferença nos valores de retrorefletividade apresentados pelas cores tendeu a ficar constante, próximo de 30% para geometria de 15m e 32% para geometria de 30m. Supõem-se que isso ocorre pelo fato de que a quantidade de microesferas ancoradas na pintura é menor, fazendo com que a parcela de interferência da cor da tinta seja maior no valor de retrorefletividade. Sendo assim, é válido supor que ao longo do tempo (após os valores de retrorefletividade se tornarem constantes) a diferença nos valores entre a cor branca e amarela permaneçam elevados.

Considerando então apenas os levantamentos que foram realizados no mesmo dia, para que a comparação não apresente variáveis distintas, pode-se concluir que as demarcações brancas apresentam em média valores de retrorefletividade 28% maiores do que os apresentados pelas demarcações de cor branca. Esse valor vai ao encontro do apresentado por

Parker e Meja (2003), de que pinturas de cor amarela apresentem valores de retrorefletividade equivalentes a apenas 70 a 80% dos índices apresentados por pinturas de cor branca nas mesmas condições.

#### 4.1.4 Transformação Entre Geometrias

Após realização de quase 12 mil leituras com o equipamento de dupla geometria, foi possível determinar a diferença apresentada nos resultados e a determinação de um modelo para transformação de uma geometria para outra. Foi considerada a cor da demarcação para determinar se existe influência dessa variável na transformação. As Figuras 48 e 49 apresentam gráficos que ilustram os resultados obtidos em cada leitura do aparelho para ambas as geometrias.

Figura 48 - Diferença de valores de retrorefletividade com geometrias diferentes – Eixos – Geometria de 15 e 30m.

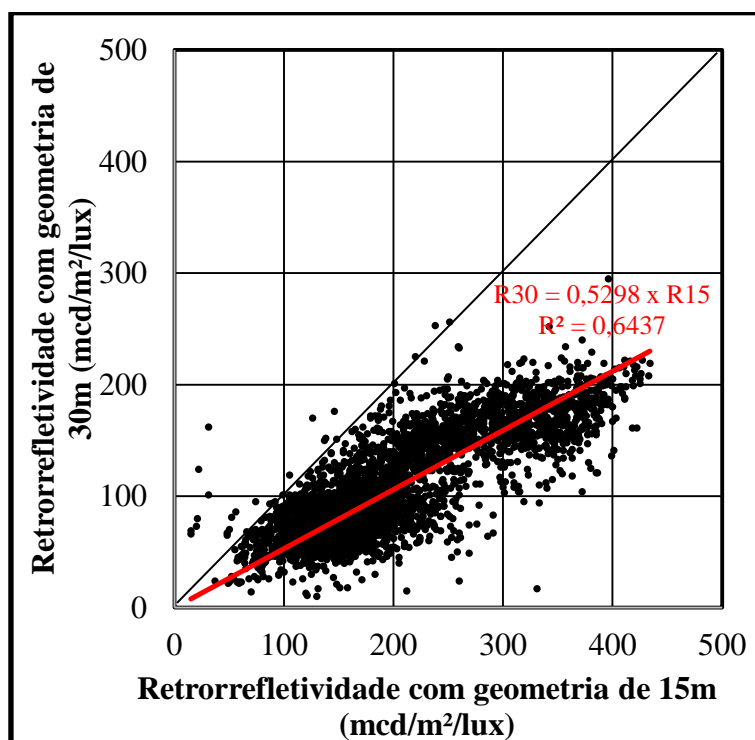
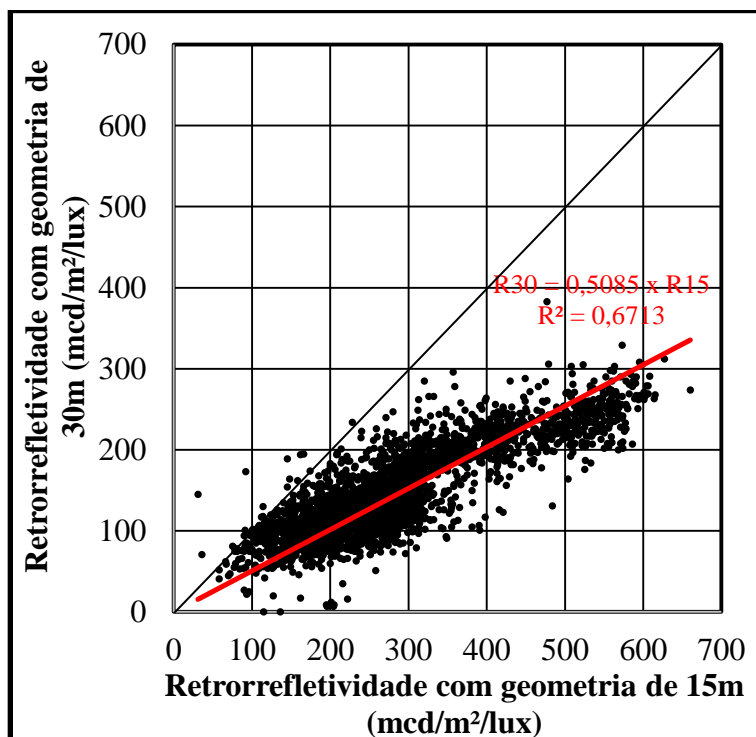


Figura 49 - Diferença de valores de retrorrefletividade com geometrias diferentes – Bordos – Geometria de 15 e 30m.



Pelos valores apresentados conclui-se que a diferença nos resultados para geometrias distintas é levemente maior para demarcações brancas, sendo os valores medidos com geometria de 30m 49% menores dos medidos com geometria de 15m. Para a cor amarela, constatou-se que os resultados para geometria de 30m são 47% menores em relação aos medidos com geometria de 15m. As Equações 47 e 48 apresentam um fator de conversão para os valores de retrorrefletividade para diferentes geometrias, para as cores amarela e branca, respectivamente.

$$\text{Cor Amarela: } R30 = R15 \times 0,5298; R^2 = 0,6437 \quad (47)$$

$$\text{Cor Branca: } R30 = R15 \times 0,5085; R^2 = 0,6713 \quad (48)$$

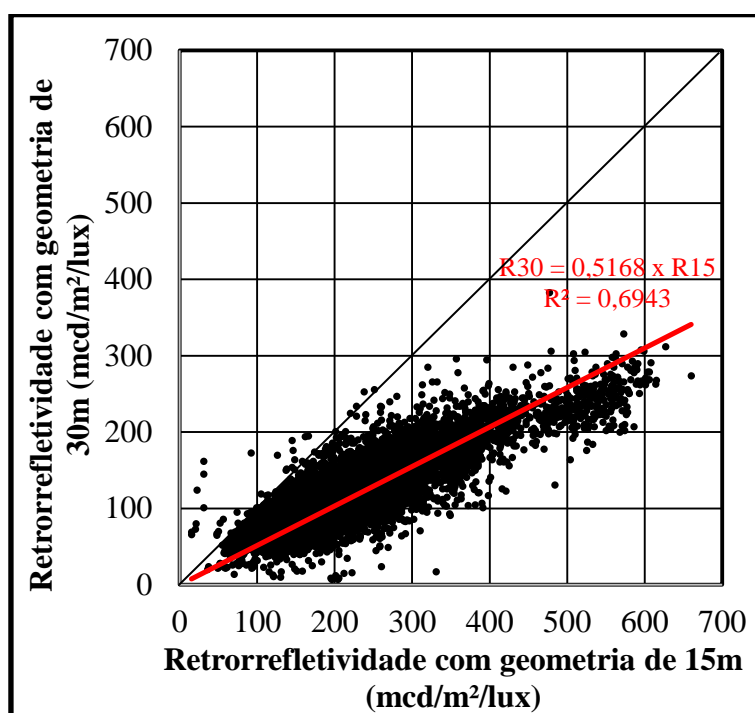
Onde:

R30 é a retrorrefletividade com geometria de 30m;

R15 é a retrorrefletividade com geometria de 15m.

Como os valores para ambas as cores foram muito próximos, foi realizado um novo cálculo com todas as medições, ambas as cores, incorporadas em um único modelo genérico para conversão. A Figura 50 apresenta o comportamento das estimações medidas.

Figura 50 - Diferença de valores de retrorrefletividade com geometrias diferentes – Bordos e eixos – Geometria de 15 e 30m.



A Figura 50 tem comportamento análogo aos apresentados para cada cor isolada. Mostrando que as medições realizadas com equipamentos com geometria de 30m costumam apresentar valores 48,32% menores em relação aos medidos com equipamento de geometria de 15m. Além de facilitar o cálculo, trazendo apenas um fator de conversão para ambas as cores, este ainda exibe valor de  $R^2$  maior em relação aos modelos apresentados anteriormente, oferecendo maior confiabilidade à conversão. A Equação 49 apresenta o modelo genérico determinado na pesquisa.

$$R30 = R15 \times 0,5168; R^2 = 0,6943. \quad (49)$$

Onde:

$R30$  é a retrorrefletividade com geometria de 30m;

R15 é a retrorrefletividade com geometria de 15m.

Salles et al. (2015), em trabalho realizado também na cidade de Santa Maria, constatou que a diferença entre as leituras, ao serem realizadas em geometria dupla, apresenta valores com o dobro de ordem de grandeza quando utilizada geometria de 15m. Nesta pesquisa, observou-se que essa relação é de que os valores medidos na geometria de 15m são, em média, 94% maiores do que os medidos com geometria de 30m

## 4.2 RETRORREFLETIVIDADE E MACROTEXTURA

Um dos objetivos deste trabalho foi tentar avaliar se o comportamento da retrorrefletividade em função do tempo apresenta variação em caso de diferentes macrotexturas da superfície do pavimento onde ela foi aplicada. Para tal, foram realizados cinco levantamentos da macrotextura de 60 pontos como apresentado na metodologia. A Tabela 16 apresenta os resultados das classes de macrotextura dos pontos avaliados. Os pontos 5BD20 e 5BE20 não foram pintados por estarem localizados em local com linha tracejada, por isso aparecem em branco. Células com “-“ representam pontos que foram repintados após realização de fresagem.

Tabela 16 - Altura Média de Areia (HS) e Classes de macrotextura (CI) dos pontos avaliados.

(Continua)

Ponto	Pré pintura		60 dias		150 dias		240 dias		330 dias		420 dias		720 dias	
	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI	HS (mm)	CI
1AD01	1,24	MA	0,95	AB	1,14	AB	0,78	ME	0,80	ME	0,78	ME	0,80	ME
1AD10	1,17	AB	0,85	AB	1,20	AB	0,77	ME	0,82	AB	0,81	AB	0,66	ME
1AD20	0,96	AB	0,60	ME	0,86	AB	0,74	ME	0,74	ME	0,78	ME	0,80	ME
1AE01	1,00	AB	0,88	AB	1,02	AB	0,80	ME	0,80	ME	0,68	ME	0,47	ME
1AE10	1,00	AB	0,71	ME	0,91	AB	0,76	ME	0,81	AB	0,75	ME	0,55	ME
1AE20	1,02	AB	0,85	AB	0,91	AB	0,72	ME	0,82	AB	0,78	ME	0,66	ME
1BD01	0,91	AB	0,58	ME	0,66	ME	1,10	AB	0,79	ME	0,73	ME	0,49	ME
1BD10	1,17	AB	0,58	ME	0,72	ME	0,54	ME	0,54	ME	0,58	ME	0,49	ME
1BD20	0,35	AB	0,36	ME	0,50	ME	0,37	FE	0,40	FE	0,41	FE	0,40	FE
1BE01	0,93	AB	0,60	ME	0,78	ME	0,60	ME	0,60	ME	-	-	-	-
1BE10	0,98	AB	0,67	ME	0,68	ME	0,62	ME	0,620	ME	-	-	-	-
1BE20	0,85	AB	0,62	ME	0,56	ME	0,6	ME	0,60	ME	0,61	ME	0,60	ME
2AD01	1,21	MA	0,63	ME	0,77	ME	0,64	ME	0,64	ME	0,78	ME	0,88	ME
2AD10	1,06	AB	0,62	ME	0,98	AB	0,74	ME	0,81	AB	0,83	AB	0,98	AB
2AD20	1,24	MA	0,78	ME	1,10	AB	0,80	ME	0,82	AB	-	-	-	-
2AE01	1,02	AB	0,76	ME	1,17	AB	0,82	AB	0,75	ME	0,76	ME	0,72	ME
2AE10	1,06	AB	0,74	ME	1,08	AB	0,85	AB	0,85	AB	0,82	AB	0,98	AB
2AE20	1,08	AB	0,76	ME	0,91	AB	0,85	AB	0,80	ME	-	-	-	-
2BD01	0,87	AB	0,48	ME	0,70	ME	0,74	ME	0,74	ME	0,78	ME	0,62	ME
2BD10	1,04	AB	0,39	ME	0,61	ME	0,74	ME	0,74	ME	0,74	ME	0,65	ME
2BD20	1,02	AB	0,48	ME	0,63	ME	0,69	ME	0,69	ME	-	-	-	-
2BE01	0,96	AB	0,54	ME	0,69	ME	0,59	ME	0,59	ME	0,61	ME	0,60	ME
2BE10	1,03	AB	0,66	ME	0,63	ME	0,74	ME	0,74	ME	0,75	ME	0,60	ME
2BE20	0,85	AB	0,55	ME	0,59	ME	0,74	ME	0,74	ME	-	-	-	-



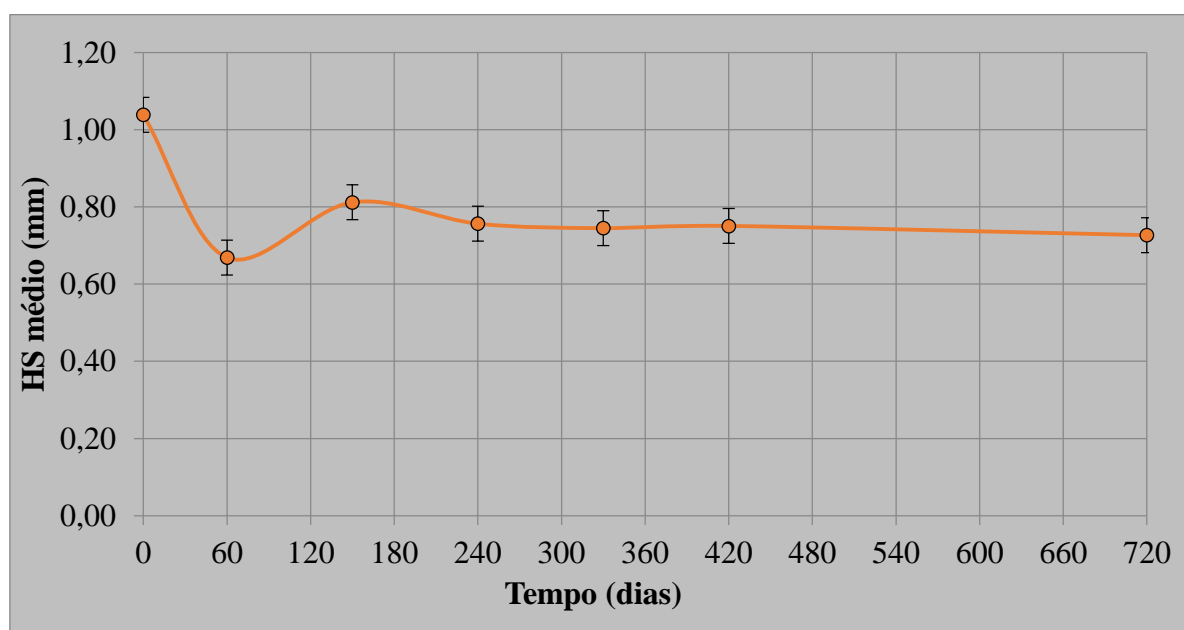


Os índices de HS se enquadram em determinadas faixas de valores, conforme a metodologia, e cada faixa de valores corresponde a uma classe de macrotextura. Porém a comparação direta entre as classes é difícil, já que um ponto pode ter valor de altura média de areia mais parecido com um ponto que possua classe de macrotextura distinta da sua do que um que venha a apresentar a mesma classe de macrotextura. Tal fato ocorre geralmente próximo dos limites de altura média de areia.

Por exemplo, um ponto com altura média de areia de 0,79mm tem classe de macrotextura (média) igual a um ponto com altura média de areia de 0,42mm, enquanto que um ponto com altura média de areia muito parecida, como 0,81mm apresentará classe de macrotextura diferente, considerada aberta. Sendo assim, diferenças na classe podem aparecer mesmo sem grande diferença na altura de areia, enquanto um ponto perde 0,02mm na altura de areia e muda sua classe de macrotextura, outro que perde 0,20mm e segue na mesma faixa de macrotextura. Por este motivo algumas das análises levaram em consideração a altura média de areia e não a classe de macrotextura.

A Figura 51 apresenta o comportamento da média das alturas de areia de todos os pontos observados na pesquisa nos sete levantamentos de macrotextura.

Figura 51 - Altura média de areia dos pontos (mm) x Tempo (dias)



\*Primeiro ponto medido antes da pintura.

Ao realizar o levantamento antes da pintura apenas a areia preencheu o volume vazio na superfície, após a pintura, além da areia, a tinta e as microesferas já ocupam espaço dentro dos vazios, deixando menos volume para ser completado pela areia, resultando em um diâmetro médio de mancha maior e assim uma HS menor. Um levantamento realizado logo após a pintura resultaria em valores ainda menores de HS. O aumento que ocorre no levantamento seguinte, aos 60 dias de pintura se dá provavelmente devido à perda de microesferas e até mesmo ao desgaste da própria tinta. Os valores seguintes são muito próximos, insinuando que o valor de HS tende a uma constância depois dos 150 dias da aplicação.

Os 60 pontos foram divididos em grupos correspondendo com sua macrotextura, comparando as cores individualmente, para que se observasse o comportamento da retrorrefletividade deles ao longo do tempo. A Tabela 17 traz os valores médios de retrorrefletividade para os grupos de pontos de cada classe de macrotextura inicial, ou seja, medida antes da pintura para as demarcações brancas.

Tabela 17 – Retrorrefletividade média dos bordos para cada classe de macrotextura.

(Continua)

<b>Tempo (dias)</b>	<b>Retrorrefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>					
	<b>15m</b>			<b>30m</b>		
	<b>MA</b>	<b>AB</b>	<b>FE</b>	<b>MA</b>	<b>AB</b>	<b>FE</b>
0	542	490	465	223	215	197
1	604	536	313	279	255	215
3	442	439	379	232	222	210
7	207	277	284	129	172	191
15	224	279	310	143	167	169
30	398	360	358	224	208	193
60	248	245	221	128	139	135
90	214	217	224	109	134	140
120	177	169	176	117	105	98
150	181	212	189	87	120	120
180	190	209	190	90	119	125
210	273	226	188	115	107	111

Tabela 17 - Retrorrefletividade média dos bordos para cada classe de macrotextura.

(Conclusão)

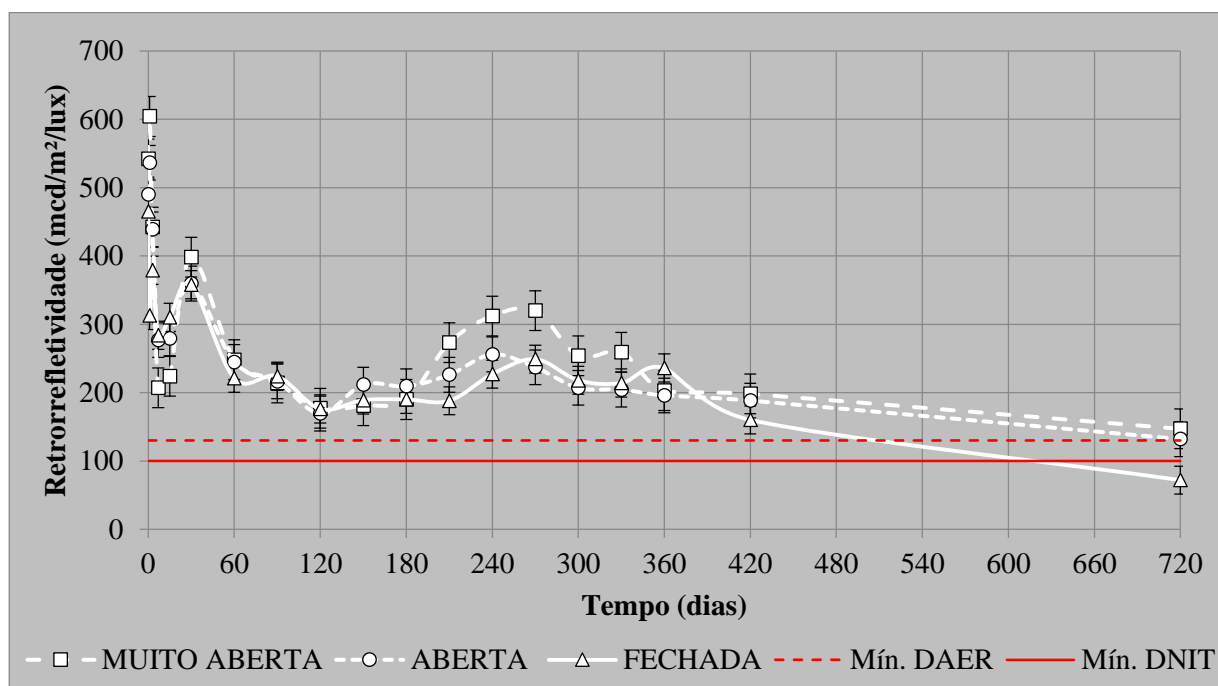
Tempo (dias)	Retrorrefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)					
	15m			30m		
	MA	AB	FE	MA	AB	FE
240	312	256	227	124	125	117
270	320	237	249	115	120	119
300	254	207	218	108	101	120
330	259	204	214	108	102	124
360	203	195	236	93	89	103
420	198	188	160	95	99	83
720	147	132	72	96	72	57

MA: Muito Aberta; AB: Aberta; FE: Fechada.

A Figura 52 apresenta o gráfico de retrorrefletividade em função do tempo das demarcações de bordo, agora divididas por classe de macrotextura com os mínimos exigidos para geometria de 15m. A classe de macrotextura considerada para os pontos foram as medidas antes da pintura, ou seja, o ponto que teve a classe de macrotextura definida como aberta no primeiro levantamento, fará parte deste grupo mesmo que sua classe venha a mudar ao longo do tempo.

As curvas apresentadas são muito parecidas, tanto nos valores de retrorrefletividade quanto nas taxas de ganho e perda dela. Apenas no levantamento aos 210 dias, onde os pontos de macrotextura muito aberta acabam tendo um ganho de retrorrefletividade muito acima dos outros, que continuam constantes. Não foi identificada nenhuma causa desse comportamento diferente para tais pontos. Após esse levantamento, os valores seguiram tendo comportamento parecido, até o dia 360, quando os pontos de macrotextura muito aberta agora apresentaram uma queda nos valores, fazendo com que os índices voltassem a ficar compatíveis com os demais. Ao final dos 720 dias, a curva referente aos pontos com macrotextura fechada é a única com retrorrefletividade abaixo dos mínimos exigidos.

Figura 52 - Retrorefletividade média para diferentes classes de macrotextura – Bordos – Geometria de 15m.



Dos 19 levantamentos realizados, em 13 deles a classe de macrotextura que apresentou média de retrorefletividade mais elevada foi a muito aberta. Contudo, é necessário frisar que dos 30 pontos de bordo que tiveram sua macrotextura avaliada, somente um apresentou essa classe de macrotextura, 4BE20. Além disso, a classe de macrotextura fechada também foi representada por apenas um ponto, 5BD01. Sendo assim, não se pode considerar como um resultado geral, mas sim específico, não apresentando, estas conclusões, suficiente constatação estatística. Por este motivo também, os gráficos foram expressos com os valores medidos em campo e não como curvas de modelos gerais. Os resultados de bordo para geometria de 30m foram análogos aos apresentados para a geometria de 15m.

