

Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT

Capítulo XX do Edital 02, Lote 05, item 10 do PER

Rodovia BR 381 – Trecho Belo Horizonte - São Paulo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE DURABILIDADE DE
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL DE RODOVIAS DE TRÁFEGO MUITO PESADO**



RELATÓRIO FINAL

FEVEREIRO/2017

SUMÁRIO

1.	CONCESSIONÁRIA	8
2.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	8
2.1	TÍTULO DO PROJETO	8
2.2	OBJETIVOS.....	8
2.3	JUSTIFICATIVA	9
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	14
4.	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	14
4.1	ETAPAS	14
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1	Considerações iniciais – Importância da Sinalização Viária.....	16
5.2	Geometria – Fenômeno da Retrorefletividade	18
5.2.1	Definição de Retrorefletividade	18
5.2.2	Fenômenos da Reflexão	19
5.3	Materiais	20
5.3.1	Materiais Aglutinantes - Tintas.....	21
5.3.2	Esferas e Microesferas de vidro	28
6.	Equipamentos.....	39
6.1	Pistolas para pintura e aplicação de microesferas	39
6.2	Aparelho Retrorefletômetro	40
6.3	Sapata	40
7.	Seleção e Caracterização de Materiais – Matriz Experimental	41
7.1	Esfericidade.....	44
7.1.1	Equipamento Camsizer®	44
7.1.2	Ensaio.....	46
7.1.3	Resultados – Esfericidade	47
7.1.4	Resultados – Relação de Aspecto Médio	49
8.	Trecho Experimental - Execução	50
8.1	Medidas de Retrorefletividade.....	53
8.2	Contagem de Veículos - Quantificação de Eixos.....	54

8.3	Ensaios de Campo – Caracterização de Superfície	56
8.3.1	Macrotextura	56
8.3.2	Microtextura	61
9.	Curvas de Desgaste da sinalização horizontal	66
9.1	Desempenho das Microesferas	67
9.2	Desempenho das Diferentes Taxas de Aplicação de Microesferas	69
9.3	Desempenho das Tintas	72
9.4	Comparação entre Geometria de 15 e 30m	74
9.5	Aceleração e Frenagem – Considerações sobre o tráfego e sua velocidade	77
9.5.1	Tráfego: número de eixos solicitantes	77
9.5.2	Velocidades (aceleração e frenagem)	80
9.5.3	Comparação dos desgastes entre trilha de roda e eixo da faixa de rolamento	85
10.	Laboratório	89
10.1	Preparação e Extração de Placas	89
10.2	Ensaios de Laboratório	91
10.2.1	Caracterização de Superfície – Macro e Microtextura	91
10.3	Simulador de Tráfego	93
10.3.1	Curvas de Desgaste – Simulador de Tráfego - Laboratório	94
10.3.2	Curvas de Desgaste	95
10.3.3	Comparação Tintas, Microesferas e Taxas	99
11.	Conclusões	100
11.1	Metodologia empregada e inovações	100
11.2	Resultados alcançados	102
12.	LOCAL DE EXECUÇÃO	107
13.	ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA	107
ANEXO 01		113
ANEXO 02		117
Levantamento de campo - Microtextura		118
ANEXO 03		121
ANEXO 04		128
ANEXO 05		135
ANEXO 06		142

Lista de Figuras

Figura 1 – Fenômeno da retrorreflexão	9
Figura 2 – Detalhamento de patologias em sinalização viária horizontal.....	11
Figura 3 – Avaliação em campo do desempenho da sinalização horizontal ao longo do tempo sujeitas à solicitação do tráfego real	12
Figura 4 – Diferentes condições de rodovias	14
Figura 5 – Estatísticas Nacionais: acidentes de trânsito	16
Figura 6– Princípio da Sinalização Viária	17
Figura 7 – Sinalização durante o dia (visibilidade diurna) Fonte: Iragavarapu (2013)	17
Figura 8 – Sinalização durante a noite (retrorrefletividade noturna) Fonte: Iragavarapu (2013)	17
Figura 9 – Geometria de 30m – Ângulo de Incidência e Distância.....	18
Figura 10– Geometria de 15m (adotada aqui no Brasil)	19
Figura 11 – Reflexão especular	19
Figura 12– Reflexão difusa	20
Figura 13– Retrorreflexão	20
Figura 14– Representação esquemática da Coalescência em emulsões.	28
Figura 15 – Incidência de luz na microesfera. Fonte: Signasul 2016 (adaptado)	30
Figura 16– Esferas Perfeita – Correta refração. Moreira e Menegon (2003) (adaptado).....	30
Figura 17– Esferas Imperfeitas – Luz dispersa. Moreira e Menegon (2003) (adaptado).....	30
Figura 18 – Classificação das esferas e das microesferas	31
Figura 19 - Microesfera do Tipo I-B “Premix” sendo adicionada no reservatório	35
Figura 20 – Microesfera sendo aplicada por dupla aspersão	36
Figura 21 – Microesfera sendo adicionado a película.....	36
Figura 22 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente devido a espessura do filme de tinta - VDOT (2012)	37
Figura 23 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente - VDOT (2012).....	37
Figura 24 – Boa distribuição de microesferas - VDOT (2012)	38
Figura 25 – Distribuição incorreta de microesferas - VDOT (2012)	38
Figura 26 - Pistolas para pintura em laboratório	40
Figura 27 - Retrorrefletômetro - Easylux	40
Figura 28 - Sapata manual de cortina com rodas.....	41
Figura 29 – Combinações utilizadas no trecho experimental	41
Figura 30 – Microesfera B - Tipo II-C	43

Figura 31 – Microesfera B - Tipo II-A.....	43
Figura 32 – Microesfera A - Tipo II-C.....	44
Figura 33 – Microesfera A - Tipo II-A.....	44
Figura 34 – Microesfera C - Tipo II-C.....	44
Figura 35 – Microesfera C - Tipo II-A.....	44
Figura 36 Camsizer L.....	45
Figura 37 – Relação entre o menor e maior diâmetro da partícula, para diferentes valores de b/l. ...	46
Figura 38 - Amostra de microesfera de vidro na calha vibratório do quarteador rotativo.	47
Figura 39 – Microesferas caindo no recipiente giratório com cilindros.	47
Figura 40 - Esfericidade – Microesfera A -Tipo IIC	47
Figura 41 - Esfericidade – Microesfera A -Tipo IIA	47
Figura 42 - Esfericidade Microesfera B -Tipo IIC	48
Figura 43 - Esfericidade Microesfera B – Tipo IIA	48
Figura 44 - Esfericidade Microesfera C – Tipo IIC.....	48
Figura 45 – Esfericidade Microesfera C – Tipo IIA.....	48
Figura 46 - b/l – Microesfera A – Tipo IIC.....	49
Figura 47 - b/l – Microesfera A –Tipo IIA	49
Figura 48 - b/l – Microesfera B – Tipo II-C.....	49
Figura 49 - b/l – Microesfera B Tipo II-A	49
Figura 50 - b/l – Microesfera C - II-C	50
Figura 51 - b/l – Microesfera C - II-A	50
Figura 52 – Localização do trecho experimental –BR-381 - Fonte: Google Maps	51
Figura 53 – Local de execução do trecho experimental.....	51
Figura 54 – Croqui das Pinturas em Campo	52
Figura 55 – Microesferas Premix sendo adicionadas a ao clindro de tinta.....	52
Figura 56 – Calibração das pistolas de aspersão de microesferas	52
Figura 57 – Verificação da espessura da película de tinta	53
Figura 58 – Verificação de alinhamento entre pistolas - microesferas e tinta	53
Figura 59 – Esquema das Pinturas de Campo	53
Figura 60 – Medidas de Retrorefletividade em Campo	53
Figura 61 – Esquema das Medidas de Retrorefletividade em Campo e suas respectivas posições nas faixas	54
Figura 62 – Ensaio de mancha de areia sendo executado	56

Figura 63 – Ensaio de mancha de areia na pintura de sinalização.....	56
Figura 64 – Macrotextura em função do HS – faixa 13 - Aceleração	59
Figura 65 – Macrotextura em função do HS – Faixa 09 - Desaceleração.....	60
Figura 66 – Macrotextura em função do HS – Faixa 14,12 e 10 - TRE	60
Figura 67 – Macrotextura em função do HS – Faixa 13, 11 e 09- TRE	61
Figura 68 – (a) imagem do equipamento com o braço munido de sapata com borracha e (b) Levantamento de Microtextura nas faixas experimentais da pesquisa.....	63
Figura 69- Microtextura em função do VRD – Faixas 13, 11 e 09- TRE.....	65
Figura 70 – Frenagem ou desaceleração nas pistas norte –Faixas 09 e 10.....	66
Figura 71 - Microtextura em função do VRD – Faixas 13, 11 e 09- TRE.....	66
Figura 72– Desempenho Microesferas – Tinta 01 – Faixa 14 – TRE.....	67
Figura 73– Diferentes Proporções de Microesferas Tinta 02 – Faixa 12 – TRE.....	68
Figura 74 – Comparativo de Taxas de Microesfera - A – Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m	70
Figura 75 Comparativo de Taxas de Microesfera - B – Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m	70
Figura 76 - Comparativo de Taxas de Microesfera - C– Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m.....	71
Figura 77 – Comparação entre tintas 01 e 02, com as Microesferas A – Faixa 11 – solicitação nas Trilhas – 50-50.....	72
Figura 78 - Comparação entre tintas 01 e 02 com as Microesferas B – Faixa 11 – Trilhas de roda – 50- 50.....	73
Figura 79 - Comparação entre tintas 01 e 02 com Microesferas C – Faixa 11 – Trilhas de roda – 50-50	73
Figura 80 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera A – Faixa 10 – Trilha – 50-50. 75	
Figura 81 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera B– Faixa 10 – Trilha – 50-50.. 75	
Figura 82 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera C – Faixa 10 – Trilha – 50-50. 76	
Figura 83 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera A.....	79
Figura 84 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera B.....	79
Figura 85 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera C.....	80
Figura 86 - Configuração da Aceleração e Frenagem sob a Microesfera C.....	81
Figura 87 - Posicionamento do Técnico para medição da velocidade	82
Figura 88 - Pistola Radar.....	82

Figura 89 - Trecho Experimental - Tráfego e formação de fila - Pista Norte.....	83
Figura 90 - Retrorrefletividade x Velocidade - Faixa 14 - Aceleração	84
Figura 91 - Retrorrefletividade x Velocidade - Faixa 13 - Aceleração	84
Figura 92 - Retrorrefletividade x Velocidade - Faixa 09 - Frenagem.....	85
Figura 93 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera A	86
Figura 94 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera B	86
Figura 95 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera C	87
Figura 96 - Comparação trilha, Eixo e Eixo sem tráfego - Tinta 01 Microesfera A.....	88
Figura 97 – Placas extraídas de campo	89
Figura 98 - Retificação da placa.....	90
Figura 99 - Preenchimento de argamassa para o confinamento da placa no molde	90
Figura 100 – Comparação da Retrorrefletividade após lavagem.....	90
Figura 101 – Ensaio para determinação da macrotextura.....	91
Figura 102 - Macrotextura em função de HS - Placas de laboratório	92
Figura 103 - Ensaio para determinação da microtextura.....	93
Figura 104 - Microtextura em Função de VRD - Placas de laboratório	93
Figura 105 – (a) Simulador de tráfego LCP e (b) Placa sendo simulada	94
Figura 106 - Marcação do Pneu na placa	95
Figura 107 - Borracha aderida entre as microesferas	95
Figura 108 - Perda de Microesferas	95
Figura 109 - Placa 02 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 30/70	96
Figura 110 - Placa 03 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 30/70	96
Figura 111 - Placa 05 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 50/50	97
Figura 112 - Placa 07 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 50/50	97
Figura 113 - Placa 15 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera B, e Taxa de Aplicação 30/70.....	98
Figura 114 - Placa 22 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera C, e Taxa de Aplicação 50/50.....	98
Figura 115 - Placa 23 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera C, e Taxa de Aplicação 30/70.....	99

1. CONCESSIONÁRIA

AUTOPISTA FERNÃO DIAS

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1 TÍTULO DO PROJETO

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE DURABILIDADE DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL DE RODOVIAS DE TRÁFEGO MUITO PESADO

2.2 OBJETIVOS

Tem-se por objetivo geral desta pesquisa:

- Concepção de metodologia de avaliação, em nível de laboratório, da perda progressiva de retrorreflexão dos materiais aplicados para a sinalização horizontal de pavimentos asfálticos, principalmente as tintas à base de água, e variações em função de sua composição, do tipo e taxa das microesferas e outros materiais adicionais.
- Hierarquização de materiais em função do tipo de curva de desgaste, ou perda de retrorreflexão, após submissão de placas de pavimento asfáltico com sinalização horizontal em ensaio sob ação da passagem cíclica de pneus de um simulador de tráfego de laboratório. Será feita a avaliação do atrito superficial em condições de superfície molhada, além de medidas de retrorreflexão com a progressão de solicitações por pneus, para diferentes cenários de tipos de revestimentos asfálticos.

A pesquisa será desenvolvida pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação (LTP) da EPUSP em parceria com o Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT) do Grupo ARTERIS. Os resultados darão suporte técnico para definição dos materiais usados na sinalização horizontal, visando a segurança do usuário em condição de pista molhada e a maior durabilidade da sinalização horizontal, reduzindo transtornos nas operações rodoviárias que se fazem necessárias em algumas situações de necessidade de manutenções recorrentes.

2.3 JUSTIFICATIVA

A sinalização viária é um conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua adequada utilização, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos usuários de veículos que nela circulam. Uma sinalização eficiente deve atrair a atenção do condutor, transmitir mensagens simples e inequívoca ao usuário, além de ser vista a uma distância suficiente a ponto de permitir manobras com segurança.

A sinalização viária além de canalizar e orientar os condutores as adequadas práticas de dirigibilidade, deve assegurar características de visibilidade de modo a garantir a segurança ao usuário em trânsito na via. Elementos como a sinalização viária horizontal, sinalização viária vertical e dispositivos auxiliares são utilizados para auxiliar o condutor a apresentar modo adequado de trafegar.

A sinalização horizontal é composta por elementos texturizados que são aplicados superficialmente em um determinado substrato (pavimento), de modo a facilitar o reconhecimento dos limites da via utilizada pelo condutor, devido ao contraste de cores entre pavimento e sinalização, possibilidade de visualização a longas distâncias e clareza na concepção para a boa percepção do motorista. Alguns materiais utilizados são: (i) tintas à base de água, (ii) termoplásticos, (iii) plásticos a frio, (iv) fitas adesivas e (v) resinas epóxi. Tais materiais são à base de resinas, solventes e pigmentos, em geral sendo aplicados em consistência fluida. A estes são adicionadas microesferas de vidro de modo a possibilitar a reflexão da luz dada à forma esférica e ao tipo de material que a constitui permitindo sua visualização pelo motorista em ambientes escuros graças à retrorrefletividade.

O termo retrorrefletividade expressa a capacidade de observar elementos principalmente no período noturno. Esta habilidade é possível com a ação das microesferas de vidro que devem estar inseridas no material a fim de produzir o fenômeno da retrorreflexão. Este, por sua vez, ocorre quando um determinado feixe de luz emitido atinge uma superfície e é redirecionado para seu ponto de origem. Na Figura 1 abaixo é possível observar o fenômeno descrito.

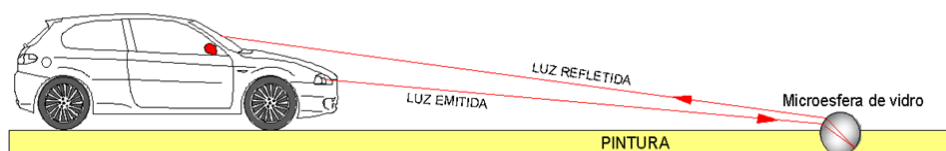


Figura 1 – Fenômeno da retrorreflexão

Tal parâmetro pode ser mensurável e expressara capacidade de um material de refletir a luz ao seu elemento de origem, na unidade milicandela/lux/m², chamado de coeficiente de retrorreflexão (R_L). Este pode ser medido em diferentes distâncias de visualização, comumente a 15 metros ou de 30 metros do referencial, conforme uso de equipamento específico (retrorrefletômetro).

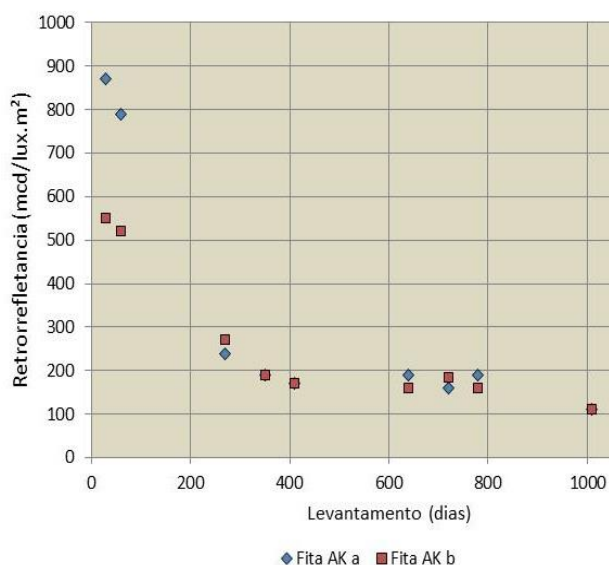
As condições do pavimento, do traçado da via, do clima e o volume de tráfego influenciam significativamente na capacidade da sinalização horizontal em transmitir a luz refletida ao condutor de uma maneira eficaz, de forma que o mesmo permaneça ao longo do seu trajeto reconhecendo o seu destino. Em vias onde há frequência de precipitações altas e neblinas, devem ser projetadas sinalizações horizontais adequadas de tal modo a garantir a retrorrefletividade nestas condições adversas. Há países que consideram as medidas de R_L sob condições molhadas, pois quando há presença de água no substrato ocorre uma redução drástica dos valores de retrorreflexão visto que a reflexão da luz se torna difusa em meio aquoso.

Além disso, os materiais sofrem processos de degradação ao longo do tempo, com a passagem dos veículos, condições do clima e pavimento, que diminuem sua via útil, necessitando de periódicas intervenções para manutenção da retrorreflexão como era na época de sua aplicação. O entendimento da condição de degradação dos materiais de sinalização viária é de primordial importância para a fase de anteprojeto, onde objetiva-se escolher o material adequado a uma determinada condição de via. A Figura 2 apresenta ilustrações de desgastes, por motivos diversos, em materiais de sinalização viária horizontal.



Figura 2 – Detalhamento de patologias em sinalização viária horizontal

Em muitos casos, emprega-se a aplicação de sinalização horizontal em trechos experimentais rodoviários, com vários tipos de produtos e combinações de taxas e tipos de microesferas, de modo a classificar e quantificar a condição de retrorreflexão dos materiais e seu desgaste ao longo do tempo (NCHRP, 2006). A Figura 3 apresenta um exemplo de curvas de desgaste de alguns materiais empregados em sinalização horizontal e uma vista da técnica para uma aplicação-teste de sinalização horizontal em uma rodovia em uso para fins de avaliação dos materiais.



(i) Curva de desgaste de fita adesiva para sinalização horizontal (AASHTO, 2013).

(ii) Seção de testes in situ – linhas transversais consecutivas de sinalização (NCHRP, 2006).

Figura 3 – Avaliação em campo do desempenho da sinalização horizontal ao longo do tempo sujeitas à solicitação do tráfego real

A redução na retroreflexão compromete a segurança ao trafegar, tornando a percepção do condutor aos elementos da via precária, e possibilitando a ocorrência de acidentes. Neste sentido, a AASHTO desenvolveu nos Estados Unidos um projeto a nível nacional para redução dos acidentes, designado por Implementing The AASHTO Strategic Highway Safety Plan. O objetivo principal desse projeto realizado em conjunto com a Federal Highway Administration (FHWA), foi de desenvolver mecanismos para manter os veículos trafegando sob uma única faixa de rolamento.

Os órgãos americanos (AASHTO e FHWA) concluíram que a execução e manutenção da sinalização viária horizontal seria uma medida imediata para alcançar alguns dos objetivos. Historicamente nos Estados Unidos (EUA), 50% dos acidentes fatais estão ligados a rodovias vicinais e locais sem grande importância em escoamento veicular, e um dos motivos é a falta de adequada visibilidade das faixas de tráfego e de fatores decorrentes da geometria. Os gastos relativos à sinalização viária horizontal, considerando sua manutenção nos 32 estados americanos pesquisados em 2007, foram de \$ 911 milhões no ano (FHWA, 2013).

Alguns estados americanos, por sua vez, desenvolveram seus próprios estudos para redução do número de acidentes, a exemplo do Departamento de Transportes do Missouri, que em três anos focou na redução de acidentes e medidas de prevenção contra as saídas dos veículos de suas faixas de tráfego. Neste projeto, foram implementadas várias propostas de melhorias da sinalização viária horizontal, a exemplo da variação da largura final da faixa de sinalização pintada, aumentando de 10,0 cm para 15,0 cm de largura, o que levou a uma redução de 25% dos acidentes relativos a saídas de faixa, no período de 2005 a 2007. As rodovias de menor porte são maioria nos EUA, perfazendo 75% da malha viária nacional (2,93 milhões de milhas). Desse total, 1,65 milhões de milhas são pavimentadas, sendo nessas pavimentadas sua grande maioria com sinalização viária horizontal.

Tinta é o material tradicionalmente utilizado para demarcação por conta de sua disponibilidade e menor custo. No entanto, a vida útil da tinta é geralmente menor que um ano, dependendo da condição do tráfego, condições ambientais, etc (AASHTO, 2008). A sinalização horizontal tem ainda forte ligação com o problema de aderência pneu/pavimento sobre as faixas, principalmente para veículos leves e motocicletas em dias de chuva.

O Brasil, segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), é o 4º lugar entre os países que mais matam no trânsito. O custo estimado total dos acidentes de trânsito no país em 2012 foi de R\$ 39 bilhões, incluindo custos com médicos, hospitais, danos materiais e perdas de produtividade devido aos acidentes. O aspecto de segurança é pouco conhecido no Brasil e as estatísticas deixam a desejar no que diz respeito ao entendimento das causas desses acidentes.

Entendendo mais adequadamente as condições locais de cada rodovia, operação e segurança no traçado, é possível programar adequadamente as intervenções conforme o desgaste dos materiais de sinalização horizontal, melhorando a visibilidade do usuário a longas distâncias, períodos noturnos, chuvosos, ou com neblina. Abaixo, na Figura 4, é possível visualizar algumas variáveis das condições de vias, que corroboram a necessidade de avaliações detalhadas em nível de projetos de laboratório em materiais de sinalização horizontal. Cabe salientar que no Brasil as pesquisas referentes aos materiais usados em sinalização horizontal de rodovias ficam restritas aos fabricantes e pouco se faz nos centros de pesquisas e universidades a respeito.



(i) Geadas em vias nos EUA



(ii) Traçado sinuoso no Brasil

Figura 4 – Diferentes condições de rodovias

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento desse plano de pesquisa foi idealizado visando compreender aspectos referentes (i) à durabilidade de materiais usados na sinalização horizontal de pavimentos asfálticos rodoviários de maneira a apresentar a retrorrefletividade necessária para garantia de visibilidade da sinalização horizontal pelos motoristas e (ii) ao atrito superficial entre o pneu dos veículos e a sinalização horizontal de maneira a verificar o risco de perda de aderência em pista molhada devido à presença da sinalização.

4. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os ensaios realizados, cujos resultados foram analisados, estão definidos em especificações da AASHTO, DNIT, ASTM e AFNOR (CEN), e em procedimentos que tiveram de ser desenvolvidos pelas equipes envolvidas, tendo em vista a falta de algumas especificações para testes específicos.

4.1 ETAPAS

Esta pesquisa foi concebida para ser realizada em 7 etapas:

- Revisão bibliográfica, que consistiu em etapa desenvolvida para o levantamento de informações relevantes, das práticas, técnicas, materiais, ensaios e estudos realizados, de modo a aprimorar os conhecimentos para atendimento do objetivo do projeto. Focaram-se principalmente em produtos (aditivos, esferas e outros elementos), bem como sobre os ensaios e técnicas de avaliação em laboratório e em campo.

- Seleção e caracterização dos materiais (diferentes combinações de tintas e microesferas de vidro) foram estudadas, além de materiais alternativos (esferas que não estão ainda disponíveis no mercado nacional).
- Foi adquirido um equipamento capaz de medir a retrorrefletividade da sinalização viária horizontal nas geometrias de 15 metros e 30 metros de distância do receptor, respectivamente. Foram adquiridas pistolas próprias para aplicação de diferentes tipos de tintas e também microesferas. Estes equipamentos foram empregados para o levantamento das curvas de desgaste das sinalizações com ensaios em laboratório, nas condições de aplicação de revestimentos da ARTERIS, e também ensaios em pista, em experimento feito para esta pesquisa em especial.
- Preparação e corte de placas de mistura asfáltica em laboratório com a aplicação da sinalização horizontal feita em campo, e verificação de curvas de durabilidade (retroreflexão) por meio de simulador de tráfego, além da avaliação do atrito superficial da sinalização horizontal com a realização de ensaios com o pêndulo britânico.
- Análise e tratamento de dados de laboratório. Fizeram-se a avaliação e a análise das variáveis envolvidas no estudo (diferentes materiais e taxas de aplicação de microesferas) e definição do desempenho dos materiais em diferentes cenários (tipos de solicitação e condições climáticas). Levantaram-se as curvas de durabilidade dos materiais avaliados para as diferentes condições em que os mesmos possam estar aplicados em campo em futuro próximo na Concessionária. Por meio dos estudos e metodologia concebida, foi possível hierarquizar os materiais empregados normalmente pela concessionária e de materiais que ela não adquire, chamados de materiais alternativos que possam vir a ser de interesse, disponíveis no mercado nacional ou não. A metodologia possibilitou a avaliação dos materiais de forma quantitativa, visando a qualidade da sinalização e sua durabilidade para evitar transtornos operacionais de manutenção repetitivas e onerosas.
- Relatórios de acompanhamento e relatório final.
- Capacitação técnica de pessoal.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Considerações iniciais – Importância da Sinalização Viária

A sinalização viária é de fundamental importância, pois está diretamente relacionada com a segurança da via. Seus dispositivos devem estar estrategicamente implantados nas vias públicas para que possam transmitir com clareza as informações necessárias aos usuários.

O Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes - DNIT (2010) comenta que a sinalização permanente é composta em especial por sinais em placas e painéis, marcas viárias e dispositivos auxiliares, inseridos nas rodovias, para ordenar, advertir e orientar os usuários.

O número de acidentes ocorridos no trânsito ano após ano são preocupantes e dentre os diversos motivos que podem estar associados a tais acidentes, as condições da sinalização viária podem contribuir para o aumento de tais estatísticas. A análise da Figura 5 mostra a necessidade de medidas que contribuam para uma mobilidade mais segura nas vias, de modo a reduzir as mortes em acidentes. A redução de acidentes de forma geral contribuirá para tornar as viagens mais seguras.

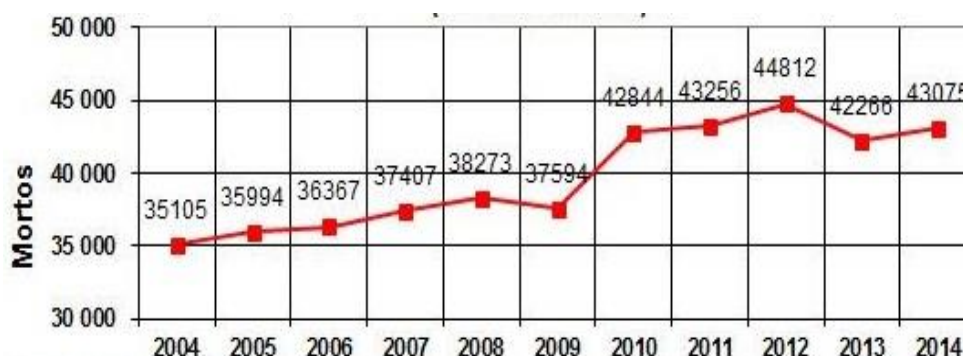


Figura 5 – Estatísticas Nacionais: acidentes de trânsito

Fonte: DATASUS - POR VIAS SEGURAS, 2016

O CONTRAN (2007) relaciona ainda os princípios básicos que a sinalização viária deve contemplar:



Figura 6– Princípio da Sinalização Viária

Fonte: CONTRAN, 2007 (adaptado)

Uma demarcação viária da sinalização horizontal, como explica ainda o CONTRAN, "precisa ser vista com a distância necessária para que possa ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão", ou seja, sem a visibilidade e legibilidade adequada pode ser um fator que condicione a via como insegura.

A qualidade dos materiais empregados nas demarcações viárias e manutenção das vias influenciam diretamente na atenção despertada nos motoristas para uma condução segura. Os materiais empregados na via devem propiciar uma boa visibilidade diurna (QD) e retrorrefletividade noturna (RL).



Figura 7 – Sinalização durante o dia (visibilidade diurna) Fonte: Iragavarapu (2013)



Figura 8 – Sinalização durante a noite (retrorrefletividade noturna) Fonte: Iragavarapu (2013)

O Manual de Sinalização Viária do DNIT esclarece que os materiais comumente utilizados na sinalização horizontal são: tintas, massas termoplásticas e películas pré-fabricada. Independente do material escolhido, este sempre deve ser retrorrefletivo. A escolha adequada de cada material deve ser associada ao estado de conservação do pavimento, natureza do tráfego, natureza do projeto, condições ambientais, entre outros.

5.2 Geometria – Fenômeno da Retrorrefletividade

5.2.1 Definição de Retrorrefletividade

Segundo a norma ASTM E1710 (2011), a unidade utilizada para a medição da retrorrefletividade de uma sinalização viária é o Coeficiente de Luminância Retrorrefletida (RL), sendo (L) o coeficiente de Luminância projetada sobre a superfície e (E) a iluminância recebida sobre um plano perpendicular (ou normal) onde a luz incide, sendo expressa em cd/lux/m^2 .

$$RL = \frac{R}{L} = \frac{\text{Cd/m}^2}{\text{Lux}} = \text{Cd/lux/m}^2$$

As leituras feitas por instrumentos portáteis são medidas em mcd/lux/m^2 (milicandela luz por metro quadrado), por uma questão de praticidade devido à baixa luminância do pavimento. A altura em que a luz é emitida sobre a sinalização, o ângulo de entrada e observação podem afetar as leituras (ASTM E1710:2011). A Comissão Europeia de Normalização (CEN) propõe uma altura de 0,65m do pavimento para o posicionamento dos faróis (ângulo de entrada) e de 1,20m para o posicionamento dos olhos do motorista (ângulo de observação). Equipamentos com ângulo de incidência de $88,76^\circ$ e observação de $1,05^\circ$ são referentes à geometria de 30 metros, ou seja, distância da visibilidade noturna, sendo esta distância adotada em diversos países.

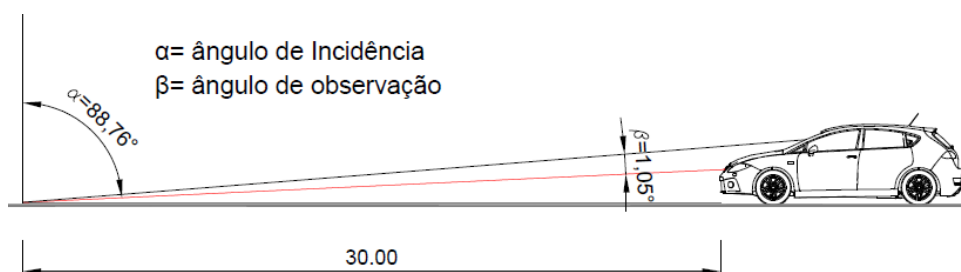


Figura 9 – Geometria de 30m – Ângulo de Incidência e Distância

Fonte: Adaptado de Moreira, (2003)

Equipamentos com ângulo de observação de 1,5 e ângulo de incidência de 86,5° são equipamentos com geometria de 15 metros, que é a distância (ou geometria) adotada no Brasil para avaliação da retrorrefletividade – NBR 14723:2013 (Figura 10).

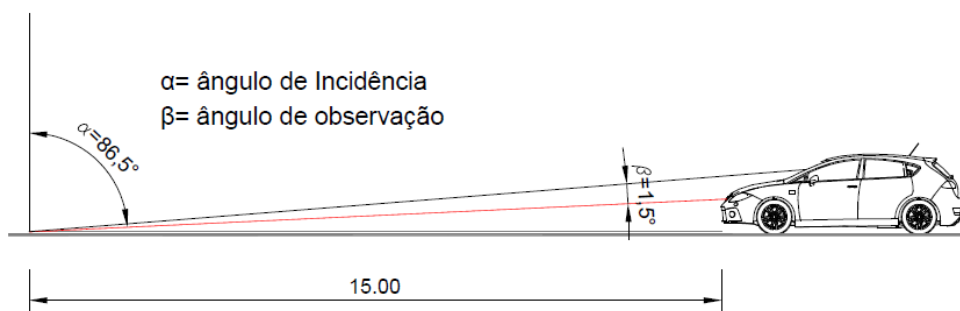


Figura 10– Geometria de 15m (adotada aqui no Brasil)

Fonte: Adaptado de Moreira e Menegon (2003)

5.2.2 Fenômenos da Reflexão

Moreira e Menegon (2003) citam que existem três tipos de reflexão da luz:

Reflexão especular: esta acontece quando a luz incide sobre a superfície, e esta reflete na direção oposta, e não ao motorista. Este tipo de fenômeno pode ser facilmente observado quando um filme de água recobre a sinalização viária no pavimento, e a luz do farol incide, ocorrendo um efeito espelho (especular).

Reflexão Especular

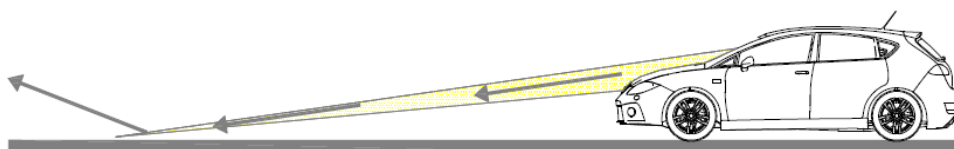


Figura 11 – Reflexão especular

Fonte: Adaptado de Moreira e Menegon (2003)

Reflexão difusa: acontece quando a luz do farol incide sobre uma superfície rugosa, e os raios de luz são refletidos em várias direções. Uma sinalização sem a adição de microesferas provoca este fenômeno (Figura 12– Reflexão difusa).

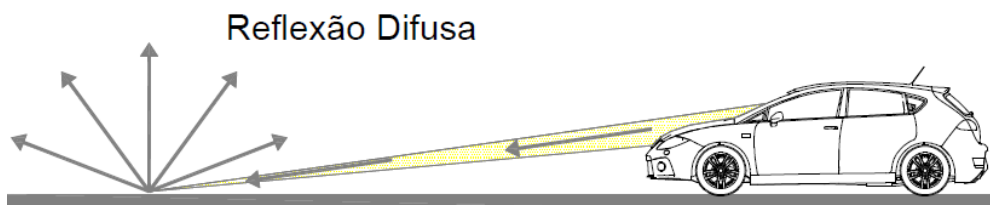


Figura 12– Reflexão difusa

Fonte: Adaptado de Moreira e Menegon (2003)

Retroreflexão: acontece quando a luz incidente do farol sobre a sinalização viária no pavimento é redirecionada a sua fonte, tornando este material visível a noite. Este fenômeno acontece quando a luz atinge as microesferas de vidro que estão na película de tinta (Figura 13– Retroreflexão).

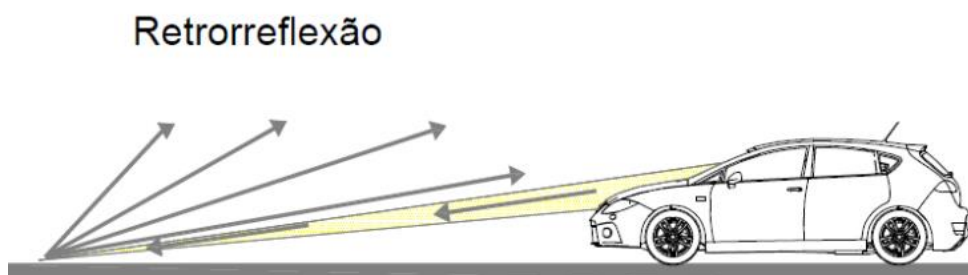


Figura 13– Retroreflexão

Fonte: Adaptado de Moreira e Menegon (2003)

5.3 Materiais

Segundo o FHWA (2013), o desempenho da sinalização viária e a determinação de sua vida útil dependem de numerosos fatores, e a única maneira de determinar tal desempenho é o monitoramento ao longo do tempo de diversas variáveis como o volume de tráfego, a porcentagem de veículos pesados, o tipo de textura do pavimento, condições climáticas, geometria da estrada, condições de aplicação do material em campo, espessura do filme de aplicação, tipo de microesferas utilizadas, etc. O entendimento da condição de degradação dos materiais de sinalização viária é de

primordial importância para a fase de anteprojeto, onde objetiva-se escolher o material adequado a uma determinada condição de via.

5.3.1 Materiais Aglutinantes - Tintas

Moreira e Menegon (2003), comentam sobre alguns materiais comumente utilizados em sinalização viária são as **tintas, termoplásticos ou películas pré-fabricadas (elastoplásticos), e plásticos a frio**. A escolha do material mais adequado depende de fatores como natureza do projeto: provisório ou permanente, volume do tráfego da via, frequência de manutenção entre outros.

5.3.1.1 Termoplástico

Os termoplásticos são misturas constituídas por veículos (resinas) e partículas sólidas – cargas, pigmentos e microesferas de vidro. O material termoplástico pode ser aplicado por diferentes formas, dentre elas:

- **Extrudado** – o material termoplástico é aquecido para aplicação em temperaturas compatíveis ao seu ponto de fusão. A aplicação é feita com o uso de extrusores manuais ou mecânicos. A norma "NBR 13.132:2013 - Termoplástico aplicado pelo processo de extrusão", especifica seu uso.
Dentro deste processo de extrusão também se encontra os Termoplásticos de alto relevo, que normalmente são aplicados em bordas de rodovias, provocando a sonorização quando os pneus do carro passam sobre estas faixas, com o intuito de despertar a atenção do motorista. A norma que especifica seu uso é a NBR 15543:2015 – Termoplásticos de alto relevo aplicados pelo processo de extrusão mecânica.
- **Aspersão** – Da mesma forma que o anterior, o material também é aquecido em temperatura compatível ao seu ponto de fusão. Sua aplicação/ pulverização se dá por projeção pneumática e/ou mecânica. Esta técnica também é conhecida como "hot spray" e a norma que especifica o seu uso é a "NBR 13159:2013 – Termoplástico aplicado pelo processo de aspersão".
- **Pré-formado** - Refere-se as películas pré-fabricadas, que são aplicadas diretamente sobre o pavimento com adesão por aquecimento. A norma da NBR 16039 – Termoplásticos pré-formado para sinalização especifica seu uso.

5.3.1.2 Elastoplásticos

Existem também os laminados elastoplásticos que são filmes, películas ou fitas, constituídas de veículos (resinas) e partículas de sólidos – cargas, pigmentos e microesferas de vidro, fornecidos em

espessuras pré-determinadas (fabricação). Sua aplicação no pavimento se dá por colagem. A norma "NBR 15 741:2009 – Laminado Elastoplástico para sinalização" especifica seu uso.

5.3.1.3 Plástico a frio

O plástico a frio, é um material bicomponente ou tricomponente a base de resina reativa metacrílica pura, cargas minerais e pigmentos aditivos, microesferas de vidro. São aplicadas sobre o pavimento com adição de um agente endurecedor. A norma "NBR 15870:2016 – Plástico a frio a base de resinas metacrílicas reativas (fornecimento e aplicação)", especifica seu uso.

5.3.1.4 Tintas

As tintas são composições líquidas constituídas por algum tipo de veículo que podem ser resinas e solventes, partículas sólidas (cargas e Pigmentos) e aditivos. Dentre os tipos de tintas e resinas empregadas para sinalização viária horizontal, existem:

- Tinta à Base de Resina Acrílica – NBR 11862:2012 e NBR 15862 :2012
- Tinta à Base de Resina Livre – NBR 12935:2012;
- Tinta à Base de Resina Acrílica emulsionada com água – NBR 13699:2012.
- Tinta à Base de resina Acrílica emulsionada com água – NBR 13731:2011 (aeroportos)
- Tintas à Base de Resina Acrílica Estirenada (solvente) – NBR 8169:2011 (aeroportos)

5.3.1.4.1 Definição Tinta

Fazenda *et al.* (2009) descrevem a tinta como sendo uma composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em uma película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato. As tintas geralmente são compostas por solvente, resina, pigmentos e aditivos (Moreira e Menegon 2003).

- **Solvente**

Líquido volátil, geralmente de baixo ponto de ebulição, utilizado nas tintas e correlatos para solubilizar ou dissolver a resina, manter todos os componentes em mistura homogênea e controlar a taxa de evaporação. Nas tintas de base aquosa, o solvente é usado como um agente de coalescência, controlando a taxa de evaporação, e proporcionado a formação eficaz do filme. Os formuladores de tinta, para utilizarem de forma correta os solventes, necessitam compreender as propriedades físico-químicas dos materiais e seus efeitos no ser humano e meio ambiente, bem como estar cientes da

legislação pertinente. Dentre as propriedades que caracterizam o solvente, é possível destacar (Assis, *et al.* 2009):

- Poder de solvência;
- Taxa de Evaporação;
- Ponto de fulgor;
- Estabilidade química;
- Tensão Superficial;
- Cor;
- Odor, Toxicidade;
- Biodegradação.

Segundo Moreira e Menegon (2003), o solvente também tem a função de ajustar a viscosidade da tinta, para que esta possa ser aplicada ao substrato com um correto alastramento, nivelamento, e que por fim, quando seca, resulte em uma película uniforme.

Todos os solventes, como já foi dito anteriormente, são voláteis, uns em maior escala do que outros, e podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos, sendo o solvente inorgânico a água (solvente universal). Tintas à base de água ou tintas emulsionadas, embora seu principal solvente seja a água, não são totalmente isentas de solvente orgânicos, já que em sua composição é adicionado “Álcool – (metanol ou etanol)” (Moreira e Menegon 2003).

Aqui será melhor tratado este tipo de solvente, pois as tintas emulsionadas (NBR 13699 – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água) serão objeto deste experimento.

- Álcoois – A fórmula genérica dos álcoois é $C_nH_{2n+1}(OH)$, e sua característica marcante é a hidrossolubilidade. Os álcoois com pequeno número de carbono, são infinitamente solúveis em água, enquanto que as moléculas com número de carbono acima de quatro são parcialmente solúveis em água, ou até mesmo insolúveis. Esta diferença de comportamento está associada a polaridade da molécula, ou seja, quanto menor, maior a polaridade.

Os álcoois de cadeia carbônica mais longa ligeiramente solúveis em água, são utilizados como solventes latentes, para os revestimentos a base de solvente e

como agente acoplador nos revestimentos de bases aquosas. Eles ajudam a fornecer o equilíbrio adequado das propriedades desejáveis na formulação, tais como viscosidade, escoamento, nivelamento e taxa de cura (Assis *et al.*, 2009).

Nas tintas em solução, a maioria dos solventes orgânicos possuem altos teores de Volatile Organic Compounds (VOC), ou Compostos Orgânicos Voláteis. Os solventes mais utilizados em sinalização horizontal são: Toluol, Xiloi, Acetona, Metil-Etil-Cetona, entre outros (Moreira e Menegon 2003).

O calor pode também contribuir significativamente na aceleração da saída do solvente – contribui diretamente na evaporação e na viscosidade do mesmo, tanto nas tintas com solventes inorgânicos como tintas com solventes orgânicos. Temperaturas mais elevadas podem deixar a tinta mais fluida (VDOT 2012).

- **Pigmentos**

É definido como material sólido finamente dividido, insolúvel no meio. Utilizado para conferir opacidade (poder de cobertura), certas características de resistência e outros efeitos. Podem ser divididos em pigmentos coloridos (que conferem cor a pintura), não coloridos e anticorrosivos (que conferem proteção ao metal). Este último não é aplicado em tintas de sinalização horizontal (Assis *et al.*, 2009).

Moreira e Menegon (2003) expõem que os pigmentos que conferem cor e opacidade as tintas, são denominados pigmentos ativos, ou simplesmente pigmentos. Já os pigmentos que não conferem cor (ficam totalmente incolores, quando incorporadas a tinta), denominam-se pigmentos inertes, ou cargas, por serem utilizados originalmente com o intuito de baixar os custos da tinta, além de conferir a película um maior volume de sólidos. O VDOT (2012) cita ainda que estes pigmentos inertes além de reduzir o custo, também dão consistência, durabilidade e resistência abrasiva; que são propriedades importante, quando se considera o ambiente em que serão aplicadas, e o tráfego que devem suportar. As cargas mais usadas nestas tintas são: Calcita, Dolomita, Talco, Quartzo, etc. Duas cores de pigmentos muito utilizados em sinalização horizontal são: branco e amarelo:

- **Pigmento Branco**

O pigmento mais utilizado em tintas brancas de sinalização viária horizontal é o Dióxido de Titânio, pois apresenta boa resistência a agentes químicos ácidos ou alcalino, além de conferir poder de cobertura (opacidade) (Moreira e Menegon 2003).

O dióxido de Titânio é um dos mais importantes pigmentos brancos produzidos, sendo sua produção mundial em torno de 2,5 milhões de ton/ano. São produzidos comercialmente duas formas cristalinas diferentes: o Rútilo tetragonal e o Anatase (ou prisma tetragonal).

Os cristais do Rútilo apresentam uma estrutura mais compacta, o que explica importantes diferenças, quando comparadas a estrutura do Anatase, pois possui alto índice de refração, maior estabilidade e alta densidade (Assis *et al.*, 2009).

Embora o Rútilo seja um pouco mais amarelo que o Anatase, tem uma melhor resistência ao intemperismo, maior poder de cobertura, sendo mais recomendado para ser utilizado em tinta de sinalização horizontal (Moreira e Menegon, 2003)

- **Pigmento amarelo**

Os pigmentos amarelos podem ter origem orgânicas ou inorgânica. Nas tintas que utilizam solventes orgânicos, o pigmento utilizado é inorgânico – Cromato de Chumbo. Este apresenta um bom poder de cobertura e tingimento. Nas tintas emulsionadas em água empregam-se pigmentos orgânicos. Este não apresenta chumbo e nem cromo em sua composição. Vale ressaltar que o Cromato de Chumbo está proibido em países desenvolvidos (Moreira e Menegon 2003).

