

REDEMAT - REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - CETEC – UEMG

CURSO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Dissertação de Mestrado

ESTUDO DO DESEMPENHO DOS MATERIAIS DE DEMARCAÇÃO VIÁRIA RETRORREFLETIVOS

Autora: Maria Selma Freitas Schwab

Orientador: Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso

Maria Selma Freitas Schwab

**ESTUDO DO DESEMPENHO DOS MATERIAIS DE
DEMARCAÇÃO VIÁRIA RETRORREFLETIVOS**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Materiais da REDEMAT**

Área de Concentração: Análise e Seleção dos Materiais

Orientador: Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso

Belo Horizonte, Junho de 1999

Aos meus filhos Ana Carolina e Francisco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que nos dotou do pensamento e da razão, dando-nos a possibilidade de sermos senhores do nosso próprio destino e colaboradores na evolução do mundo que nos cerca.

Meus agradecimentos aos meus pais Emmanoel Schwab e Cleonice Freitas Schwab, que sempre foram para mim e meus irmãos Romero e Gustavo, exemplo de honestidade e determinação.

Ao pesquisador Robson José de Cássia Franco Afonso, meu professor e orientador, cuja experiência e dedicação se constituíram em elementos chave para meu crescimento intelectual, agradeço por ter acreditado e por ter ajudado a tornar realidade um sonho acalentado há tantos anos.

Ao professor Antônio Valadão Cardoso, e aos amigos do CETEC, Vítor Gouveia e Luiz Carlos Pataca, agradeço pelas sugestões e interesse.

Meus agradecimentos ao DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, pelo incentivo ao meu aperfeiçoamento técnico.

A FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, meus agradecimentos pelo apoio financeiro em relação à pesquisa TEC 778/95, que se constituiu na semente deste trabalho.

Aos meus colegas de turma e professores do curso de mestrado, com os quais compartilhei um momento muito importante de minha vida; em especial, à Maria de Fátima Amazonas, colega e amiga, minha sincera gratidão.

Agradeço ao César, meu companheiro, com quem tenho vivido a promessa de um devotamento recíproco, e partilhado uma relação extremamente saudável e verdadeira e a quem admiro sobremaneira, tanto à nível pessoal quanto profissional.

Finalmente, minha gratidão aos meus filhos queridos Carol e Chiquinho, pelo espírito de cooperação e de entendimento, que proporcionaram um ambiente de tranquilidade para que eu pudesse me dedicar a este ideal.

SUMÁRIO

Resumo	11
Abstract	12
Publicações originadas desta dissertação	13
Índice de Tabelas	14
Índice de Figuras	15
1 – Introdução	
1.1. - Relevância e Justificativa.....	18
2 – Revisão Bibliográfica	
2.1. – Histórico.....	25
2.2. – Microesferas e Esferas de Vidro.....	31
2.3. – Critérios de Visibilidade.....	41
2.3.1. – Não Quantificáveis.....	41
2.3.1.1. – Conspicuidade	41
2.3.1.2. – Legibilidade.....	42
2.3.2. – Quantificáveis.....	42
2.3.2.1. – Contraste.....	42
2.3.2.2. – Coeficiente de Luminância Retrorrefletida.....	43
2.4. – Retrorrefletância.....	43
2.4.1. – Conceitos Básicos.....	44

2.4.1.1 – Radiação.....	44
2.4.1.2. – Refração.....	45
2.4.1.3. – Reflexão.....	46
2.4.1.3.1. - Reflexão Difusa.....	47
2.4.1.3.2. – Reflexão Especular.....	48
2.4.1.3.3. – Retrorreflexão.....	49
2.4.1.4. – Angularidade.....	50
2.4.1.4.1. – Ângulo de Incidência.....	50
2.4.1.4.2. – Ângulo de Iluminação.....	50
2.4.1.4.3. – Ângulo de Observação.....	51
2.4.2. – Unidades de Medida.....	51
2.4.2.1. – Ângulo Sólido.....	51
2.4.2.2. – Intensidade Luminosa.....	52
2.4.2.3. – Fluxo Luminoso.....	53
2.4.2.4. – Iluminância.....	53
2.4.2.5. – Luminância.....	54
2.4.2.6. – Coeficiente de Luminância Retrorrefletida.....	54
2.4.3. – Medida de Retrorrefletância em Materiais de Demarcação Viária.....	55
3 - Metodologia	
3.1. – O Problema.....	60

3.2. – Os Objetivos.....	60
3.3. – Atividades Executadas nos Experimentos de Campo.....	61
3.3.1 – Detalhamento das Atividades.....	62
3.3.2. – Caracterização dos Materiais em Laboratório.....	63
3.3.3. – Aplicação dos Materiais nos Trechos-teste.....	65
3.3.3.1. – Sistemas Aplicados.....	65
3.3.3.1.1. – Baterias de Testes.....	66
3.3.3.2. – Dimensões e Disposição dos Sistemas.....	68
3.3.3.3. – Equipamentos Utilizados na Aplicação dos Materiais.....	70
3.3.3.4. – Calibragem dos Equipamentos.....	71
3.3.3.4.1. – Velocidade de Trabalho.....	72
3.3.3.4.2. – Largura da Faixa.....	73
3.3.3.4.3. – Espessura da Película Úmida de Tinta.....	73
3.3.3.4.4. – Aspersão de Microesferas.....	74
3.3.3.5. – Preparação das Superfícies.....	75
3.3.3.6. – Controle das Condições de Aplicação.....	75
3.3.3.6.1. – Temperatura do Pavimento.....	75
3.3.3.6.2. – Temperatura Ambiente e Umidade do Ar.....	75
3.3.3.6.3. – Coleta de Dados.....	76
3.3.4. – Avaliação Periódica dos Sistemas Aplicados.....	76
3.3.4.1. – Definição das Trilhas de Rodas.....	76

3.3.4.2. – Cronograma das Avaliações.....	78
3.3.4.3. – Coleta de Dados.....	78
3.3.4.3.1. – Desgaste.....	78
3.3.4.3.2. – Retrorrefletância.....	79
3.3.4.4 – Procedimentos de Avaliação.....	81
3.3.4.4.1. – Retrorrefletância.....	81
3.3.4.4.2. – Desgaste.....	81
3.4. – Atividades Executadas nos Experimentos de Laboratório.....	85
3.4.1. – Caracterização dos Materiais.....	85
3.4.2. – Equipamento Aplicador de Tintas.....	85
3.4.3. – Equipamento Aplicador de Esferas de Vidro.....	87
3.4.4. – Procedimentos Utilizados na Aplicação.....	89
3.4.4.1. – Determinação das Rotações do Equipamento Aplicador de Esferas.....	89
3.4.4.2. – Calibragem da Espessura do Filme de Tinta.....	91
3.4.4.3. – Determinação da Altura do Equipamento Aplicador de Esferas.....	93
3.4.4.4 – Aplicação da Tinta e das Esferas.....	94
3.4.4.5. – Medição da Ancoragem das Esferas de Vidro.....	95
3.4.4.6. – Medição da Retrorrefletância Inicial.....	99

4 – Apresentação e Discussão dos Resultados

4.1 - Resultados Obtidos nos Experimentos de Campo.....	100
---	-----

4.1.1. – Apresentação dos Dados.....	108
4.1.2. – Análise do Comportamento dos Sistemas Aplicados.....	108
4.1.2.1. – Elastoplástico.....	108
4.1.2.2. – Tinta à Base de Resina Acrílica (Solvente).....	111
4.1.2.3. – Tinta à Base de Resina Acrílica Emulsionada em Água.....	113
4.1.2.4. – Termoplástico Extrudado.....	116
4.1.2.5. – Termoplástico Aspergido.....	118
4.1.3. – Análise Comparativa entre os Sistemas.....	121
4.1.3.1. – Desempenho dos Materiais Quanto ao Desgaste.....	121
4.1.3.2. – Desempenho dos Materiais Quanto à Retrorrefletância.....	121
4.1.3.3. – Sistemas com Melhor Desempenho.....	124
4.2. – Resultados Obtidos nos Experimentos de Laboratório.....	128
4.2.1. – Determinação da Rotações do Equipamento Aplicador de Esferas.....	128
4.2.2. – Medição da Ancoragem das Esferas na Tinta.....	128
4.2.3. – Medição da Retrorrefletância Inicial.....	131
4.2.4. – Análise dos Resultados.....	132
4.3. – Conseqüências/Benefícios do Estudo.....	133
5. Conclusões e Proposições para Novos Estudos	
5.1. – Conclusões.....	136
5.2. – Sugestões para Novos Estudos	143
6. Referências Bibliográficas.....	144

Anexo I - Dados Coletados em Campo - Aplicação dos Materiais de Demarcação Viária.....	149
Anexo II - Dados Coletados em Campo - Avaliações Periódicas de Desgaste.....	159
Anexo III - Dados Coletados em Campo - Avaliações Periódicas de Retrorefletância.....	176
Anexo IV - Dados Coletados em Campo - Valores Médios dos Dados Obtidos nas Avaliações Periódicas de Retrorefletância.....	210
Anexo V - Dados Coletados em Laboratório - Resultados Obtidos na Determinação das Rotações do Equipamento Aplicador de Microesferas de Vidro.....	237
Anexo VI - Dados Coletados em Campo - Gráficos de Desgaste.....	242
Anexo VII - Dados Coletados em Campo - Gráficos de Retrorefletância.....	274
Anexo VIII - Dados Coletados em Laboratório - Medição da Retrorefletância Inicial das Placas Amostrais.....	301

RESUMO

Neste trabalho foram avaliados o desempenho, quanto à retrorrefletância e desgaste, de diversos materiais utilizados em demarcação viária, implantados em campo, sob condições de tráfego conhecidas.

Foi também desenvolvido o equipamento e uma metodologia para aplicação, com ancoragem controlada, dos materiais de demarcação viária em laboratório. Esta metodologia foi utilizada para se estabelecer taxas ideais de aplicação de microesferas de vidro em relação à retrorrefletividade inicial.

Os materiais foram caracterizados de acordo com os padrões nacionais. Foram propostos novos procedimentos para medidas de retrorrefletância e desgaste dos materiais no campo.

À partir dos dados de campo, foram propostos valores mínimos aceitáveis de retrorrefletividade inicial, desgaste e retrorrefletividade final dos materiais, abaixo dos quais recomenda-se a manutenção dos sistemas de demarcação viária.

Finalmente, foram estabelecidas relações de custos/benefício entre os diversos materiais utilizados na sinalização horizontal em rodovias brasileiras.

ABSTRACT

In this work, it was evaluated the performance, regarding to retroreflectivity and wear of several road marking materials, applied on a test field of known traffic conditions.

It was also developed a device and methodology for the application of glass beads on road marking paints under controlled embedment, in laboratory.

This methodology was used to established the correlations between rates (g/m^2) of glass beads and initial retroreflectivity.

The materials were characterized according to the brazilian standards. It was proposed new standard procedures for measurement of retroreflectivity and wear of applied road marking materials.

Based on field and laboratory studies, it was proposed minimal acceptance values for initial retroreflectivity and minimal values for final retroreflectivity and wear of road markings, when the maintenance of the system is recommended.

Finally, it was established the relationship between cost and benefit of the various road marking materials, used on horizontal signalization on the brazilian roads.

PUBLICAÇÕES ORIGINADAS DESTA DISSERTAÇÃO

SCHWAB, S., AFONSO, R., RODRIGUES, C., “Retrorrefletância inicial x taxa de aplicação de microesferas de vidro em tintas de demarcação viária”. In: Revista VIAS GERAIS, nº02, Publicação do Centro de Transferência de Tecnologia do Instituto Pan-Americano de Carreteras – IPC, Belo Horizonte, 1998.

SCHWAB, S., AFONSO, R., RODRIGUES, C., “Initial Retroreflectivity x Glass Beads Application Rate on Road Marking Paint”, encaminhado para publicação na Revista ROUTES/ROADS, em processo de revisão, 1999.

Matéria intitulada “Sinais de vida”, escrita pelo repórter Ney Soares Filho, publicada em 02.05.1999, nas páginas 1 e 3 do caderno Minas, do jornal HOJE EM DIA.

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1. – Mercados dos Materiais de Demarcação Viária.....	27
TABELA 2.2. – Faixas Granulométricas de Esferas e Microesferas de Vidro.....	33
TABELA 2.3. - Espectro Eletromagnético.....	45
TABELA 3.1. – Quadro Resumo de Contagem Volumétrica.....	63
TABELA 3.2. – Ensaio de Caracterização de Tintas.....	64
TABELA 3.3. – Ensaio de Caracterização de Microesferas de Vidro.....	64
TABELA 3.4. – Ensaio de Caracterização de Termoplásticos.....	65
TABELA 3.5. – Cronograma das Avaliações.....	78
TABELA 4.1. - Dispersão dos Resultados de Retrorrefletância.....	100
TABELA 4.2. - Resultados de Campo - Quadro Resumo I.....	103
TABELA 4.3. - Resultados de Campo - Quadro Resumo II.....	104
TABELA 4.4. - Resultados de Campo - Quadro Resumo III.....	105
TABELA 4.5. - Resultados de Campo - Quadro Resumo IV.....	106
TABELA 4.6. - Resultados de Campo - Quadro Resumo V.....	107
TABELA 4.7. - Retrorrefletância dos Sistemas Aplicados (Pavimento Flexível).....	125
TABELA 4.8. - Retrorrefletância dos Sistemas Aplicados (Pavimento Rígido).....	127
TABELA 4.9. – Medição de Ancoragem das Esferas Aplicadas na Amostra XXV.....	129
TABELA 4.10. – Taxas de Aplicação de Microesferas x valores de R_{Li}	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. – Perfil demográfico da população brasileira.....	21
FIGURA 2.1. – Retrorrefletividade da esfera de vidro.....	34
FIGURA 2.2. – Efeito do índice de refração no ponto focal das esferas.....	37
FIGURA 2.3. – Detalhe do foco nas esferas de vidro.....	39
FIGURA 2.4. – Esferas plásticas ancoradas em base de gesso (esquerda para direita), simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90 % de seu diâmetro.....	40
FIGURA 2.5. – Feixe de luz focado em um único ponto, localizado próximo ao plano médio, na parte posterior da esfera.....	40
FIGURA 2.6. – Espectro da luz visível.....	44
FIGURA 2.7. – Reflexão difusa.....	47
FIGURA 2.8. – Reflexão especular.....	48
FIGURA 2.9. – Retrorreflexão.....	49
FIGURA 2.10. – Ângulo de incidência e iluminação.....	50
FIGURA 2.11. – Ângulo de observação.....	51
FIGURA 2.12. – Ângulo sólido.....	52
FIGURA 2.13 – Retrorrefletômetro móvel (Laserlux).....	59
FIGURA 3.1. – Vista geral do trecho-teste.....	69
FIGURA 3.2. – Equipamento utilizado na aplicação das tintas.....	70
FIGURA 3.3. – Equipamento utilizado na aplicação dos termoplásticos.....	70
FIGURA 3.4. - Fusor utilizado no aquecimento dos termoplásticos.....	71

FIGURA 3.5. – Desenho esquemático das trilhas de rodas.....	77
FIGURA.3.6. – Pré-marcação das trilhas de rodas interna e externa.....	77
FIGURA 3.7. – Medição de desgaste com utilização da grelha.....	79
FIGURA 3.8. – Retrorrefletômetro portátil MIROLUX 12.....	80
FIGURA 3.9. – Medição de retrorefletância.....	80
FIGURA 3.10. - Diagrama da grelha utilizada para medição de desgaste.....	82
FIGURA 3.11. - Correlação entre escalas IDT e %AD.....	83
FIGURA 3.12. – Equipamento aplicador de tintas.....	86
FIGURA 3.13. – Outra vista do equipamento aplicador de tintas.....	86
FIGURA 3.14. – Equipamento aplicador de microesferas de vidro.....	88
FIGURA 3.15. – Detalhe do cilindro recartilhado.....	88
FIGURA 3.16. – Distribuição das microesferas de vidro.....	89
FIGURA. 3.17. – Dispositivo de ajuste da rotação do motor.....	90
FIGURA. 3.18. – Filme de tinta (espessura úmida = 0,6 mm).....	92
FIGURA. 3.19. – Desenho esquemático da esfera ancorada na tinta.....	96
FIGURA. 3.20. – Medição da calota esférica.....	97
FIGURA. 3.21. – Medição do diâmetro total da esfera.....	97
FIGURA. 3.22. – Placa amostral sob a lupa ótica.....	98
FIGURA. 3.23. – Imagem obtida na lupa ótica.....	98
FIGURA 4.1. – Comportamento característico do elastoplástico quanto à retrorefletância.....	110

FIGURA 4.2. – Vista noturna das demarcações.....	111
FIGURA 4.3. – Comportamento característico da tinta acrílica (solvente) quanto à retrorrefletância.....	113
FIGURA 4.4. – Comportamento característico da tinta acrílica (água) quanto à retrorrefletância.....	115
FIGURA 4.5. – Comportamento característico do termoplástico extrudado quanto à retrorrefletância.....	118
FIGURA 4.6. – Comportamento característico do termoplástico aspergido quanto à retrorrefletância.....	120
FIGURA 4.7. – Soltura das esferas III-C em termoplástico extrudado.....	124
FIGURA 4.8. - Gráfico Retrorrefletância Inicial x Taxas de Aplicação de Microesferas.....	132
FIGURA 5.1. – Gráfico Vida Útil dos Materiais x Retrorrefletância Mínima	138
FIGURA 5.2. – Gráfico comparativo entre tintas - % de desgaste x tempo.....	140
FIGURA 5.3. – Gráfico comparativo entre termoplásticos - % de desgaste x tempo...140	
FIGURA 5.4. – Soltura dos materiais aplicados em pavimento rígido.....	141

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância e Justificativa

Segundo o CNT - Código Nacional de Trânsito[i]em seu Anexo II, item 2, “Sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária que se utiliza de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento da via. Têm como função organizar o fluxo de veículos e pedestres; controlar e orientar os deslocamentos em situações com problemas de geometria, topografia ou frente à obstáculos; complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação”.

Ainda, o capítulo VII “Da Sinalização de Trânsito” do CNT, art. 80, parág. 1º, reza que: “A sinalização será colocada em posição e em condições que a tornem perfeitamente visível e legível durante o dia e a noite (grifo nosso), em distância compatível com a segurança do trânsito, conforme normas e especificações do Contran – Conselho Nacional de Trânsito.”

Assim, o objetivo básico de uma sinalização viária é proporcionar ao motorista a informação visual necessária para que ele possa guiar um veículo com segurança, em uma variedade de situações, mesmo em condições adversas de tempo.

Uma das formas de conferir a necessária visibilidade é agregar aos materiais de demarcação viária, microesferas de vidro que atuam como lentes que coletam e concentram a luz emitida pelos faróis dos veículos e devolvem-na aos olhos do

motorista, tornando a sinalização visível à noite, ainda que em condições de chuva ou neblina.

De acordo com a norma ABNT NBR 7396[ii], os materiais destinados à sinalização horizontal podem ser tintas, termoplásticos ou pré-fabricados (elastoplásticos), conforme definições a seguir:

As tintas são composições líquidas constituídas por veículos (resinas e solventes), partículas sólidas (cargas e pigmentos), e aditivos. Podem ser de um componente (acrílicas, vinílicas, estireno-butadieno, estireno-acrilato, alquídicas) ou de dois componentes (epóxi, poliuretano).

Os termoplásticos são misturas constituídas por veículos (resinas), partículas sólidas (cargas, pigmentos e microesferas de vidro) e aditivos. Quanto ao tipo, de aplicação podem ser classificados em extrudados ou aspergidos.

Os pré-fabricados ou elastoplásticos são filmes, películas ou fitas constituídas por veículos (resinas), partículas sólidas (cargas, pigmentos e microesferas de vidro) e aditivos, fornecidos em espessuras definidas por ocasião da fabricação, cuja aplicação é feita através da colagem no pavimento.

A sinalização horizontal representa parte significativa dos custos de construção e manutenção em uma rodovia. Os preços médios de demarcação viária praticados no DER/MG - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais, em dezembro de 1998, eram de : tintas acrílicas - R\$ 7,00/m², termoplástico aspergido - R\$ 15,00/m², termoplástico extrudado - R\$ 26,00/m², elastoplástico - R\$ 40,00/m².

Os custos desta sinalização podem representar de 6% a 10% do custo do metro quadrado de construção de uma rodovia, e sua má aplicação ou inadequada

manutenção aumentam os riscos de acidentes de trânsito, que no Brasil, causam prejuízos materiais e sociais da ordem de US\$ 4 bilhões / ano^[iii].

Segundo o DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem^[iv], o número de mortos no tráfego é da ordem de 25.000 a 30.000 pessoas/ano e o número de mortos e feridos é da ordem de 800.000 a 1.000.000 pessoas/ano.

Vários fatores são responsáveis pelos alarmantes dados de acidentes de trânsito no Brasil, que vão desde aspectos culturais até a construção e manutenção das rodovias. Os materiais de demarcação viária são fundamentais à segurança, e sua eficiência depende de sua visibilidade.

Sabe-se que a habilidade do motorista para operar um veículo com segurança reside na percepção da situação, na agilidade e velocidade de assimilação da informação disponível. Por isso, destaca-se a importância dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos, na transmissão rápida de informações visuais aos motoristas, mesmo durante a noite e/ou em condições adversas de tempo (chuva e neblina). A recepção destas informações se dá através dos sentidos, sendo que a visão no presente caso é a mais importante, e a visão, é um processo que se altera com o tempo.

Segundo Cronemberger^[v], fisiologicamente, a sensibilidade retiniana decresce com o aumento da idade. O limiar da sensibilidade retiniana para uma pessoa de 65 anos é de, aproximadamente, duas vezes menor quando comparada com um indivíduo de 23 anos e, além disso, há indivíduos cujo limiar da sensibilidade retiniana já se encontra reduzido, seja por doenças oculares como glaucoma, patologias maculares, anomalia da visão de cores, seja pela influência de intoxicantes.

Como a expectativa de vida e poder de compra da população brasileira e mundial vêm aumentando, bem como o uso de veículos automotores, faz-se necessário a utilização

de sistemas de demarcação viária cada vez mais eficientes à percepção visual, principalmente, para atender aos mais idosos.

Este assunto foi abordado na reportagem da revista “Exame”^[vi] de 27.09.1995, sob o título: “O Brasil está envelhecendo”, vê-se que a vertiginosa redução da taxa de crescimento demográfico do país nas última duas décadas, aliada à diminuição da taxa de mortalidade e ao aumento da expectativa de vida do brasileiro, são responsáveis pelo estreitamento da pirâmide etária no país.

O novo perfil demográfico do brasileiro suscita necessidades por bens e serviços e novas demandas a serem atendidas no setor público.

FIGURA 1.1 - Perfil demográfico da população brasileira



Fonte: Revista Exame, de 27/09/95

Acrescente-se a isto, o fato de que o limite de velocidade aumentou de 80 para 110 km/h, conforme o Código de Trânsito Brasileiro, e que a indústria automobilística implementa melhorias tecnológicas em seus produtos, que redundam quase na maioria das vezes em aumento da potência dos motores.

Tudo isto resulta na necessidade de se ter rodovias mais seguras – melhor projetadas e melhor sinalizadas.

O estudo do desempenho dos diversos materiais retrorrefletivos utilizados na sinalização horizontal, é parte da pesquisa “Retrorrefletância na Demarcação Viária” - TEC 778/95, contratada pela FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e desenvolvida em conjunto pelo DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais e CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais, constituindo-se na experimentação de campo desta dissertação. Este estudo, inédito no Brasil, foi realizado aplicando-se em diferentes pavimentos, diversos sistemas de demarcação viária. Neles, foram utilizados materiais normalizados no Brasil (tintas e termoplásticos), associados à vários tipos de microesferas de vidro. Nos sistemas aplicados foram avaliados periodicamente, os comportamentos em relação ao desgaste e à retrorrefletância.

Estes experimentos de campo apontaram para a necessidade de se estabelecer taxas ideais de aplicação das microesferas de vidro, segundo sua granulometria e ancoragem, visando o maior valor de retrorrefletância inicial. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia para aplicação de materiais de demarcação viária em laboratório e estabelecido o procedimento para a determinação de taxas ideais de microesferas, com avaliação da ancoragem e retrorrefletividade.

A importância destes estudos reside no aumento do conhecimento das relações de comportamento dos materiais de demarcação disponíveis no mercado, cujos resultados implicarão na redução significativa dos custos de execução e manutenção da sinalização horizontal em vias públicas.

Tais aspectos tornam-se cada vez mais importantes ao se verificar que:

- os materiais em foco vêm sendo adquiridos a taxas crescentes e significativas, para emprego em obras de implantação e manutenção de sinalização horizontal. Seus custos representam parcela significativa nos orçamentos das empresas afins;
- crescimento do mercado vem sendo acompanhado pela redução dos níveis de qualidade dos serviços ofertados, apontando a necessidade de se estabelecer sistemas de controle e recebimento respaldados em procedimentos adequados à realidade;
- a prática da especificação dos valores de retrorrefletância na demarcação viária, confirma que não existe verificação experimental disponível dos parâmetros fixados pelas especificações correntemente aceitas no Brasil, o que pode estar conduzindo ao dimensionamento inadequado dos níveis e parâmetros de qualidade.

Além da segurança no tráfego, a importância deste estudo se faz relevante nestes tempos de orçamentos escassos no setor público e rodoviário em particular, onde se exige soluções técnicas com aplicações racionalizadas dos recursos financeiros disponíveis.

Finalmente, uma sinalização horizontal bem executada pode contribuir com a redução de 22% nos acidentes de tráfego^[vii]. Segundo a mesma fonte, os acidentes com veículos motorizados nos países em desenvolvimento podem ter custos reais maiores, pois os proprietários de automóveis são pessoas com renda superior à média. Uma

renda superior à média pressupõe educação, experiência, habilidade técnica e contribuição para o produto interno bruto da nação.

Nos países em desenvolvimento esta parcela da população é pequena mas importante, uma vez que ela representa a garantia da expansão do país e melhoria dos padrões de vida.

São estas pessoas que comumente se ferem e morrem nos acidentes de trânsito e estas vidas perdidas exercem um efeito muito mais adverso nos países em desenvolvimento do que nos países desenvolvidos.

No próximo item, será apresentada a revisão bibliográfica, incluindo o histórico relativo ao aparecimento e desenvolvimento da sinalização horizontal viária, os materiais de demarcação viária e as microesferas de vidro, bem como, abordar-se-á o fenômeno e conceitos básicos referentes à retrorrefletância.

2. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico

“Para nós que vivemos com o trânsito difícil das cidades contemporâneas, a idéia de que este tipo de problema já afetava as cidades do Império Romano parece absurda. Mas, na realidade, as primeiras restrições ao trânsito conhecidas parecem ser aquelas determinadas por Júlio César, que proibiu o tráfego de veículos com rodas no centro de Roma, durante certas horas do dia. Como se não bastasse, em Roma havia ruas de “mão única” e estacionamentos fora da via, especialmente construídos para as carroças. Muito mais tarde, no ano 1600 da nossa era, já havia uma estrada que saía da cidade do México em direção ao interior e que possuía uma linha divisória central colorida, para separar os fluxos de tráfego” (Vasconcelos, E.[viii]).