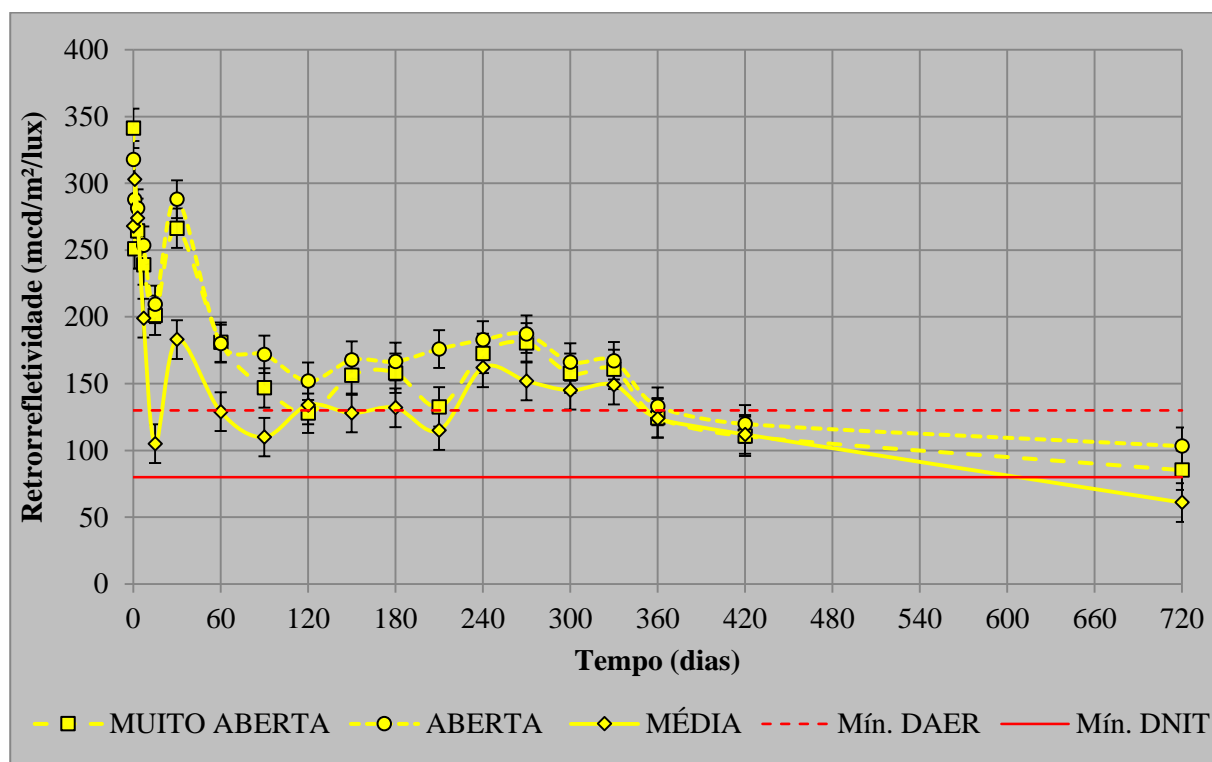
A comparação também foi realizada para as demarcações de eixo. A Tabela 18 traz os valores de retrorefletividade média, para cada grupo de pontos de classe de macrotextura semelhante, em cada um dos dezenove levantamentos. Para facilitar a observação do desempenho de cada classe, a Figura 53 apresenta o gráfico de retrorefletividade em função do tempo das demarcações de eixo, divididas por classe de macrotextura com os mínimos exigidos para geometria de 15m.

Tabela 18 - Médias de retrorrefletividade dos eixos para cada classe de macrotextura.

<b>Tempo (dias)</b>	<b>Retrorrefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>					
	<b>15m</b>			<b>30m</b>		
	<b>MA</b>	<b>AB</b>	<b>ME</b>	<b>MA</b>	<b>AB</b>	<b>ME</b>
0	341	318	268	174	163	165
1	251	288	303	136	157	157
3	264	281	274	149	154	164
7	239	254	199	137	150	128
15	201	209	105	135	139	101
30	266	288	183	174	176	128
60	181	180	129	121	119	90
90	147	172	110	104	118	101
120	128	152	134	85	101	84
150	156	168	128	73	85	66
180	158	167	132	75	85	70
210	133	176	115	70	80	70
240	173	183	162	74	75	68
270	181	187	152	76	75	64
300	158	166	145	66	66	64
330	161	167	149	66	66	65
360	125	133	124	51	63	62
420	111	120	112	53	62	63
720	85	103	61	46	53	57

MA: Muito Aberta; AB: Aberta; ME: Fechada.

Figura 53 - Retrorefletividade média para diferentes classes de macrotextura – Eixos – Geometria de 15m.



Desta vez, os pontos com melhor desempenho foram aqueles com macrotextura aberta. Em 79% dos levantamentos foi a curva com maiores índices de retrorefletividade. Deve-se considerar que apenas dois pontos dos trinta apresentaram classe de macrotextura média. Excluindo essa curva, a curva com índices mais elevados em 90% dos levantamentos é a de classe de macrotextura aberta. Infelizmente não há amostras com outras classes nesta pesquisa, tornando os resultados inconclusivos.

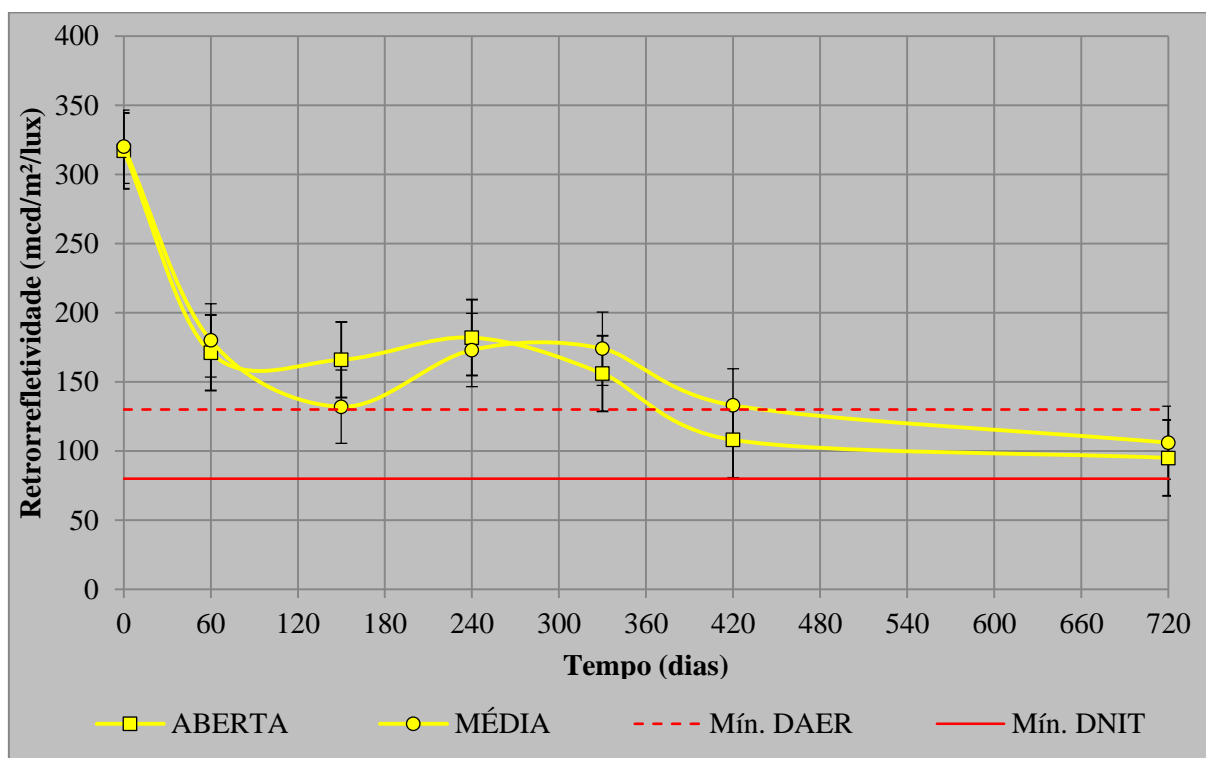
Uma outra abordagem foi a comparação da classe de macrotextura e retrorefletividade do dia em que foi medida e ao longo do tempo. Isso se deu utilizando apenas os valores de retrorefletividade dos dias em que ocorreram levantamentos de macrotextura dos pontos e separando, então, em duas curvas a média dos pontos que apresentaram classe aberta e média. Essa abordagem será apresentada para os eixos, já que os bordos apresentaram basicamente apenas uma classe de macrotextura, a ressalva desta abordagem é que um ponto que apresentou classe de macrotextura aberta aos 60 dias, pode apresentar classe média aos 330 dias, por exemplo, passando então a entrar na média de retrorefletividade de outra curva. A Tabela 19 apresenta os valores enquanto a Figura 54 apresenta o comportamento ao longo do tempo para geometria de 15m.

Tabela 19 - Retrorefletividade média dos eixos por classe de macrotextura.

Tempo (dias)	Retrorefletividade (mcd/m <sup>2</sup> /lux)			
	15m		30m	
	AB	ME	AB	ME
0	317	320	163	164
60	171	180	114	118
150	166	132	82	64
240	182	173	73	75
330	156	174	62	69
420	108	133	52	71
720	95	106	48	52

AB: Aberta; ME: Média.

Figura 54 – Retrorefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux) x Tempo (dias) para diferentes macrotexturas – Eixos – Geometria de 15m.



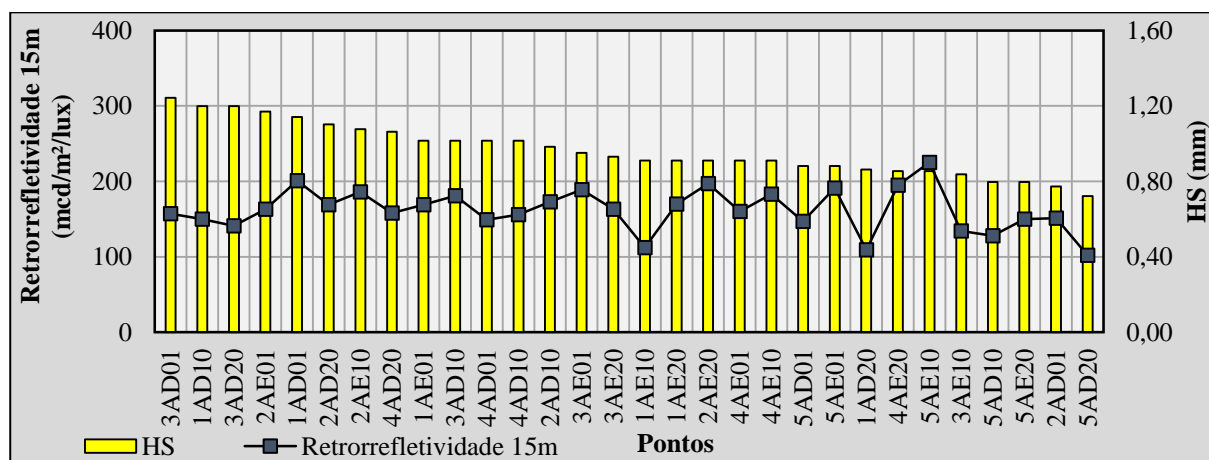
\*Primeiro levantamento realizado antes da pintura.

Os valores médios de retrorefletividade apresentados pelos pontos com macrotextura média são maiores do que os que apresentam macrotextura aberta na grande maioria dos levantamentos. Para geometria de 15m, em 71% dos casos, os pontos com macrotextura média

tiveram desempenho melhor. Alguns valores são bem próximos, possivelmente pelas classes de macrotextura também apresentarem baixa variação. Os resultados apresentados para a geometria de 30m é análogo ao apresentado para a geometria de 15m.

Por este motivo, talvez comparações separando os pontos por classe de macrotextura não sejam a melhor maneira de observar o comportamento da retrorrefletividade, já que pequenas variações no HS podem resultar em mudança de macrotextura, enquanto que grandes variações no HS podem ocorrer dentro da mesma classe de macrotextura. Pensando nisso, resolveu-se organizar os valores de retrorrefletividade pontuais, ligados aos valores de HS destes mesmos pontos. A partir dos 150 dias do momento da pintura, também foram realizados levantamentos de microtextura nos mesmos 60 pontos. Por isso foi escolhida esta data para a abordagem de macrotextura e retrorrefletividade individualmente ponto a ponto. A Figura 55 apresenta esta comparação das demarcações de eixo para geometria de 15m.

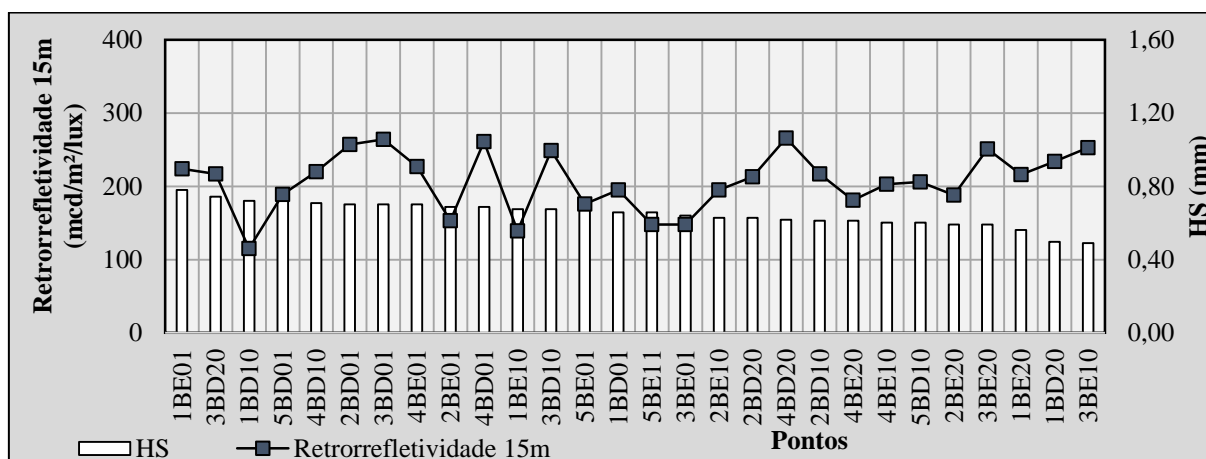
Figura 55 - HS (mm) x Retrorrefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) - 17/09/2016 (150 dias) – Eixos - Geometria de 15m.



A Figura 55 apresenta os pontos dispostos em função dos valores de HS, do maior (esquerda) para o menor (direita), e plota os valores de retrorrefletividade apresentados por eles. Não é possível observar uma tendência na Figura 55. A mesma análise ocorreu para os pontos de bordo. A Figura 56 apresenta esse resultado para as demarcações brancas, utilizando geometria de 15m.



Figura 56 - HS (mm) x Retrorefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux) - 17/09/2016 – Bordos - Geometria de 15m.



Assim como nos levantamentos realizados com os pontos pintados de amarelo, não é possível identificar qualquer aumento ou diminuição na retrorefletividade conforme a altura de areia varia. Ainda, os pontos com menor HS e maior HS presentes nos gráficos não apresentaram diferença relevante nos valores de retrorefletividade. Além disso, nos pontos dos bordos a amplitude de valores de HS é bem menor da apresentada pelos pontos de eixo.

O ponto com menor HS tem valor de 0,49 e o maior de 0,78. Por isso, uma possibilidade levantada foi a de que os valores de HS estivessem muito próximos, fazendo com que não fosse possível observar variações significativas na retrorefletividade em função da macrotextura. Os resultados apresentados pelas avaliações com retrorefletometro com geometria de medição de 30m foram os mesmos dos vistos para a geometria de 15m.

Para tentar minimizar o possível problema, os 30 valores de HS de cada linha foram divididos em três conjuntos. Um conjunto corresponde aos 10 pontos com maior HS, o segundo conjunto é formado pelos 10 pontos com menor HS e o terceiro conjunto contém os 10 pontos médios. Para análise, o terceiro conjunto foi excluído (conjunto com os valores médios) e foi calculada a média aritmética de HS e retrorefletividade dos dois conjuntos restantes. As Figuras 57 e 58 trazem a comparação dos mesmos para os levantamentos realizados aos 150 dias de idade das demarcações com geometria de 15m

Figura 57 - Médias de HS (mm) e Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) – 150 dias após pintura - Eixos - Geometria de 15m.

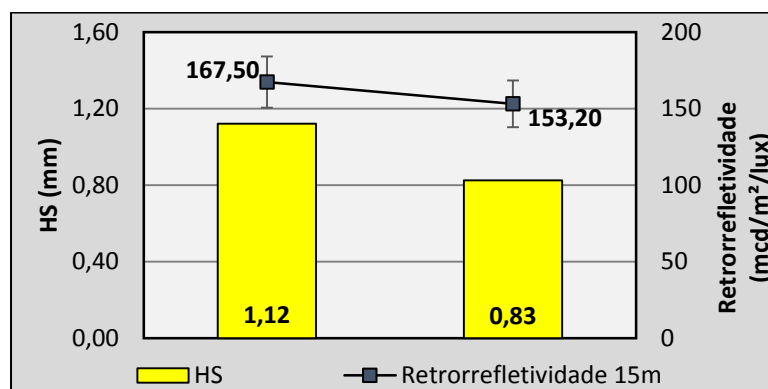
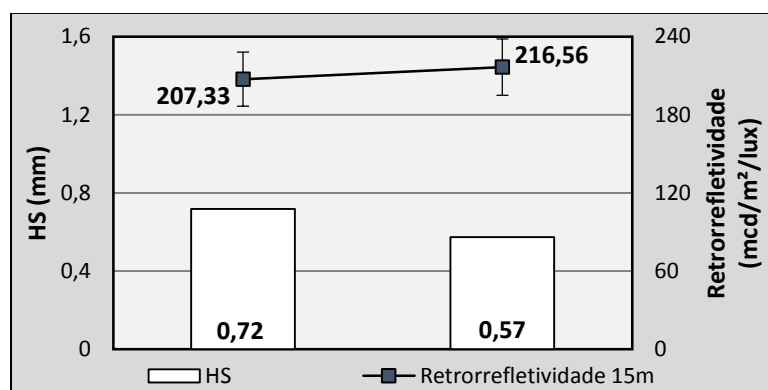


Figura 58 - Médias de HS (mm) e Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) - 150 dias após pintura - Bordos - Geometria de 15m.



Percebeu-se que para este caso, para as demarcações de eixo, a retrorefletividade caiu cerca de 9% com a diminuição da altura de areia. Já para as demarcações de bordo, houve acréscimo da retrorefletividade, cerca de 4%, com a queda do valor de altura de areia. Para que a análise seja mais consistente, foi realizada a mesma abordagem para levantamentos de macrotextura e retrorefletividade realizados em outras datas. Além deste, realizado aos 150 dias após a pintura, também tiveram esta metodologia aplicada os levantamentos de 60, 240, 330, 420 e 720 dias. A Tabela 20 apresenta a tendência de comportamento da retrorefletividade em cada um dos levantamentos para cada uma das cores quando ocorre a diminuição da altura de areia para geometria de 15m. Lembrando que a comparação da retrorefletividade é de pontos distintos, os que apresentaram maior HS com os que apresentaram menor HS.

Tabela 20 – Tendência de comportamento da retrorrefletividade com diminuição do HS – geometrias de 15m

Idade (dias)	Geometria de 15m	
	Bordos	Eixos
60	Aumento	Diminuição
150	Aumento	Diminuição
240	Aumento	Aumento
330	Diminuição	Aumento
420	Aumento	Aumento
720	Aumento	Aumento

Observou-se que dos 12 casos, 9 apresentaram aumento no valor da retrorrefletividade, com redução de HS, enquanto que os 3 restantes apresentaram diminuição nestes índices. Esse resultado mostra que pontos com classe de macrotextura mais fechada tenderam a valores médios de retrorrefletividade maiores. Os resultados para a geometria de 30m foram análogos aos apresentados pela geometria de 15m.

Levou-se em consideração a possibilidade, de mesmo após estarem recebendo limpeza prévia, as demarcações permanecerem apresentando impurezas, fato que poderia mascarar os resultados. Pensando nisso, no levantamento realizado aos 240 dias após a pintura das demarcações, os 60 pontos foram limpos e os procedimentos de medições foram repetidos no dia seguinte, 241 dias após a pintura das linhas. A Tabela 21 apresenta os resultados de altura média de areia e retrorrefletividade dos 60 pontos antes e após realização da pintura.

Tabela 21 - Resultados de HS e Retrorrefletividade antes e depois da limpeza dos pontos.

(Continua)

Pontos	Antes da Limpeza (240 dias)			Após Limpeza (241 dias)		
	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)
<b>1AD01</b>	0,78	169	88	0,93	250	115
<b>1AD10</b>	0,77	157	57	0,85	159	66
<b>1AD20</b>	0,74	163	50	0,77	112	65
<b>1AE01</b>	0,8	171	70	0,77	176	73
<b>1AE10</b>	0,76	159	63	0,85	129	44
<b>1AE20</b>	0,72	144	54	0,85	122	50
<b>1BD01</b>	1,1	181	77	0,59	205	91
<b>1BD10</b>	0,54	153	68	0,61	202	90

Tabela 21 - Resultados de HS e Retrorefletividade antes e depois da limpeza dos pontos.