- **Aditivos**

Os aditivos são ingredientes adicionados a tinta para proporcionar características especiais as mesmas, ou ainda evitar problemas. Um exemplo de aditivo é o agente anti-espuma, que é aplicado ou misturado em alta velocidade. Normalmente, os aditivos correspondem de 0,1% a 5,0% do total da tinta (VDOT 2012). Exemplos de aditivos são: dispersantes, anti-sedimentantes, anti-pele, secantes e plastificantes. O aditivo confere a tinta uma maior competitividade comercial, já que o uso de diferentes tecnologias pode agregar ao material um melhor comportamento ao produto final.

- **Resina**

A resina é a parte não volátil da tinta, que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. Esta tem grande importância, pois ela também denomina o tipo de tinta ou revestimento. Exemplo: Tinta acrílica, tinta epóxica, etc. (Assis *et al.*, 2009).

Tanto em tintas à base de água, quanto tintas à base de solvente, existe uma relação ideal de resina e volume de pigmentos. Se esta concentração for excedida, a resina não será capaz de ligar os pigmentos, nem as microesferas, podendo até afetar a aderência da película a superfície (VDOT 2012).

Moreira e Menegon (2003) citam que a resina confere a tinta plasticidade a película. As resinas comumente empregadas em sinalização viária são: Alquídicas, Borracha Clorada e Acrílicas.

- Alquídicas

É um poliéster resultante de uma poli-esterificação entre o ácido bifuncional e um álcool poli funcional, e para ser utilizado na indústria de tintas esta resina deve ser modificada com óleo (Moreira e Menegon 2003).

- Borracha Clorada

Esta resina possui ótima resistência a ácidos e álcalis, porém possui tendência ao amarelamento nas cores claras, quando submetidas às intempéries, por isso, seu uso é combinado com plastificantes, ou com outras resinas compatíveis (alquídicas). Sua resina é obtida passando o gás cloro em uma solução de borracha natural. O teor de cloro na molécula pode chegar a até 67% (Moreira e Menegon 2003).

- Acrílicas

As resinas acrílicas são largamente utilizadas em tintas para sinalização horizontal, pois apresentam ótima retenção de cor, resistência às intempéries, resistência a óleos e graxas que são submetidos através do tráfego, além de boa flexibilidade. A cura (ou secagem) desta tinta ocorre por simples evaporação de solvente, ou por coalescência.

As resinas acrílicas são incolores e são fabricadas a partir de ácidos acrílicos e metacrílicos. As tintas à base de solvente utilizadas no Brasil empregam resina acrílica estirenadas. Já as tintas emulsionadas utilizam resina acrílica pura (Moreira e Menegon 2003).

Segundo o VDOT (2012), devido à alta umidade, as tintas emulsionadas acrílicas demoram um pouco mais para secar. Em dias com umidade baixa, costumam secar mais rapidamente. Quando há menos água no ar, a água sai do filme e evapora mais rapidamente. Cuidados com a temperatura devem ser observado antes da aplicação do material.

5.3.1.4.2 Tinta emulsionada em água

As emulsões aquosas acrílicas fazem parte de uma classe muito importante de veículo para tintas, pois combinam as vantagens dos monômeros acrílicos (baixo custo, grande variedade de espécie química que permitem obter polímeros para uma enorme gama de aplicação, facilidade de polimerização, etc.) com o uso de água em substituição aos solventes orgânicos, sendo assim, possui

uma menor capacidade poluidora, pois reduzem o VOC (Componentes Orgânicos Voláteis). As consequências do emprego das emulsões são traduzidas em vantagens econômicas, segurança, facilidade de aplicação, etc. (Assis *et al.*, 2009). No Brasil, a norma que rege seu uso para sinalização horizontal é a ABNT NBR 13.699 – Tinta à base de Resina Acrílica emulsionada em água.

5.3.1.5 Mecanismo de Formação do filme – Tintas emulsionada em água.

A formação do filme ou película é um importante fenômeno, pois caso não ocorra durante o processo de secagem com propriedades satisfatórias, podem ocorrer problemas com o desempenho do material. A formação da película acontece através de um fenômeno denominado coalescência, sendo este um fenômeno físico, não acontecendo alteração na natureza química (Assis *et al.*, 2009). Nas tintas emulsionadas, as partículas da resina, que normalmente são esféricas, ficam dispersas no solvente. Com a quebra da emulsão, o solvente (água) evapora, as partículas aglomeram-se formando películas coesas, com bastante plasticidade (Moreira e Menegon 2003).

A formação do filme depende de alguns fatores (Assis *et al.*, 2009):

- Temperatura mínima de formação do filme (TMFF), abaixo da qual a película obtida pode não ocorrer de forma satisfatória.
- A eliminação da água do sistema através de evaporação, fenômeno de superfície, e da absorção do substrato que está sendo revestido. A partícula polimérica tem que se fundir (coalescer). Com a saída da água, as partículas tendem a se aproximar e tocarem entre si, conforme ilustrado na Figura 14– Representação esquemática da Coalescência em emulsões..
- Assis *et al.* (2009) comentam ainda sobre a coalescência:
“As forças eletroestáticas da superfície, devido a parte hidrofílica do emulsionante, tendem a provocar uma repulsão (a carga é do mesmo sinal, geralmente negativo), força esta, que tende a ser neutralizada pelos íons desolubilizados na água, geralmente positivos”.
- A tinta torna-se como um gel quando a maior parte da água deixou o sistema. Neste momento a maior parte das partículas estão próximas umas das outras e a modificação é irreversível.

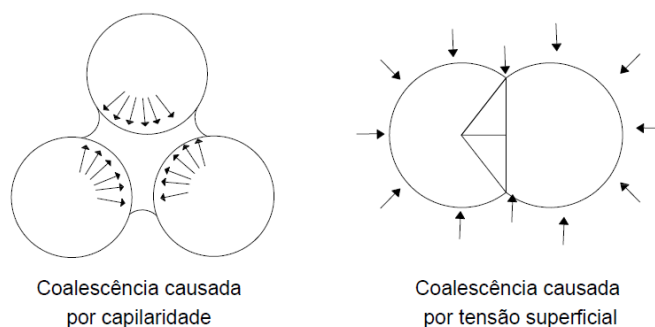


Figura 14– Representação esquemática da Coalescência em emulsões.

Fonte: Assis *et al.* (2009) - Adaptado

5.3.1.6 Condições de aplicação das tintas

Além da limpeza do local, a sinalização deverá ser executada quando o tempo estiver com condições ideais, sem ventos excessivos, nem poeiras, ou ainda neblina (Moreira e Menegon 2003). Para que as tintas apresentem um bom desempenho, devem ser observados alguns cuidados com a temperatura – ABNT NBR 15405:2014:

a) Temperatura ambiente: é desejável que a temperatura ambiente para pintura se situe na faixa de 10°C a 40°C.

b) Temperatura de superfície: Deve ser superior a 3°C do ponto de orvalho.

c) Ponto de Orvalho: É a temperatura na qual a umidade do ar, que está na forma de vapor de água, se condensa, passando para o estado líquido. A ABNT NBR 15405:2014 apresenta uma tabela para a determinação do ponto de orvalho, correlacionado a umidade relativa do ar, e a temperatura ambiente. Para a aplicação da pintura, a temperatura da superfície deve estar em no mínimo 3°C acima do ponto de orvalho.

5.3.2 Esferas e Microesferas de vidro

As esferas e microesferas de vidro que são utilizadas em sinalização viária são elementos esféricos de vidro incolor, com características definidas em norma. As esferas de vidro possuem diâmetro superior a 1000µm, e as microesferas com diâmetro inferior a 1000µm. Estas quando adicionadas a pintura de sinalização proporcionem a retrorrefletorização da luz incidente (DNER – EM 373/2000),

levando ao motorista uma condução mais segura, uma vez que a luz emitida pelos faróis dos veículos é devolvida ao condutor.

A natureza do vidro para a fabricação das esferas e microesferas são do tipo soda cal e titanato de bário (NBR 16184:2013). Para sua fabricação é comum a utilização de sucata de vidro plano, onde este é moído e submetido a uma temperatura de 1200°C, a uma velocidade regulada. São utilizados fornos verticais com correntes ascendentes de gás aquecido, transformando assim por tensão superficial em esferas e microesferas (Schwab, 1999).

As esferas e microesferas devem atender aos requisitos mínimos, como estabelecidos pela NBR 16184:2010 e DNIT EM 373:2000, dos seguintes parâmetros:

- Natureza do vidro;
- Resistência a cloreto de cálcio;
- Resistência a ácido clorídrico;
- Resistência a água;
- Resistência ao sulfeto de Sódio;
- Teor de Sílica;
- Aparência e defeitos;
- Índice de refração;
- Densidade de massa;
- Granulometria;
- Fluidez
- Aderência e
- Elementos tóxicos;

Para que as microesferas possam ter um bom desempenho em campo, algumas características devem ser atendidas:

Esfericidade: atua como lentes côncavas concentrando os raios de luz em um único ponto focal, localizado na parte posterior próximo ao ponto médio da esfera atingindo assim o material de sinalização viária. Os raios de luz são transmitidos de forma difusa pelos pigmentos. Se não houvesse o material de sinalização viária na base da esfera a luz iria continuar sua trajetória – Figura 15 Schwab (1999); O grau de esfericidade da microesfera, também influencia o fenômeno de retrorrefletância, a quantidade de partículas angulares, promove a dispersão da luz na direção

oposta de incidência - Figura 16 e Figura 17 (Moreira e Menegon, 2003); Embora o processo de fabricação produza esferas redondas, ocorre uma pequena porcentagem de material não esférico - ovóides e angulares, ou ainda esferas aderidas durante o processo de solicitação (VDOT, 2012). A norma ABNT 16184: 2013 prevê um limite máximo aceitável deste tipo de defeito.

Transmitância: é necessária para que os raios de luz possam atravessá-las. Os raios sofrem um desvio em virtude da alteração do índice de refração do meio que se propaga (ar-vidro);

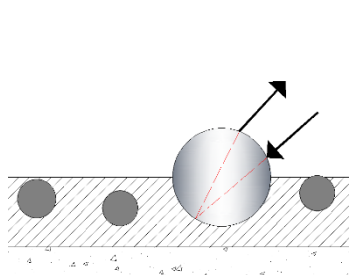


Figura 15 – Incidência de luz na microesfera. Fonte: Signasul 2016 (adaptado)

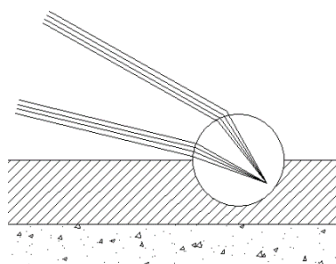


Figura 16– Esferas Perfeita – Correta refração. Moreira e Menegon (2003) (adaptado)

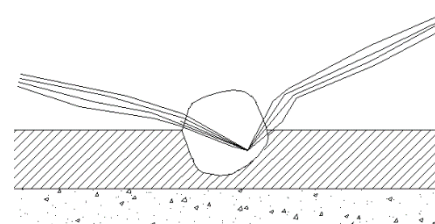


Figura 17– Esferas Imperfeitas – Luz dispersa. Moreira e Menegon (2003) (adaptado)

Gates *et al.* (2003) esclarecem que a eficiência da microesfera de vidro pode ser associada a:

- Profundidade de ancoragem – 50-60% de seu tamanho;
- Índice de refração;
- Características de reflexão do material de sinalização horizontal em que a microesfera está ancorada (tinta, etc..).

A quantidade de refração da luz, é uma característica do próprio vidro, e é conhecida como índice de refração (IR), e depende da composição química e física do material do vidro. Diferentes tipos de vidro, provocam diferentes índices de refração. (VDOT, 2012); logo a qualidade e origem do vidro, são fundamentais para uma máxima retrorrefletividade.

O FHWA (2013) comenta que a refletividade também está relacionada com os materiais utilizados para fabricar o vidro. O principal composto da fabricação do vidro é a sílica, porém outras substâncias são adicionadas para simplificar o processo de fabricação, incluindo carbonatos, óxidos, subprodutos industriais e vidro reciclado. Embora a reciclagem de materiais e subprodutos possam economizar em matéria-prima e energia, os componentes adicionados podem trazer impurezas ao produto.

5.3.2.1 Classificação das microesferas de vidro

As esferas e microesferas são classificadas conforme figura abaixo de acordo com a NBR 16184:2013:

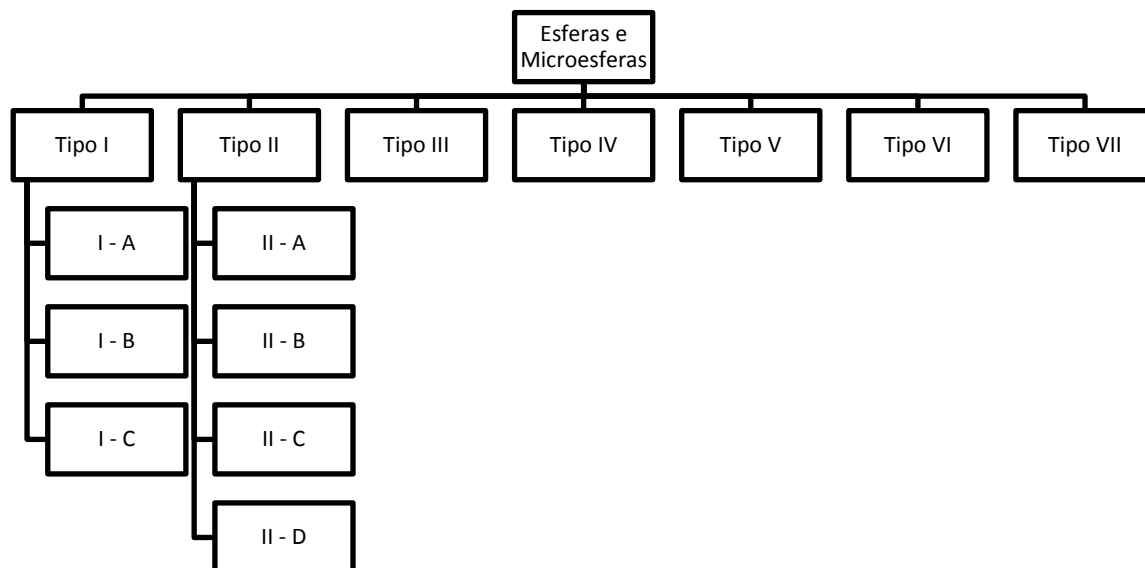


Figura 18 – Classificação das esferas e das microesferas

Fonte: NBR 16184:2013 (adaptado)

Cada tipo de microesfera é especificado para um tipo de uso, além atender uma faixa granulométrica específica, conforme apresentado na Tabela abaixo.

Tabela 01 – Classificação das microesferas quanto ao seu uso - Fonte: 16184:2013

Item	Descrição	Tipo	Diâmetro (µm)
1	Estas são incorporadas as massas termoplásticas durante a fabricação, permitindo a retrorrefletividade após o desgaste da superfície da película, quando estas são expostas. Os Tipos V e VI são específicos para trechos sujeitos a condições adversas (chuva e neblina).	I A,	850 - 75
		V	2360-1000
		VI	3350 - 1180
2	São aquelas incorporadas a tinta antes de sua aplicação, permitindo a retrorrefletividade após o desgaste da superfície da película, quando estas são expostas.	IB	300 - 63
3	São aquelas aplicadas por aspersão, concomitantemente com a tinta ou termoplástico por aspersão ou extrusão, de modo que permaneçam na superfície da pintura quando aplicadas. São específicos para trechos sujeitos a condições adversas (chuva e neblina). As esferas II – A e II – B devem receber revestimento para melhorar algumas de suas características como aderência as resinas, reforço mecânico do sistema de demarcação, aumento da retrorrefletividade inicial, além de receberem tratamento para aumentar a fluidez durante a utilização.	II-A	1000 - 150
		II-B	850-150
		II-C	1000-300
		II-D	1000-212
		III	1700-71-
	As esferas II- C, II – D, III e IV devem receber um revestimento para aumentar a aderência a cada tipo de sistema de demarcação. A utilização destas esferas e microesferas em tintas ou termoplásticos associadas ou não a aplicação concomitante a esferas II – A e II – B, requer o uso de microesferas I – B no caso de tintas e no caso I – A em termoplásticos.	IV	2360 - 1000
4	São aplicadas por aspersão concomitantemente com a tinta, ou termoplástico por aspersão ou extrusão, de modo que permaneçam na superfície da película permitindo a imediata refletividade. São particularmente especificadas para pistas de aeroportos e/ou locais onde a demarcação deva ser maximizada.	VII	1180 - 300

A Especificação de Material do DNIT – 373/200, diferente da NBR 16184:2013, não possui esferas em sua especificação, somente microesferas. Este classifica microesferas com os seguintes termos:

- “Innermix” (Tipo I–A) – especificada para o mesmo tipo de aplicação que a NBR 16184:2013;
- “Premix” (Tipo I – B) – especificada para o mesmo tipo de aplicação que a NBR 16184:2013;
- “Drop-On” Tipo F (Diâmetro de 1000µm-190µm – Tipo II-A) – São aquelas aplicadas por aspersão, junto com a tinta ou material termoplástico, de modo que permaneçam na superfície da película formada pelo material, e que garanta uma imediata retrorrefletividade. Eventualmente, estas podem receber um revestimento químico para melhorar algumas de suas características como: aderência ao tipo de resina empregada na tinta, aumento da retrorrefletividade inicial e aumento da fluidez durante sua utilização.
- “DropOn” Tipo G (Diâmetro de 1000µm-30µm – Tipo II-C) – Assim como o tipo F, também são aplicadas por aspersão, junto a tinta ou material termoplástico, de modo que permaneçam com a superfície e garanta uma imediata retrorrefletividade. Estas devem receber um tratamento para melhorar sua aderência, e podem ser utilizadas concomitantemente com a do Tipo F, aumentando a retrorrefletividade inicial, neste caso dispensam a do tipo Premix (Tipo IB).

Granulometria - Correspondência entre normas DNER e ABNT

Tabela 2 – Granulometria das microesferas de vidro – Serie ABNT e DNER

Granulometria das Esferas e Microesferas e Microesferas													
			Classificação ABNT - 16184/2013										
Nº	Abertura mm	Abertura µm	Tipo I		Tipo II				Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI	Tipo VII
			A	B	A	B	C	D					
6	3,35	3350										100	
8	2,36	2360									100	95 - 100	
10	2	2000								100	95 - 100	80 - 95	
12	11,7	1700							100	95 - 100	80 - 95	10 - 40	
14	1,4	1400							95 - 100	80 - 95	10 - 40	0 - 5	
16	1,18	1180							80 - 95	10 - 40	0 - 5	0 - 2	100
18	1	1000			100		100	100	10 - 40	0 - 5	0 - 2		
20	0,85	850	100		96 - 100	100	90 - 100	95 - 100	0 - 5	0 - 2			95 - 100
25	0,71	710							0 - 2				
30	0,6	600	90 - 100		75 - 95		10 - 30	85 - 100					55 - 75
40	0,425	425				90 - 100							15 - 35
50	0,3	300	18 - 35	100	9 - 35		0 - 5	0 - 10					0 - 5
70	0,212	212		85 - 100		0 - 10		0					
80	0,18	180			0 - 5								
100	0,15	150	0 - 10	15 - 55		0 - 5							
140	0,106	106											
200	0,075	75	0 - 2										
230	0,063	63		0 - 10									
			Classificação DNER - EM 373/2000										
			Innermix	Premix	Drop on Tipo F	-	Drop on Tipo G	-	-	-	-	-	-

5.3.2.2 Métodos de aplicação das microesferas

Dependendo do tipo de microesfera, esta pode ser aplicada de diferentes maneiras. Moreira e Menegon (2003) comentam que para as microesferas obtenham um melhor desempenho em campo, e melhor retrorrefletividade, sua aplicação deve ocorrer de forma correta, pois a ancoragem e distribuição das microesferas são fundamentais para tal. A seguir são apresentadas as formas de aplicação das microesferas:

- Incorporadas à tinta durante do processo de fabricação:

As microesferas do Tipo I, são incorporadas as tintas, mais precisamente a do Tipo I-A; e as microesferas do tipo V e VI são utilizadas em trecho com situações adversas de clima, especificamente para termoplásticos. Estas oferecem retrorrefletorização apenas após o desgaste da película.

- Incorporadas à tinta antes de sua aplicação:

As microesferas do tipo I-B “Premix” são adicionadas a tinta antes de sua aplicação em campo, sendo diluídas no reservatório de tintas (Figura 19). Estas oferecem retrorrefletorização após o desgaste da película. Os valores comumente empregados são de 200g/L a 250g/L (DNIT-EM 371/2000).



Figura 19 - Microesfera do Tipo I-B “Premix” sendo adicionada no reservatório

- Aspersão, Gravidade e Manualmente:

São utilizadas microesferas do Tipo II-A, II-B, II-C, II-D, III, IV, e VII, que são aplicadas concomitantes com a tinta ou termoplástico, permanecendo sobre a superfície da película, garantindo assim a retrorrefletividade imediata. Moreira e Menegon (2003) descrevem os tais procedimentos:

- Aspersão:

Estas são espalhadas na superfície da película, através de dispositivos de pressão pneumática, por pressão direta ou sucção. Os espalhadores (pistolas) devem estar alinhados com a pistola da pintura, e com uma distância conveniente para que ocorra uma perfeita ancoragem das microesferas sobre a película, ressaltando cuidados com a pressão, vazão e calibração das pistolas injetoras (Figura 20).



Figura 20 – Microesfera sendo aplicada por dupla aspersão

- Gravidade

As esferas são deslocadas através de um silo de armazenagem das máquinas ou de carrinhos manuais através da sua própria massa e distribuídas sobre as faixas através de espalhadores apropriados, estes devem ser utilizados imediatamente após a pintura para garantir uma perfeita ancoragem.

- Manualmente

As microesferas de vidro são atiradas sobre o material recém-aplicado de forma manual (Figura 21). Este tipo de procedimento somente deve ser utilizado quando não for possível de ser aplicado por gravidade, ou por aspersão. Este método não permite uma perfeita ancoragem e distribuição do material a película, além de ocorrer desperdícios de microesferas quando estas não atingem a película.



Figura 21 – Microesfera sendo adicionado a película.

Fonte: Demark

5.3.2.3 Ancoragem e distribuição de microesferas

A interação da pintura de sinalização e as microesferas de vidro são determinantes para um melhor desempenho da retrorrefletividade. Moreira e Menegon (2003) explicam que são os pigmentos ativos presentes na pintura que asseguram a reflexão do feixe de luz das microesferas que estão ancoradas (parcialmente mergulhadas) na tinta. Comentam ainda que a máxima retrorrefletividade ocorre quando a microesfera está com cerca de 60% do seu diâmetro ancorada. Um estudo realizado pelo Departamento de Transportes da Virginia (VDOT, 2012) comenta que valores de ancoragem inferiores a 50% do diâmetro das microesferas podem afetar a longevidade do microesfera na pintura, já que podem ser facilmente arrancados através da ação do tráfego. A ancoragem ideal situa-se entre 50 % e 60%, pois permite uma maior longevidade da esfera na tinta, além de permitir uma boa retrorreflexão. A ancoragem da microesfera também está associada a espessura do filme da tinta (Figura 22). Películas muito finas podem ser insuficientes para envolver porcentagem ideal do diâmetro da microesfera. Este estudo do VDOT (2012) cita ainda alguns cuidados que devem ser tomados durante a execução da pintura quanto a aplicação das microesferas, pois o filme de tinta pode “secar” rapidamente dificultando o ancoramento. Este efeito pode ser notado na Figura 23, logo é possível associar que dentre diversos fatores que afetam a retrorrefletividade estão a qualidade do pigmento da tinta, o ancoramento da microesfera, a espessura do filme de tinta, os cuidados durante a execução da pintura, entre outros.

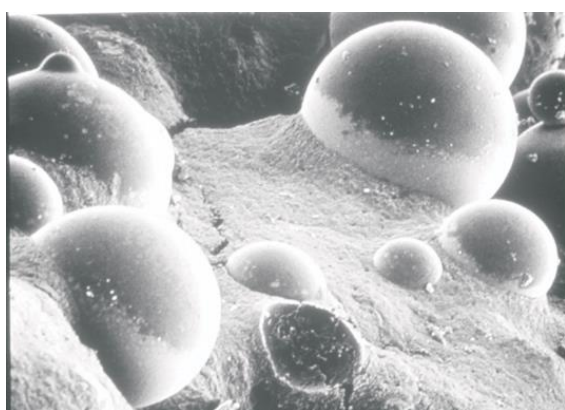


Figura 22 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente devido a espessura do filme de tinta - VDOT (2012)



Figura 23 – Esferas de vidro com ancoramento deficiente - VDOT (2012)

O controle tecnológico e o acompanhamento durante a execução da pintura, são fundamentais para uma maior retrorrefletividade. Controle da distribuição e ancoramento das microesferas devem ser observados em campo, embora uma avaliação visual possa ser subjetiva, podem ajudar a identificar problemas durante a execução. A Figura 24, mostra uma boa distribuição de microesferas, sob a película de tinta. Já a Figura 25 mostra uma distribuição inadequada, podendo indicar uma falha do alinhamento das entre as pistolas de tinta e microesferas, ou ainda erro de pressão das pistolas, viscosidade da tinta, etc. (VDOT, 2012)

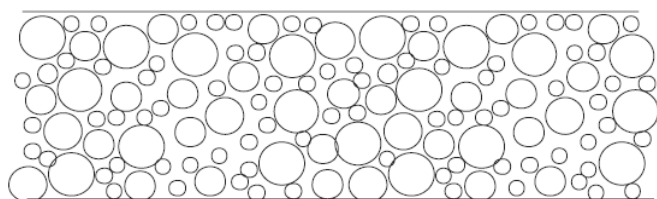


Figura 24 – Boa distribuição de microesferas - VDOT (2012)

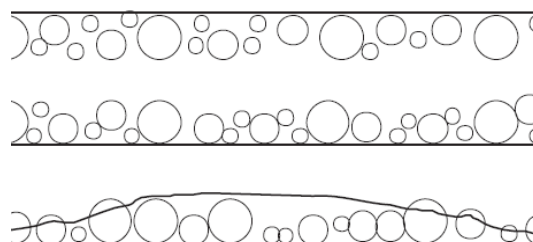


Figura 25 – Distribuição incorreta de microesferas
- VDOT (2012)

A tinta à base de água vem sendo comumente empregada em pinturas de sinalização viária. Gates (2003) comenta que além de ser uma opção ecologicamente correta, não apresenta variações de comportamento em diferentes superfícies como concreto e asfalto. Babic (2014) relata que um estudo foi realizado na Croácia comparando tintas à base de água e tintas à base de solventes, com as mesmas proporções de microesferas. Três meses após a execução das pinturas em campo, a tinta à base de água apresentou valores de retrorrefletividade superiores quando comparadas a tintas à base de solvente. Babic (2014) cita ainda outras vantagens quanto ao seu uso como: secagem rápida, qualidade das resinas, e aspectos positivos para a saúde humana durante a aplicação devido à ausência dos produtos químicos – solvente e emissões.

Recentemente, o Departamento de Transporte de Minnesota (2016) avaliou o desempenho de diferentes materiais em diferentes superfícies, e verificou que um aumento da espessura do filme de tinta, apresenta um melhor desempenho, pois há material suficiente para cobrir os vazios devido a textura do pavimento. O tipo de tinta e a espessura devem ser associadas ao tipo de superfície apresentada do pavimento. A variação da espessura da película de tinta também mostrou um aumento da retrorreflexão. A perda da retrorrefletividade variou entre 33% a 60% depois de um ano

(um inverno), mostrando que a ação das intempéries também é significativa no comportamento destes materiais.

Segundo o Departamento de Transportes da Virginia (VDOT, 2012), a retrorreflexão e a durabilidade são em função dos seguintes parâmetro:

- Esfericidade;
- Índice de Refração da microesfera;
- Granulometria da microesfera;
- Tratamento sobre a microesfera;
- A ancoragem da microesfera na película de tinta;
- Quantidade adequada de microesferas exposta sob a pintura;
- Distribuição de microesferas de vidro;
- Relação entre o diâmetro microesfera e da espessura de tinta.

Os quatro primeiros itens são controláveis de fabricação, que podem ser especificados e testados. Já os últimos quatro itens estão relacionados ao controle e projeto de aplicação. Mesmo, se os quatro primeiros itens forem atendidos, e ocorrer uma má execução em campo, isto poderá anular a qualidade dos produtos utilizados, e resultar em uma sinalização não durável, e abaixo do esperado em termos de retrorrefletividade.

6. Equipamentos

6.1 Pistolas para pintura e aplicação de microesferas

Para a pintura nos revestimentos asfálticos e depois extração de placas para ensaios em laboratório foram comprados dois tipos diferentes de pistolas manuais, aqui denominadas A e B.

- Pistola A – Pistola espargidora de microesferas, com tubos de sucção, em pinturas acrílicas e termoplásticas.
- Pistola B – com tubo extensor de 40 cm, bicos e agulhas de material duro especial de alta precisão que assegurem o absoluto fechamento do bico, inclusive com a utilização de pinturas com microesferas de vidro e outros componentes de carga, com fluxo separado de ar de atomização, controle e pintura.



(i) Pistola A



(ii) Pistola B

Figura 26 - Pistolas para pintura em laboratório

6.2 Aparelho Retrorrefletômetro

O retrorrefletômetro é um equipamento portátil que permite medições de retrorrefletância noturna (RL), com dupla geometria. O aparelho é capaz de realizar leituras de retrorrefletância de 15m e 30m (para atendimento a normativa nacional e internacional, respectivamente). Possui fácil manipulação, somente sendo necessário o correto posicionamento na área de interesse de medição com área mínima de leitura de 90mm x 170mm de pintura. Atende as normas ASTM E1710 para RL, norma europeia EN 1436 para RL e ABNT NBR 14723:2013 para RL.



Figura 27 - Retrorrefletômetro - EasyLux

6.3 Sapata

Uma sapata manual de cortina com rodas para demarcação exclusiva de termoplásticos, com sistema de gaveta, regulagem para larguras de faixas entre 10 a 50 cm, sistema de aquecimento permanente do reservatório, e caixa distribuidora de microesferas acoplada. Esta caixa e sapata ainda não foram utilizadas, pois, a pesquisa nesta fase concentrou-se em um tipo de tinta à base de água e não de termoplásticos.



Figura 28 - Sapata manual de cortina com rodas

O presente projeto, além dos ensaios de laboratório, também executou uma pista experimental em campo que não estava proposta inicialmente, para avaliar diferentes tintas, esferas e taxas de aplicação, pois estes resultados balizam novas pesquisas. Assim, foi possível avaliar diferentes fenômenos como aceleração e desaceleração e também efeitos do clima, o que não seria possível avaliar em laboratório.

7. Seleção e Caracterização de Materiais – Matriz Experimental

Para a presente pesquisa, foi proposta a utilização de duas tintas de fornecedores diferentes; três fornecedores de microesferas: A, B, C; duas taxas diferentes de aplicação das microesferas (50% II-A, 50% - II-A) e (30% II-C, 70% - II-A), resultando um total de doze combinações, conforme demonstrado na Figura 17.

Tintas		Microesferas		Taxa de Aplicação (Microesferas)
•Tintas 01 •Tintas 02	×	•Microesfera A •Microesfera B •Microesfera C	×	•Taxa de Aplicação 01 (30% - II-C/ 70% - II-A) •Taxa de aplicação 02 (50% - II-A/ 50% - II A)

Figura 29 – Combinações utilizadas no trecho experimental

As tintas utilizadas são acrílicas, ambas a base d'água, na cor branca, de secagem rápida, com microesferas do Tipo I-B - "Premix" - que são adicionadas à tinta durante o preparo, antes da aplicação na proporção de 200g/l. As três marcas diferentes de microesferas do Tipo II-A, e II-C - "DropOn" foram utilizadas na proporção de 400g/m². Todas de acordo com DNIT 373/2000 e NBR 16184/2013. Quanto à taxa de aplicação das microesferas que foram aspergidas utilizou-se:

- 30% II-C, 70% II-A, dupla aspersão.
- 50% II-A, 50% II-A, dupla aspersão.

Todas as combinações (com as descrições) encontram-se apresentadas na Tabela 3.

Tabela 03– Identificação e Nomenclaturas das Combinações

Combinação	Nomenclatura
Tinta 01 + Microesfera A c/ Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	01A – 50/50
Tinta 01 + Microesfera A c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	01A – 30/70
Tinta 01 + Microesfera B c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	01B – 30/70
Tinta 01 + Microesfera B c/Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	01B – 50/50
Tinta 01+ Microesfera C c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	01C – 30/70
Tinta 01 + Microesfera C c/Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	01C – 50/50
Tinta 02+ Microesfera A c/ Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	02A – 50/50
Tinta 02 + Microesfera A c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	02A – 30/70
Tinta 02 + Microesfera B c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	02B – 30/70
Tinta 02 + Microesfera B c/Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	02B – 50/50
Tinta 02 + Microesfera C c/Taxa de Aplicação 30% - II-C/ 70% - II-A	02C – 30/70
Tinta 02 + Microesfera C c/Taxa de Aplicação 50% - II-A/ 50% - II A	02C – 50/50

Nas Figura 30 e Figura 31, podem ser observadas as microesferas B - Tipo II-C e II-A, respectivamente; nas Figura 32 e Figura 33 as microesferas A - Tipo II-C e II-A, respectivamente e, finalmente, na Figura 34 (Tipo II-C) e Figura 35 (Tipo II-A) as microesferas C.

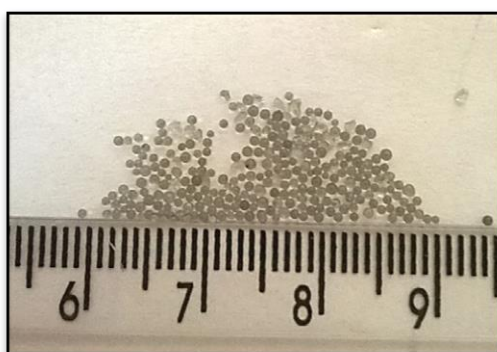


Figura 30 – Microesfera B - Tipo II-C

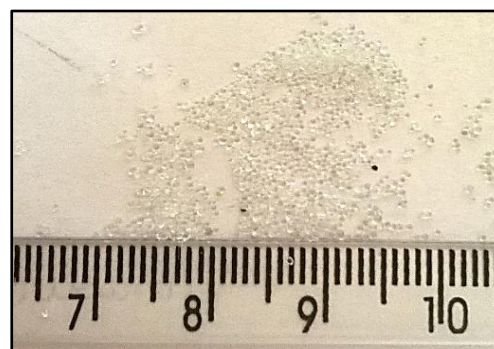


Figura 31 – Microesfera B - Tipo II-A



Figura 32 – Microesfera A - Tipo II-C

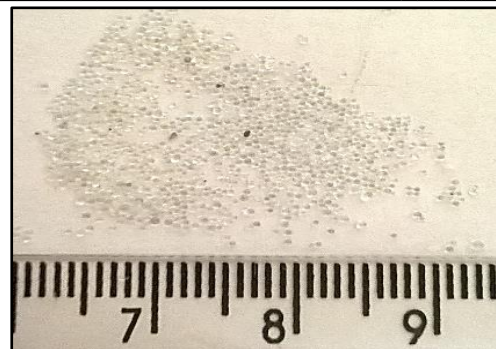


Figura 33 – Microesfera A - Tipo II-A

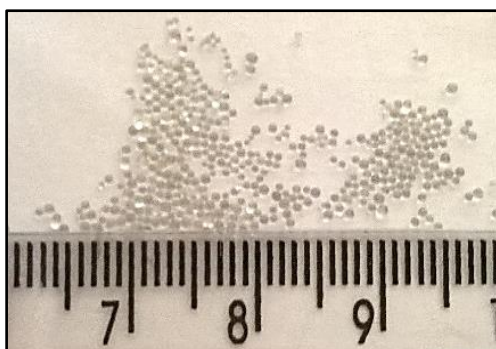


Figura 34 – Microesfera C - Tipo II-C

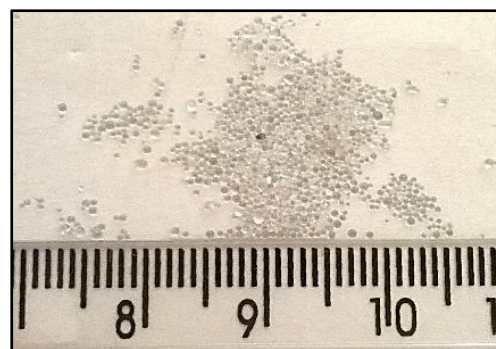


Figura 35 – Microesfera C - Tipo II-A

7.1 Esfericidade

A fim de melhor caracterizar as microesferas de vidro, utilizadas nesta matriz experimental, foi realizado ensaio de granulometria, com a utilização do equipamento CAMZISER[®], a fim de avaliar o tamanho deste material granular.

7.1.1 Equipamento Camsizer[®]

Este equipamento é um instrumento óptico eletrônico para medição do tamanho e forma de partículas por meio de análise de imagens digitais dinâmicas. As partículas são analisadas com alta resolução e de forma individualizada, pela norma ISO 13322-2 “Particle size analysis – image analysis methods”. No equipamento as partículas dispersas passam por duas fontes de luz LED brilhantes; as sombras geradas pelo equipamento são capturadas com duas câmeras digitais, sendo uma para análise das partículas menores, com uma elevada resolução, e a outra é ajustada para as partículas maiores, com boa estatística (grande campo de visão). Por meio de um software do equipamento, empregado para o processamento, as imagens são capturadas em tempo real, oferecendo alguns

parâmetros de tamanho e, conseqüentemente, a forma da partícula e sua distribuição granulométrica. (LCT, 2016).

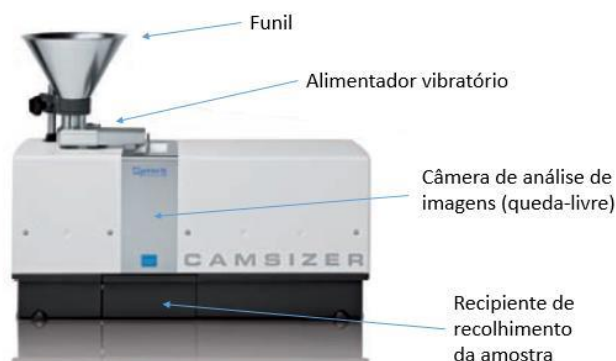


Figura 36 Camsizer L

Fonte: LCT, 2016

Este equipamento encontra-se instalado nas dependências do LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP. Estes ensaios não haviam sido previstos originalmente na proposta, mas no desenvolver da pesquisa considerou-se que sua informação poderia fornecer dados para poder explicar em parte os resultados encontrados nos ensaios de laboratório e de campo.

Dois parâmetros importantes, oferecidos pelo equipamento, que serão utilizados para caracterizar as diferentes microesferas são:

- Esfericidade média (SPHT) = relação entre a área da partícula e seu perímetro, definida por $(4\pi \cdot \text{Área}) / (\text{Perímetro})^2$.
- Relação de aspecto médio (b/l) = razão entre a maior e menor dimensão da partícula.

Os materiais são ditos *esféricos* se os parâmetros de SPHT e b/l forem próximos de 1, e quanto mais se distancia deste valor unitário, mais se afasta do formato esférico. Hawlitschek (2014) demonstra como pequenas variações no formato da partícula no parâmetro b/l (relação de aspecto) podem contribuir para uma distorção e alongamento da partícula. A Figura 37 ilustra a influência destas distorções e sua correlação com o parâmetro b/l .

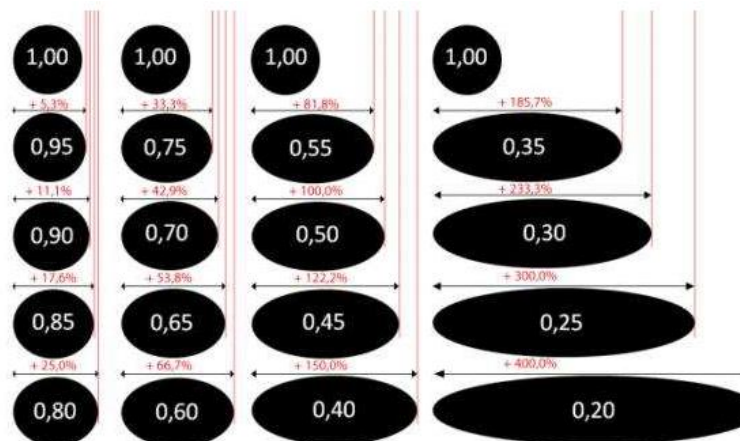


Figura 37 – Relação entre o menor e maior diâmetro da partícula, para diferentes valores de b/l .

Fonte: Hawlitschek, (2014).

7.1.2 Ensaio

Foi realizado um fracionamento de cada microesfera utilizada neste experimento, de modo que o material utilizado para a realização do ensaio fosse representativo da amostra. Para este fracionamento foi utilizado um quarteador rotativo, que tem por objetivo subdividir uma amostra em partes iguais e representativas do material. A amostra é colocada no funil, passando por uma calha vibratória – Figura 38, até atingir um recipiente giratório de amostras, com 9 cilindros, onde é separado em partes iguais para cada um dos cilindros – Figura 39.



Figura 38 - Amostra de microesfera de vidro na calha vibratório do quarteador rotativo.



Figura 39 - Microesferas caindo no recipiente giratório com cilindros.

Depois de quarteadas as amostras, foram ensaiadas no CAMZISER®.

7.1.3 Resultados – Esfericidade

O parâmetro Q3% é a porcentagem passante acumulada com base no volume (curva); e o parâmetro p3%, é a proporção em porcentagem com base no volume de partículas da amostra (barras).

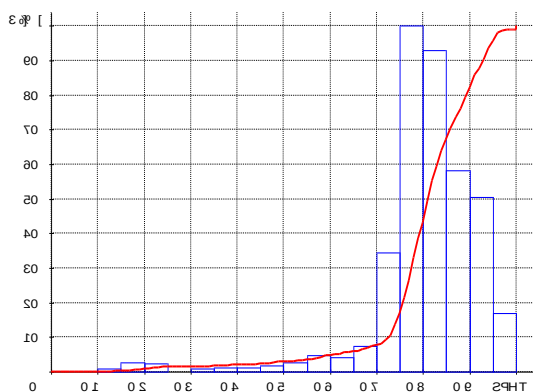


Figura 40 - Esfericidade – Microesfera A -Tipo IIC

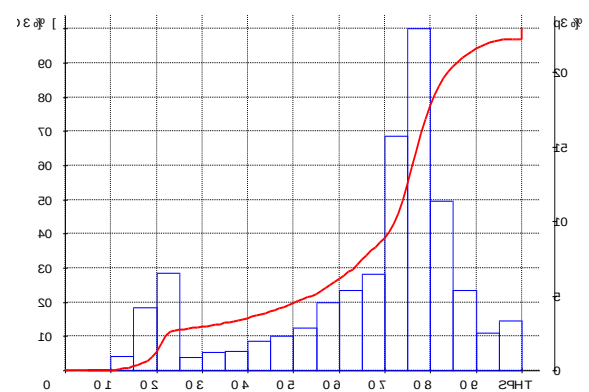


Figura 41 - Esfericidade – Microesfera A -Tipo IIA

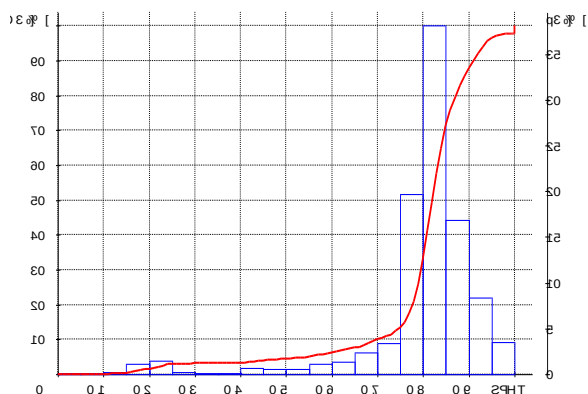


Figura 42 - Esfericidade Microesfera B - Tipo IIC

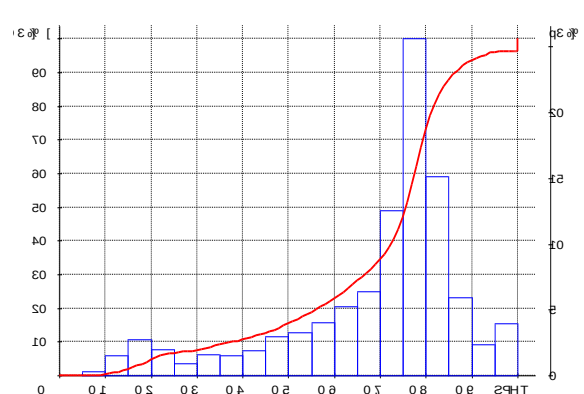


Figura 43 - Esfericidade Microesfera B - Tipo IIA

Tanto a microesfera A e B do Tipo II-A (Figura 41 e Figura 43) possuem uma porcentagem considerável de particular com esfericidade (SPHT) abaixo de 0,7. Porém a Microesfera A, possui cerca de 15% abaixo de 0,25 (Q3%), diferente da microesfera B, com aproximadamente 8%.

A microesfera A - Tipo II-C (Figura 40 e Figura 42) apresenta uma maior concentração de partículas de esfericidade (SPHT) acima de 0,9 aproximadamente 20%, diferente da microesfera B, com cerca de 11%. Porém as duas microesferas apresentam quantidades semelhantes em volume de partículas acima com esfericidade acima de 0,75.

A granulometria da microesfera II-C, quando comparada com a microesfera II-A, é mais grossa, ou seja, possui partículas maiores. Quanto maior a microesfera, maior a retrorrefletividade, logo a esfericidade é um fator importante para esta granulometria (II-C), pois confere à pintura uma retrorrefletividade inicial maior.

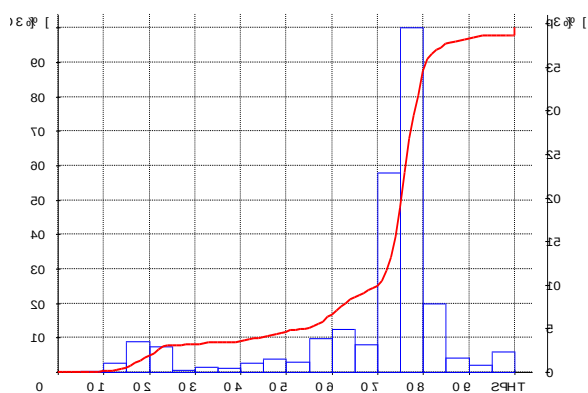


Figura 44 - Esfericidade Microesfera C - Tipo IIC

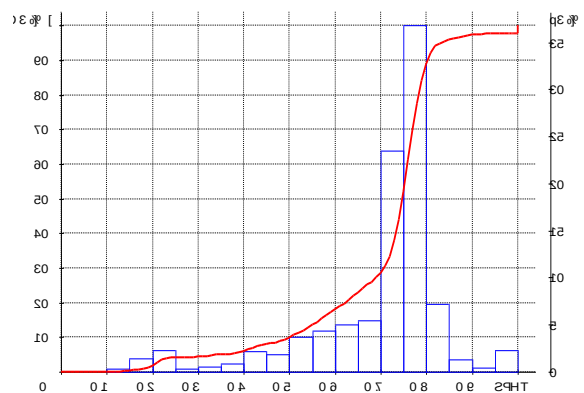


Figura 45 - Esfericidade Microesfera C - Tipo IIA

A Microesfera C possui uma maior uniformidade no tamanho de suas partículas, como pode ser notado na Figura 44 e Figura 45. A microesfera II-C, possui cerca de 75% com esfericidade acima de 0,7. Valores próximos também são encontrados na microesfera II-A – 28%. A maior diferença destas microesferas C é principalmente em relação às microesferas do Tipo IIA, se comparado com as microesferas A e B do mesmo tipo IIA. Ou seja, nas esferas de menor dimensão, esta marca C é aquela que oferece a maior esfericidade das três analisadas.