Entretanto, o passo fundamental para o desenvolvimento da sinalização, foi o advento do automóvel, em finais do séc. XIX, que marcou o começo de uma nova era na área dos transportes e portanto, na demarcação viária. Cita Martire et al.[ix] que a primeira demarcação de que se tem notícia é creditada a Edward Himes, comissário de Michigan (E.U.A.), que em 1921, mandou pintar uma faixa preta ao longo de um quarteirão em Madison, pretendendo que esta faixa mantivesse o tráfego do lado direito da via.

E ainda, que em 1934 Fred Kert, de Bay Side, Nova Iorque, conseguiu patente para utilizar esferas de vidro na retrorrefletorização de faixas de sinalização e somente em 1935, é que surgiu nos Estados Unidos da América, o primeiro manual de

uniformização de dispositivos para controle de tráfego” (Manual on Uniform Control Devices - U.S.A.), que recomendava o uso de faixas para sinalização horizontal.

No trabalho de Magri et al.[x], que toma como referência os estudos de Edelmuth, A.[xi] e Miller, T.[xii] lê-se que “No fim dos anos 40 e início dos anos 50, a sinalização horizontal começou a ter uma expressão significativa, resultando no surgimento de materiais específicos para o setor.

Terminada a 2ª Guerra Mundial, os países europeus imediatamente começaram suas reconstruções. Uma das tarefas a serem realizadas eram as demarcações de estradas. Desejava-se materiais de sinalização horizontal que suportassem melhor o desgaste, porém faltava matéria prima para a fabricação de tintas. Na Alemanha, utilizou-se uma máquina especial, fresadora de pavimento, que recortava de 8 a 12 mm, onde se aplicava posteriormente, em estado pastoso e com ferramentas manuais especiais, um material muito parecido com os atuais termoplásticos, denominado "mastique branco". E mais adiante, a partir de 1947, quando os estudos do TRRL - Transport Road Research Laboratory da Inglaterra, foram relatados no Congresso de Serviços Públicos, Estradas e Transportes, passou-se ao efetivo desenvolvimento da tecnologia do uso dos termoplásticos como material adequado à sinalização horizontal, culminando com a evolução dos processos de aplicação desses materiais através de ar comprimido (aspersão), permitindo a aplicação de películas mais delgadas - espessuras que anteriormente eram de 5,0 mm, passaram a ter apenas 1,5 mm - com melhor acabamento final.

Nos Estados Unidos da América, o produto mais usado foi a tinta (solvente). Apenas nos anos 90, essa primazia veio ceder lugar às tintas emulsionadas em água, em razão das questões ambientais.

Ressalta ainda Edelmuth[11], que entre os países sul americanos, exceto Argentina, e em outros países europeus, como por exemplo, a Alemanha, o consumo de tintas é significativamente maior do que os materiais termoplásticos.

Assim, mostra-se na tabela abaixo, a porcentagem de consumo anual de materiais utilizados em demarcação viária – tintas e termoplásticos, em relação aos diversos mercados – nacional e internacionais.

TABELA 2.1 - Mercados dos Materiais de Demarcação Viária

	PAÍS	% de m2 anuais	
		Tintas	Termoplásticos
MERCOSUL	Brasil	80	20
	Uruguai	75	25
	Paraguai	100	0
	Argentina	25	75
	Estados Unidos	85	15
OUTROS PAÍSES	Alemanha	65	35

Fonte: Edelmuth A[11]., “Durabilidad Especifica de Materiales para la Demarcación Vial” – Argentina, 1992

Em relação à retrorrefletividade, Kalchbrenner[xiii] afirma que seus princípios foram primeiramente estudados por Pocock e Rhodes em 1952, no trabalho denominado “Principles of Glass Beads Reflectorization”, e posteriormente demonstrados por Dale em 1967, sob o título “Development of Improved Pavement Marking Materials – Laboratory Phase”, ambos do National Research Council, Washington - D.C., U.S.A..

O trabalho de Dale foi mais tarde verificado por Vedam e Stoudt, que elaboraram outro estudo denominado “Physics of Retroreflection of Light from Spherical Glass Beads”, e o publicaram num apêndice do trabalho de Shuler, intitulado “Development of Optimum Specifications for Glass Beads in Pavement Markings”, também do “National Research Council”, Washington - D.C., U.S.A..

O objetivo da pesquisa de Dale era estudar modos de melhorar a demarcação viária sob condições úmidas e secas, aprimorando as técnicas que utilizavam materiais até então existentes ou desenvolvendo materiais novos. Ele também estudou o desempenho das esferas de vidro em laboratório e demonstrou que para se obter a maior retrorefletância, a ancoragem ideal das esferas em tintas de demarcação viária era de 60 % do seu diâmetro. Este resultado foi publicado em um artigo da revista técnica “Better Roads”, em janeiro de 1969, intitulado “Traffic Marking Beads – Are The Gradations Right ?”, cuja conclusão é a de que “a solução mais eficiente seria a utilização de uma gradação mais estreita, com uma menor taxa de aplicação de microesferas de vidro”.

Abre-se aqui um parêntesis, para explicar que se entende por “gradação mais estreita” como menor intervalo entre os diâmetros máximo e mínimo.

No entanto, a questão sobre a utilização de faixas granulométricas com o maior intervalo entre os diâmetros máximo e mínimo (0,850 mm a 0,180 mm) ou menor (0,425 mm a 0,180 mm), foi respondida posteriormente de forma diferente por Ritter, em “Glass Beads for Highway Paint Stripes” (U. S. Department of Transportation, 1978), que mostrou que tanto para retrorefletividade residual quanto para a inicial, era preferível utilizar-se a faixa granulométrica cujo intervalo entre os diâmetros máximo e mínimo fosse o maior (0,850 mm a 0,180 mm), baseado nas premissas:

- os equipamentos de demarcação não aplicavam filmes de espessuras uniformes;
- a espessura seca dos materiais era a metade da espessura úmida, assumindo-se que as tintas de demarcação viária tinham 50 % de sólidos;
- uma esfera deveria estar ancorada em 60 % do seu diâmetro, para durabilidade e visibilidade ideais.

A primeira e terceira afirmativa são ainda válidas; mas considera-se a segunda discutível, pois naquela época já existiam no mercado materiais com 100 % de sólidos (epoxy e termoplásticos), embora de uso restrito. Posteriormente, seu uso se expandiu e mais recentemente, preocupações ambientais encorajaram o desenvolvimento das tintas emulsionadas em água, que têm no mínimo, 60% de sólidos em volume.

Por outro lado, mudaram as exigências dos órgãos gerenciadores de tráfego para menores tempos de secagem e maiores espessuras de filmes, em função do tráfego e durabilidade desejada.

Assim, durante os anos seguintes houve um desenvolvimento de diversos materiais e um aumento nas espessuras das tintas.

Segundo Kalchbrenner[13], em 1984 começou-se a experimentar esferas de vidro maiores. Os estudos mostraram que quando a chuva ocorre, uma película de água se espalha uniformemente sobre a demarcação, impedindo que haja retroreflexão. E mais, foi visto que quando este filme de água se forma, aparecem as forças de tensão superficial e gravidade, que fazem com que a água flua para os lados das esferas. Kulakowski e DiGiovanni estudaram este efeito em “Measurement and Modeling of Thin Water Film on Road Surfaces” (Proceedings, 33 rd International Instrumentation Symposium, Las Vegas, Nevada, 1987) e concluíram que o filme de água de equilíbrio é de aproximadamente 50 micra (0.05 mm) de espessura. Após o experimento com

diversos tamanhos de esferas de vidro, observou-se que a ancoragem das esferas com tamanhos que variavam de 2,36 mm a 0,710 mm, poderia superar o efeito do filme de água e retrorefletir luz até mesmo sob chuva (12,7 mm/h), dependendo do material de demarcação utilizado.

Como se vê, muitos foram os avanços em relação à sinalização horizontal e ao tema retrorefletância, em particular.

No Brasil, segundo Martire et al.[9], o primeiro ato instituindo a sinalização viária, decorreu do Decreto lei nº 3.651 de 1941, constituindo-se no primeiro Código Nacional de Trânsito e em 1967, o DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, editou o primeiro Manual de Sinalização. “No período de 1970 a 1985, época em que se registrou intenso trabalho de construção e manutenção da rede rodoviária brasileira, a evolução da sinalização horizontal foi marcada pelo esforço de nacionalizar os materiais”, afirmam os autores referidos no parágrafo anterior. Cabe aqui, ênfase particular à ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, pela contribuição em relação à normatização e divulgação dos conhecimentos nesta área.

Enfim, para melhor compreensão do objeto de estudo, descreve-se a seguir os materiais utilizados na demarcação viária, as microesferas de vidro, bem como analisa-se o fenômeno da retrorefletância.

2.2. Microesferas e Esferas de Vidro

São normalmente fabricadas com vidro tipo soda-cal-sílica ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$), com teor de sílica superior a 65%. A sucata de vidro plano é moída e submetida à temperatura de 1200°C , à velocidade regulada, em fornos verticais com correntes ascendentes de gás aquecido, transformando-a por tensão superficial, em esferas.

As propriedades físicas das microesferas mais comumente utilizadas na demarcação viária, são as seguintes:

- Índice de refração: 1,5 mínimo
- Densidade de massa: 2,3 a 2,6 g/cm^3
- Esfericidade: 75 % mínimo
- Distribuição granulométrica: diâmetros variam de 2,36 a 0,063 mm

No Brasil, é conhecida sua classificação quanto ao uso em:

- **Tipo I-A**

São aquelas incorporadas às massas termoplásticas durante sua fabricação, de modo a permanecerem no interior do material, permitindo a retrorrefletorização durante o desgaste superficial da película aplicada. Os diâmetros variam de 0,850 mm a 0,075 mm.

- **Tipo I – B**

São aquelas incorporadas à tinta antes da sua aplicação, de modo a permanecerem internas a película aplicada, permitindo a retrorrefletorização durante o desgaste superficial da película aplicada. Os diâmetros variam de 0,300 mm a 0,063 mm.

- **Tipo II-A e II – B**

São aquelas aplicadas por projeção pneumática ou gravidade, concomitantemente com a tinta ou termoplástico, de modo a permanecerem na superfície da película aplicada, permitindo a imediata retrorrefletorização da demarcação. As microesferas do tipo II-B, são normalmente utilizadas em aplicações onde a película úmida de tinta é igual a 0,4 mm e as do tipo II-A, onde a película úmida de tinta é superior a 0,4 mm. Os diâmetros das microesferas II-A variam de 0,850mm a 0,075 mm. Os diâmetros das microesferas II-B variam de 0,600 mm a 0,150 mm.

- **Tipo III**

São aquelas aplicadas por projeção pneumática ou gravidade, concomitante com a tinta ou termoplástico, de modo a permanecerem na superfície da película aplicada, permitindo imediata refletorização.

Devido ao maior diâmetro das partículas, este material recebe a denominação por parte dos fabricantes e compradores de esferas e não microesferas. Como estas esferas não foram ainda objeto de normatização nacional, utilizar-se-á doravante a denominação esfera, num sentido mais amplo.

É importante salientar que conforme referido no histórico, essas esferas, são capazes de romper o filme superficial de água sobre o pavimento permitindo que a condição de retrorrefletância se restabeleça rapidamente após as precipitações pluviométricas. São subdivididas em:

- **Tipo III-A:** utilizadas em tintas

- **Tipo III-B:** utilizadas em termoplásticos extrudados
- **Tipo III-C:** utilizadas em termoplástico aspergido

Os diâmetros das esferas tipo III-A variam de 1,70 mm a 0,710 mm. Os diâmetros das esferas tipo III-B variam de 2,00 a 0,850 mm, e os diâmetros das esferas III-C variam de 2,36 a 1,00 mm.

Para melhor visualização mostra-se na tabela a seguir, as faixas granulométricas das esferas e microsferas de vidro.

TABELA 2.2. - Faixas Granulométricas de Esferas e Microesferas de Vidro

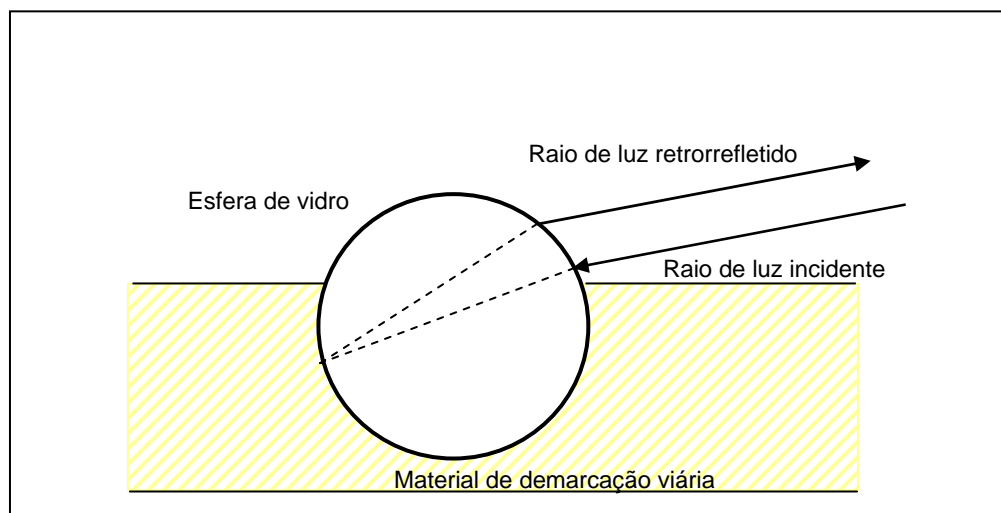
PENEIRAS (CONFORME ABNT-NBR 5734[xiv])		% QUE PASSA						
Nº	ABERTURA mm	MICROESFERAS DE VIDRO				ESFERAS DE VIDRO		
		TIPO I		TIPO II		TIPO III		
		A	B	A	B	A	B	C
3	2,36							100
10	2,00						100	95-100
12	1,70					100	95-100	80-95
14	1,40					95-100	80-95	10-40
16	1,18					80-95	10-40	0-5
18	1,00					10-40	0-5	0-2
20	0,850	100		100		0-5	0-2	-
25	0,710	-		-		0-2		-
30	0,600	90-100		80-100	100	-		-
40	0,425	-		-	90-100	-		-
50	0,300	18-35	100	20-50	-	-		-
70	0,212	-	85-100	-	0-10	-		-
80	0,180	-	-	-	-	-		-
100	0,150	0-10	15-55	0-10	0-5	-		-
140	0,106	-	-	-	-	-		-
200	0,075	0-2	-	0-2	-	-		-
230	0,063	-	0-10	-	-	-		-

Fonte: R. T. 01.02 “Microesferas de vidro para demarcação viária”, do DER/MG[xv]

Para as esferas retrorefletirem luz, duas propriedades são necessárias: transmitância e esfericidade. Esferas feitas de vidro têm ambas as propriedades. Segundo publicação da FHWA - Federal Highway Administration[xvi], experiências anteriores utilizando alumínio e latão provaram que estes materiais não atendiam àqueles requisitos.

A necessidade de transmitância e esfericidade pode ser explicada, quando se observa o caminho que a luz percorre quando penetra numa esfera de vidro ancorada no material de demarcação viária. A transmitância é necessária para que os raios de luz possam atravessá-la. Esses raios de luz sofrem um desvio em virtude da alteração do índice de refração do meio em que se propagam (ar-vidro). A esfericidade é necessária, pois as esferas atuam como lentes côncavas concentrando os raios de luz num único ponto focal, localizado na parte posterior da esfera e próximo ao seu plano médio.

FIGURA 2.1 - Retrorefletividade da esfera de vidro.



Fonte: Publication nº FHWA – SA – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994

Atingindo o material de demarcação, os raios de luz são refletidos de forma difusa pelos pigmentos. Sem a presença do material de demarcação, a luz iria continuar sua

trajetória. Nova refração ocorre com o feixe de luz ao emergir da esfera (vidro-ar) que retorna em direção à fonte de luz incidente, na forma de um feixe cônico de luz.

A luz retrorefletida pelas esferas de vidro é função das seguintes variáveis:

- Granulometria das esferas em relação à espessura do filme de tinta;

- Forma, tamanho e imperfeições da esfera;
- Número de esferas presentes e expostas aos raios de luz;
- Forma de aplicação (aspersão ou gravidade).
- Natureza do vidro e seu índice de refração;
- Tratamento superficial das esferas;

O diâmetro da esfera é normalmente referido à abertura da peneira em milímetros, na qual ficam retidos, no máximo, 5% do material. Por exemplo, uma peneira de nº 20 permitirá que esferas com um diâmetro de 850 micrômetros (0.85 mm) ou menos atravessem a malha. Como dito anteriormente, são muito utilizadas no Brasil, as esferas cujos diâmetros variam de 0,85 mm a 0,063 mm. As esferas de maiores diâmetros são de uso recente em nosso país e são específicas para locais que apresentem grande incidência de chuvas ou neblinas.

Para se obter uma retroreflexão satisfatória, deve-se observar a granulometria adequada das esferas em relação ao tipo de material de demarcação especificado e que de maneira ideal elas sejam perfeitamente esféricas, transparentes, não geminadas e sem quebras.

O número de esferas presentes e expostas aos raios de luz também é importante. Uma pequena quantidade de esferas é insuficiente para a obtenção de retroreflexão satisfatória; como também o excesso de esferas é prejudicial, pois há a transferência da luz incidente para as esferas vizinhas, com conseqüente desvio do feixe de luz, resultando em baixos valores de retrorefletância.

Quanto à forma de aplicação, é comum ver-se aplicações serem feitas através de simples espalhamento manual. Esta prática não permite a adequada ancoragem das esferas, levando ao desperdício e ao desempenho insatisfatório.

O índice de refração é função da natureza química do vidro com o qual são fabricadas as esferas. A composição química de esferas de vidro difere para cada índice de refração. As esferas com índice de refração igual a 1,50 são fabricadas a partir de sucata de vidro plano moída, enquanto que esferas com índice de refração igual a 1,65 e 1,90 são fabricadas a partir de vidros especiais.

Cada esfera trabalha como uma lente focando a luz. Cada qual tem um ponto focal definido que está localizado no lado externo da esfera, na sua parte posterior. Quanto maior o índice de refração mais próximo o ponto focal está da superfície da esfera, mais concentrado é o feixe de luz e por reflexão, mais luz retorna ao ponto de incidência. Segundo Fanderlik[24], no caso das esferas de vidro, pode-se representar a distância focal por:

$$f = \frac{R(2 - N)}{(2N - 2)} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde,

f = distância focal, a partir da superfície posterior da esfera

R = raio da esfera

$N = \frac{n}{n_0}$, sendo **n**, o índice de refração da esfera de vidro e **n₀**, o índice de refração do

ar.

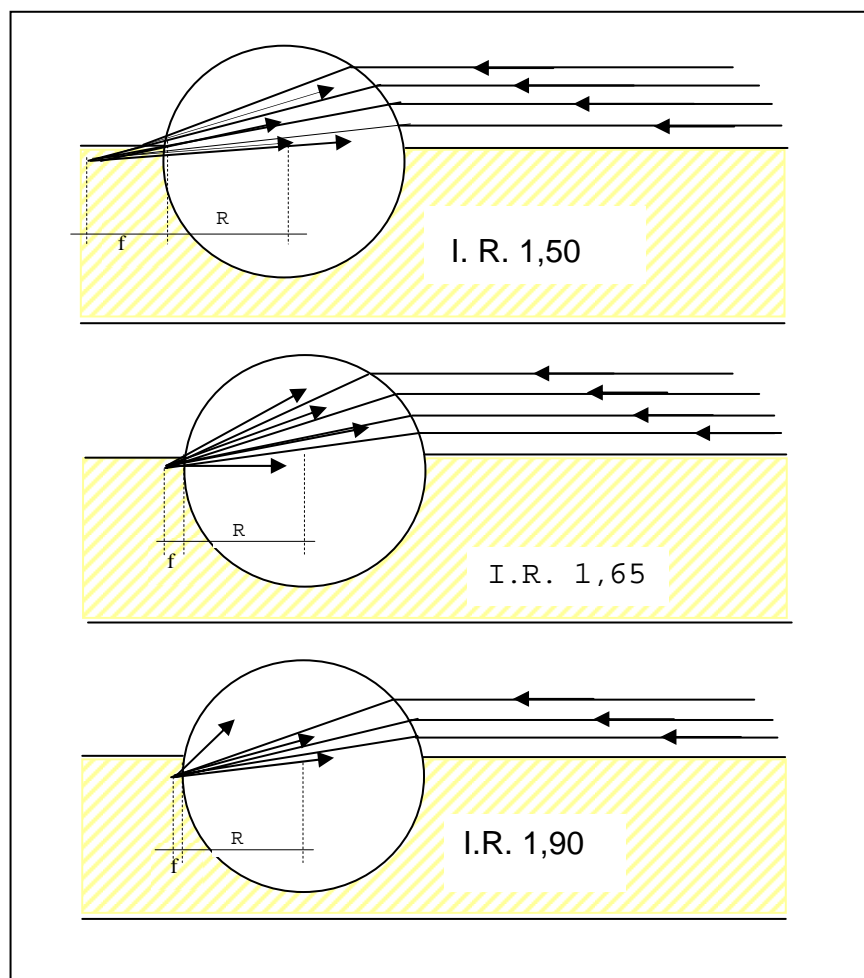
Assim,

$$\text{Para } n = 1,50 \Rightarrow f = R (2-1,50) \div (2 \times 1,50 - 2) = \mathbf{0,50 R}$$

$$\text{Para } n = 1,65 \Rightarrow f = R (2-1,65) \div (2 \times 1,65 - 2) = \mathbf{0,27 R}$$

$$\text{Para } n = 1,90 \Rightarrow f = R (2-1,90) \div (2 \times 1,90 - 2) = \mathbf{0,06 R}$$

FIGURA 2. 2 - Efeito do índice de refração no ponto focal das esferas



Fonte: Publication nº FHWA – SA – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994

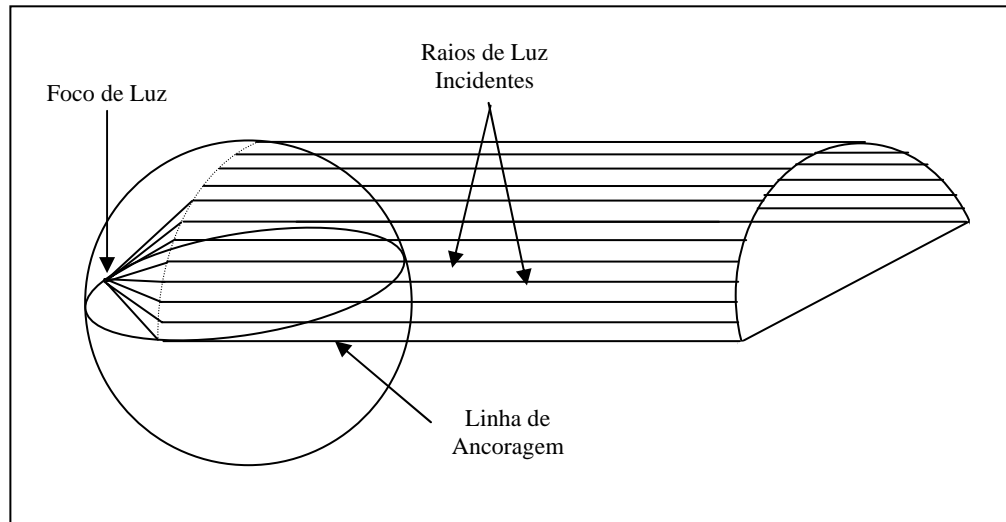
Assim, um sistema que utilize material de demarcação com esferas de índice de refração igual a 1,90, será mais retrorefletivo do que outro que utilize a mesma quantidade de esferas com índice de refração igual a 1,50 ou 1,65.

Apesar do incremento na retrorrefletividade pelas esferas com índice de refração mais alto, as mais usadas continuam sendo aquelas de menor preço, com índice de refração igual a 1,50, por serem fabricadas a partir de material reciclado. As esferas com maior índice de refração são mais frágeis e quebradiças, resultando em maior frequência de manutenção. Tem sido relatado[16] o uso de esferas com índice de refração igual a 1,65 em materiais elastoplásticos (pré-fabricados) e o uso de esferas com índice de refração igual a 1,90 em películas refletivas para sinalização vertical. No Brasil, tem-se utilizado por enquanto, na sinalização horizontal, as esferas com índice de refração igual a 1,50.

Sabendo-se que a luz é focada em um só ponto atrás da esfera e é refletida de forma difusa no pigmento do material de demarcação, fazendo com que este funcione como uma outra fonte de luz, pode-se dizer então, que os valores de retrorreflexão dependem não só da qualidade e quantidade das esferas ancoradas, mas também da qualidade e quantidade do pigmento existente no material de demarcação viária.

A luz que incide toma a forma de um semicírculo luminoso. Conforme demonstrado no trabalho de Dale[xvii], o semicírculo luminoso se forma na parte posterior da esfera, sendo que seu topo está a 60% do diâmetro da esfera, em função das características óticas da esfera de vidro.

FIGURA 2.3 - Detalhe do foco nas esferas de vidro



Fonte: Publication nº FHWA – SA – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994

Isto explica porque, quanto mais próxima de 60% for a ancoragem, mais luz refletida volta para os olhos do motorista e conseqüentemente, maior será a retrorefletividade. Da mesma forma, os trabalhos publicados pelo FHWA[16], corroboram a idéia de que a ancoragem das esferas de vidro nas demarcações viárias deve ser da ordem de 55 a 60 % do seu diâmetro, visando seu melhor desempenho.

FIGURA 2.4. – Esferas plásticas ancoradas em base de gesso (esquerda para direita), simulando uma ancoragem que varia de 10 a 90 % de seu diâmetro.