(Continua)

Pontos	Antes da Limpeza (240 dias)			Após Limpeza (241 dias)		
	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)
1BD20	0,37	258	124	0,31	280	120
1BE01	0,6	225	126	0,59	304	136
1BE10	0,62	206	153	0,55	286	95
1BE20	0,6	308	123	0,54	350	133
2AD01	0,64	275	111	0,72	208	73
2AD10	0,74	162	83	0,74	171	87
2AD20	0,8	196	85	0,81	92	69
2AE01	0,82	236	94	0,86	133	80
2AE10	0,85	193	63	1,02	200	47
2AE20	0,85	161	74	0,82	218	100
2BD01	0,74	305	143	0,59	319	155
2BD10	0,74	248	123	0,45	293	135
2BD20	0,69	238	106	0,68	280	117
2BE01	0,59	283	212	0,55	207	108
2BE10	0,74	302	132	0,48	349	156
2BE20	0,74	265	100	0,45	301	115
3AD01	0,85	158	68	1,02	155	70
3AD10	1,02	120	80	0,85	191	111
3AD20	1,02	161	74	0,88	131	64
3AE01	0,82	191	80	0,69	197	83
3AE10	0,72	165	62	0,88	85	61
3AE20	0,85	163	40	0,82	127	71
3BD01	0,65	298	141	0,69	298	160
3BD10	0,8	257	135	0,64	195	131
3BD20	0,69	309	193	0,56	271	134
3BE01	0,59	225	104	0,51	184	93
3BE10	0,54	229	168	0,46	361	103
3BE20	0,62	224	113	0,47	251	112
4AD01	0,98	194	94	0,85	183	88
4AD10	1,2	276	75	0,95	188	47
4AD20	1,1	152	73	0,9	183	79
4AE01	0,77	206	102	0,8	162	74
4AE10	0,82	278	92	0,7	192	86
4AE20	0,74	114	83	0,77	116	75
4BD01	0,77	287	138	0,59	260	221
4BD10	0,65	262	139	0,59	199	87

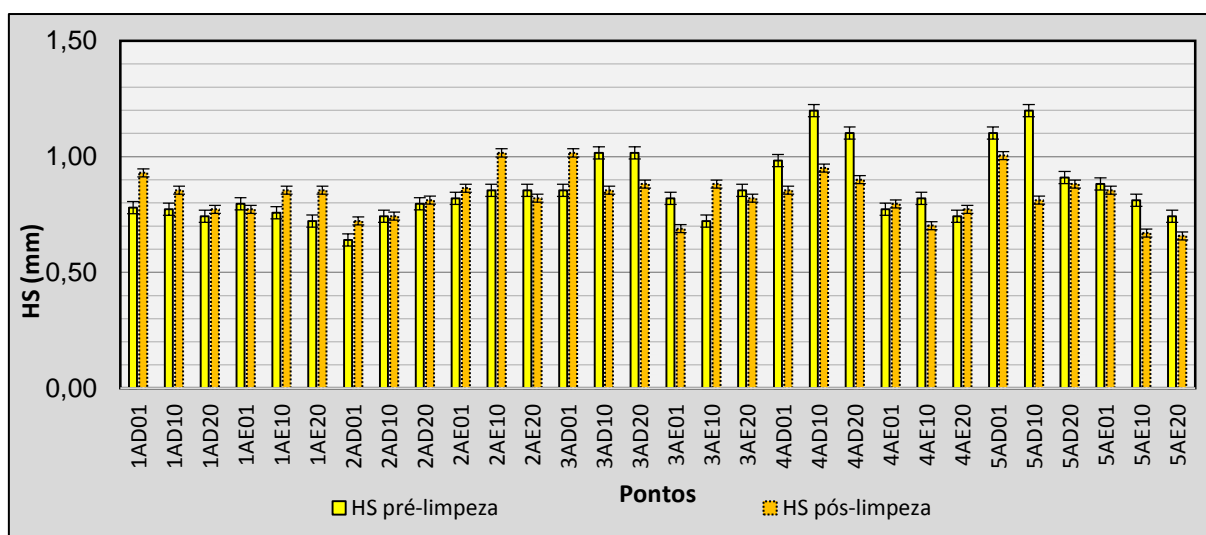
Tabela 21 - Resultados de HS e Retrorefletividade antes e depois da limpeza dos pontos.

(Conclusão)

Pontos	Antes da Limpeza (240 dias)			Após Limpeza (241 dias)		
	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	HS (mm)	RL 15m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	RL 30m (mcd/m <sup>2</sup> /lux)
4BD20	0,62	156	99	0,66	318	89
4BE01	0,52	301	108	0,45	340	134
4BE10	0,54	311	131	0,46	320	136
4BE20	0,58	312	124	0,5	318	127
5AD01	1,1	101	44	1	161	76
5AD10	1,2	162	68	0,81	162	29
5AD20	0,91	118	41	0,88	134	41
5AE01	0,88	187	77	0,85	188	62
5AE10	0,81	246	111	0,67	220	96
5AE20	0,74	169	60	0,66	193	68
5BD01	0,78	227	117	0,65	210	86
5BD10	0,59	245	109	0,56	359	109
5BD20						
5BE01	0,54	284	103	0,54	236	108
5BE11	0,54	245	115	0,5	283	119
5BE20						

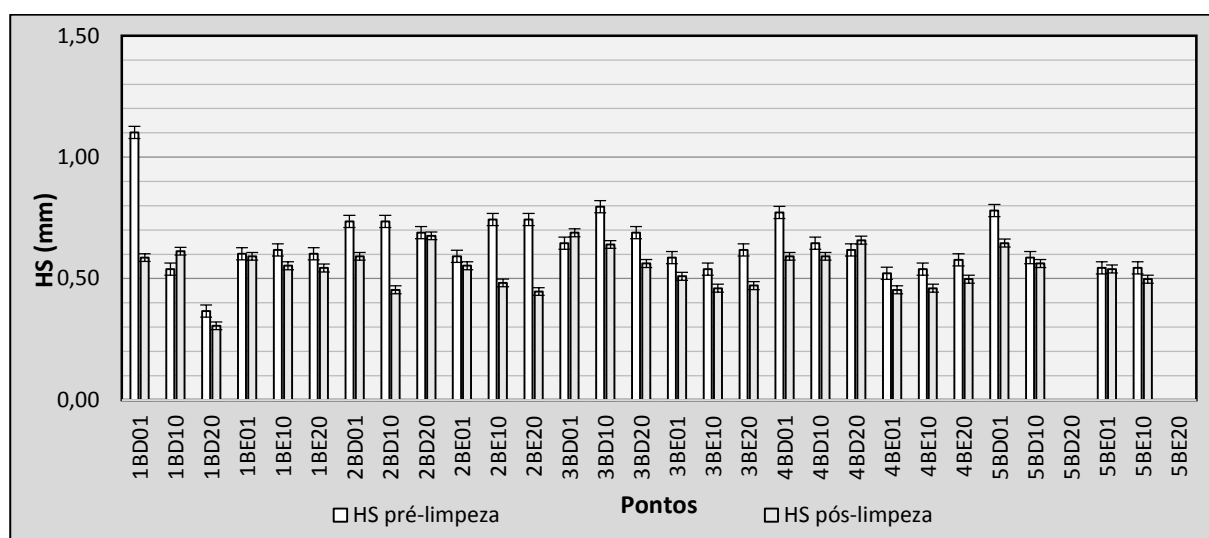
As Figuras 59 e 60 apresentam os valores de altura média de areia de cada ponto antes e após realização da limpeza para comparação.

Figura 59 – HS (mm) antes e depois da limpeza – Eixos – Geometria de 15m.



Observou-se que a maioria dos pontos teve seu valor de altura de areia constante, 43%, mesmo após realização da limpeza. Alguns pontos apresentaram aumento nos valores de HS, 27%, enquanto outros apresentaram diminuição dos mesmos, 30%. Conclui-se, assim, a limpeza não influenciou sensivelmente nos valores, supõem-se que os mesmos deveriam aumentar com a limpeza dos pontos, caso estivessem cobertos por impurezas. Os valores medidos após limpeza apresentaram um desvio padrão de 9%, enquanto que os medidos antes da limpeza apresentavam 14%. A Figura 60 apresenta a mesma comparação, porém para demarcações de bordo.

Figura 60 - HS (mm) antes e depois da limpeza – Bordos – Geometria de 15m.



Assim como ocorrido com os valores de eixo, ocorreu a diminuição do desvio padrão dos valores após a realização da limpeza, caindo de 13% para 8%. Para os pontos do bordo, um terço manteve sua HS constante. Os valores que não ficaram constantes, na grande maioria dos casos, 75%, apresentaram tendência à queda após a realização da limpeza das linhas. Esse resultado vai justamente contra o que deveria ocorrer caso as demarcações estivessem sujas.

Como os valores apresentaram melhora nos números de desvio padrão, foi realizada a avaliação e comparação do comportamento da retrorefletividade em função dos valores de HS com as demarcações limpas. Os resultados aparecem na Figura 61 e 62 para a geometria de 15m. Os resultados para geometria de 30 foram análogos.

Figura 61 - Médias de HS (mm) e Retrorefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux) – 241 dias após pintura (demarcações limpas) - Eixos - Geometria de 15m.

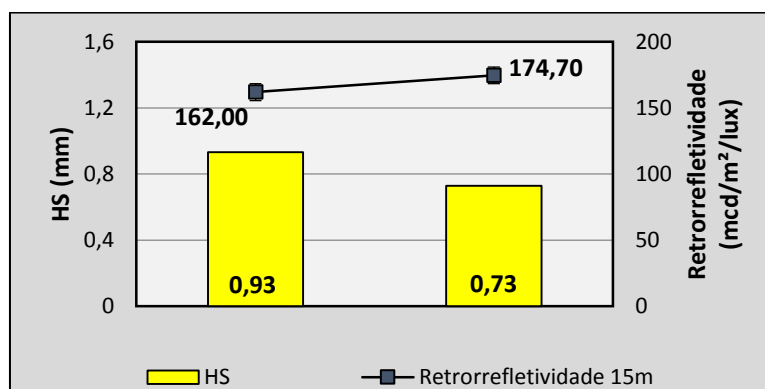
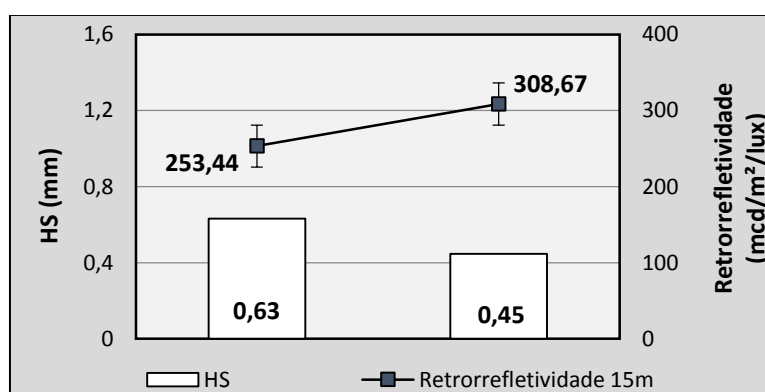


Figura 62 - Médias de HS (mm) e Retrorefletividade (mcd/m<sup>2</sup>/lux) – 241 dias após pintura (demarcações limpas) - Bordos - Geometria de 15m.



O comportamento da retrorefletividade, tendendo a apresentar média maior para os pontos com menor altura média de areia, é o mesmo apresentado no levantamento de 240 dias após pintura, com as demarcações pré-limpas. Esse resultado corrobora com a hipótese de que os pontos não se encontravam sujos durante os levantamentos realizados. A comparação dos valores de retrorefletividade apresentados nos pontos pré e pós realização de limpeza será abordada novamente mais adiante neste trabalho.

Observou-se uma tendência de a retrorefletividade ser maior em pontos com menor HS. Em 75% dos cenários, esse foi o comportamento visto. Uma possível causa para que isso ocorra é a de que os locais com HS baixo são mais planos, facilitando incidência da luz sobre as demarcações e a sua retroreflexão. Outra possibilidade desse fenômeno é a de que quando as microesferas de vidro são aspergidas sobre os pontos, juntamente com a tinta, se houver rugosidade elevada, elas podem vir a escoar para dentro destas microdepressões, fazendo com que a superfície fique desguarnecida de microesferas.

Como já citado anteriormente, a amplitude de valores de altura de areia não é elevada no trecho estudado. Como outra tentativa de determinar não apenas uma tendência, mas também o comportamento da retrorrefletividade frente a diferentes classes de macrotextura, foram confeccionadas placas 3D com distintos valores de HS, pintadas com diferentes taxas de aplicação de microesferas. Essas placas tiveram sua retrorrefletividade estudada e os resultados estão apresentados a seguir.



#### 4.3 COMPORTAMENTO DA RETRORREFLETIVIDADE EM PLACAS 3D COM DISTINTAS MACROTEXTURAS

A pesquisa de campo contou com sete campanhas de levantamentos de macrotextura, que correlacionou os valores de altura média de areia com os índices de retrorrefletividade medido. Como os levantamentos de campo não foram suficientes para demonstrar uma tendência de comportamento, possivelmente por baixa variação no HS entre os pontos, uma nova abordagem foi realizada.

Objetivando suprir essa carência de melhores definições, optou-se pela confecção de placas impressas em uma impressora 3D com superfícies apresentando classes de macrotextura bem distintas, conforme descrito no capítulo 3. Após a impressão, as placas tiveram sua retrorrefletividade medida em três ocasiões. Uma antes da pintura ( $R_0$ ), uma logo após a pintura ( $R_I$ ) e uma três dias após a pintura, depois de receberem escovação controlada, ( $R_L$ ). Os resultados estão apresentados na Tabela 22 para geometria de 15m.

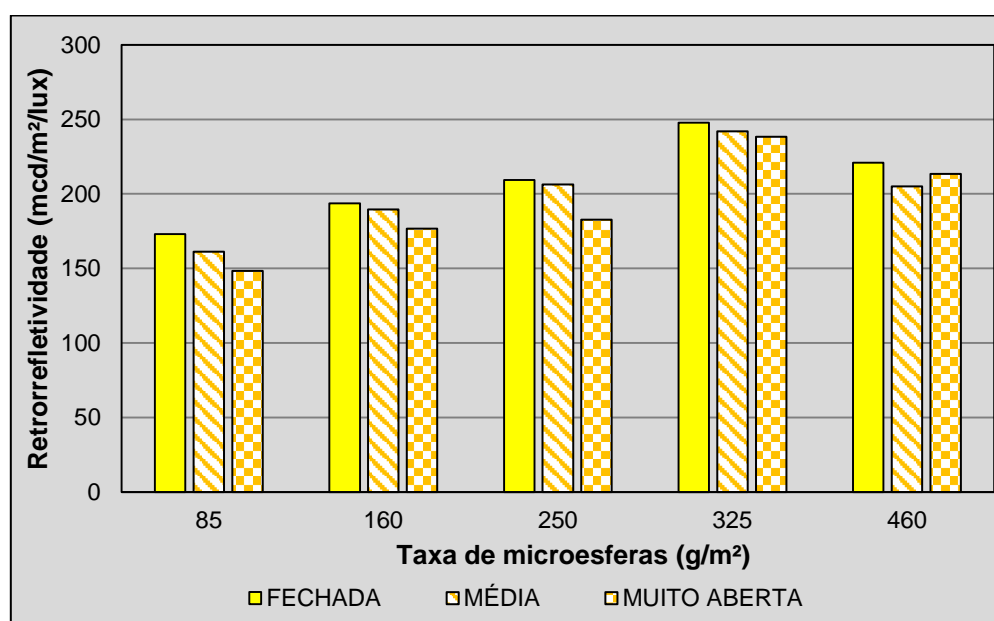
Tabela 22 - Retrorrefletividade das amostras com geometria de 15m.

<b>Amostra</b>	<b>Taxa de aplicação (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>HS (mm)</b>	<b>Classe de Macrotextura</b>	<b>R<sub>0</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	<b>R<sub>I</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	<b>R<sub>L</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>
FE-085	85	0,35	Fechada	26	173	171
ME-085	85	0,70	Média	26	161	238
MA-085	85	1,30	Muito aberta	25	148	162
FE-160	160	0,35	Fechada	25	194	161
ME-160	160	0,70	Média	26	190	164
MA-160	160	1,30	Muito aberta	24	177	194
FE-250	250	0,35	Fechada	26	209	187
ME-250	250	0,70	Média	24	206	207
MA-250	250	1,30	Muito aberta	27	183	177
FE-325	325	0,35	Fechada	26	248	275
ME-325	325	0,70	Média	26	242	281
MA-325	325	1,30	Muito aberta	26	238	212
FE-460	460	0,35	Fechada	26	221	237
ME-460	460	0,70	Média	25	205	287
MA-460	460	1,30	Muito aberta	26	213	213

A retrorrefletividade apresentada pelas placas antes de receberem a pintura foi praticamente constante para todas as amostras, independente da macrotextura delas. Isso ocorre porque como não há microesferas na superfície que potencializem a retrorrefletividade da luz. Essa retrorrefletividade apresentada é, então, a retrorrefletividade do material de confecção das placas.

Observou-se grande variação nos valores de  $R_i$  das placas. A Figura 63 apresenta o resultado deste levantamento para a geometria de 15m. Antes da realização das medições, as placas foram viradas para que as microesferas sobressalentes caíssem.

Figura 63 - Retrorrefletividade inicial ( $R_i$ ) das placas 3D pintadas – Cor amarela - Geometria de 15m.



Através da plotagem dos dados, observou-se que em todas as taxas de aplicação de microesferas de vidro, a placa com macrotextura fechada apresentou maiores valores frente à retrorrefletividade inicial. Em quatro das cinco taxas utilizadas, a placa com macrotextura média apresentou índice intermediário, à não ser quando a taxa de aplicação utilizada foi de 460g/m², cenário em que ela apresentou valor inferior as demais classes de macrotextura. As placas com macrotextura muito aberta apresentaram piores valores em quatro das cinco taxas de aplicação utilizadas, tendo desempenho intermediário apenas quando a taxa de aplicação foi de 460g/m².

Os valores de retrorrefletividade das placas com classe de macrotextura fechada foram, em média, 4% maiores do que os apresentados pelas placas com classe de macrotextura média e 9% maiores do que os índices apresentados pelas amostras com macrotextura muito aberta.

Fica evidenciada a superioridade em valores de retrorrefletividade inicial de superfícies com altura média de areia menores. Como já dito anteriormente, isso ocorre visto que quando a superfície apresenta altura média de areia menor, ela é mais plana, facilitando a retrorreflexão da luz. Além disso, quando as microesferas de vidro são aspergidas, caso haja excesso de tinta, elas podem vir a escorrer para dentro das microdepressões na superfície, deixando os locais onde a luz incide desguarnecido de esferas de vidro.

Considerando a literatura revisada (Abbound e Bowman (2002); Thamizharasan et al. (2003); Stizabee et al. (2009); Rasdorf et al. (2009); Hummer et al. (2011); Mull e Stizabee (2012)), demarcações que apresentam valores de retrorrefletividade iniciais maiores, têm maior vida de serviço. Sendo assim, superfícies com altura média de areia menores tendem a apresentar desempenho superior em valores de retrorrefletividade e conseqüentemente em tempo de serviço. No caso de MRAF, tal tendência será válida no caso de não haver desagregação do material superficial, o que pode comprometer as partes pintadas do pavimento.

Na situação onde a placa com macrotextura muito aberta apresentou retrorrefletividade superior àquela com macrotextura média, a taxa de aplicação utilizada foi de 460g/m<sup>2</sup>. Taxa essa, que segundo Schawab (1999), pode ser considerada como excessiva, deixando microesferas sobrepostas, fazendo com que a luz incidente seja difusa, não apresentando resultados coerentes.

As macrotexturas diferentes apresentaram valores de retrorrefletividade também muito diferentes com a mesma taxa de aplicação de microesferas. Economicamente, fica evidenciada a importância da observação da macrotextura do pavimento que vai receber a pintura. Como exemplo, de acordo com o SICRO de janeiro de 2018, um kg de microesferas de vidro do tipo II-C custa em torno de R\$ 6,32. A Tabela 23 apresenta o valor gasto em microesferas para pintura de um quilômetro de rodovia com faixas de bordo pintadas com 10cm de largura e faixa dupla contínua no eixo também com 10cm de largura.

A grande diferença nos valores gastos para aplicação das taxas de microesfera traz o questionamento da necessidade de ensaios prévios nas rodovias para quando receberem pintura. Para atingir valores iniciais maiores que 170mcd/m<sup>2</sup>/lux, padrão de retrorrefletividade inicial mínimo para demarcações amarelas, segundo Schwab (1999), em uma rodovia com macrotextura fechada, seria necessária uma taxa de aplicação de 85g/m<sup>2</sup>, ou seja, R\$ 214,88 por quilômetro. Se a rodovia apresentar classe de macrotextura muito aberta, a taxa necessária será

maior do que 160g/m<sup>2</sup>, ou seja, R\$ 404,48 por quilômetro, números com aumento de 100% no valor gasto para atingir a mesma faixa de retrorrefletividade inicial. Caso o levantamento de macrotextura não seja realizado previamente, não há como identificar essa oportunidade de economia, visto que a aplicação será feita com uma taxa usual, sem enfoque econômico.

Tabela 23 - Valor gasto em microesferas de vidro para aplicação em um quilômetro de rodovia com diferentes taxas de aplicação.

Taxa de Aplicação (g/m <sup>2</sup> )	Custo (Reais)
85	214,88
160	404,48
250	632,00
325	821,60
460	1162,88

Como as placas apresentaram valores distintos de retrorrefletividade, foram plotadas as curvas que correlacionam a taxa de aplicação de microesferas com a retrorrefletividade inicial apresentada para as três classes de macrotextura. As Figuras 64 a 66 exibem as curvas para as classes fechada, média e muito aberta, respectivamente, todas com geometria de 15m. A Figura 67 apresenta as três curvas plotadas em conjunto.

Figura 64 – Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura fechada – Cor amarela - Geometria de 15m.

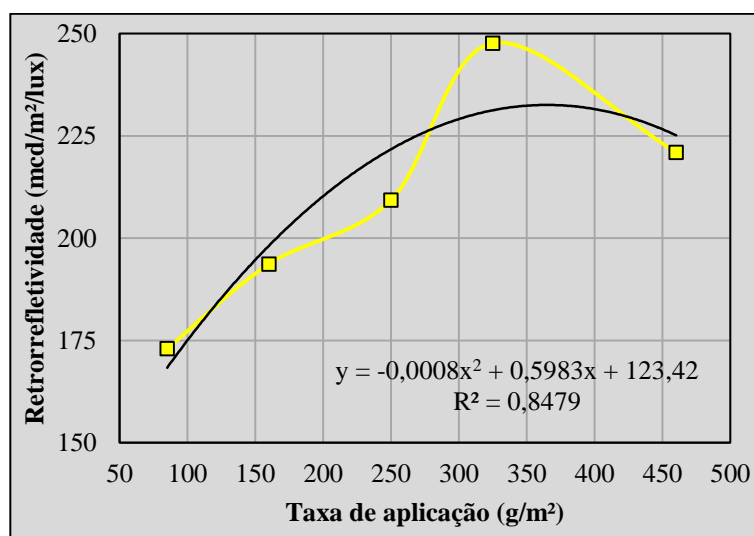


Figura 65 - Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura média – Cor amarela - Geometria de 15m.

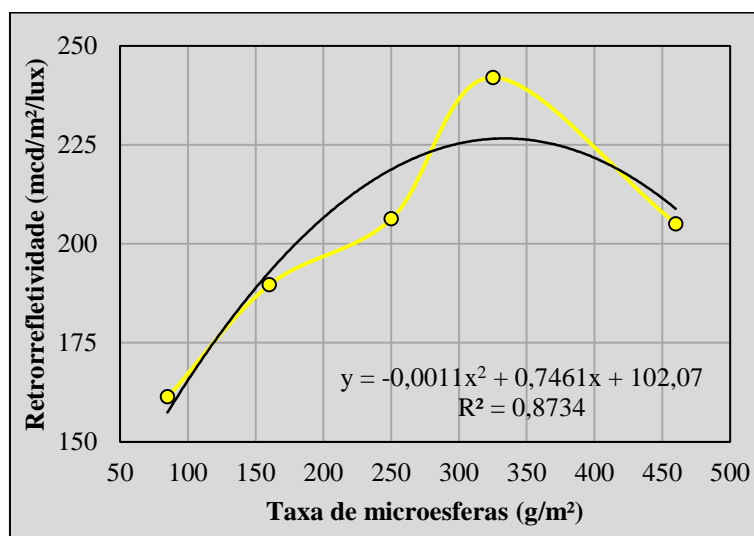


Figura 66 - Variação nos valores de retrorrefletividade inicial com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura muito aberta – Cor amarela - Geometria de 15m.