7.1.4 Resultados – Relação de Aspecto Médio

Estão apresentados graficamente o parâmetro “Relação de aspecto médio (b/l)”, sendo esta a razão entre a maior e menor dimensão da partícula, sendo também adotado como um parâmetro de esfericidade.

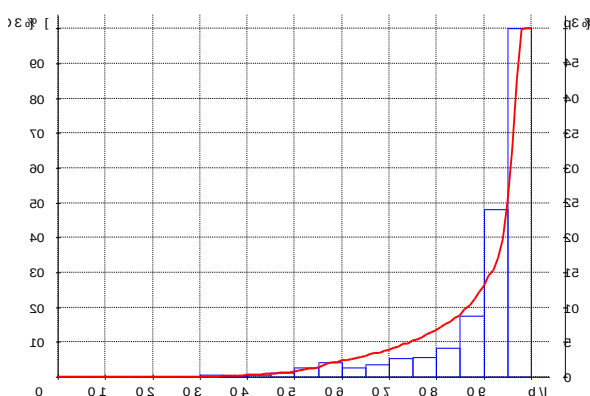


Figura 46 - b/l – Microesfera A – Tipo IIC

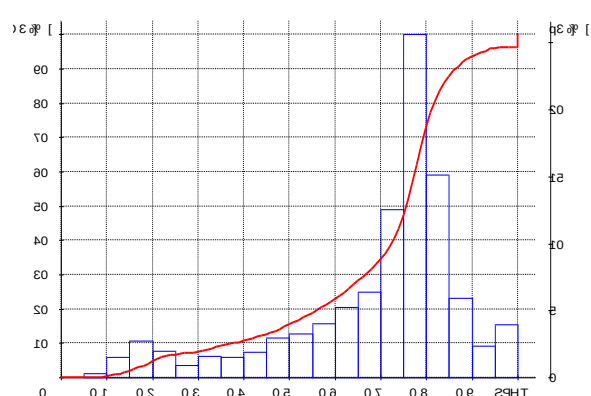


Figura 47 - b/l – Microesfera A – Tipo IIA

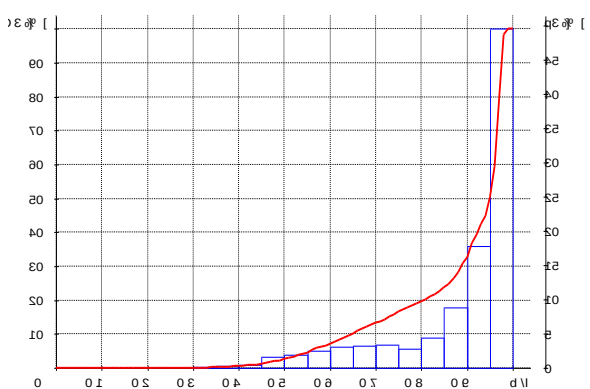


Figura 48 - b/l – Microesfera B – Tipo II-C

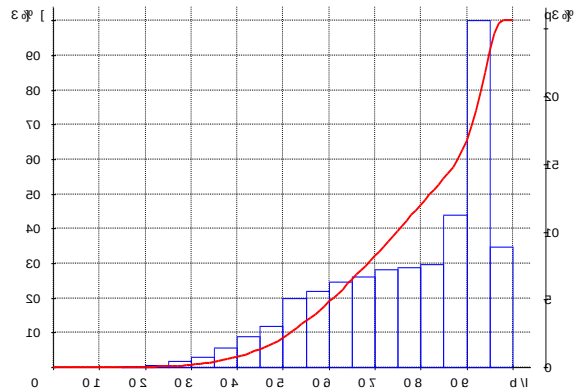


Figura 49 - b/l – Microesfera B – Tipo II-A

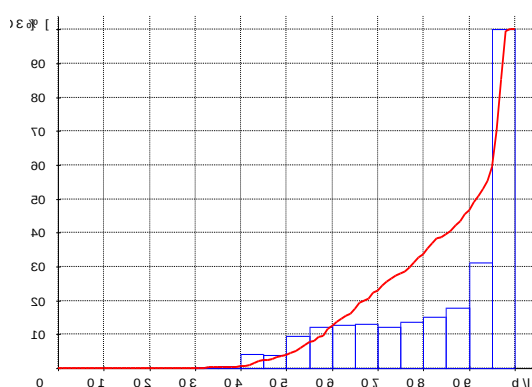


Figura 50 - b/l – Microesfera C - II-C

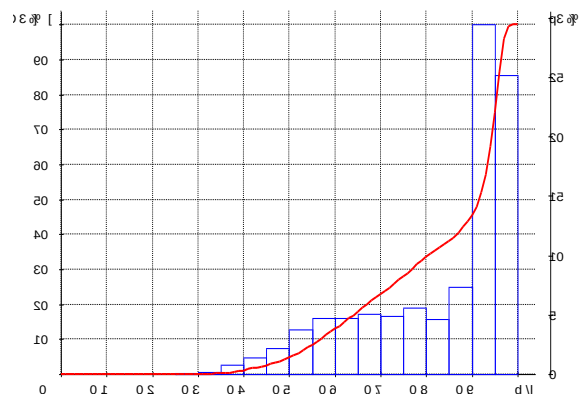


Figura 51 - b/l – Microesfera C - II-A

As Figura 46 e Figura 48 apresentam a relação de b/l para as microesferas A e B, do Tipo II – C. Já as Figura 47 e Figura 49 apresentam os resultados para a microesfera do Tipo II-A, apresentam uma maior dispersão com uma curva mais densa, ou seja, com porções de volume em cada uma das frações de b/l . Porém a microesfera B, apresenta uma maior concentração de partículas com “relação de aspecto médio” acima de 0,85, aproximadamente 50% de sua granulometria contra 15% da microesfera A. A microesfera C, neste parâmetro b/l também apresenta um diferencial, curvas mais uniformes e com valores de “relação de aspecto médio” maiores. Este comportamento ocorre tanto com a microesfera do Tipo II – C – Figura 50, quanto na microesfera II-A – Figura 51. Pode-se observar que de maneira geral a microesfera C é a que apresenta a maior esfericidade.

8. Trecho Experimental - Execução

Foi executado um trecho experimental que não havia sido previsto na proposta original, dadas às conclusões e dúvidas que foram despertadas durante a pesquisa. Este estudo foi realizado de acordo com a matriz de materiais e variáveis já apresentadas anteriormente, empregando as microesferas A, B e C e as diferentes taxas de aplicação.

A escolha do trecho levou em consideração a geometria do local (sem curvas ou conversões), com plena exposição ao sol e com boa drenagem, além da possibilidade da contagem de veículos, a fim de correlacionar a perda de retrorrefletividade com o tráfego. Foi levada em consideração a possibilidade de realização do experimento, pois para fazer na rodovia em outro trecho que não fosse de pedágio, dever-se-ia fechar o tráfego, pois, a sinalização para testes deve ser feita

transversalmente ao sentido de tráfego. Este aspecto operacional impediu que se realizasse em outro local.

O trecho escolhido encontra-se na Rodovia Fernão Dias – BR 381, km 7,300 - junto à praça de pedágio na cidade de Vargem (Figura 52 e Figura 53) e nas proximidades do CDT - Centro de Desenvolvimento Tecnológico da ARTERIS.



Figura 52 – Localização do trecho experimental
–BR-381 - Fonte: Google Maps



Figura 53 – Local de execução do trecho experimental

A execução das pinturas foi realizada de acordo com as diretrizes da ASTM D 713/2012 que prevê este tipo de experimento. A pintura do trecho experimental deu-se no sentido transversal ao tráfego em 6 faixas de rolamento, sendo 3 faixas no sentido norte da rodovia (sentido Belo Horizonte) e outras 3 no sentido sul (sentido São Paulo) (Figura 54).

Neste experimento, foram executadas duas linhas (ou faixas) para cada condição de tinta, de microesferas e de taxas de aplicação, a fim de melhorar a confiabilidade dos resultados. Junto com a execução do trecho, foram realizados ensaios de controle, para garantir a qualidade da execução de acordo com a NBR 15405/2014, NBR 15438/2013, e ASTM 2697/2003. – Anexo A. Cuidados com a limpeza do local antes da pintura e com a temperatura também foram observados.

Nas cabines de pedágio 12,13 e 14 foi possível analisar o efeito da aceleração dos veículos com a saída do pedágio. Já nas cabines 09, 10 e 11 foi possível a observação do efeito da desaceleração (ou frenagem) dos veículos com a aproximação da praça do pedágio, conforme ilustrado na Figura 24.

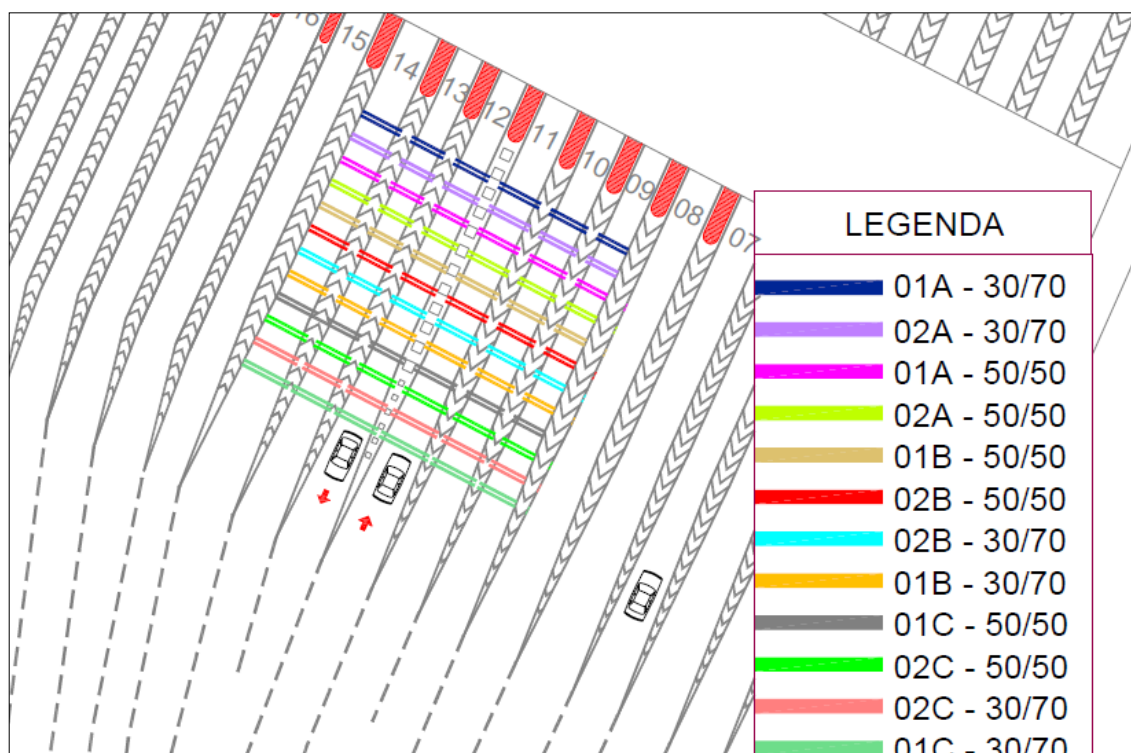


Figura 54 – Croqui das Pinturas em Campo

A Figura 55, mostra a adição da microesfera do Tipo IB – “Premix” na tinta, que está sendo homogeneizada no cilindro. As pistolas de aspersão das microesferas foram calibradas, a cada troca de microesferas e proporções – Figura 56



Figura 55 – Microesferas Premix sendo adicionadas a ao cilindro de tinta.



Figura 56 – Calibração das pistolas de aspersão de microesferas

Em campo, foi realizado o controle tecnológico da espessura da película de tinta úmida - Figura 57, controle e verificação do alinhamento entre as pistolas de tinta e microesfera – Figura 58; medição de temperatura e ponto de orvalho, entre outros cuidados.



Figura 57 – Verificação da espessura da película de tinta



Figura 58 – Verificação de alinhamento entre pistolas - microesferas e tinta

8.1 Medidas de Retrorefletividade

Equipamento

Para a avaliação da evolução da retrorefletividade foi utilizado um equipamento manual portátil de dupla geometria (15 e 30 metros), simulando a distância de visibilidade noturna (Figura 59e Figura 60).



Figura 59 – Esquema das Pinturas de Campo



Figura 60 – Medidas de Retrorefletividade em Campo

A coleta das medidas de retrorrefletividade nas diferentes pinturas foi realizada, em cada faixa de tráfego, ou seja, em cada cabine, nas trilhas de roda e eixo. A Figura 61 ilustra os pontos de coleta

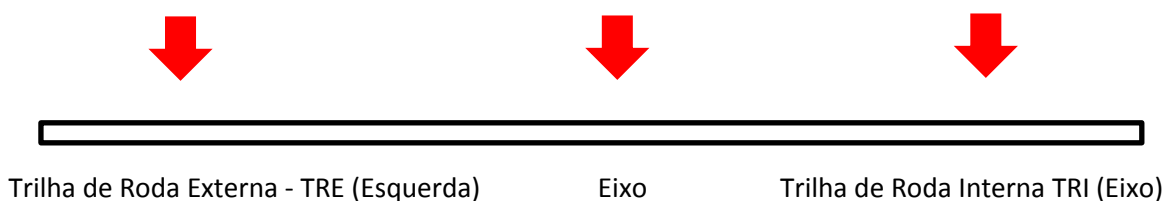


Figura 61 – Esquema das Medidas de Retrorefletividade em Campo e suas respectivas posições nas faixas

8.2 Contagem de Veículos - Quantificação de Eixos

O tráfego é composto por diferentes tipos de veículos – caminhões, motos, carros de passeio, etc., e para equalizar o perfil do tráfego foi adotado um fator multiplicador para cada tipo de veículo em função do número de eixo diferenciando assim por categorias. Tal procedimento já é utilizado para a cobrança do pedágio. Na Figura 30 é apresentado o fator multiplicador de acordo com o tipo de veículo e número de eixos.

A descrição do veículo apresentada, segue de acordo com a descrição utilizada pela cobrança do pedágio, seguindo as regras estabelecida pela ANTT – Agencia Nacional de Transporte Terrestre. Aqui, nesta pesquisa, com a finalidade de contabilizar o tráfego para cada tipo de veículo (ou categoria), foi utilizado um fator multiplicador, para a contabilização do número total de eixos.

Tabela 04– Classificação dos veículos para contabilização do tráfego.

Categoria	Descrição	Categoria	Quantidade de Eixos
1	Automóvel, caminhonete e furgão		2
2	Caminhão leve, ônibus, caminhão trator e furgão		2
3	Automóvel com semi-reboque, e caminhonete com semi-reboque		3
4	Caminhão, caminhão trator, caminhão trator com semi-reboque,		3
5	Automóvel com reboque, e caminhonete com reboque;		3
6	Caminhão com reboque e caminhão trator com semi-reboque.		4
7	Caminhão com reboque, e caminhão com trator e semi-reboque.		5
8	Caminhão com reboque, e caminhão com trator e semi-reboque		6
9	Motocicleta, motonetas, bicicletas a motor e triciclos.		1
Ea (eixo adicional)	Eixos adicionais que não se enquadram em nenhuma das categorias acima.	-	1

8.3 Ensaios de Campo – Caracterização de Superfície

Foram realizados ensaios para avaliação das características superficiais do trecho experimental, através de ensaios de macro e microtextura, conforme abordado a seguir:

8.3.1 Macrotextura

A macrotextura pode ser determinada através do ensaio de Mancha de areia, especificado pela norma ASTM E 965. Bernucci *et al.* (2008) esclarecem que a areia especificada para este ensaio deve ser passante na peneira de 0,177mm (Nº60) e retida na peneira de 0,25mm (Nº80). Neste ensaio, uma quantidade pré-determinada de areia é espalhada na superfície do pavimento com o auxílio de uma base de circular. Esta deve ser movimentada em círculos até que a área da mancha de areia venha a ser constante, e o espalhamento cessa quando aparecem algumas pontas de agregado. Depois é medido o diâmetro do círculo de areia formado no ensaio com auxílio de uma trena ou régua. A Figura 62 ilustra o ensaio realizado em campo.

Em campo, foi executado o ensaio de Macrotextura na pintura de sinalização para as diferentes cabines do pedágio. – Figura 63.



Figura 62 – Ensaio de mancha de areia sendo executado



Figura 63 – Ensaio de mancha de areia na pintura de sinalização

A altura média da mancha de areia é calculada pela expressão:

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

Onde: HS é a altura da mancha de areia medida em mm;

V é o volume constante de areia de 25 mm³;

D é o diâmetro médio do círculo de areia em mm

Na Tabela 04, é dada a classificação da Macrotextura em função de HS (DNIT, 2006):

Tabela 04 – Classificação da Macrotextura em função do HS

Classe	Altura média da mancha de areia (mm)
Muito fina (ou muito fechada)	$HS \leq 0,20$
Fina ou fechada	$0,20 < HS \leq 0,40$
Média	$0,40 < HS \leq 0,80$
Grosseira ou aberta	$0,80 < HS \leq 1,20$
Muito grosseira ou aberta	$HS > 1,20$

Para analisar a Macrotextura somente da faixa da tinta, foi utilizado uma quantidade menor de areia, de modo que durante o ensaio a mancha não excedesse a faixa de pintura. Tem-se recomendado que a Macrotextura para pavimentos asfálticos se situe entre 0,6 e 1,2 mm.

8.3.1.1 Resultados

Tabela 05 – Resultados de HS, m campo

	Resumo - HS																	
	Aceleração									Desaceleração								
	Cabine 14			Cabine 13			Cabine 12			Cabine 11			Cabine 10			Cabine 09		
	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI
01A - 3/7				0,38	0,34	0,34				0,37	0,34	0,36				0,29	0,27	0,29
02A - 3/7	0,40	0,39	0,38				0,35	0,34	0,32				0,52	0,47	0,42			
02A - 5/5				0,34	0,32	0,34				0,35	0,34	0,32				0,32	0,29	0,29
02A - 5/5	0,59	0,34	0,38				0,37	0,28	0,34				0,46	0,42	0,53			
01B - 5/5				0,30	0,33	0,34				0,36	0,33	0,35				0,33	0,29	0,35
02B - 5/5	0,48	0,34	0,33				0,32	0,34	0,33				0,41	0,46	0,45			
02B - 3/7				0,36	0,33	0,38				0,34	0,37	0,38				0,34	0,30	0,34
01B - 3/7	0,47	0,36	0,41				0,34	0,38	0,38				0,50	0,47	0,42			
01C - 5/5				0,34	0,34	0,33				0,36	0,4	0,38				0,38	0,33	0,32
02C - 5/5	0,55	0,48	0,47				0,33	0,39	0,36				0,42	0,47	0,36			
02C - 3/7				0,35	0,32	0,34				0,40	0,39	0,41				0,38	0,39	0,36
01C - 3/7	0,51	0,48	0,44				0,36	0,38	0,40				0,39	0,39	0,38			
Veic. 1*	396585			445.489			481.803			669.677			480.361			478.987		
Veic. 2**	224.796			226.282			151.686			163.348			153.374			197.453		
Total***	621.381			672.071			633.489			833.025			633.735			676.440		

*Eixos de Veículos de passeio e moto; **Eixos de Caminhões e demais veículos; *** Total de eixos contabilizados de acordo com o item 8.2.

Nas faixas de aceleração – 14,13 e 12, a faixa de tráfego 13 apresenta valores menores de HS, ou seja, Macrotextura mais fechada ou fina, devido à presença de tráfego mais pesado, justificando os valores menores. A Figura 64, apresenta os valores de HS para as diferentes pinturas, para esta faixa.

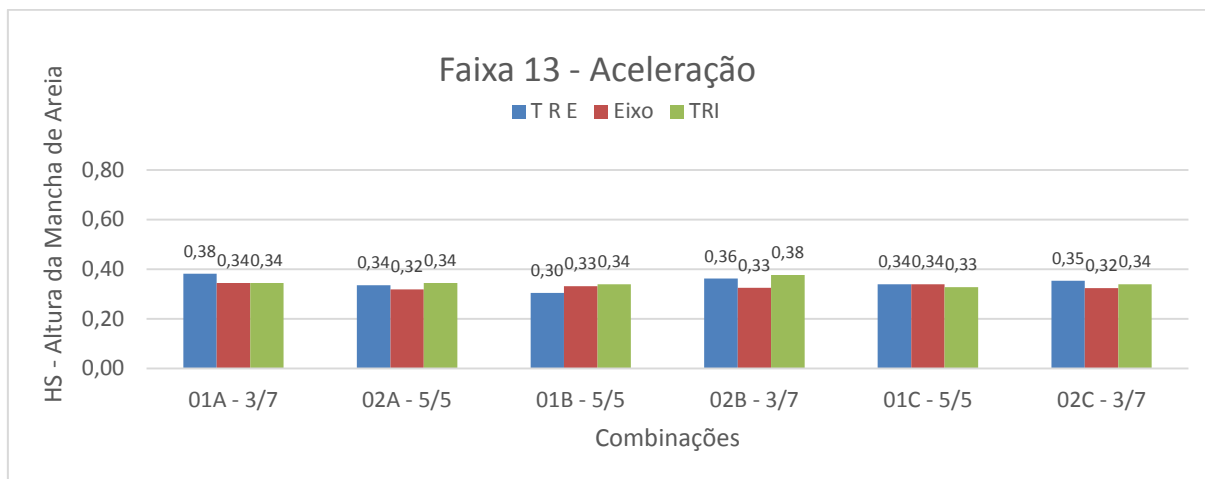


Figura 64 – Macrotextura em função do HS – faixa 13 - Aceleração

O mesmo ocorre na faixa de tráfego 09 – desaceleração – Figura 65, também apresenta valores de HS, menores, que continuam a diminuir com a aproximação do pedágio nas pinturas 01A – 3/7 (tinta 01 com microesferas A e taxas de 30%/70%) e 02A 5/5 (tinta 02 com microesferas A e na taxa 50%/50%); desgaste causado pela desaceleração. E nesta faixa de tráfego, o volume acumulado de caminhões maior, justificando os valores de HS menores. Nesta faixa de tráfego, o desgaste é mais acentuado com a combinação da desaceleração e tráfego mais pesado, quando comparado com as demais cabines (ou faixas).

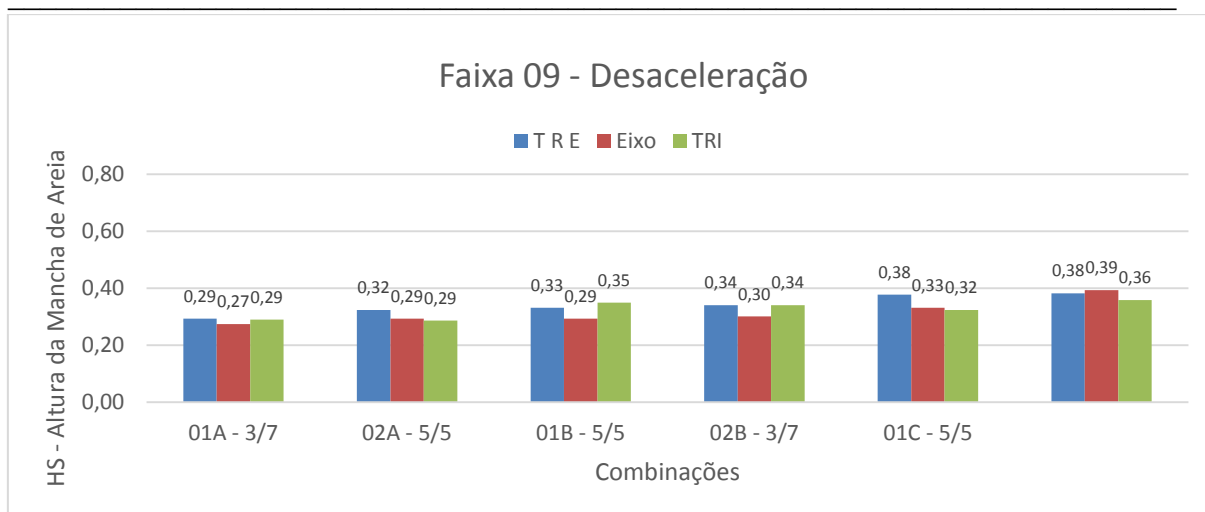


Figura 65 – Macrotextura em função do HS – Faixa 09 - Desaceleração

As diferentes pinturas, com combinações de microesferas, não apresentaram variações significativas nos valores de HS, que ficam dentro da classificação entre fechada e média.

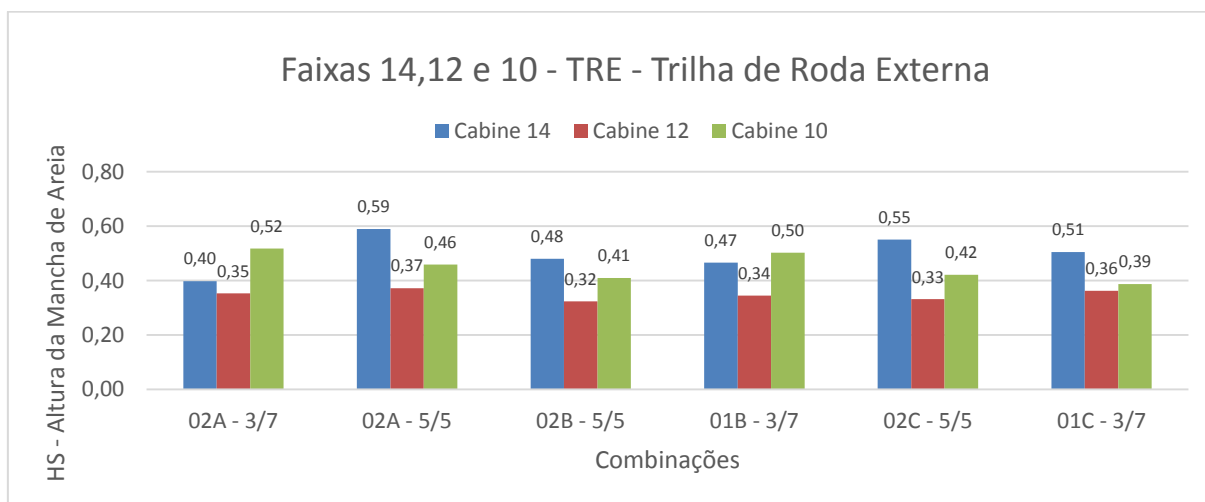


Figura 66 – Macrotextura em função do HS – Faixa 14,12 e 10 - TRE

As faixas de tráfego 12 e 10 – Figura 66 apresentam valores semelhantes quanto à quantidade de tráfego acumulado. Porém com tipos de solicitações diferentes. A faixa de tráfego 10 tem sido solicitada na desaceleração, e faixas 12 e 14 – aceleração.

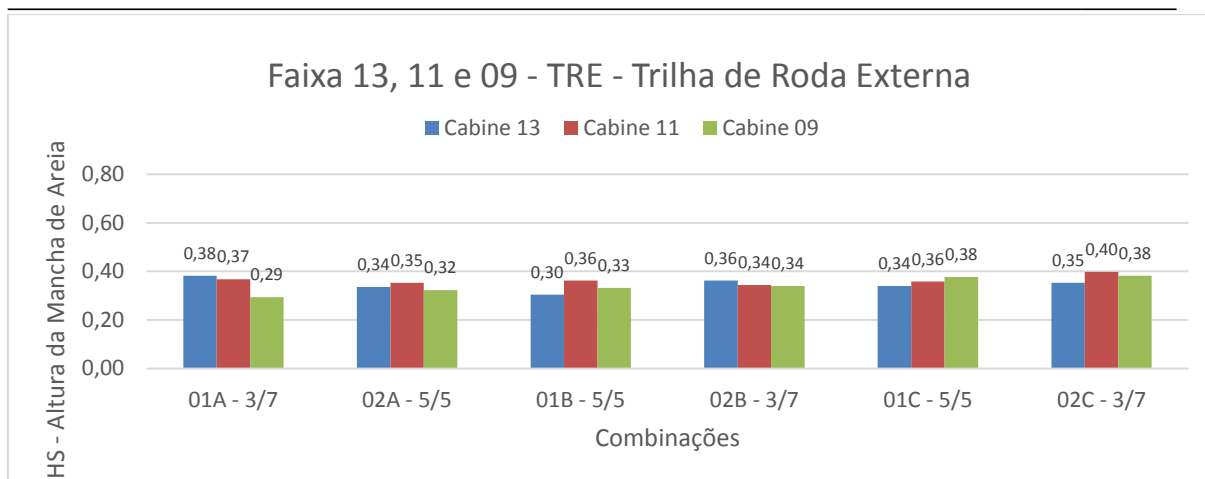


Figura 67 – Macrotextura em função do HS – Faixa 13, 11 e 09- TRE

As faixas de tráfego 09 e 11 – Figura 67 estão em faixa de desaceleração, e a faixa 13, de aceleração. Os valores apresentados estão próximos. A faixa 11 apresenta uma leve tendência de resultados maiores, o que significa uma textura mais rugosa, o que pode ser explicado pelo menor tráfego da faixa, logo não é tão solicitada, quando comparada com as demais.

É possível verificar os demais gráficos referente à Macrotextura de cada faixa de tráfego no **Anexo 1**.

8.3.2 Microtextura

A microtextura foi caracterizada com auxílio do Pêndulo Britânico, de acordo com ASTM E 303 (2008). Este equipamento é munido de braço móvel, com a extremidade recoberta por uma sapata de borracha, que, em queda livre, é atritada contra a superfície do pavimento previamente umedecido – Figura 68 (a). O valor encontrado é o VRD que consiste no valor de resistência à derrapagem. A perda de energia devido ao atrito faz com que a sapata se posicione em altura diferente da original; após passagem pela superfície o local onde o pendulo atinge é registrado por um valor que é o VRD. A Tabela 06 apresenta a classe da rodovia de acordo com o VRD (DNIT, 2006).

Tabela 06 – Classificação de VRD – Valor de Resistência a derrapagem

Classe	Valor de resistência a derrapagem - VRD
Perigosa	<25
Muito Lisa	$25 \leq \text{VRD} \leq 31$
Lisa	$32 \leq \text{VRD} \leq 39$
Insuficientemente rugosa	$40 \leq \text{VRD} \leq 46$
Mediamente rugosa	$47 \leq \text{VRD} \leq 54$
Rugosa	$55 \leq \text{VRD} \leq 75$
Muito rugosa	$\text{VRD} > 75$

Os ensaios foram realizados em diferentes posições, na trilha de Roda Interna e Externa, e no eixo das pinturas de sinalização de cada faixa de tráfego. Observaram-se marcas de pneu durante a execução dos ensaios, deixados na pista. A Figura 68 (b) mostra o ensaio sendo executado em campo, no trecho experimental, no pavimento previamente molhado.

Estes valores são utilizados para pavimentos e não costumam ser utilizados como referência para pinturas de sinalização viária, porém entende-se que valores de VRD baixos podem provocar escorregamentos ou deslizamentos quando utilizados em travessias de pedestres ou mesmo quando as rodas dos veículos ficam sobre as demarcações horizontais. Os valores ainda podem indicar o desgaste da pintura de sinalização.



(a)



(b)

Figura 68 – (a) imagem do equipamento com o braço munido de sapata com borracha e (b) Levantamento de Microtextura nas faixas experimentais da pesquisa

8.3.2.1 Resultados

Na Tabela 07 apresentam-se os resultados do levantamento de campo do atrito feito com o Pendulo Britânico. Os ensaios foram realizados na Trilha de Roda Externa, no Eixo e na Trilha de Roda Interna nas faixas de tráfego do pedágio.

Tabela 07– Classificação de VRD – Valor de Resistencia a derrapagem.

	Resumo - VRD																	
	Aceleração									Desaceleração								
	Faixa 14			Faixa 13			Faixa 12			Faixa 11			Faixa 10			Faixa 09		
	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI	T R E	Eixo	TRI
01A - 3/7				47	35	45				39	33	33				38	37	44
02A - 3/7	41	40	45				47	35	42				36	34	34			
02A - 5/5				46	40	44				39	39	30				35	36	37
02A - 5/5	41	42	41				43	36	42				34	34	34			
01B - 5/5				46	39	44				45	27	40				36	43	39
02B - 5/5	42	41	42				45	37	46				34	37	35			
02B - 3/7				42	34	40				31	27	37				32	35	35
01B - 3/7	37	38	37				38	37	40				35	37	36			
01C - 5/5				46	37	45				41	36	39				36	35	35
02C - 5/5	42	36	41				41	35	39				35	37	38			
02C - 3/7				45	36	38				35	35	35				36	35	35
01C - 3/7	44	40	39				41	36	40				34	33	35			
Veic. 1*	396585			445.489			481.803			669.677			480.361			478.987		
Veic. 2**	224.796			396.585			151.686			163.348			153.374			197.453		
Total***	621.381			672.071			633.489			833.025			633.735			676.440		

*Eixos de Veículos de passeio e moto; ** Eixos de Caminhões e demais veículos; *** Total de eixos contabilizados de acordo com o item 8.2.

Valores menores significam uma superfície mais lisa, ou Insuficientemente Rugosa. A faixa de tráfego 09 apresenta valores de VRD (Valor de Resistência à Derrapagem) menores quando comparados com a Faixa de tráfego 11 e 13 – Figura 69, embora esta faixa apresente um tráfego mais elevado.

A desaceleração e o tipo de tráfego das faixas de tráfego 09 e 11 influenciam o desgaste da pintura e, consequentemente, torna a pintura mais lisa e reduz o atrito.

A Figura 70 (i) e (ii) mostra a marca de frenagem e borracha na pintura, observado pouco tempo após a pintura, o que permite entender a intensidade da solicitação da frenagem (desaceleração).

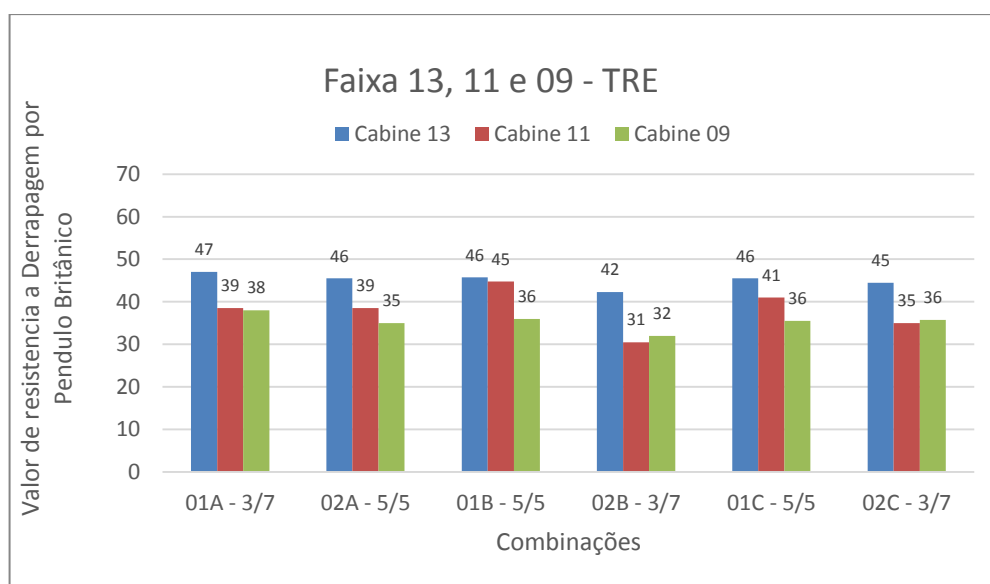


Figura 69- Microtextura em função do VRD – Faixas 13, 11 e 09- TRE

A Figura 71 mostra os valores de VRD - Valores de Resistência à Derrapagem nas faixas de tráfego 14,12 e 10. Os valores da Faixa de Tráfego 10 são menores em todas as pinturas, ou seja, o desgaste é maior para esta faixa de tráfego. A desaceleração tem mostrado a efetividade das pinturas, no sentido de resistência ao desgaste.



i) Faixa de Tráfego 09 com 10 dias após execução da pintura

ii) Faixa de Tráfego 10 com 15 dias após construção

Figura 70 – Frenagem ou desaceleração nas pistas norte – Faixas 09 e 10

Variações entre as faixas 14 e 12 são decorrentes do tipo de tráfego. A faixa 12 possui mais veículos leves, logo, a solicitação e desgaste nesta pista não são intensificados, justificando os valores de VRD serem maiores.

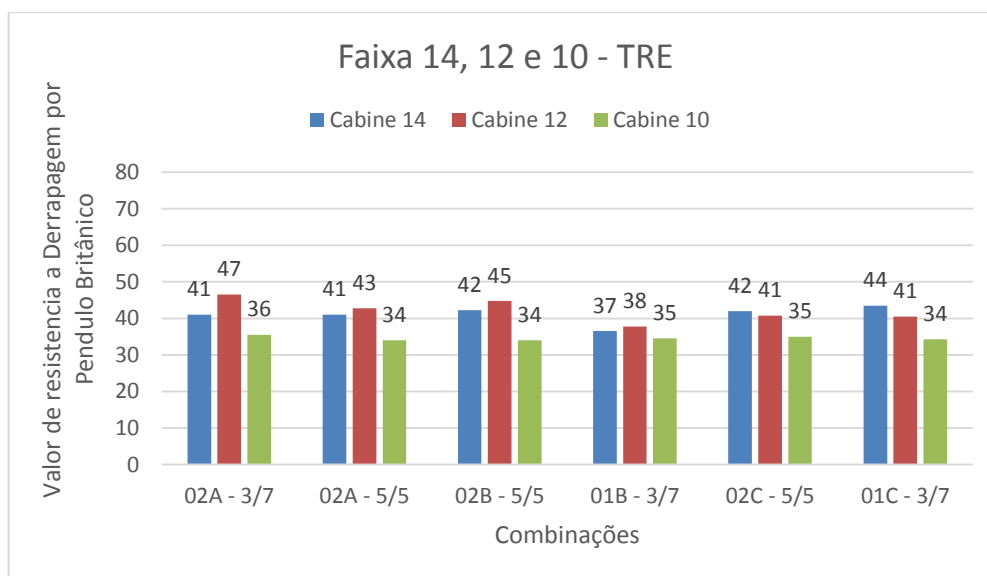


Figura 71 - Microtextura em função do VRD – Faixas 13, 11 e 09- TRE

É possível verificar os demais gráficos referentes à Microtextura de cada faixa no **Anexo 2**.

9. Curvas de Desgaste da sinalização horizontal

Foram estudados o desgaste das sinalizações a depender do tráfego e sentido do mesmo. A estrutura de discussão e considerações serão feitas em função das três marcas de microesferas, das diferentes

taxas de aplicação da mesma, e das duas marcas de Tintas; além disso se estão entre Trilhas de Roda ou no Eixo (entre trilhas onde há pouca solicitação); Geometria de 15 e 30m de medida da retrorrefletividade; Aceleração e Desaceleração do tráfego.

9.1 Desempenho das Microesferas

Nesta pesquisa, como já foi explicado anteriormente, foram utilizados 3 fornecedores diferentes de microesferas. Aqui, estão denominadas como:

- Microesfera A;
- Microesfera B;
- Microesfera C;

As figuras 72 e 73, apresentam as curvas de desgastes, comparando o desempenho das microesferas para a Taxa de aplicação 50/50 (50% II-A/ 50% II-A). A Figura 72 apresenta os resultados com as microesferas com a Tinta 01, e a Figura 73 apresenta as microesferas com a Tinta 02, ambas para a mesma Faixa de Tráfego e Geometria de 15m.

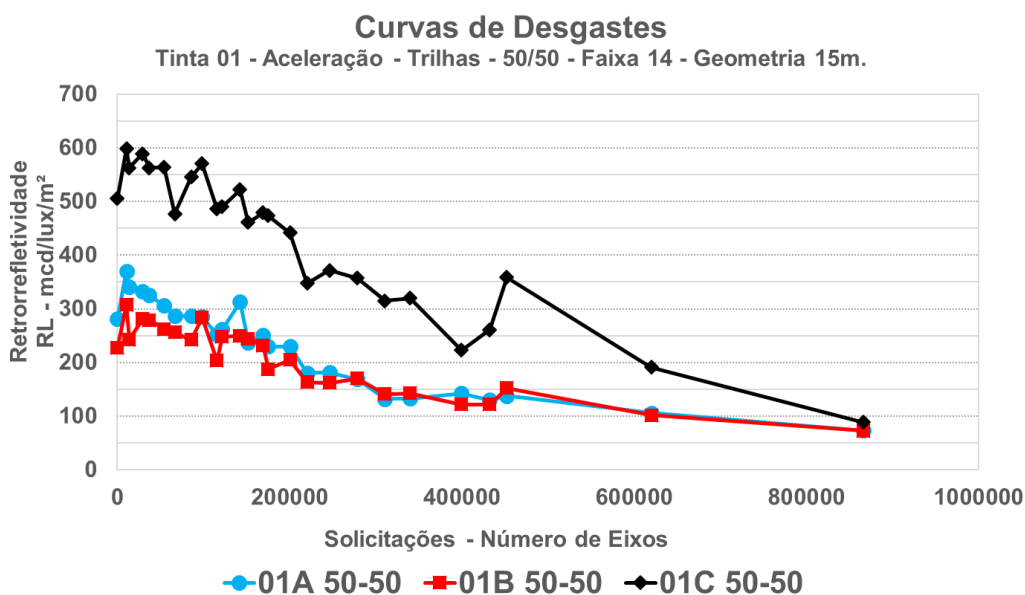


Figura 72– Desempenho Microesferas – Tinta 01 – Faixa 14 – TRE

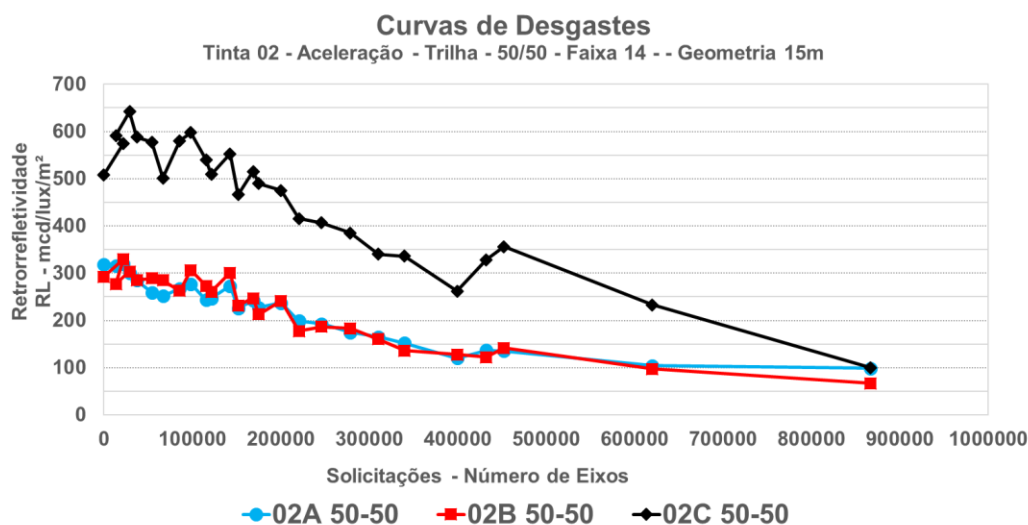


Figura 73– Diferentes Proporções de Microesferas Tinta 02 – Faixa 12 – TRE

A Microesfera C, para todas as condições deste experimento, obteve o melhor desempenho inicial quanto à retrorefletividade. No entanto, é aquela que apresenta maior taxa de decréscimo com as solicitações de tráfego, chegando a igualar praticamente em resultado após a passagem de cerca de 900.000 eixos. É importante ressaltar que a sinalização está, neste experimento, em situação que provoca sua solicitação imperativa por todos os veículos, o que não ocorre na realidade na sinalização horizontal paralela ao eixo da pista, pois a cobertura pelos pneus é muito menos provável que no experimento realizado.

As Microesferas A e B apresentaram comportamento similar, com valores de RL (retrorefletividade) próximos. Em algumas situações ocorrem sobreposições, como é possível verificar na Figura 73, e em outras situações a Microesfera A, apresenta uma sutil diferença, com retrorefletividade acima daquela da Microesfera A – Figura 72; em outras situações ocorre o contrário. Porém, estas variações não apresentaram um padrão constante. Deste modo, atribui-se um comportamento similar entre as microesferas A e B neste quesito de solicitação pelos eixos.

Tal comportamento e distinção entre as Microesfera A e B, com a Microesfera C, pode ser atribuído a uma das características das microesferas – a esfericidade. Como parte da caracterização dos materiais, foi realizado por meio do equipamento Camsizer[®] a avaliação dos parâmetros da esfericidade das partículas das microesferas. Os resultados e discussões estão apresentados no item 7.1. A microesfera C, apresentou melhores resultados e curvas mais uniformes, com uma grande quantidade de partículas com esfericidade acima de 0.7. Ou seja, além das microesferas C serem

mais esféricas, demonstram mais homogeneidade de valores. As granulometrias do Tipo II – A das microesferas A e B também apresentaram uma quantidade considerável de partículas com esfericidade abaixo de 0.6, o que ajuda a explicar os valores mais baixos de RL, se comparados com a microesfera C. Discussões sobre as variações quanto à esfericidade dos materiais podem ser vistas no item 7.1.

Os picos de oscilações são acompanhados para todas as condições apresentadas. Estas oscilações podem estar associadas às intempéries, como chuva e, conseqüentemente, limpeza superficial da pintura. Este fato também foi observado por Salles *et al.* (2015) onde foram associados a tais oscilações a interação dos pneus com a chuva, removendo a sujeira depositada sobre a pintura, fazendo com que as microesferas fiquem novamente com a superfície limpa e possam aumentar a retrorrefletividade à luz. O efeito abrasivo (remoção da sujeira) ocorre após a chuva, potencializando a limpeza nas pinturas de sinalização horizontal. Pode-se observar os picos de pequenos aumentos durante o experimento, que foi rigorosamente realizado sempre nos mesmos locais.

Os demais gráficos estão apresentados no **Anexo 3** – Curvas de Desgastes, para cada Faixa (ou cabine) - Comparação entre Microesferas A, B e C.