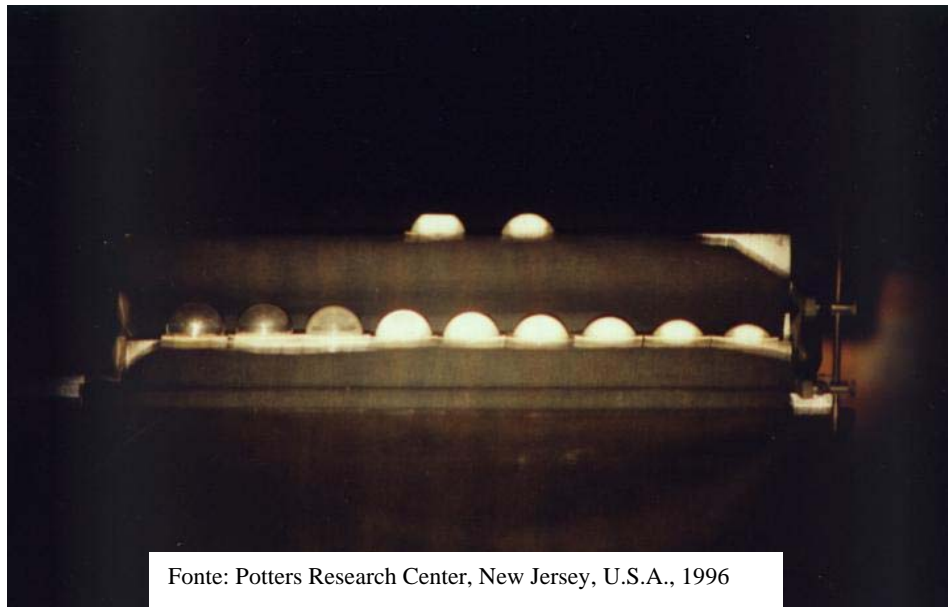
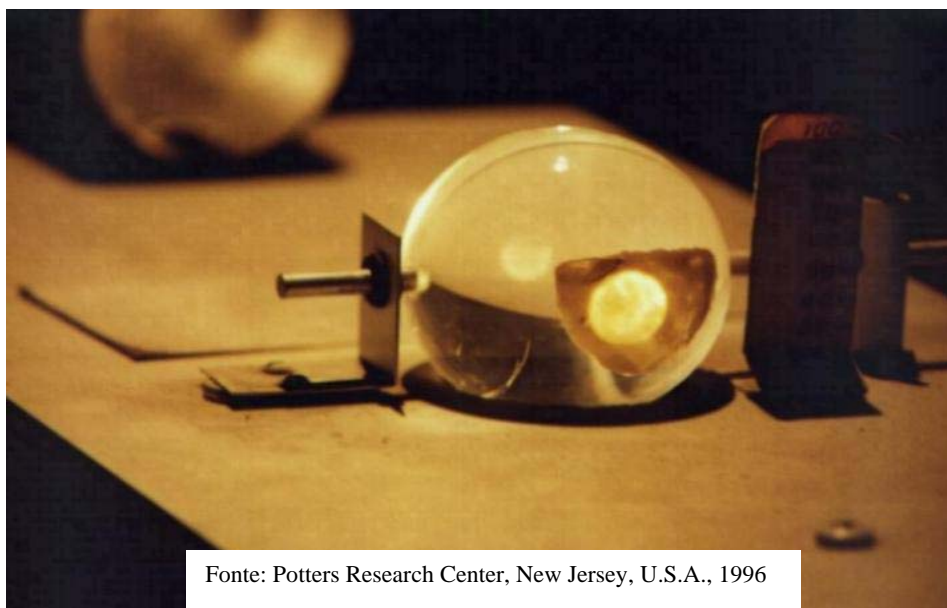


FIGURA 2.5. – Feixe de luz focado em um único ponto, localizado próximo ao plano médio, na parte posterior da esfera.



Buscando também uma melhoria no desempenho, os fabricantes desenvolveram o que eles denominam esferas com tratamentos para flutuação e à prova de umidade, as quais não são normalmente usadas no Brasil.

Esferas flutuantes são esferas de vidro comuns, revestidas com substâncias químicas especiais, que alteram a tensão superficial e as permite flutuarem no material de demarcação úmido, até que se complete a sua secagem. Todas as esferas são assim expostas, e se consegue uma demarcação com maior retrorrefletividade inicial.

Para aplicações de esferas em regiões com alto teor de umidade, utiliza-se o tratamento superficial das esferas com silicões ou adição de pós absorventes, tipo caulinita. Desta forma, evita-se a formação de grumos de esferas, que levam ao entupimento da pistola de aspersão.

2.3. - Critérios de Visibilidade

Vários critérios determinam a visibilidade da demarcação viária. Podem ser não quantificáveis (conspicuidade e legibilidade) e quantificáveis (contraste e coeficiente de luminância retrorrefletida), a saber:

2.3.1. - Não Quantificáveis

2.3.1.1. - Conspicuidade

Conspicuidade se refere à capacidade que um objeto tem de ser notado em um ambiente, a uma determinada distância.

Schwab e Mace[xviii], pesquisaram o efeito que um ambiente provoca à nível de visibilidade da sinalização e concluíram que quanto mais complexo é o fundo, mais conspícuo deve ser o sinal.

2.3.1.2. - Legibilidade

Legibilidade refere-se à capacidade de um determinado sinal, em ter sua mensagem lida e entendida pelo usuário da via.

2.3.2. - Quantificáveis

2.3.2.1. - Contraste

Contraste é o parâmetro que define a visibilidade diurna das demarcações viárias.

O contraste é definido pela relação da luminância da demarcação em relação à luminância de seu ambiente, medida da posição do motorista. O contraste dá a idéia de como um objeto se destaca de seu fundo.

A medição do contraste se realiza através de um colorímetro trí-estímulo. Os valores obtidos são anotados no campo e o contraste é calculado segundo a expressão:

$$C = (L_M \times L_c) \div L_c \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

C = Contraste

L_M = Luminância da demarcação

L_c = Luminância do pavimento

Na atualidade, não existe no Brasil parâmetro definido para o contraste em demarcações viárias, mas segundo Pantoja[xix], na Espanha adota-se o valor mínimo de 1,7.

2.3.2.2. - Coeficiente de Luminância Retrorrefletida

Coeficiente de luminância retrorrefletida ou retrorrefletividade, é o parâmetro que define a visibilidade noturna das demarcações viárias.

A retrorreflexão se mede pelos seguintes métodos:

Sistema pontual, com um retrorrefletômetro portátil, que tem geometria representada pelos ângulos de incidência e observação, simulando a percepção do usuário, quando a demarcação é iluminada pelos faróis do automóvel. O valor mínimo de retrorrefletância apontado em vários estudos[xx], [[xxi],[xxii],[xxiii] varia de 100 a 150 mcd/lux/m²., mas até o momento não há ainda uma definição em relação à este valor.

Sistema dinâmico, que vai instalado sobre um automóvel, permite a avaliação contínua das demarcações, tanto em linhas de eixo quanto em linhas de bordo, à velocidade de 80 Km/h.

2. 4. - Retrorrefletância

O fenômeno da retrorrefletância que ocorre na sinalização horizontal através das microesferas de vidro, decorre de fenômenos óticos bastante conhecidos. A seguir, serão abordados alguns conceitos básicos relativos a propriedades óticas dos vidros,

incluindo o fenômeno da reflexão, as unidades de medida, e as formas de medição de retrorefletância utilizadas no passado e na atualidade.

2.4.1. – Conceitos Básicos

2.4.1.1. - Radiação

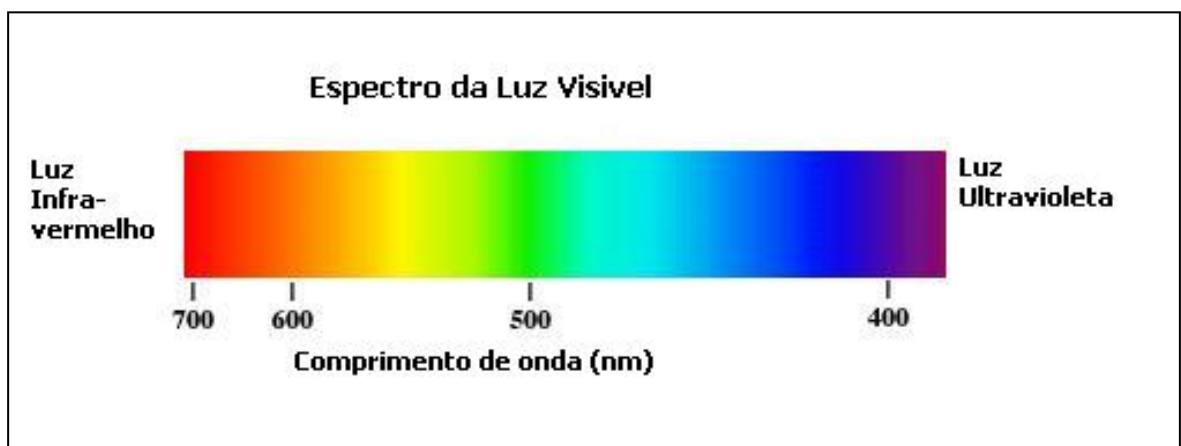
De acordo com Fanderlik[xxiv], a radiação pode ser definida como a propagação da energia através do espaço.

Do ponto de vista da teoria eletromagnética da luz, a radiação é definida pelo comprimento de onda (λ), que é igual a distância que a onda percorre, durante um período T. Sendo v a velocidade de propagação da onda e f a sua frequência, tem-se:

$$\lambda = v/f \quad (\text{Equação 2.3})$$

Mostra-se a seguir o espectro da radiação, conforme os comprimentos de onda.

FIGURA 2.6. – Espectro da luz visível



Fonte: Sciencemedia (www.sciemedia.com)

TABELA 2.3. - Comprimentos de Onda do Espectro Electromagnético

Tipo de Radiação	Faixa de frequência (Hz)	Faixa de comprimento de onda	Tipos de transição
Raios Gama	$10^{20} - 10^{24}$	$<10^{-12}$ m	Nuclear
Raios - X	$10^{17} - 10^{20}$	1nm - 1pm	Elétrons internos
Ultravioleta	$10^{15} - 10^{17}$	400nm - 1nm	Elétrons externos
Visível	$4 - 7.5 \times 10^{14}$	750nm - 400nm	Elétrons externos
Infravermelho próximo	$1 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14}$	2.5um - 750 nm	Elétrons externos e vibrações moleculares
Infravermelho	$10^{13} - 10^{14}$	25um - 2.5um	Vibrações moleculares
Microondas	$3 \times 10^{11} - 10^{13}$	1mm-25um	Rotações moleculares
Ondas de Rádio	$<3 \times 10^{11}$	1mm	Saltos entre spins nucleares*

*Níveis energéticos separados por um campo magnético
 Fonte:Sciencemedia (www.sciencemedia.com)

A luz visível varia de acordo com o observador. Geralmente se encontra entre os comprimentos de onda de 380 e 780 nm. A radiação ultra violeta é definida por comprimentos de onda menores do que os da luz visível e a região do infra vermelho próximo, por comprimentos de onda maiores.

2.4.1.2. - Refração

É o termo aplicado à mudança de direção da radiação, causada pela diferença entre as velocidades de propagação da radiação em meios heterogêneos, ou ocorrendo durante a passagem da radiação através da interface entre dois meios com diferentes índices de refração.

O índice de refração de um meio para uma radiação monocromática de comprimento de onda λ é a razão entre a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio dado ($v\lambda$).

$$n\lambda = c / v\lambda \quad [\text{m.s}^{-1} / \text{m.s}^{-1}] \quad (\text{Equação 2.4})$$

Observa-se que n é um número puro, adimensional, pois é o quociente entre duas grandezas da mesma espécie (duas velocidades). Seu valor é sempre maior do que 1 para qualquer meio material, uma vez que a velocidade da luz no vácuo ($3,0 \times 10^8$ m/s) é maior do que em qualquer outro meio.

A velocidade de propagação da luz num meio ($v\lambda$) depende da interação do campo elétrico do raio com a nuvem eletrônica dos íons, moléculas ou de estruturas mais complexas dos quais a matéria do meio é feita. Quanto mais alta for a polarizabilidade do meio, menor é a velocidade do raio de luz. O índice de refração depende não só da polarizabilidade, mas também do volume molar.

O índice de refração pode também ser expresso como a razão entre o seno do ângulo de incidência, θ_1 , e o seno do ângulo de refração θ_2 , quando o raio passa através da superfície que separa o vácuo do meio.

$$n(\lambda) = \sin \theta_1 / \sin \theta_2 = c / v\lambda \quad (\text{Equação 2.5})$$

2.4.1.3. - Reflexão

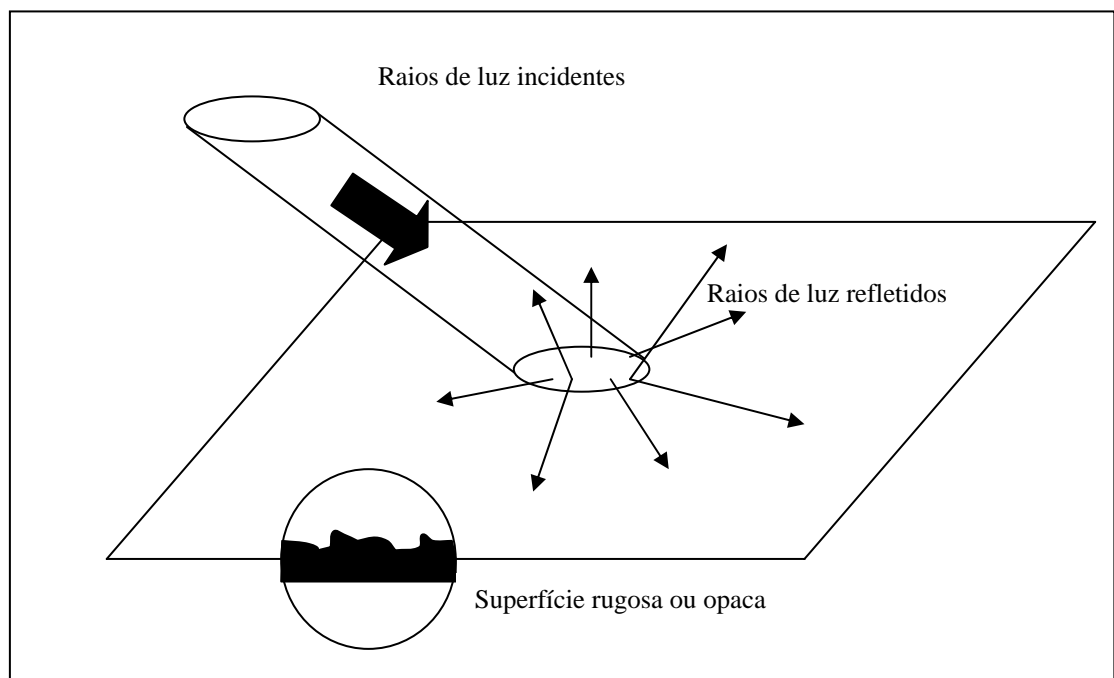
Reflexão é o efeito da radiação retornando da interface em seu meio de origem, sendo que a frequência de seus componentes monocromáticos permanecem os mesmos.

É um fenômeno natural da luz e acontece quando um corpo se aproveita da luz gerada por outro. Os raios de luz emitidos, incidem sobre o objeto e retornam à fonte. O brilho do objeto depende da intensidade da luz incidente, material e forma com que ela atinge a superfície. Analisando estes fatores pode-se distinguir três tipos básicos de reflexão:

2.4.1.3.1. - Reflexão Difusa

É o tipo mais comum de reflexão e acontece quando a luz incide sobre superfícies rugosas ou opacas, sendo dispersa em todas as direções.

FIGURA 2. 7. – Reflexão Difusa



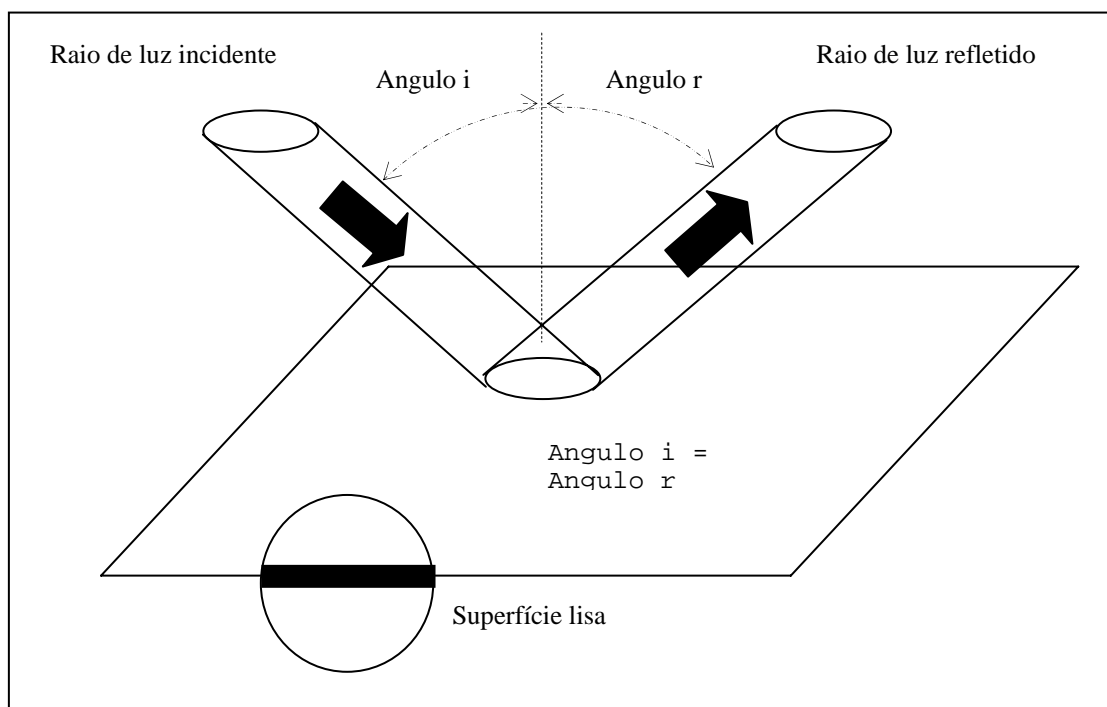
Fonte: Publication n° FHWA - SA - 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994

Neste tipo de reflexão só uma pequena parte da luz incidente retorna à fonte emissora.

2.4.1.3.2. - Reflexão Especular

Ocorre quando a luz incide sobre superfícies lisas, sendo refletidas com ângulo igual e em sentido contrário, em relação ao ângulo formado pelo raio de luz emitido e a normal à superfície.

FIGURA 2.8.- Reflexão especular

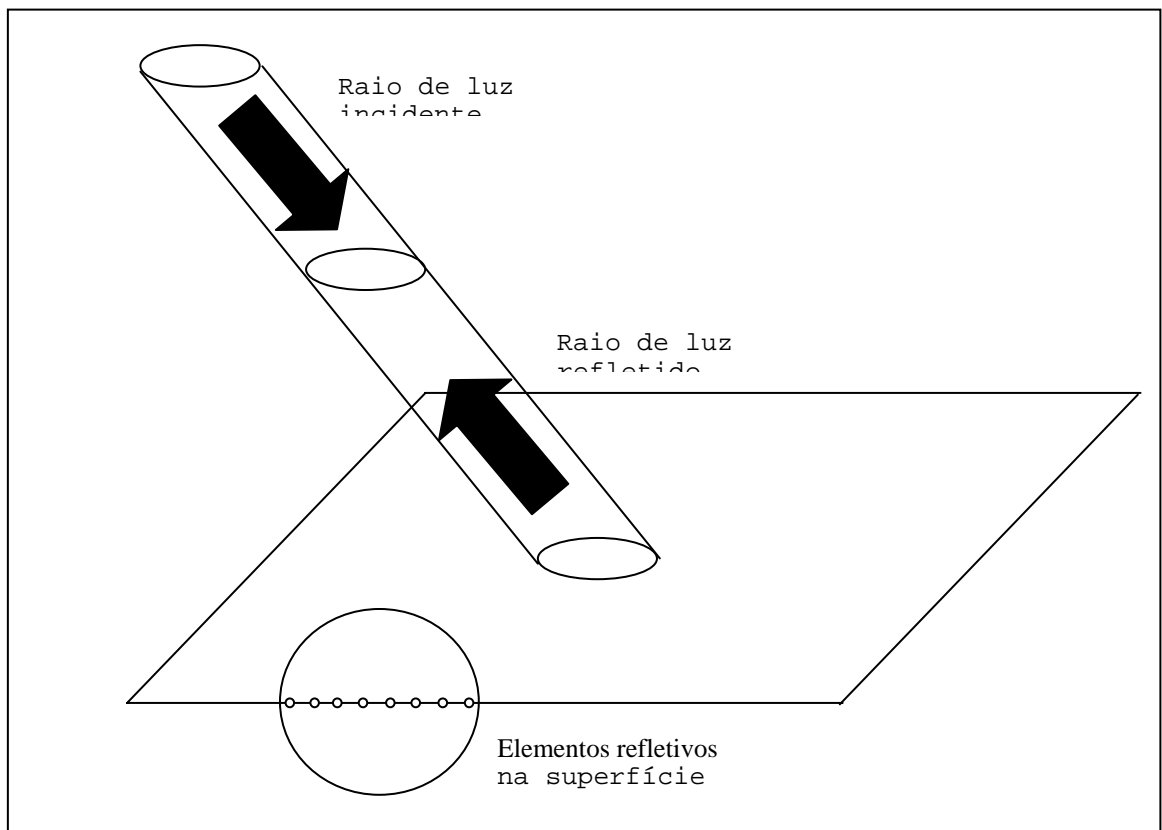


Fonte: Publication n° FHWA - SA - 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook. 1994

2.4.1.3.3. – Retrorreflexão

Ocorre quando os raios de luz incidem numa superfície e são redirecionados de volta para a fonte de luz. Por esta razão, os materiais retrorrefletivos se tornam brilhantes quando próximos de uma fonte luminosa.

FIGURA 2.9 – Retrorreflexão



Fonte: Publication n° FHWA - SA - 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook. 1994

Ao se conceituar reflexão, deve-se referir também à angularidade.

2.4.1.4. – Angularidade

É a habilidade que um material tem de apresentar um bom desempenho numa variação de ângulos a partir da perpendicular. Angularidade é definida pois, pelo ângulo de observação, pelo ângulo de incidência e ângulo de iluminação:

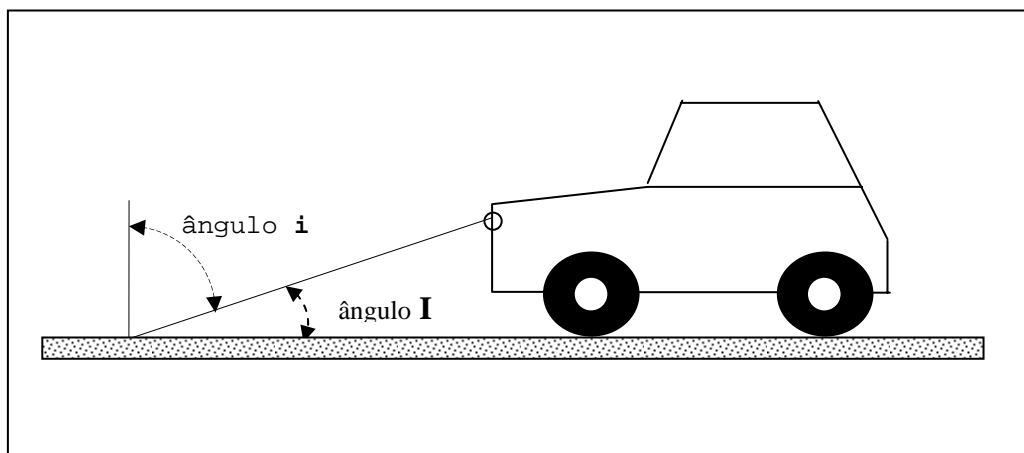
2.4.1.4.1. - Ângulo de Incidência

O ângulo de incidência (i) ou ângulo de entrada, é o ângulo formado pelo raio de luz incidente e a perpendicular à superfície refletiva.

2.4.1.4.2. - Ângulo de Iluminação

O ângulo de iluminação (I), é o ângulo formado pelo raio de luz incidente e a

FIGURA 2.10. – Ângulos de Incidência e Iluminação

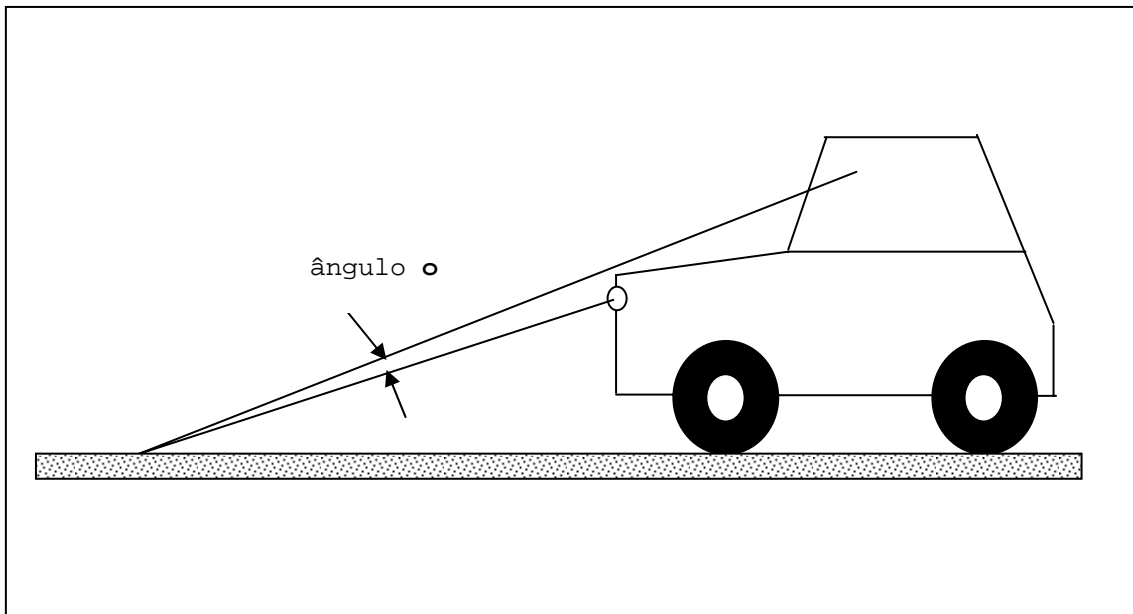


superfície refletiva.

2.4.1.4.3. - Ângulo de Observação

O ângulo de observação (θ), é o ângulo formado pelo raio de luz incidente e o raio de luz refletido que chega ao olho do observador. Os retrorefletores irão dirigir a luz que volta, num cone estreito, denominado cone de visão.

FIGURA 2.11. - Ângulo de Observação

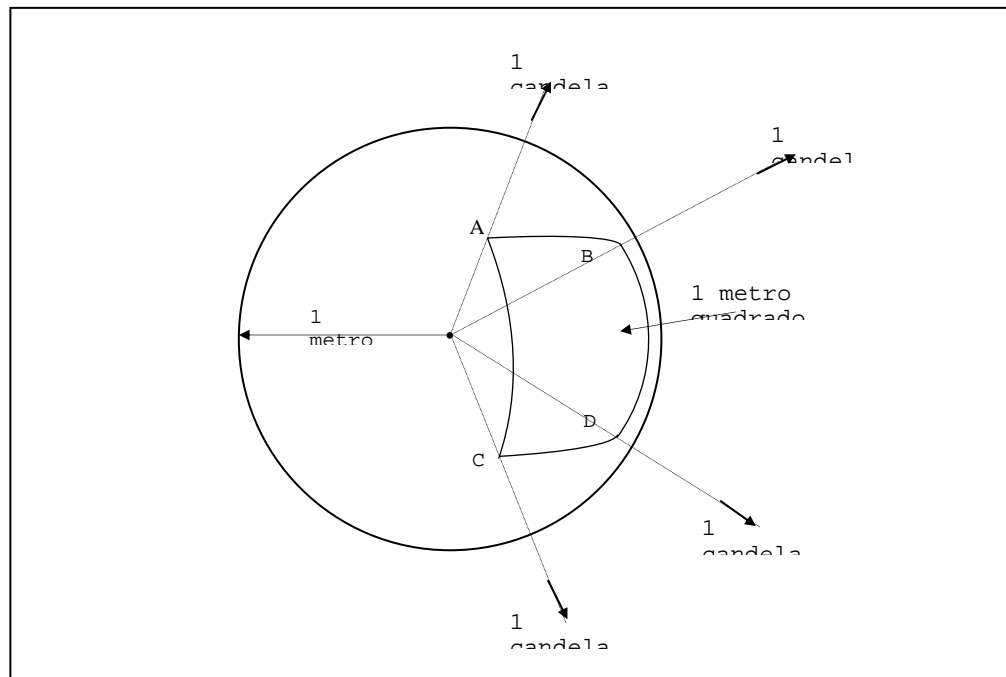


2.4.2. - Unidades de Medida

2.4.2.1. - Ângulo Sólido

Ângulo sólido é a medida de quão “grande” um objeto parece ser, quando visto de uma determinada posição. O ângulo sólido compreendido por um objeto, é função da área de projeção do objeto na direção dada e, sua distância em relação a este ponto. Ângulos sólidos são medidos em unidades chamadas esterorradianos (sr).