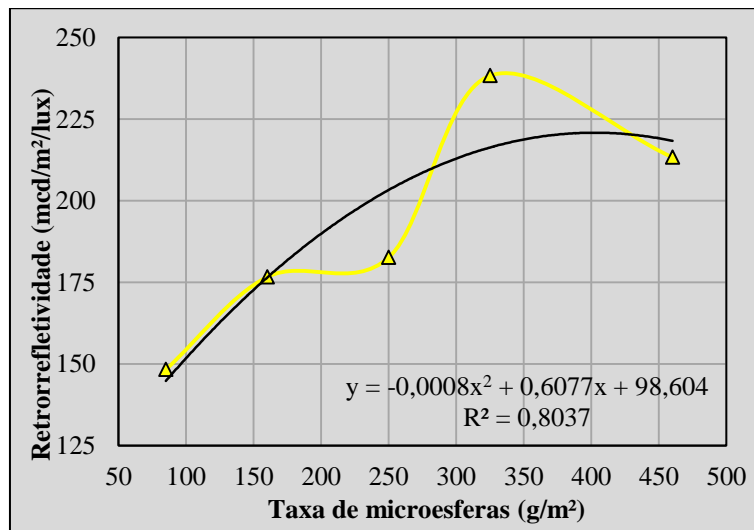
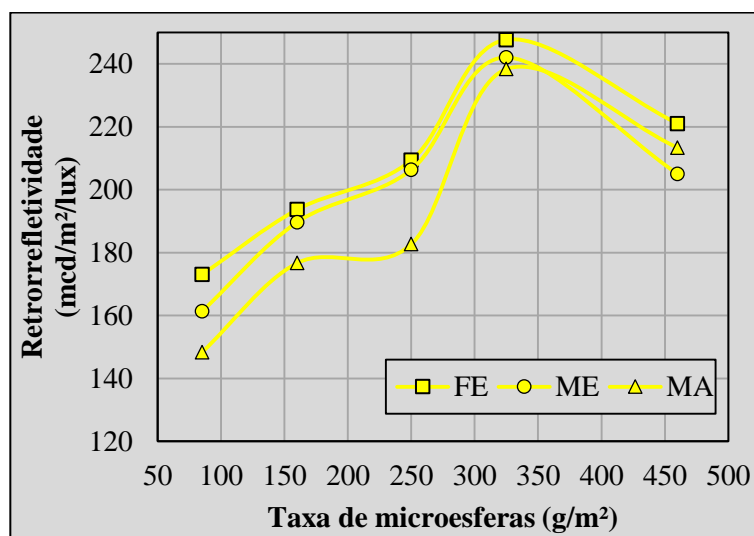


Figura 67 - Curvas de retrorrefletividade inicial para diferentes taxas de aplicação de microesferas – Cor amarela - Geometria de 15m.



Observou-se que, independentemente da macrotextura da superfície em questão, a taxa de aplicação de microesferas que resultou em valores de RI mais elevados foi a de aproximadamente 325g/m². Schawab (1999) em sua pesquisa, expôs que a taxa ótima de aplicação deveria estar entre 237g/m² e 295g/m². Para a pesquisa, a autora fez uso de aparelhos de medição com geometria de 12m, diferente dos empregados nesta pesquisa. Apesar disto, como visto anteriormente, geometrias distintas possuem fatores de conversão, o que leva a crer que a geometria do aparelho não interfira na determinação da taxa ótima de aplicação. Os valores ótimos, em 325g/m², contestam os resultados da autora, porém em seu trabalho de 1999, o valor ótimo de aplicação foi determinado através de amostras com diferentes materiais empregados e métodos de aplicação, como por exemplo termoplástico extrudado, elastoplástico e etc. A autora não determinou uma taxa ótima de aplicação observando apenas demarcações pintadas com tinta, o que pode explicar divergências nos valores encontrados.

A mesma análise foi realizada para os valores de retrorrefletividade inicial, medidos utilizando a geometria de 30m. A Tabela 24 traz os dados das chapas para esta geometria. O resultado observado para a geometria de 30m foi análogo ao apresentado quando a geometria de medição foi de 15m. Novamente, a tendência de valores mais elevados para retrorrefletividade das classes com altura média de areia menores ficou evidenciada.

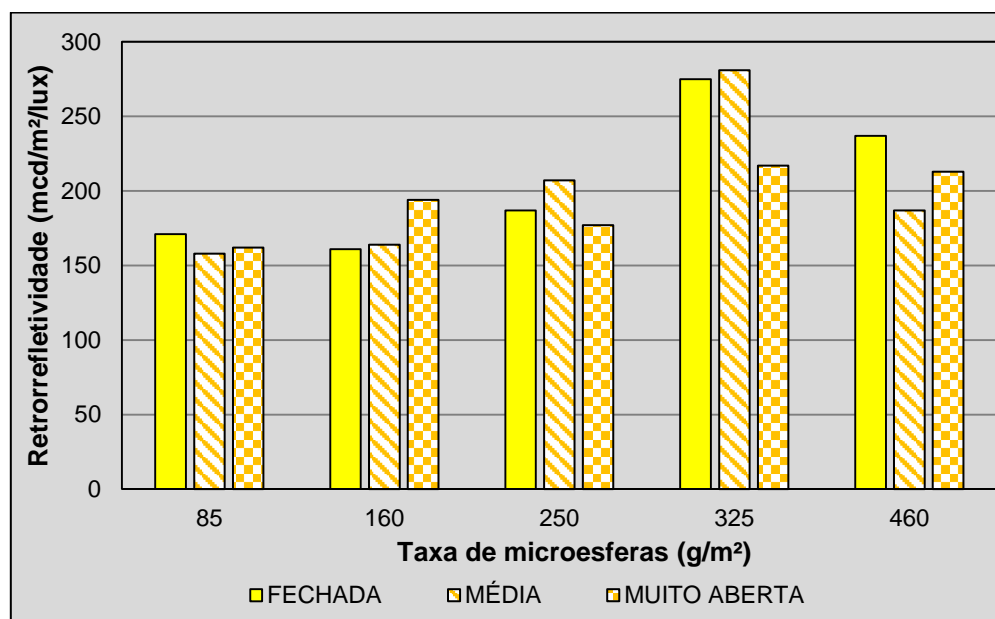
Tabela 24 - Retrorrefletividade das amostras com geometria de 30m.

<b>Amostra</b>	<b>Taxa de aplicação (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>HS (mm)</b>	<b>Classe de Macrotextura</b>	<b>R<sub>0</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	<b>R<sub>I</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>	<b>R<sub>L</sub> (mcd/m<sup>2</sup>/lux)</b>
FE-085	85	0,35	Fechada	12	101	94
ME-085	85	0,70	Média	12	90	140
MA-085	85	1,30	Muito aberta	12	90	89
FE-160	160	0,35	Fechada	13	143	127
ME-160	160	0,70	Média	14	135	122
MA-160	160	1,30	Muito aberta	12	116	130
FE-250	250	0,35	Fechada	12	145	131
ME-250	250	0,70	Média	12	140	140
MA-250	250	1,30	Muito aberta	11	121	106
FE-325	325	0,35	Fechada	12	158	176
ME-325	325	0,70	Média	12	167	196
MA-325	325	1,30	Muito aberta	12	154	121
FE-460	460	0,35	Fechada	12	155	177
ME-460	460	0,70	Média	12	127	114
MA-460	460	1,30	Muito aberta	12	144	145

Do mesmo modo, independente da classe de macrotextura, as placas apresentaram desempenho melhor quando a taxa de aplicação foi de 325g/m<sup>2</sup>. As curvas de taxa ótima de aplicação de microesferas se repete para a geometria de 30m.

Conforme explicado na metodologia, posteriormente as placas receberam escovação controlada a fim de simular, empiricamente, a interação dos pneus dos veículos com as demarcações. Em seguida a escovação, a retrorrefletividade das placas foi reavaliada e os resultados estão expostos nas Tabelas 22 e 23, já apresentadas. A Figura 68 apresenta os valores de retrorrefletividade residual (R<sub>L</sub>) medidos nas amostras após receberem escovação para geometria de 15m.

Figura 68 - Retrorefletividade residual ( $R_r$ ) das placas 3D pintadas – Cor amarela - Geometria de 15m.



Diferentemente do que ocorreu com a retrorefletividade inicial das placas, onde as amostras com macrotextura fechada apresentaram desempenho superior às demais, agora isso ocorre em apenas duas (85g/m² e 460g/m²) das cinco taxas de aplicação. As amostras com classe média apresentaram melhor desempenho em duas taxas (250g/m² e 325g/m²) e quando a taxa de aplicação foi de 160g/m² a placa com macrotextura muito aberta apresentou desempenho superior.

Não fica evidenciada nenhuma tendência de que a macrotextura fechada apresente melhor desempenho quando se trata de retrorefletividade residual. Porém essa afirmação não corrobora com o que já foi apresentado nesta pesquisa ou pela literatura consultada (Abbound e Bowman (2002); Thamizharasan et al. (2003); Stizabee et al. (2009); Rasdorf et al. (2009); Hummer et al. (2011); Mull e Stizabee (2012)), que considera que pontos com valores iniciais de retrorefletividade maiores apresentam valores residuais também maiores. Porém, nenhum dos autores considerou a macrotextura dos pavimentos estudados.

Novamente a taxa ótima ficou em torno de 325g/m², sendo assim, plotou-se as curvas de retrorefletividade residual pelas taxas de aplicação. As Figuras 69 a 71 trazem esses valores para as classes fechada, média e muito aberta, respectivamente, e a Figura 72 traz as três curvas em conjunto, todas medidas na geometria de 15m.



Figura 69 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrot textura fechada – Cor amarela - Geometria de 15m.

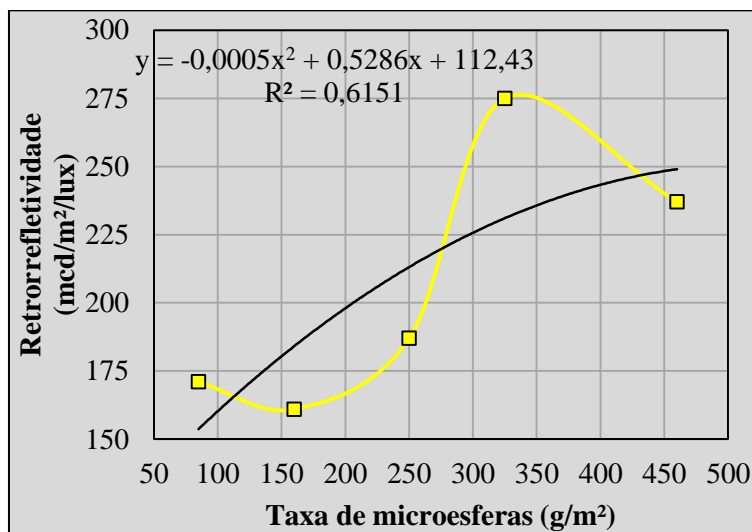


Figura 70 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura média – Cor amarela - Geometria de 15m.

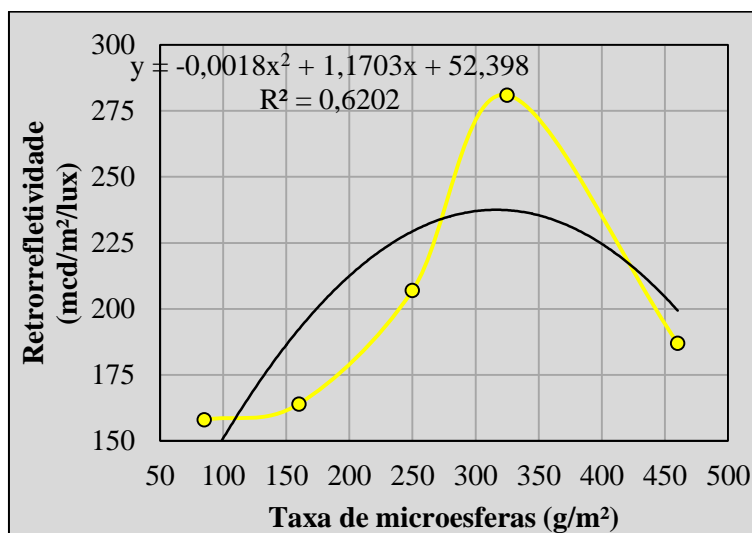


Figura 71 - Variação nos valores de retrorrefletividade residual (após escovação) com diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro - Macrotextura muito aberta – Cor amarela - Geometria de 15m.

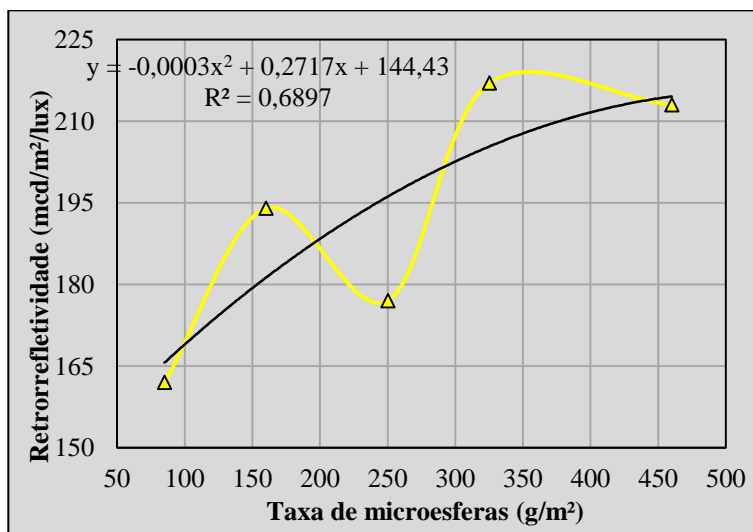
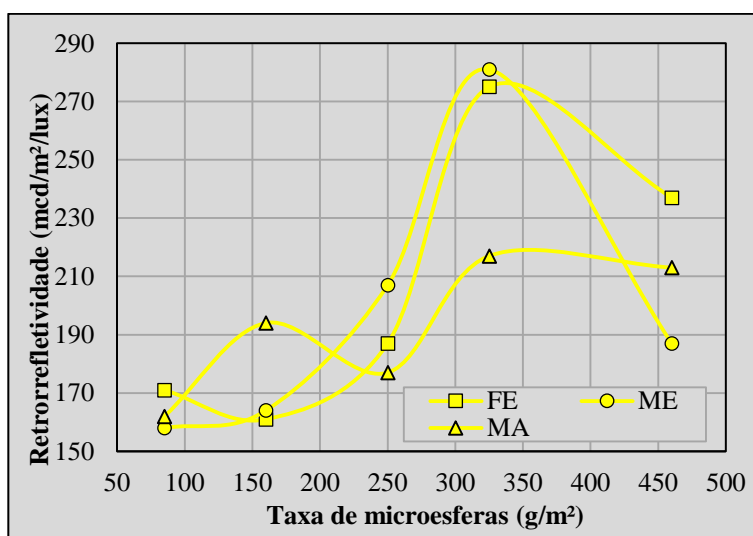


Figura 72 - Curvas de retrorrefletividade residual (após escovação) para diferentes taxas de aplicação de microesferas de vidro – Cor amarela - Geometria de 15m.



Não ficou cunhada uma tendência no comportamento dos valores de retrorrefletividade em relação àqueles medidos inicialmente. Em algumas amostras esse valor teve aumento e em outras apresentou diminuição. A bibliografia consultada, Salles et al. (2014), cita que quando a taxa de aplicação é excessivamente alta, os índices de retrorrefletividade inicial tendem a ser mais baixos, seguidos de um aumento nos valores residuais. Isso pode ser visto apenas na macrotextura fechada, podendo significar que os volumes de aplicação para que a taxa seja considerada excessiva, são ainda maiores do que os estudados nesta pesquisa.

Novamente, a taxa de aplicação com melhor desempenho foi a de 325g/m<sup>2</sup>, corroborando para a afirmativa de que esta é a melhor taxa a ser utilizada economicamente e no que se refere à segurança viária. Sendo assim, a política de taxas de aplicação deve ser revisitada, já que no SICRO, é apresentado o serviço com utilização de 250g/m<sup>2</sup> de taxa.

Todos os resultados apresentados para a geometria de 15m são análogos aos apresentados quando a geometria de medição foi de 30m.

#### 4.4 RETRORREFLETIVIDADE E MICROTEXTURA

A partir dos 150 dias de pintura foi realizado o primeiro levantamento de microtextura dos mesmos 60 pontos eleitos para realização de ensaios de mancha de areia. Os pontos tiveram seu VRD medido através do ensaio de pêndulo britânico no sentido do tráfego. A Tabela 25 apresenta os valores de resistência à derrapagem apresentados por cada um dos pontos em cada um dos cinco levantamentos e a Figura 73 apresenta o VRD médio em cada levantamento.

Tabela 25 – Valor de Resistência à Derrapagem dos pontos avaliados.

(Continua)

Ponto	150 dias	240 dias	330 dias	420 dias	720 dias
1AD01	54	45	44	47	71
1AD10	47	48	53	57	70
1AD20	75	38	57	60	69
1AE01	48	42	47	50	75
1AE10	62	48	59	61	69
1AE20	68	51	64	65	68
1BD01	60	41	44	48	84
1BD10	64	47	49	49	60
1BD20	55	45	46	46	55
1BE01	50	44	59	-	-
1BE10	65	46	67	-	-
1BE20	57	43	56	58	64
2AD01	53	36	59	58	60
2AD10	55	42	49	51	71
2AD20	58	46	59	-	-
2AE01	48	46	69	68	69
2AE10	60	46	54	55	66
2AE20	55	44	59	-	-
2BD01	56	45	49	51	67
2BD10	54	45	45	50	57
2BD20	59	47	53	-	-
2BE01	53	43	58	59	51
2BE10	61	44	53	57	63
2BE20	76	46	50	-	-
3AD01	59	57	61	65	72
3AD10	64	51	60	61	62
3AD20	48	55	52	54	68

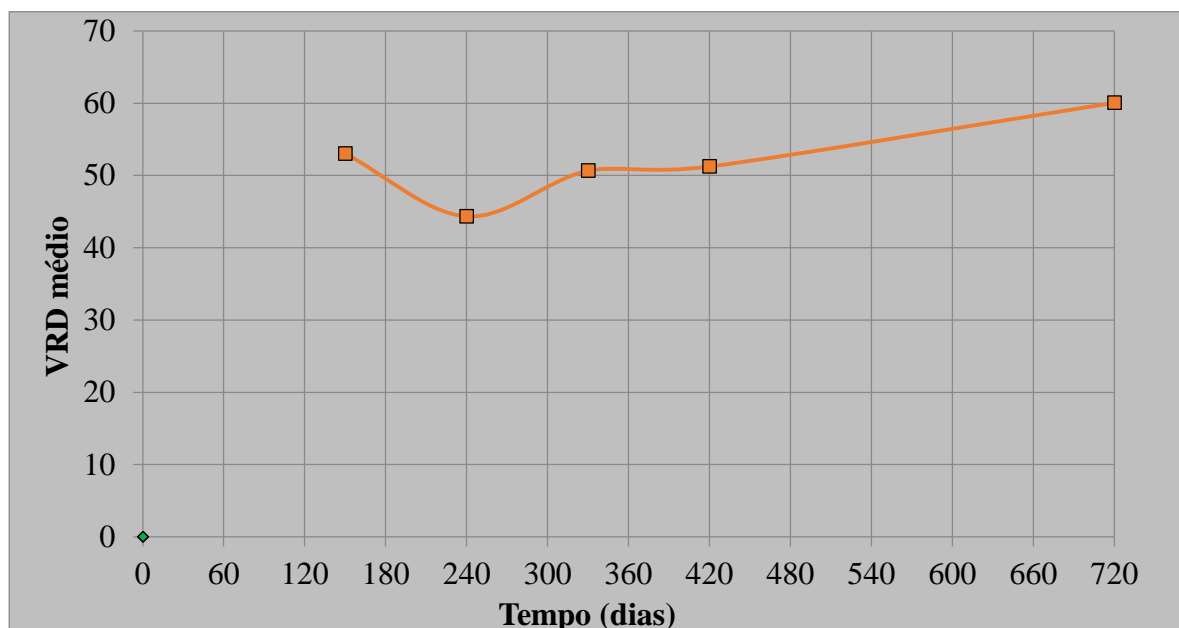
Tabela 25 - Valor de Resistência à Derrapagem dos pontos avaliados

Ponto	(Conclusão)				
	150 dias	240 dias	330 dias	420 dias	720 dias
<b>3AE01</b>	49	51	53	57	72
<b>3AE10</b>	70	50	58	61	67
<b>3AE20</b>	54	52	52	51	61
<b>3BD01</b>	51	53	54	56	59
<b>3BD10</b>	58	52	54	57	68
<b>3BD20</b>	51	45	53	53	60
<b>3BE01</b>	50	45	63	50	56
<b>3BE10</b>	55	35	55	56	60
<b>3BE20</b>	56	48	59	60	60
<b>4AD01</b>	64	48	59	61	67
<b>4AD10</b>	64	52	55	58	63
<b>4AD20</b>	59	46	57	58	79
<b>4AE01</b>	57	45	52	54	67
<b>4AE10</b>	62	45	52	51	62
<b>4AE20</b>	57	51	49	54	60
<b>4BD01</b>	46	51	52	-	-
<b>4BD10</b>	47	44	52	57	50
<b>4BD20</b>	54	43	48	-	-
<b>4BE01</b>	46	58	53	56	70
<b>4BE10</b>	51	51	48	56	68
<b>4BE20</b>	54	50	50	58	60
<b>5AD01</b>	60	43	63	-	-
<b>5AD10</b>	57	55	59	-	-
<b>5AD20</b>	78	56	52	-	-
<b>5AE01</b>	60	50	53	55	73
<b>5AE10</b>	46	56	52	53	74
<b>5AE20</b>	58	58	53	54	60
<b>5BD01</b>	50	42	49	51	60
<b>5BD10</b>	48	44	48	54	71
<b>5BD20</b>					
<b>5BE01</b>	61	56	54	56	60
<b>5BE10</b>					
<b>5BE20</b>					

Células em branco são de pontos que não receberam pintura;

Células com “-“ são dos pontos repintados após fresagem.

Figura 73 – Valor de Resistência a Derrapagem médio das demarcações – Bordos e eixos.



Como a primeira campanha de levantamentos que analisou a microtextura dos pontos foi a realizada a 150 dias após a pintura das demarcações, nenhuma análise pôde ser realizada em vista do comportamento anterior a esse período. Com os dados colhidos, percebeu-se que no segundo levantamento, 250 dias pós pintura, o VRD médio apresentado caiu em relação ao medido aos 150 dias de pintura. A partir do levantamento seguinte as demarcações apresentaram tendência ao aumento nos valores.

Supõem-se que tal aumento ao longo do tempo pode ocorrer devido à perda de microesferas ancoradas na tinta, deixando pequenos buracos na superfície da demarcação. Porém, a diminuição nos índices aos 150 dias não pode ser explicada, a não ser que o desgaste inicial da tinta acarrete na perda de microesferas e também na exposição de microesferas antes totalmente cobertas, diminuindo o VRD. Contudo, essa possibilidade não pode ser verificada neste trabalho, já que há apenas um ponto anterior ao início da tendência de subida nos valores de VRD. Essa afirmação deve ser melhor analisada em pesquisa posterior, que acompanhe os valores de VRD desde o início da vida de serviço das demarcações e tente conectar o aumento dos valores com diminuição de microesferas de vidro e consequentemente da retrorefletividade.

Diferentemente do que ocorreu com os resultados de macrotextura, onde o valor de HS apresentado pelo ponto no dia anterior à pintura foi referência para todo o estudo, nos resultados referentes à microtextura, os pontos terão como referência sempre o valor de resistência à

derrapagem apresentado no dia de cada levantamento, já que não há dados dessa característica anterior aos 150 dias de serviço.

Assim como realizado com os valores de altura de areia, os valores de VRD foram dispostos do maior para o menor, divididos por cores e sua retrorrefletividade foi plotada sobre o gráfico de barras para verificação da existência ou não de alguma tendência nos dados. Novamente não foi possível a identificação de uma tendência clara pela proximidade dos valores de resistência a derrapagem, levando a segunda abordagem, a mesma metodologia aplicada para comparação de macrotextura e retrorrefletividade foi realizada com os valores de microtextura.