9.2 Desempenho das Diferentes Taxas de Aplicação de Microesferas

Sobre as pinturas de sinalização viárias, foram utilizadas duas combinações de microesferas:

- Taxa de Aplicação 30/70 (30% - II-C/ 70% - II-A);
- Taxa de Aplicação 50/50 (50% - II-A/ 50% - II A – mesma microesfera, porém por dupla aspersão).

A Figura 74 apresenta o comparativo entre as duas proporções para a Microesfera A. A Figura 75 apresenta o comparativo para a microesfera B, e a Figura 76 apresenta para a Microesfera C, todas para a Tinta 02 - Faixa 09 e Geometria de 15m.

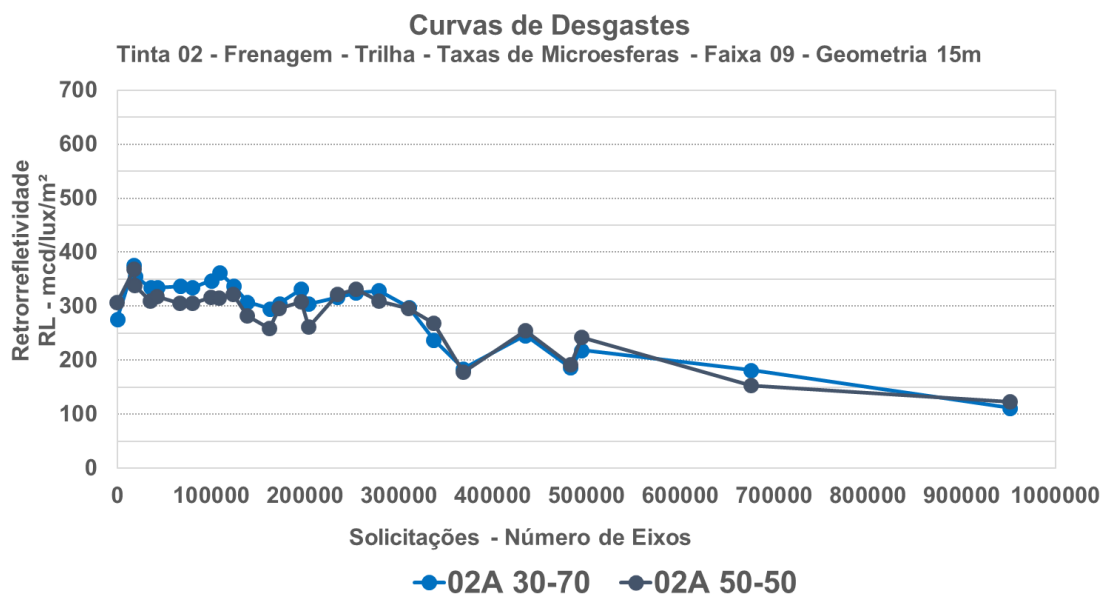


Figura 74 – Comparativo de Taxas de Microesfera - A – Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m

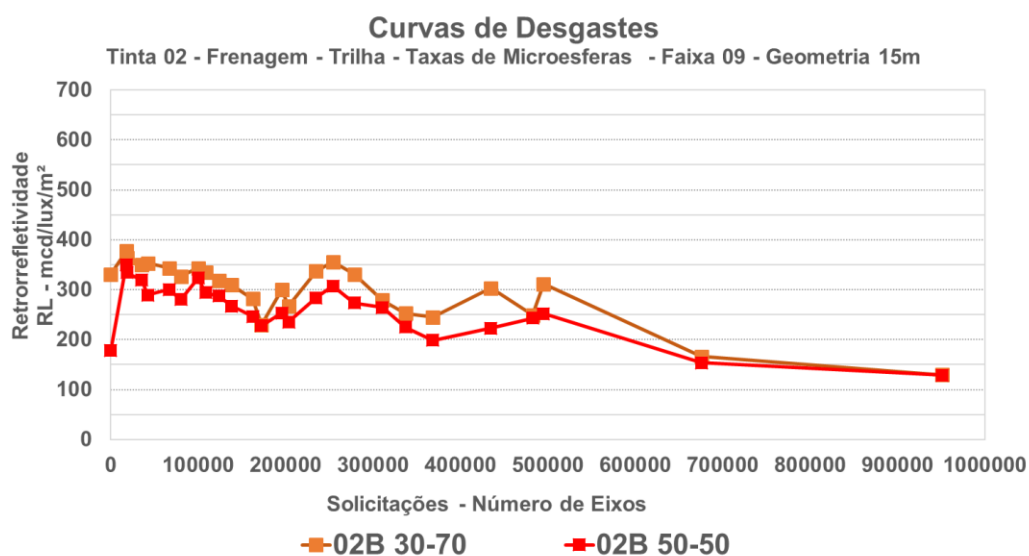


Figura 75 Comparativo de Taxas de Microesfera - B – Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m

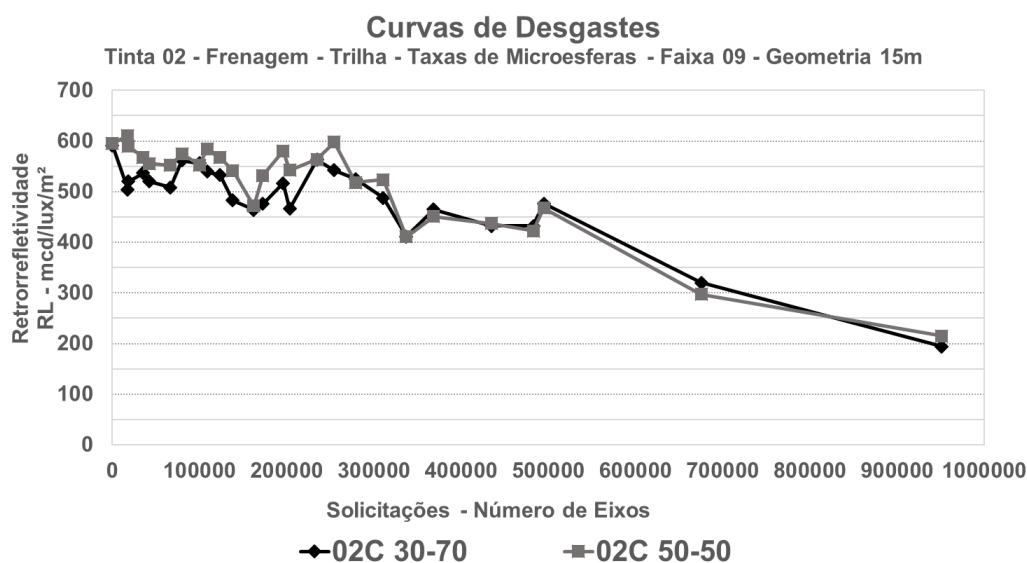


Figura 76 - Comparativo de Taxas de Microesfera - C- Faixa 09 – Trilha - Geometria de 15m

As duas proporções apresentam resultados semelhantes, não sendo tão evidente ou discrepante os valores de retrorrefletividade para as diferentes taxas de microesferas. A microesfera B apresenta uma diferença de retrorrefletividade vinculada à taxa, sendo maior para a proporção de 30-70 (30% - II-C/ 70% - II-A), isto ocorre para todas as faixas e condições. A microesfera C mostra resultados levemente maiores no início do experimento para taxas 50-50, contrariando o resultado encontrado com a esfera B. Ou seja, para melhor discutir as taxas, muitas outras análises e experimentos devem ser feitos para garantir que as taxas mudam positivamente os resultados.

As microesferas A não demonstram essa diferença nos valores de retrorrefletividade, sendo que por ação do tráfego (desgaste da pintura), ocorrem oscilações entre as duas taxas de proporções de microesfera, ora a proporção 50-50 (50% II-A; e 50% II-A) evidencia valores de retrorrefletividade mais altos, ora a proporção 30-70 (30% - II-C/ 70% - II-A). As duas proporções de microesfera apresentaram curvas de desgastes semelhantes, apresentando a mesma tendência de perda de retrorrefletividade.

Há uma tendência, que outros experimentos devem confirmar que estatisticamente sejam diferentes, da retrorrefletividade ser maior na proporção 30-70 (30% - II-C/ 70% - II-A). Esta taxa mostra uma maior diferença granulométrica entre as microesferas. Microesferas maiores expõem maior área para recebimento de luz, e consequentemente, tem uma retrorrefletividade maior. As microesferas do Tipo II-A são menores que as microesferas do Tipo II-C. Logo, esta leve tendência da

proporção 30-70 apresentar uma retrorrefletividade maior, é devido à variação da granulometria com apenas 30% da microesfera do Tipo II-C.

Os demais gráficos estão apresentados no **Anexo 4 – Curvas de Desgastes**, para cada Faixa.

9.3 Desempenho das Tintas

Foram utilizadas neste experimento tintas à base de água (tinta de Resina acrílica emulsionada em água – NBR 13699:2012) de dois fornecedores diferentes, sendo consideradas tintas ambientalmente adequadas, pois possui uma menor capacidade poluidora dada à redução do VOC (Componentes Orgânicos Voláteis), e têm sido largamente utilizadas no Brasil. Como já foi citado anteriormente, estão sendo denominadas:

- Tinta 01; e
- Tinta 02.

Nas Figuras 77, 78, e 79 estão apresentadas as curvas de desgaste para as diferentes tintas com as Microesferas A, B e C, respectivamente; todas na Faixa 11 - Geometria de 15 m e taxa de microesfera de 50/50 (50% II-A; e 50% II-A).

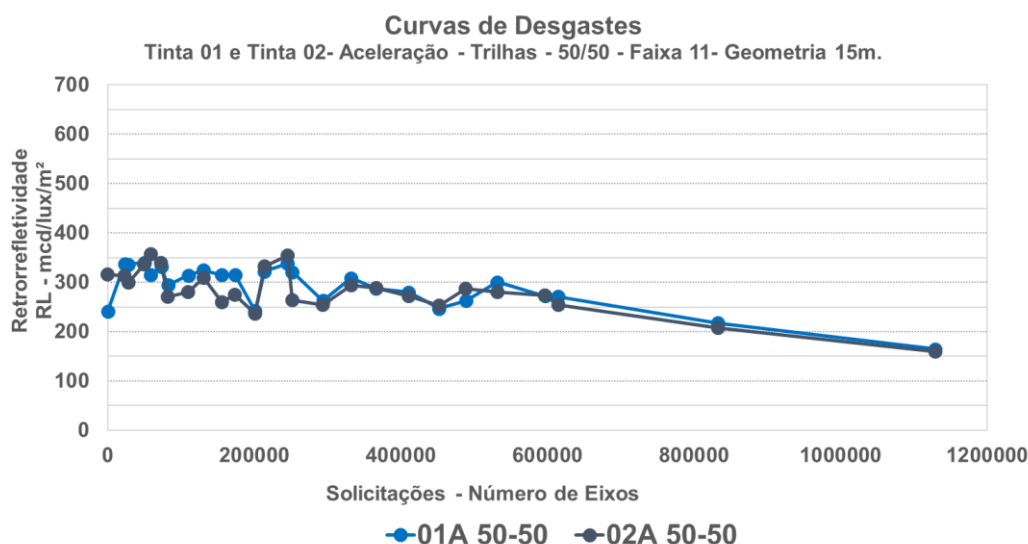


Figura 77 – Comparação entre tintas 01 e 02, com as Microesferas A – Faixa 11 – solicitação nas Trilhas – 50-50

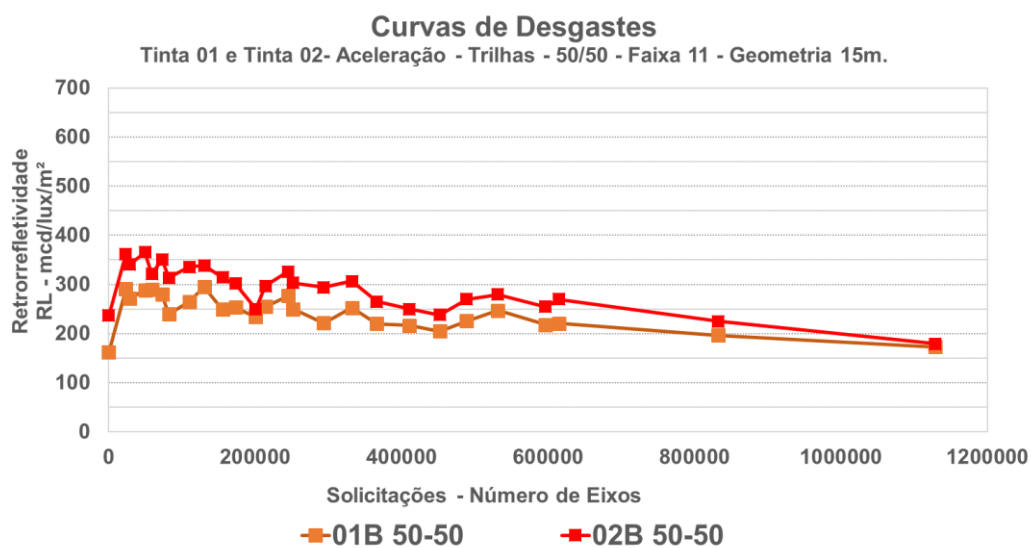


Figura 78 - Comparação entre tintas 01 e 02 com as Microesferas B – Faixa 11 – Trilhas de roda – 50-50

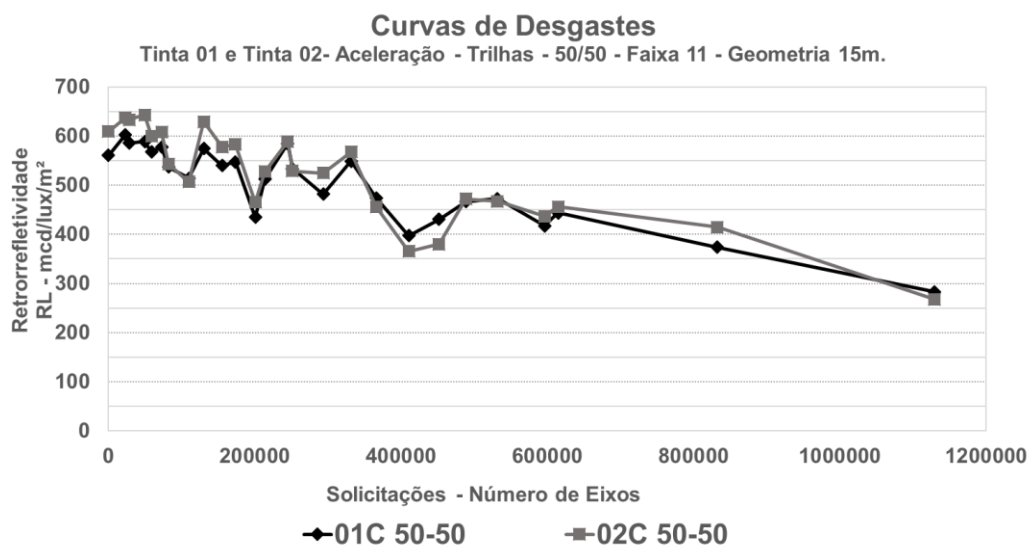


Figura 79 - Comparação entre tintas 01 e 02 com Microesferas C – Faixa 11 – Trilhas de roda – 50-

50

Observa-se uma pequena tendência de retrorefletividade maior para a Tinta 02, sendo possível observar nas Figuras 78 e 79, porém o mesmo não se mostra na Figura 77, cuja performance da tinta 01 apresenta um leve aumento da retroreflexão. As diferenças devem ser, no entanto, mais estudadas para compreender a capacidade de ancoragem das microesferas.

Para todas as faixas de tráfego e condições, este aumento pequeno da tinta 02 frente à tinta 01 fica mais evidenciado com a Microesfera B. Ocorrem oscilações quanto à tinta que apresenta um melhor desempenho para as demais Microesferas (A e B).

Como já foi visto anteriormente a tinta também é responsável pela ancoragem da microesfera e as curvas de desgastes demonstram uma mesma tendência para ambas às tintas, ou seja, as tintas apresentam um mesmo padrão de desgaste, logo, a aderência entre a tinta e microesfera são muito próximas tanto para a Tinta 01 e Tinta 02. Do contrário, as curvas iriam apresentar tendências diferentes, e uma queda da retrorrefletividade diferente da outra, devido à perda de microesferas. Isto pode ser visto no experimento realizado. É necessário observar sem o tráfego incidindo diretamente nas faixas para melhor compreender a ancoragem sob ação de intempéries.

Evidencia-se também que os padrões de oscilações da retrorrefletividade se mantêm para as diferentes combinações.

Os demais gráficos estão apresentados no **Anexo 5 – Curvas de Desgastes**, para cada Faixa.

9.4 Comparação entre Geometria de 15 e 30m

Nas leituras realizadas em campo com o retrorrefletômetro, foi possível obter retrorrefletividade de 15 e 30 metros, que simulam a distância de visibilidade noturna. A diferença entre as duas geometrias é referente ao ângulo de entrada e observação da luz emitida pelos faróis dos veículos, que correspondem à posição do farol e o posicionamento do motorista, respectivamente. A geometria de 15m corresponde a um ângulo de observação de 1,5° e de incidência de 86,5°; a geometria de 30m corresponde ao ângulo de observação de 1,05° e a um ângulo de incidência de 88,76°. Este fenômeno é abordado no item 5.2 - Geometria - Fenômeno da Retrorrefletividade.

As Figuras 80, 81 e 82 apresentam a retrorrefletividade das Microesferas A, B e C, respectivamente, comparando Geometria de 15 e 30m nas mesmas condições: Faixa 10, Tinta 01 Proporção 50/50 (50% II-A; e 50% II-A).

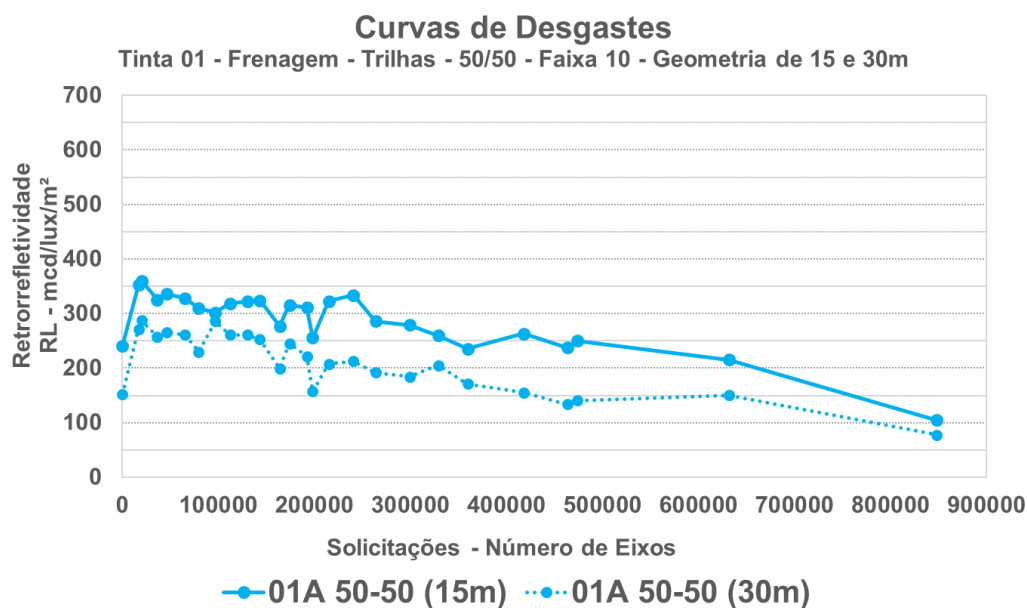


Figura 80 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera A – Faixa 10 – Trilha – 50-50

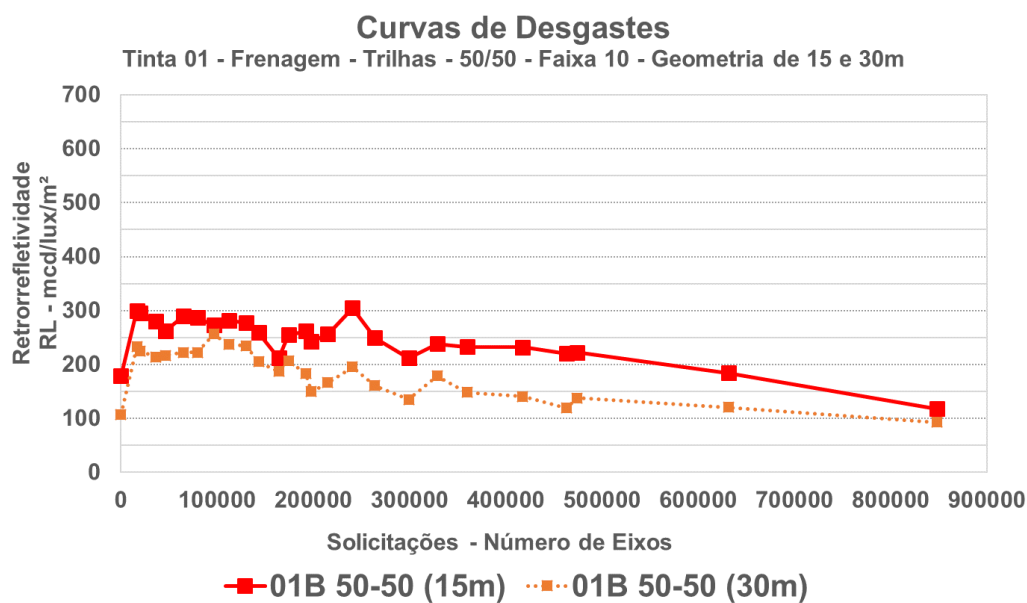


Figura 81 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera B – Faixa 10 – Trilha – 50-50

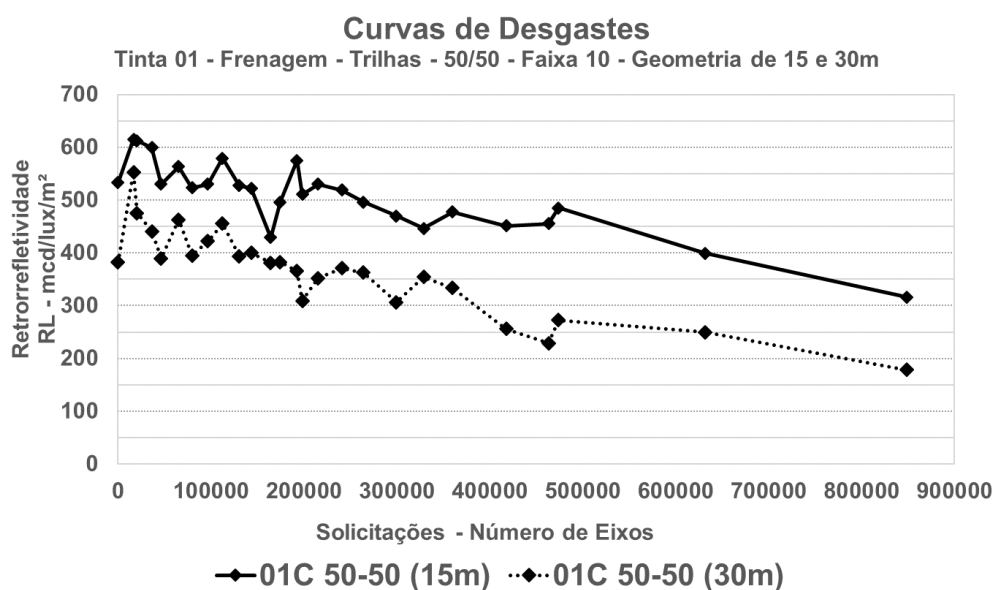


Figura 82 - Comparação entre Geometria de 15 e 30m - Microesfera C – Faixa 10 – Trilha – 50-50

A geometria de 30 metros apresenta valores abaixo da geometria de 15m para todas as condições, fato este esperado. Os valores de retrorefletividade para cada condição de 30m seguiram a mesma tendência de oscilações que a retroreflexão de 15m para todas as condições.

A Microesfera C apresenta valores de RL de 30m acima dos valores de RL de 15m obtidos para as Microesfera A e B. Desta forma, pode-se garantir que a microesfera C, inicialmente, apresenta melhor desempenho, para as duas geometrias, o que corresponde em campo a um bom desempenho para diferentes veículos (altura do farol) e distância de visibilidade da pintura. Já as microesferas A e B apresentam valores relativamente baixos para retrorefletividade de 30m. Observe-se também que apresentam uma menor diferença entre a retrorefletividade de 15 e 30m, quando comparados com a Microesfera C, que apresentam valores de RL de 15 e RL de 30m com grandes diferenças. Deve-se analisar com mais detalhes porque com maior esfericidade, as microesferas C apresentam maior diferenças nas leituras para 15 e 30 metros de distância do observador.

A distância de visibilidade é um fator importante para a segurança na via, sendo assim, pode-se afirmar que valores de RL de 30m mais elevados são favoráveis à segurança na via, contribuindo para que a informação necessária seja observada a uma maior distância e, conseqüentemente, ofereça um maior tempo para a tomada de decisão.

Os demais gráficos estão apresentados no **Anexo 6 – Curvas de Desgastes**, para cada Faixa.

9.5 Aceleração e Frenagem – Considerações sobre o tráfego e sua velocidade

Observando a tendência das curvas para cada faixa de pedágio (entre pista norte e pista sul) observou-se que a Microesfera C, embora apresente valores de RL elevados, também demonstra uma perda acentuada da retrorrefletividade quando comparadas com as Microesferas A e B, conforme visto anteriormente e já comentado.

Há três fatores relevantes a serem examinados: o número de eixos que solicitam a sinalização, o efeito do atrito dos pneus sobre estas esferas na aceleração ou desaceleração, e a adesividade das microesferas às tintas empregadas. Os três fatores se relacionam. O primeiro fator é relevante no sentido de solicitação dos pneus (quantos passam sobre a sinalização). Como a cabine de pedágio canaliza o tráfego, foi tomada por hipótese que a cobertura/passagem é uma relação 1,0, ou seja, 100% dos veículos que passam, solicitam a sinalização no mesmo local, o que é uma aproximação, pois as sinalizações mais distantes das cabines sofrem uma menor probabilidade de cobertura de 100%. Este é o caso da microesfera C, que na realidade pode ter sido até menos solicitada de forma acumulada por eixos que as demais, pois o espreadimento de solicitação nas trilhas é maior.

O segundo fator está relacionado ao arrancamento pelos pneus nos eixos direcionais, que podem gerar esforços adicionais ao girarem sobre as sinalizações nas acelerações, tal como ao deslizarem e girarem sobre as sinalizações na desaceleração (frenagem). A adesão na interface entre a superfície da microesfera e as tintas devem ser melhor estudadas e será escopo de próxima pesquisa a ser proposta.

9.5.1 Tráfego: número de eixos solicitantes

Para analisar o número de eixos que solicitam as sinalizações, foram coletados dados das cabines e acumulados por leitura no campo. Estes dados considerados para as cabines 11 e 14 estão sintetizados na Tabela 7.

Tabela 07 - Composição do Tráfego para as faixas 11 e 14

Faixas	Tráfego acumulado em eixos		
	Carro de Passeio + Moto (Categoria 01 e 09 - Tráfego Leve)	Caminhões (Demais Categorias)	Total de Eixos
Aceleração Faixa 14	570.491	295.980	866.471
Frenagem Faixa 11	921.860	207.119	1.128.979

As Figura 83, Figura 84 e 85 apresentam as comparações para o tráfego das Faixa 14 e 11, para as Microesferas A, B e C, respectivamente.

A faixa 11 apresenta uma perda de retrorrefletividade menor quando comparada com a Faixa 14, embora o tráfego da faixa 11, em número de eixos seja maior. Porém a composição do tráfego influencia diretamente no desgaste na pintura de sinalização.

É possível observar que embora a Faixa 11 tenha um tráfego maior, com um total de número de eixos de 1.128.979, a perda de retrorrefletividade não foi tão acentuada, pois os valores de RL ainda estão bem acima, quando comparados com a Faixa 14 de um tráfego em número de eixos menor - Total de 866.471 eixos. A Tabela 07 faz um comparativo entre a composição do tráfego, sendo a Faixa 14 mais solicitada por caminhões - tráfego pesado a muito pesado. Pode-se considerar que um dos efeitos relevantes seja o fato de o desgaste provocado por caminhões ser mais intenso que o desgaste provocado por veículos de passeio. A faixa 14 apresenta 1/3 a mais de caminhões que a faixa 11, o que explica em parte esta perda de retrorrefletividade. Ou seja, os eixos mais carregados devem ocasionar um maior dano às sinalizações.

Porém o desgaste da sinalização continua mais acentuado para a Microesfera C, com uma tendência muito maior de perda de retrorrefletividade - Figura 85, observada por uma queda mais brusca dos valores. Observa-se também uma maior oscilação dos valores para a microesfera C, que pode estar relacionada à dispersão de solicitação na área da trilha de roda (cobertura/solicitação ser menor que 1,0). Esta consideração ficou difícil de ser feita, pois o efeito de cobertura sobre as sinalizações ficou diferente por microesfera.

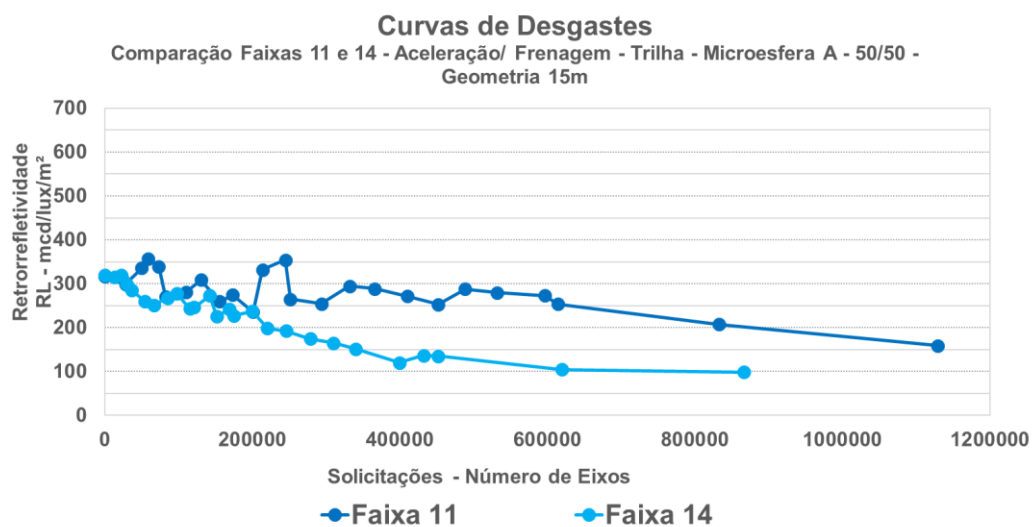


Figura 83 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera A

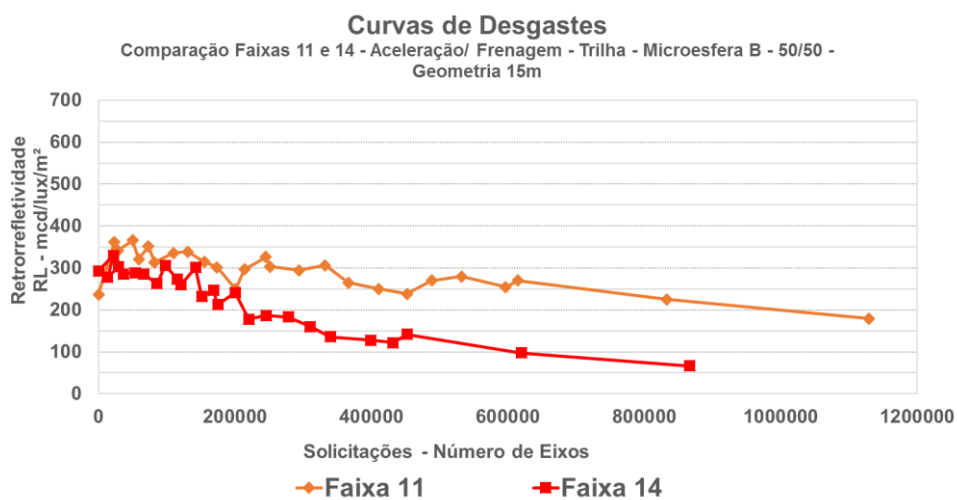


Figura 84 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera B

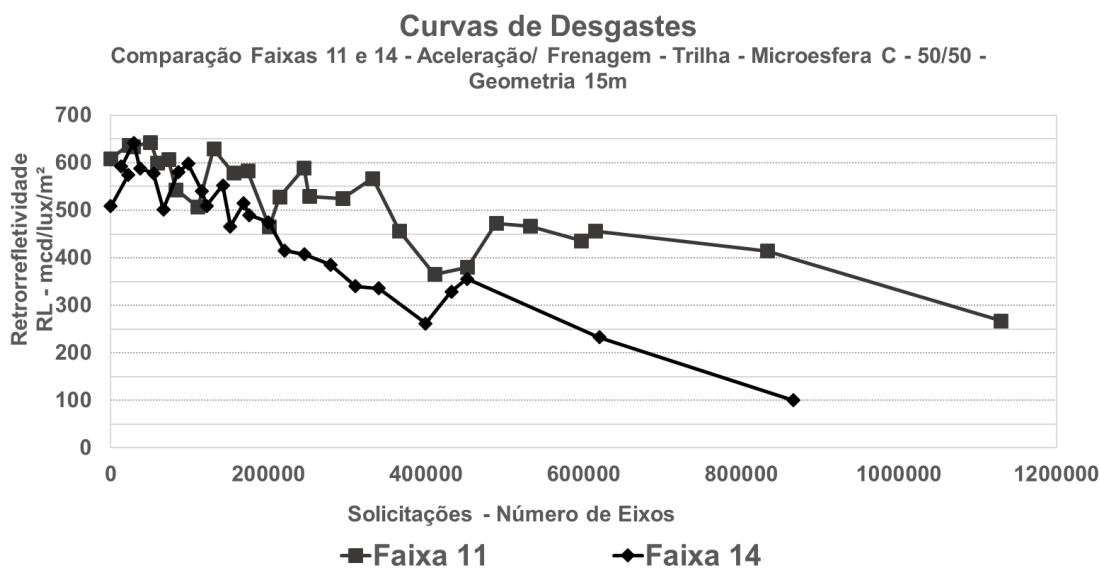


Figura 85 - Comparação desgastes entre diferentes faixas de tráfego (FRENAGEM na faixa 11 e ACELERAÇÃO na faixa 14) - Microesfera C

9.5.2 Velocidades (aceleração e frenagem)

A influência da velocidade sob a microesfera em questão foi considerada no sentido de analisar se na frenagem ou na aceleração há efeitos diferentes. Na Figura 86, pode-se observar a posição das pinturas de sinalização horizontal na aproximação ou distanciamento da praça de pedágio. A Microesfera C está mais distante das cabines, o que leva a considerar que sofra mais diretamente ação da velocidade tanto na chegada dos veículos pela Pista Sul (Faixas 09, 10 e 11), quanto na saída do pedágio na Pista Norte (Faixas 14, 13 e 12).

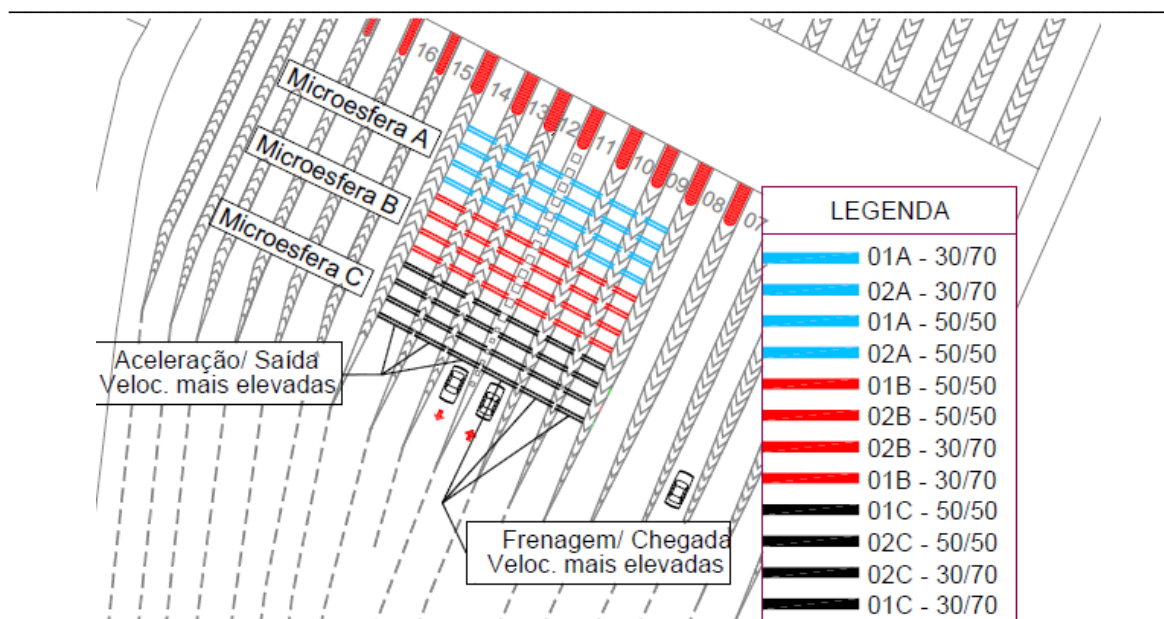


Figura 86 - Configuração da Aceleração e Frenagem sob a Microesfera C

A fim de avaliar a velocidade tanto da aproximação na chegada ao pedágio (frenagem); quanto na saída da praça (Aceleração), em campo, foi medido com uma pistola radar portátil, as diferentes velocidades para os diferentes veículos nas faixas de tráfego do Pedágio. O funcionamento da pistola é simples: foca-se na direção do veículo para que a medição seja realizada instantaneamente; sendo possível somente uma leitura por vez.

Para que não houvesse influência no comportamento do motorista ao visualizar a medição da velocidade através da pistola radar, as medições em campo foram realizadas em locais estratégicos, de modo que o condutor não visualizasse o técnico fazendo a medição. As Figura 87 e Figura 88 ilustram a medição da velocidade sendo realizada.

A Tabela 08, apresenta os valores médios, encontrados de velocidade para as Faixas da Pista Sul - Aceleração e as faixas da Pista Norte - Frenagem. Pode-se observar que na frenagem a velocidade costuma ser maior de entrada nas faixas de desaceleração (Pistas 09,10 e 11). Porém estas faixas nos fins de semanas e horários de pico costumam apresentar acúmulo de veículos para a passagem no pedágio - Figura 89. A Figura 87 mostra um acúmulo de veículos parados na faixa, o que não permitiu a leitura de velocidade nestas ocasiões. Ou seja, em várias oportunidades os veículos estão quase parados.



Figura 87 - Posicionamento do Técnico para medição da velocidade



Figura 88 - Pistola Radar

Faixas		Velocidades na Praça de Pedágio					
		Primeira marca de sinalização Próxima à cabine			Última marca de sinalização distante da cabine		
		Velocidade Km/h	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Velocidade Km/h	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Aceleração	CAMINHÃO	18,2	5,95	33%	29,5	5,73	20%
	CARRO	26,0	3,79	15%	36,6	4,80	13%
	MOTO	29,3	4,63	16%	44,7	6,38	14%
Frenagem	CAMINHÃO	24,5	11,63	47%	33,0	8,24	25%
	CARRO	23,8	6,98	29%	35,7	7,92	22%
	MOTO	31,1	9,51	31%	35,0	9,80	28%



Figura 89 - Trecho Experimental - Tráfego e formação de fila - Pista Norte

A Figura 90, Figura 91, e Figura 92 apresentam a perda da retrorrefletividade em função da velocidade para as faixas de tráfego 14, 13 e 09 respectivamente. É possível observar que ocorre decréscimo significativo da retrorrefletividade em função do aumento da velocidade, explicando em parte o comportamento da Microesfera C. As marcações com a Microesfera A estão posicionadas em locais com velocidades mais baixas, o que pode ter influenciado no desgaste, com um comportamento mais estável ao longo do tempo em relação à perda da retrorrefletividade. As marcações com a Microesfera B estão posicionadas um pouco mais distantes, mas há indicativos que não sofre tanto o efeito desta velocidade ou aceleração/frenagem.

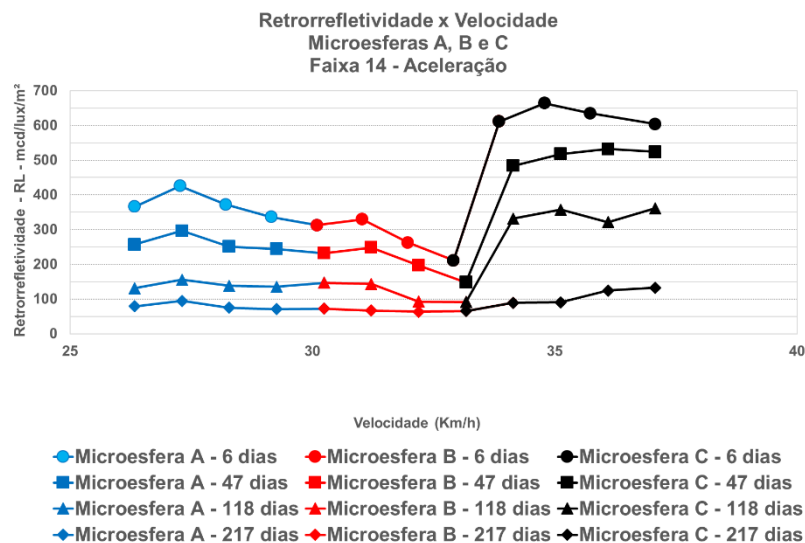


Figura 90 - Retrorefletividade x Velocidade - Faixa 14 - Aceleração

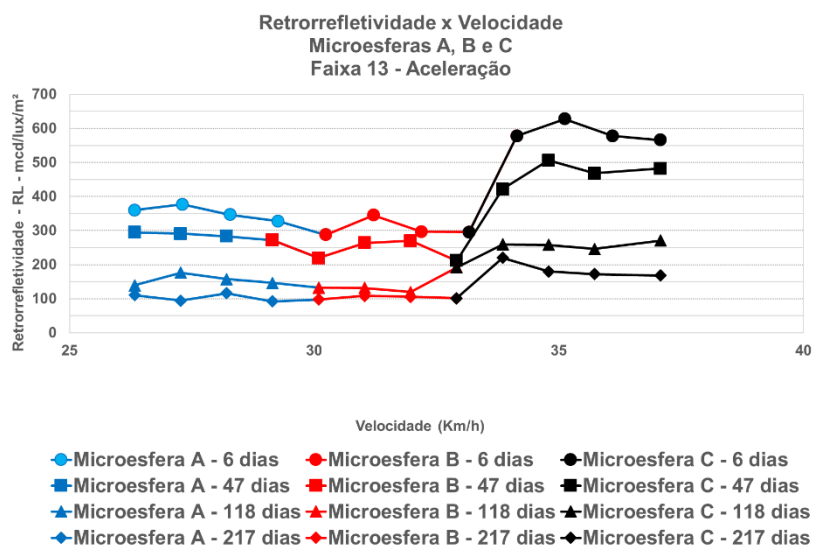


Figura 91 - Retrorefletividade x Velocidade - Faixa 13 - Aceleração

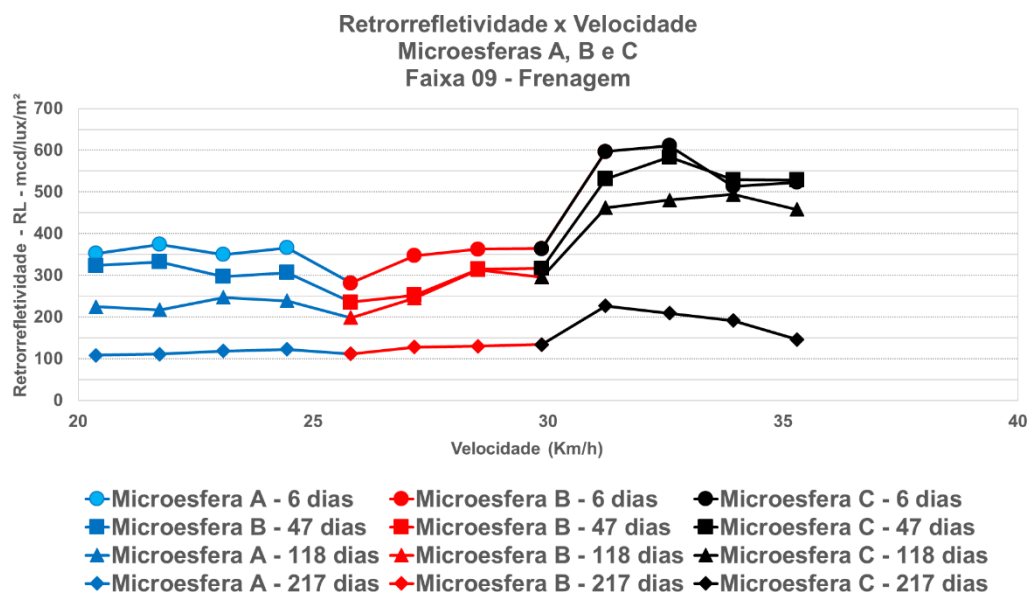


Figura 92 - Retrorefletividade x Velocidade - Faixa 09 - Frenagem

9.5.3 Comparação dos desgastes entre trilha de roda e eixo da faixa de rolamento

As medidas de retrorefletividade de campo foram coletadas na trilha de roda e no eixo de cada pista - Figura 61, a fim de avaliar as variações quanto ao desgaste nestas diferentes posições.

A Figura 93, Figura 94 e Figura 95 apresentam o comparativo entre as Microesferas A, B, e C, respectivamente, para a retrorefletividade no eixo (entre trilhas) e nas trilhas de Roda, todas para a mesma faixa de tráfego, Taxa de Microesfera de 50/50 (50%IIA; e 50% IIA), Tinta 01 e Geometria de 15m.

Embora a passagem no pneu ocorra com pouca frequência no eixo da faixa, o desgaste do eixo seguiu a mesma tendência de decréscimo da trilha de roda.