FIGURA 2.12 - Ângulo Sólido



Fonte: Publication N° FHWA-SA-93-001^[16], 1994

Na figura acima, o ângulo sólido compreendido pela área ABCD é igual à área de ABCD, dividida pela área total da esfera concêntrica, vezes o número total de esterorradianos da esfera.

$$\hat{\text{Ângulo sólido}} \text{ ABCD} = \frac{1m^2}{4\pi(1m^2)} \times 4\pi(s) = 1 \text{ esterorradiano} \quad (\text{Equação 2.6})$$

2.4.2.2. - Intensidade Luminosa

Segundo publicação do FHWA[16], a definição adotada em 1979, na Conferência Geral de Pesos e Medidas, para intensidade luminosa é: Candela é a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte emitindo uma radiação monocromática com frequência de 540×10^{12} hertz e intensidade energética de $1/683$ watts por esterorradiano.

$$\text{Intensidade luminosa (cd)} = \frac{\text{Energia luminosa}}{\text{Ângulo sólido}}$$

Símbolo: I

Unidade: candela (cd)

2.4.2.3. - Fluxo Luminoso

É a quantidade de energia luminosa emitida por uma fonte de luz, por unidade de tempo, com a intensidade de 1 candela.

$$\text{Fluxo (lúmen)} = \frac{\text{Intensidade luminosa}}{\text{Tempo}}$$

Símbolo: θ

Unidade: lúmen

2.4.2.4. - Iluminância

Iluminância é definida como o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada.

$$\text{Iluminância (lux)} = \frac{\text{Fluxo luminoso (lúmen)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

Símbolo: E

Unidade: lux

2.4.2.5. – Luminância

Luminância é definida como o quociente entre a intensidade luminosa emitida por uma superfície iluminada e a sua própria área.

$$\text{Luminância} = \frac{\text{Intensidade luminosa (cd)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

Símbolo: L

Unidade: cd/m²

2.4.2.6. - Coeficiente de Luminância Retrorefletida

A unidade usada para se medir a retrorefletância de uma demarcação viária é o coeficiente de luminância retrorefletida, R L, que é definido pela ASTM - American Society for Testing and Materials, como o quociente da luminância L de uma superfície retrorefletiva na direção da observação e a iluminância E recebida sobre um plano perpendicular na direção da luz incidente.

$$\text{Retrorefletância} = \frac{L}{E} = \frac{\text{Luz.que.chega.ao.observador}}{\text{Luz.que.atinge.o.objeto}} = \frac{\text{cd/m}^2}{\text{Lux}} = \text{cd/lux/m}^2$$

Símbolo: R L

Unidade: cd/lux/m²

Entretanto, por motivos de praticidade, a leitura dos instrumentos é dada atualmente em mcd/lux/m² ou mcd/lux-1/m-2, que é igual a um milésimo da unidade básica.

2.4.3. - Medida da Retrorefletância em Materiais de Demarcação Viária

As primeiras medidas de retrorrefletância foram realizadas em laboratório, utilizando-se placas amostrais retiradas durante a execução da demarcação, mas este era um processo complexo e demorado.

Posteriormente, passou-se a utilizar uma equipe de observadores que dirigindo em uma via, tentava visualizar as linhas de bordo e divisória de fluxos. Este sistema de avaliação foi relatado por Ritter[xxv], porém este método era bastante subjetivo. Além disso, existiam parâmetros de difícil controle na avaliação da retrorrefletividade pelo método da simples avaliação visual, tais como: luz ambiente, idade e acuidade visual dos diferentes observadores, intensidade luminosa e altura dos faróis dos veículos.

Tornava-se necessário então, desenvolver um equipamento que fornecesse medidas objetivas, eliminando tantas variáveis quanto possível, de forma a permitir a medida da retrorrefletância durante o dia, em período normal de trabalho e não apenas durante a noite.

Deste modo, surgiu o retrorrefletômetro que consiste de uma caixa, com o objetivo de eliminar luz ambiente; onde há uma fonte de luz projetada em uma área conhecida e um fotorreceptor para medir a luz retrorrefletida. A geometria, tal qual o ângulo de iluminação e o ângulo de observação, variam dependendo do instrumento.

Atualmente, há uma divergência sobre o aspecto geometria, conforme explicado a seguir:

Os primeiros retrorrefletômetros tiveram origem na Europa e utilizavam um ângulo de entrada de $86,5^\circ$, um ângulo de iluminação de $3,5^\circ$ e um ângulo de observação de 1° a $1,5^\circ$. Essa geometria correspondia a uma distância visual de aproximadamente 12 metros, quando se considerava um motorista dirigindo num carro de passeio.

Estudos publicados pela FHWA[xxvi], em 1986, revelavam que a geometria acima apresentava uma excelente correlação com a observação visual.

Porém em 1996, a FHWA[xxvii] publica um estudo sobre o retrorrefletômetro a laser, onde se lê que recentemente o CEN - Comitê Europeu de Normalização, estabeleceu um ângulo de entrada de $88,76^\circ$ e um ângulo de observação de $1,05^\circ$, pressupondo uma altura de farol de 0.65 m e a altura de olho de um motorista de 1,2 m, pretendendo simular um veículo de passeio e um motorista dirigindo à noite, em condições de tempo adversas, o que corresponde a uma distância de observação de 30 metros.

A comunidade técnica européia tem sido favorável à geometria que simula a distância de visibilidade de 30 metros, enquanto a comunidade norte e sul americana tem adotado aquela que simula os 12 metros.

Aqui no Brasil, tem-se adotado a geometria que simula a distância de visibilidade de 12 metros. Equipamentos com distância de visibilidade de 30 metros, ainda não estão disponíveis no mercado nacional.

Voltando ao surgimento dos primeiros equipamentos para medida da retrorrefletância, tem-se o retrorrefletômetro Optronik, fabricado e ainda bastante utilizado na Alemanha. A distância de observação é de 12 metros, com ângulo de iluminação de $3,5^\circ$ e ângulo de observação de $1,5^\circ$. Sua desvantagem é que ele requer voltagem de 220 V, em corrente alternada, necessitando portanto de um gerador e uma extensão para os trabalhos de campo.

Outro retrorrefletômetro existente é o Zehntner, fabricado na Suíça, com geometria e leitura digital similar à do Optronik, sendo operado à voltagem de 110 V, em corrente alternada. No campo, é também necessário acoplar um gerador e uma extensão ao

equipamento. Tanto o Optronik, quanto o Zehntner apresentam leituras diretas em mcd/lux/m².

O retrorrefletômetro Erichsen, também fabricado na Suíça, é muito semelhante ao Zehntner, tendo sido porém concebido para trabalho de campo. Entretanto, quando ocorre a necessidade de calibração, o equipamento precisa ser enviado de volta a Suíça.

O Ecolux, manufaturado na França, também usa geometria similar aos equipamentos acima, com ângulo de iluminação de 3,5° e ângulo de observação de 1°. Suas desvantagens são a necessidade de uma bateria de 18 Volts de 20 lb. (aprox. 10 kg.) e um leitor galvanométrico, inexistindo pois a leitura direta – é necessário trabalhar com um fator de conversão para a obtenção dos resultados em mcd/lux/m². O fabricante do Ecolux sugere que o instrumento seja mandado de volta à fábrica na França, para uma recalibração anual.

Sabe-se ainda do retrorrefletômetro LTL-800, com o qual Lundkwist^[xxviii] trabalhou num estudo sobre refletividade e desgaste em diferentes tipos de materiais de demarcação. Sua geometria é de 1,37° no ângulo de observação e 0,74° no ângulo de iluminação, simulando uma distância visual de 50 metros.

Todos estes equipamentos portáteis funcionam razoavelmente bem, mas são de difícil manuseio e seu custo é superior a 12 mil dólares.

Em 1987, segundo informações de Kalchbrenner^[xxix], após vários estudos e tentativas surgiu nos Estados Unidos, o Mirolux 12, com calibração própria, usando corrente contínua de 12 Volts, podendo ser alimentado no acendedor de cigarros de um veículo.

Este equipamento é de fácil calibragem, apresenta custo da ordem de 6 mil dólares, é leve (6,5 kg), de fácil manuseio e simula uma distância de observação igual a 12 metros (ângulo de observação de 1,5o e ângulo de entrada de 86,5o), semelhante aos instrumentos europeus. Fornece leitura digital direta em mcd/lux/m 2.e é uma unidade auto-suficiente com baterias recarregáveis, um estabilizador de voltagem para prolongar a vida da fonte de luz, e um verificador de bateria que informa qual é a carga durante os trabalhos.

Em 1996, a FHWA[27] patrocinou o desenvolvimento de um retrorrefletômetro móvel o Laserlux, mostrado na figura a seguir. A fonte de luz é o raio laser em hélio-néon, que reflete num espelho fixo sobre um espelho giratório que tem dois lados, de forma a varrer o pavimento com a luz do laser, a uma distância fixa à frente do veículo, esquadrinhando uma área de 1,1 m de largura, oito vezes por segundo. A distância de observação é 30 m, com um ângulo de entrada de 88,5° e um ângulo de observação de 1,0°. A geometria do Laserlux, é assim, ligeiramente diferente da geometria estipulada pelo Comitê Europeu de Normalização. Embora ambos estejam baseadas em 30 metros para a distância de observação, existem diferenças entre os ângulos de entrada e de observação.

Um sensor ótico sólido lê a retrorrefletância com medidas de até 220 dados, em cada varredura de laser. A 80 km/h o sistema esquadrinha 2.3 m, produzindo grande amostra de valores de retrorrefletividade ao longo da via. Um computador de bordo registra e processa os dados obtidos, fornecendo a refletividade média estimada a intervalos fixos. O Laserlux fornece mais de 312 leituras por quilômetro, em se tratando de linhas contínuas, e 94 leituras por quilômetro, em se tratando de linhas intercaladas.

Resumindo, a retrorefletância é medida em uma área arbitrária usada como área da amostra. Os resultados encontrados em cada instrumento são constantes e representativos, em qualquer das geometrias ou tipos de instrumentos adotados, mas os valores de retrorefletância diferem de um instrumento para outro, pois dependem da área da amostra e método de medida. Estudos comparativos entre os vários instrumentos estão sendo realizados conforme indicado em publicação da CIE – Commission Internationale de L'Éclairage[xxx], mas não foi estabelecida ainda uma correlação entre os mesmos.

FIGURA 2.13 – Retrorrefletômetro móvel (Laserlux)



3. – METODOLOGIA

3.1. - O problema

- Não existiam no Brasil, estudos sistemáticos estabelecendo desempenho, quanto a retrorrefletividade e ao desgaste, dos vários materiais de demarcação viária sob condições de tráfego prevalentes.
- Também, não estão fixados no país, os valores de retrorrefletância inicial e residual para materiais de demarcação viária, nem mesmo procedimento para sua medida
- Não se conhecia estudos definindo as relações entre a quantidade e tipo de microesferas e os materiais de demarcação, com os valores iniciais de retrorrefletância.
- Os materiais de demarcação viária são comumente aplicados de forma inadequada, gerando o desperdício, sem atingir níveis aceitáveis de retrorrefletância .
- As microesferas são muitas vezes aplicadas sem a correta ancoragem, o que compromete a qualidade do sistema.

3.2 - Os Objetivos

- Compreendo sistema de demarcação viária como a interação entre os materiais de demarcação e as microesferas de vidro, pretendia-se estudar e comparar o desempenho dos mesmos a partir da aplicação no campo, numa rodovia com tráfego conhecido e em diferentes tipos de pavimento, de forma a se definir os valores de retrorrefletância inicial e residual, bem como elaborar procedimentos para essas medidas.

- Como as relações entre a quantidade/tipos de microesferas/materiais de demarcação, e os valores iniciais de retrorrefletância não estavam disponíveis na literatura, desejava-se através de equipamentos laboratoriais, desenvolver uma metodologia para a determinação destas relações. Esta metodologia foi baseada no levantamento das curvas correlação entre quantidade de microesferas aplicadas em condições ideais (Ancoragem próxima a 60%), e os valores de retrorrefletância iniciais obtidos.

3.3- Atividades executadas nos experimentos de campo

As atividades executadas nos experimentos de campo fazem parte da pesquisa "Retrorrefletância na demarcação viária" e podem ser assim resumidas:

- Verificação da qualidade dos materiais a serem aplicados, através de ensaios de caracterização especificados pelas normas da ABNT.
- Aplicação adequada dos materiais nos trechos teste com volume de tráfego conhecido e em diferentes tipos de pavimento (Concreto de Cimento Portland e Concreto Betuminoso Usinado à Quente).
- Avaliação periódica dos sistemas aplicados em relação a seu desgaste e retrorrefletividade.
- Exame e tratamento dos dados obtidos no campo, elaboração das curvas de desgaste e retrorrefletividade em relação ao tempo, análise comparativa dos resultados e conclusões sobre o desempenho dos vários sistemas aplicados.

3.3.1- Detalhamento de Atividades

Para o estabelecimento dos parâmetros de desempenho, foram aplicados no campo vários materiais de demarcação viária, com taxas comumente utilizadas de esferas e microsferas de vidro.

Estes materiais aplicados foram avaliados periodicamente quanto ao desgaste e a retrorrefletância.

Conforme critérios pré estabelecidos, escolheu-se a rodovia mg-424, pista direita, sentido Belo Horizonte – Pedro Leopoldo, com extensão de 30 km e diretriz de 80 Km/h. Esta rodovia foi construída em 1979, e seu estado de conservação considerado satisfatório, nos segmentos do km 18, em pavimento rígido (Concreto de Cimento Portland) e km 24, em pavimento flexível (Concreto Betuminoso Usinado à quente). Estes trechos são constituídos de pista dupla, com duas faixas de tráfego cada, divididas por canteiro central de 7,00m.

Tendo-se escolhido os segmentos da via onde iriam ser executadas as demarcações, foi realizado pelo DER/MG ^[31] o estudo de tráfego, de forma a se determinar o volume médio diário (VMD) atuante. As pesquisas de tráfego consistiram em “contagens volumétricas classificatórias”, realizadas em 03 dias consecutivos, com a jornada de 14 horas, em um posto de contagem instalado no quilometro 24 da MG-424. O volume médio diário obtido (setembro/96) foi da ordem de 6.500 (seis mil e quinhentos) veículos, com 45% de veículos de carga, conforme tabela a seguir.

TABELA 3.1. – Quadro Resumo da Contagem Volumétrica

RESUMO DA CONTAGEM VOLUMÉTRICA CLASSIFICATÓRIA POR EIXO		
RODOVIA: MG- 424 TRECHO: BELO HORIZONTE – PEDRO LEOPOLDO PROJETO PESQUISA TÉCNICA N° 778/95 - DER/MG – CETEC – FAPEMIG. MOVIMENTO: BELO HORIZONTE – PEDRO LEOPOLDO PERÍODO: 10 / 09 / 96 A 12 / 09 / 96.		
RESUMO FINAL		
VEÍCULOS (TIPO)	VOLUMES	
	VMD	(%)
PASSEIO	3337	51
COLETIVOS	240	4
CARGA	2920	45
TOTAL	6497	100

3.3.2. – Caracterização dos Materiais em Laboratório

Estabelecidos os trechos onde seriam realizadas as aplicações, foram executados ensaios nos laboratórios do CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais, para a verificação dos diversos materiais a serem aplicados, em conformidade com as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas.

Assim, foram analisadas 16 amostras de esferas e microesferas de vidro, 4 amostras de tinta a base de resina acrílica emulsionada em água, 4 amostras de tinta à base de resina acrílica (solvente), 13 amostras de termoplástico extrudado e 4 amostras de termoplástico aspergido, conforme discriminado a seguir.

TABELA 3.2.- Ensaios de Caracterização de Tintas

Ensaios de Caracterização de Tintas	
Ensaios Quantitativos	Normas ABNT
Estabilidade alteração da Viscosidade	NBR12027

Teor de matéria não volátil em massa	NBR12028
Teor de pigmento em massa	NBR12029
Teor do veículo não volátil, em massa no veículo	NBR 12032
Para tinta branca: Teor de TiO ₂ no pigmento	NBR 12030
Para tinta amarela: Teor de PbCrO ₄ no pigmento	NBR 12031
Tempo de secagem espessura úmida 0,6mm	NBR 12033
Ensaio de abrasão, Al ₂ O ₃ , película seca	NBR 12034
Massa específica, Kg/l	NBR 5829
Ensaio Qualitativos	
Cor Munsell	NBR 12034
Brilho	NBR 12035
Flexibilidade	NBR 12036
Sangramento	NBR 12037
Resistência à água	NBR 12038
Resistência ao calor	NBR 12039
Identificação do veículo não volátil por espectrofotometria de infra vermelho	

TABELA 3.3.- Ensaio de Caracterização de Esferas e Microesferas de Vidro

Ensaio de Caracterização de Esferas e Microesferas de Vidro	
Ensaio Quantitativos	Normas ABNT
Resistência à solução de cloreto de cálcio	NBR 6823
Resistência ao ácido Clorídrico	NBR 6824
Resistência à água	NBR 6825
Resistência à solução de sulfeto de sódio	NBR 6826
Análise granulométrica	NBR 6827
Determinação do teor de sílica	NBR 6828
Determinação de defeitos	NBR 6829
Verificação Amostragem de microesferas	NBR 6830
Verificação do índice de refração	NBR 6832
Determinação de massa específica	NBR 6833

TABELA 3.4.- Ensaio de Caracterização dos Termoplásticos

Ensaio de Caracterização dos Termoplásticos	
Ensaio Quantitativos	Normas ABNT
Teor de ligante em massa na mistura	NBR 13076
Teor de TiO ₂ em massa	NBR 13090
Teor de PbCrO ₄ ou CdS em massa	NBR 13078
Teor de microesferas em massa	NBR 13091

Massa específica	NBR 13079
Ponto de Amolecimento	NBR 13092
Deslizamento	NBR 13080
Resistência a abrasão	NBR 13081
Ensaio Qualitativo:	
Cor Munsell	NBR 13094

3.3.3 – Aplicação dos materiais nos trechos-teste

Após verificação das características dos vários materiais, estes foram aplicados sob orientação, por firma contratada. Para isso, foram necessários a definição dos sistemas a serem aplicados, sua dimensão e disposição, bem como a definição dos procedimentos para a calibragem dos equipamentos de aplicação.

3.3.3.1. – Sistemas Aplicados

Definiu-se oito baterias de testes compostas de três sistemas de aplicação cada, utilizando-se as taxas de esferas e microesferas de vidro recomendada por fabricantes para cada material. Estas baterias de testes foram aplicadas no trecho-teste do km 18 (pavimento rígido) e repetidas no km 24 (pavimento flexível), conforme discriminado abaixo.

3.3.3.1.1. – Bateria de Testes

- **1ª Bateria de testes:**

Tinta a base de resina acrílica (solvente), cor amarela, com:

- Microesferas II-A (350g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l)+II-A (350g/m²)
- Microesferas I-B (200g/l) +II - A (200g/m²) +III-A (350g/m²)

- **2ª Bateria de Testes:**

Tinta base de resina acrílica (solvente), cor amarela, com:

- Microesferas II-A (350g/m²)
 - Microesferas I-B (200g/l +II-A(350g/m²)
 - Microesferas I-B(200g/l)+II-A(200g/m²+III-A(350g/m²)
- **3ª Bateria de Testes:**

Tinta acrílica emulsionada em água, cor branca, com:

- Microesferas II-A(350g/m²)
 - Microesferas I-B(200 g/l+II-A(350 g/m²)
 - Microesferas I-B(200 g/l)+II-A(200 g/m²+III-A(350 g/m²)
- **4ª Bateria de Testes:**

Tinta acrílica emulsionada em água, cor amarela, com:

- Microesferas II-A(350g/m²)
- Microesferas I-B(200 g/l+II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B(200 g/l)+II-A (200 g/m²+III-A (350 g/m²)

- **5ª Bateria de Testes:**

Termoplástico aspergido, cor branca, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A(450g/m²)
- Esferas III-B(500g/m²)
- Microesferas II-A(250g/m²)+ EsferasIII-B(400g/m²)

- **6ª Bateria de Testes:**

Termoplástico aspergido, cor amarela, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A(450g/m²)
- Esferas III-B(500g/m²)
- Microesferas II-A(250g/m²)+ EsferasIII-B(400g/m²)

- **7ª Bateria de Testes:**

Termoplástico extrudado, cor branca, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A(450g/m²)
- Esferas III-C(500g/m²)

- Microesferas II-A(250g/m²)+ EsferasIII-C(400g/m²)

8ª Bateria de Testes:

Termoplástico extrudado, cor amarela, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A(450g/m²)
- Esferas III-C(500g/m²)
- Microesferas II-A(250g/m²)+ EsferasIII-C(400g/m²)

Além desses sistemas, aplicou-se dois tipos de material elastoplástico no trecho- teste do km 24 (pavimento asfáltico), sendo um com microesferas tipo I-B e outro com microesferas tipo II-A, ambos nas cores amarela e branca.

3.3.3.2.- Dimensões e Disposição dos Sistemas

As dimensões e disposições das faixas foram determinadas em função do tamanho dos equipamentos e da largura da plataforma da via. Assim, a aplicação dos sistemas foi oblíqua ao sentido do tráfego (escondidade de 66°), a largura entre faixas foi de 50cm e a largura de cada foi de 15 cm. Desta forma, tem-se:

- **Largura da faixa:** 15cm
- **Comprimento da faixa:** 18,80cm
- **Escondidade:** aproximadamente 66° à direita
- **Largura entre faixas:** 50cm
- **Espessura (úmida) para tintas:** 0,6mm

- **Espessura(seca) termoplástico aspergido: 1,5mm**
- **Espessura (seca) termoplástico extrudado: 3,0mm**
- **Espessura(seca) elastoplástico: 1,5mm**

FIGURA 3.1. – Vista geral do trecho-teste



3.3.3.3. - Equipamentos Utilizados na Aplicação dos Materiais

Utilizou-se duas unidades mecânicas auto-propelidas, destinadas 'a aplicação de materiais à frio (tintas) e à quente (termoplásticos).

FIGURA 3.2 – Equipamento utilizado na aplicação de tintas.



FIGURA 3.3 – Equipamento utilizado na aplicação dos termoplásticos.



FIGURA 3.4 – Fusor utilizado no aquecimento de termoplásticos.



3.3.3.4 - Calibragem dos Equipamentos

A implantação de demarcação viária requer periodicamente, a calibragem e ajustes de cada equipamento, devido à mudanças nas condições de aplicação, relacionadas aos tipos de materiais, superfícies, dimensões e recargas do equipamento.

Em razão da ausência de sistemas eletrônicos de auto-regulagem. Os ajustes relativos às quantidades e dimensões aplicadas de tintas, termoplásticos e microesferas foram obtidas de forma empírica, compondo um conjunto de aplicações, pesagens e medições até a obtenção dos valores para aplicação requeridos, ou seja, espessura controlada dos filmes, quantidade, distribuição e ancoragem adequadas de microesferas.

Quando a distribuição de microesferas mostrou-se inadequada ou a espessura de película ficou aquém ou além do especificado, as faixas produzidas foram rejeitadas e refeitas.

Para cada equipamento de aplicação, foram feitos os ajustes necessários, de modo a entender as especificações normalmente requeridas pelos órgãos executores (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem e Órgãos gerenciadores de tráfego municipais).

Durante o processo de calibragem dos equipamentos aplicadores de tintas, foram verificados os seguintes itens:

3.3.3.4.1. - Velocidade de Trabalho

Avaliou-se a velocidade do equipamento aplicador de tintas, em uma via lateral (também pavimentada), próxima ao trecho-teste. Marcou-se nesta via, uma distância de 12 metros, fazendo-se com que o equipamento a percorresse dez vezes, cronometrando-se todas as passagens. Obteve-se assim, uma média em relação ao tempo de deslocamento do equipamento, igual a 17,9 segundos. A velocidade do equipamento foi estimada pela razão entre distância e a média dos tempos.

Logo, $12 \text{ metros} / 17,9 \text{ segundos} = 0,67 \text{ m/s}$,

Ou aproximadamente, $0,67 \times 3600 = 2,4 \text{ km/h}$

Esta velocidade foi mantida constante em todas as aplicações com tintas de demarcação viária.

3.3.3.4.2 - Largura da faixa

Para que se aplicasse a faixa na largura de 15 cm, experimentou-se várias alturas para a pistola de aspersão de tinta, sendo estabelecido que para a altura de 20 cm, a faixa demarcada mantinha os 15 cm desejados. Durante as aplicações esta altura foi mantida fixa.

3.3.3.4.3 - Espessura de Película Úmida de Tinta

na determinação da espessura de película úmida para as tintas, testou-se diversas pressões de aspersão (ar comprimido). Para o equipamento utilizado, obteve-se a espessura de 0,6mm a 46libras/pol.², com a velocidade constante de 2,4 km/h. A medição da espessura de tinta foi realizada com o medidor de película úmida "Erichsen", sobre placas amostrais de alumínio.

O mesmo procedimento foi repetido para a calibragem da espessura do filme de material termoplástico, cuja espessura seca foi medida com paquímetro "Mitutoyo".

3.3.3.4.4. - Aspersão de Microesferas

Para calibragem da quantidade de microesferas aspergidas pelo equipamento, de acordo com as taxas estipuladas e mantendo-se a pressão descrita no item anterior, procedeu-se da seguinte forma:

- Com o tanque cheio de tinta, aspergiu-se material sobre uma placa metálica, de peso e dimensões conhecidas, de acordo com a espessura especificada, verificando-se a pressão do ar comprimido durante a aplicação. Pesou-se então, placa + tinta + microesferas, denominando-se P1.
- Em uma nova passagem do equipamento, aplicou-se em uma nova placa de peso conhecido, tinta e também microesferas. Pesou-se o conjunto placa + tinta + microesferas, denominando-se P2.
- A diferença entre p2 e P1 é o peso das microesferas ancoradas na tinta.
- A razão entre o peso das microesferas pela área aspergida na placa, determinou a taxa de microesferas aplicadas.
- Este procedimento foi repetido até que se conseguisse a taxa prevista, verificando-se a pressão do ar comprimido, cujo valor foi fixado e mantido nas aplicações.
- Durante a calibragem, avaliou-se a uniformidade de distribuição das microesferas II-a, III-A, III-b e III-C, sobre a tinta e termoplástico, como auxílio de uma lupa.

3.3.3.5.- Preparação das Superfícies

Para a adequada aplicação dos materiais, promoveu-se uma limpeza geral do local através da varrição manual, de modo que as superfícies se apresentassem secas e isentas de impurezas, garantindo a aderência desejada dos materiais na pista.

3.3.3.6.- Controle das Condições de aplicação

Imediatamente antes da aplicação de cada um dos materiais na pista, foram medidos e anotados em formulário apropriado, os dados constantes nos itens a seguir.

3.3.3.6.1.- Temperatura do Pavimento

Foi medida a temperatura do pavimento nas quatro trilhas de roda e calculada a média.