Os 30 pontos de bordo e os 30 pontos de eixo foram divididos em três conjuntos, o primeiro com os dez pontos que apresentavam maiores valores de resistência à derrapagem, o segundo composto pelos dez pontos com menor VRD e o terceiro conjunto composto pelos pontos médios. O terceiro conjunto foi, então, excluído e as médias de VRD e retrorrefletividade foram determinadas para os conjuntos um e dois e comparadas. As Figuras 74 e 75 apresentam a comparação para os valores medidos aos 150 dias após aplicação das demarcações.

Figura 74 – Valores médios de VRD e Retrorrefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) – 150 dias após pintura - Eixos - Geometria de 15m.

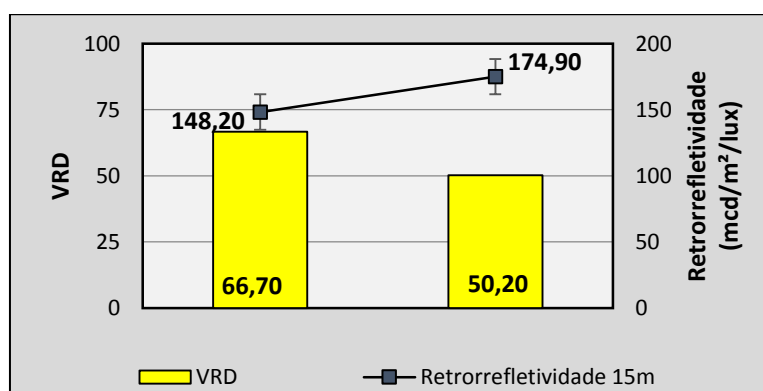
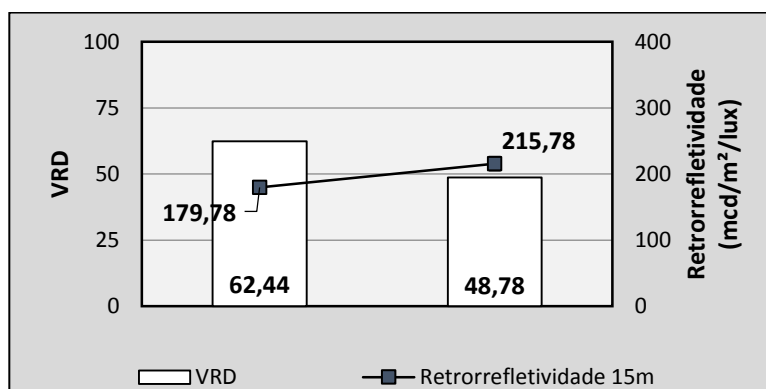


Figura 75 - Valores médios de VRD e Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) – 150 dias após pintura - Bordos - Geometria de 15m.



Os números referentes ao levantamento realizado 150 dias após a pintura mostram que os pontos que apresentaram menores valores de VRD expuseram maiores valores de retrorefletividade. A mesma metodologia foi aplicada a todos os levantamentos posteriores, 240, 330, 420 e 720 dias de vida de serviço das demarcações. A Tabela 26 apresenta a tendência dos índices de retrorefletividade com a diminuição dos valores médios de resistência à derrapagem.

Tabela 26 - Tendência de comportamento da retrorefletividade com diminuição do VRD – geometria de 15m.

Idade (dias)	Geometria de 15m	
	Bordos	Eixos
150	Aumento	Aumento
240	Aumento	Aumento
330	Diminuição	Diminuição
420	Aumento	Aumento
720	Aumento	Aumento

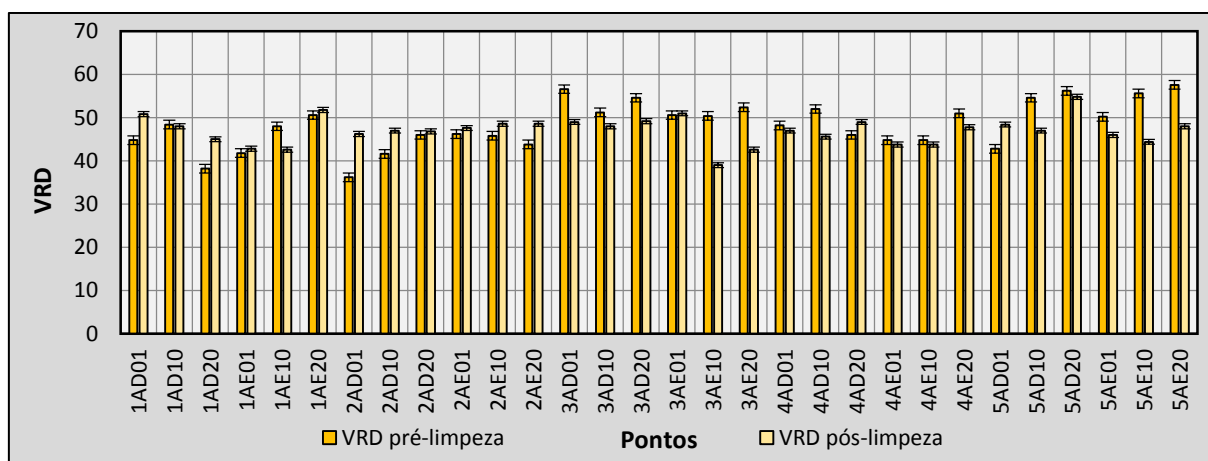
Fica evidente a tendência de aumento da retrorefletividade em pontos com menores valores de resistência à derrapagem. De 10 cenários avaliados, 8 deles, 80,0%, apresentaram índices de retrorefletividade maiores para os pontos com menores VRD. A mesma metodologia para a geometria de 30m apresentou resultados ainda mais enfáticos, já eu em todos os cenários os grupos com pontos de menor VRD apresentaram maiores valores de retrorefletividade.



Esse comportamento talvez possa ser explicado pela perda de microesferas de vidro nos pontos com maior VRD. De acordo com a literatura (Berthier, 1998, apud Ferreira 2002), superfícies com maiores micros irregularidades tendem a apresentar maiores valores de resistência à derrapagem. Sendo assim, os pontos que perderam mais microesferas de vidro, que não mais as têm ancoradas em toda a sua superfície, devem apresentar maior irregularidade, por conta dos buracos deixados na tinta e a falta de microesferas juntas. Logo, os pontos com maiores índices de retrorrefletividade são exatamente aqueles em que os valores de resistência à derrapagem foram menores, ou seja, possuem ainda microesferas em maior área superficial, sem perder material que antes estava ancorado.

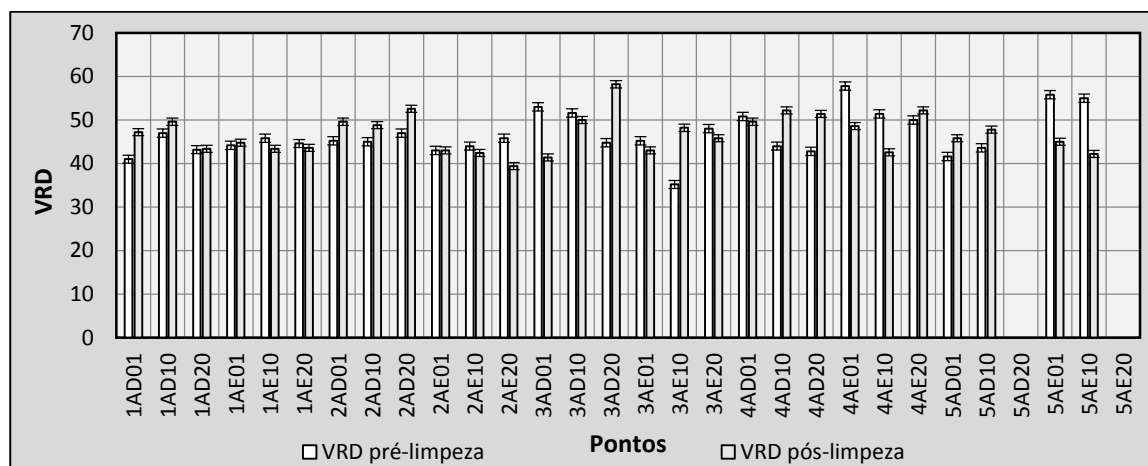
A possibilidade de as demarcações apresentarem impurezas foi considerada. Para tentar minimizar o possível problema, no final dos levantamentos realizados aos 240 dias pós pintura, as demarcações foram limpas e a campanha de levantamentos foi repetida no dia seguinte. A Figura 76 apresenta a variação nos valores de resistência à derrapagem nos pontos antes e após realização da limpeza das demarcações de eixo.

Figura 76 – Valores de Resistência a Derrapagem antes e após limpeza – Eixos.



Observou-se que a maioria dos pontos apresentou constância nos valores de VRD antes e após limpeza das linhas. Dos que tiveram alteração nos valores, a maioria apresentou diminuição no VRD. Porém sem trazer grandes variações aos índices medidos inicialmente, aos 240 dias. Este resultado corrobora com a hipótese de que as demarcações não estavam cobertas por impurezas. A Figura 77 apresenta o VRD antes e após limpeza para os pontos de bordo.

Figura 77 - Valores de Resistência a Derrapagem antes e após limpeza – Bordos.



Assim como nos pontos de eixo, os pontos de bordo permaneceram após limpeza, em sua maioria, com valores muito parecidos com os apresentados antes da lavagem. Entre os que não apresentaram constância, 62% tiveram aumento nos valores de resistência à derrapagem. Diferente do apresentado nos eixos, onde a maioria dos pontos que não apresentaram constância, teve diminuição nos valores de resistência à derrapagem. Este resultado também vem ao encontro de que as demarcações não estavam sujas nos levantamentos realizados.

Da mesma forma que realizado para comparação do HS pós limpeza com a retrorrefletividade, os pontos foram divididos em três grupos, sendo o primeiro com os que apresentam maiores VRD, o segundo os que apresentam menores VRD e o terceiro formado pelos pontos médios, que foram excluídos. Os resultados obtidos após a limpeza são análogos aos apresentados nos levantamentos aos 240 dias da pintura das demarcações (antes da limpeza). Os valores de retrorrefletividade são maiores para os pontos com menor VRD, independentemente de cor ou geometria, corroborando à tendência de comportamento apresentada anteriormente.

#### 4.5 RETRORREFLETIVIDADE E IFI – INTERNATIONAL FRICTION INDEX

Como foram realizados levantamentos tanto de macro quanto de microtextura, a partir do 150º dia após a pintura foi possível realizar o cálculo do IFI em cada ponto. O IFI foi calculado sempre como F60, já que esta é a velocidade máxima permitida na via. Os resultados referem-se aos valores apresentados no dia em questão. Por exemplo, os resultados de F60 aos 150 dias, levaram em consideração o valor de resistência a derrapagem e altura média de areia medidos aos 150 dias após realização da pintura. A Tabela 27 apresenta os valores de F60 de todos os pontos em todos os levantamentos.

Tabela 27 - Valor de F60 dos pontos avaliados.

(Continua)

<b>Ponto</b>	<b>150 dias</b>	<b>240 dias</b>	<b>330 dias</b>	<b>420 dias</b>	<b>720 dias</b>
<b>1AD01</b>	0,184	0,084	0,092	0,082	0,068
<b>1AD10</b>	0,214	0,078	0,088	0,081	0,035
<b>1AD20</b>	0,081	0,081	0,061	0,07	0,069
<b>1AE01</b>	0,156	0,095	0,088	0,051	0,006
<b>1AE10</b>	0,106	0,075	0,079	0,061	0,016
<b>1AE20</b>	0,1	0,061	0,078	0,067	0,036
<b>1BD01</b>	0,04	0,194	0,089	0,066	0,007
<b>1BD10</b>	0,052	0,021	0,02	0,028	0,01
<b>1BD20</b>	0,051	0,25	0,22	-	-
<b>1BE01</b>	0,079	0,035	0,027	-	-
<b>1BE10</b>	0,042	0,039	0,028	-	-
<b>1BE20</b>	0,021	0,036	0,028	0,03	0,025
<b>2AD01</b>	0,073	0,053	0,036	0,072	0,099
<b>2AD10</b>	0,134	0,076	0,089	0,093	0,118
<b>2AD20</b>	0,167	0,089	0,082	-	-
<b>2AE01</b>	0,203	0,096	0,056	0,059	0,049
<b>2AE10</b>	0,158	0,105	0,096	0,086	0,122
<b>2AE20</b>	0,113	0,108	0,08	-	-
<b>2BD01</b>	0,052	0,072	0,068	0,078	0,028
<b>2BD10</b>	0,032	0,072	0,072	0,067	0,039
<b>2BD20</b>	0,033	0,056	0,051	-	-
<b>2BE01</b>	0,051	0,034	0,026	0,029	0,031
<b>2BE10</b>	0,032	0,073	0,065	0,064	0,026
<b>2BE20</b>	0,02	0,071	0,067	-	-
<b>3AD01</b>	0,207	0,093	0,104	0,103	0,117

Tabela 27 - Valor de F60 dos pontos avaliados.

Ponto	(Conclusão)				
	150 dias	240 dias	330 dias	420 dias	720 dias
<b>3AD10</b>	0,136	0,152	0,119	0,109	0,111
<b>3AD20</b>	0,212	0,146	0,15	0,154	0,155
<b>3AE01</b>	0,133	0,09	0,07	0,081	0,089
<b>3AE10</b>	0,079	0,062	0,095	0,078	0,036
<b>3AE20</b>	0,12	0,098	0,098	0,099	0,089
<b>3BD01</b>	0,055	0,041	0,041	0,044	0,018
<b>3BD10</b>	0,045	0,083	0,081	0,075	0,024
<b>3BD20</b>	0,066	0,058	0,051	0,056	0,018
<b>3BE01</b>	0,041	0,032	0,024	0,036	0,028
<b>3BE10</b>	0,011	0,028	0,018	0,044	0,054
<b>3BE20</b>	0,026	0,037	0,031	0,04	0,04
<b>4AD01</b>	0,136	0,144	0,129	0,13	0,197
<b>4AD10</b>	0,136	0,205	0,201	0,17	0,161
<b>4AD20</b>	0,154	0,185	0,168	0,176	0,184
<b>4AE01</b>	0,111	0,081	0,074	0,087	0,093
<b>4AE10</b>	0,106	0,097	0,08	0,096	0,126
<b>4AE20</b>	0,093	0,066	0,068	0,078	0,076
<b>4BD01</b>	0,057	0,075	0,074	-	-
<b>4BD10</b>	0,062	0,048	0,042	0,028	0,021
<b>4BD20</b>	0,034	0,041	0,037	-	-
<b>4BE01</b>	0,06	0,014	0,015	0,031	0,023
<b>4BE10</b>	0,031	0,019	0,02	0,017	0,006
<b>4BE20</b>	0,032	0,027	0,027	0,032	0,007
<b>5AD01</b>	0,099	0,19	0,161	-	-
<b>5AD10</b>	0,078	0,201	0,076	-	-
<b>5AD20</b>	0,045	0,112	0,08	-	-
<b>5AE01</b>	0,099	0,109	0,106	0,113	0,116
<b>5AE10</b>	0,105	0,082	0,077	0,079	0,066
<b>5AE20</b>	0,077	0,061	0,065	0,087	0,113
<b>5BD01</b>	0,062	0,088	0,08	0,033	0,012
<b>5BD10</b>	0,033	0,033	0,03	0,034	0,035
<b>5BD20</b>					
<b>5BE01</b>	0,041	0,017	0,018	0,013	0,007
<b>5BE10</b>					
<b>5BE20</b>					

A apresentação dos valores calculados seguiu a mesma diretriz dos resultados de retrorrefletividade quando relacionados a macro e microtextura. Tentou-se observar uma tendência nos valores de retrorrefletividade quando os índices de F60 eram colocados em ordem decrescente, o que não foi possível. Tentando verificar alguma convergência dos valores, os pontos de maiores índices F60 foram comparados com os de menor F60, exatamente como aconteceu para macro e microtextura. Os Resultados estão expressos na Tabela 28, que apresenta a tendência de comportamento dos valores médios de retrorrefletividade quando os índices médios de F60 diminuem.

Tabela 28 - Tendência de comportamento da retrorrefletividade com diminuição do F60 – geometrias de 15m e 30m.

Idade (dias)	Bordos		Eixos	
	15m	30m	15m	30m
150	Diminuição	Diminuição	Diminuição	Diminuição
240	Diminuição	Diminuição	Diminuição	Aumento
330	Aumento	Diminuição	Aumento	Aumento
420	Diminuição	Aumento	Aumento	Aumento
720	Diminuição	Aumento	Aumento	Aumento

Diferente do que ocorreu com a macro e microtextura em que se pôde observar uma certa tendência de comportamento dos valores frente à variação da textura, para o IFI, essa conduta não se repete. Em 50% dos casos, a retrorrefletividade média subiu quando os valores de F60 caíram, na outra metade dos cenários aconteceu exatamente o contrário, não deixando nenhuma tendência explícita nesta pesquisa. Esse resultado é explicado pela fórmula de cálculo do F60, onde, quanto maior a altura média de areia, maior será o resultado. Enquanto que com os valores de VRD acontece o inverso, quanto maior o valor de resistência à derrapagem, menor será o F60. Como em ambos os casos isolados, tanto para altura média de areia quanto para o valor de resistência à derrapagem, há tendência a apresentar valores menores em pontos com retrorrefletividade maior, quando inseridos na fórmula acabam não apresentando correlação.

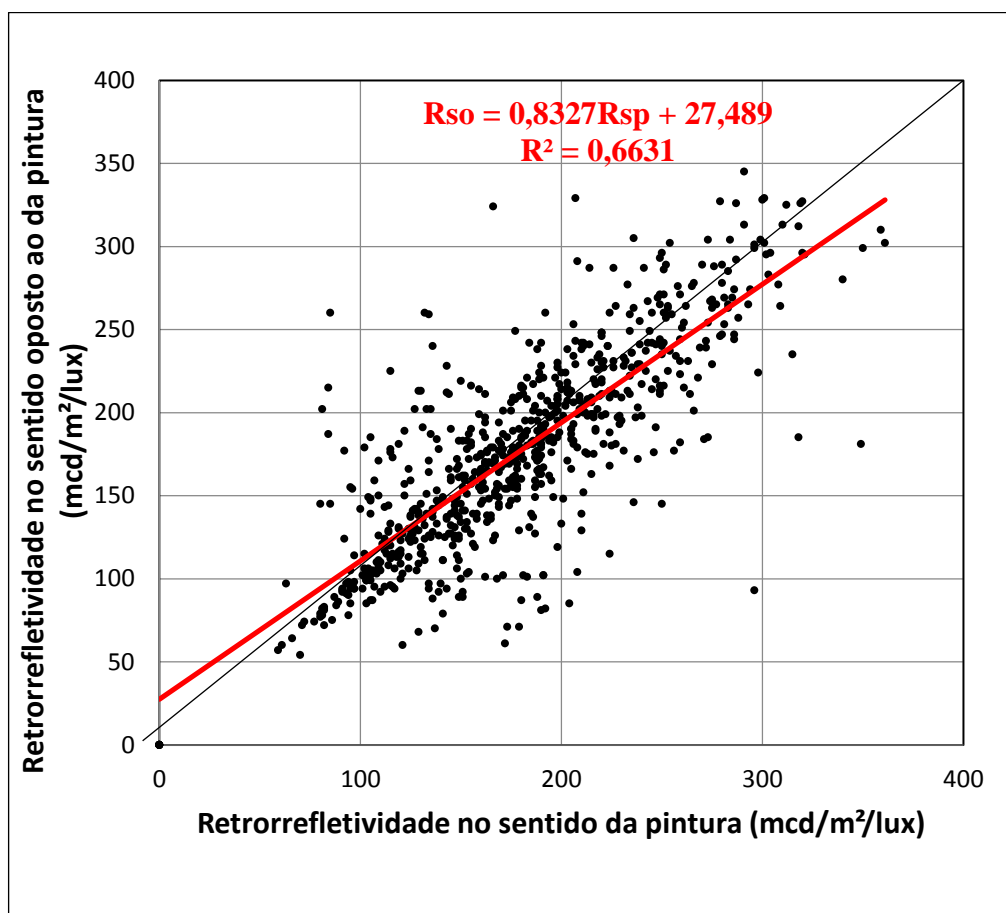
#### 4.6 RETRORREFLETIVIDADE EM SENTIDO OPOSTO AO DE PINTURA

Quando as demarcações completaram 60 dias de aplicação, junto com os levantamentos já observados, foram conduzidas leituras de retrorrefletividade também no sentido oposto ao da pintura em cada um dos 60 pontos eleitos para acompanhamento de textura. A bibliografia consultada (Rasdorf et al. (2009)) apresentou que os valores medidos tendem a ser diferentes quando o sentido de medição varia, com menores valores quando se mede no sentido oposto ao que a pintura foi realizada.

Além disso, a norma brasileira ABNT NBR 14723, solicita que a medição deve ser realizada no sentido do fluxo do tráfego para os bordos, enquanto eixos devem ser medidos em ambos os sentidos e ter os resultados apresentados separadamente. Buscando analisar se existe ou não diferenças nos resultados medidos frente ao sentido do equipamento, primeiramente foi realizada a medida do valor no sentido da pintura e, após, o equipamento era reposicionado sobre o mesmo ponto, entretanto, agora a leitura foi realizada no sentido oposto ao da realização da pintura.

Considerando todos os levantamentos, no sentido da pintura e oposto, foram realizadas 2.400 medições em cada uma das geometrias, sendo metade deste valor em pontos de eixo e a outra metade em pontos de bordo. Como forma de observação, todas as 2.400 medições foram plotadas no mesmo gráfico para cada geometria, comparando o valor medido no sentido da pintura com o valor medido no sentido oposto. A Figura 78 apresenta os resultados da variação da retrorrefletividade, medida em ambos os sentidos para a geometria de 15m. Na equação apresentada na Figura 78, “Rsp” é a Retrorrefetividade medida no sentido da pintura e “Rso” é a retrorrefletividade medida no sentido oposto ao de pintura.

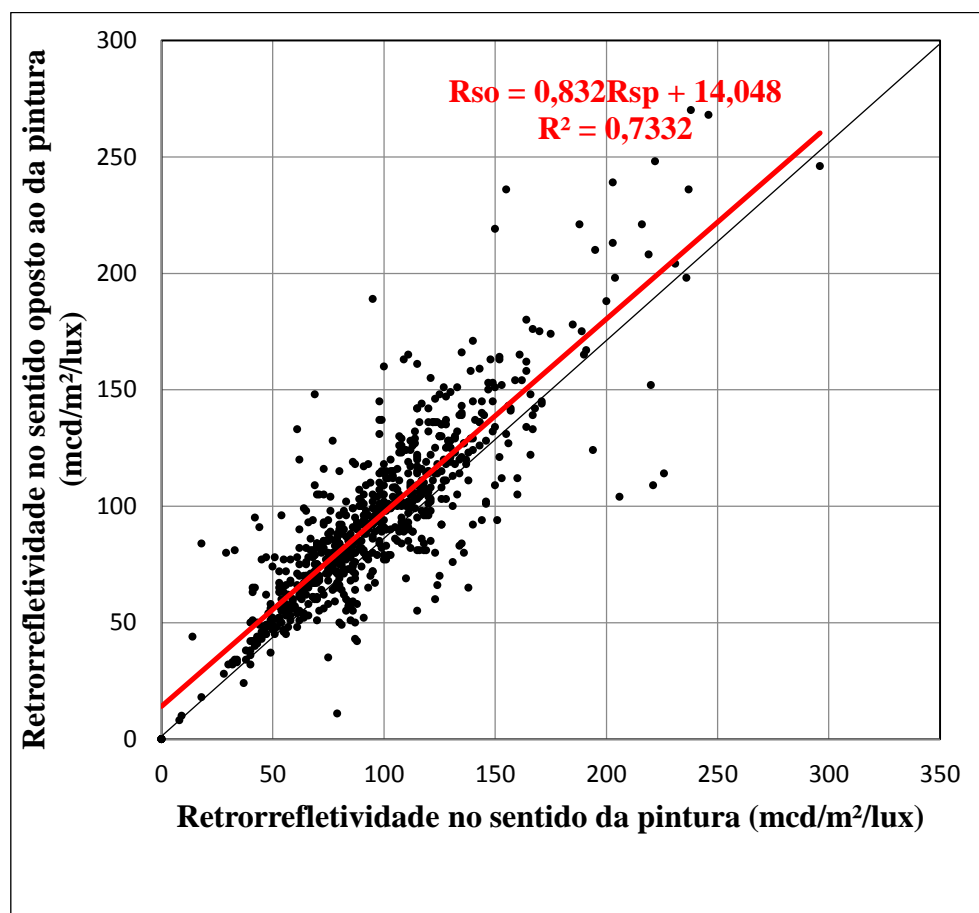
Figura 78 - Variação na retrorrefletividade medida nos dois sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 15m.