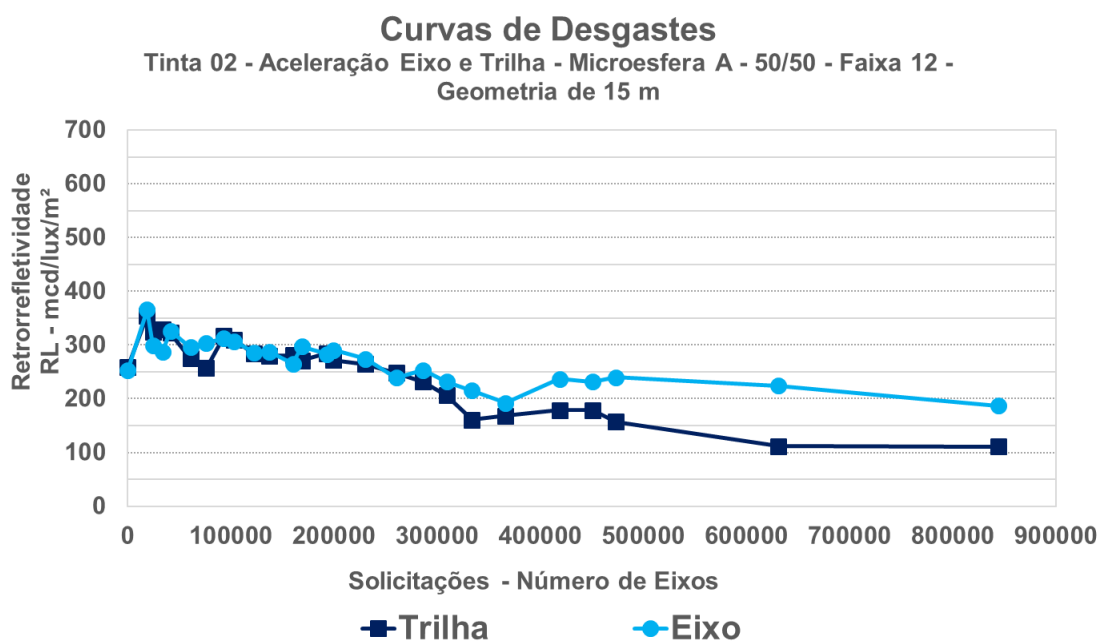


Figura 93 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera A

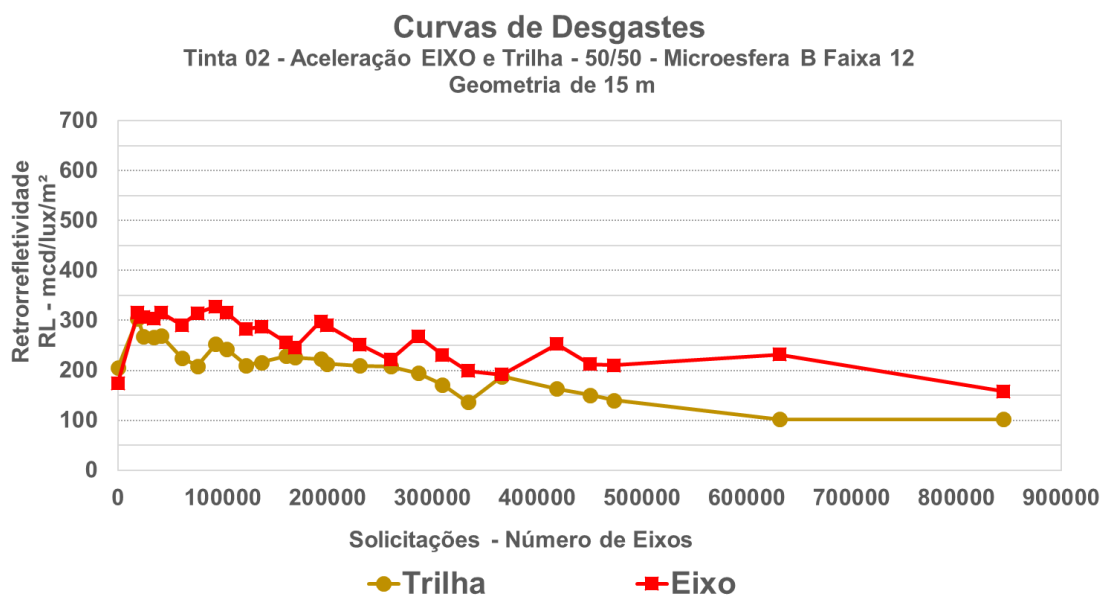


Figura 94 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera B

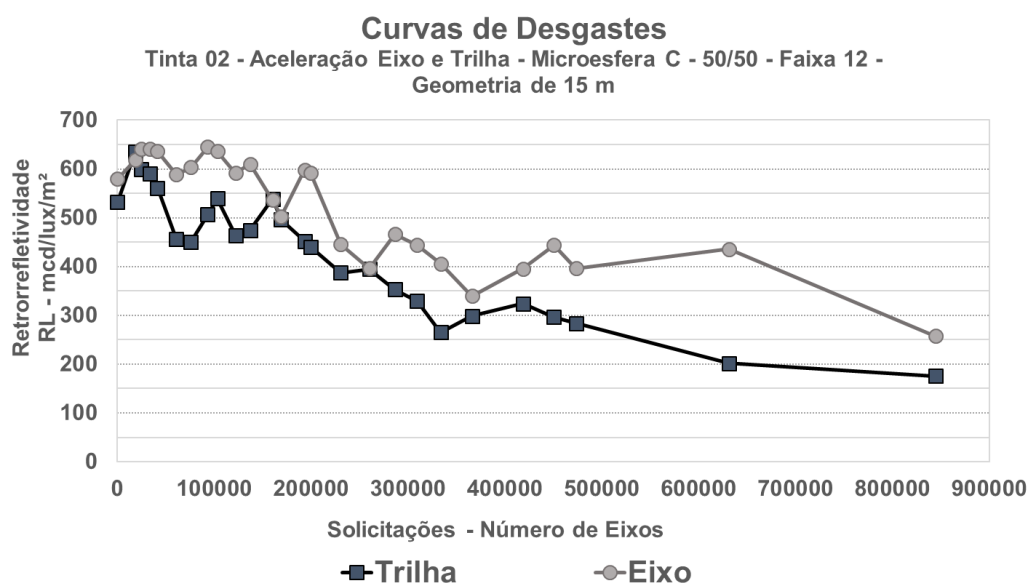


Figura 95 - Comparação entre trilha de roda e eixo - Faixa 12 - Microesfera C

Além do efeito da ação das intempéries o eixo também está sujeito a marcações do óleo que eventualmente caem no pavimento e cobrimento pelos particulados. Nas pistas 09 e 10, onde ocorrem formação de filas, os valores de eixo e trilha seguem a mesma tendência e pouco se diferem entre si. A ação do clima e a deposição de contaminantes (sujeira) parecem ser tão nocivas para a perda de retrorrefletividade quanto o tráfego.

A fim de avaliar a tendência da queda da retrorrefletividade na demarcação viária devido aos fatores exógenos, foram coletados valores de retrorrefletividade em pontos de locais onde não há passagem de pneus de veículos (entre as divisões das cabines (entre faixas) de pedágio), estando sujeitas somente ao intemperismo e cobrimento pelos contaminantes. A Figura 96 apresenta o período de 1 mês de levantamento nas posições mencionadas. A tendência de queda da retrorrefletividade é a mesma para todas condições - Trilha de Roda, Eixo, e Eixo entre faixas (sem tráfego). Os valores de retrorrefletividade nas trilhas de roda, devido à ação combinada do tráfego, das intempéries e contaminantes, são menores para todas as condições estudadas. A posição entre faixas (sem tráfego) mostra que a retrorrefletividade aumenta após 15 dias, o que se deve pela liberação da tinta sobre a superfície de algumas esferas pelo clima. Observa-se que há uma maior tendência de perda da retrorrefletividade com o tempo nas trilhas que entre faixas, demonstrando que a ação do tráfego fica evidenciada nas trilhas. Infelizmente as leituras ficaram prejudicadas após certo tempo, pois várias amostras foram retiradas nestes locais para os ensaios laboratoriais. Este assunto deve ser melhor explorado em pesquisa futura para poder isolar o efeito do tráfego.

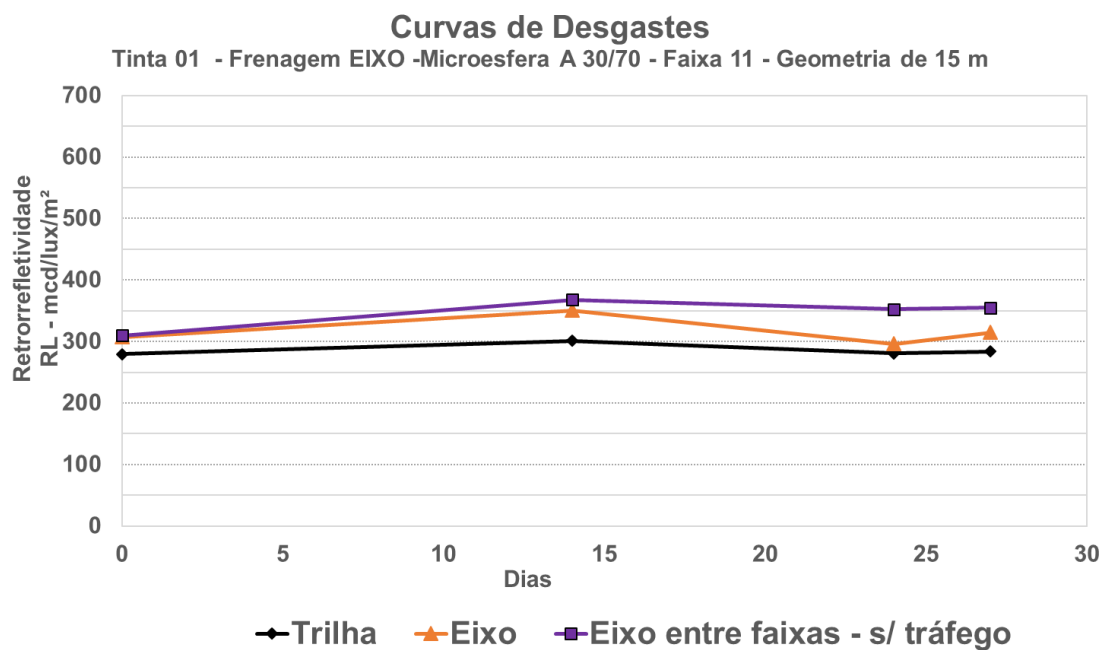


Figura 96 - Comparação trilha, Eixo e Eixo sem tráfego - Tinta 01 Microesfera A

Os demais gráficos estão apresentados no **Anexo 7**– Curvas de Desgastes, para cada Faixa.

10. Laboratório

Para análise da perda da retrorrefletividade em laboratório foram extraídas placas de campo do trecho experimental e feita simulação de desgaste. Procurou-se extrair as placas entre as faixas de pedágio, para garantir que as mesmas não haviam sido solicitadas pelo tráfego, o que prejudicou a avaliação do efeito isolado do tráfego infelizmente.

10.1 Preparação e Extração de Placas

Na Figura 97 estão apresentadas algumas placas extraídas de campo. Nem todas as combinações propostas neste experimento foram analisadas, durante a extração, pois algumas placas foram danificadas, inviabilizando sua utilização em laboratório.



(a)



(b)

Figura 97 – Placas extraídas de campo

Em laboratório, para que as placas pudessem ser ensaiadas no simulador de tráfego – Figura 105, foi necessária a retificação das mesmas nas dimensões do molde do simulador -Figura 98. Para que não houvesse movimentação da respectiva placa dentro do molde, esta foi confinada com uma argamassa de gesso, conforme ilustrado na Figura 99.



Figura 98 - Retificação da placa

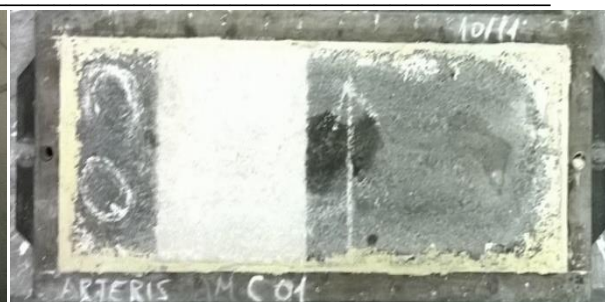


Figura 99 - Preenchimento de argamassa para o confinamento da placa no molde

4.3.3.2. Lavagem da Pintura

As placas que chegaram em laboratório apresentavam manchas e material aderido na superfície que eram oriundas tanto de resíduos da extração, quanto do tráfego – pneu, areia e óleo. Para que pudessem ser ensaiadas no simulador de desgaste, foram lavadas com escova e sabão neutro, para que a areia não fosse um material abrasivo, ou ainda o óleo não viesse a comprometer os resultados obtidos. A Figura 100 apresenta a evolução da retrorrefletividade, antes e após a lavagem.

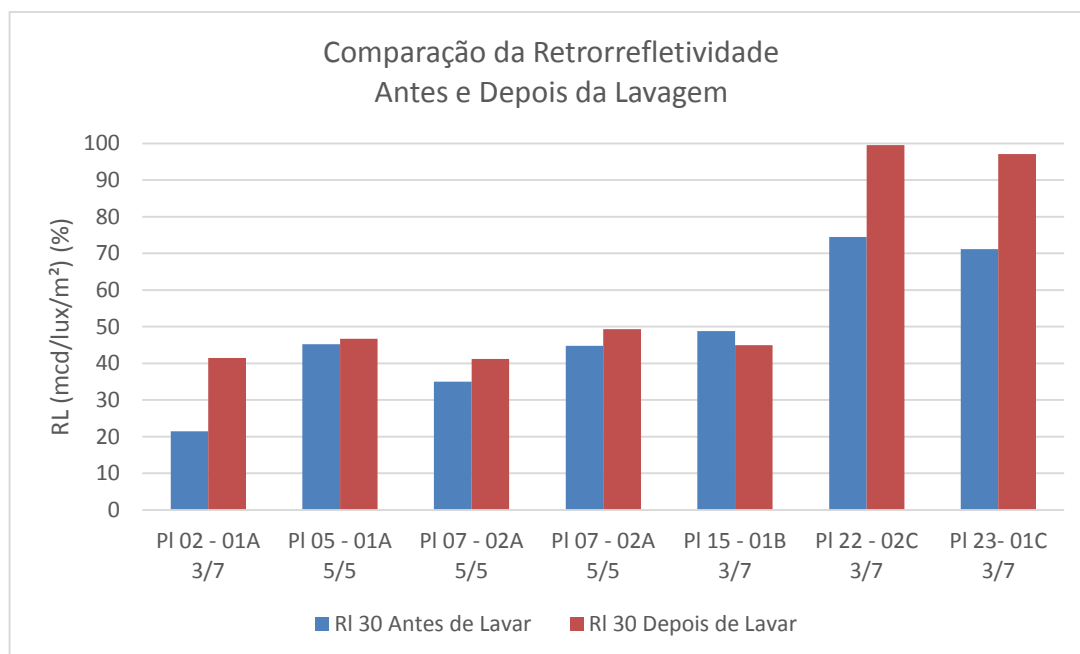


Figura 100 – Comparação da Retrorrefletividade após lavagem

Para todos os casos, exceto o 01B - 3/7 houve um aumento da retrorrefletividade após a lavagem. Este fato já foi observado por Salles *et al.* (2015), onde o efeito do tráfego mais a precipitação mostrou-se benéfico para a pintura de sinalização, pois permitiu uma limpeza natural, e consequentemente um aumento da retrorreflexão nos primeiros momentos. A lavagem ocasiona uma limpeza novamente da superfície das microesferas, o que faz aumentar a retrorrefletividade. A chuva deve ocasionar uma limpeza das superfícies, talvez menos intensa, e explica os pequenos ganhos de retrorrefletividade após estes períodos.

10.2 Ensaios de Laboratório

10.2.1 Caracterização de Superfície – Macro e Microtextura

Com as placas retiradas de campo, foram realizados ensaios de caracterização de superfície, conforme os itens a seguir:

10.2.1.1 Macrotextura

Com as placas extraídas de campo, foram realizados os ensaios de caracterização de superfície, tanto na pintura, quanto no pavimento. A Figura 101, ilustra a realização do ensaio.

Os valores de HS são diferentes dos valores encontrados nas pinturas de sinalização realizadas em campo, pois as placas extraídas estavam posicionadas entre as faixas de tráfego, assim, não haviam sido expostas à ação do tráfego.



Figura 101 – Ensaio para determinação da macrotextura.

Na Figura 102, estão apresentados os valores de Macrotextura das placas de laboratório. Observa-se que o pavimento é mais rugoso, quando comparado com a pintura (Exceto na PL 05 – 01ª – 5/5). A altura da mancha de areia feita nos pavimentos e nas pinturas são similares, com tendência a serem menores nas pinturas, embora não seja sempre uma regra. As macrotexturas das pinturas a

caracterizam como médias, com a altura de mancha no intervalo de 0,40 a 0,8mm. A tendência, no entanto com a simulação é que a macha reduza, fechando a macrotextura devido à solicitação dos pneus.

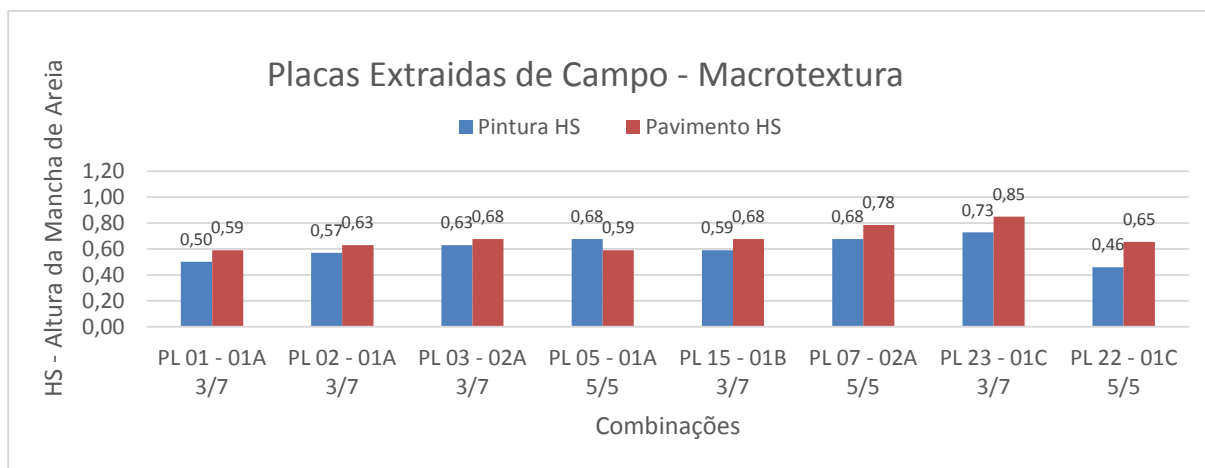


Figura 102 - Macrotextura em função de HS - Placas de laboratório

10.2.1.2 Microtextura

Em laboratório, foram realizados os ensaios de Microtextura com o Pendulo Britânico para medição do Valor de Resistência a derrapagem, tanto no pavimento quanto na pintura, conforme Figura 103.

Os valores de VRD para o pavimento são maiores que sobre as pinturas - Figura 104, pois sobre o pavimento o atrito é dado pelos agregados britados, cuja superfície não é polida. Sobre as pinturas, tem-se as microesferas que funcionam como agregados polidos e, assim, a microtextura terá sempre a tendência de ser menor. Este ponto requer atenção uma vez que, quando os veículos trafegarem sobre a sinalização, principalmente em condição de pista molhada, o atrito fica reduzido. Os valores sobre a pintura são inferiores a 47, limite que se considera para garantir certo atrito para auxiliar na dirigibilidade.



Figura 103 - Ensaio para determinação da microtextura.

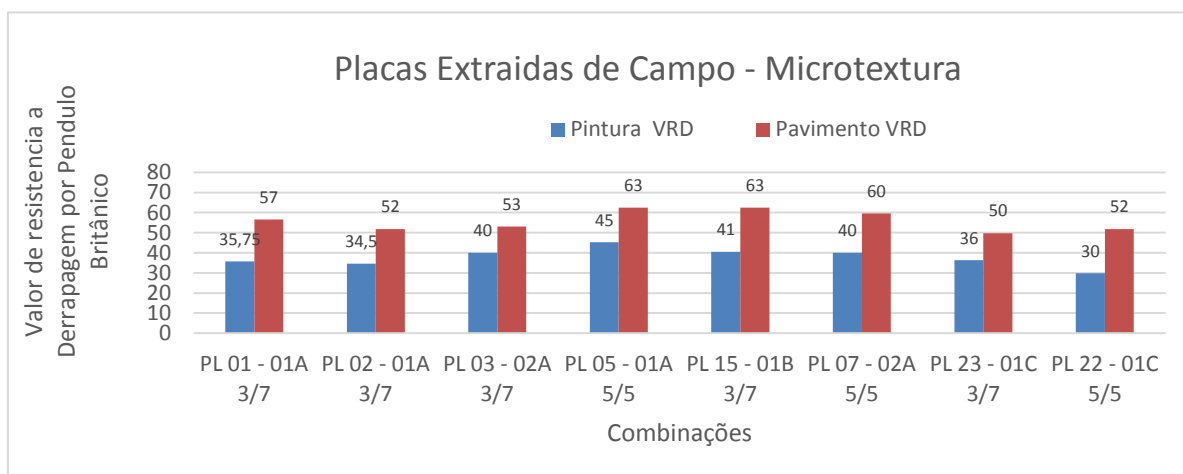


Figura 104 - Microtextura em Função de VRD - Placas de laboratório

10.3 Simulador de Tráfego

Para avaliação da durabilidade da retrorreflexão da sinalização viária, as placas de campo foram submetidas a um simulador de tráfego modelo LPC em laboratório. Este equipamento é composto por um eixo de pneu sob pressão e cargas reguláveis (entre 6 bar e 5000N), onde o pneu rola sobre a placa compactada em ciclos na frequência de 1 Hz, e cada ciclo corresponde a uma ida e uma volta sobre a placa. Deste modo, é possível observar o comportamento da pintura e das microesferas presentes na mesma em função do número de passagens do pneu.



(a)



(b)

Figura 105 – (a) Simulador de tráfego LCP e (b) Placa sendo simulada

10.3.1 Curvas de Desgaste – Simulador de Tráfego - Laboratório

As placas de laboratório foram ensaiadas com o simulador de tráfego, e as medidas de retrorrefletividade aqui apresentadas correspondem à geometria de 15m.

As placas de campo, recebidas no laboratório, apresentavam uma área de pintura menor que a necessária recomendada para uma leitura da retrorrefletividade, dificultando a coleta das leituras. Para cada leitura realizada procurou-se um melhor posicionamento do equipamento sobre a placa, a fim de evitar leituras sobre parte do pavimento, e sim sobre a pintura de sinalização. No simulador de tráfego, devido à dificuldade de arranjo para as leituras, aqui nesta pesquisa, serão analisadas as tendências de queda e perda da retrorrefletividade. Vale ressaltar que o experimento de laboratório irá contribuir para análise da pintura, sem variações da velocidade, clima, tipos de pneus e ação de diferentes cargas de pneus sobre as placas, já que todas estão submetidas para as mesmas condições.

Enquanto as placas eram simuladas observou-se que a borracha do pneu ficava aderida à textura da pintura - Figura 106 e Figura 107, prejudicando a retrorrefletividade, pois a borracha eventualmente poderia "tampar" as microesferas, fazendo com que a luz não as alcançasse. Marcações de pneus também são observadas em campo, e podem comprometer momentaneamente a leitura, até que esta venha a ser removida da pintura, quer seja por abrasão de outros pneus, ou ainda pela limpeza natural das chuvas.

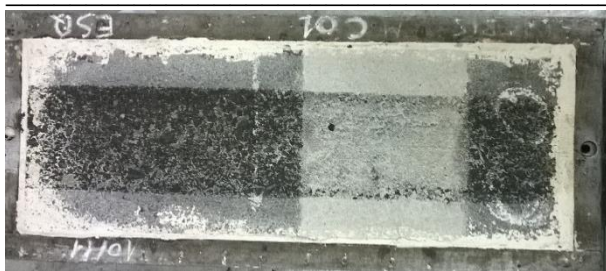


Figura 106 - Marcação do Pneu na placa

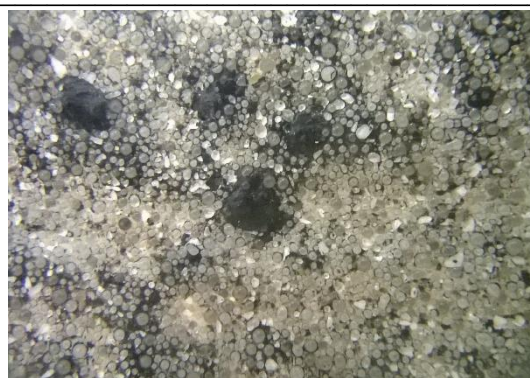


Figura 107 - Borracha aderida entre as microesferas

Durante os ensaios também foi observado que algumas microesferas ficavam aderidas ao pneu do simulador, resultante da perda da microesfera da pintura. As microesferas aderidas ao pneu podem ocasionar um desgaste mais elevado sobre a pintura. Em campo, areia e outros detritos também são comuns e contribuem para o desgaste da marcação no pavimento.

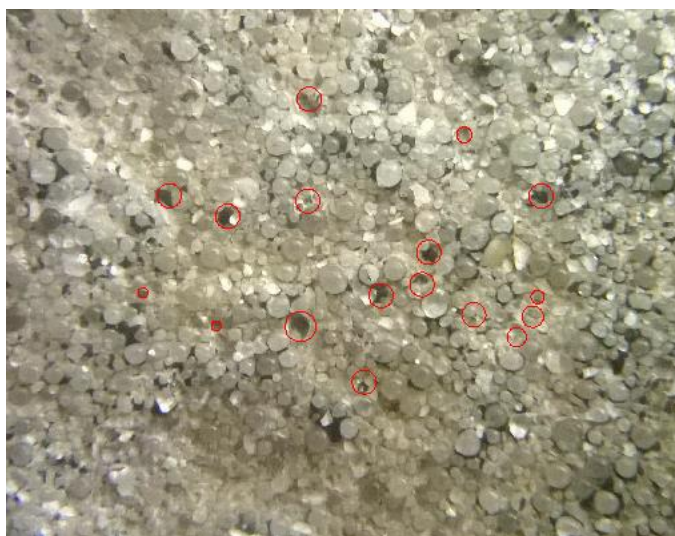


Figura 108 - Perda de Microesferas

10.3.2 Curvas de Desgaste

Foram levantadas as medidas de retrorrefletividade no início (antes dos ensaios de simulação de tráfego com os pneus do equipamento) e durante os ensaios de simulação. Pode-se observar que a tendência de decréscimo é concordante com a tendência vista em pista, o que mostra que foi

atingido o objetivo de analisar a queda de retrorrefletividade devido à ação exclusiva de cargas por meio de pneus, sem ação de intempéries.

Os resultados serão expressos em porcentagem para avaliar a perda de retrorrefletividade com a ação do tráfego, comparativamente ao valor inicial, estipulado como 100%, de modo a poder fazer uma comparação direta também entre os diferentes arranjos e combinações de tinta, microesferas e taxas. As Figuras de 109 a 115 trazem os resultados obtidos em todas as combinações testadas.

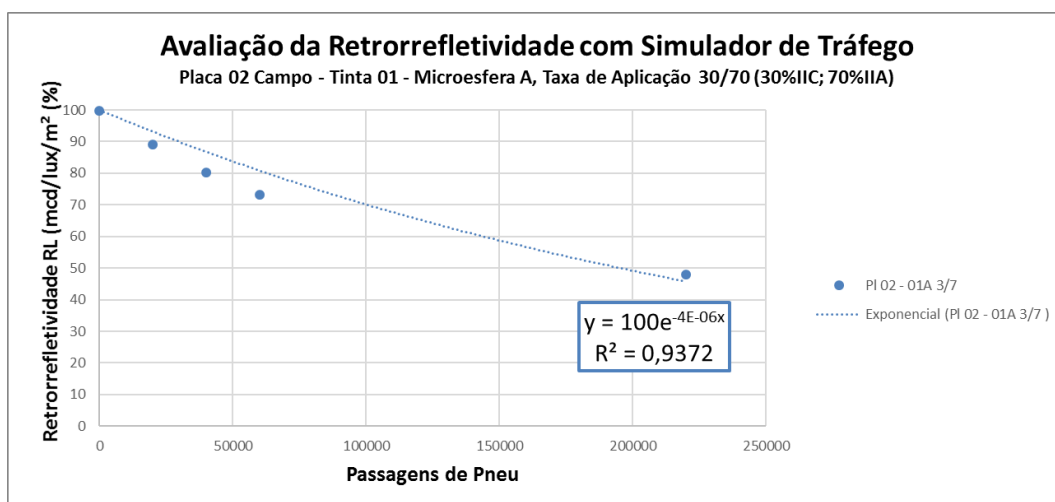


Figura 109 - Placa 02 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 30/70

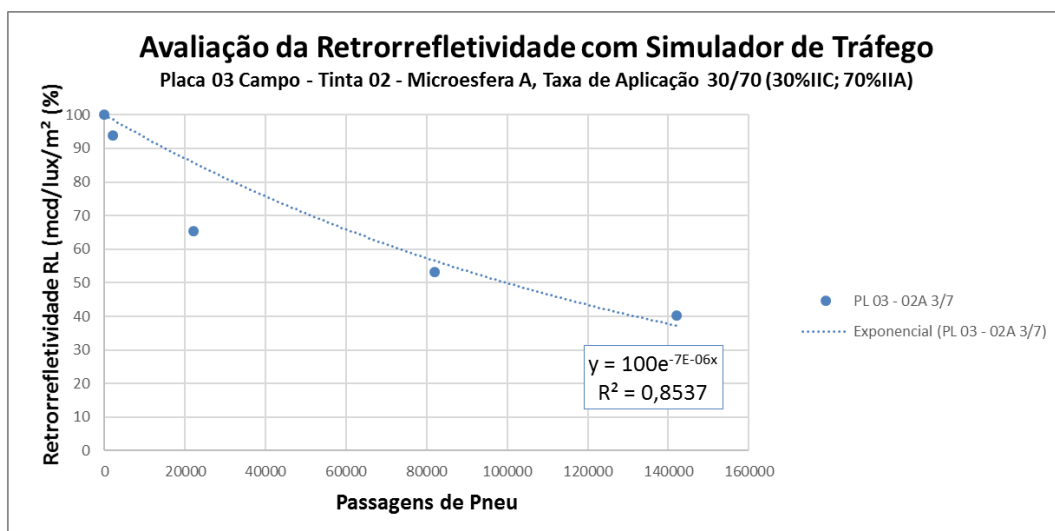


Figura 110 - Placa 03 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 30/70

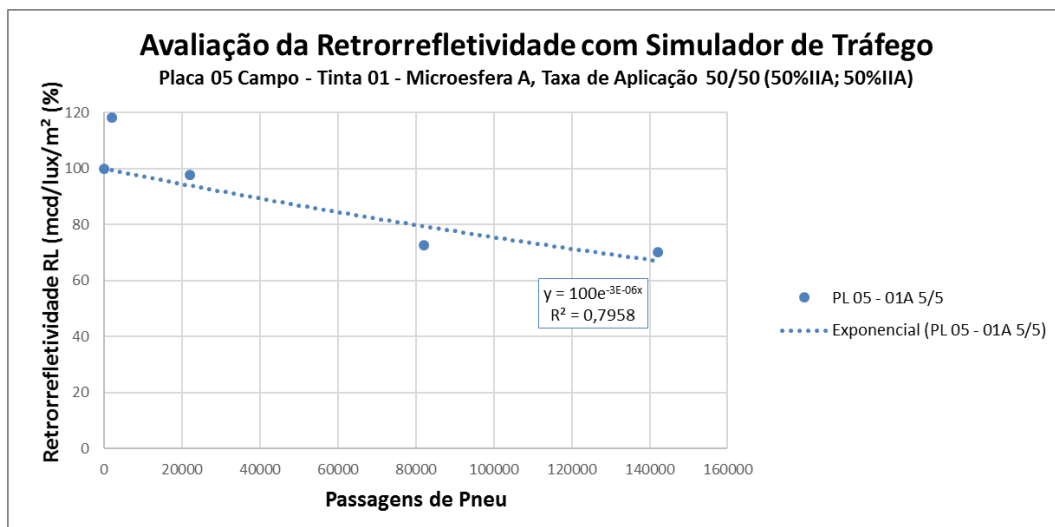


Figura 111 - Placa 05 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 50/50

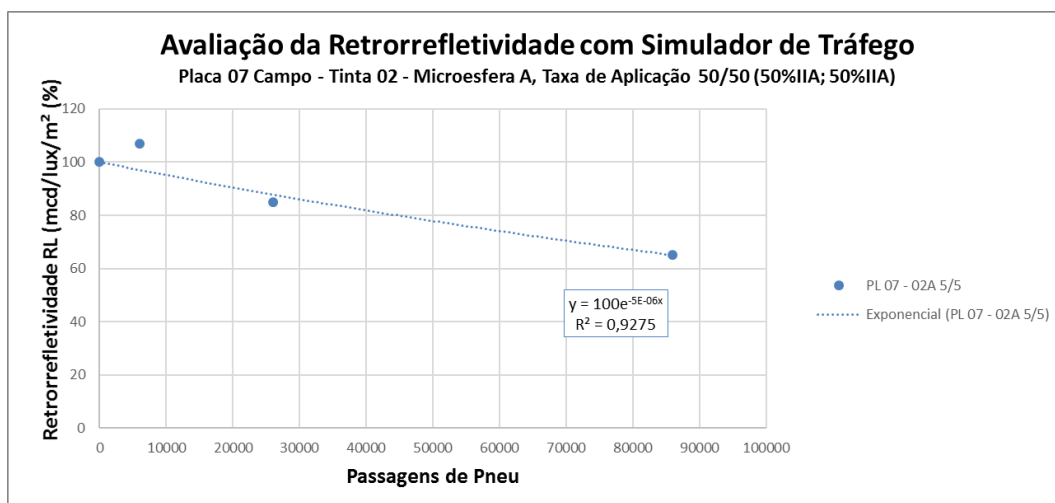


Figura 112 - Placa 07 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera A, e Taxa de Aplicação 50/50

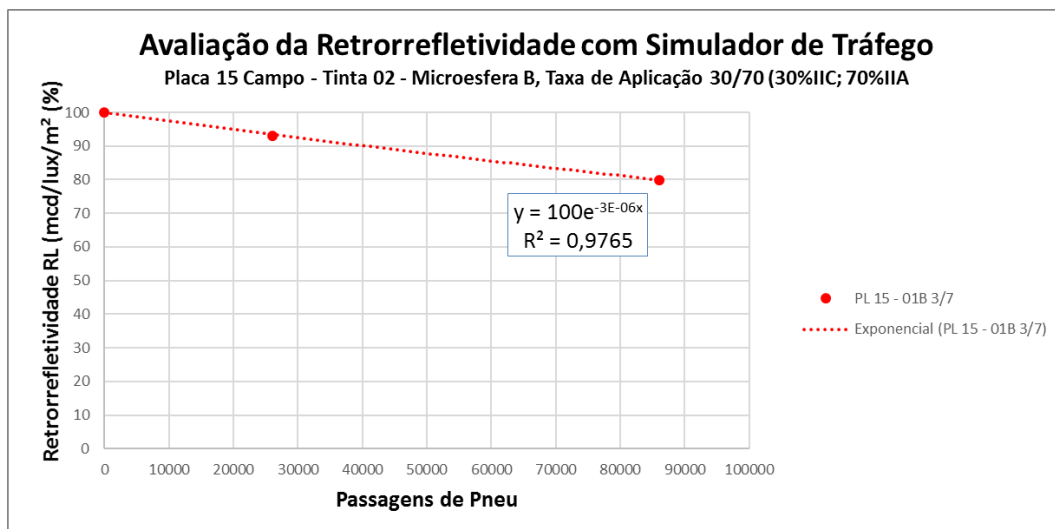


Figura 113 - Placa 15 (Campo) - Tinta 02 - Microesfera B, e Taxa de Aplicação 30/70

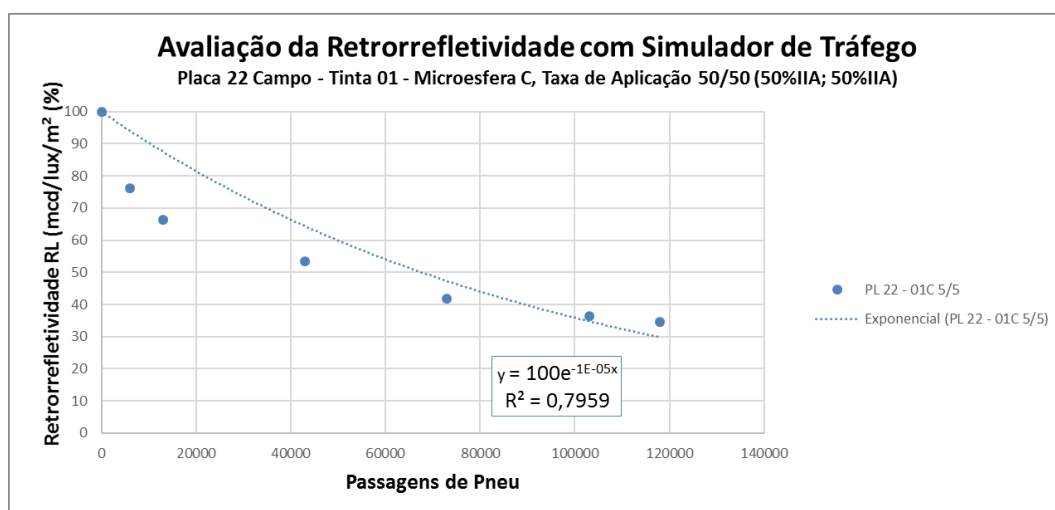


Figura 114 - Placa 22 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera C, e Taxa de Aplicação 50/50

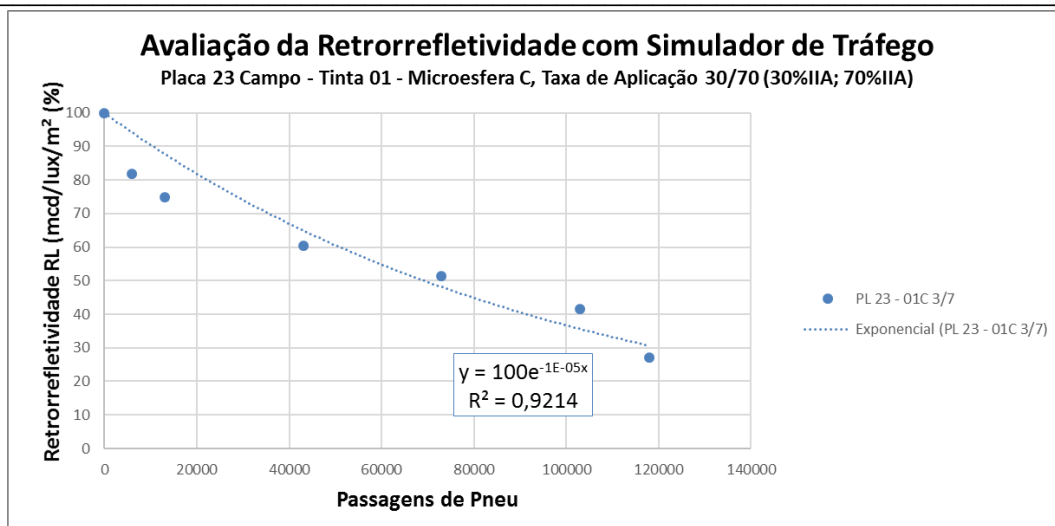


Figura 115 - Placa 23 (Campo) - Tinta 01 - Microesfera C, e Taxa de Aplicação 30/70

10.3.3 Comparação Tintas, Microesferas e Taxas

A comparação entre as Figuras 109 e 110 possibilita a avaliação de desempenho sob ação do tráfego das tintas 01 e 02, uma vez que ambos arranjos utilizam a microesfera A e a taxa 30/70. Nesta comparação pode-se afirmar que a tinta 01 exibe desempenho superior à tinta 02. A mesma comparação pode ser feita com base nas Figuras 111 e 112, que possibilitam a avaliação das duas tintas, para combinações iguais com uso de microesfera A e a taxa de 50/50. Esta comparação corrobora a anterior, mostrando a superioridade da tinta 01 frente a tinta 02.

As quatro figuras acima citadas possibilitam a comparação entre taxas. As figuras 109 e 111 mostram que o comportamento dos arranjos com a taxa de 50/50 é levemente superior à taxa de 30/70. Igualmente, obteve-se o mesmo resultado na comparação dos arranjos apresentados nas Figuras 110 e 112, corroborando que a taxa de 50/50 exibe um comportamento levemente superior em relação ao 30/70. A comparação das Figuras 114 e 115 também levam à análise entre as taxas. Neste caso, o comportamento foi similar para as taxas de 50/50 e 30/70. Portanto, esta questão deve ser aprofundada para compreender melhor o fenômeno do arranjo superficial entre esferas de dimensões diferentes e sua consequência na retrorefletividade.

Quanto às microesferas, a comparação entre as Figuras 110 e 113 mostram que as microesferas B são superiores à A, quanto à taxa de decaimento com a ação do tráfego. Possivelmente as microesferas B aderem-se melhor à tinta que a microesfera A. A comparação entre as Figuras 111 e 114 mostra que a microesfera C é muito sensível ao tráfego, com um decaimento muito mais

expressivo que aquele observado na microesfera A. Ou seja, em termos de sensibilidade ao tráfego, a microesfera C é a mais sensível, mostrando maior perda de retrorrefletividade e a microesfera B é a de melhor desempenho. Possivelmente este fato está relacionado à capacidade de adesão das microesferas às tintas. Estes dados devem ser aprofundados para melhor compreensão desta hierarquia de desempenho.

A borracha aderida nas microesferas também é um fator a ser considerado para a perda da retrorreflexão. Eventualmente se as placas de campo fossem "limpas", os valores de RL provavelmente viriam a crescer novamente, aumentando a vida útil da pintura, o que não ocorre em campo. Porém, nesta fase do experimento, o principal foco é observar a tendência da perda da retrorrefletividade para as diferentes combinações com o simulador de tráfego.

11. Conclusões

A concepção da pesquisa e avaliação do desempenho dos materiais em campo e em laboratório contribuiu para a compreensão de vários fenômenos, que se interligam, associados à durabilidade dos materiais de sinalização horizontal viária.

11.1 Metodologia empregada e inovações

O desenvolvimento desse plano de pesquisa foi idealizado visando compreender aspectos referentes (i) à durabilidade de materiais usados na sinalização horizontal de pavimentos asfálticos rodoviários de maneira a apresentar a retrorrefletividade necessária para garantia da visibilidade da sinalização horizontal pelos motoristas, e (ii) ao atrito superficial entre o pneu dos veículos e a sinalização horizontal de maneira a verificar o risco de perda de aderência em pista molhada devido à presença da sinalização.

Para tanto, realizaram-se:

- Revisão bibliográfica, que consistiu em etapa desenvolvida para o levantamento de informações relevantes, das práticas, técnicas, materiais, ensaios e estudos realizados, de modo a aprimorar os conhecimentos para atendimento do objetivo do projeto. Focaram-se principalmente em produtos (aditivos, esferas e outros elementos), bem como sobre os ensaios e técnicas de avaliação em laboratório e em campo,

- Seleção e caracterização dos materiais (diferentes combinações de tintas e microesferas de vidro) foram estudadas, além de materiais alternativos (esferas que não estão ainda disponíveis no mercado nacional).
- Foi adquirido equipamento capaz de medir a retrorreflexão da sinalização viária horizontal nas geometrias de 15 metros e 30 metros de distância do receptor, respectivamente. Foram adquiridas pistolas próprias para aplicação de diferentes tipos de tintas e também microesferas. Estes equipamentos foram empregados para o levantamento das curvas de desgaste das sinalizações com ensaios em laboratório, nas condições de aplicação de revestimentos da ARTERIS, e também ensaios em pista, em experimento feito para esta pesquisa em especial.
- Preparação e corte de placas de mistura asfáltica em laboratório com a aplicação da sinalização horizontal feita em campo, e verificação de curvas de durabilidade (retrorreflexão) por meio de simulador de tráfego, além da avaliação do atrito superficial da sinalização horizontal com a realização de ensaios com o pêndulo britânico.
- Análise e tratamento de dados de laboratório. Fizeram-se a avaliação e a análise das variáveis envolvidas no estudo (diferentes materiais e taxas de aplicação de microesferas) e definição do desempenho dos materiais em diferentes cenários (tipos de solicitação e condições climáticas). Levantaram-se as curvas de durabilidade dos materiais avaliados para as diferentes condições em que os mesmos possam estar aplicados em campo em futuro próximo na Concessionária. Por meio dos estudos e metodologia concebida, foi possível hierarquizar os materiais empregados normalmente pela concessionária e de materiais que ela não adquire, chamados de materiais alternativos, que possam vir a ser de interesse, disponíveis no mercado nacional ou não. A metodologia possibilitou a avaliação dos materiais de forma quantitativa, visando à qualidade da sinalização e sua durabilidade para evitar transtornos operacionais de manutenção repetitivas e onerosas.

A pesquisa contemplou duas análises distintas: avaliação e hierarquização de materiais por meio da construção de um trecho experimental, não previsto inicialmente na proposta, mas que foi imperativo para melhor compreensão das variáveis, e em laboratório com a retirada de amostras de campo e testes acelerados em laboratório, com variáveis controladas, de modo a verificar a ação exclusiva da solicitação de pneus sobre a sinalização.

Ressalta-se aqui que não existem trabalhos de laboratório similares a este, sendo uma inovação de pesquisa o uso de simuladores para verificação da ação dos pneus de forma acelerada. Os experimentos de campo são utilizados na literatura e há trabalhos efetuados no Brasil, com configurações distintas aquela utilizada nesta pesquisa e com outros objetivos, mas que empregam igualmente marcações perpendiculares ao tráfego para que todo eixo passe sobre as sinalizações horizontais, de modo a verificar, em reduzido tempo, o comportamento com o aumento do número de eixos solicitantes. Deve-se ressaltar que, no entanto, em campo não há como acelerar o efeito das intempéries e contaminantes.

11.2 Resultados alcançados

A pesquisa empregou duas tintas à base de água de diferentes fabricantes e três microesferas de marcas diferentes, além de empregar duas taxas distintas de aplicação de microesferas sobre a tinta.

Dentre as microesferas empregadas para esta pesquisa, denominadas de forma genérica A, B e C, a Microesfera C mostrou-se em campo com um melhor valor de retrorrefletividade inicial, bastante superior às microesferas A e B.

A caracterização prévia de materiais pode contribuir para um melhor entendimento dos fenômenos encontrados em campo. Foram feitos ensaios de determinação da esfericidade das partículas de microesferas, empregando de forma inovadora no Brasil a imagem captada por luz incidente laser em partículas que se movem de forma constante no equipamento *Camsizer*, instalado no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da USP.

Pôde-se observar que a esfericidade das diferentes microesferas é distinta, e a microesfera C possui uma distribuição de partículas mais uniforme, concentrada em grande porcentagem de maior esfericidade, o que explica seus melhores resultados iniciais. As microesferas B são mais esféricas, por sua vez, que a microesfera A, pois o fator b/l (relação entre a menor dimensão e a maior dimensão) são na média maiores para a microesfera B e são mais próximas à unidade que a microesfera A. Isto explica também porque em laboratório pode-se evidenciar a superioridade das microesferas B sobre a A.

Os parâmetros de esfericidade e relação de aspecto médio obtidos por meio do *Camsizer* contribuiu para explicar o desempenho da retrorrefletividade das microesferas na pintura de sinalização viária,

sendo uma ferramenta poderosa para a hierarquização e seleção de materiais a serem empregados em campo.