A medida foi realizada com o aparelho "Termotemp - noncontact thermometer, Model HTT-2, Pavemark", de propriedade do DER/MG. As medidas foram tomadas a uma distância de 15 cm da superfície pavimentada.

3.3.3.6.2.- Temperatura Ambiente e Umidade do Ar

Utilizou-se um higrômetro, de propriedade de CETEC, para medição da temperatura ambiente e umidade do ar.

No período em que foram realizadas estas aplicações, registravam-se altas temperaturas no país, atribuídas ao fenômeno "El Niño", especialmente no estado de Minas Gerais.

Em decorrência deste fato, algumas aplicações foram realizadas sob temperaturas ambientes maiores do que as normalmente adotadas (entre 15°C e 35°C) e temperaturas de pavimento maiores do que 40°C. Entretanto, não se observou durante as aplicações qualquer efeito negativo nos materiais aplicados, relacionados com as temperaturas anotadas.

3.3.3.6.3.- Coleta de Dados

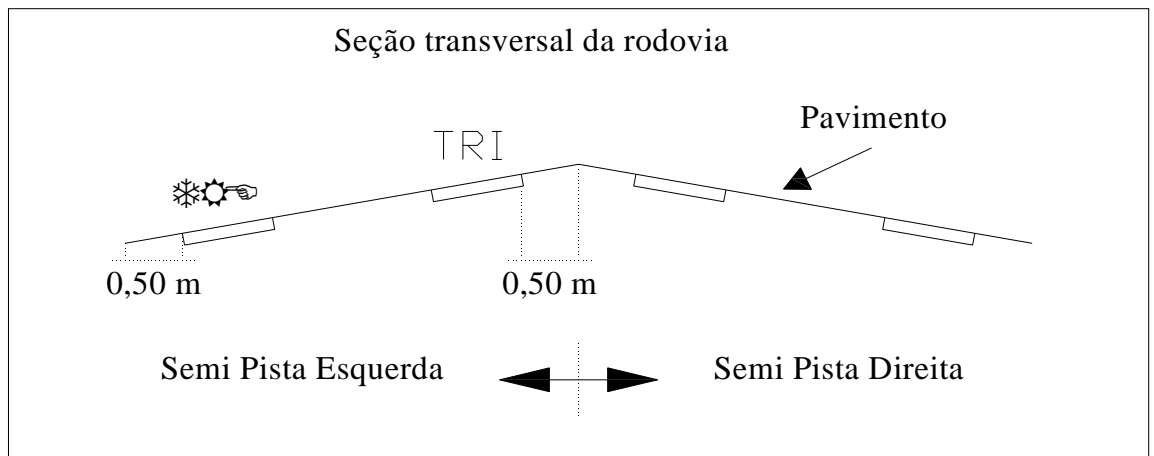
Durante a aplicação dos materiais no campo, foram anotados dados quanto ao tipo de sistema e pavimento em foi aplicado, data e hora da aplicação, temperatura do pavimento, temperatura ambiente, umidade do ar e tempo de secagem do material, conforme tabelas detalhadas no Anexo I.

3.3.4.- Avaliação Periódica dos Sistemas Aplicados

3.3.4.1 Definição das Trilhas de Rodas

Para se conhecer e determinar o rendimento dos materiais nas condições de tráfego leve (semi-pistas esquerda) e tráfego pesado (semi-pistas direita), definiu-se que as demarcações seriam avaliadas quanto à retrorefletância e desgaste, nas trilhas de rodas das duas semi pistas. Assim, após a implantação dos sistemas, demarcou-se nas semi-pistas esquerda (SPE) e direita (SPD), as trilhas de roda interna e externa (180 x 15 cm) para cada faixa de tráfego. As trilhas de rodas externas (TRE), foram dispostas a 50 cm dos bordos. As trilhas de rodas internas (TRI), foram dispostas a 50 cm do eixo da pista, conforme se observa na figura abaixo.

FIGURA 3.5. - Desenho esquemático das trilhas de rodas



Marcações junto às trilhas de rodas foram executadas, de forma a assegurar o correto posicionamento do retrorefletômetro e grelha nas futuras avaliações periódicas.

FIGURA 3.6. - Pré - marcação das trilhas de rodas interna e externa



3.3.4.2. - Cronograma das Avaliações

As avaliações dos sistemas implantados obedeceram o cronograma abaixo e contaram com quatro medidas de retrorrefletância e uma de desgaste em cada uma das trilhas de rodas e para cada faixa executada.

TABELA 3.5 - Cronograma das Avaliações

Inspeção (n°)	Avaliação
1	Imediatamente após aplicação
2	48 horas após a aplicação
3	2 semanas após a aplicação
4	1 mês após a aplicação
05 a 10	A cada mês subsequente
11 a 13	A cada dois meses subsequentes

3.3.4.3 - Coleta de Dados

De um total de 13 (treze) avaliações, foram registradas 12.688 (doze mil seiscentos e oitenta e oito) leituras de desgaste e retrorrefletância. Estes dados foram separados por cada tipo de material, de forma que pudessem ser utilizados em análises comparativas.

3.3.4.3.1 - Desgaste

Foram elaborados formulários para coleta de dados no campo, referentes ao desgaste observado nos materiais aplicados após terem sido submetidos à ação do tráfego e intempéries.

Para fins de comparação entre os materiais, foram medidos como desgaste, os descolamentos ou solturas observados nos sistemas aplicados.

Os dados relativos ao desgaste, coletados durante as avaliações periódicas constam do anexo II.

FIGURA 3.7. – Medição de desgaste com utilização da grelha



3.3.4.3.2. – Retrorrefletância

Os dados de campo relativos à retrorrefletância também foram coletados em formulários, logo após a aplicação dos materiais e depois de submetidos à ação do tráfego e intempéries. Estes dados, coletados durante as avaliações periódicas, constam do anexo III.

FIGURA 3.8. – Retrorrefletômetro portátil, MIROLUX 12

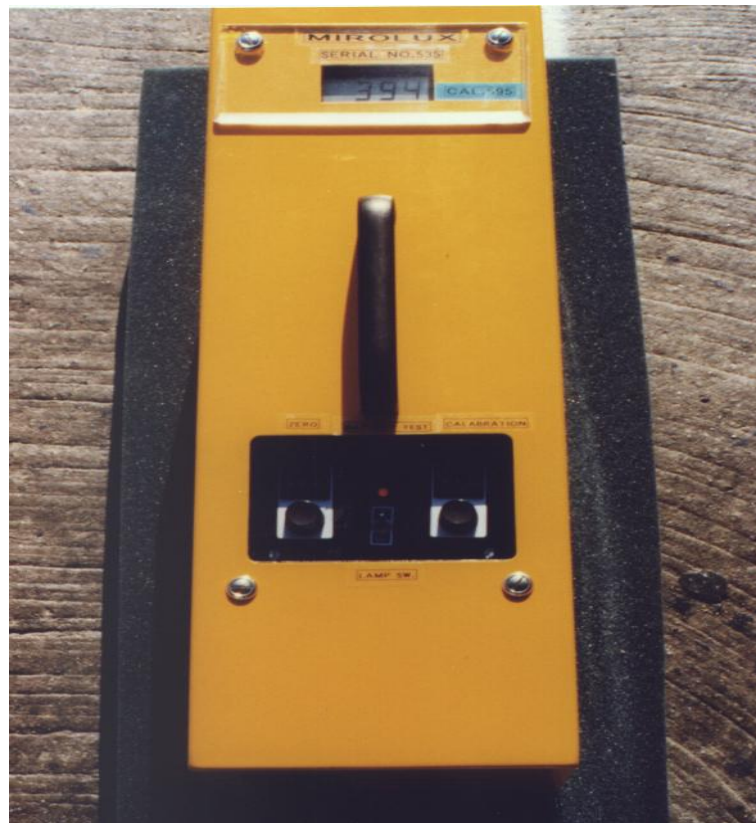


FIGURA 3.9. – Medição de retrorefletância.



3.3.4.4 – Procedimentos de Avaliação

As avaliações periódicas de campo foram realizadas, de acordo com os procedimentos descritos a seguir.

3.3.4.4.1. – Retrorrefletância

Após a demarcação das trilhas de rodas conforme explicitado anteriormente, posicionou-se o retrorrefletômetro, devidamente calibrado, no sentido do bordo externo para o bordo interno da pista de rolamento.

O equipamento apresenta janela de medição com 16,5 x 8,9 cm, dimensões externas de 45 x 15 cm. E a dimensão de cada trilha marcada sobre as faixas era de 180 x 15 cm. Desta maneira, foram realizadas quatro medições em cada trilha de rodas (a 1ª no início da trilha, a 2ª ao fim da 1ª e assim por diante).

Cada leitura foi anotada manualmente num formulário previamente elaborado.

Posteriormente estes valores foram digitados e calculou-se a média aritmética das quatro medidas de retrorrefletância efetuadas em cada trilha de rodas, para cada tipo de material e cor, conforme o Anexo IV.

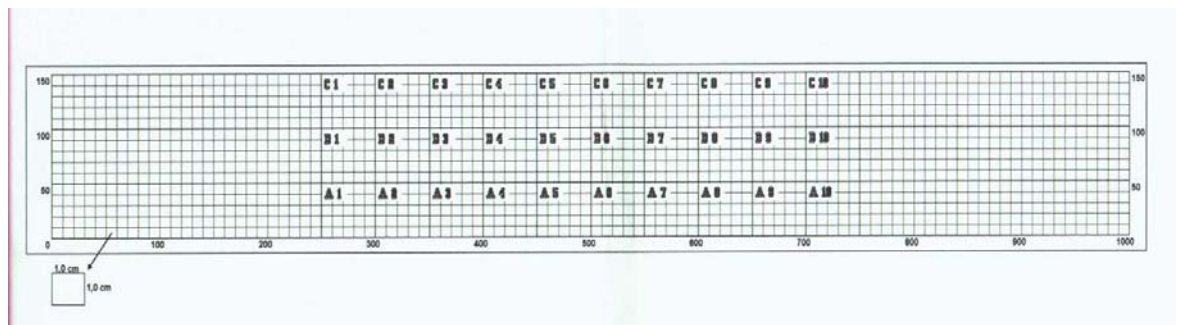
3.3.4.4.2. – Desgaste

A medição do desgaste foi baseada no método descrito no Erosion Metre Instruction Guide^[32], que se constitui num procedimento de avaliação que toma por base uma média ponderada da área desgastada. Isto é feito através da delimitação de uma área, utilizando-se um gabarito subdividido que é colocado sobre a demarcação das trilhas

de rodas (item 3.3.4.1), posicionou-se a grelha sobre a linha demarcada, no sentido do bordo externo para o bordo interno da pista, realizando-se uma leitura em cada trilha de rodas, a contar do início de cada faixa, totalizando quatro leituras.

A leitura constou de uma verificação visual da superfície da área remanescente da demarcação dentro de cada um dos cinquenta quadrados da grelha, entre os valores inscritos no rodapé da mesma.

FIGURA 3.10 – Diagrama da grelha utilizada para a medição de desgaste.



Foram classificados visualmente cada um dos cinquenta quadrados, em categorias A, B, C ou D, sendo que A equivale a um desgaste com área remanescente maior ou igual a 75%, B, maior ou igual a 50% e menor que 75%, C, maior ou igual a 25% e menor do que 50% e D, menor do que 25%.

Multiplicou-se o número de quadrados de cada classificação pelo fator de peso dado, (fator de peso $\Rightarrow A = 1, B = 2, C = 3$ e $D = 4$). Somou-se os resultados e obteve-se o Índice de desgaste total (IDT).

O IDT foi convertido em percentagem de área desgastada da seguinte forma:

Pelo método Erosion Metre acima citado, o IDT de uma demarcação com 15cm de largura varia entre os limites:

IDT = 30 \Rightarrow para demarcações sem desgaste.

IDT = 120 \Rightarrow para demarcações totalmente desgastadas

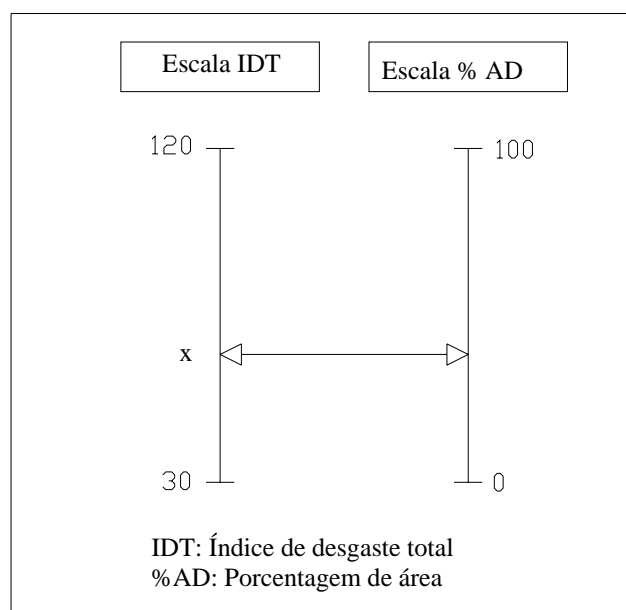
Estes limites são equivalentes a:

% da área desgastada = 0 \Rightarrow para demarcações sem desgastes

% de área desgastada = 100 \Rightarrow para demarcações totalmente desgastadas

Fazendo-se um esquema representativo, tem-se:

Figura 3.11 – Correlações entre escalas IDT e % AD.



Fazendo-se a equivalência entre as duas escalas para uma demarcação cujo IDT é representado pelo ponto “x”, temos:

$$\frac{\text{IDT} - 30}{(120 - 30)} = \frac{\% \text{AD} - 0}{(100 - 0)} \Rightarrow \frac{(\text{IDT} - 30)}{90} = \frac{\% \text{AD}}{100}$$

$$\% \text{AD} = \frac{100}{90} (\text{IDT} - 30) \Rightarrow \frac{10}{9} (\text{IDT} - 30)$$

$$\% \text{Área Desgastada} = \frac{10}{9} (\text{IDT} - 30) \quad (\text{Equação 3.1})$$

Com os resultados obtidos, traçou-se os gráficos relativos aos desgastes ocorridos nos materiais de demarcação, em relação ao tempo de observação.

3.4. – Atividades Executadas nos Experimentos de Laboratório

Estes experimentos tinham como objetivo determinar as taxas adequadas de microesferas para se obter o maior valor de retrorrefletância inicial e consistiram no desenvolvimento de uma metodologia capaz de estabelecer a correlação entre taxas (g/m^2) de aplicação das microesferas de vidro, segundo sua granulometria, ancoragem e a retrorrefletância inicial.

Para a realização dos experimentos laboratoriais, procedeu-se da maneira explicitada a seguir.

3.4.1 – Caracterização dos Materiais

Caracterizou-se em laboratório, conforme normas da ABNT, os seguintes materiais:

- Tinta acrílica (solvente) para demarcação viária, na cor branca
- Microesferas de vidro, tipo II-A.

3.4.2. – Equipamento Aplicador de Tintas

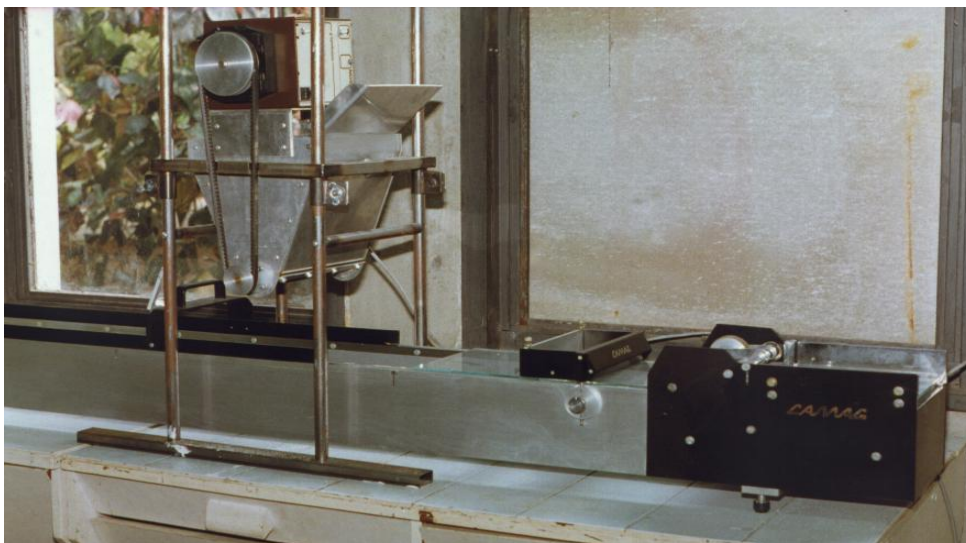
O equipamento foi adaptado de um aplicador de placas cromatográficas e consiste de um sistema de esteira rolante, acionado por um motor elétrico de velocidade constante, que permite transportar até dez placas de vidro, de dimensões 200 x 200 x 4 mm, onde foram aplicados os materiais. As placas foram linearmente dispostas a uma distância de até 2,00 metros.

FIGURA 3.12. – Equipamento aplicador de tintas



À frente do rolete acionador da esteira foi acoplado , à 25 cm, o dispositivo aplicador do filme de tinta, composto por uma sapata e uma comporta, que dispõe de parafusos reguladores, com finalidade de se calibrar a espessura do filme úmido desejada.

FIGURA 3.13. – Outra vista do equipamento aplicador de tintas.



3.4.3. – Equipamento Aplicador de microesferas de vidro

O equipamento, desenvolvido para este trabalho, consiste de um silo de armazenagem de microesferas, cuja a base possui uma abertura, na qual estava disposto um cilindro recartilhado sob pressão de duas tiras de borracha, e que possuía movimento giratório, cuja finalidade era a distribuição uniforme das microesferas de vidro.

O acionamento do cilindro foi proveniente da adaptação de um motor bomba peristáltica, cuja velocidade era variável e controlada por um reostato, através de uma escala que variava de 0 a 1000. A transmissão foi feita por um sistema de polias e correia.

Todo este conjunto era sustentado por uma base e quatro hastes metálicas de 1,5 metros de comprimento, tendo por finalidade a variação da altura de queda das microesferas, de modo que, por gravidade, pudesse ser obtida a ancoragem ideal (60%), em função do tipo e espessura do material de demarcação aplicado.

FIGURA 3.14. – Equipamento aplicador de microesferas de vidro

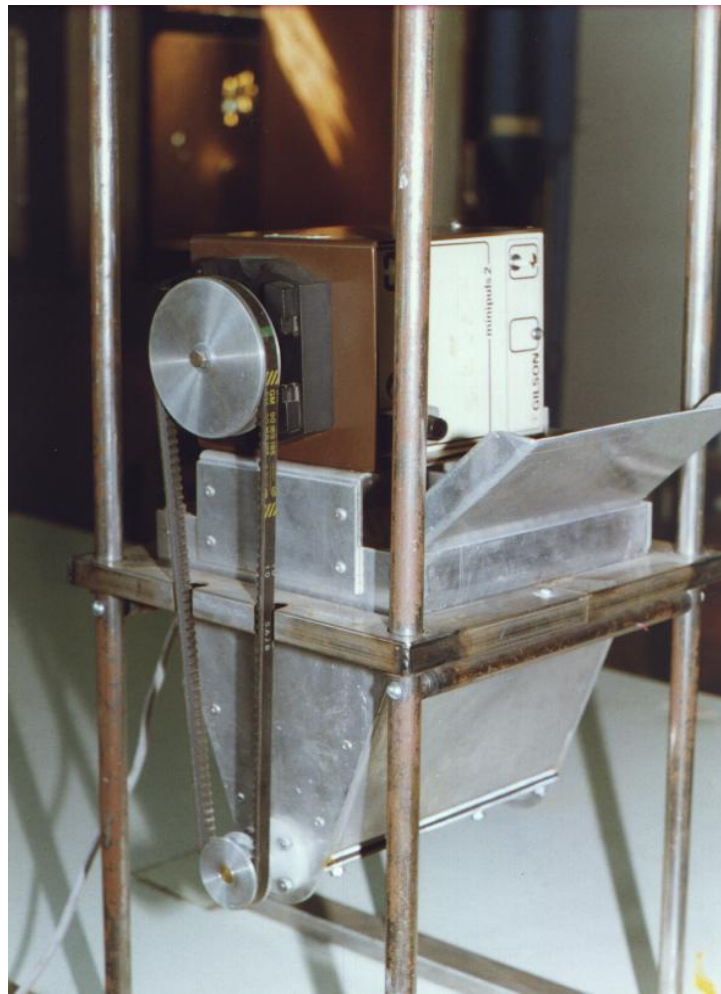


FIGURA 3.15. – Detalhe do cilindro recartilhado



FIGURA 3.16. – Distribuição das microesferas de vidro



3.4.4. – Procedimentos Utilizados na Aplicação

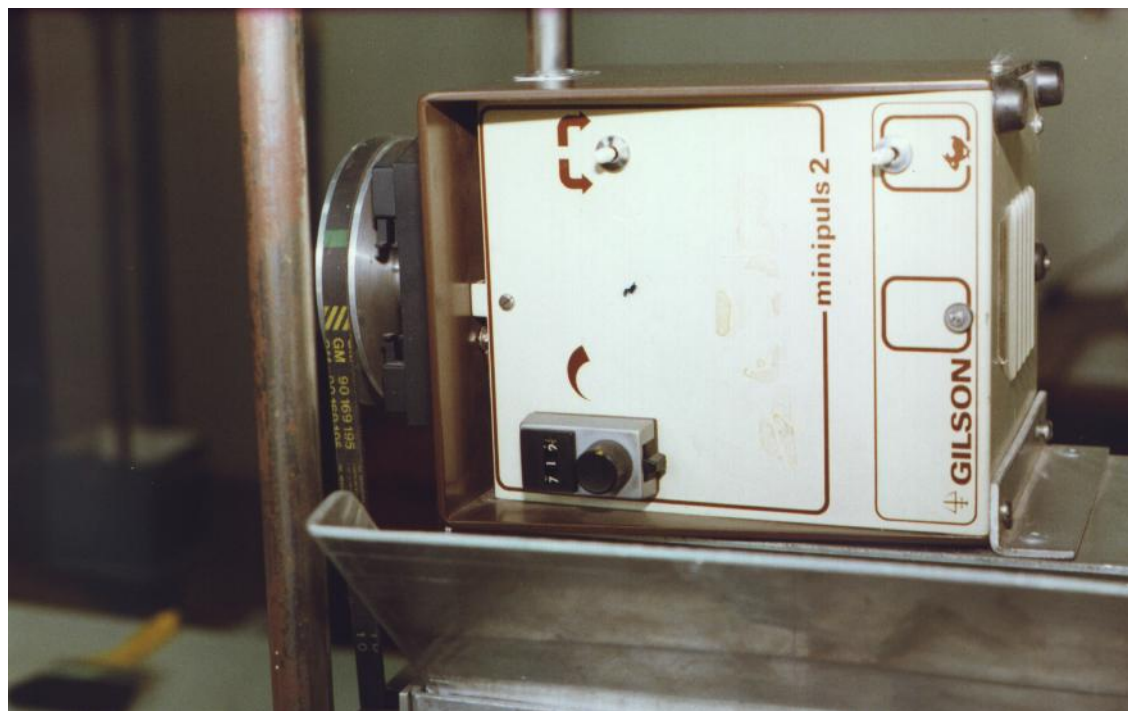
Utilizando-se então, os equipamentos acima descritos, procedeu-se ao experimento, constituído pelos passos detalhados a seguir:

3.4.4.1. – Determinação das rotações do Equipamento Aplicador de Esferas

A correlação entre a rotação do motor e a quantidade de esferas, foi estabelecida da seguinte forma: para cada rotação, coletou-se num recipiente de área e peso conhecidos, por um determinado tempo, uma quantidade de esferas, cujo peso dividido pela área, resultou na taxa aplicada (g/m^2).

Por ajustagem contínua e usando-se o critério de repetibilidade, obteve-se valores para rotação do motor, relacionados com as taxas estabelecidas para a aplicação das microesferas tipo II-A, e que variavam de 100 a 700 g/m².

FIGURA 3.17. – Dispositivo de ajuste da rotação do motor



- **Procedimento utilizado para a determinação das rotações do equipamento de esferas:**
 1. Encheu-se o silo de armazenagem com microesferas tipo II-A
 2. Ajustou-se o motor para a rotação máxima (1000)
 3. Ligou-se o equipamento e deixou-se cair microesferas, num recipiente de área e tara conhecidas.
 4. Pesou-se o recipiente em balança com precisão de 0,01g, deduzindo-se a tara.

5. Anotou-se para cada rotação do motor, o peso das microesferas e calculou-se a taxa, conforme a tabela apresentada no Anexo V.
6. Por tentativas, alterou-se a rotação até a obtenção da taxa desejada.
7. Encontrada esta rotação, repetiu-se mais três vezes o processo, e tendo-se conseguido resultados semelhantes, calculou-se então a média aritmética.

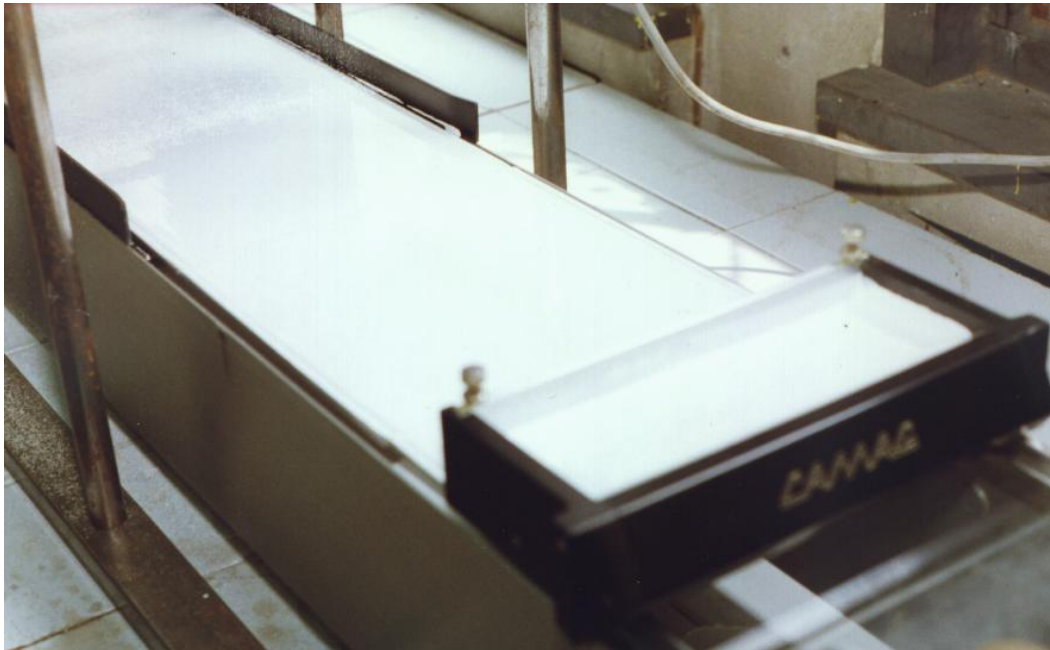
OBS. Sempre que se alterou a rotação do motor, o mesmo foi mantido em funcionamento por 30 seg., antes de qualquer experimento, de forma a garantir a estabilidade da rotação.