Observou-se que a nuvem de pontos ficou muito próxima da linha de unicidade, mesmo com os resultados variando ora para o lado da retrorrefletividade no sentido da pintura e ora para o lado da retrorrefletividade no sentido oposto. Ao realizar os cálculos, constatou-se que os valores medidos no sentido da pintura são, em média, 2% maiores do que os apresentados pelos pontos quando medidos no sentido oposto ao da pintura. Essa diferença de 2% não pode ser considerada como uma variação entre os resultados, já que é menor do que o erro padrão apresentado nas medições.

Assim como realizado com os valores medidos com geometria de 15m, os valores medidos com equipamento de 30m foram plotados da mesma maneira. Figura 79 apresenta os resultados da variação da retrorrefletividade medida em ambos os sentidos para a geometria de 30m.

Figura 79 - Variação na retrorrefletividade medida nos dois sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 30m.



É possível perceber uma dispersão nos resultados, com variações para ambos os sentidos, porém, sempre tendendo à linha de unicidade. Exatamente como apresentado na geometria de 15m, os valores no sentido da pintura foram levemente maiores, novamente, 2% maiores. Este resultado próximo era esperado, visto que os valores entre as geometrias podem ser correlacionados, como já demonstrado. Como dito anteriormente, esta variação de apenas 2% não pode ser considerada como uma diferença, já que é menor do que o erro padrão apresentado nas medições.

Foram observadas as variações médias em cada um dos levantamentos individualmente, tentando determinar se algum deles apresentava variações muito elevadas. As Figuras 80 e 81 apresentam os valores médios de retrorrefletividade encontrados nos levantamentos feitos nos dois sentidos, para geometria de 15m e 30m, respectivamente.



Figura 80 - Retrorefletividade média (mcd/m<sup>2</sup>/lux) nas demarcações em ambos os sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 15m

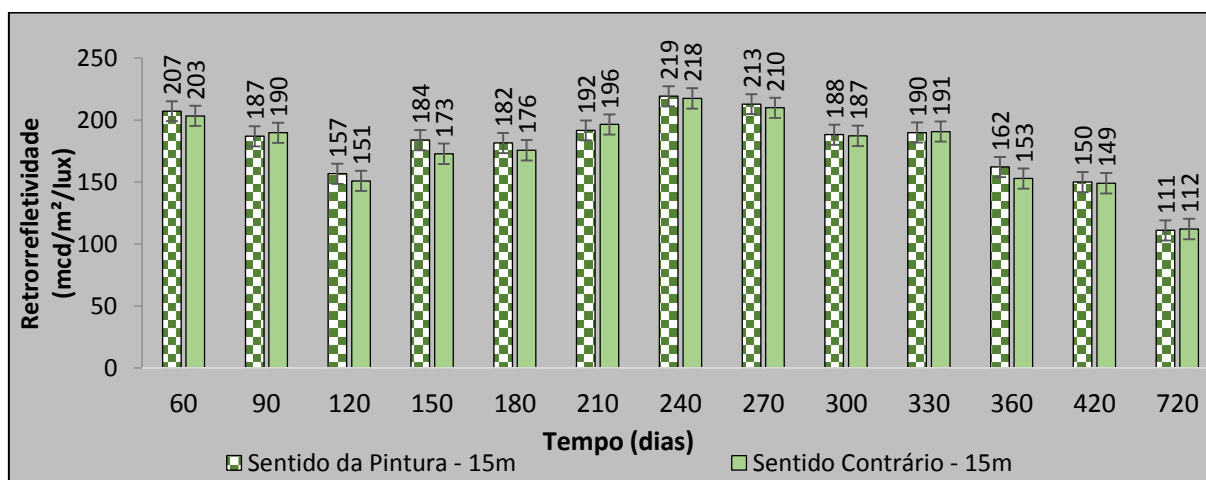
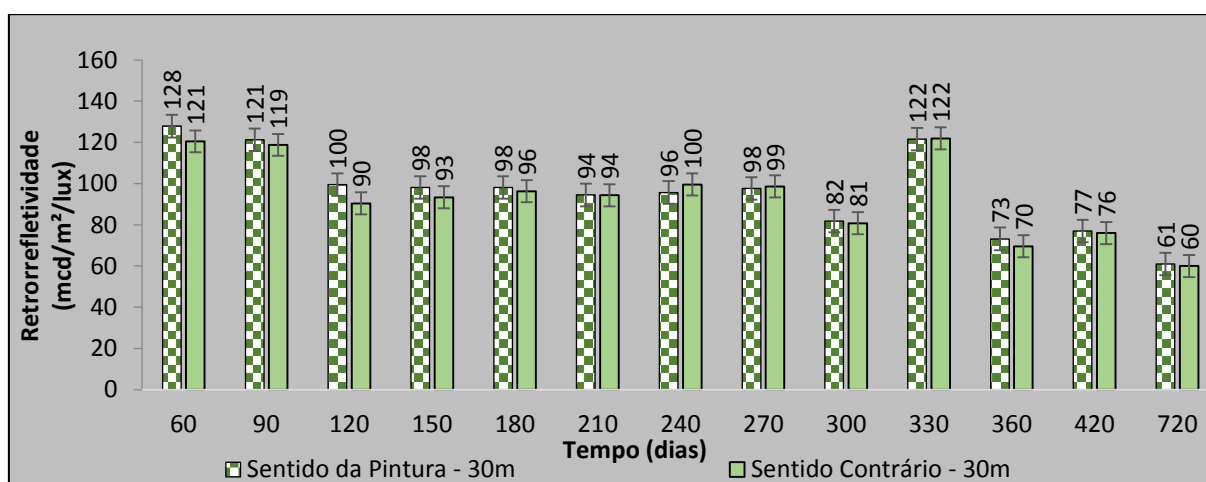


Figura 81 - Retrorefletividade média (mcd/m<sup>2</sup>/lux) nas demarcações em ambos os sentidos – Bordos e eixos - Geometria de 30m



Observando as médias nos gráficos, percebe-se que, na maioria das medições, assim como previa a literatura consultada, Rasdorf et al. (2009), levantamentos realizados nas demarcações no sentido em que foram pintadas geralmente apresentam valores ligeiramente maiores. Porém, a diferença encontrada foi muito pequena, cerca de 2% para ambas as geometrias, podendo ser descartada como mostram as barras de erro. A Tabela 29 apresenta os valores médios para cada campanha de levantamento, juntamente com a diferença entre os valores, apresentando valor positivo quando o maior valor foi medido no sentido da pintura e negativo quando o maior valor foi medido no sentido contrário ao que as linhas foram pintadas.

Tabela 29 – Diferença de retrorrefletividade média entre as medições em sentidos opostos.

Tempo (Dias)	15m			30m		
	Rsp (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Rso (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Diferença	Rsp (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Rso (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Diferença
60	207	203	2%	128	121	6%
90	187	190	-1%	121	119	2%
120	157	151	4%	100	90	9%
150	184	173	6%	98	93	5%
180	182	176	3%	98	96	2%
210	192	196	-3%	94	94	0%
240	219	218	1%	96	100	-4%
270	213	210	1%	98	99	-1%
300	188	187	1%	82	81	1%
330	190	191	0%	122	122	0%
360	162	153	6%	73	70	5%
420	150	149	0%	77	76	0%
720	111	112	-1%	61	60	2%

Através da observação da Tabela 29, percebe-se que há pequenas variações nos valores medidos em todos os levantamentos. Como as variações são muito baixas, além de não apresentarem uma tendência clara, julga-se não haver influência do sentido em que o levantamento é realizado nos valores de retrorrefletividade obtidos. Em sua pesquisa, Rasdorf et al. (2009), determinaram que os valores de retrorrefletividade medidos no sentido da pintura são, em média, 15 a 30% maiores do que os medidos no sentido oposto ao de pintura. Valores bem diferentes dos apresentados nesta pesquisa.

Os autores comentam em sua pesquisa que a velocidade de pintura média foi de 20km/h (praticada nos EUA), enquanto que no trecho estudado, a velocidade de pintura foi próxima à metade deste valor. Sendo assim, para velocidades de pintura muito elevadas, esses valores podem variar. Outro fator que pode apresentar influência é a espessura da camada de tinta utilizada na pintura.

#### 4.7 LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES ÚMIDAS

Nos mesmos 60 pontos onde foram realizados os ensaios de textura, também foram conduzidos ensaios para determinação da retrorrefletividade das demarcações quando úmidas. O método utilizado é constante na norma britânica BS EN 1436:2007, como explicado na metodologia deste trabalho. As Tabelas 30 e 31 apresentam os valores de retrorrefletividade médios dos pontos com as demarcações secas e úmidas com dupla geometria, para demarcações de eixo e bordo, respectivamente.

Tabela 30 - Retrorrefletividade média dos eixos com as demarcações secas e úmidas.

Tempo (dias)	Geometria de 15m		Geometria de 30m	
	Retrorrefletividade Seca	Retrorrefletividade Úmida	Retrorrefletividade Seca	Retrorrefletividade Úmida
	(mcd/m <sup>2</sup> /lux)	(mcd/m <sup>2</sup> /lux)	(mcd/m <sup>2</sup> /lux)	(mcd/m <sup>2</sup> /lux)
60	176	41	117	26
90	161	39	111	22
120	144	33	94	19
150	162	34	80	20
180	162	35	81	19
210	159	34	76	19
240	182	33	75	19
270	183	31	74	18
300	163	29	65	17
330	165	28	66	16
360	132	26	58	15
420	115	25	58	14
720	94	21	50	14

Tabela 31 - Retrorrefletividade média dos bordos com as demarcações secas e úmidas.

Tempo (dias)	Geometria de 15m		Geometria de 30m	
	Retrorrefletividade	Retrorrefletividade	Retrorrefletividade	Retrorrefletividade
	Seca (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Úmida (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Seca (mcd/m <sup>2</sup> /lux)	Úmida (mcd/m <sup>2</sup> /lux)
60	244	48	139	26
90	212	37	133	21
120	170	36	106	19
150	210	35	119	20
180	208	35	118	20
210	226	35	108	20
240	251	32	125	22
270	249	31	124	20
300	217	30	106	19
330	214	29	107	18
360	198	27	90	18
420	188	25	97	18
720	130	25	73	16

Pode-se perceber uma grande queda nos valores médios de retrorrefletividade quando as demarcações estão úmidas. Esse comportamento vai ao encontro do que a literatura comenta (Dale (1967) apud Bowman e Kowshik (1994)). Um filme de água se forma sobre a demarcação, fazendo com que a luz incidente torne-se difusa e tenha sua porcentagem retrorrefletida reduzida drasticamente. Percebeu-se que a taxa de decréscimo é em torno de 80% nos valores de retrorrefletividade nas demarcações úmidas.

Como os pontos escolhidos para realização dos testes de umidade foram os mesmos em que se determinou a macrotextura da superfície, uma comparação entre a classe de macrotextura e a retrorrefletividade média foi realizada, buscando verificar melhor condição de escoamento e assim maiores valores de retrorrefletividade. É preciso informar que a classe de macrotextura considerada nesta abordagem é a medida no dia anterior à pintura. As Tabelas 32 e 33 apresentam os valores de retrorrefletividade média para as demarcações de cada classe de macrotextura antes e após serem molhadas para simulação de dia chuvoso. A Tabela 32 traz os valores de eixos enquanto a Tabela 33 apresenta os valores medidos nos bordos.

Tabela 32 - Retrorrefletividade média dos eixos com as demarcações secas e úmidas por classe de macrotextura.

Tempo (dias)	Retrorrefletividade dos Eixos (mcd/m <sup>2</sup> /lux)											
	Geometria de 15m						Geometria de 30m					
	MA		AB		ME		MA		AB		ME	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
<b>60</b>	176	41	183	39	115	51	120	27	122	25	72	29
<b>90</b>	147	40	172	37	110	49	104	24	118	20	101	21
<b>120</b>	128	33	152	33	134	35	85	20	101	18	84	23
<b>150</b>	156	35	168	35	128	17	73	22	85	19	66	11
<b>180</b>	158	38	167	37	132	23	75	23	85	19	70	11
<b>210</b>	133	34	176	36	115	26	70	21	80	19	70	12
<b>240</b>	173	33	183	33	162	30	74	20	75	19	68	14
<b>270</b>	181	31	187	31	152	27	76	20	75	18	64	14
<b>300</b>	158	29	166	30	145	27	66	19	66	17	64	14
<b>330</b>	161	26	167	29	149	25	66	18	66	16	65	14
<b>360</b>	125	25	133	28	124	23	51	17	63	15	62	13
<b>420</b>	111	25	120	20	112	24	53	14	62	15	63	13
<b>720</b>	85	21	103	19	61	19	46	13	53	14	57	14

MA: Muito Aberta; AB: Aberta; ME: Média.

Tabela 33 - Retrorrefletividade média dos bordos com as demarcações secas e úmidas por classe de macrotextura.

(Continua)

Tempo (dias)	Retrorrefletividade dos Bordos (mcd/m <sup>2</sup> /lux)											
	Geometria de 15m						Geometria de 30m					
	MA		AB		FE		MA		AB		FE	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
<b>60</b>	248	62	245	47	221	48	128	34	139	25	135	29
<b>90</b>	214	36	217	37	224	38	109	17	134	21	140	20
<b>120</b>	177	15	169	36	176	35	117	11	105	19	98	17
<b>150</b>	181	22	212	36	189	31	87	13	120	20	120	14
<b>180</b>	190	25	209	36	190	34	90	9	119	21	125	13
<b>210</b>	273	26	226	35	188	32	115	10	107	21	111	12
<b>240</b>	312	27	256	32	227	35	124	13	125	22	117	19
<b>270</b>	320	29	237	31	249	34	115	12	120	21	119	16

Tabela 33- Retrorefletividade média dos bordos com as demarcações secas e úmidas por classe de macrotextura.

(Conclusão)

Tempo (dias)	Retrorefletividade dos Bordos (mcd/m <sup>2</sup> /lux)											
	Geometria de 15m						Geometria de 30m					
	MA		AB		FE		MA		AB		FE	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
<b>300</b>	254	30	207	30	218	36	108	10	101	20	120	13
<b>330</b>	259	24	204	29	214	35	108	9	102	19	124	11
<b>360</b>	203	22	195	27	236	34	93	9	89	18	103	10
<b>420</b>	198	23	188	25	160	30	95	10	99	18	83	11
<b>720</b>	147	24	132	24	72	27	96	10	72	17	57	12

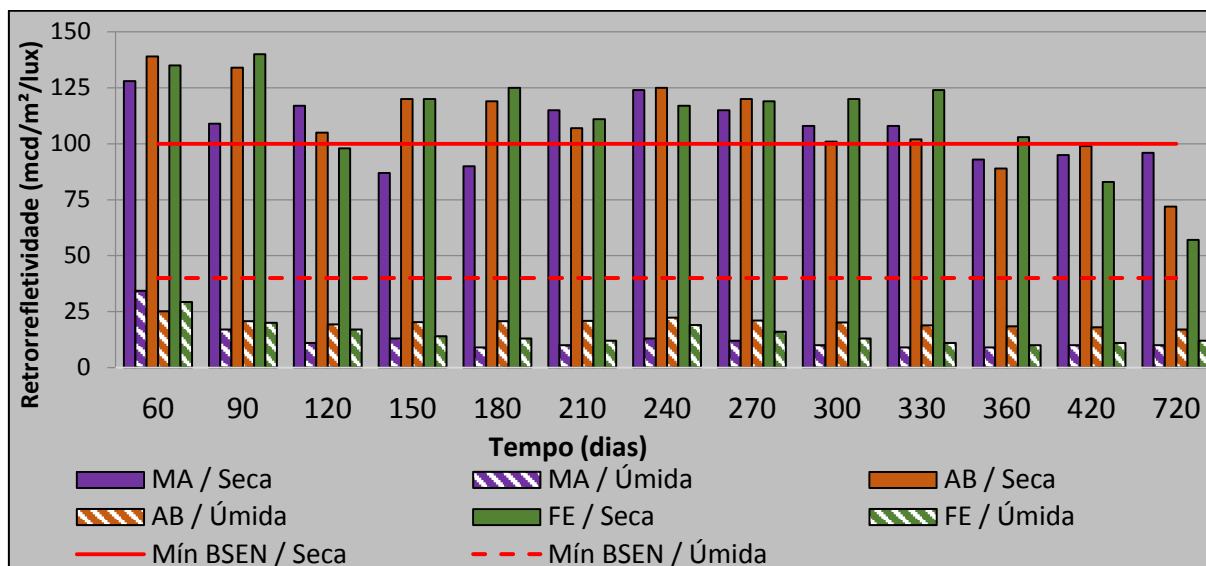
MA: Muito Aberta; AB: Aberta; FE: Fechada.

Observa-se que, independentemente da classe de macrotextura em questão, os valores de retrorefletividade têm um decréscimo elevado quando as linhas estão cobertas por umidade. Tentou-se identificar se alguma classe de macrotextura apresentaria melhor desempenho com as demarcações após o despejo de água, já que talvez apresentasse uma drenagem mais rápida desse volume de água, porém não foi constatada nenhuma variação significativa, visto que para os bordos, os pontos com classe MA foram os de melhor desempenho e nos pontos de eixo essa classe de macrotextura foi a que teve pior desempenho, quando se comparam valores médios secos com valores médios úmidos.

Os valores para geometria de 30m foram colocados na Figura 82 e na Figura 83, para comparação com os valores mínimos de segurança estipulados pela BS EN. Essa foi a única norma que apresentou índices para situação de umidade sobre a rodovia, por esse motivo, apenas os valores mínimos dela estão nas figuras. Não há nenhuma consideração a respeito de leituras sobre superfícies úmidas em normas que utilizam geometria de medição de 15m. Figura 80 apresenta os valores de bordo.

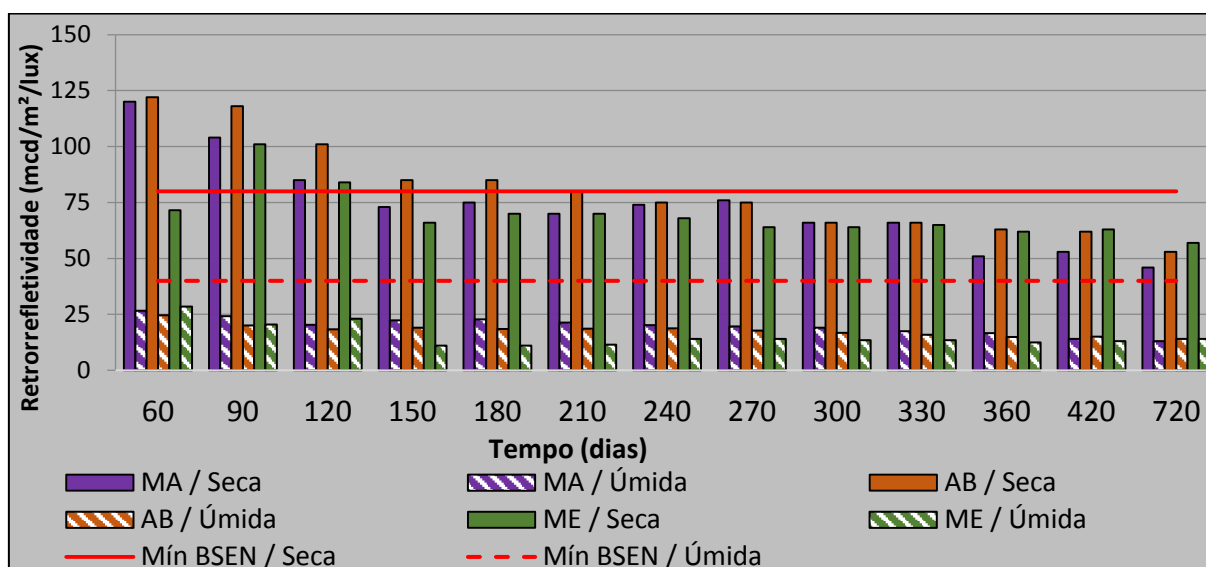
Pode-se perceber que, independente da macrotextura dos pontos, os valores decrescem muito quando úmidos. A norma europeia BS EN 1436, coloca como valor mínimo de 40 mcd/m<sup>2</sup>/lux de retrorefletividade residual quando a demarcação está úmida e 100 mcd/m<sup>2</sup>/lux quando a demarcação está seca, ambos os valores medidos na geometria de 30m. Constata-se na Figura 82 que, mesmo a demarcação estando atendendo tal critério para as situações secas em ambas as classes de macrotextura em quase todos os levantamentos até os 360 dias de via de serviço, não alcança os valores mínimos de retrorefletividade quando úmida em nenhum dos casos entre todos os levantamentos.

Figura 82 - Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) média das demarcações quando secas e úmidas – Bordos - Geometria de 30m.



A norma decresce o valor mínimo em 60% ao diminuir de  $100 \text{ mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$  quando seca para  $40 \text{ mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$  quando úmida, já as demarcações analisadas têm um decréscimo médio em sua retrorefletividade de 85%, fazendo com que fiquem abaixo dos valores e segurança quando úmidas muito antes do que quando secas. A Figura 83 apresenta os valores agora para as demarcações de eixo.

Figura 83 - Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) média das demarcações quando secas e úmidas – Eixos - Geometria de 30m.



Assim como os valores apresentados pelos pontos nos bordos, observou-se grande decréscimo nas propriedades retrorrefletivas quando a demarcação apresenta umidade nos eixos. Para demarcações amarelas, a norma europeia BS EN 1436:2007 determina como valor mínimo para retrorrefletividade residual das demarcações quando secas 80 mcd/m<sup>2</sup>/lux, já para as demarcações úmidas o valor mínimo continua sendo 40 mcd/m<sup>2</sup>/lux. Novamente, representa um decréscimo muito menor do apresentado em média pelas demarcações estudadas. Enquanto a norma diminui o valor de referência pela metade, as demarcações, em média, apresentam valores 76% menores quando cobertas pela umidade, ficando abaixo dos limites para umidade muito antes de atingir os limites para demarcações secas.

Fica evidenciado que, além dos limites para demarcações secas aplicadas no Brasil, o problema da retrorrefletividade em demarcações úmidas também é negligenciado. Em território nacional não existe nenhum critério para condição da retrorrefletividade quando a demarcação está úmida. Sendo assim, no momento de determinação da granulometria das esferas, não é considerada a ação do filme de água sobre a pista em dias chuvosos, resultando em linhas que, mesmo apresentando desempenho satisfatório quando secas, não apresentam desempenho mínimo quando estão úmidas, perdendo seu papel fundamental na via: o de prestar segurança ao usuário.