Deve-se alertar que a redução da retrorrefletividade da microesfera C, com o aumento e acúmulo de solicitações pelos eixos dos veículos, foi mais pronunciada durante o período de medições e análise dos resultados em campo. Os valores de retrorrefletividade se tornaram todos similares, ou seja, a microesfera C apresenta valores similares de retrorrefletividade das microesferas A e B após diversas solicitações de eixos. Observe-se que em laboratório ficou evidenciado o mesmo comportamento das microesferas C, mostrando que os ensaios podem ser empregados para prever comportamento frente à ação do tráfego.

Tendo em vista que há variáveis que não puderam ser controladas de forma igualitária, como cobertura/solicitações e frenagem/aceleração, há ainda certas análises que devem ser perseguidas para uma melhor compreensão do comportamento, que somente em outro experimento podem ser controladas. Não se sabe também se a adesividade entre a microesfera C e as tintas é suficientemente adequada para que não haja perda de microesferas por arrancamento pelos pneus dos veículos.

Por meio da construção das curvas de desgaste para as diferentes faixas de tráfego, foi possível verificar o decréscimo da retrorrefletividade das marcações de campo com o tempo e o acúmulo de solicitações dos pneus de forma clara. As curvas de desgaste apresentavam pequenas oscilações da retrorrefletividade, oscilações estas que seguiam a mesma tendência, para as diferentes combinações empregadas na faixa de tráfego. Estas oscilações estão associadas às intempéries do local. Os aumentos de retrorrefletividade advém da limpeza parcial da superfície das microesferas devido à chuva, e as oscilações negativas, com redução de retrorrefletividade estão associadas à deposição de contaminantes sobre a pintura, evento este já constatado em outras bibliografias.

A grande maioria das curvas de desgaste apresentaram um aumento inicial da retrorrefletividade após a liberação ao tráfego, resultante do atrito do pneu na pintura e perda do excesso de microesferas que não estavam corretamente ancoradas na película de tinta.

Quanto às taxas de aplicação da microesfera, observou-se em laboratório que o uso de taxas de 30 % de microesferas de maior diâmetro frente a 70 % de menor diâmetro contribui para maiores decaimentos nos valores de retrorrefletividade. Observou-se que há maiores perdas de microesferas nesta taxa de 30-70 em comparação com taxas usuais de 50-50. Este resultado indica que novos estudos devem ser feitos de maneira a entender a distribuição superficial de microesferas, de forma

a otimizar esta distribuição e não empregar taxas exageradas que levem à perda de material de alto valor, de forma desnecessária.

Nesta pesquisa foram empregadas Tintas de Resina Acrílica emulsionada em água de marcas de fornecedores diferentes, dada as boas características técnicas e ambientais, aqui denominadas como Tinta 01 e Tinta 02. As tintas apresentaram resultados e padrões de desgaste seguindo a mesma tendência em campo, onde ocorreram alternância de superioridade de desempenho, a depender da microesfera. O comportamento levemente superior da Tinta 02 ficou mais evidenciado com a microesfera B, reforçando que, em campo, este desempenho sofre ação direta do tráfego e do clima. Porém, quando avaliada a taxa de decaimento em laboratório, que evidencia o comportamento frente a ação do tráfego, observou-se que a tinta 01 apresentou um desempenho superior à tinta 02. Novos estudos devem ser realizados para evidenciar as diferenças, pois a compatibilidade de microesferas e tintas é essencial de ser compreendida para avaliar o sucesso de seu emprego. Novos estudos poderão contribuir para o entendimento entre a adesão entre Tinta e microesfera.

Em campo, foram coletados valores de retrorrefletividade de 15 metros e 30 metros, correspondentes à distância de visibilidade da pintura de sinalização, sendo os valores de RL de 15 metros superiores aos valores de 30 metros devido à geometria. A microesfera C, apresentou valores iniciais de RL de 15 e 30m superiores às Microesferas A e B, em todas as condições, inclusive os valores de RL de 30 metros da Microesfera C foram superiores a retrorrefletividade de 15 metros das Microesferas A e B, que apresentaram valores mais baixos ainda para 30 metros. A distância de visibilidade é um fator importante para a segurança viária, e valores de RL de 30m mais elevados são favoráveis à segurança na via, contribuindo para que a informação necessária possa ser vista a uma maior distância e, conseqüentemente, ofereça um maior tempo para a tomada de decisão. Mas, não se pode não voltar a reforçar que a retrorrefletividade das microesferas C decaem mais rapidamente e são similares às microesferas A e B após o período de medições.

Devido ao arranjo deste experimento em campo foi possível identificar para as diferentes faixas do pedágio, composições diferentes de tráfego. Ficou evidenciado que não somente a quantidade de eixos da faixa do tráfego influencia na durabilidade da pintura, bem como a composição deste tráfego. As faixas com uma maior quantidade de veículos pesados levaram a um desgaste mais acelerado das marcações do pavimento, com curvas mais acentuadas de decréscimo e, conseqüentemente, uma maior perda da retrorrefletividade. Fica evidente que não somente o envelhecimento da pintura leva ao desgaste, mas a composição do tráfego da via. Ressalta-se aqui

que nas diferentes bibliografias consultadas, o acompanhamento da perda da retrorrefletividade é em geral feito em função do tempo, e não do tráfego.

A Microesfera C, embora apresentasse valores de retrorrefletividade bem superiores, também apresentou um desgaste e perda da retrorrefletividade mais acentuado do que a Microesfera A e B. Se todas as microesferas no campo estão sob o mesmo efeito climático, a redução de retrorrefletividade da microesfera C é devida ao tráfego. Ora por este arrancar mais as microesferas por ação abrasiva de aceleração ou frenagem, ora por problemas de adesividade, como já realçado. A posição das marcações com a utilização desta microesfera C no experimento de campo propicia possivelmente maior atrito dos pneus, devido a velocidade em que os veículos chegam até a pintura seja na frenagem, como na aceleração e saída da praça de pedágio. Por meio do monitoramento e medição de velocidades em campo, a velocidade tanto na frenagem como na aceleração nas marcações com esta microesfera C são maiores, ocorrendo um decréscimo da retrorrefletividade em função da velocidade sobre a Microesfera C. A aceleração associada ao tráfego se mostrou mais severa para a perda da retrorrefletividade. Estas variáveis precisam ser melhor isoladas para uma compreensão mais aprofundada do comportamento.

A ação das intempéries sob a pintura de sinalização também contribui para a perda de retrorrefletividade, o que é possível de ser observado na pista, com a ação do tempo. Ocorre um decréscimo dos valores de RL, mesmo em locais com pouca ou nenhuma ação do tráfego. Ou seja, como era de se esperar, a ação climática é importante na durabilidade das demarcações.

Os estudos em laboratório podem contribuir para a hierarquização e seleção de materiais a serem empregados em campo, através da utilização do simulador de tráfego.

Algumas demarcações no trecho teste atingiram os valores limites residuais de RL admissíveis de 120 mcd/lux/m², indicando a necessidade de uma nova pintura, por ter atingido o final de sua vida útil. Porém, não se pode dizer que em campo, em condições normais onde o tráfego não solicita constantemente as sinalizações horizontais como no experimento, estas demarcações estariam no final de vida útil. As pinturas de campo feitas de forma longitudinal, e não transversal ao sentido do tráfego como do experimento, irão suportar normalmente muito mais tempo antes de atingir valores limites. A ação das intempéries é muito mais importante na utilização de campo e estas devem ser melhor avaliadas em próximo experimento. As solicitações por pneus ocorrem, porém, em menor número que as do experimento, que foram elevadíssimas.

As curvas de desgaste em função da composição do tráfego, associações da velocidade e das ações climáticas, poderão contribuir para projetos futuros. O presente trabalho além de contribuir na hierarquização dos materiais empregados, contribui para o entendimento de fenômenos de campo e a perda da retrorrefletividade, contribuindo para a segurança viária.

12. LOCAL DE EXECUÇÃO

Esta pesquisa foi executada no laboratório do Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Grupo ARTERIS – CDT – em conjunto com o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP da Escola Politécnica de Universidade de São Paulo – EPUSP.

13. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

A empresa que coordenou os serviços é a LATINA MANUTENÇÃO/ Grupo ARTERIS, associada com:

- Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP –da Escola Politécnica da USP;
- JMCHAVES Consultoria Ltda.

Identificação dos participantes

- Coordenador Geral: José Mário Chaves
- Coordenador de desenvolvimento em Pavimentos: Liedi Bernucci
- Equipe Centro de Desenvolvimento Tecnológico – ARTERIS
 - Guilherme Linhares
 - Hugo Florêncio
- Assessoramento técnico LTP
 - Kamilla Vasconcelos
 - José Alberto Quintanilha
 - Rosângela Motta
 - Manuela Lopes Gennessaux
 - Edson Moura
 - Robson Costa
 - Vanderlei Dias
 - Deise Dias
 - Iuri Sidnei

-
- Lucas Andrade
 - Zila Mascarenhas
 - André Kazuo
 - Matheus Gaspar
 - André Siqueira
 - Assessoramento técnico ARTERIS
 - Arnaldo da Silva Junior
 - Daniele Rodrigues dos Santos
 - Thiago K. O. Takeshita

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO LRFD. **LRFD bridge design specifications**, American Society of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C, 2004.

AASHTO LRFD. **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications**. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.

ASTM E1710 – “**Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Pre-scribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer**” 2011- - American Society for Testing and Materials;

ASTM D 713. “**Standard Practice for Conducting Road Service Tests on Fluid Traffic Marking Materials**. 2012 - American Society for Testing and Materials”; American Society for Testing and Materials.

ASTM D2697. “**Standard Test Method for Volume Nonvolatile Matter in Clear or Pigmented Coatings**” – 2014 -American Society for Testing and Materials; American Society for Testing and Materials.

ABNT. **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 16184 – Sinalização Horizontal Viária: Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 15405:2014 - Sinalização Horizontal Viária - Tintas - procedimentos para execução da demarcação e avaliação.**” Rio de Janeiro: NBR, 2014.

ABNT. **NBR 15438 : 2013 - Sinalização Horizontal Viária - Tintas - Métodos de Ensaio**. - Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 15699:2012: Sinalização Horizontal Viária - Tinta a base de Resina Acrílica Emulsionada**. - Rio de Janeiro: NBR, 2012.

Assis, Wilson Alves, Francisco Diniz, Roberto Antonio Cruz, e Jorge M. R. Fazenda. "Tintas - Ciência e

Tecnologia". 4 edição rev. e ampli. São Paulo: Blucher, 2009.

ASTM E 1318. Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods. **ASTM Standard E 1318**, v. 04, p. 1–16, 2002.

ATS-WIM Controller H/W User Manual, Version 1.3.

BABIC, DARKO -“**Application And Characteristics Of Waterborne Road Marking Paint**” International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2014

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica - Materiais, Projeto e Restauração**. Capítulo 9. Ed. Oficina de Textos. 2007.

BERNUCCI, L. L.B; *et al* – **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros** – Rio de Janeiro, Petrobras – Abeda, 2008

BRITO, L. A. T., BOCK, A. **Relatório Final de Pesquisa Concepa - ANTT. Estudo do Espectro de Cargas dos Veículos Comerciais rodantes na BR-290/RS, Freeway, através do uso da técnica do Weigh-in-Motion (WIM)**. Porto Alegre, 2013.

CONTRAN - **Manual Brasileiro de Sinalização de Transito – Sinalização Horizontal** – Volume IV - 2007

DATASUS – **Estatísticas Nacionais de Acidentes de Transito**(Disponível em: http://www.vias seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais, acesso em 5 de abril 2016).

DAVIS, J. **Live-load models for design and fatigue evaluation of highway bridges**. [s.l.] Ph.D. Thesis. University of Rutgers. Department of Civil and Environmental Engineering, 2007.

DNER – EM 373/2000 – **Microesferas de vidro retrorrefletivas para sinalização horizontal viária** - Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2000.

DNIT. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Diretoria de Infra-estrutura Rodoviária, Coordenação Geral de Operações Rodoviárias, 2012.

DNIT – **Manual de Sinalização Viária** – Publicação Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Rio de Janeiro – 2010.

DNIT – **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos** – Publicação IPR – 720 – Rio de Janeiro -

2006

ENB GROUP JUDICO. 2013 (Disponível em < <http://judico.co.kr/en/pro/pro02.html>>. Acesso em 11/12/2012).

GATES, TIMOTHY *ET ALL*, - **"Effective Pavement Marking Practices For Seal coat And Hot-Mix Asphalt Pavements"** 2003 Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station, Texas.

Hawlitshchek, Gustavo " **Caracterização das propriedades dos agregados miudos reciclados e a influencia no comportamento reológico de argamassas**". Dissertação de Mestrado - EPUSP -São Paulo. 2014

IRAGAVARAPU, V., Sign Retroreflectivity Maintenance Program for Tribal Communities – U.S. Department of Transportation e Texa U & M. Transportation Institute, 2013.

FAZENDA. Jorge Filho, e Constantino T., "Resinas Acrílicas e emulsões vinílicas e acrílicas." Em *Tintas - Ciencia e Tecnologia*. São Paulo: Blucher, 2009.

FHWA. **FHWA Vehicle Types. Federal Highway Administration.** USDOT, 2001 (Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/policy/ohpi/vehclass.htm>).

FWHA - **Pavement Marking Demostration Projects: State of Alaska and State of Tennessee** - Publication nº FHWA 12-048 - Texas Transportation Institute - 2013;

HIBBELER, R. C. **Structural Analysis**. Eighth ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2012.

KULICKI, J. M. *et al.* **Calibration of AASHTO LRFD Concrete Bridge Design Specifications for Serviceability**. National Cooperative Highway Research Program, 2014.

LCT - **Principio de Funcionamento do Sistema Automatizado de Análise de Tamanho e Morfológico de Partículas Camsizer®** - Informativo de Ensaio - Laboratorio de Caracterização Tecnológica - EPUSP. São Paulo - 2016.

LUCHI, L.A., **Reavaliação do trem-tipo à luz das cargas reais nas rodovias brasileiras**, Tese de Doutorado, EPUSP. 2006.

MATHWORKS. **MATLAB 7.6.0 – getting started guide** Natick, USA, 2011.

MOURA, E., **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e**

em laboratório. Tese de doutorado EPUSP, 2010.

MOREIRA, H; MENEGON, R. (2003) "Sinalização horizontal." 82 p.

NOWAK, A.S. **Calibration of the LRFD Bridge Design Code**. NCHRP Report 368, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, 1999.

ROBERTSON, JOSEPH; *ET AL* (2012) " **A Methodology for Estimating and Comparing the Life cycles of High-Build and Conventional Waterborne Pavement Marking on Primary and Secondary Roads in South Carolina**" - Public Works Management & Policy.

ROSSIGALI, C. E. **Atualização do Modelo de Cargas Móveis para Pontes Rodoviárias de Pequenos Vãos no Brasil**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

SIVAKUMAR, B., M. GHOSH, AND F. MOSES. **NCHRP Report 683; Protocols for Collecting and Using Traffic Data in Bridge Design**. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2011.

SCHWAB, M. S. F., **Estudo do Desempenho dos Materiais de demarcação Viária de Demarcação Viária Retrorrefletivos**. Dissertação de Mestrado, UFOP, 1999.

VDOT - **Virginia Department of Transportation – Reflective glassbead** – Guide - 2012

VDOT. **Chapter 3 Traffic Paint**. Virginia Department of Transportation Disponível em: www.virginiadot.org/business/.../MCS.../bu-mat-PaveMarkCh3.pdf. Acesso em 15 de outubro de 2016; Virgínia - 2012

ANEXO 01

Caracterização de Macrotextura - pista Experimental

Figura 1 – Macrotextura em função do HS – Faixa 14 - Aceleração	114
Figura 2 – Macrotextura em função do HS – Faixa 13 - Aceleração	114
Figura 3 – Macrotextura em função do HS – Faixa 12 - Aceleração	115
Figura 4 – Macrotextura em função do HS – Faixa 11 - Frenagem	115
Figura 5 – Macrotextura em função do HS – Faixa 10 - Frenagem	116
Figura 6 – Macrotextura em função do HS – Faixa 09 - Frenagem	116

Macrotextura

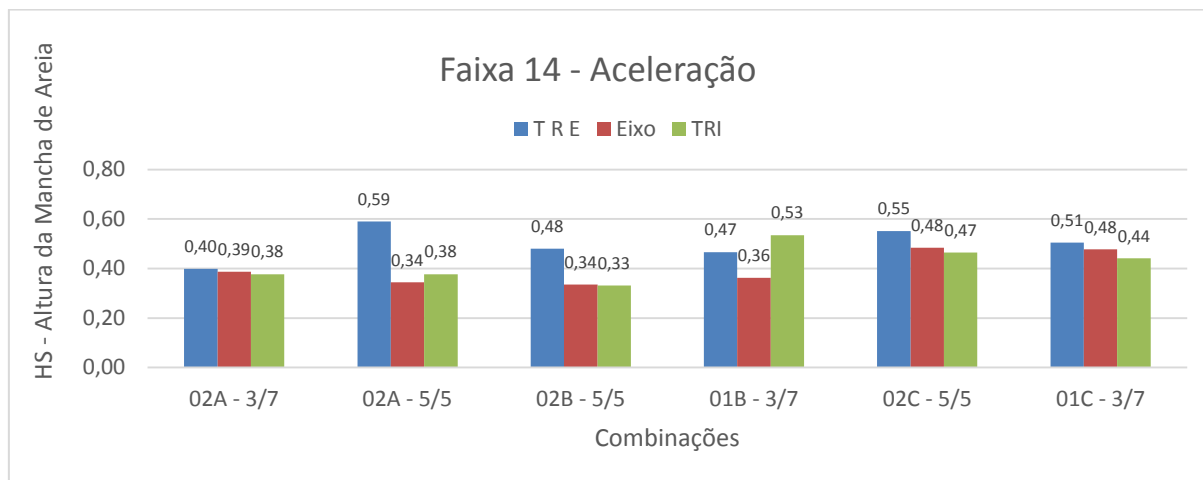


Figura 1 – Macrotextura em função do HS – Faixa 14 - Aceleração

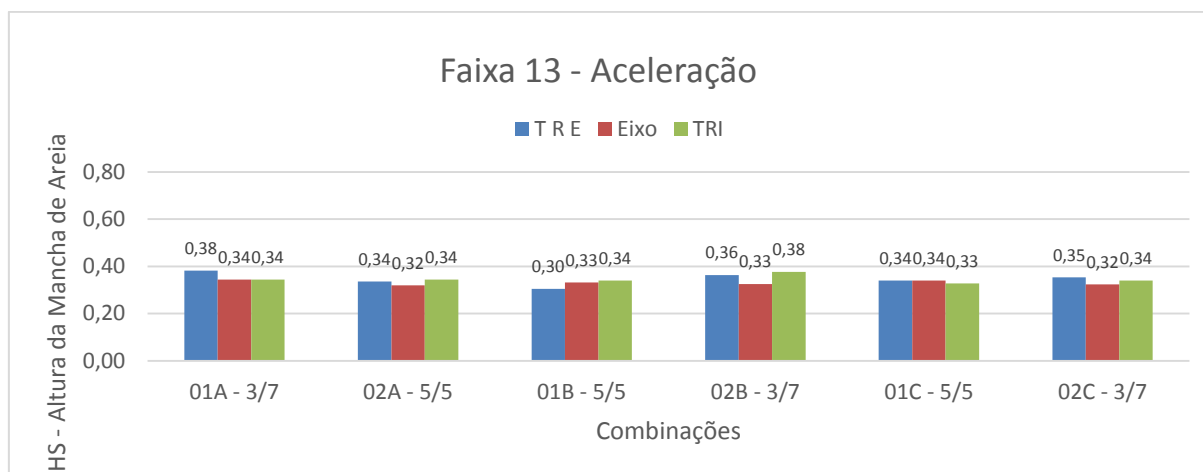


Figura 2 – Macrotextura em função do HS – Faixa 13 - Aceleração

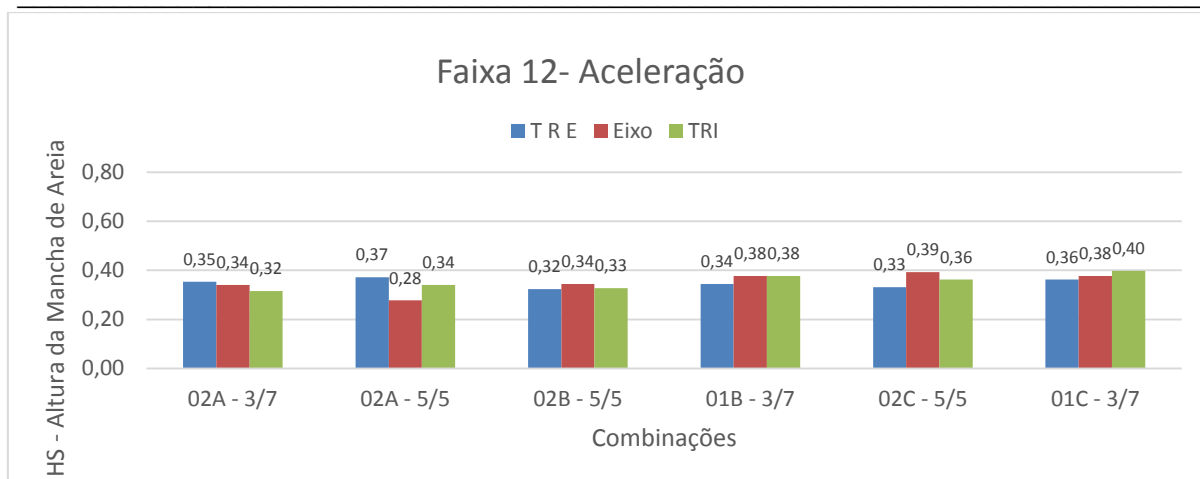


Figura 3 – Macrotextura em função do HS – Faixa 12 - Aceleração

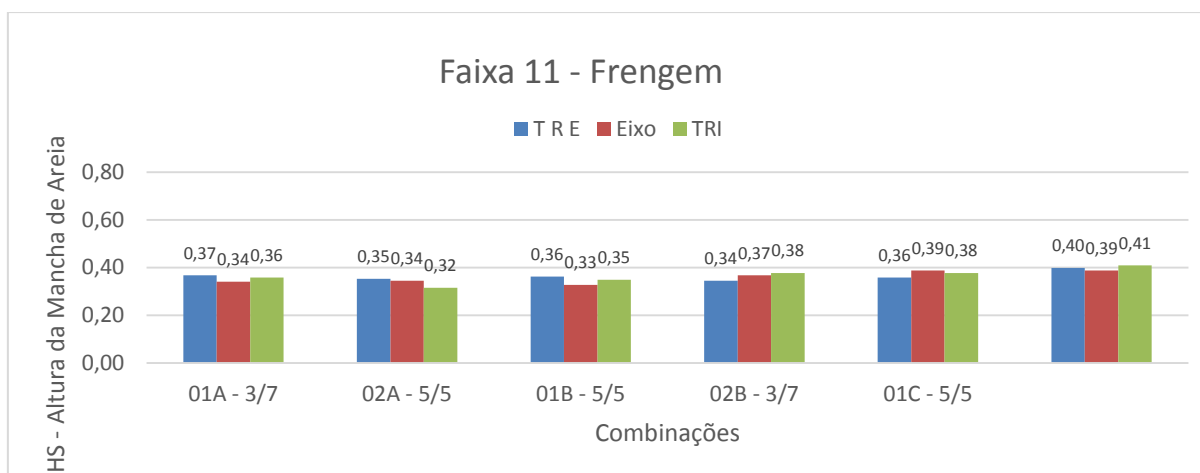


Figura 4 – Macrotextura em função do HS – Faixa 11 - Frenagem

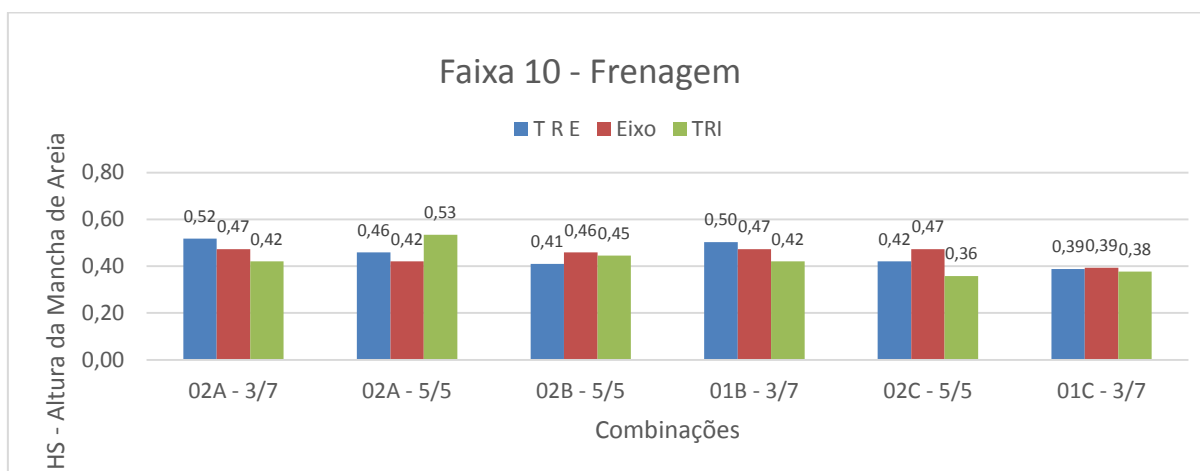


Figura 5 – Macrotextura em função do HS – Faixa 10 - Frenagem

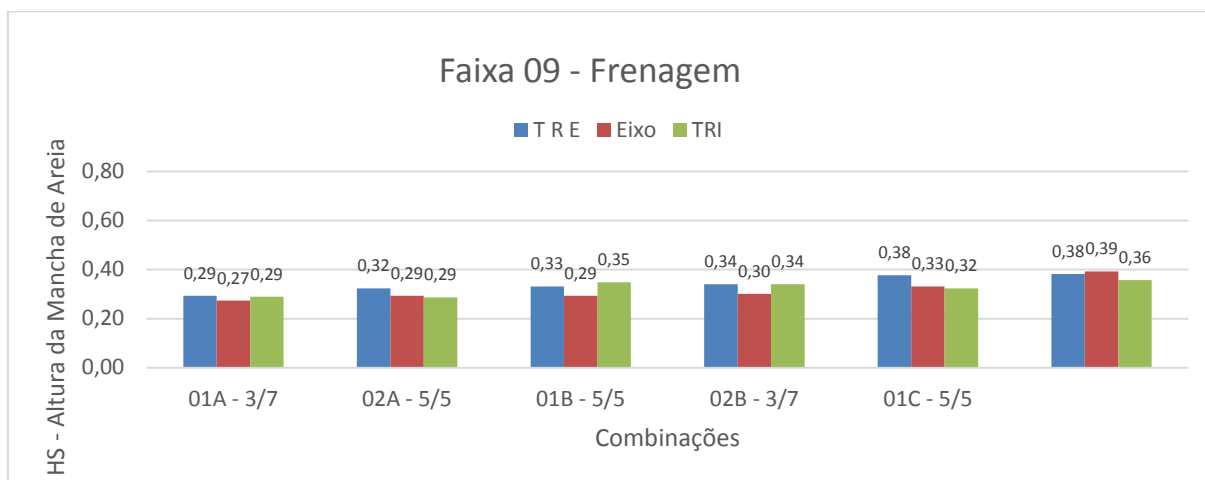


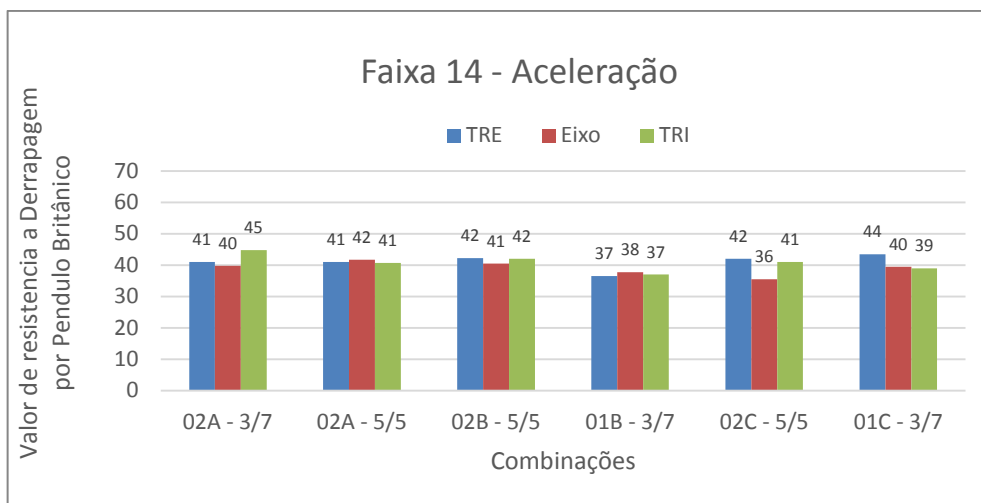
Figura 6 - Macrotextura em função do HS – Faixa 09 - Frenagem

ANEXO 02

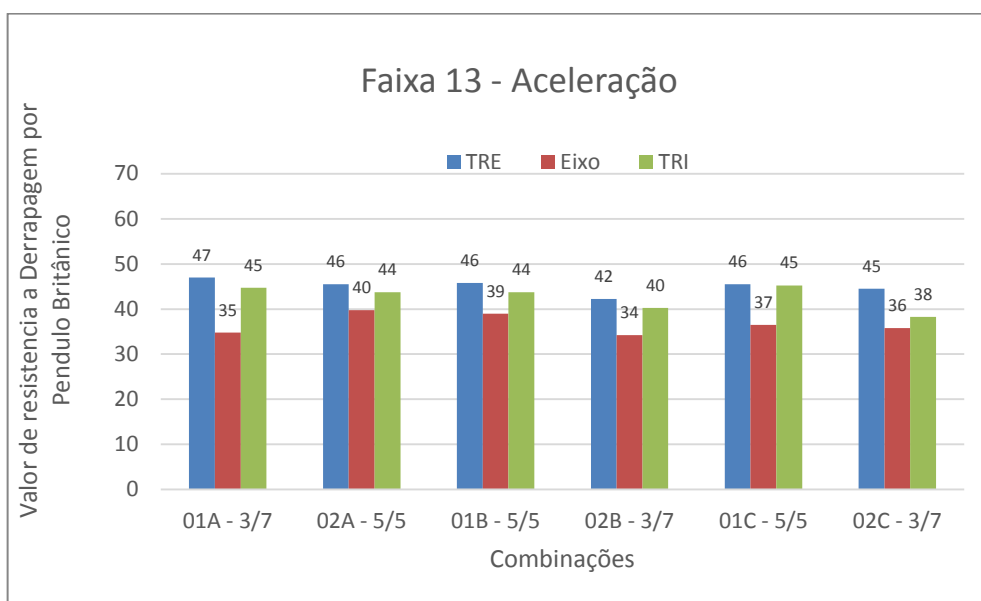
Caracterização de Microtextura - Pista Experimental

Anexo 02 - Figura 1 - Microtextura em função do VRD – Faixa 14 - Aceleração	118
Anexo 02 - Figura 2 – Microtextura em função do VRD – Faixa 13 - Aceleração.....	118
Anexo 02 - Figura 3 – Microtextura em função do VRD –Faixa 12 - Aceleração.....	119
Anexo 02 - Figura 4 – Microtextura em função do VRD – Faixa 11 - Frenagem	119
Anexo 02 - Figura 5 – Microtextura em função do VRD – Faixa 10 - Frenagem	120
Anexo 02 - Figura 6 – Microtextura em função do VRD – Faixa 09 - Frenagem	120

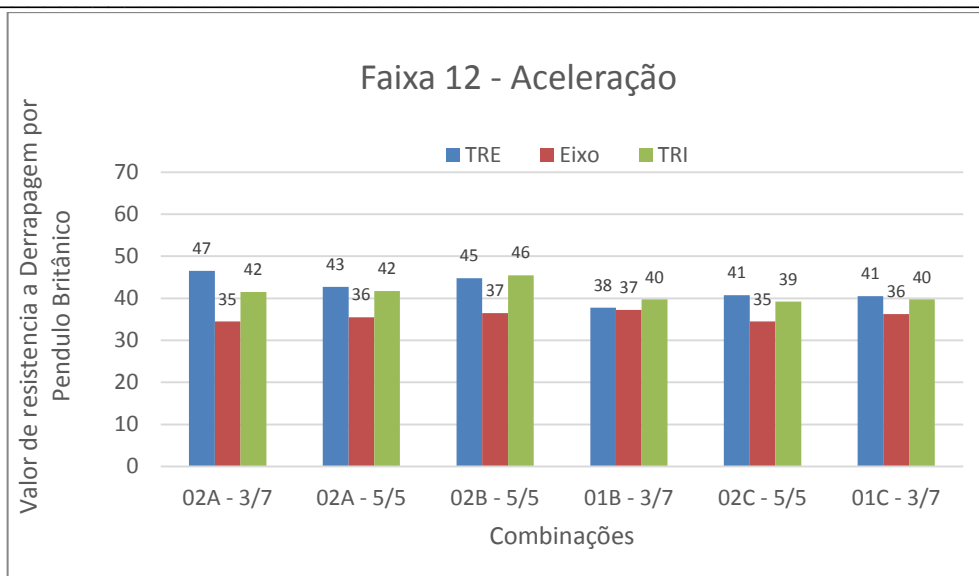
Levantamento de campo - Microtextura



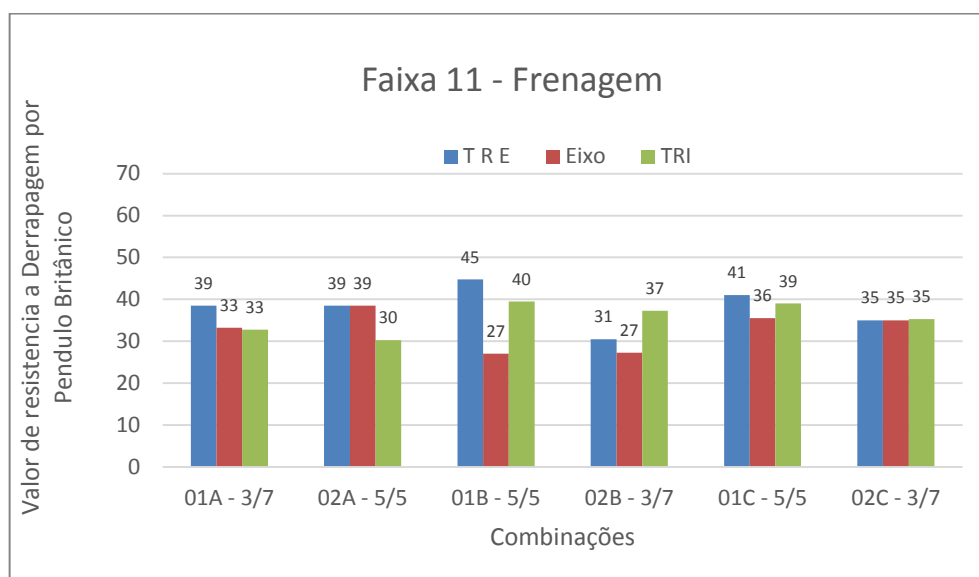
Anexo 02 - Figura 1 - Microtextura em função do VRD – Faixa 14 - Aceleração



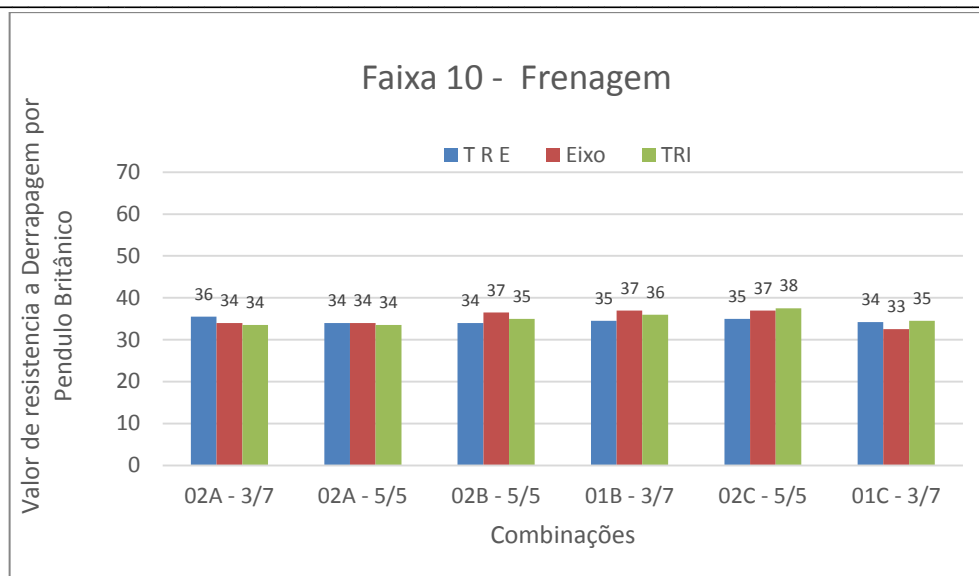
Anexo 02 - Figura 2 – Microtextura em função do VRD – Faixa 13 - Aceleração



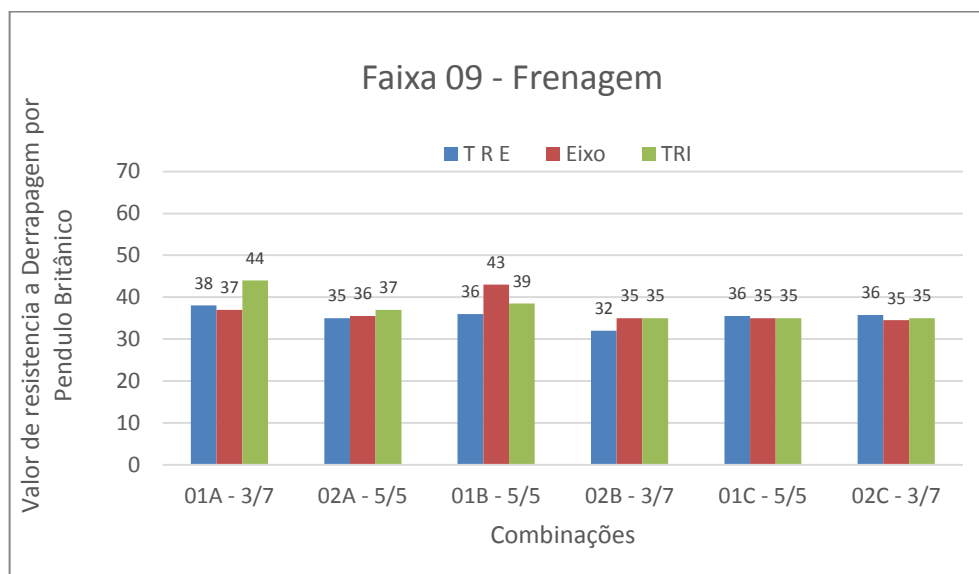
Anexo 02 - Figura 3 – Microtextura em função do VRD –Faixa 12 - Aceleração



Anexo 02 - Figura 4 – Microtextura em função do VRD – Faixa 11 - Frenagem



Anexo 02 - Figura 5 – Microtextura em função do VRD – Faixa 10 - Frenagem

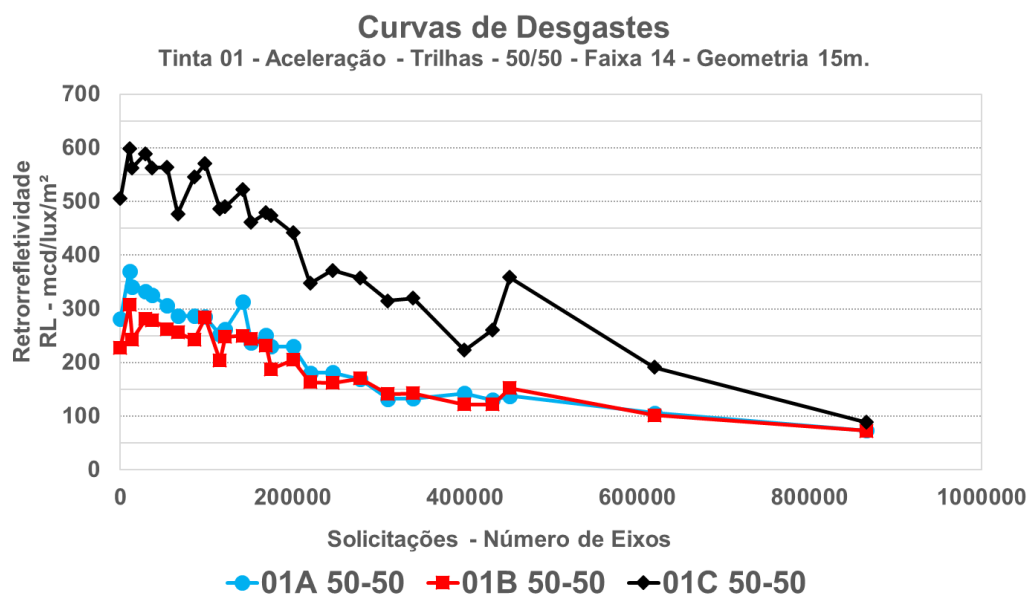


Anexo 02 - Figura 6 – Microtextura em função do VRD – Faixa 09 - Frenagem

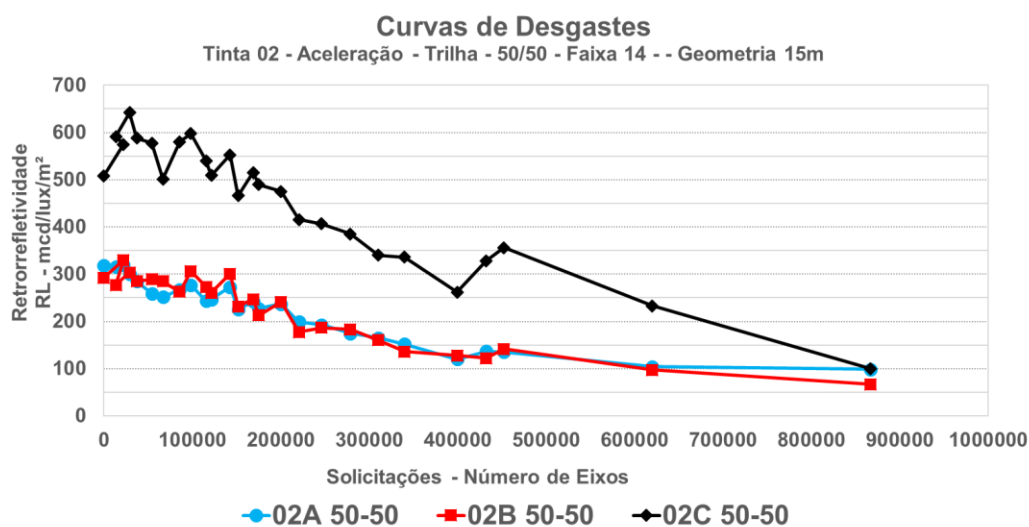
ANEXO 03

Comparação entre Microesferas A, B e C

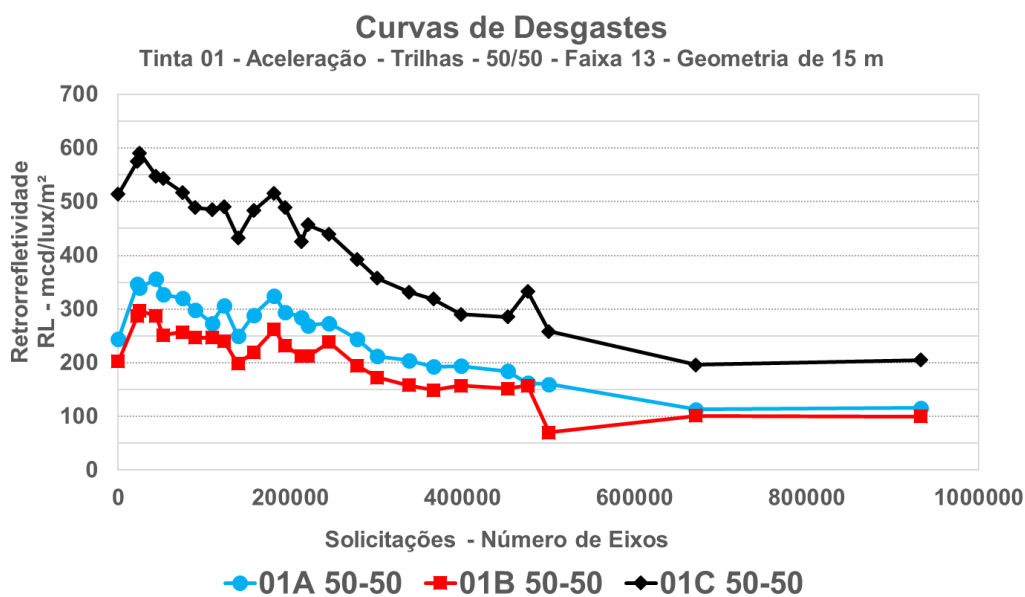
Anexo 3 - Figura 1 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 14 - Prop. 50-50 - Geom. 15m.....	122
Anexo 3 - Figura 2 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 14 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	122
Anexo 3 - Figura 3 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 13 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	123
Anexo 3 - Figura 4 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 13 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	123
Anexo 3 - Figura 5 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 12 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	124
Anexo 3 - Figura 6 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 12 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	124
Anexo 3 - Figura 7 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 11 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	125
Anexo 3 - Figura 8 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 11 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	125
Anexo 3 - Figura 9 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 10 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	126
Anexo 3 - Figura 10 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 10 - Prop. 50-50 - Geom. 15m	126
Anexo 3 - Figura 11- Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 09 - Prop. 50-50 - Geom. 15m.....	127
Anexo 3 - Figura 12 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 09 - Prop. 50-50 - Geom. 15m.....	127



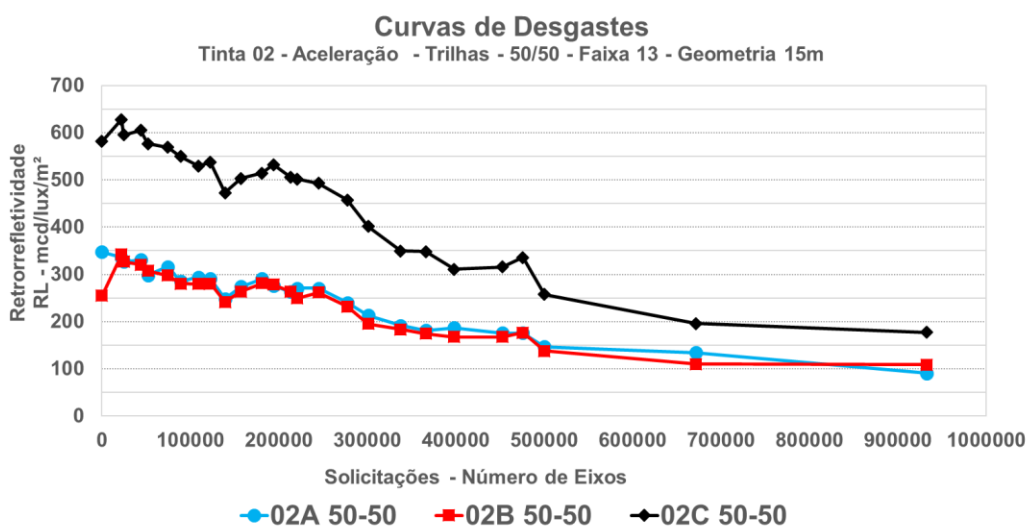
Anexo 3 - Figura 1 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 14 - Prop. 50-50 - Geom. 15m.