3.4.4.2. – Calibragem da Espessura do Filme de Tinta

Pelo mesmo critério, procedeu-se as ajustes contínuos no dispositivo aplicador de tintas até que se obtivesse um filme com espessura úmida de 0,6mm, medido através do Micrômetro “Ômicron”, da “Erichsen”. Esclarece-se que esta espessura de filme úmido, é a espessura mais utilizada no Brasil.

Após a secagem do filme, mediu-se a espessura do filme seco, obtendo-se a espessura média de 0,27mm ou aproximadamente, 0,3mm.

FIGURA 3.18. – Filme de tinta (espessura úmida = 0,6mm)



- **Procedimento para calibragem da espessura do filme de tinta**
 1. Calibrou-se o dispositivo aplicador do filme de tinta, através dos parafusos reguladores, utilizando-se como primeira referência o calibrador de espessuras “Meissnes”.
 2. Colocou-se três placas de vidro limpas e secas no compartimento de placas. Após o enchimento do dispositivo aplicador de tinta, ligou-se o equipamento.
 3. Conferiu-se a espessura do filme úmido de tinta aplicado, com o auxílio do micrômetro “Ômicron” e também com auxílio de um gabarito de espessura úmida.
 4. Efetuou-se várias tentativas, até que se obtivesse espessura úmida igual a 0,6 mm.
 5. Realizou-se novamente o mesmo procedimento, com o dispositivo devidamente ajustado, para verificação da constância das espessuras obtidas.

6. Após secagem da tinta nas placas amostrais, mediu-se a espessura seca com auxílio do micrômetro “Mitutoyo”, obtendo-se a espessura do filme seco igual a 0,27mm.

3.4.4.3. – Determinação da Altura do Equipamento Aplicador de Esferas

Neste estudo, as aplicações de esferas de vidro foram realizadas por gravidade. Este passo, determinou a altura adequada de queda das esferas, para que se obtivesse uma ancoragem em torno dos 60% do seu diâmetro.

Realizou-se repetidos experimentos, variando-se a altura de um mínimo até um máximo, observando-se e comparando-se visualmente os resultados obtidos, confirmando posteriormente com o auxílio da lupa ótica.

- **Procedimento da calibragem da altura do equipamento aplicador de esferas:**

1. Adotou-se a rotação do motor igual “455”, que representava uma taxa de consumo média de 300 g/m^2 de microesferas tipo II-A.
2. Adotou-se a altura inicial do aplicador de microesferas à placa de vidro, igual a 20 cm.
3. Adotou-se também como espaçamento entre o dispositivo aplicador de microesferas e o aplicador de tintas igual a 20 cm.
4. Encheu-se o silo de armazenagem com microesferas tipo II-A.
5. Colocou-se no equipamento aplicador 03 placas de vidro.
6. Encheu-se o dispositivo aplicador de tintas com tinta acrílica (solvente), cor branca, devidamente homogeneizada.

7. Ligou-se os equipamentos aplicadores de tinta e de microesferas.
8. Após a aplicação observou-se visualmente com auxílio de uma lupa, o aspecto da ancoragem das microesferas na tinta.
9. Colocou-se as placas na estufa à uma temperatura constante de 110°C, durante 40 minutos, para acelerar a secagem.

Observou-se que para esta altura as esferas mergulhavam totalmente na tinta.

Esta rotina foi repetida para as alturas de 15 cm e 12 cm cujas ancoragens foram julgadas visualmente adequadas, entretanto ao submeter as amostras às amostras à avaliação microscópica, constatou-se que as ancoragens eram superiores a desejada.

Prosseguindo na tentativa, adotou-se a altura de 10 cm, quando conseguiu-se três resultados considerados satisfatórios, vistos a olho nú. As amostras foram submetidas a visualização microscópica, assumindo-se então esta altura, pois apresentou melhores resultados para os materiais acima referidos.

Repetiu-se o experimento com a altura adotada e após nova medição, confirmou-se a consistência dos resultados obtidos.

3.4.4.4.- Aplicação da Tinta e das Esferas

Em ambiente, com temperatura e umidade controladas, procedeu-se à aplicação da tinta e microesferas tipo II-A, em três placas de vidro, devidamente identificadas, inclusive anotando-se em seu verso, o sentido da aplicação.

Após completa secagem do material, limpou-se a placa com um pincel de cerdas duras, para remoção das microesferas soltas.

3.4.4.5. – Medição da Ancoragem das esferas de Vidro

Tomando-se a primeira das placas amostrais, onde foram aplicadas a tinta e microesferas, dividiu-se o campo em quatro partes e escolheu-se aleatoriamente duas microesferas, em cada campo, tomando-se o cuidado de escolher microesferas que não apresentassem defeitos aparentes.

Colocou-se a placa sob o campo ótimo de uma lupa, com aumento de dezesseis (16) vezes, acoplado a dispositivo digitalizador de imagens, calibrado pra efetuar medidas.

Focando a primeira microesfera, mediu-se o diâmetro da área exposta, denominado “d”, conforme a figura 3.20.

Retirou-se a microesfera do substrato com auxílio de uma pinça e colocando-a sobre um vidro de relógio, aplicou-se duas gotas de solvente para remoção do material aderido à esfera.

Após a limpeza, colocou-se a microesfera sobre o campo ótico da lupa novamente, medindo-se o diâmetro total, denominado “D”, conforme a figura 3.21.

Calculou-se a ancoragem da microesfera, através das expressões:

$$(a)^2 = (r^2) - (d/2)^2 \quad \text{(Equação 3.2)}$$

$$H_a = a + r \quad \text{(Equação 3.3)}$$

$$H_{am} = \sum H_a \cdot 4 \cdot n \quad \text{(Equação 3.4)}$$

$$\% \text{ de amostragem (\%A)} = (H_{am}/4D) \times 100 \quad \text{(Equação 3.5)}$$

Onde,

a = altura do centro da esfera à base do setor esférico

r = raio

d = diâmetro da base do setor esférico (corda)

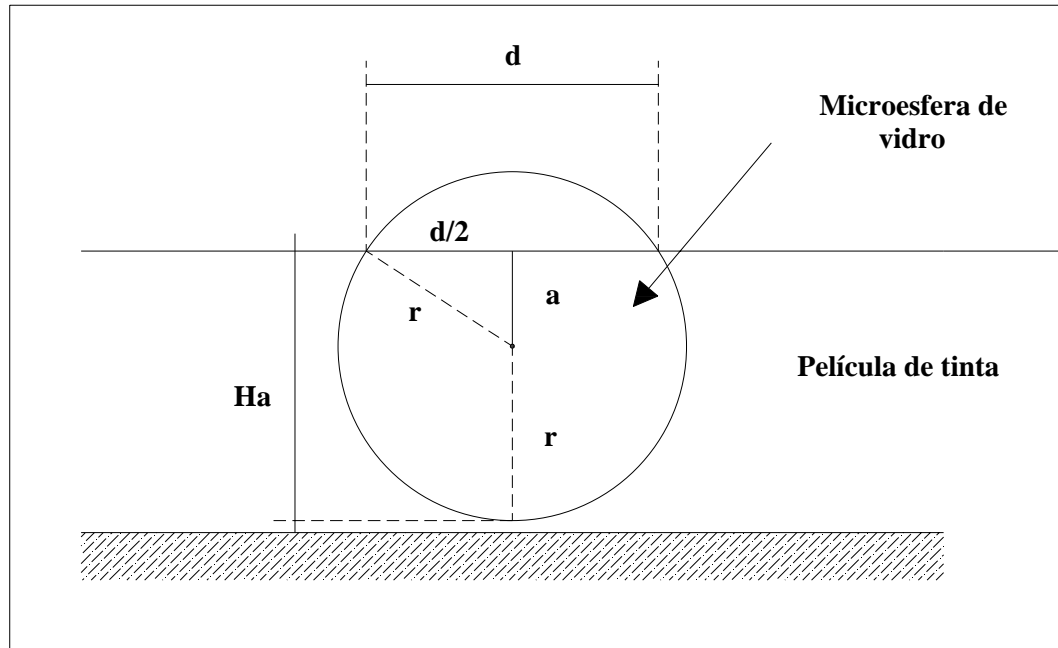
D = diâmetro total da esfera

Ha = altura de ancoragem

H_{am} = altura de ancoragem média

n = n° de amostras

FIGURA 3.19 – Desenho esquemático da esfera ancorada na tinta.



Exemplo:

$$d = 0,704 \Rightarrow d/2 = 0,352$$

$$D = 0,720 \Rightarrow D/2 = \text{raio} = 0,360$$

$$a^2 = (0,360)^2 - (0,352)^2 \Rightarrow a = 0,07547$$

$$Ha = 0,0754 + 0,360 = 0,4354$$

$$\text{Então, \% A (ancoragem)} = Ha / D = 0,4354 / 0,720 = 0,604 = \mathbf{60,4\%}$$

FIGURA 3.20 – Medição da calota esférica

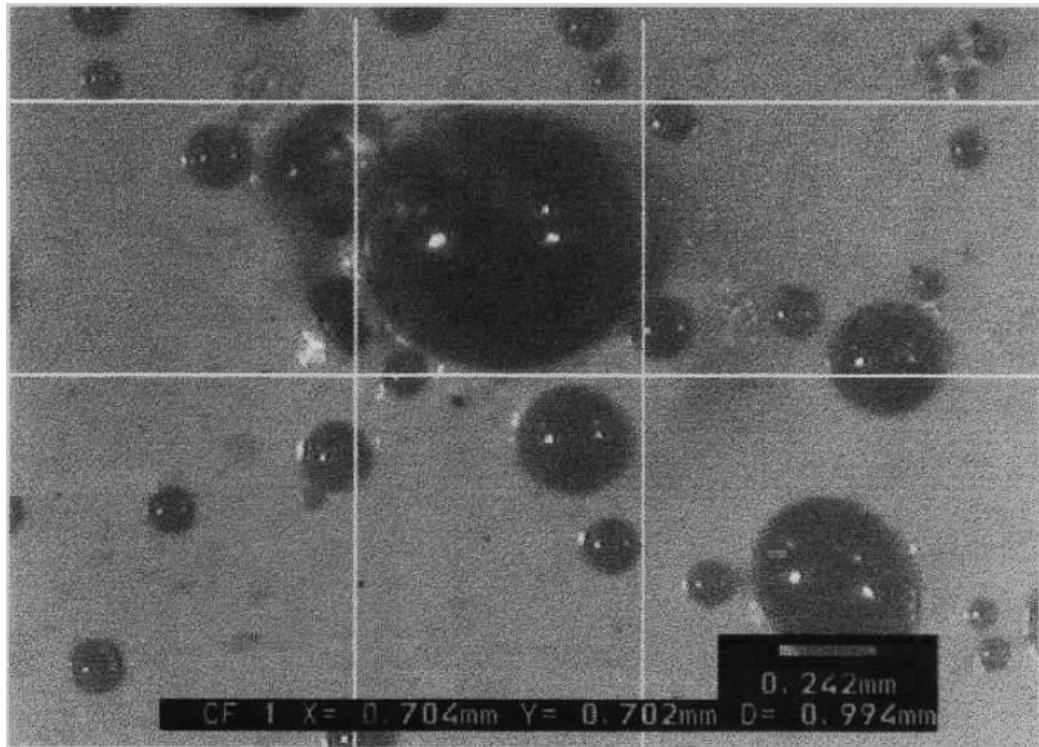


FIGURA 3.21. – Medição do diâmetro total da esfera

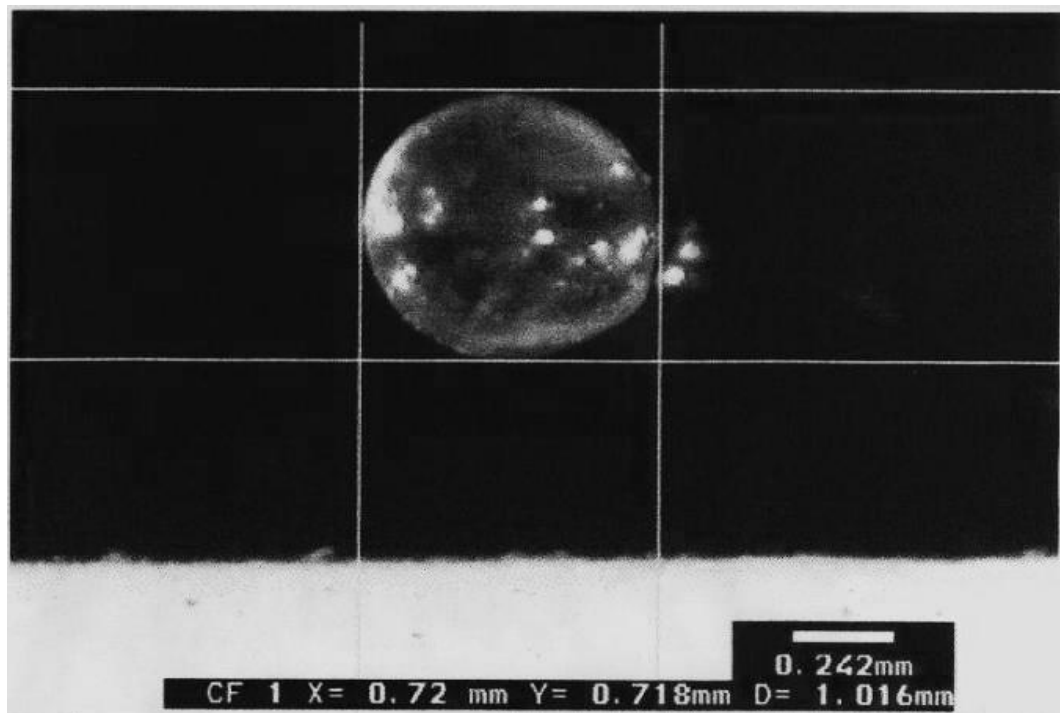


FIGURA 3.22 – Amostral sob a lupa ótica

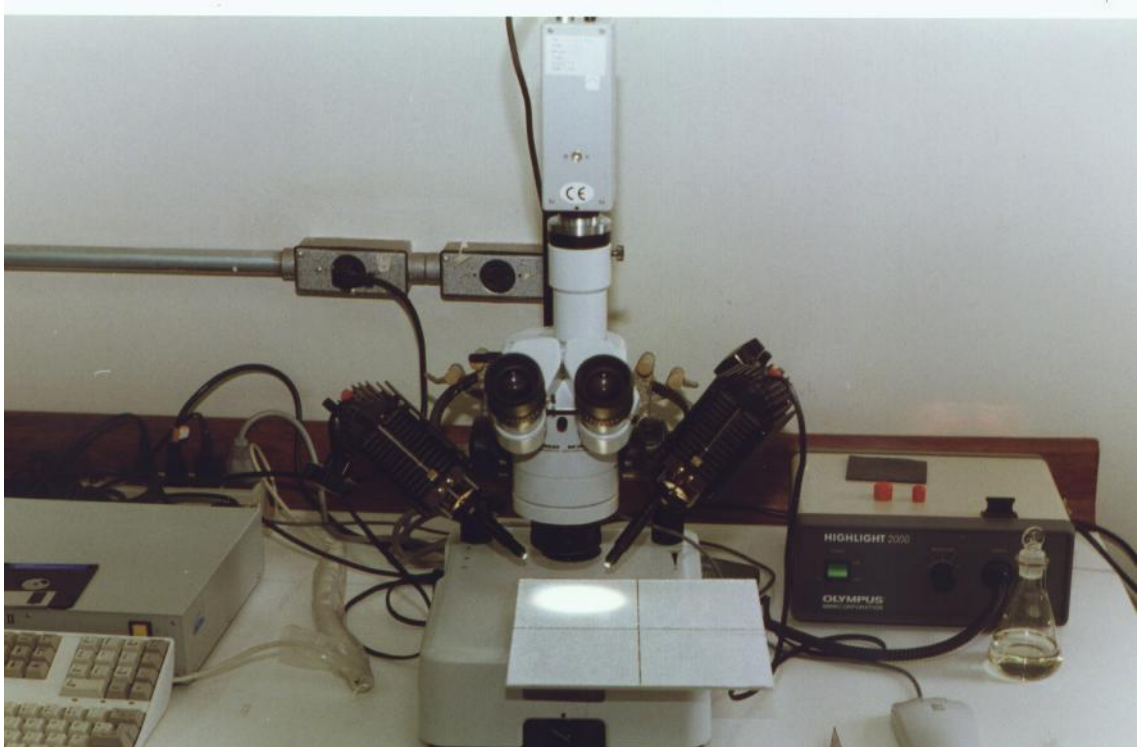


FIGURA 3.23. – Imagem obtida na lupa ótica



3.4.4.6. – Medição da Retrorrefletância Inicial

Procedeu-se então à medida da retrorrefletância inicial, utilizando-se o equipamento portátil MIROLUX 12, tornando-se quatro medidas por placa e calculando-se a média.

Assim, de acordo com a metodologia descrita, obteve-se os resultados apresentados e discutidos no próximo item.

4. APRESENTAÇÃO E DISCURSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Resultados Obtidos nos Experimentos de Campo

De acordo com a metodologia adotada, os dados registrados foram obtidos no campo, sendo que durante a avaliação de desgaste, foram tomadas quatro medidas por sistema aplicado. Realizou-se treze avaliações no total, sendo que nas primeiras quatro, não se houve desgaste em nenhum sistema implantado.

Na avaliação de retrorrefletância, tomou-se dezesseis medidas por faixa, obtendo-se leituras nas cinquenta e duas faixas implantadas.

Com o intuito de se comparar o desempenho dos diversos materiais, calculou-se as médias aritméticas dos valores de retrorrefletância encontrados em cada sistema, conforme Anexo IV.

Calculou-se também o desvio padrão da amostragem de maneira a se conhecer o coeficiente de variação dos resultados em torno da média. Esta dispersão é mostrada no quadro abaixo:

TABELA 4.1. – Dispersão dos Resultados de Retrorrefletância

Materiais	Coeficiente de Variação (%)	
	Pavimento Flexível	Pavimento Rígido
Elastoplástico	7,3	-
Tinta Acrílica (solvente)	19,7	25
Tinta Acrílica (água)	22,9	19,7
Term. Aspergido	19,6	20,2

Term. Extrudado	29,8	15,7
-----------------	------	------

A perda total de retrorrefletância é a diferença entre o valor médio encontrado na primeira avaliação (0 dias) e o valor médio da última (300 dias), dividido pelo valor médio encontrado na primeira avaliação. Este número é dado em porcentagem.

$$P = [(R_0 - R_{300}) / R_0] \times 100 \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde,

P = perda total de retrorrefletância, em porcentagem

R₀ = valor médio de retrorrefletância inicial no dia da aplicação.

R₃₀₀ = valor médio da retrorrefletância residual, após 300 dias da aplicação.

Para o desgaste, observou-se o resultado aos 300 dias, uma vez que este já é dado em porcentagem de área desgastada. Classificou-se o desgaste em três níveis, a saber: leve ($\leq 10\%$), moderado (11- 25%) e severo ($\geq 25\%$).

Como as datas de implantação diferiram para cada tipo de material e as datas de avaliação periódica foram fixas, equívale dizer que, por exemplo, na última medição alguns materiais estavam implantados há 300 dias, enquanto outros já o estavam há 320 dias.

Para efeito comparativo, foram elaborados quadros resumo, onde os intervalos são de 0, 10, 30, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 dias, esclarecendo-se que o intervalo de 0 a 50 dias houve maior frequência nas amostragens, pois neste período esperava-se mais variações nos valores de retrorrefletância.

Os valores relativos a estes intervalos foram obtidos por interpolação, inclusive aqueles relativos aos 100 dias, pois as medições neste período não foram consideradas

válidas, uma vez que o equipamento para medidas de retrorefletância encontrava-se descalibrado.

A partir destes dados, conforme tabelas a seguir, e juntamente com os gráficos, analisou-se o comportamento dos sistemas aplicados (Item 4.1.2.).

TABELA 4.2. Resultados de Campo

QUADRO RESUMO I

MATERIAL	ELASTOPLÁSTICO					
	BRANCA			AMARELA		
Cor	CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE					
Pavimento	I-B		II-A		I-B	
Faixa n°	1	3		2		4
Microesferas	I-B		II-A		I-B	
Medidas	R _L	D	R _L	D	R _L	D
Dias	Valores médios					
0	80	0	420	0	80	0
10	90	0	440	0	90	0
30	110	0	420	0	100	0
50	100	6	380	15	100	5
100	100	32	300	29	80	28
150	100	66	260	58	—	75
200	90	74	260	75	—	100
250	80	75	230	75	—	100
300	70	75	190	75	—	100
Perda R _L	12		55		—	59
Desgaste		S		S		S

Legenda:

R _L	Valor médio de retrorefletância , em mcd/lux/m ²
D	Valor médio de desgaste , em porcentagem (%)
Perda R _L	Perda total de retrorefletância, em porcentagem (%)
L	Nível leve de desgaste ($\leq 10\%$)
M	Nível Moderado de desgaste (11 - 25%)
S	Nível severo de desgaste ($>25\%$)

TABELA 4.3. Resultados de Campo

QUADRO RESUMO II

MATERIAL	TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA (SOLVENTE)																							
	BRANCA						AMARELA																	
	Concreto Betuminoso Usinado à Quente		Concreto de Cimento Portland		Concreto Betuminoso Usinado à Quente		Concreto de Cimento Portland		Concreto Betuminoso Usinado à Quente		Concreto de Cimento Portland													
Faixa nº	5	6	7	1	3	4	4	8	9	10	5	6	7											
Microesferas	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A											
Medidas	RL	D	RL	D	RL	D	RL	D	RL	D	RL	D	RL	D										
Dias	Valores médios																							
0	290	0	310	0	350	0	151	0	165	0	396	0	130	0	180	0	320	0	130	0	177	0	306	0
10	220	0	250	0	300	0	142	0	156	0	339	0	110	0	140	0	250	0	106	0	151	0	255	0
30	260	0	280	0	350	0	178	0	153	0	257	0	160	0	200	0	270	0	138	0	186	0	256	0
50	250	0	250	0	280	0	174	0	189	0	301	0	150	0	180	0	240	0	148	0	177	0	218	0
100	220	0	230	0	250	0	131	0	152	0	222	1	120	0	150	0	180	0	105	0	127	0	155	0
150	190	0	190	0	190	0	89	2	116	0	144	2	100	0	110	0	150	0	62	0	77	0	92	0
200	180	0	180	0	160	0	83	4	102	0	134	2	80	0	100	0	120	0	62	0	74	0	83	0
250	160	0	160	0	140	0	73	4	55	0	94	2	70	0	80	0	110	0	45	0	56	0	62	0
300	120	0	110	0	90	0	46	4	59	0	74	2	50	0	60	0	90	0	25	0	33	0	38	0
Perda RL	58		63		74		69		64		81		61		66		72		80		80		87	
Desgaste												L												

Legenda:

RL	Valor médio de retrorrefletância , em mcd/lux/m ²
D	Valor médio de desgaste , em porcentagem (%)
Perda RL	Perda total de retrorefletância, em porcentagem (%)
L	Nível leve de desgaste (≤ 10 %)
M	Nível Moderado de desgaste (11 - 25 %)
S	Nível severo de desgaste (>25 %)

TABELA 4.4. Resultados de Campo

QUADRO RESUMO III

MATERIAL	TINTA À BASE DE RESINA ACRÍLICA EMULSIONADA EM ÁGUA																					
	BRANCA						AMARELA															
Cor	Concreto Betuminoso Usinado à Quente			Concreto de Cimento Portland			Concreto Betuminoso Usinado à Quente			Concreto de Cimento Portland												
Pavimento	12	11	13	8	10	11	14	16	17	12	13	14										
Faixa nº	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A	II-A	I-B/II-A	I-B/II-A/III-A										
Microesferas	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D										
Medidas	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D										
Dias	Valores médios																					
0	150	0	290	0	340	0	135	0	381	0	90	0	200	0	260	0	92	0	111	0	296	0
10	130	0	250	0	280	0	102	0	304	0	80	0	170	0	210	0	105	0	113	0	255	0
30	160	0	310	0	340	0	149	0	312	0	100	0	200	0	250	0	119	0	117	0	252	0
50	150	0	280	0	260	0	145	0	273	0	100	0	190	0	200	0	118	0	120	0	192	0
100	130	1	230	0	210	0	114	0	193	3	70	4	140	0	150	0	89	6	91	2	142	3
150	100	2	180	0	160	0	83	25	114	10	50	23	100	25	110	0	60	34	62	30	93	14
200	90	2	170	0	150	0	95	30	112	13	50	23	70	30	100	0	61	50	62	50	75	29
250	80	2	150	0	130	0	65	30	81	13	40	23	100	30	90	0	46	50	41	50	59	31
300	60	2	110	0	100	0	47	32	44	14	30	23	70	32	70	0	21	50	18	50	35	40
Perda R _L	60		62		70		65		85		66		65		73		77		83		88	
Desgaste	L		—		—		—		S		M		M		M		—		S		S	

Legenda:

R _L	Valor médio de retrorefletância , em mcd/lux/m ²
D	Valor médio de desgaste , em porcentagem (%)
Perda R _L	Perda total de retrorefletância, em porcentagem (%)
L	Nível leve de desgaste (≤ 10%)
M	Nível Moderado de desgaste (11 - 25%)
S	Nível severo de desgaste (>25%)

TABELA 4.5. Resultados de Campo

QUADRO RESUMO IV

MATERIAL	TERMOPLÁSTICO EXTRUDADO																			
	BRANCA						AMARELA													
Cor	Concreto de Cimento Portland						Concreto de Cimento Portland													
Pavimento	Concreto Betuminoso Usinado à Quente			Concreto Betuminoso Usinado à Quente			Concreto Betuminoso Usinado à Quente			Concreto de Cimento Portland										
Faixa nº	19	20	21	15	17	18	22	23	29	19	20	21								
Microesferas	II-A	III-C	II-A/III-C	II-A	III-C	II-A/III-C	II-A	III-C	II-A/III-C	II-A	III-C	II-A/III-C								
Medidas	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D								
Dias	Valores médios																			
0	200	0	320	0	210	0	241	0	264	0	140	0	160	0	134	0	151	0	192	0
10	230	0	400	0	310	0	323	0	394	0	180	0	190	2	159	0	187	0	194	0
30	220	0	420	0	320	0	290	0	340	0	200	0	250	0	145	0	143	0	168	0
50	210	0	350	0	280	0	274	0	291	0	190	0	220	0	159	0	164	0	165	0
100	220	0	310	0	270	4	207	3	226	10	120	0	140	0	118	0	120	0	118	0
150	220	0	220	0	230	4	141	40	167	30	70	0	110	0	77	0	77	0	71	15
200	200	0	220	0	220	4	132	58	147	40	60	0	90	0	71	22	66	10	66	17
250	210	0	160	0	200	4	100	60	120	43	50	0	90	0	48	25	59	13	51	28
300	160	0	120	0	130	4	58	64	78	52	30	0	60	0	27	32	25	24	27	55
Perda R _L	20	—	62	—	38	—	75	—	71	—	78	—	74	—	79	—	83	—	85	—
Desgaste	—	—	—	—	L	—	S	S	S	S	—	—	—	—	L	S	M	M	S	S

Legenda:	
R _L	Valor médio de retrorefletância , em mcd/lux/m ²
D	Valor médio de desgaste , em porcentagem (%)
Perda R _L	Perda total de retrorefletância, em porcentagem (%)
L	Nível leve de desgaste (≤ 10 %)
M	Nível Moderado de desgaste (11 - 25 %)
S	Nível severo de desgaste (>25%)

TABELA 4.6. Resultados de Campo

QUADRO RESUMO V

MATERIAL	TERMOPLÁSTICO ASPERGIDO																							
	BRANCA						AMARELA																	
Cor	Concreto Betuminoso Usinado à Quente						Concreto de Cimento Portland																	
Pavimento	26		25		27		22		23		24		30		31		32		25		26		27	
Faixa nº	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B	II-A	III-B	II-A/III-B
Microesferas	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D	R _L	D
Medidas	Valores médios																							
Dias																								
0	130	0	390	0	270	0	187	0	314	0	243	0	130	0	200	0	160	0	147	0	170	0	153	0
10	120	0	460	0	340	0	200	0	336	0	301	0	120	0	220	0	130	0	146	0	165	0	152	0
30	140	0	430	0	310	0	187	0	289	0	262	0	140	0	240	0	150	0	135	0	139	0	141	0
50	150	1	400	0	290	0	191	0	212	0	255	0	140	0	220	0	150	0	133	0	124	1	137	0
100	170	1	350	1	230	0	167	2	159	27	193	2	130	0	130	0	120	10	95	0	85	19	86	10
150	160	1	220	3	160	8	143	23	106	95	131	90	90	4	100	9	80	78	57	15	47	70	35	71
200	150	2	200	4	140	8	138	31	113	100	110	100	80	4	80	9	70	85	73	100	53	100	46	83
250	120	2	170	5	130	9	107	40	87	100	98	100	60	5	70	9	60	85	50	100	37	100	50	84
300	80	2	120	7	90	10	88	58	36	100	47	100	40	9	40	10	30	86	16	100	9	100	13	85
Perda R _L	38		69		66		52		88		80		69		80		82		89		94		91	
Desgaste	L		L		L		S		S		S		S		L		L		S		S		S	

Legenda:

R _L	Valor médio de retrorrefletância , em mcd/lux/m ²
D	Valor médio de desgaste , em porcentagem (%)
Perda R _L	Perda total de retrorefletância, em porcentagem (%)
L	Nível leve de desgaste (≤ 10%)
M	Nível Moderado de desgaste (11 - 25%)
S	Nível severo de desgaste (>25%)

4.1.1.- Apresentação dos Dados

Os dados completos de desgaste e retrorrefletância obtidos no campo, estão apresentados nos Anexos II e III, respectivamente.