Uma alternativa para melhorar a visibilidade durante períodos com umidade sobre a via é a utilização de tachas e tachões, que não são cobertas pelo filme de água e auxiliam o motorista com as indicações das limitações da demarcação horizontal. O uso destes dispositivos auxiliares foi realizado no trecho deste estudo e, durante os dois anos de levantamentos, ficou evidenciada a grande taxa de arrancamento desses (não quantificada nesta pesquisa), resultando numa sinalização horizontal ineficiente em dias chuvosos. Fora do Brasil, mesmo utilizando destes dispositivos, as agências se preocupam em manter uma norma que leve em consideração dias em que a dirigibilidade não esteja totalmente adequada.



#### 4.8 LEVANTAMENTOS COM DEMARCAÇÕES APÓS LIMPEZA

Como mostrado na metodologia, vinte pontos da estação número 4 foram escolhidos para receber limpeza periódica e acompanhamento das propriedades retrorrefletivas. Esses pontos foram chamados de PE (Pontos Escolhidos), enquanto que os outros pontos que compõem a estação de medição número 4, que não receberam limpeza, foram chamados de DP (Demais Pontos).

As limpezas periódicas nos PE foram iniciadas aos 60 dias de vida de serviço das demarcações e, após essa data, em todas as campanhas de medições ela foi repetida. A Tabela 34 apresenta os valores de retrorrefletividade médios medidos em cada um dos levantamentos para os PE pré limpeza, PE pós limpeza e para os DP para geometria de 15m. As Figuras 84 e 85 trazem os valores plotados ao longo do tempo para melhor observação do comportamento destes.

Tabela 34 - Retrorrefletividade média dos pontos da estação 4 antes e após limpeza – Geometria de 15m.

Tempo (dias)	Bordo			Eixo		
	PE pré limpeza	PE pós limpeza	DP sem limpeza	PE pré limpeza	PE pós limpeza	DP sem limpeza
60	262	318	250	182	223	197
90	180	269	198	169	215	174
120	166	243	192	170	211	155
150	213	252	212	171	203	156
180	203	265	209	168	175	154
210	227	265	252	152	149	150
240	213	281	252	191	188	184
270	208	251	249	188	190	182
300	188	238	222	157	198	162
330	190	223	228	159	196	162
360	203	223	211	142	197	129
420	190	215	193	135	165	128
720	121	143	127	115	139	107

Figura 84 - Retrorrefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) da estação 4 antes e após limpeza – Bordos - Geometria de 15m.

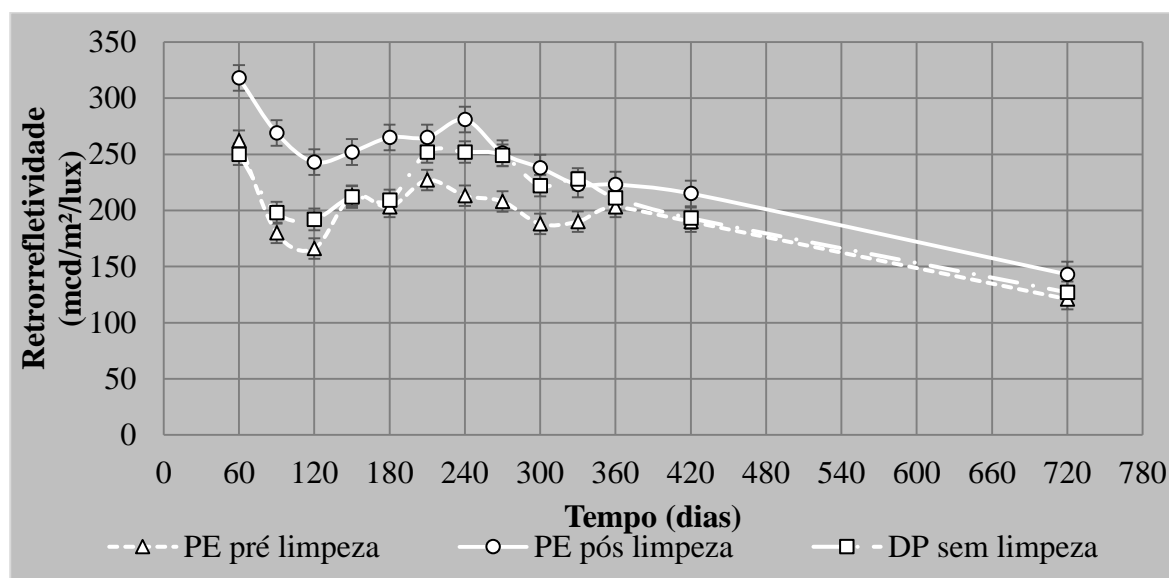
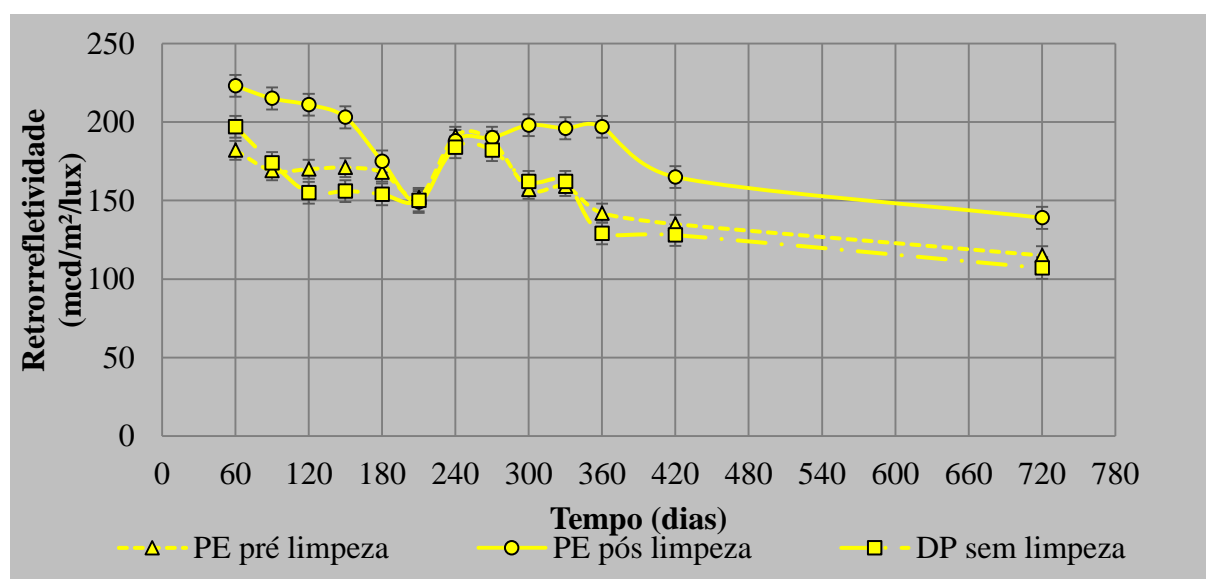


Figura 85 - Retrorrefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) da estação 4 antes e após limpeza – Eixos - Geometria de 15m.



Observa-se que, tanto para os bordos quanto para os eixos, os valores de retrorefletividade aumentam nos PE após realização da limpeza. As demarcações de bordo apresentaram um aumento médio de 25% nos valores de retrorefletividade após execução da limpeza, enquanto que as demarcações de eixo tiveram um aumento médio de 17%, resultando em uma média de 21% de aumento. Essa diferença nos índices de aumento provavelmente se

deve aos bordos apresentarem maior concentração de impurezas, já que costumam ser transpostos por veículos que fazem conversões para adentrar nos estabelecimentos da região.

Para os bordos, ao final dos dois anos, a queda nos valores de retrorrefletividade para os PE pré limpeza e os DP foi praticamente igual, cerca de 50% do valor. Já para os eixos, os pontos que não receberam limpeza tiveram uma queda 10% maior nos índices de retrorrefletividade quando comparados com os PE pré limpeza.

Outro aspecto que merece atenção foi de que os PE pré limpeza tiveram uma retrorrefletividade quase 10% menor do que os DP nos bordos. Já nas demarcações de eixo, essa diferença ocorreu ao contrário, os DP apresentaram retrorrefletividade média em torno de 3% menor do que a dos PE sem limpeza. Esse valor elevado de 10% para os bordos, mostra que possivelmente a limpeza periódica acabou sendo mais agressiva nos bordos, talvez por eles já sofrerem mais com o contato pneu/demarcação acabaram tendo um desgaste acentuado nos valores de retrorrefletividade.

A mesma metodologia foi aplicada com os valores medidos com geometria de 30m. A Tabela 35 apresenta os valores.

Tabela 35 - Retrorrefletividade média dos pontos da estação 4 antes e após limpeza – Geometria de 30m.

Tempo (dias)	Bordo			Eixo		
	PE pré limpeza	PE pós limpeza	DP sem limpeza	PE pré limpeza	PE pós limpeza	DP sem limpeza
60	140	170	147	117	135	119
90	113	155	126	120	142	116
120	105	138	109	101	135	100
150	117	137	120	88	120	88
180	116	132	118	88	97	87
210	116	121	122	82	91	80
240	113	138	123	82	88	81
270	116	135	125	83	88	81
300	93	137	106	70	87	68
330	93	140	108	70	88	68
360	97	145	102	82	89	71
420	89	111	109	61	85	63
720	69	105	75	49	80	60

Para a geometria de 30m, o aumento médio nos valores de retrorrefletividade após a realização da pintura foi ainda maior, 30% para as demarcações de bordo e 23% para as demarcações de eixo, resultando em uma média de 26,5% de aumento. Assim como as medições com geometria de 15m, os pontos de bordo tiveram maiores elevações após limpeza, já explicado anteriormente. Todas as demais conclusões foram análogas às apresentadas com medições de geometria igual a 15m.

Os PE tiveram suas classes de macrotextura determinadas e os valores de retrorrefletividade também serão expressos em função delas. As Figuras 86 e 87 apresentam a retrorrefletividade média dos pontos antes e após a limpeza para as classes de macrotextura observadas. A Tabela 36 apresenta os valores médios dos pontos de cada classe de macrotextura e as Figuras 86 e 87 apresentam os índices de bordo e eixo, respectivamente, frente aos valores mínimos de referência para a geometria de 15m.

Tabela 36 - Retrorrefletividade média dos PE antes e após limpeza por classe de macrotextura – Geometria de 15m

Tempo (dias)	Bordo				Eixo			
	AB	AB	ME	ME	AB	AB	MA	MA
	Suja	Limpa	Suja	Limpa	Suja	Limpa	Suja	Limpa
60	244	342	279	294	196	247	169	199
90	199	257	162	280	142	231	196	199
120	163	235	170	252	143	217	197	205
150	227	254	199	251	146	210	195	196
180	219	270	186	259	148	157	189	193
210	254	264	199	265	131	123	173	174
240	216	224	210	218	179	170	203	206
270	217	227	199	230	182	168	193	211
300	193	223	184	230	152	177	161	218
330	194	212	186	234	154	177	164	214
360	204	209	203	236	136	175	148	219
420	185	210	199	220	130	160	141	166
720	120	141	135	151	109	138	121	147

Figura 86 - Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) por classe de macrotextura antes e após limpeza - Bordos - Geometria de 15m.

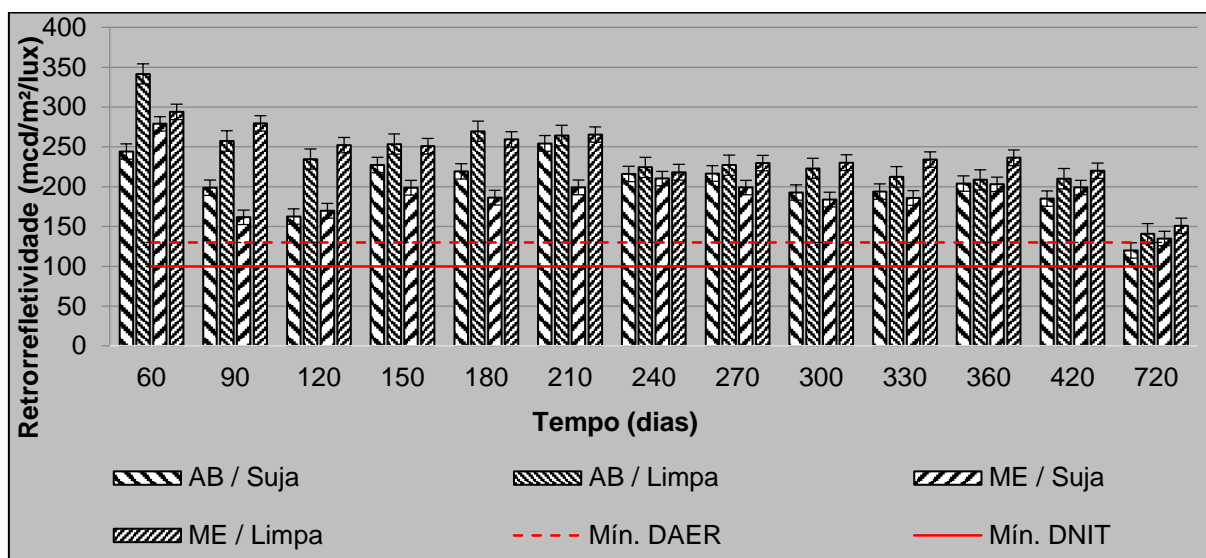
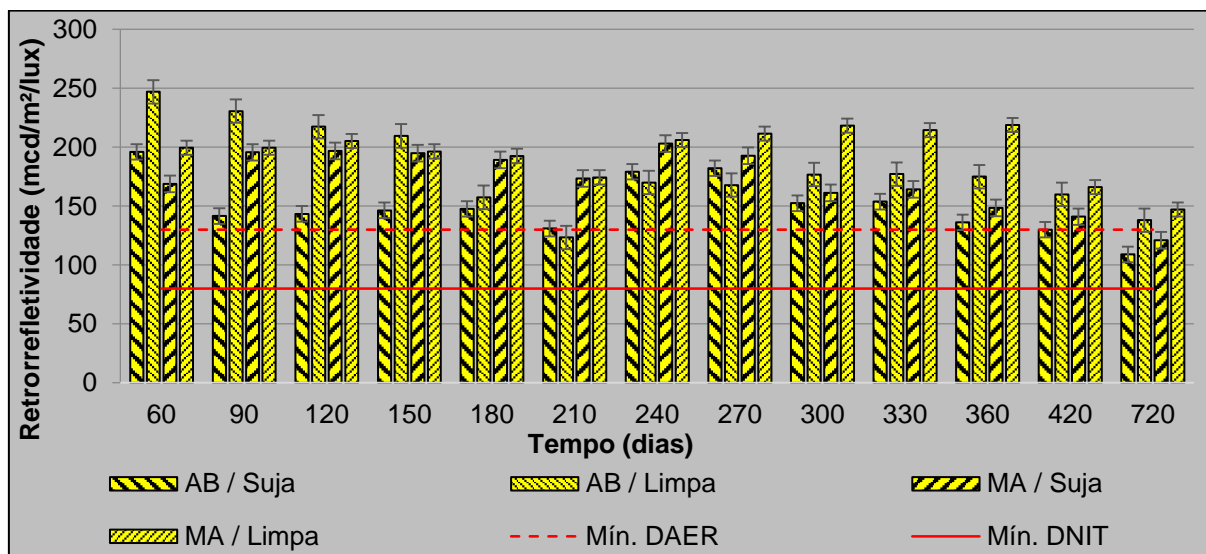


Figura 87 - Retrorefletividade ( $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) por classe de macrotextura antes e após limpeza - Eixos - Geometria de 15m.



Quando a classe de macrotextura é considerada, para os bordos, os pontos com classe aberta tiveram um acréscimo médio de 17% após limpeza e os pontos com classe de macrotextura média tiveram um aumento médio de 26% em sua capacidade retrorefletiva. Para as demarcações de eixo, os pontos com classe de macrotextura aberta novamente tiveram melhorias mais consideráveis após limpeza, 22% contra 15% de aumento nos pontos de classe muito aberta. Porém, é necessário observar que agora a macrotextura aberta está sendo

comparada com a muito aberta, que apresenta altura média de areia maior, diferente do que aconteceu nas demarcações de bordo, quando os pontos com classe de macrotextura aberta foram comparados com os de classe média, que apresentam altura média de areia menor. Sendo assim, não há uma ligação da classe de macrotextura com os ganhos de retrorrefletividade após a realização de limpeza das linhas.

Com os mínimos exigidos em território nacional, constata-se que, após a limpeza, os valores melhoram e se afastam dos mínimos exigidos. No levantamento de 720 dias após a pintura, os pontos só apresentam valores médios de retrorrefletividade acima dos índices de segurança após receberem limpeza, levando a crer que a limpeza periódica estenda a vida de serviço das demarcações. Porém, como demonstrado anteriormente, os PE apresentam retrorrefletividade média menor do que a dos DP quando ainda não receberam a limpeza, o que vai de encontro com a afirmativa anterior, podendo, na verdade, diminuir a vida de serviço das demarcações. É necessário que seja feita uma análise de periodicidade da limpeza, já que, muito espaçada, como nesta pesquisa, não apresenta resultados consistentes ao longo do tempo.

Salles et al. (2015) em sua pesquisa, apresentaram maior elevação nos índices de retrorrefletividade nos bordos quando comparados aos eixos, após limpeza. Porém, em seu estudo, eles explicaram esse valor elevado pela existência de meio fio, acumulando mais sujeira nos bordos do que nos eixos, não sendo o caso desta pesquisa, já que o local de estudo não é dotado de meio fio. Outra variação do cenário é a existência de dispositivos auxiliares, situação que não ocorria no trecho de estudo dos autores citados.

Foram desenvolvidos modelos de desempenho da retrorrefletividade das demarcações que receberam limpeza e das que não receberam nenhuma intervenção. Os modelos foram comparados na Figura 88 para visualização da estimativa do comportamento. Como a metodologia de limpeza foi inserida na pesquisa aos 60 dias, os modelos estão apresentados a partir desta data. O modelo que melhor se encaixou nos valores foi o exponencial. As Equações 49 a 52 trazem os modelos desenvolvidos juntamente com o  $R^2$  de cada um, sempre para geometria de 15m:

$$\text{Para linhas brancas que receberam manutenção: } RL = 315,67 \times e^{-0,001 \times t} \quad (R^2 = 0,86) \quad (49)$$

$$\text{Para linhas brancas que não receberam manutenção: } RL = 256,5 \times e^{-7E-0,4 \times t} \quad (R^2 = 0,46) \quad (50)$$

$$\text{Para linhas amarelas que receberam manutenção: } RL = 218,27 \times e^{-6E-0,4 \times t} \quad (R^2 = 0,52) \quad (51)$$

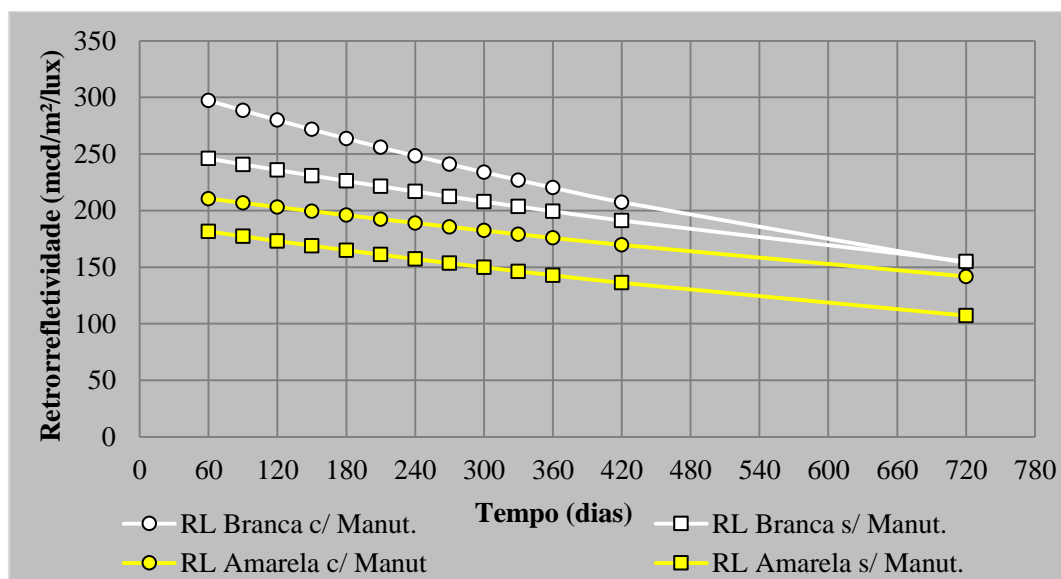
$$\text{Para linhas amarelas que não receberam manutenção: } RL = 190,5 \times e^{-8E-0,4 \times t} \quad (R^2 = 0,65) \quad (52)$$

Onde:

RL = Retrorefletividade residual em  $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$  para geometria de 15m;

t = Tempo em dias.

Figura 88 - Modelos de desempenho da retrorefletividade com e sem manutenção – Bordos e eixos - Geometria de 15m.



Fica evidenciado pelos modelos, o desempenho superior dos pontos limpos frente a retrorefletividade. Um ponto que fica ainda mais claro é que ao final de dois anos, a limpeza é mais eficiente nas marcações de eixo. Para os bordos, a melhoria na retrorefletividade cai ao longo do tempo, aos primeiros levantamentos trazendo cerca de 20% de melhoria nos valores e culminando em uma igualdade de índices ao final dos 720 dias. Já para os eixos, as medições seguem com melhoria sempre próxima dos 20%, sendo ainda pouco melhor ao final dos 720 dias. Uma das possibilidades dessa diferença é que a tinta branca acabe absorvendo mais a sujeira, se tornando cada vez mais cinza, fazendo com que a limpeza perca efetividade.

A mesma metodologia de análise foi aplicada nos valores medidos com geometria de 30m e os resultados foram análogos aos apresentados pela geometria de 15m. Em relação aos mínimos exigidos internacionalmente, a partir do 60º dia, as demarcações de bordo só atendem ao mínimo de 150  $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$  exigido pela FHWA após receberem limpeza. Aos 300 dias de vida, as demarcações não atendem mais aos 100  $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lux}$  exigidos pela BS EN antes de serem limpas. Os valores de retrorefletividade após limpeza ainda são satisfatórios para a norma britânica ao final dos 720 dias.

Para os valores mínimos de eixo, a norma americana pede 100mcd/m<sup>2</sup>/lux e a britânica solicita 75 mcd/m<sup>2</sup>/lux. Aos 120 dias os valores da FHWA não são mais atingidos sem limpeza, vindo a ficar acima do mínimo após realização da lavagem. Já os índices da BS EN deixam de ser atingidos pelos pontos sem limpeza aos 300 dias. Ao final dos 720 dias os pontos de eixo seguem com valores acima dos 75mcd/m<sup>2</sup>/lux após serem limpos.

Constatou-se que os pontos que receberam limpeza periódica apresentaram valores de retrorrefletividade maiores do que aqueles que nunca foram limpos, isso quando se considera os índices medidos logo após a limpeza. As campanhas de lavagem ocorreram mensalmente, na maior parte da pesquisa e demonstraram que pontos que foram limpos não apresentam melhora significativa nos índices de retrorrefletividade aos 30 dias após a limpeza, já que estes encontram-se novamente cobertos por impurezas. Além disso, a maioria dos pontos, principalmente dos bordos, apresentou diminuição nos valores de retrorrefletividades medidos pré-limpeza frente aos índices dos DP.