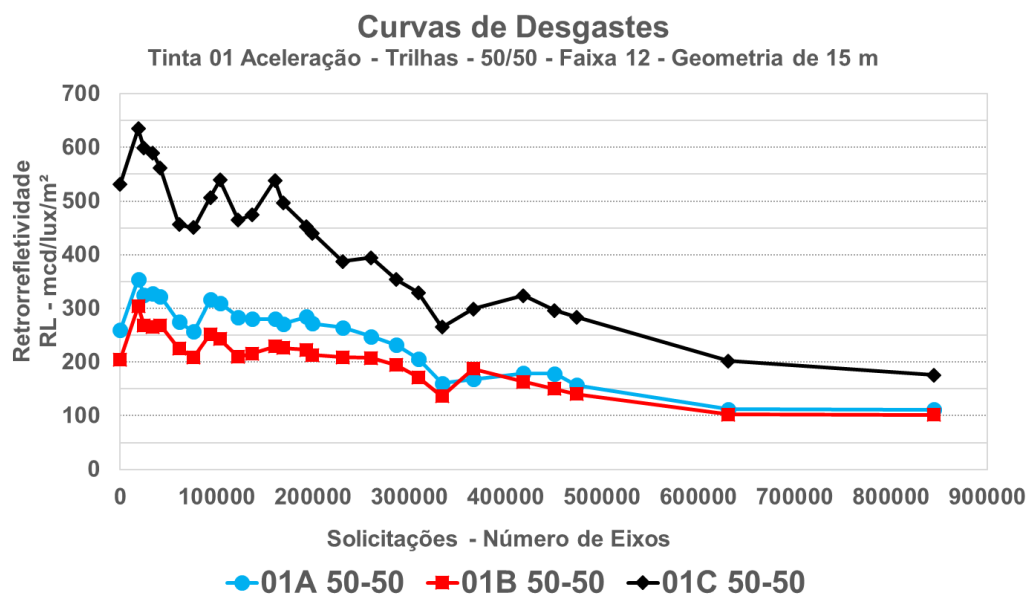
Anexo 3 - Figura 2 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 14 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



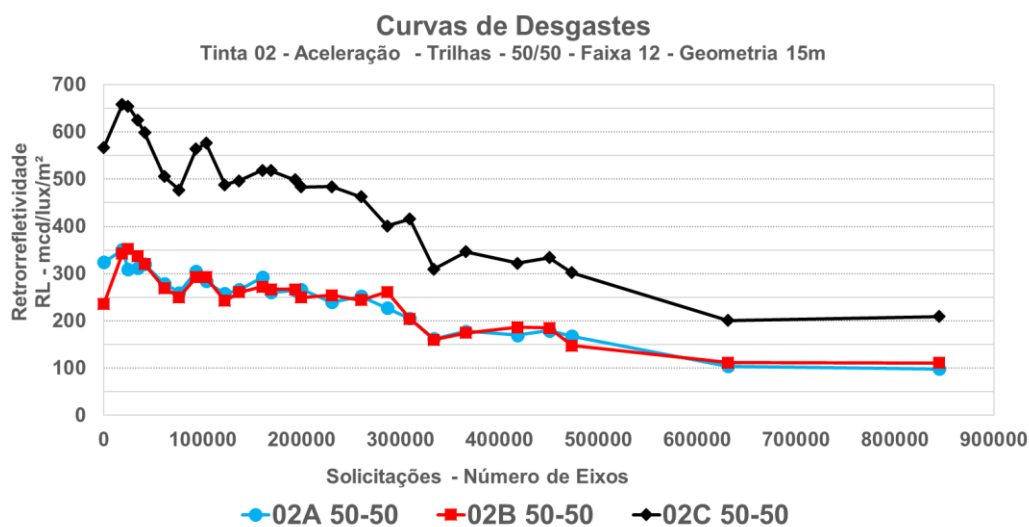
Anexo 3 - Figura 3 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 13 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



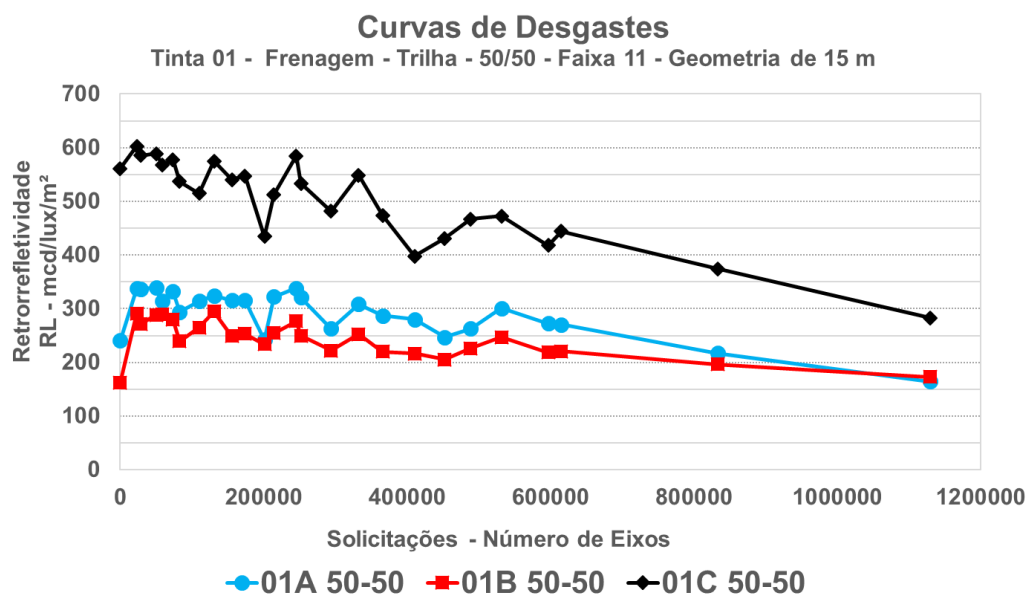
Anexo 3 - Figura 4 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 13 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



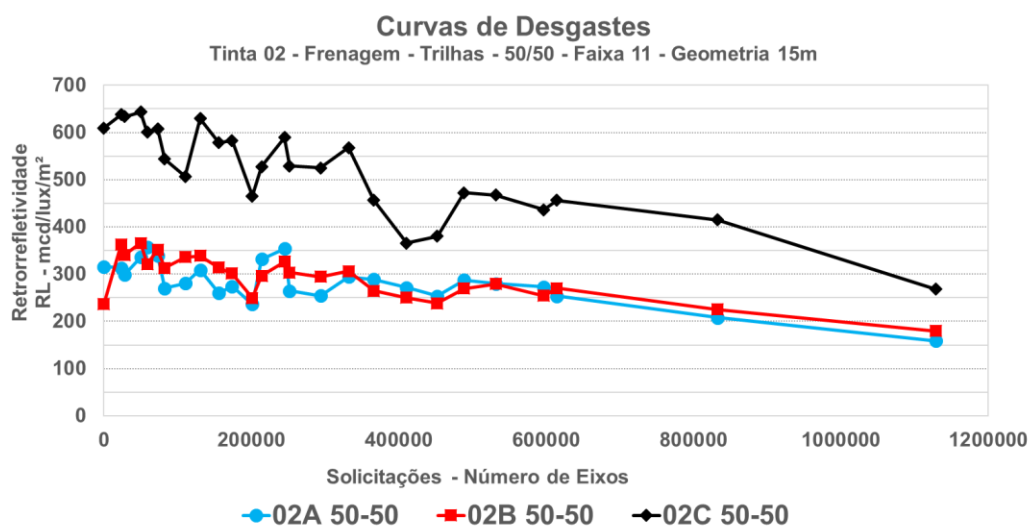
Anexo 3 - Figura 5 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 12 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



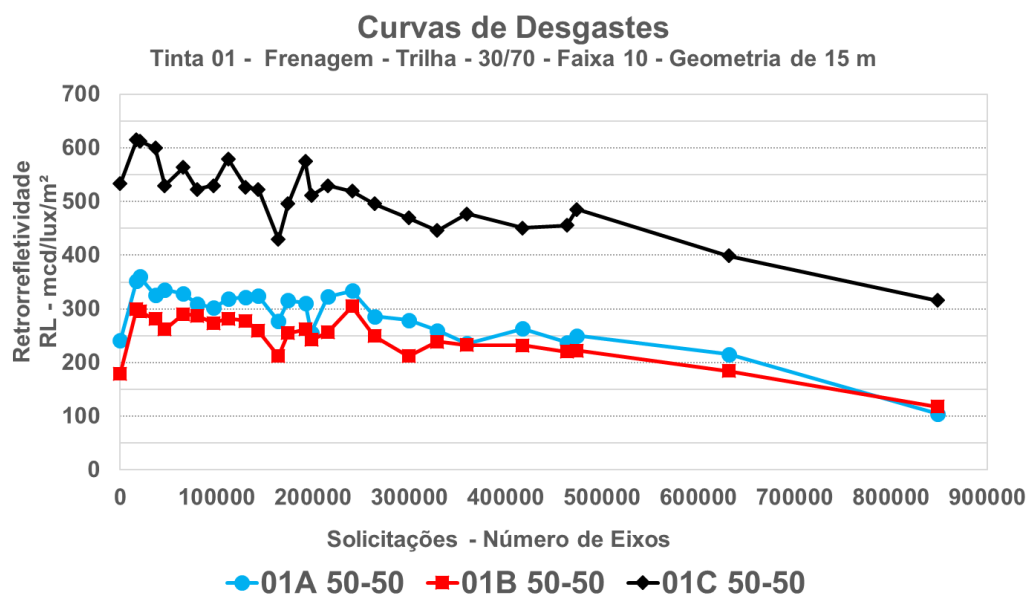
Anexo 3 - Figura 6 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 12 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



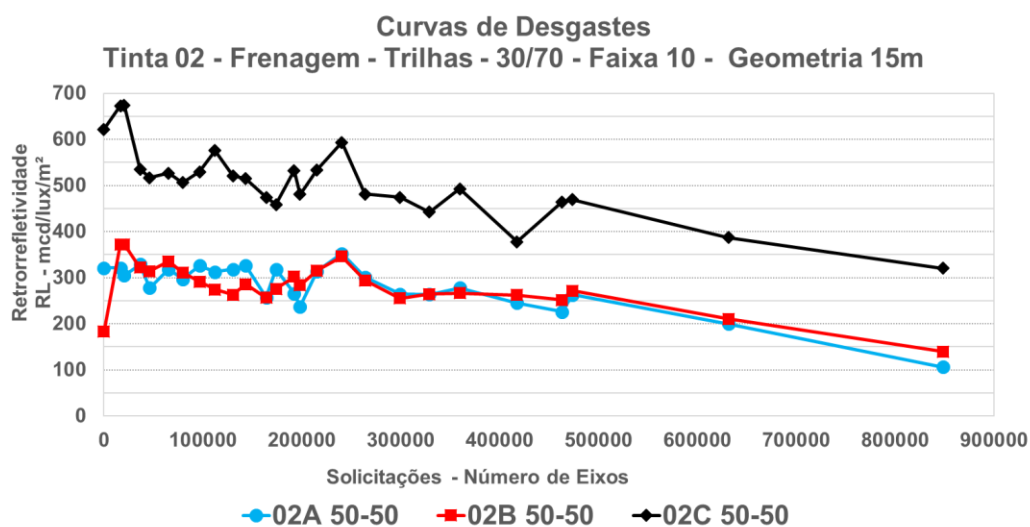
Anexo 3 - Figura 7 - Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 11 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



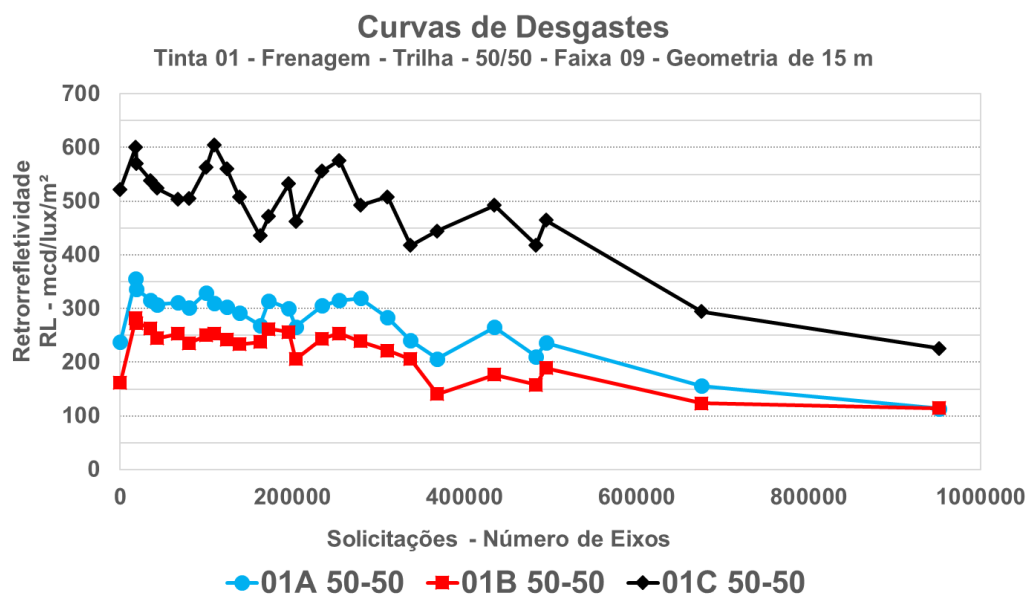
Anexo 3 - Figura 8 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 11 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



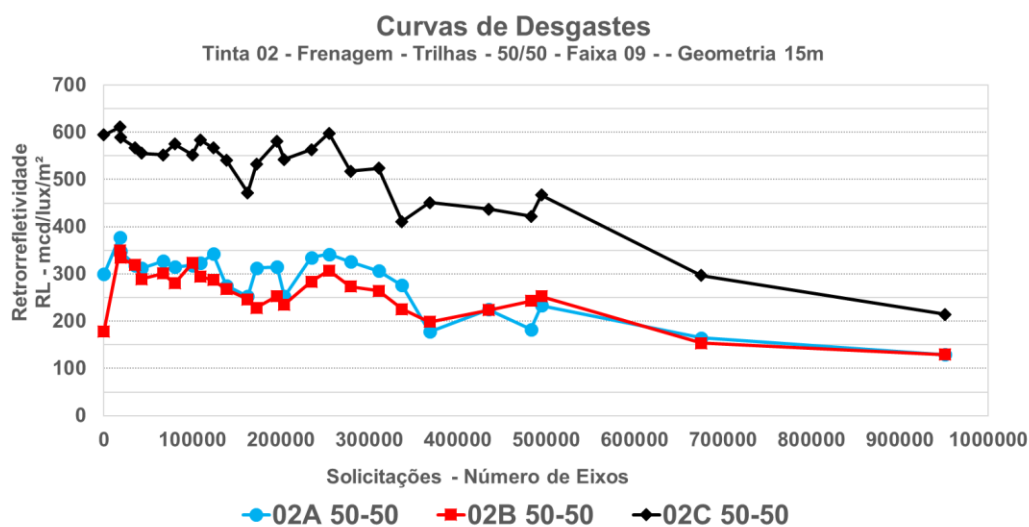
Anexo 3 - Figura 9- Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 10 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



Anexo 3 - Figura 10 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 10 - Prop. 50-50 - Geom. 15m



Anexo 3 - Figura 11- Comp. Microesferas - Tinta 01 - Faixa 09 - Prop. 50-50 - Geom. 15m

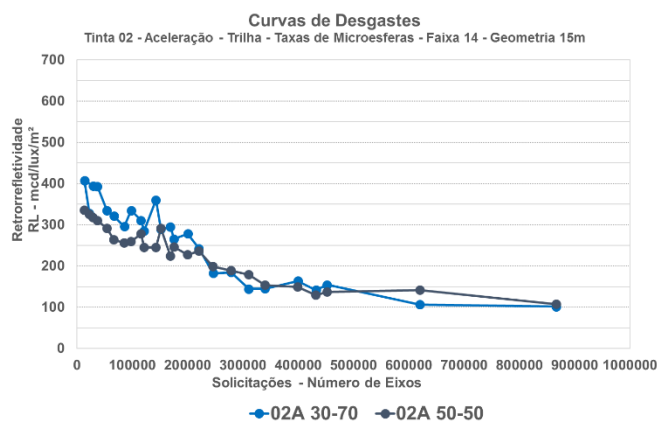


Anexo 3 - Figura 12 - Comp. Microesferas - Tinta 02 - Faixa 09 - Prop. 50-50 - Geom. 15m

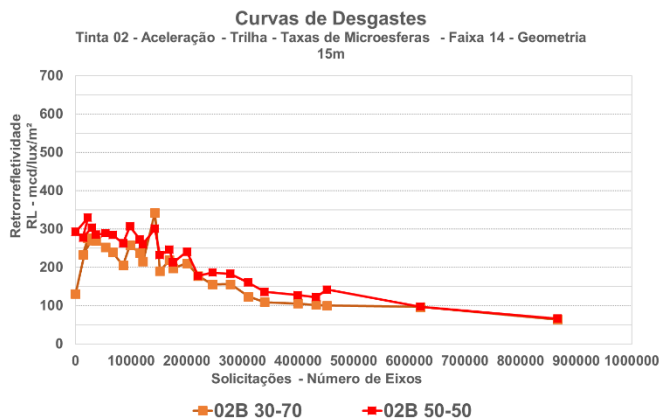
ANEXO 04

Comparação entre as Taxas de Microesferas

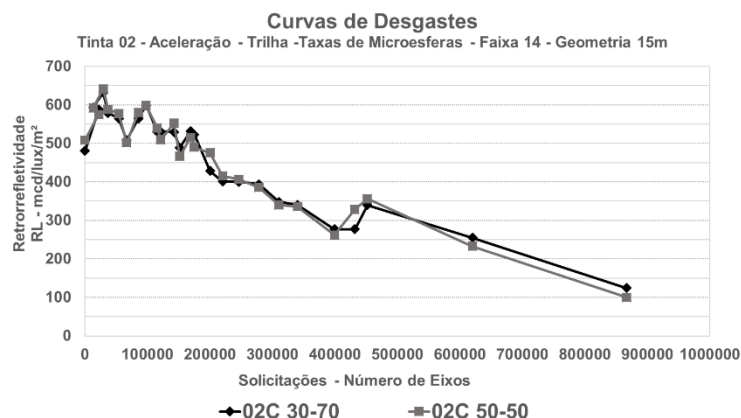
Anexo 4 - Figura 1 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m	129
Anexo 4 - Figura 2 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m	129
Anexo 4 - Figura 3 - - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m	129
Anexo 4 - Figura 4 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m	130
Anexo 4 - Figura 5 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m	130
Anexo 4 - Figura 6 - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m	130
Anexo 4 - Figura 7 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m	131
Anexo 4 - Figura 8 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m	131
Anexo 4 - Figura 9- Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m	131
Anexo 4 - Figura 10 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m	132
Anexo 4 - Figura 11 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m	132
Anexo 4 - Figura 12- Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m	132
Anexo 4 - Figura 13 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom. 15m	133
Anexo 4 - Figura 14 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom. 15m	133
Anexo 4 - Figura 15 - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom. 15m	133
Anexo 4 - Figura 16 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m	134
Anexo 4 - Figura 17 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m	134
Anexo 4 - Figura 18- Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m	134



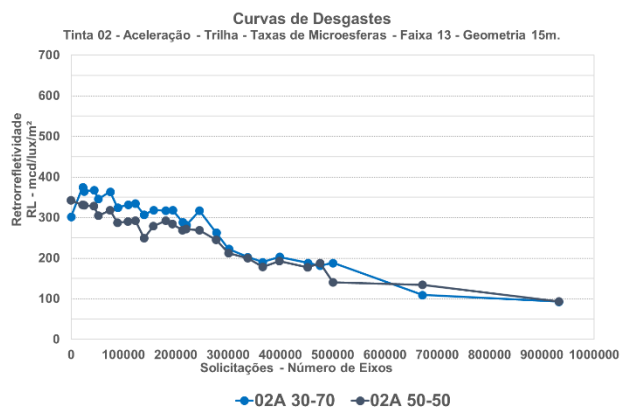
Anexo 4 - Figura 1 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m



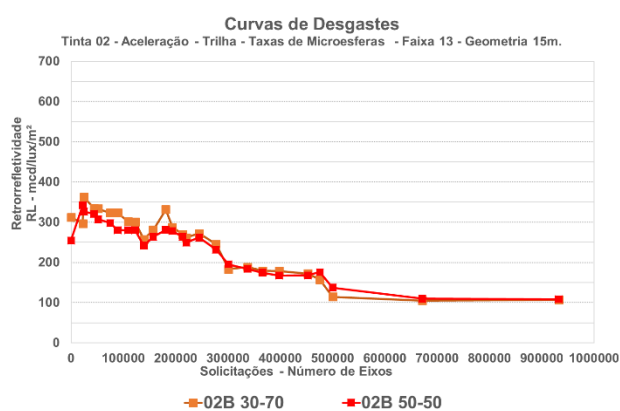
Anexo 4 - Figura 2 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m



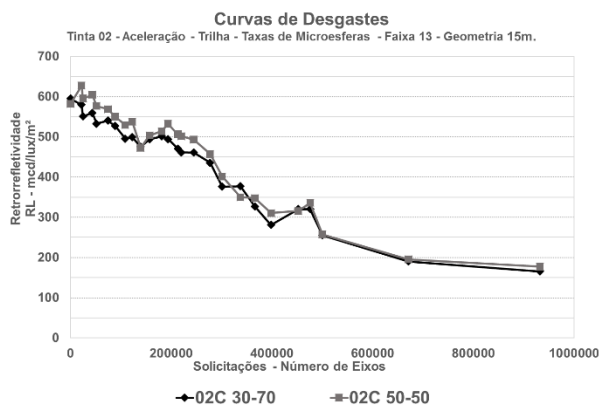
Anexo 4 - Figura 3 - - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 14 - Geom. 15m



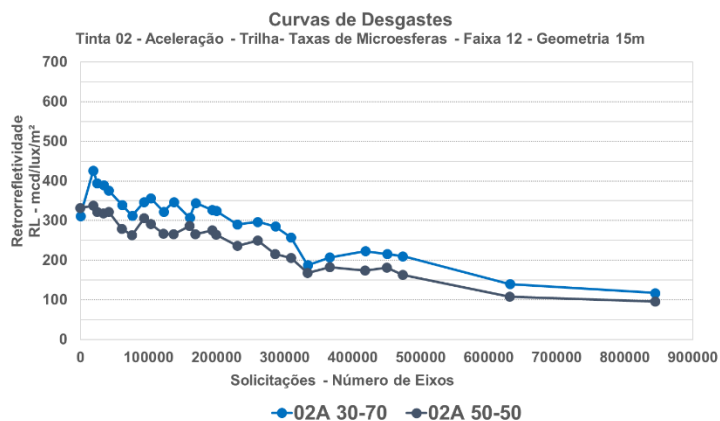
Anexo 4 - Figura 4 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m



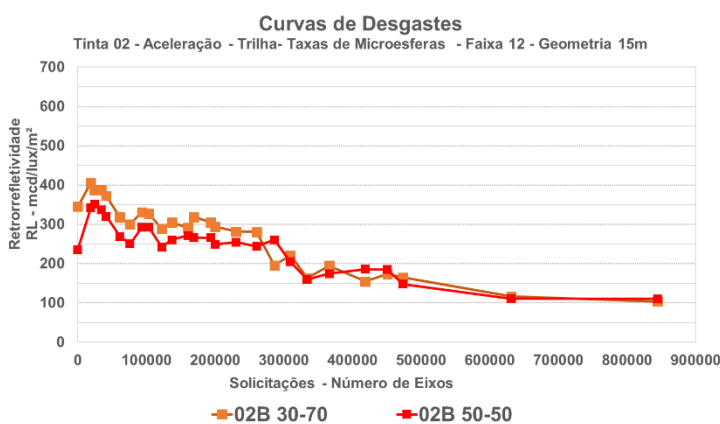
Anexo 4 - Figura 5 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m



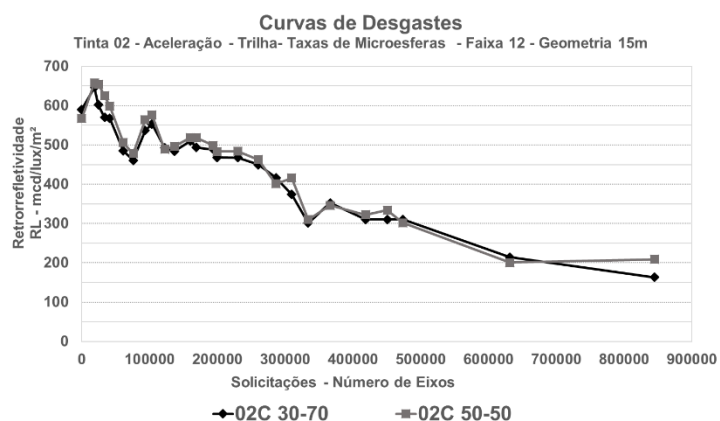
Anexo 4 - Figura 6 - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 13 - Geom. 15m



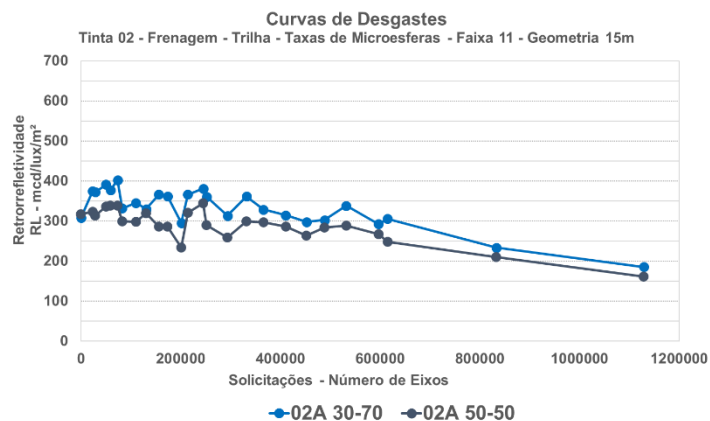
Anexo 4 - Figura 7 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m



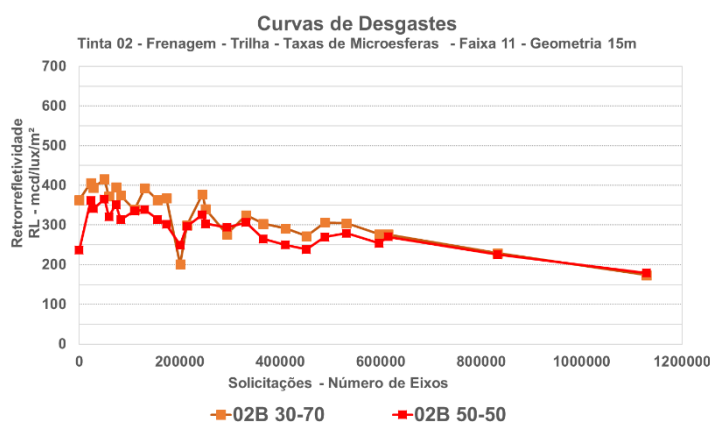
Anexo 4 - Figura 8 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m



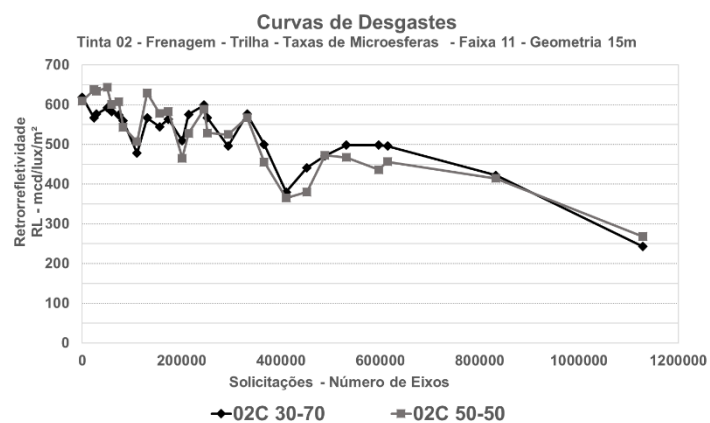
Anexo 4 - Figura 9 - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 12 - Geom. 15m



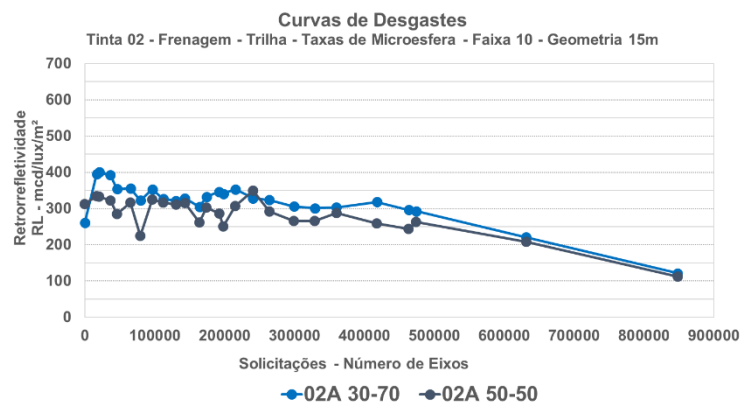
Anexo 4 - Figura 10 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m



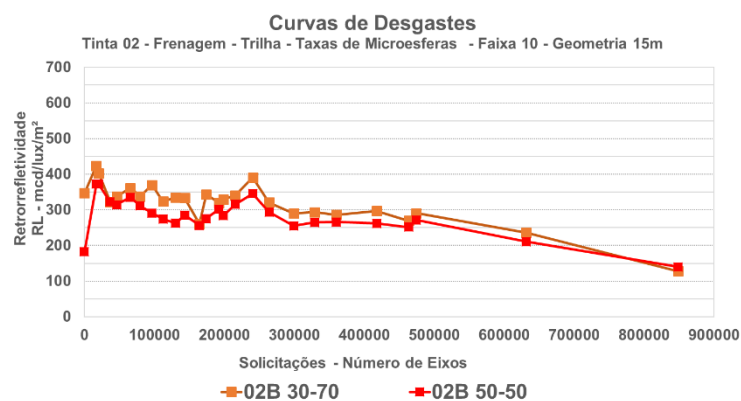
Anexo 4 - Figura 11 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m



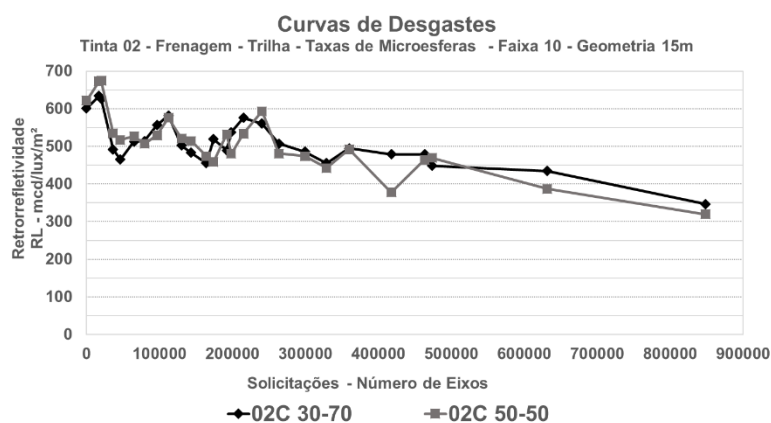
Anexo 4 - Figura 12- Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 11 - Geom. 15m



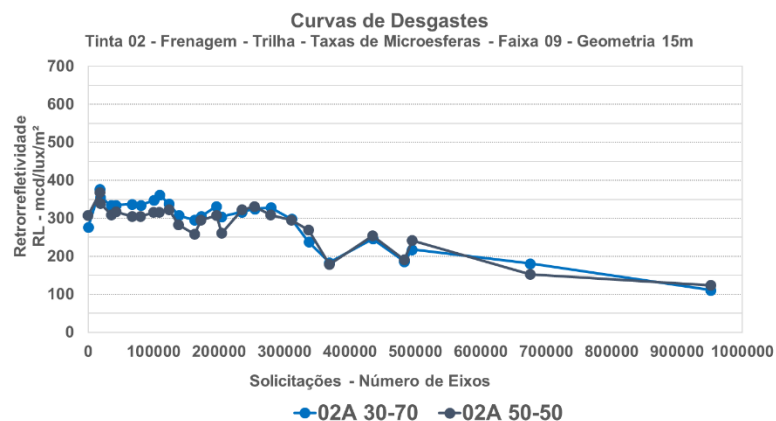
Anexo 4 - Figura 13 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom.
15m



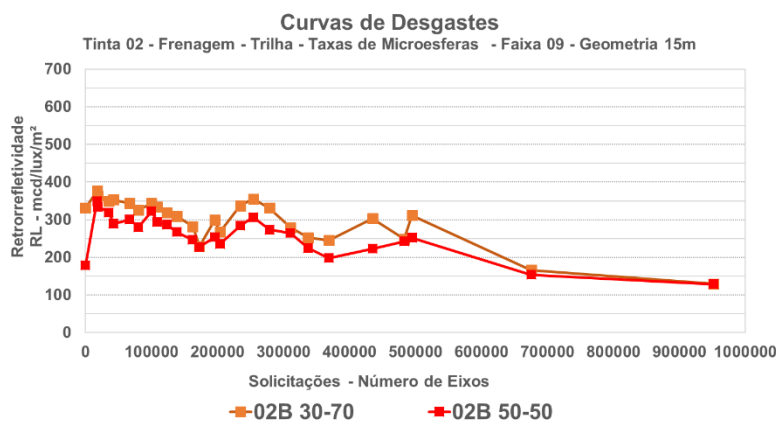
Anexo 4 - Figura 14 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom.
15m



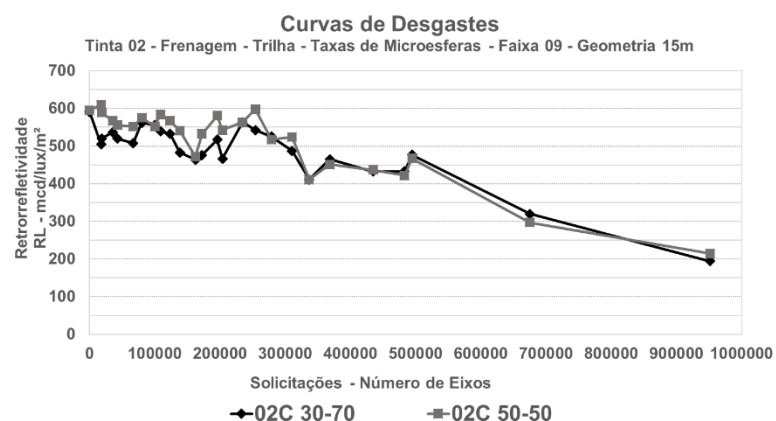
Anexo 4 - Figura 15 - Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 10 - Geom.
15m



Anexo 4 - Figura 16 - Microesfera A - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m



Anexo 4 - Figura 17 - Microesfera B - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m

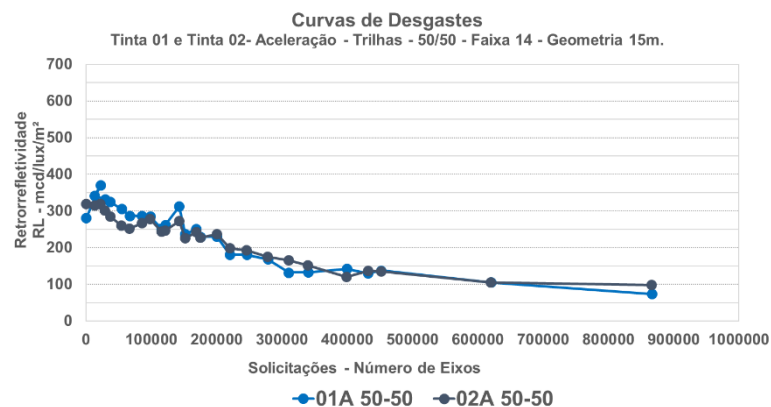


Anexo 4 - Figura 18- Microesfera C - Comp. Taxas - Tinta 02 - Faixa 09 - Geom. 15m

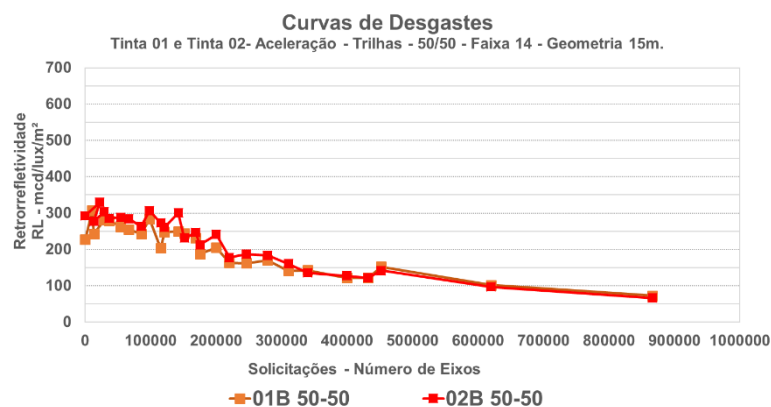
ANEXO 05

Comparação entre o desempenho das Tintas 01 e Tinta 02.

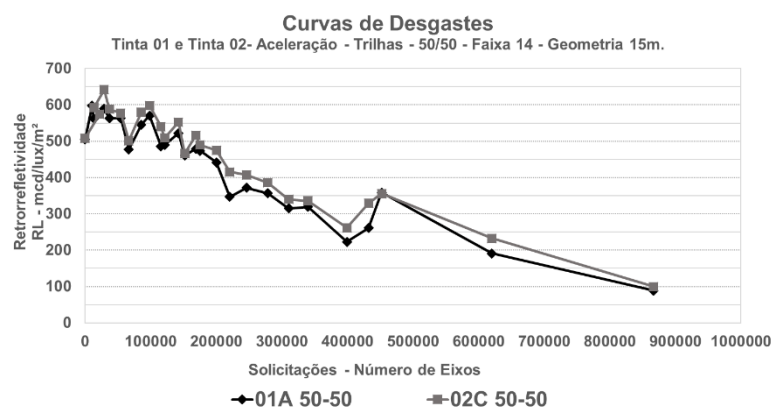
Anexo 5 - Figura 1 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m.	136
Anexo 5 - Figura 2 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m.	136
Anexo 5 - Figura 3 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m.	136
Anexo 5 - Figura 4 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 13 - Geo. 15m.	137
Anexo 5 - Figura 5 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 13 - Geo. 15m.	137
Anexo 5 - Figura 6 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.	137
Anexo 5 - Figura 7 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m.	138
Anexo 5 - Figura 8 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m.	138
Anexo 5 - Figura 9 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m.	138
Anexo 5 - Figura 10 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.	139
Anexo 5 - Figura 11 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.	139
Anexo 5 - Figura 12 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.	139
Anexo 5 - Figura 13 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m.	140
Anexo 5 - Figura 14 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m.	140
Anexo 5 - Figura 15 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m.	140
Anexo 5 - Figura 16 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m.	141
Anexo 5 - Figura 17 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m.	141
Anexo 5 - Figura 18 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m.	141



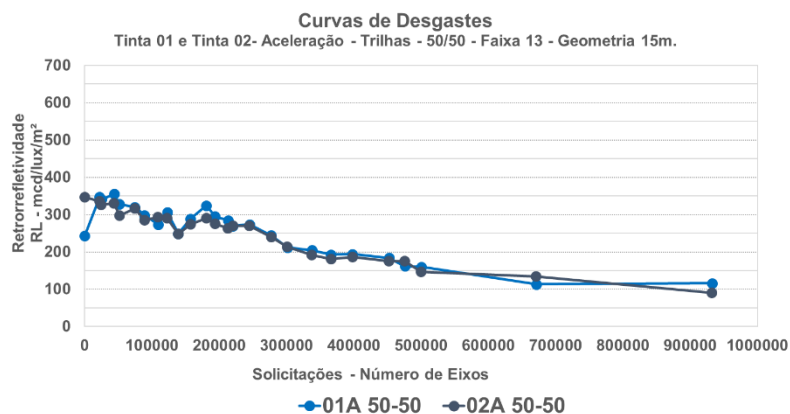
Anexo 5 - Figura 1 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m.



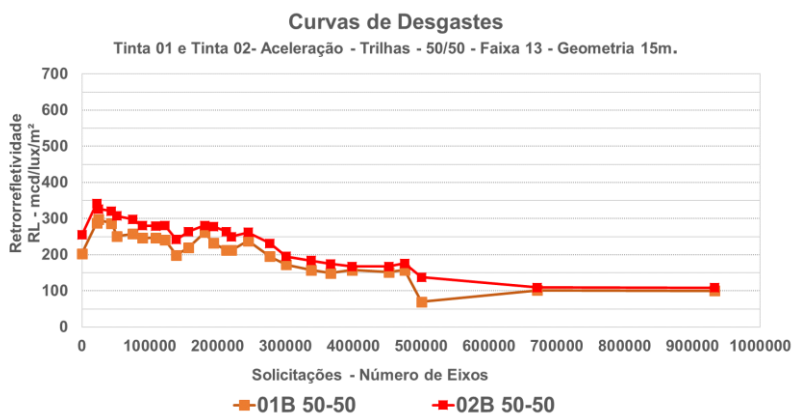
Anexo 5 - Figura 2 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m.



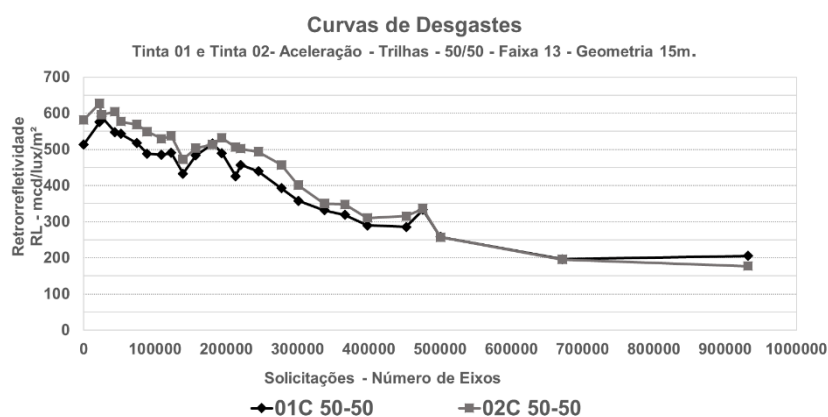
Anexo 5 - Figura 3 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 14 - Geo. 15m



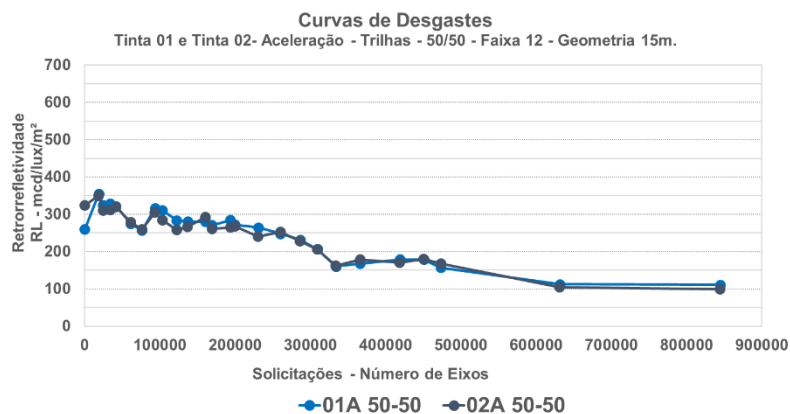
Anexo 5 - Figura 4 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 13 - Geo. 15m.



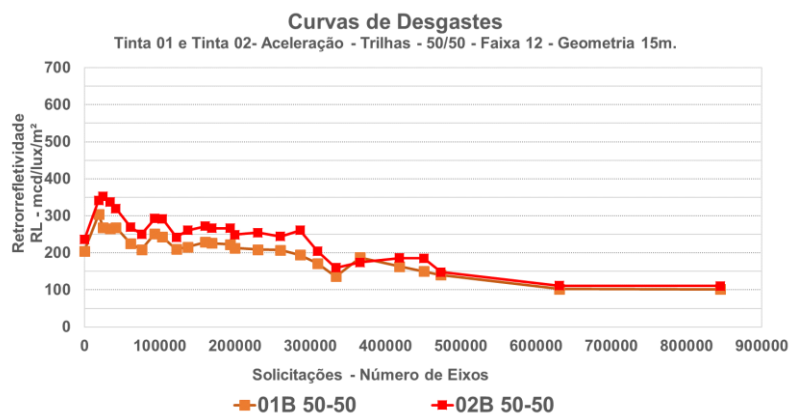
Anexo 5 - Figura 5 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 13 - Geo. 15m.



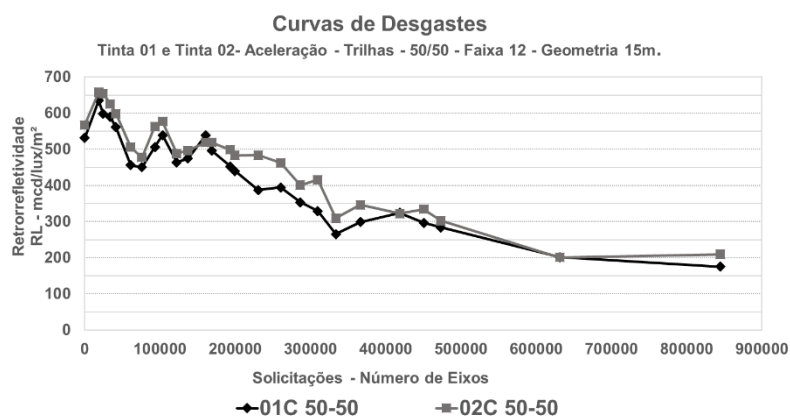
Anexo 5 - Figura 6 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m



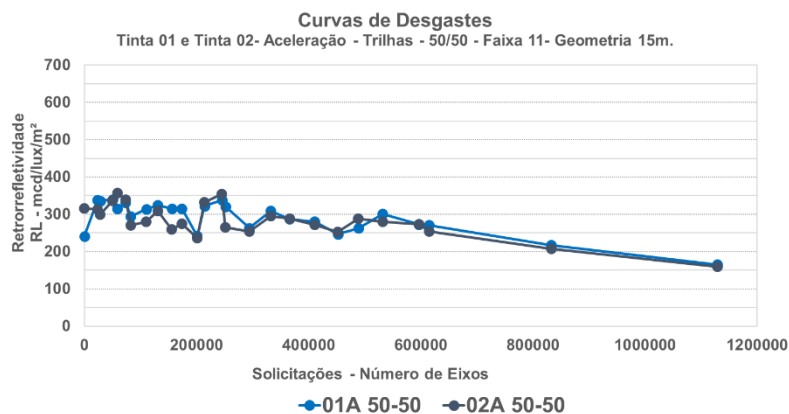
Anexo 5 - Figura 7 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m.