As curvas de desgaste e retrorrefletância obtidas à partir das médias das leituras em cada trilha de rodas, são mostradas nos Anexos VI e VII.

4.1.2. Análise do comportamento dos Sistemas Aplicados

A partir dos dados médios de desempenho dos materiais contidos nas tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, foram observados os seguintes comportamentos:

4.1.2.1. – Elastoplástico

Logo no 1º mês após sua aplicação, constatou-se que o material apresentava pouca aderência ao substrato, permitindo o arrancamento manual em alguns pontos.

A não adesão destes materiais foi explicada pelo fabricante, como sendo uma falha no adesivo utilizado.

Entretanto, continuou-se a realizar as avaliações periódicas, pois desconsiderando-se as solturas provenientes da utilização de adesivo inadequado, o desempenho do material poderia servir como dado comparativo em relação aos outros materiais aplicados. Verificou-se então que:

- Os valores de retrorefletância inicial foram idênticos para ambas as cores, branca e amarela, em cada um dos tipos de material. Aqueles materiais que usavam microesferas I-A apresentaram 80 mcd/lux/m^2 e os que usavam microesferas II-A, apresentaram 420 mcd/lux/m^2 .
- Os materiais apresentaram de forma geral, índice severo de descolamento nas trilhas de roda mais carregadas, ora tratado como “desgaste”, para fins comparativos com os outros materiais.
- A queda de retrorefletância registrada a cada 50 dias, em termos percentuais, foi menor nas faixas n.º 1 e n.º 2, quando comparadas com as faixas n.º 3 e 4.
- A maior retrorefletância inicial ($R_{Li} = 420 \text{ mcd/lux/m}^2$), bem como a maior residual ($R_{Lr} = 190 \text{ mcd/lux/m}^2$), foram observadas na faixa 3, contendo microesferas tipo II-A.
- A perda de retrorefletância residual final em relação à inicial, após o período total de observação (300 dias), foi de 55% para a faixa 3 e 12% para a faixa 1.
- A retrorefletância média das faixas 1, 2, 3 e 4 sofreu ligeira elevação durante os primeiros 30 dias, sendo que os maiores valores foram medidos aos 10 dias. Tal fato pode se creditado ao desgaste de material com a passagem do tráfego, tendo com conseqüência a maior exposição das microesferas. Após este período foi observado um decréscimo gradual, da ordem de 20%, a cada avaliação realizada.
- As faixas 1 e 2 apresentaram retrorefletividade inicial não compatível com o uso em rodovias sem iluminação, devido aos baixos índices registrados. Em observação visual noturna, confirmou-se que seu desempenho estava aquém dos demais sistemas e que valores de retrorefletância da ordem de 100 mcd/lux/m^2 , não garantiam a adequada visibilidade noturna.

- Em Observação visual, com auxílio de uma lupa, notou-se que os diâmetros das microesferas utilizadas nos materiais elastoplásticos eram uniformes, e que estas estavam adequadamente ancoradas, o que pode explicar a reduzida perda percentual da retrorefletância, a cada avaliação realizada.
- Não houve defasagem considerável entre as quatro trilhas de rodas, conforme se observa nos gráficos de retrorefletância.

FIGURA 4.1. - Comportamento característico do elastoplástico quanto à retrorefletância.

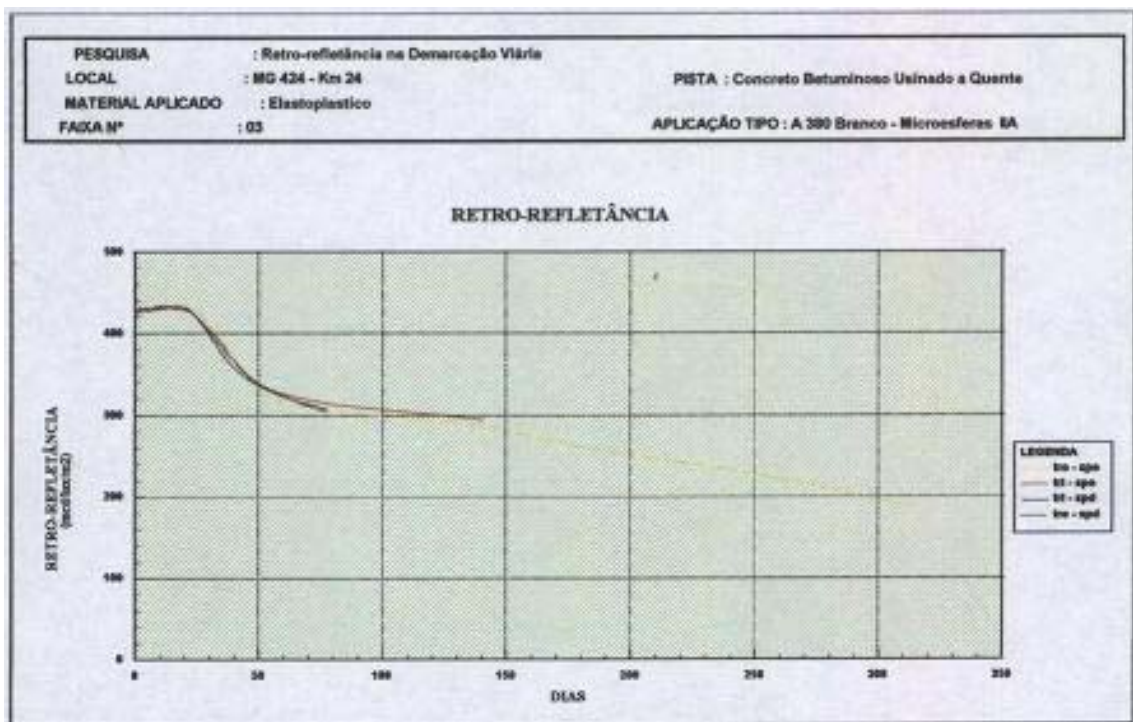
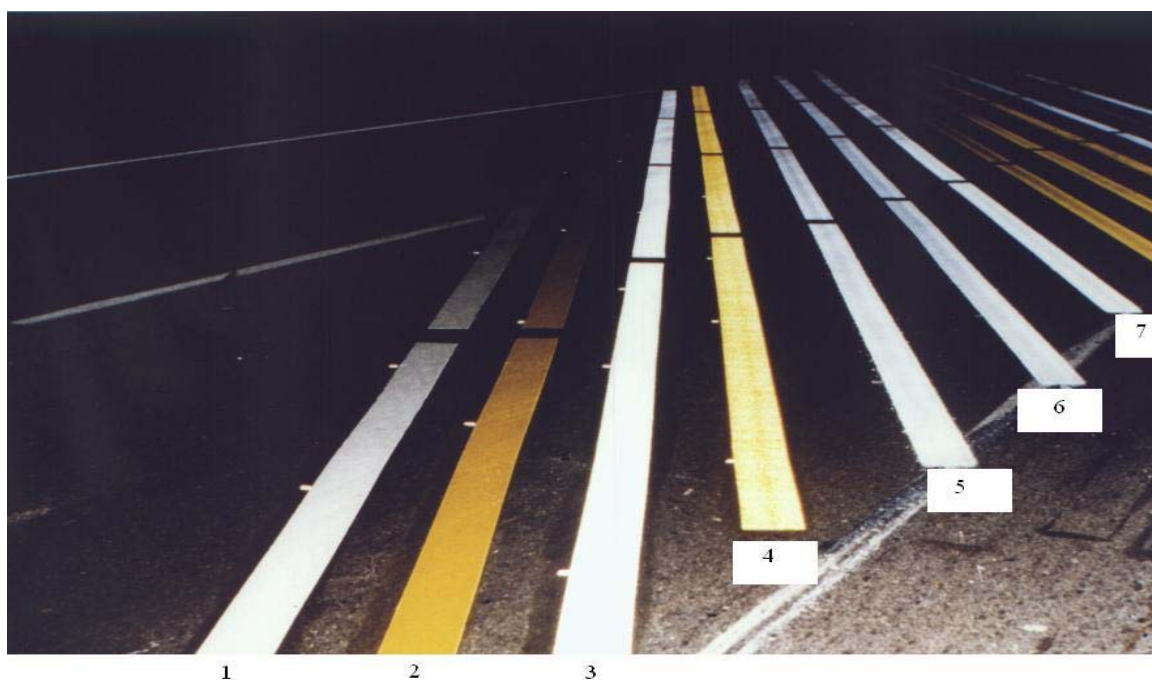


FIGURA 4.2. – Vista noturna das demarcações

(Faixas 1, 2, 3 e 4, em elastoplástico e faixas 5, 6 e 7, em tinta acrílica e solvente)



4.1.2.2. – Tinta à Base de Resina Acrílica (solvente)

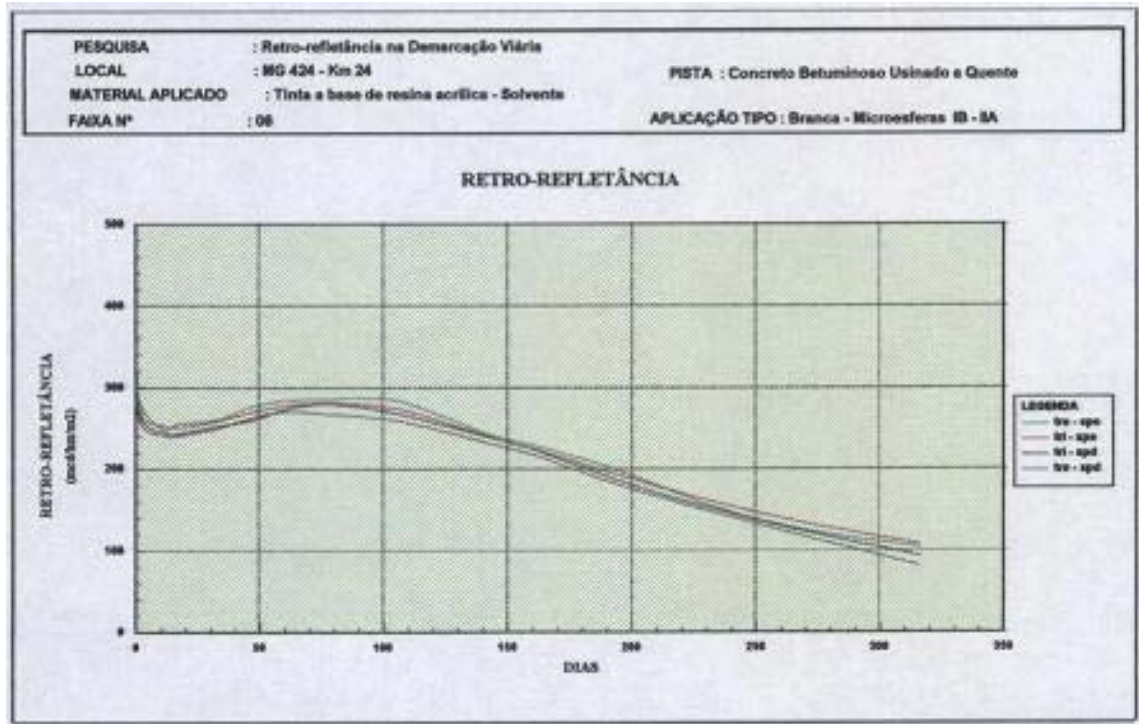
- No pavimento flexível (CBUQ) os valores de retrorrefletância médios para as tintas na cor amarela foram 30% inferiores aos da tinta branca e que no pavimento de concreto (CCP), foram 20% inferiores.
- Os materiais apresentaram de forma geral, boa aderência quando aplicados sobre o pavimento flexível (CBUQ), mas no pavimento de concreto de Cimento Portland, observou-se desgaste da ordem de 2 a 4%.
- Os valores mais altos de retrorrefletância inicial,, que variaram de 310 a 400 mcd/lux/m² resultaram dos sistemas onde se aplicou microesferas I-B / II-A / III-A, seguido do sistema IB/IIA, tanto na cor branca quanto na amarela, porém a

redução da retrorrefletância ao longo do tempo foi mais acentuada neste (82%) do que no sistema IB/IIA (72%).

- A maior retrorrefletância inicial ($R_{Li} = 400 \text{ mcd/lux/m}^2$) foi observada na faixa 4 (CCP) – sistema I- B/ II- A/ III-A. Este sistema apresentou uma queda de 82% nos valores de retrorrefletância residual ($R_{Lr} = 70 \text{ mcd/lux/m}^2$), em 300 dias.
- A defasagem entre as quatro trilhas de rodas observada nos gráficos de retrorrefletância é pouco expressiva.
- Notou-se que nas tintas aplicadas no pavimento flexível (CBUQ), houve uma queda nos valores de retrorrefletância aos 10 dias, seguida de uma elevação aos 30 dias, e daí em diante, um decréscimo gradativo até o final das observações. Uma explicação possível é que ao fim de 10 dias, as microesferas que não haviam ficado adequadamente ancoradas saíram pela exposição ao tráfego e os valores de retrorrefletância decresceram. Com a continuidade do tráfego, houve o desgaste inicial na tinta, causando uma maior exposição das microesferas e os valores de retrorrefletância se elevaram. A partir daí, os valores de retrorrefletância decrescem gradualmente, sob a contínua ação do tráfego.
- Três dos quatro sistemas que utilizaram somente microesferas tipo II-A apresentaram retrorrefletância inicial abaixo de 150 mcd/lux/m^2 , inferior aos demais sistemas. Em observação visual noturna, confirmou-se que a retrorrefletância não garantia a adequada visibilidade noturna.
- De maneira geral, o sistema que apresentou melhor desempenho, conjugando-se os valores de retrorrefletância e a perda percentual de retrorrefletância ao longo do tempo, foi o sistema em que se utiliza esferas I-B e II-A. Na faixa 6 (CBUQ),

foram obtidos os valores de $R_{Li} = 310 \text{ mcd/lux/m}^2$ e $R_{Lr} = 110 \text{ mcd/lux/m}^2$, com perda de 63%.

FIGURA 4.3. Comportamento característico da tinta acrílica (solvente) quanto à retrorefletância

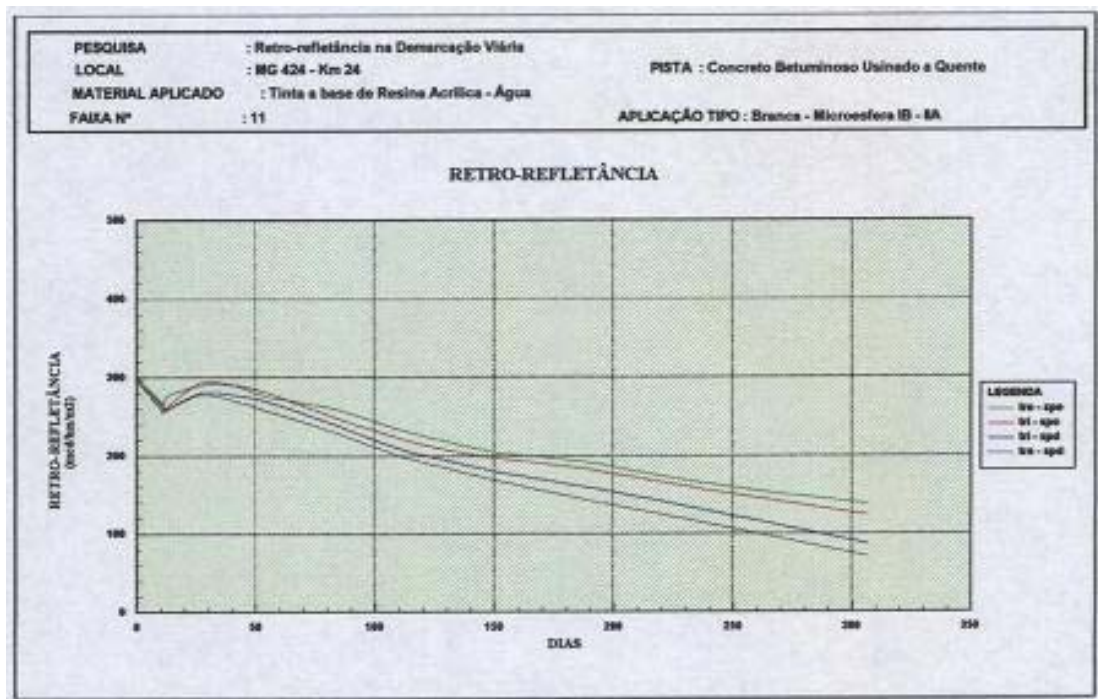


4.1.2.3. – Tinta à Base de Resina Acrílica Emulsionada em água

- No pavimento flexível (CBUQ) os valores de retrorefletância para as tintas na cor amarela foram 30% inferiores aos da tinta branca e que no pavimento de concreto (CCP), foram 25% inferiores.
- As tintas aplicadas no CBUQ não apresentaram desgaste considerável, mas aquelas aplicadas no CCP apresentaram alto índice de desgaste, principalmente nas trilhas de rodas mais carregadas, daí a defasagem entre as quatro trilhas de rodas observada nos gráficos de retrorefletância ser bastante expressiva.

- Os valores mais altos de retrorrefletância inicial resultam dos sistemas onde se aplicou microesferas I-B/ II-A/ III-A, mas este sistema, após os 300 dias de observação, apresentou uma perda de 84% em relação ao valor da retrorrefletância inicial, sendo o valor de retrorrefletância residual igual a 60 mcd/lux/m².
- Como nas tintas acrílicas (solvente), nota-se que nas tintas emulsionadas em água aplicadas no pavimento flexível (CBUQ), houve uma queda nos valores de retrorrefletância aos 10 dias, seguida de uma elevação aos 30 dias, e daí em diante, um decréscimo gradativo até o final das observações. Isto pode ser um indicativo de que no fim de 10 dias, as microesferas que não haviam ficado adequadamente ancoradas saíram pela exposição ao tráfego e os valores de retrorrefletância decresceram. Com a continuidade do tráfego, houve o desgaste inicial na tinta, causando uma maior exposição das microesferas e os valores de retrorrefletância se elevaram. A partir daí, os valores de retrorrefletância decrescem gradualmente, sob a contínua ação do tráfego.
- Os sistemas II-A e I-B/ II-A aplicados no CBUQ, faixas 12 e 11 respectivamente, apresentaram as menores perdas (60% e 58%) nos valores de retrorrefletância, ao longo do tempo de observação.
- De maneira geral, o sistema que apresentou melhor desempenho, conjugando-se os valores de retrorrefletância e a perda percentual de retrorrefletância ao longo do tempo, foi o sistema I-B/ II-A. Este sistema (faixa 11, CBUQ), apresentou o maior valor de retrorrefletância residual ($R_{Lr} = 120 \text{ mcd/lux/m}^2$), e boa retrorrefletância inicial ($R_{Li} = 290 \text{ mcd/lux/m}^2$), com perda percentual de 58%, ao longo do tempo.

FIGURA 4.4. – Comportamento característico da tinta acrílica (água) quanto à retrorefletância



4.1.2.4. – Termoplástico Extrudado

- Os valores de retrorefletância para os termoplásticos extrudados na cor amarela foram 30% inferiores aos da tinta branca, tanto no pavimento flexível (CBUQ), quanto no pavimento de concreto (CCP).
- Os termoplásticos extrudados aplicados no CCP apresentam soltura nas trilhas de roda mais carregadas, após os 150 primeiros dias, permanecendo apenas na pista de tráfego mais leve, o que foi traduzindo graficamente como desgaste, variando de “moderado” a “severo”.
- Os termoplásticos extrudados aplicados no CBUQ apresentaram ótima resistência ao desgaste. No entanto, a superfície do pavimento em CBUQ (SPD) começou a apresentar, a partir da faixa 19, do 100º dia em diante, trincas classe 1- fissurações

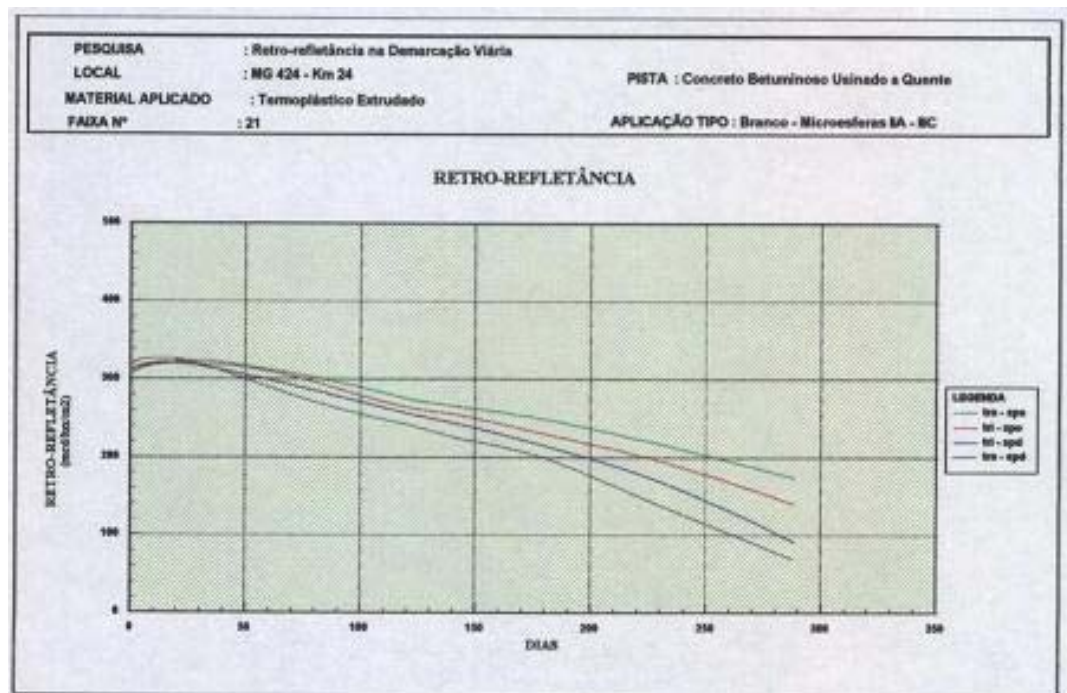
isoladas com aberturas menores que 1 mm, que evoluíram ao final das observações, para classes 2 e 3 – fissurações interligadas em forma quadricular com aberturas maiores que 1 mm e erosão nos bordos (Classificação segundo o procedimento DNER-PRO 08/78, “Avaliação Objetiva da superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos”). Tais trincas, juntamente com a ação do tráfego, foram responsáveis pela soltura em pequena porcentagem (4 a 10%) dos materiais, o que foi classificado como desgaste “leve”.

- Os valores mais altos de retrorrefletância inicial, resultaram dos sistemas onde se aplicou microesferas III-C, seguido do sistema II-A/ III-C, tanto na cor branca quanto na amarela.
- A maior retrorrefletância inicial ($R_{Li} = 320 \text{ mcd/lux/m}^2$) foi observada na faixa 20 (CBUQ), sistema III-C, com perda de 62% ao final do tempo de observação, Esta faixa apresentou aos 30 dias, retrorrefletância igual a 420 mcd/lux/m^2 .
- Houve defasagem considerável entre as quatro trilhas de rodas, conforme verificado nos gráficos de retrorrefletância. Observa-se que estes valores são inversamente proporcionais aos valores de desgaste. Como era de se esperar, nas trilhas de rodas mais carregadas, nota-se que à medida que se elevam os valores de desgaste, reduzem-se os valores de retrorrefletância.
- Até o 30º dia após a aplicação houve uma ligeira elevação nos valores de retrorrefletância em relação à inicial, e uma queda gradativa e uniforme após este período. Acredita-se que com a passagem do tráfego e desgaste inicial, estas esferas ficaram mais expostas e os valores de retrorrefletância apresentaram elevação. Daí em diante sob a contínua ação do tráfego, parece ter havido quebra e

soltura das esferas e os valores de retrorrefletância começaram a apresentar então um decréscimo gradativo.

- Sistema III-C apresentou maiores valores de retrorrefletância inicial, quando comparados com os do sistema II-A e II-A/ III-C.
- Dois sistemas apresentaram excelente desempenho (retrorrefletância x tempo):
 - ♦ Sistema II-A, faixa 19-CBUQ, cuja retrorrefletância inicial foi de $R_{Li} = 220$ mcd/lux/m² e residual $R_{Lr} = 160$ mcd/lux/m², com perda percentual de 27% ao longo do tempo.
 - ♦ Sistema II-A/III-C, faixa 21 – CBUQ, cuja retrorrefletância inicial foi de $R_{Li} = 210$ mcd/lux/m² e residual ($R_{Lr} = 130$ mcd/lux/m²), com perda percentual de 38%, ao longo do tempo.