Essas constatações levam a crer que uma política de conservação pode sim aumentar a vida de serviço das demarcações horizontais, porém se esta tiver periodicidade baixa, pode não fazer sentido, frente à rapidez com que os valores de retrorrefletividade caem após a limpeza. Por outro lado, uma política com periodicidade muito alta pode acarretar perda acentuada das propriedades retrorrefletivas e acabar por diminuir a vida de serviço das demarcações. Estudos que determinem a periodicidade crítica, ou ótima, se fazem necessários para que essa prática auxilie na melhoria de desempenho das demarcações rodoviárias.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

O estudo visava, na prática, acompanhar o comportamento da retrorrefletividade de demarcações rodoviárias aplicadas sobre MRAF, buscando identificar se a textura da superfície do pavimento influencia de alguma forma no desempenho e durabilidade destas demarcações. Após a análise dos resultados obtidos nas campanhas de levantamentos, esta e outras questões indagadas no início da pesquisa puderam ser respondidas:

- Frente a taxa de decréscimo da retrorrefletividade, nos primeiros meses, as demarcações aplicadas sobre MRAF exibiram valores de degradação muito maiores em comparação ao que a literatura apresenta para outros tipos de revestimento asfáltico. Considerando dois anos de vida, a taxa de degradação para a retrorrefletividade das demarcações é de 0,01% ao dia, muito parecida com as taxas de outros tipos de revestimento;
- Conclui-se que demarcações aplicadas sobre o MRAF tendem a apresentar valores de retrorrefletividade abaixo dos apresentados em demarcações com outros tipos de revestimento, principalmente até 18 meses após aplicação. Após 18 meses, os valores apresentados tendem a ser mais próximos dos vistos em outros tipos de revestimento;
- Os índices de retrorrefletividade ao longo do tempo tendem a cair mais rapidamente nos primeiros dias de vida. Ao sofrerem desgaste inicial da camada de tinta, e assim, as microesferas que estavam mal ancoradas são arrancadas e as que estavam totalmente cobertas pela tinta começam retrorrefletir a luz dos faróis, os índices tendem a um aumento significativo próximo dos 30 dias após aplicação. Depois deste pico, os valores caem de forma suave até apresentarem uma assíntota horizontal;
- Em locais sem meio-fio e com a presença de dispositivos auxiliares, tachas nos bordos e tachões no eixo, a precipitação anterior à medição não interfere nos valores de retrorrefletividade medidos;
- A limpeza periódica se mostrou uma prática de manutenção benéfica para os valores de retrorrefletividade. Os índices apresentaram aumento de 30% no desempenho após realização de limpeza. Os pontos que não receberam limpeza

apresentaram valores de retrorrefletividade muito próximos daqueles que receberam, quando medidos antes da limpeza, concluindo-se que não houve desgaste excessivo das demarcações nos pontos que foram limpos, considerando a frequência desta pesquisa;

- Demarcações viárias que não possuam microesferas de vidro com diâmetros elevados, quando úmidas, apresentam queda de 80% nos valores de retrorrefletividade. A queda nos valores independe das características de textura do pavimento onde as demarcações foram implantadas;
- A retrorrefletividade das demarcações rodoviárias está ligada de forma direta com a macrotextura do pavimento onde ela foi inserida. Locais com macrotextura mais fechada, tendem a exibir maiores índices de retrorrefletividade inicial. Como a taxa de degradação da retrorrefletividade ao longo do tempo não varia para diferentes classes de macrotextura, locais com macrotextura mais fechada tendem a apresentar valores de retrorrefletividade residual também maiores, excluindo outros fatores que possam influenciar os valores;
- A microtextura das demarcações, quando medidas ao longo do tempo, demonstra que os valores de resistência a derrapagem tendem a subir, ao passo que os valores de retrorrefletividade tendem a diminuir. Pontos que apresentam valores de resistência a derrapagem maiores, tem valores menores de retrorrefletividade, medidos à mesma idade de serviço;
- Os valores de IFI das demarcações não apresentou influência sobre os valores de retrorrefletividade.
- Ficou evidenciado que o sentido em que a medição da retrorrefletividade é realizada, em local onde a velocidade aplicada pelo equipamento de pintura foi baixa, não tem influência sobre os índices medidos.
- Observou-se que as demarcações apresentam índices de retrorrefletividade 50% menores quando medidos com equipamento com geometria de 30m, em comparação com índices apresentados por equipamentos com geometria de 15m;
- A taxa de aplicação ótima de microesferas de vidro, independente da classe de macrotextura do pavimento foi em torno de 325g/m<sup>2</sup>.

- As demarcações pintadas com tinta branca apresentam valores de retrorrefletividade 30% maiores do que os apresentados por demarcações pintadas com tinta amarela, tendo a mesma taxa de microesferas sido aplicada. Como a taxa de degradação ao longo do tempo é a mesma para ambas as cores (0,01% do valor de RI), as demarcações amarelas apresentam índices insuficientes antes das brancas, considerando que o valor mínimo seja o mesmo para ambas as cores;

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando a complementação e continuidade da pesquisa, sugere-se as seguintes realizações:

- Dar continuidade ao monitoramento dos valores de retrorrefletividade, macrotextura e microtextura do trecho experimental, a fim de alimentar a base de dados com idades mais avançadas e assim aperfeiçoar os modelos de previsão já encontrados;
- Realizar pesquisa com enfoque no comportamento dos valores de resistência à derrapagem das demarcações com índices medidos logo após a realização da implantação das linhas;
- Realizar acompanhamento dos valores de retrorrefletividade em trecho com MRAF e análise coerente de desgaste das demarcações, a fim de identificar se há ou não arrancamento excessivo de agregado dos locais que receberam pinturas.
- Realizar o acompanhamento descrito acima em trechos com e sem dispositivos auxiliares, buscando identificar se a taxa de desgaste e arrancamento de agregado tem alteração;
- Efetivar acompanhamento da retrorrefletividade diária de local que recebeu limpeza, objetivando identificar a taxa de decréscimo desta logo após a intervenção. Com isso determinar uma periodicidade ótima para manutenção das linhas de eixo e de bordo;
- Realizar os mesmos testes do item 3.4.2.3 em locais com diferentes diâmetros de microesferas de vidro e textura do pavimento. Objetivando identificar o comportamento da retrorrefletividade em tinta úmida em diferentes cenários de aplicação;

- Realizar os mesmos testes do item 3.4.2.2 em locais com diferentes velocidades de aplicação das demarcações. Com isso, identificar o limiar a partir do qual a velocidade do equipamento de aplicação passa a ter interferência nos valores de retrorrefletividade medidos em sentidos opostos.

## 6 REFERÊNCIAS

ABBOUD, N.; BOWMAN, L. B. (2002). *Cost and Longevity Based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping*. Unpublished paper presented at the 81<sup>st</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

AGÊNCIA ESTADUAL DE REGULAMENTAÇÃO DOS SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DO RIO GRANDE DO SUL – AGERGS (2006). *Nota Técnica DQ 01/2006*.

AKTAN, F.; SCHENELL, T., (2003). *Performance evaluation of pavement markings under dry, wet, and rainy conditions in the field*. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 1877, 38-49.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2015). *D7585:2015 Standard Practice For Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2015). *E1960-07:2015. Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2013). *E303-93:2015 Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2015). *E965:2015 Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

ANDRADY, A. L. (1997). *Pavement Marking Materials: Assessing Environment-Friendly Performance*. National Cooperative Highway Research Program Report 392. Transportation Research Board, Washington D.C.

APS, M. *Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos*. 2006. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2013). *NBR 16184:2013 Sinalização Horizontal Viária – Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2013). *NBR 14723:2013 Sinalização horizontal viária — Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m*. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2014). *NBR 16307:2014 Sinalização horizontal viária - Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 30 m*. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2015). *NBR 16410:2015 Sinalização horizontal viária — Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento dinâmico com geometria de 15 m ou 30 m*. Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

AUSTIN, R. e SCHULTZ, R. (2006). *Guide To Retroreflection Safety Principles And Retroreflective Measurements*. RoadVista, San Diego.

BAHAR, G.; MASLIAH, M.; ERWIN, T. e TAN, E. (2006). *Pavement Marking Materials and Markers: Real-World Relationship Between Retro-reflectivity and Safety Over Time*. NCHRP (Web only Document) 92, Transportation Research Board, Washington, D. C.

BABIC, D.; FIOLIC, M. e PRUSA, P. (2014). *Evaluation Of Road Markings Retroreflection Measuring Methods*. European Scientific Journal. Ed 1857 - 7881, vol. 3.

BRITISH DEPARTMENT FOR TRANSPORT – DFT. *The Highway Code 2016*.

BRITISH STANDARDS – BSI (2007). *EN 1436:2007 + A1:2008 – ROAD MARKING MATERIALS – Road marking performance*. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.

BOWMAN, B. L.; KOWSHIK, R. R. (1994). *Comparative Study of Glass Bead Usage in Pavement Marking ReflectORIZATION*. Transportation Research Record n. 1442 - 1994.

CARLSON, P. J.; MILES, J. D.; PRATT, M. P. e PIKE, A. M. (2005). *Evaluation Of Wet-Weather Pavement Markings: First Year Report*. (Report n. 0-5008-1). College Station: Texas Transportation Institute, Texas A&M University.

CARLSON, P. J.; PARK, E. S.; KANG, D. H. (2013). *Investigation of longitudinal pavement marking retroreflectivity and safety*. Transportation Research Record, n. 2337, p. 59 – 66.

CASTILHO, F. B.; (2009). *Sobre a Conspicuidade, Legitibilidade e Retrorrefletividade das placas de sinalização viária*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

CASTRO, M. M.; e ALENCAR, G. M. (2009). *Variação da Retrorreflexão inicial na Sinalização Horizontal em função da textura da Pavimentação*. Monografia – Especialização em Curso de Especialização em Pavimentação). Universidade Federal da Bahia.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. *Pesquisa CNT de Rodovias 2017*: Relatório Gerencial. Brasília 2017.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN (2004). *Resolução nº 160 – Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro*.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN (2007). *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V, Sinalização Horizontal*. Ministério das Cidades.

DEBAILLON, C.; CARLSON, P., HE, Y.; SCHNELL, T.; AKTAN, F. (2007). *Updates to Research On Recommended Minimum Levels For Pavement Marking Retroreflectivity To Meet Driver Night Visibility Needs*. Report FHWA, Federal Highway Administration, Washington, DC.

DALE, J. M. (1998). *Pavement Markings: Materials and Application for Extended Service Life*. MCHRP Synthesis 138, Transportation Research Board, Washington, D. C.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS – DER-MG. *Recomendações Técnicas Para Sinalização Viária Horizontal*. Belo Horizonte, 2006.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO RIO GRANDE DO SUL - DETRAN/RS. *Diagnóstico de Acidentalidade Fatal no Trânsito: 2017*. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/49787/diagnostico-de-2017>> Acesso em: 25 de mai. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER (1999). *Manual de Sinalização Rodoviária*. Ministério dos Transportes, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT (2010). *Obras Complementares – Segurança no Tráfego Rodoviário – Sinalização Horizontal*. Rio de Janeiro, p. 10.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN (1997). *Código de Trânsito Brasileiro – CTB, Anexo I – Dos Conceitos e Definições*.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN (2014). *Resolução nº 483 – Volume V, Sinalização Semafórica do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito e Altera o Anexo da Resolução CONTRAN Nº 160*.

DESCORNET, G. (1990). *Road-Surface Influence On Tire Rolling Resistance. In Surface characteristics of roadways: International research and technologies*, ASTM STP 1031, W. E. Meyer and J. Reichert, eds. ASTM, Philadelphia, 401–415.

DONNELL, E. T.; KARWA, V. e SATHYANARAYANAN, S. (2009). *Analysis of effects of pavement marking retroreflectivity on traffic crash frequency on highways in North Carolina*. Transportation Research Record, n. 2103.



DRAVITZKI, V. K.; WILKIE, S. M. e LESTER, T. J. (2006). *The Safety Benefits of Brighter Roadmarkings*. Researcher Report 310. Land Transport New Zealand, Wellington, New Zealand, 2006.

ERGUN, M.; IYINM, S.; e IYINAM, A. F. (2005) *Prediction of road surface friction coefficient using only macro- and microtexture measurements*. J. Transp. Eng., 131(4), 311–319.

EUROPEAN COOPERATION IN THE FIELD OF SCIENCE AND TECHNOLOGY – COST. (1999) *Requieriments for Road Marking*.

EVANS, T.; HEASLIP, K.; NOGGS, W.; HURWITZ, D. e GARDINER, K. (2012). *Assessment Of Sign Retroreflectivity Compliance for Development Of A Management Plan*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2272, p 103 – 112.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2009). *Manual on uniform traffic control devices: For streets and highways*. Washington, DC.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2009). *Proposed pavement marking retroreflectivity, Revision 1, Manual on uniform traffic control devices, maintaining minimum retroreflectivity of longitudinal pavement markings*.

FONTANA, A. M. (2005). *Estudo psicofísico sobre conspicuidade, estética e harmonia ambiental de sinais de trânsito*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GANDHI, P.M.; COLUCCI, B.; e GANDHI, S. P. (1991). *Polishing of Aggregates and Wet-weather Accident Rates for Flexible Pavements*. Transportation Research Record 1300, Transportation Research Board, Washington, D.C., p. 71–79.

GRAHAM, J. R. e KING, L. E. (1991). *Retroreflectivity Requirements For Pavement Markings*, Pavement Markings and Materials, Transportation Research Record, n. 1316, Transportation Research Board, Washington, DC.

GRAHAM-MIGLETZ ENTERPRISES, INC. (1996). *Retroreflectivity Of Pavement Markings And Their Minimum Value*. Federal Highway Administration.

GIBBONS, R. B.; WILLIAMS, B. e COTTRELL, B. (2013). *Assessment Of The Durability Of Wet Night Visible Pavement Markings: Visibility Experiment*. Transportation Research Board 2013, Annual Meeting.

GUNARATNE, M.; BANDARA, N.; MEDZORIAN, J.; CHAWLA, M. e ULRICH, P. (2000). *Correlation of tire wear and friction to texture of concrete pavements*.

GYENES, L. e MITCHELL, C. G. B. (1994) *The effect of vehicle-road interaction on fuel consumption*. In Vehicle-road interaction, ASTM STP 1225, B. T. Kulakowski, ed., ASTM, Philadelphia, p. 225–239.

HACKER, L. R. (1995). *Traffic Marking Materials*. American Society for Testing and Materials – ASTM.

HALL, J. W.; SMITH, K. L.; TITUS-GLOVER, L.; WAMBOLD, J.C.; YAGER, T. J.; e RADO, Z. (2009). *Guide for pavement friction*. National Cooperative Highway Research Program Project p. 01-43.

HILL, B. J.; e HENRY, J. J. (1982). *Surface materials and properties related to seasonal variations in skid resistance*. In Pavement surface characteristics and materials, ASTM STP 763, C. M. Hayden, ed., ASTM, Philadelphia, 45–60.

HOBERRY, T.; ANDERSON, J.; REGAN, M. A. (2006). *The Possible Safety Benefits Of Enhanced Road Markings: A Driving Simulator Evaluation*. Transportation Research F. n. 9.

HUMMER, J. E.; RSDORF, W.; ZHANG, G. (2011). *Linear Mixed-effects Models For Paint-Marking Retroreflectivity Data*. Journal of Transportation Engineering. Vol 137, no. 10, ASCE, p. 705 – 716.

KENNEDY, C. K.; YOUNG, A. E. e BUTLER, I. C. (1990). *Measurement of skidding resistance and surface texture and the use of results in the United Kingdom*. In Surface characteristics of roadways: International research and technologies, ASTM STP 1031, W. E. Meyer and J. Reichert, eds., ASTM, Philadelphia, 87–102.

KOPF, J. (2004). *Reflecivity Of Pavement Markings: Analysis Of Retroreflectivity Degradation Curves*. Washington State Transportation, University of Washington.

LAGERGREN, E. A.; BERTSCH, P. E.; FERNALD, D. (2005). *Pavement Marking Material Test*. Transportation Research Board Annual Meeting.

LEE, J. T.; MALECK, T. L.; TAYLOR, W. C. (1999). *Pavement Marking Material Evaluation Study in Michigan*. Institute of Transportation Engineers Journal, ed. 69, p. 7.

LEE, D.; DONNELL, E. T. (2007). *Analysis of pavement marking effects in nighttime driver behaviour using fuzzy inference system*. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 21, n. 3, p. 200 – 210.

LINDLY, J. e WIJESUNDERA, R. (2003). *Evaluation Of Profiled Pavement Markings*. University Transportation Center for Alabama, Report Number 02465.

LOTTERLE, F. E.; BECK, R. A. e CARLSON, J. (1999). *Public Perception Of Pavement Marking Brightness*. Transportation Research Board 78<sup>th</sup> Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.

MIGLETZ, J.; GRAHAM, J. R. (2002). *Long Term Pavement Markings Practices*. National Cooperative Highway Research Program: A Synthesis of Highway Practice, 306, p 13 – 27.

MIGLETZ, J.; GRAHAM, J. L.; BAUER, K. M.; HARWOOD, D. W. (1999). *Field Surveys of Pavement Marking Retroreflectivity*. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, n. 1657, 71 – 78.

MIGLETZ, J.; GRAHAM, J.; HARWOOD, D.; BAUER, K.; STERNER, P. (2001). *Service Life Of Durable Pavement Markings*. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 1749, p. 13-21.

MOREIRA, H.; MENEGON, R. (2003). *Sinalização Horizontal*. Master Gráfica. São Paulo, 2003.

MULL, D. M.; SITZABEE, W. E. (2012). *Paint Pavement Marking Performance Prediction Model*. *Journal of 16 Transportation Engineering*, Vol. 138, No. 5, ASCE, 2012, p. 618 – 624.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA – ONSV (2017) – *Atualização do custo total dos acidentes de trânsito no Brasil*. Disponível em < [http://iris.onsv.org.br/iris-beta/downloads/Atualizacao\\_Custos\\_20150416-2.pdf](http://iris.onsv.org.br/iris-beta/downloads/Atualizacao_Custos_20150416-2.pdf)> Acesso em: 05 de mai. 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS (2016); WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Road Traffic Injuries*. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en>> Acesso em: 08 de mai. 2017.

OZELIM, L.; TUROCHY, R. E. (2014). *Modeling Retroreflectivity Performance Of Thermoplastic Pavement Markings in Alabama*. *Journal Of Transportation Engineering*, Vol. 140 no. 6, ASCE, p 1 – 6.

PANIATI, F.; SCHWAB, R. N. (1991). *Research On The End Of Life For Retroreflective Materials: A Progress Report*. Transportation Research Record: Journal Of Transportation Research Board, 1316, p. 13 – 17.

PARKER, N. A.; MEJA, J. S. M. (2003) *Evaluation Of The Performance Of Permanent Pavement Markings*. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, n. 1824, 123 – 132.

PERRIN, J.; MARTIN, P. T.; HANSEN, B. G. (1998). *A Comparative Analysis Of Pavement Marking Materials*. Unpublished paper presented at the 77<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

PULUGURTH, S. S.; KUSAM, P. R.; PATEL, K. J. (2012). *Assessment of the Effect of Pavement Macrotecture on Interstate Crashes*. JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING. J. Transp. Eng., 2012, 138(5): 610-617

RASDORF, W. J.; HUMMER, J. E.; ZHANG, G.; SITZABEE, W. E. (2009) *Pavement Marking Performance Analysis*. North Carolina Department For Transportation, Research and Development Group. Raleigh, NC.

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO. *Manual de Execução de Trechos Monitorados*. Rio de Janeiro. 2012.

RICH, M. J.; MAKI, R. E; MORENA, J. (2002). *Development of a Pavement Marking Management System*. Transportation Research Record n. 1794, p. 49 – 54.

RIZENBERGS, R. L.; BURCHETT, J.L.; e NAPIER, C. T. (1972). *Skid Resistance Of Pavements*. Rep. no. KYHPR-64-24, Kentucky Department of Highways, Lexington, KY.

ROBERTSON, J. (2011). *A Methodology For Estimating and Comparing The Lifecycles of High-build and Conventional Waterborne Pavement Markings On Primary and Secondary Roads in South Carolina*. All Theses, paper 1245.

SALLES, L. S.; PEREIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. L. K.; e SPECHT, L. P. (2016). *Road Markings Retroreflectivity Experimental Assesment: Observations on Rainfall, Dirt, Retroreflectometer Geometry and Minimum Requirements*. Transportation Research Record, TRB 2016 annual meeting.

SASIDHARAN, L.; KARWA, V. e DONNELL, E. T. (2009). *Use Of Pavement Marking Degradation Models To Develop A Pavement Marking Management System*, Public Works Management and Policy, 14, 2, 148-173.

SCHEUER, M.; MALECK, T. L.; e LIGHTHIZER, D. R. (1997). *Paint Line Retroreflectivity Over Time*. Transportation Research Record 1585, p 53 – 63.

SCHULZA, K. H.; GERBALDI, A.; e CHAVET, J. (1976). *Skidding accidents, friction numbers, and the legal aspects involved: Report of the PIARC Technical Committee on Slipperiness and Evenness*. Transportation Research Record 623, Transportation Research Board, Washington, DC, 1–10.

SCHWAB, M. S. F. (1999). *Estudo Do Desempenho Dos Materiais De Demarcação Viária Retrorrefletivos*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto.

STIZABEE, W. E.; J. E. HUMMER e W. RASDORF. (2009). *Pavement Marking Degradation Modelling and Analysis*. Journal of Infrastructure Systems, Vol. 15, no. 3, 2009. P. 190 – 199.

STROUP-GARDINER, M.; STUDDARD, B.; e WAGNER, C. (2001). *Influence of hot mix asphalt macrotecture on skid resistance*. Civil Engineering Dept., Auburn University, Auburn, AL.

SMADI, O.; SOULEYRETTE, R. R.; ORMAND, D. J.; HAWKINS, N. (2008). *Pavement marking Retroreflectivity: Analysis Of Safety Effectiveness*. Transportation Research Record, n. 2056.

TEXAS DEPARTMENT FOR TRANSPORTATION – TXDOT (2004). *Standard Specifications For Construction And Maintenance Of Highways, Streets and Bridges*. Austin, Texas, 2004.

THAMIZHARASAN, A.; SARASUA, W. A.; CLARKE, D.; DAVIS, W. J. (2003). *A Methodology For Estimating The Lifecycle Of Interstate Highway Pavement Marking Retroreflecivity*. TRB paper n. 03 – 3867, Clemson University, SC.

VIRGINIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – VDOT (2008). *Road and Bridge Standards*. Richmond, Virginia, 2008.

ZHANG, G.; HUMMER, J. E.; e RASDORF, W. (2010). *Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity*. Journal of Transportation Engineering 2010, 136(8): 773-781.

ZHANG, G. (2009). *Performance Analysis and Strategic Management of Longitudinal Pavement Markings*. Thesis. Graduate Faculty of North Carolina State University, North Carolina.

ZHANG, G.; HUMMER, J. E.; RASDORF, W.; e MASTIN, N. (2013). *The Impact Of Pavement Type and Roughness On Paint Marking Retroreflectivity*. SAGE Journals.

ZWAHLEN, H. T. e T. SCHNELL (1995). *Visibility Of New Pavement Markings At Night Under Low Beam Illumination*. Transportation Research Record n. 1495. National Research Council, Washington, D. C.

ZWAHLEN, H. T. e T. SCHNELL (1996). *Visibility Of New Dashed Yellow And White Center Stripes As Function Of Material Retroreflectivity*. Transportation Research Record n. 1553.