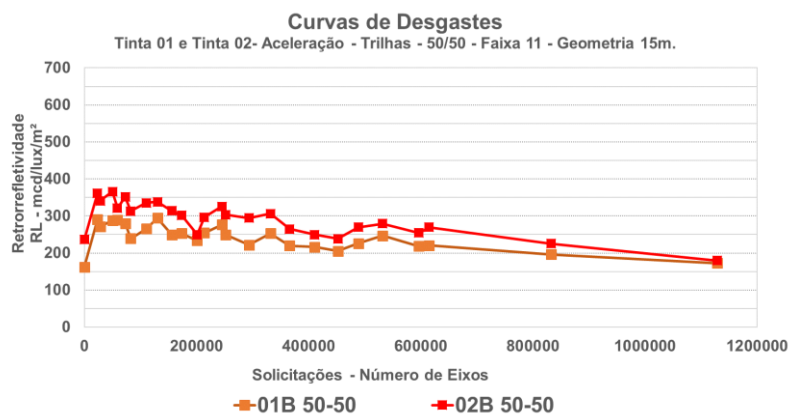
Anexo 5 - Figura 8 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m.



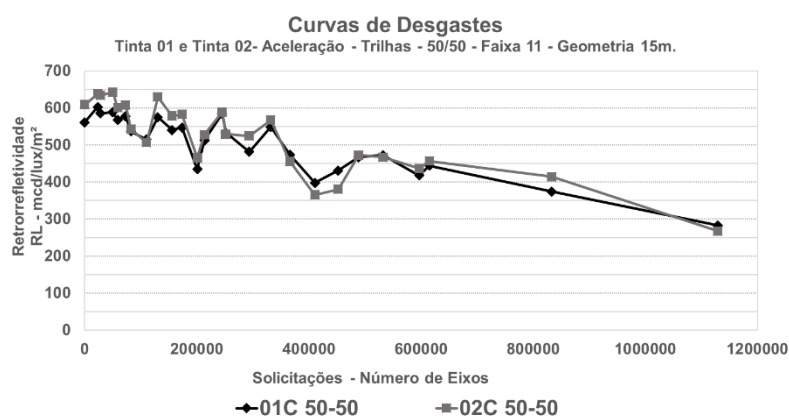
Anexo 5 - Figura 9 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 12 - Geo. 15m



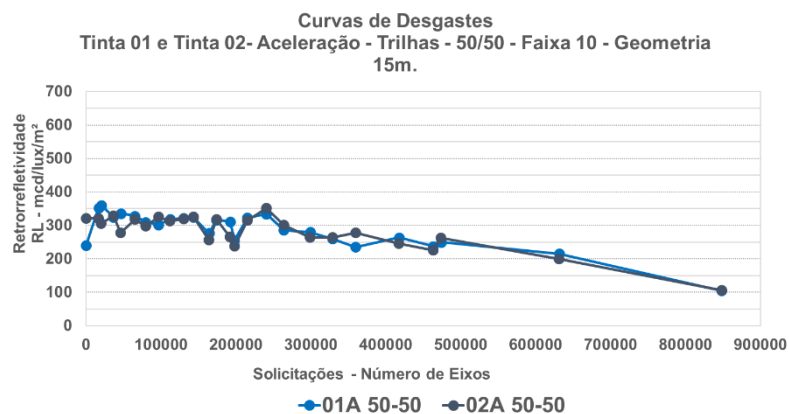
Anexo 5 - Figura 10 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.



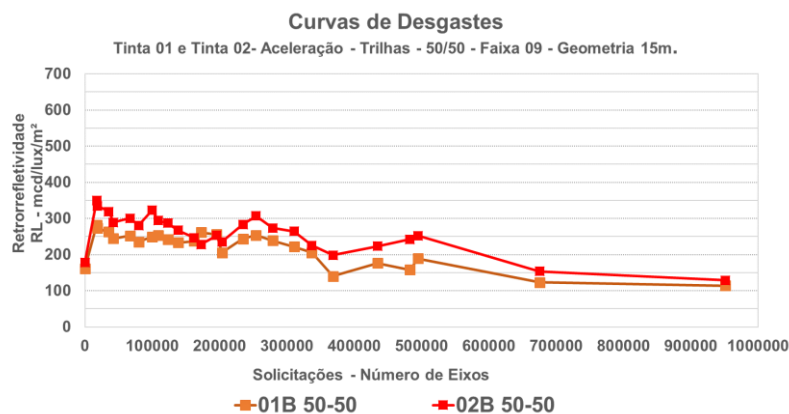
Anexo 5 - Figura 11 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m.



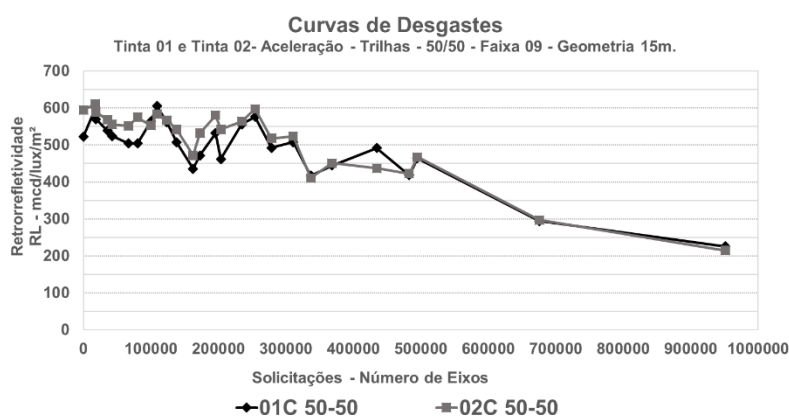
Anexo 5 - Figura 12 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 11 - Geo. 15m



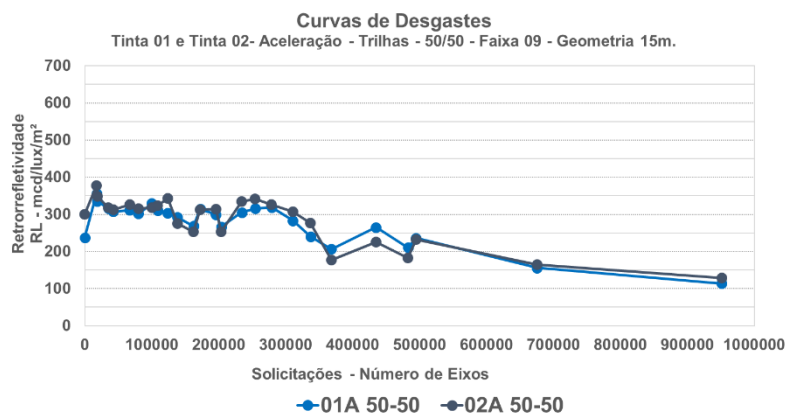
Anexo 5 - Figura 13 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m.



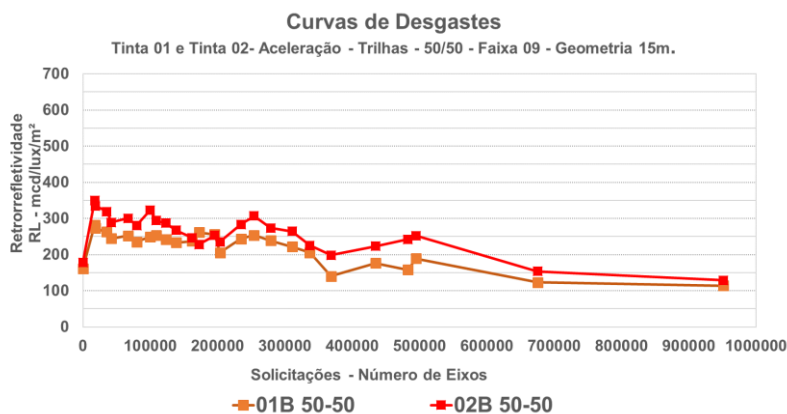
Anexo 5 - Figura 14 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m.



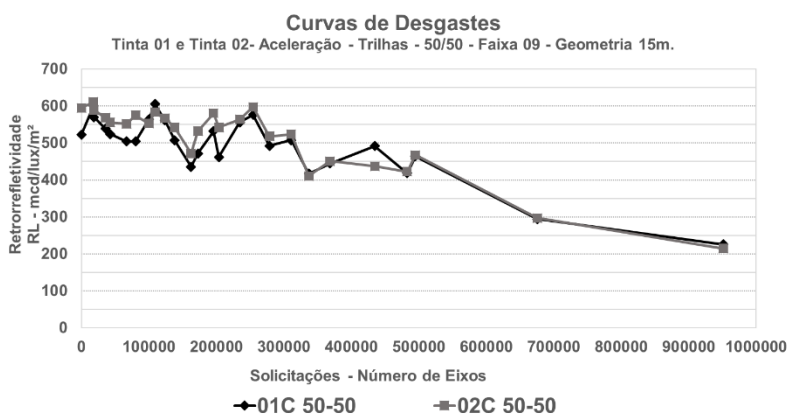
Anexo 5 - Figura 15 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 10 - Geo. 15m



Anexo 5 - Figura 16 - Microesfera A - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m.



Anexo 5 - Figura 17 - Microesfera B - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m.

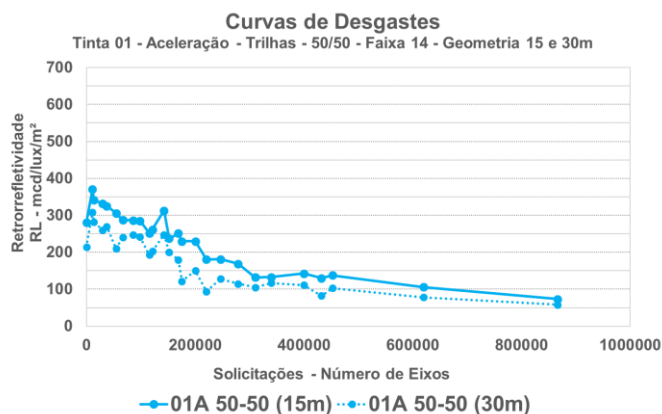


Anexo 5 - Figura 18 - Microesfera C - Comparação entre tintas - 50/50 - Faixa 09 - Geo. 15m

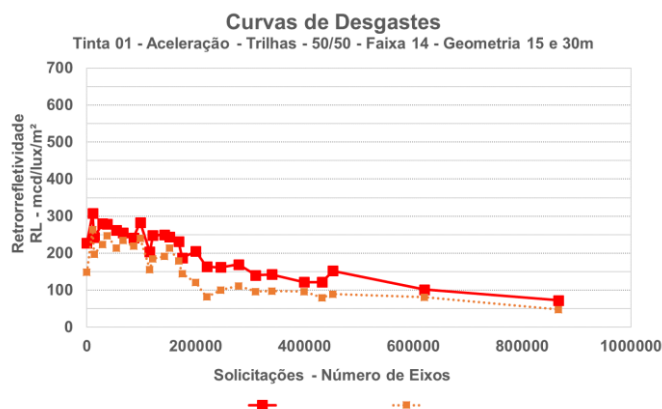
ANEXO 06

Comparação entre Geometria de 15 e 30m.

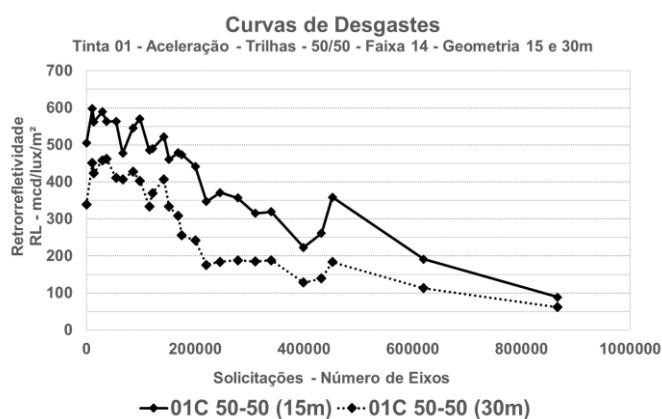
Anexo 6 - Figura 1 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14	143
Anexo 6 - Figura 2 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14	143
Anexo 6 - Figura 3 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14.....	143
Anexo 6 - Figura 4 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13	144
Anexo 6 - Figura 5 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13	144
Anexo 6 - Figura 6 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13.....	144
Anexo 6 - Figura 7 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12	145
Anexo 6 - Figura 8 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12	145
Anexo 6 - Figura 9 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12.....	145
Anexo 6 - Figura 10 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11	146
Anexo 6 - Figura 11 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11	146
Anexo 6 - Figura 12 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11.....	146
Anexo 6 - Figura 13 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10.	147
Anexo 6 - Figura 14 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10.	147
Anexo 6 - Figura 15 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10..	147
Anexo 6 - Figura 16 - Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09	148
Anexo 6 - Figura 17 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09	148
Anexo 6 - Figura 18 - Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09.....	148



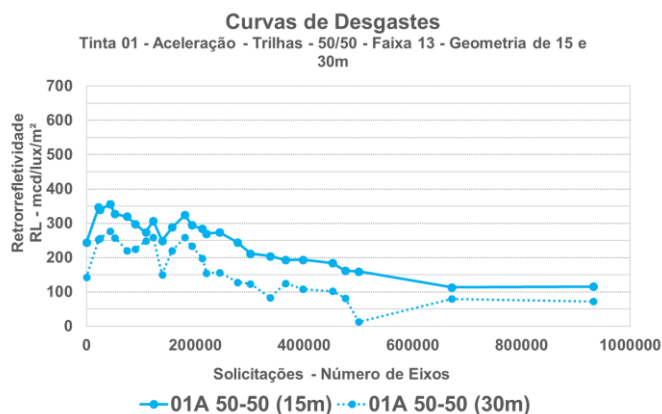
Anexo 6 - Figura 1- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14



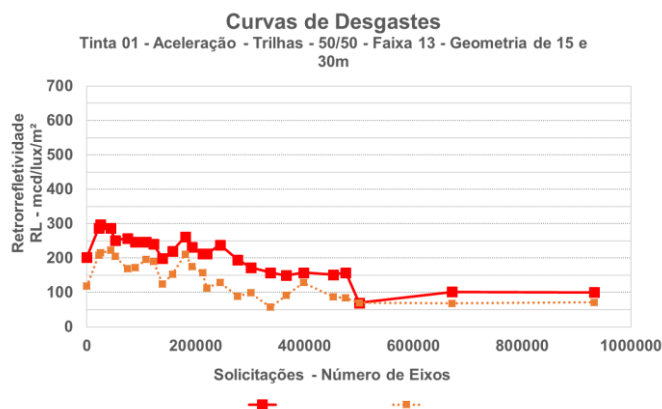
Anexo 6 - Figura 2 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14



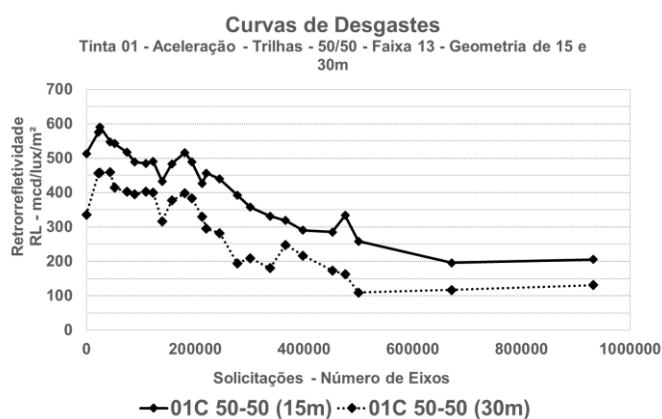
Anexo 6 - Figura 3- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 14



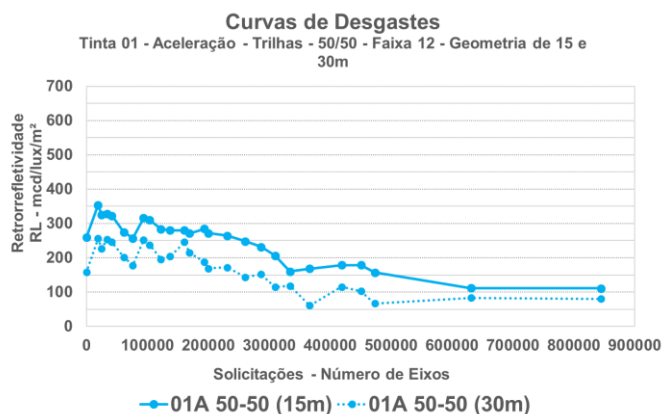
Anexo 6 - Figura 4- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13



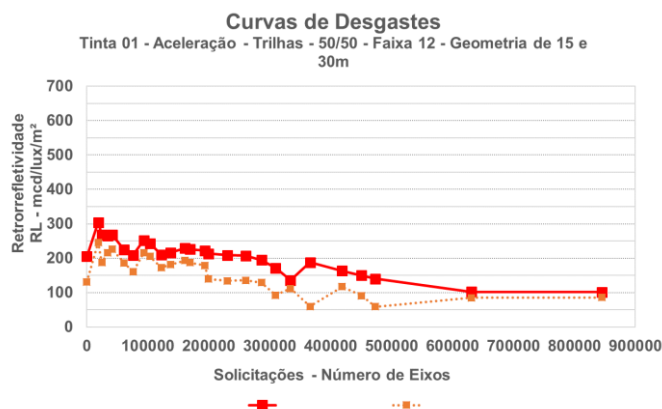
Anexo 6 - Figura 5 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13



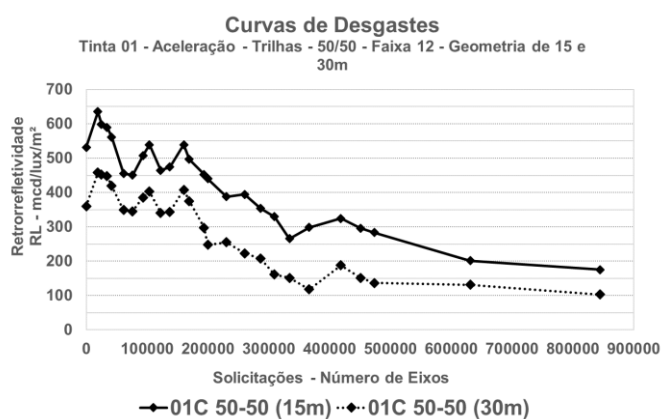
Anexo 6 - Figura 6- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 13



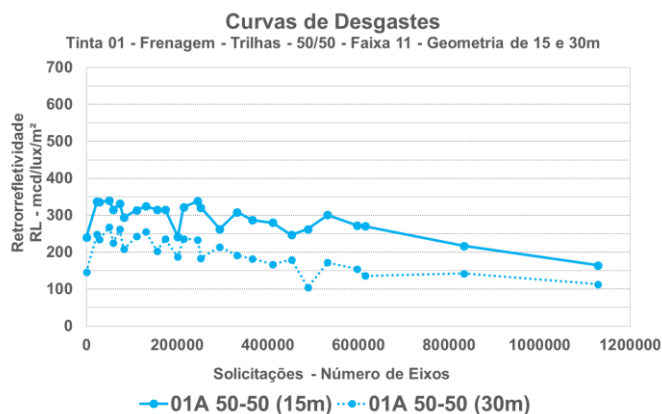
Anexo 6 - Figura 7- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12



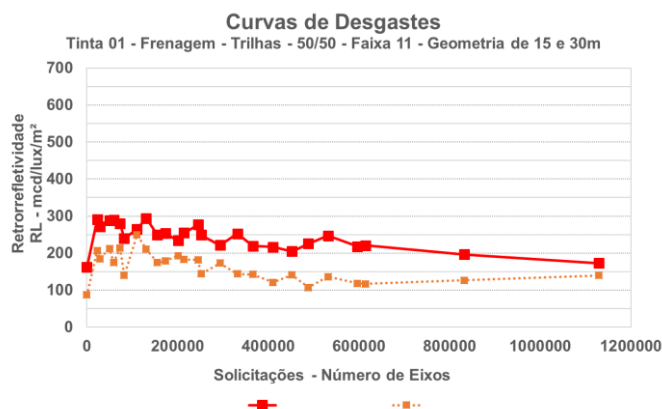
Anexo 6 - Figura 8 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12



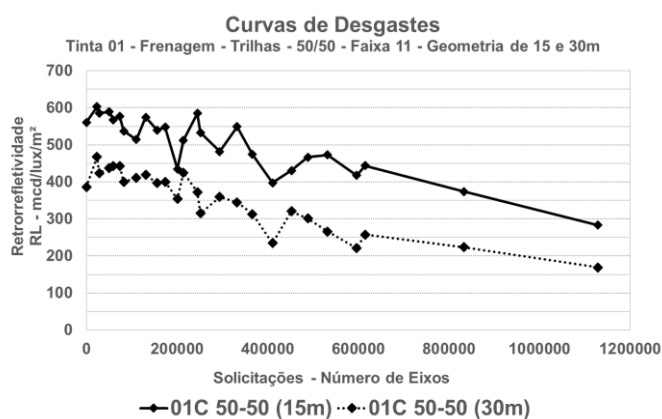
Anexo 6 - Figura 9- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 12



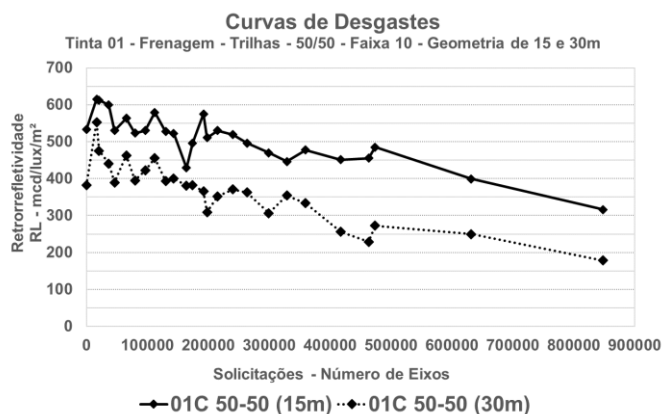
Anexo 6 - Figura 10- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11



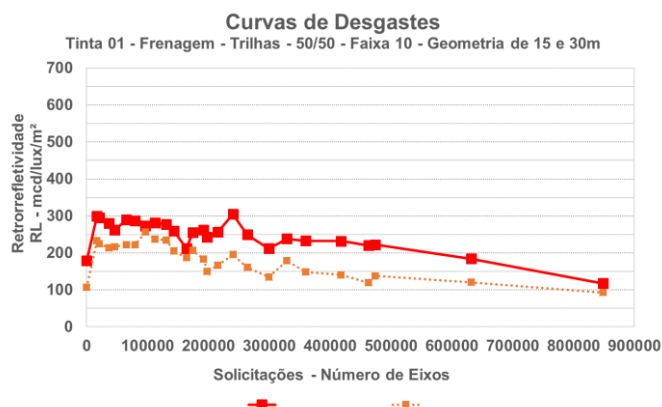
Anexo 6 - Figura 11 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11



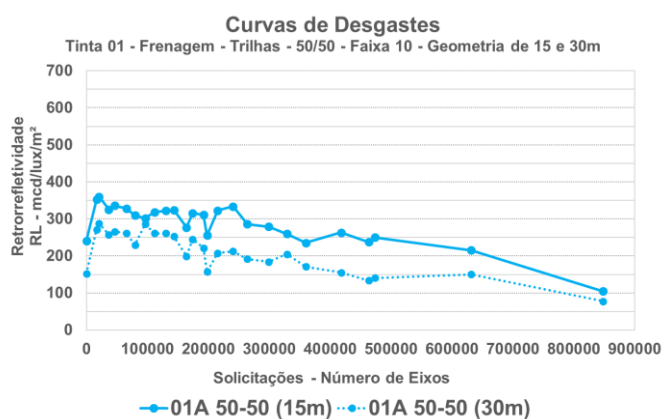
Anexo 6 - Figura 12- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 11



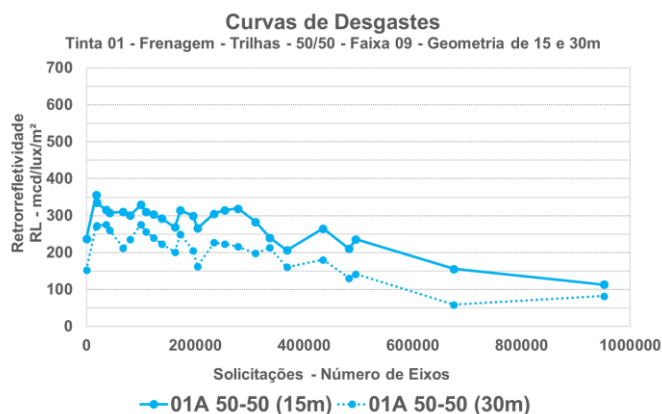
Anexo 6 - Figura 13- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10.



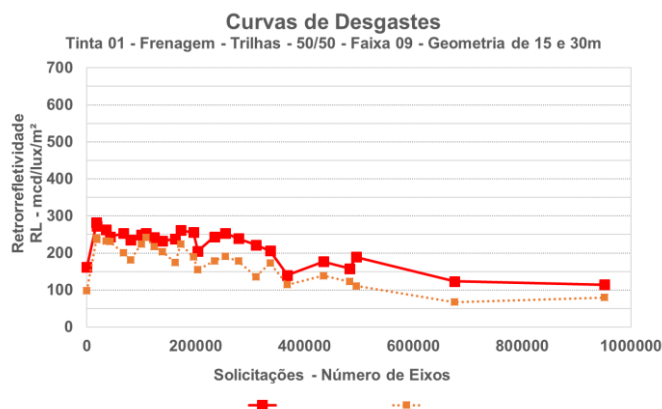
Anexo 6 - Figura 14 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10.



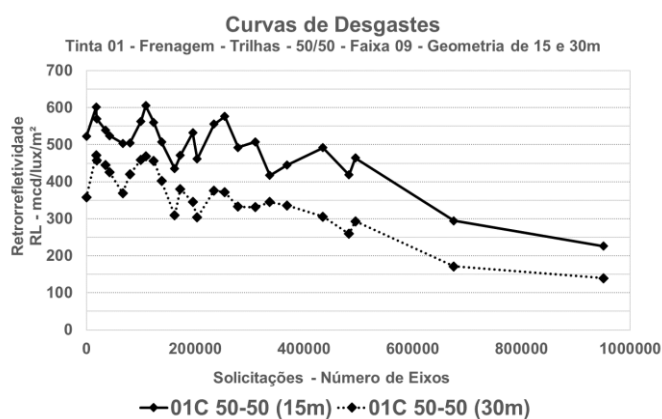
Anexo 6 - Figura 15- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 10.



Anexo 6 - Figura 16- Microesfera A - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09



Anexo 6 - Figura 17 - Microesfera B - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09

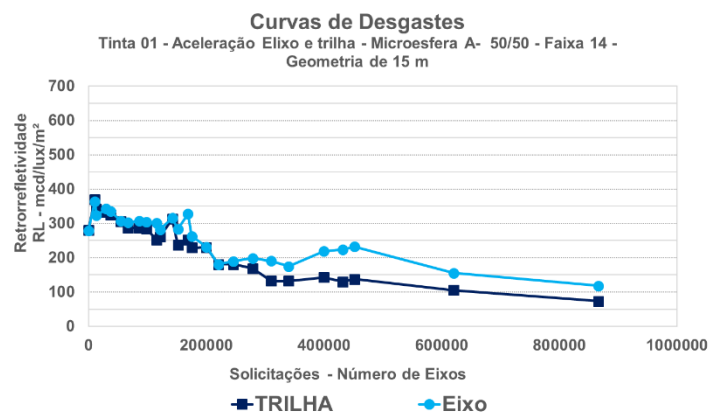


Anexo 6 - Figura 18- Microesfera C - Comp. Geometria de 15 e 30 m - 50/50 - Faixa 09

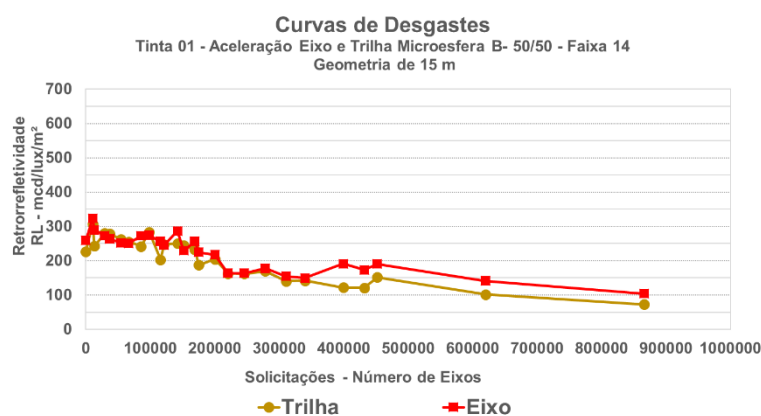
ANEXO 07

Comparação entre Trilha de Roda e Eixo

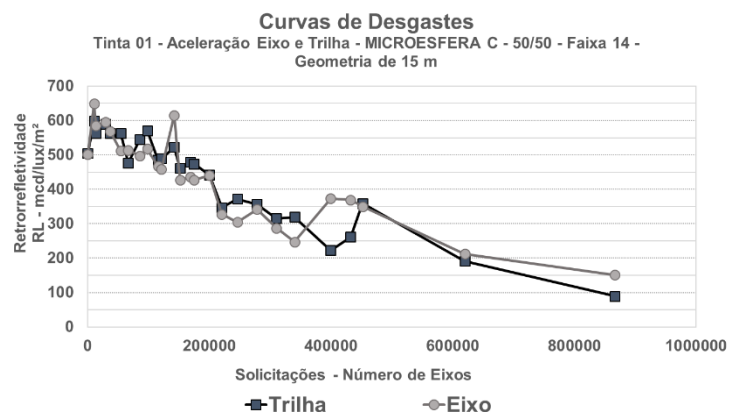
Anexo 7 - Figura 1- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 14 - Microesfera A	150
Anexo 7 - Figura 2 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 14 - Microesfera B.....	150
Anexo 7 - Figura 3 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa14 - Microesfera C	150
Anexo 7 - Figura 4- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera A	151
Anexo 7 - Figura 5 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera B.....	151
Anexo 7 - Figura 6 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera C.....	151
Anexo 7 - Figura 7- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera A	152
Anexo 7 - Figura 8- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera B	152
Anexo 7 - Figura 9 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera C.....	152
Anexo 7 - Figura 10- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera A	153
Anexo 7 - Figura 11 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera B	153
Anexo 7 - Figura 12 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera C	153
Anexo 7 - Figura 13- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera A	154
Anexo 7 - Figura 14 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera B	154
Anexo 7 - Figura 15 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera C	154
Anexo 7 - Figura 16- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 09 - Microesfera A	155
Anexo 7 - Figura 17 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera B	155
Anexo 7 - Figura 18 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera C	155



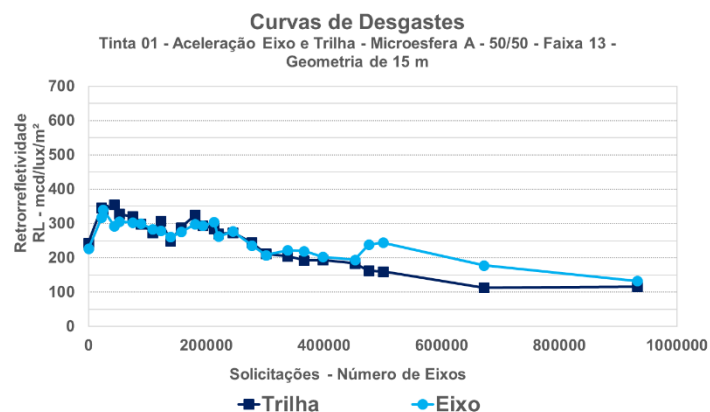
Anexo 7 - Figura 1- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 14 - Microesfera A



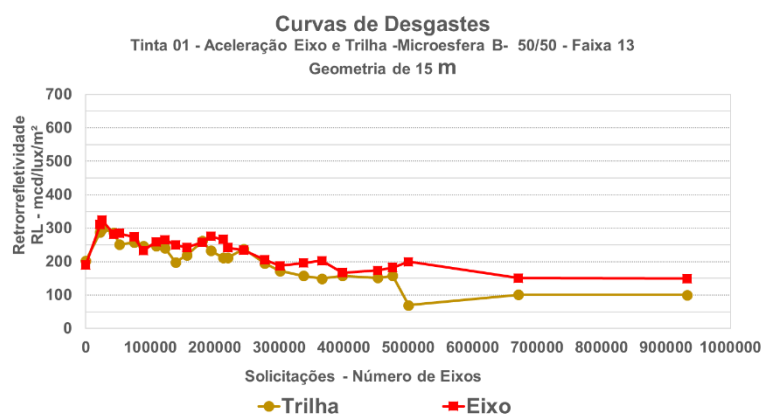
Anexo 7 - Figura 2 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 14 - Microesfera B



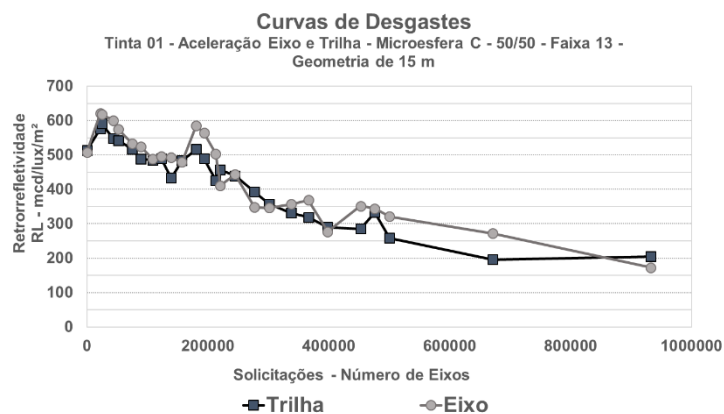
Anexo 7 - Figura 3 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa14 - Microesfera C



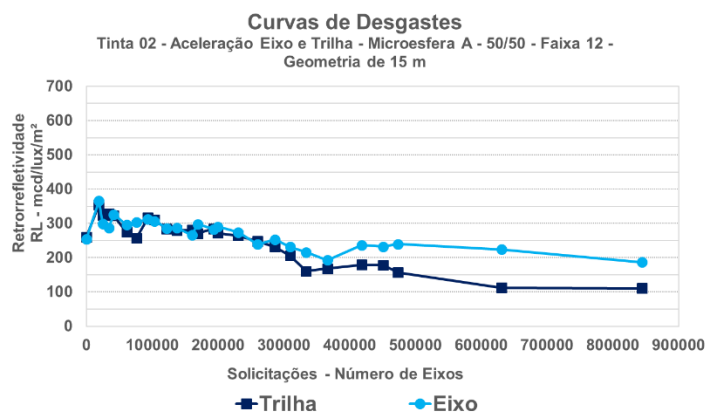
Anexo 7 - Figura 4- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera A



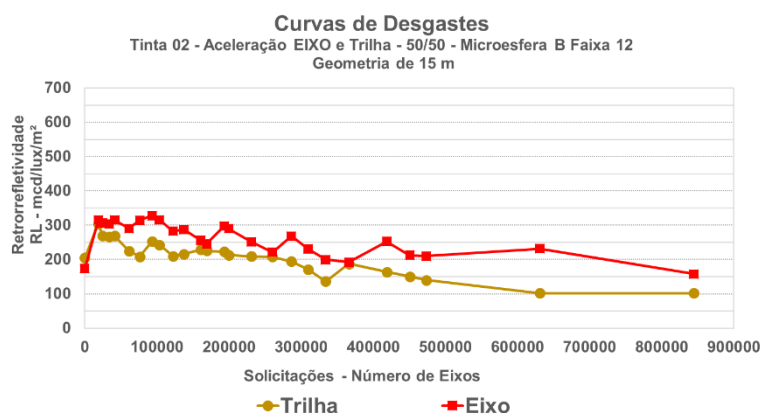
Anexo 7 - Figura 5 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera B



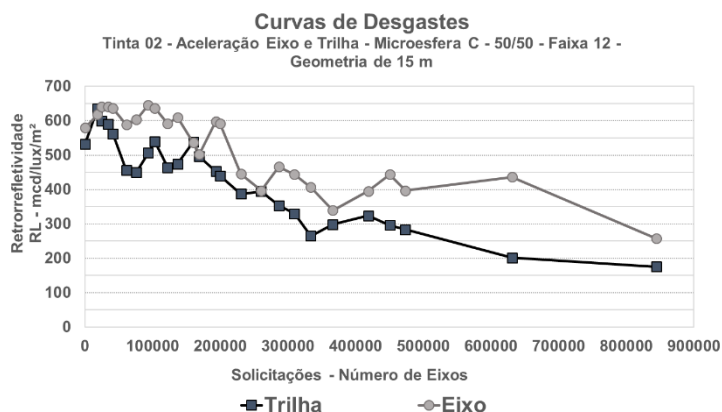
Anexo 7 - Figura 6 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera C



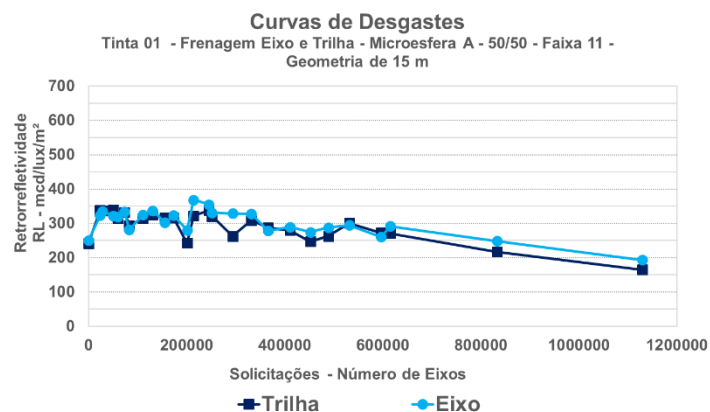
Anexo 7 - Figura 7- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera A



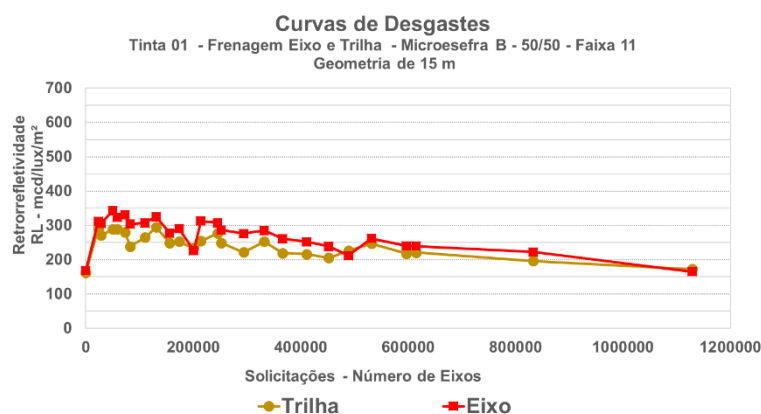
Anexo 7 - Figura 8- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera B



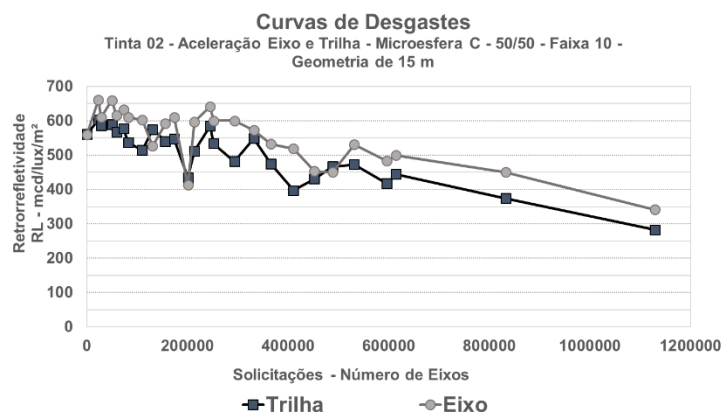
Anexo 7 - Figura 9 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 12 - Microesfera C



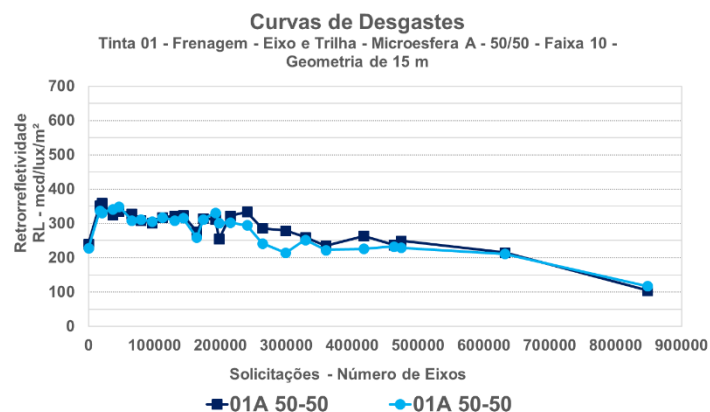
Anexo 7 - Figura 10- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera A



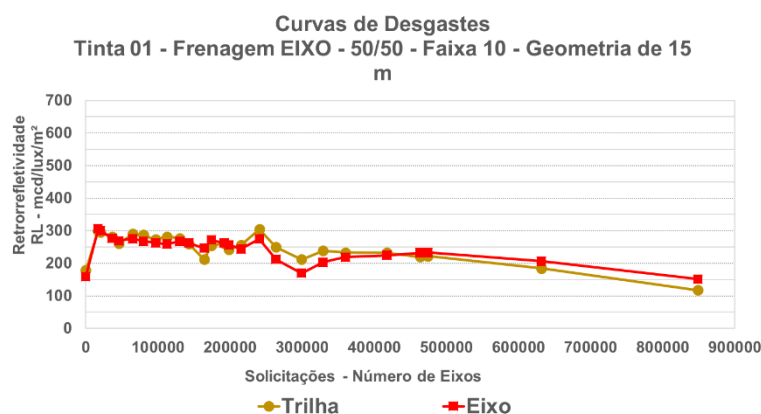
Anexo 7 - Figura 11 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera B



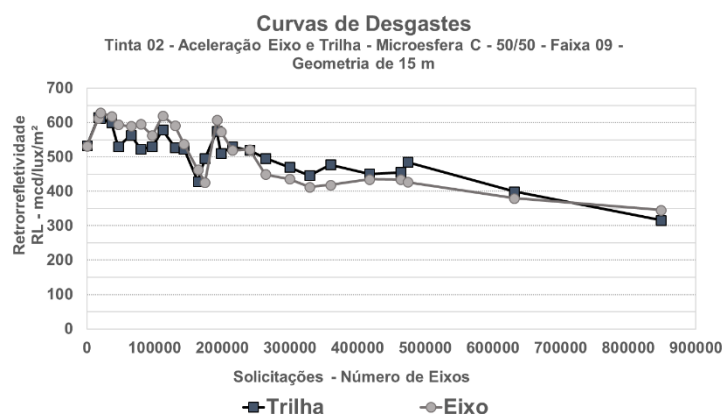
Anexo 7 - Figura 12 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 11 - Microesfera C



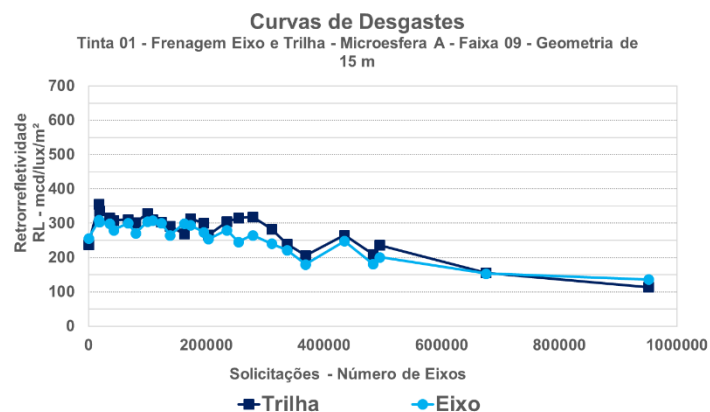
Anexo 7 - Figura 13- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera A



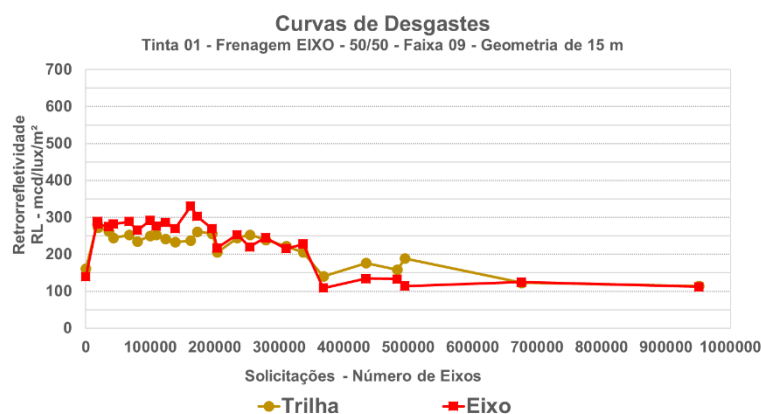
Anexo 7 - Figura 14 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera B



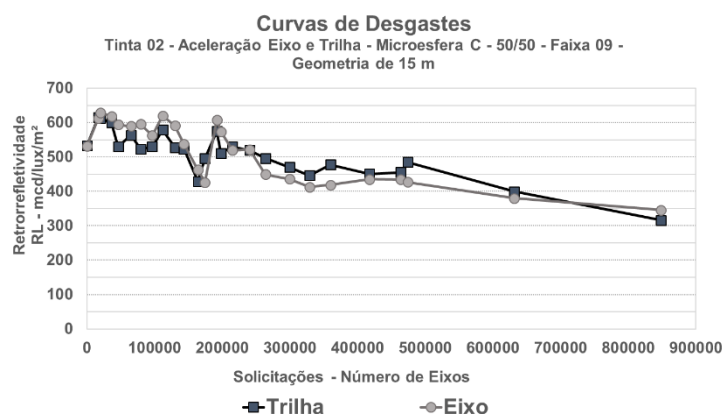
Anexo 7 - Figura 15 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 10 - Microesfera C



Anexo 7 - Figura 16- Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 09 - Microesfera A



Anexo 7 - Figura 17 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera B



Anexo 7 - Figura 18 - Comp. Trilha de Roda e Eixo - Faixa 13 - Microesfera C