FIGURA 4.5.- Comportamento característico do termoplástico extrudado quanto à retrorrefletância



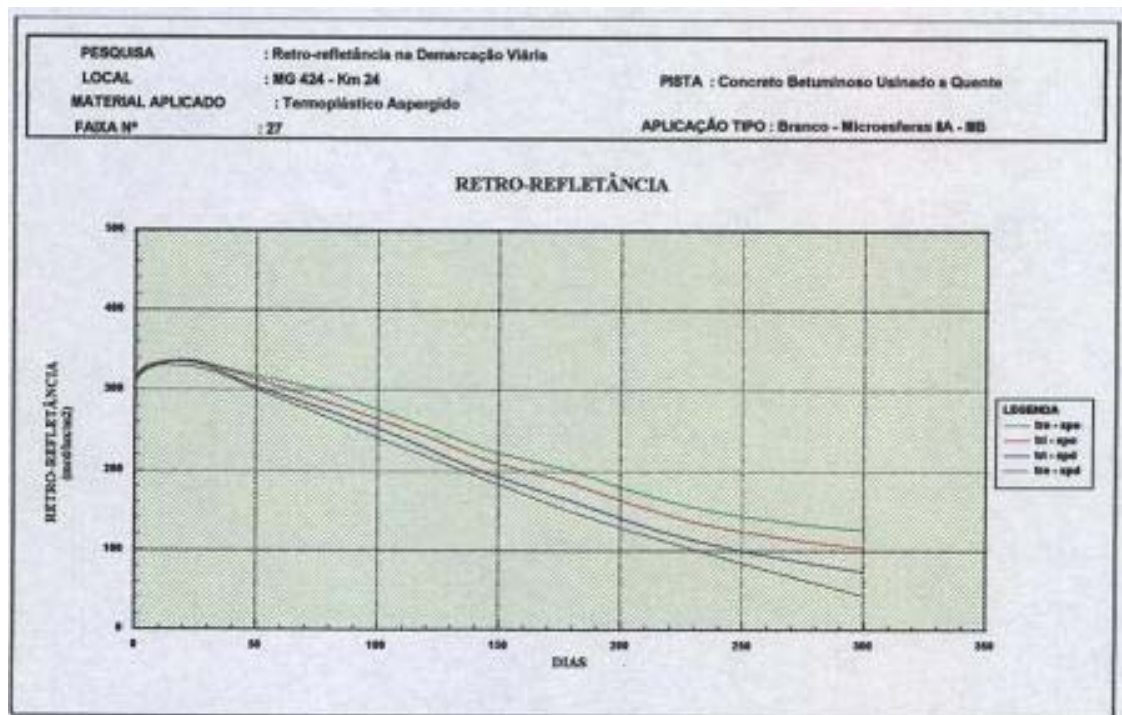
4.1.2.5. – Termoplástico Aspergido

- Os valores de retrorrefletância para os termoplásticos aspergidos na cor amarela foram 30% inferiores aos da tinta branca, tanto no pavimento flexível (CBUQ) quanto no pavimento rígido (CCP).
- Após os 100 primeiros dias, os termoplásticos aspergidos aplicados no CCP apresentaram intensa soltura nas trilhas de roda mais carregadas, permanecendo apenas na pista de tráfego mais leve.
- Os termoplásticos aspergidos aplicados no CBUQ apresentaram boa resistência aos desgastes. A superfície do pavimento (SPD) começou a apresentar, a partir da faixa 19, do 100º dia em diante, trincas classe 1 que evoluíram para classes 2 e 3, ao final das observações. Tais trincas, juntamente com a ação do tráfego, foram responsáveis pela soltura em pequena porcentagem (2 a 10%) dos materiais (desgaste leve), excetuando-se a faixa 32, muito afetada pelo trincamento.
- Também houve defasagem considerável entre as quatro trilhas de rodas, conforme observado nos gráficos de retrorrefletância. Da mesma forma, estes valores são inversamente proporcionais aos valores de desgaste.
- Os valores mais altos de retrorrefletância inicial resultaram dos sistemas onde se aplicou microesferas III-B, tanto na cor branca quanto na amarela. A maior retrorrefletância inicial ($R_{Li} = 380 \text{ mcd/lux/m}^2$) foi observada na faixa 25 (CBUQ) – sistema III-B.
- Observou-se também que nos sistemas aplicados tanto no pavimento flexível quanto no pavimento rígido, houve uma ligeira elevação nos valores de

retrorefletância até o 30º dia em relação à retrorefletância inicial, e uma queda gradativa e uniforme após este período.

- Os sistemas que apresentaram melhor desempenho (retrorefletância x tempo), foram:
 - ♦ Sistema II-A, faixa 22-CCP, cuja retrorefletância inicial foi de $R_{Li} = 230 \text{ mcd/lux/m}^2$ e residual $R_{Lr} = 90 \text{ mcd/lux/m}^2$, com perda percentual de 60% ao longo do tempo.
 - ♦ Sistema II-A/III-B, faixa 27-CBUQ, cuja retrorefletância inicial foi de $R_{Li} = 270 \text{ mcd/lux/m}^2$ e residual $R_{Lr} = 90 \text{ mcd/lux/m}^2$, com perda percentual de 66% ao longo do tempo de observação.

FIGURA 4.6. – Comportamento característico do termo plástico aspergido quanto à retrorefletância



4.1.3.- Análise Comparativa entre os Sistemas

Analisa-se a seguir, o desempenho dos materiais quanto ao desgaste e retrorrefletância, quando comparados entre si.

4.1.3.1.- Desempenho dos Materiais Quanto ao Desgaste

- Os materiais de demarcação aplicados no pavimento asfáltico (CBUQ), apresentaram menor desgaste, do que aqueles aplicados no pavimento rígido (CCP).
- No pavimento em CCP, o material que apresentou melhor desempenho, quanto ao desgaste, foi a tinta acrílica solvente, conforme tabela 4.2 a 4.6, anteriormente mostradas. No pavimento em CBUQ, todos os materiais apresentaram bom desempenho.

4.1.3.2. – Desempenho dos Materiais Quanto à Retrorrefletividade

Salienta-se que neste experimento estudou-se os materiais de demarcação viária sob condições secas. King e Graham ³³, mostram em seu estudo, que há uma queda nos valores de retrorrefletância em condições de chuva ou neblina, da ordem de 50%, Desta forma, tem-se:

- Os valores de retrorrefletância observados nos sistemas onde se utilizou esferas III-B ou III-C em conjunto com as microesferas II-A em termoplásticos, não apresentaram os resultados esperados. Acredita-se que as taxas aplicadas embora usuais, foram excessivas, comprometendo o desempenho dos sistemas.

- Observou-se que os valores de retrorrefletância dos vários sistemas (materiais e microesferas), devido à diferente opacidade do pigmento, são em média 30% inferiores aos valores na cor branca. Isto sugere o estabelecimento de valores diferenciados, conforme a cor da demarcação.
- Independente da cor e do tipo de pavimento em que foram aplicados, as maiores médias para os valores de retrorrefletância obtidas foram $R_L = 460 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico aspergido), $R_L = 440 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Elastoplástico), $R_L = 420 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico extrudado), $R_L = 400 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Tinta acrílica solvente) e $R_L = 380 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Tinta acrílica água), cuja média é igual a $R_L = 420 \text{ mcd/lux/m}^2$.

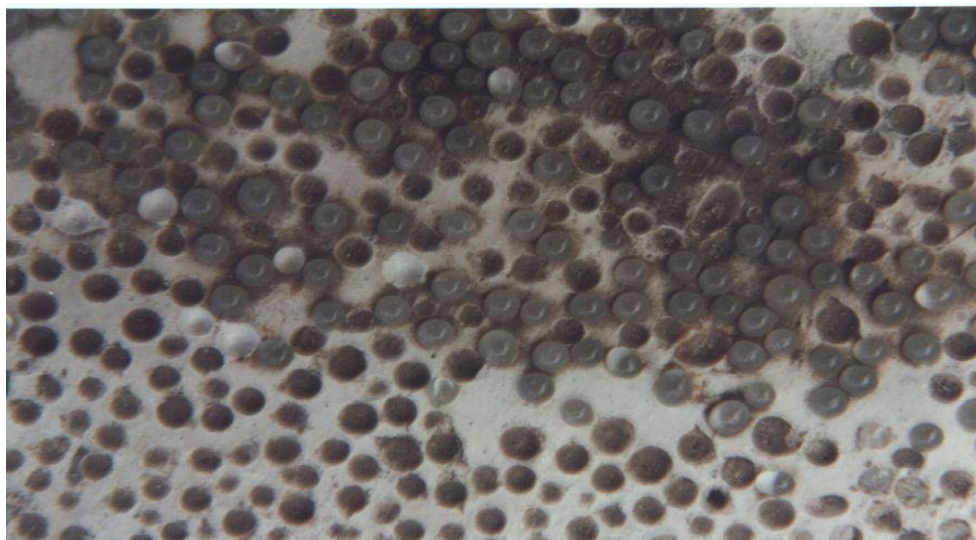
Isto leva a crer que com equipamentos usuais de demarcação e com materiais também comuns no mercado nacional, pode-se executar demarcações com valores de retrorrefletância bem superiores ao valor de 150 mcd/lux/m^2 .

- Em relação aos valores de retrorrefletância residual obtidos, ao fim de 300 dias, os maiores valores são: $R_{Lr} = 190 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Elastoplástico), $R_{Lr} = 160 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico extrudado), $R_{Lr} = 120 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico aspergido, Tinta acrílica solvente e Tinta acrílica água). Calculando-se a média aritmética dos valores supra citados, tem-se que a média dos maiores valores de retrorrefletância residual observados, foi de $R_{Lr} = 140 \text{ mcd/lux/m}^2$.

Outro valor preconizado no meio rodoviário, referia-se a retrorrefletância residual de 85 mcd/lux/m^2 . Neste estudo, constatou-se em observações noturnas que valores de 130 mcd/lux/m^2 para a cor branca e amarela, não apresentam visibilidade satisfatória (vide figura 4.2).

- Os sistemas que apresentam melhor desempenho em relação à manutenção dos valores de retrorrefletância ao longo do tempo, desconsiderando-se as solturas do pavimento, foram em ordem decrescente: Elastoplástico, Termoplástico Extrudado, Termoplástico Aspergido e Tintas Acrílica (Solvente e Emulsionada em Água).
- Acreditava-se também que todos os materiais de demarcação após implantação, apresentassem um decréscimo, seguido de um acréscimo, no valor de retrorrefletância. Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que este comportamento ocorreu apenas nas tintas. Nestas, houve realmente um decréscimo até o 10º dia, seguido de um acréscimo, cujos maiores valores foram observados ao 30º dia e a partir daí verificou-se um decréscimo gradativo. Já, nos Elastoplásticos e Termoplásticos, ao contrário, os valores de retrorrefletância sofreram um ligeiro acréscimo até o 30º dia (sendo os maiores valores observados aos 10 dias), e daí em diante um decréscimo gradativo.
- Nos materiais onde a distribuição granulométrica das microesferas aplicadas foi uniforme, a perda de retrorrefletância nas trilhas de roda foi menor.
- Ao longo do tempo de observação, notou-se que a soltura de esferas de vidro, principalmente aquelas do tipo III, foi mais acentuada nos termoplásticos, do que nas tintas.

FIGURA 4.7. – Soltura das esferas III-C em termoplástico extrudado



4.1.3.3. – Sistemas com Melhor Desempenho

Para melhor visualização, descreve-se a seguir, os sistemas que apresentaram o melhor desempenho em relação ao desgaste e à retrorrefletância inicial e manutenção da retrorrefletância ao longo do tempo de observação.

- **Pavimento Flexível**

Desempenho quanto ao desgaste:

Todos os materiais apresentaram desempenho satisfatório. O pavimento em concreto betuminoso usinado à quente (flexível) apresenta textura normalmente rugosa, o que auxilia sua aderência. Além disto o material de demarcação mais fluido irá penetrar nos interstícios do pavimento.

Pode-se dizer também que um dos promotores de aderência dos termoplásticos ao pavimento flexível é a alta temperatura em que são aplicados (aproximadamente 200°C), fundindo-se ao asfalto favorecendo a união entre os dois materiais.

Nas tintas (solvente), também pode se verificar uma boa aderência pois, além da menor viscosidade da tinta, o asfalto se dissolve superficialmente pela ação do solvente, possibilitando uma melhor interação entre a tinta e o pavimento.

Desempenho quanto à retrorrefletância:

Na tabela 4.7. abaixo, são apresentados os sistemas com melhor desempenho quanto à retrorrefletância, incluindo os valores de retrorrefletância inicial e residual, bem como a perda de retrorrefletância ao longo do tempo de observação.

TABELA 4.7. – Retrorrefletância dos Sistemas Aplicados (Pavimento Flexível)

Materiais	Microesferas Tipo	R_i Inicial (mcd/lux/m²)	R_i Residual (mcd/lux/m²)	Perda de R_i (%)
Elastoplástico	II-A	420	190	55
Term. Aspergido	III-B	380	120	69
	II-A/III-B	270	90	66
	II-A	230	90	60
Term. Extrudado	III-C	320	120	62
	II-A/III-C	210	130	38
	II-A	220	160	20
Tinta (solvente)	I-B/II-A/III-A	350	90	74
	I-B/II-A	310	110	63
Tinta (Água)	I-B/II-A/III-A	340	100	70
	I-B/II-A	290	120	58

- **Pavimento Rígido**

Desempenho quanto ao desgaste:

Com exceção da tinta acrílica solvente, todos os outros materiais apresentaram desempenho insatisfatório. Tal fato, pode ser explicado pelo mecanismo da formação do filme. Estas tintas secam por evaporação do solvente e este processo leva aproximadamente 40 min., possibilitando que a película úmida de tinta penetre nos poros do pavimento, conseguindo, após a secagem maior ancoragem. Nas tintas (água), mais viscosas que as tintas solventes e cujo mecanismo de formação do filme é a coalescência, as partículas de resina dispersas se aglomeram rapidamente (cerca de 10 min.) com a evaporação do dispersante, proporcionando menor penetração, quando comparadas com as tintas (solventes), nas poucas reentrâncias de um pavimento com textura fechada. Nos termoplásticos que secam em contato com o ar, em cerca de 1 a 3 min. E são extremamente viscosos a penetração é quase nula, influenciando negativamente na aderência.

A falta de aderência também pode ser explicada pela textura superficial (fechada) do pavimento de concreto. Inclusive, era praxe na comunidade técnica, indicar-se a aplicação de “primer” promotor de aderência apenas pavimentos de concreto recém construídos, antes da execução da demarcação viária, pois pensava-se que a falta de aderência era provocada principalmente pelo “curing” – Produto líquido aspergido sobre a superfície da pista, para evitar a evaporação da água durante o processo de cura do concreto. Entretanto, neste estudo pode-se comprovar que mesmo em pavimentos de concreto antigos, como é o caso do trecho-teste no km 24 da rodovia

MG – 424, foram observados problemas quanto à aderência, o que pode ser atribuído então à própria textura (fechada) deste tipo de pavimento.

Também no decorrer destes estudos, foram realizadas visitas às obras de duplicação da rodovia Fernão Dias (BR-381), onde haviam sido recém construídos os pavimentos de concreto em pontes e viadutos, sem a aplicação de “curing” e onde pode-se constatar solturas de demarcação viária sobre os mesmos, reforçando então a idéia de que a aderência pode ser função da própria textura do pavimento.

Desempenho quanto à retrorefletância:

Na tabela 4.8. abaixo, também são apresentados os sistemas com melhor desempenho quanto à retrorefletância, incluindo os valores de retrorefletância inicial e residual, bem como a perda de retrorefletância ao longo do tempo de observação.

TABELA 4.8. – Retrorefletância dos Sistemas Aplicados (Pavimento Rígido)

Materiais	Microesferas Tipo	R_i Inicial (mcd/lux/m²)	R_i Residual (mcd/lux/m²)	Perda de R_i (%)
Term. Aspergido.	II-A	230	90	60
Term. Extrudado	III-C	260	80	69
	II-A/III-C	260	80	69
Tinta (solvente)	I-B/II-A/III-A	400	70	82
	I-B/II-A	230	60	72
Tinta (água)	I-B/II-A/III-A	380	60	84
	I-B/II-A	220	40	81

4.2 Resultados Obtidos nos experimentos de Laboratório

Descreve-se a seguir os resultados obtidos nos experimentos de laboratório, onde foi estabelecido um procedimento de forma a permitir a determinação das taxas adequadas de microesferas ancoradas à tintas de demarcação viária, visando a obtenção do maior valor de retrorrefletância inicial.

4.2.1.- Determinação das Rotações do Equipamento Aplicador de Esferas

Foram realizados 72 (setenta e dois) experimentos, cujos resultados constam do Anexo V.

4.2.2.- Medição da Ancoragem das Esferas na Tinta

À guisa de exemplo, mostra-se na próxima tabela, os resultados e cálculos efetuados para a placa amostral n.º XXV, incluindo o desvio padrão dos valores de ancoragem (A) obtidos.

As medidas realizadas nas demais placas confirmaram a consistência dos valores encontrados.

TABELA 4.9. – Medição de Ancoragem das Esferas (Amostra XXV)

Campo n.º	microesfera de vidro n.º	% A	(%A)²	(%A)² – (%A_m)²
01	01	61	3721	121
	02	52	2704	-896
02	03	56	3136	-464
	04	59	3481	-119
03	05	60	3600	000
	06	71	5041	1441
04	07	64	4096	496
	08	57	3249	-351
SOMA TOTAL		480		228

Desta forma, tem-se:

$$\text{Porcentagem média de ancoragem} \Rightarrow \%A_m = \frac{\sum \%A}{n} = \frac{480}{8} = \mathbf{60}$$

$$\text{Desvio padrão} \Rightarrow Sd = \sqrt{\frac{\sum (\%A)^2 - (\%A_m)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{228}{7}} = \mathbf{5,707}$$

Calculou-se a Faixa de Ancoragem para um grau de confiança de 95% de forma que os valores médios se situem dentro deste intervalo, baseado na distribuição de student.

A variável t foi extraída da tabela V, “distribuição t de Student” de Hoel, Paul G.,

“Estatística Elementar”, 1980, pag 368, Ed. Atlas S.A. . Ela é definida pela fórmula:

$$t = \frac{x - \mu}{s} \sqrt{n} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

x = média amostral

μ = valores máximo e mínimo

s = desvio padrão

$n = n^\circ$ de medições

Como $n = 8$, lê-se a entrada na linha correspondente a 7 graus de liberdade e na coluna encabeçada por 0,025, encontra-se $t = 2,365$

Se t varia entre ,

$$-2,365 < t < 2,365$$

Resultando em:

$$x - 2,365 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < x + 2,365 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Substituindo os valores de média, desvio padrão e o n° de medições tem-se:

$$x - 2,365 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < x + 2,365 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$60 - 2,365 \frac{5,707}{\sqrt{8}} < \mu < 60 + 2,365 \frac{5,707}{\sqrt{8}}$$

Simplificando,

$$55,22 < \mu < 64,77$$

Então,

$$\%A_{\max} = 64,77 \% \quad e \quad \%A_{\min} = 55,22$$

4.2.3.- Medição da Retrorrefletância Inicial

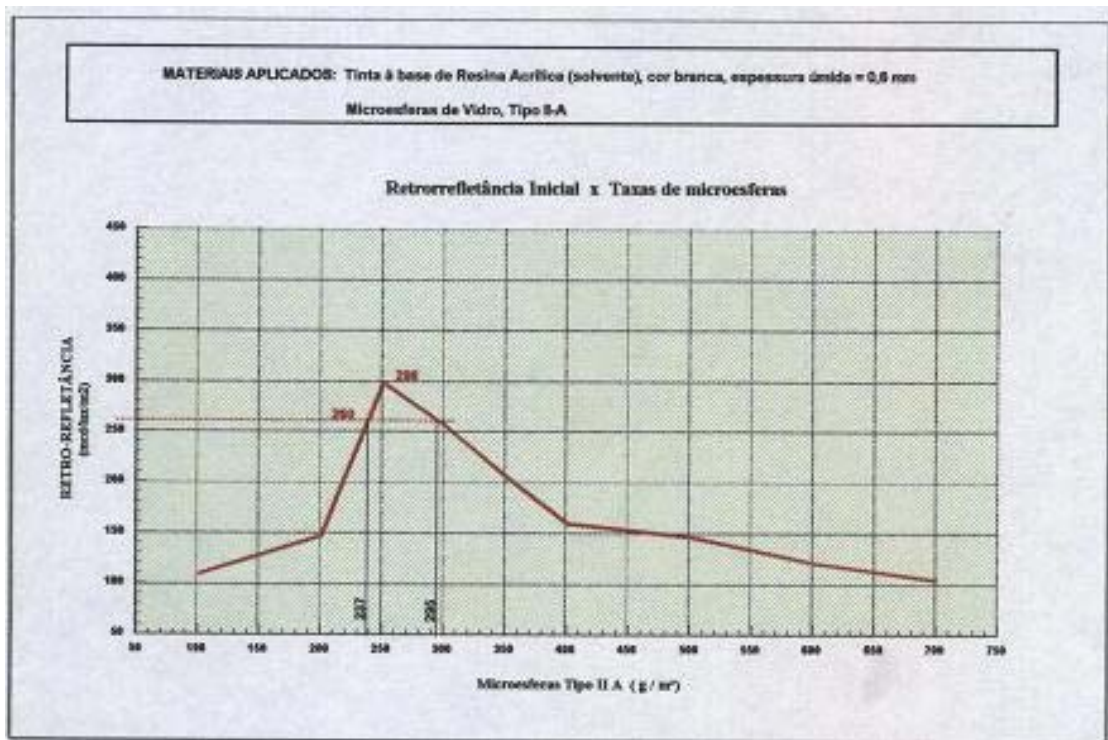
Realizou-se quatro medidas por placa amostral e calculou-se a média aritmética dos valores encontrados. Tais valores constam do Anexo VIII e a tabela contendo os valores médios é apresentada abaixo. Com estes valores, traçou-se o gráfico apresentado na figura 4.8.

TABELA 4.10. Taxas de Aplicação de Microesferas x Valores de R_{Li}

Taxa de microesferas aplicadas (g/m²)	Retrorrefletância inicial obtida (mcd/lux/m²)
100	109,0
200	147,0
250	298,0
300	256,0
350	205,0
400	159,0
500	146,0
600	120,0
700	103,0

Vê-se que o maior valor de R_{Li} obtido (298 mcd/lux/m²), corresponde à taxa de 250g/m². Entretanto, calculou-se uma faixa de trabalho, pois na prática, embora se consiga calibrar os equipamentos para uma taxa específica, ocorrem dispersões inerentes à própria execução dos serviços.

FIGURA 4.8. – Gráfico “Retrorefletância Inicial x Taxas de Aplicação de Microesferas



4.2.4.- Análise dos Resultados

A partir dos dados obtidos, pode-se verificar que:

- Há um valor ótimo em relação à aplicação de microesferas, com vistas à retrorefletividade, a partir do qual um aumento na taxa de microesferas, implica em uma redução nos valores de retrorefletância.
- Em se tratando da aplicação de microesferas de vidro tipo II-A, em tinta acrílica com espessura úmida de 0,6mm, este valor é próximo a 250g/m².
- Em Análise dos valores de retrorefletância encontrados, relativos à taxa de 250 g/m² de microesferas, obteve-se os seguintes parâmetros:

Retrorrefletância média = $297,9 \text{ mcd/lux/m}^2$.

Desvio Padrão = $37,6 \text{ mcd/lux/m}^2$.

Retrorrefletância mínima: $967,9 - 37,6 = 260,3 \cong 260 \text{ mcd/lux/m}^2$.

- Plotando-se estes valores no gráfico, conclui-se que as taxas mínima e máxima de microesferas equivalem à 237 g/m^2 e 295 g/m^2 , respectivamente, o que determina então a faixa ótima de trabalho, para os materiais em questão.

4.3 Conseqüências/Benefícios do Estudo

É importante salientar que até 1992, a ABNT ^[34] recomendava o uso da taxa de 250g/m^2 para o sistema em questão. Em meados de 1995, a Comissão de Estudos de Sinalização Horizontal da ABNT reiniciou uma discussão sobre esse valor, resultando na recomendação para adoção da taxa de 350g/m^2 , conforme a norma NBR 13699^[35].

Após os experimentos em questão, o DER/MG passou a recomendar a taxa de 250g/m^2 de microesferas tipo II-A aspergidas sobre tinta acrílica com espessura úmida de $0,6\text{mm}$, devendo propor à ABNT, oportunamente, rediscussão sobre este valor, baseado nos resultados obtidos neste estudo.

A descrição detalhada da metodologia e os valores para este sistema foram publicados na revista VIAS GERAIS, sob o título “Retrorrefletância inicial x taxa de aplicação de microesferas de vidro em tintas de demarcação viária”^[36].

Como foram estabelecidos procedimentos para avaliação de desgaste e retrorrefletividade dos diversos materiais de demarcação viária neste trabalho, estas metodologias foram submetidas à Comissão de Estudos de Sinalização Horizontal,

Comitê Brasileiro de Transporte e Tráfego – CB-16 da ABNT, como propostas de normas sob os títulos:

- “Determinação da ancoragem de esferas de vidro em tintas de demarcação viária”.
- “Procedimento para avaliação de retrorrefletância em demarcações viárias”
- “Procedimento para avaliação de desgaste em demarcações viárias”.

Os resultados obtidos nas avaliações de campo, permitiram indicativos para o estabelecimento dos parâmetros mínimos de retrorrefletância inicial e residual e de desgaste, a saber:

- a) A retrorrefletância inicial não deve ser menor do que 220 mcd/lux/m^2 para as demarcações de cor branca, nem menor do que 170 mcd/lux/m^2 para as de cor amarela.

Estes valores foram estabelecidos a partir dos dados dos experimentos de campo.

Neles observou-se que os sistemas normalmente utilizados na demarcação viária (tintas com microesferas I-B/II-A e termoplásticos com microesferas II-A) atingiram no mínimo 220 mcd/lux/m^2 para a cor branca e 170 mcd/lux/m^2 para a cor amarela. Até o momento, acreditava-se que sistemas de demarcação aplicados em condições normais (equipamentos e materiais usuais e disponíveis no mercado nacional), não atingiram retrorrefletância acima de 150 mcd/lux/m^2 .

- b) A retrorrefletância residual, não deve ser menor do que 130 mcd/lux/m^2 para as demarcações de cor branca e amarela.

Estes valores são sugeridos à partir das observações visuais noturnas, onde se verificou que sistemas com retrorrefletância de 130 mcd/lux/m^2 não mais apresentavam visibilidade satisfatória.

- c) Quanto ao desgaste, a demarcação deverá ser refeita quando houver menos do que 75% de área remanescente, pois neste caso a demarcação se torna pouco visível, ou seja, quando houver percentagem de desgaste de 25%, ou quando o Índice de Desgaste Total for maior do que 35, para linhas de 100 mm de largura, ou índice de Desgaste Total for maior do que 52, para linhas de 150mm de largura.

5.- CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS

5.1. Conclusões

Este estudo visava uma avaliação prática do desempenho dos vários materiais de demarcação viária retrorrefletivos, buscando melhorar a técnica de aplicação, de maneira a aumentar o desempenho e a durabilidade destes produtos e fundamentalmente ampliar o conhecimento sobre o comportamento dos diversos materiais e suas implicações econômicas.

Até a elaboração deste trabalho, acreditava-se que se a aplicação e aderência dos materiais de demarcação ao pavimento fossem adequadas, o desempenho e a durabilidade destes materiais – quaisquer que fossem eles – estariam diretamente relacionados à sua espessura. Assim, quanto maior a espessura, maior seria a durabilidade e o desempenho. Desta forma, esperava-se que o termoplástico extrudado fosse o material com melhor desempenho (espessura = 3mm), seguido do elastoplástico e termoplástico aspergido (espessura = 1,5mm), e finalmente das tintas acrílicas (espessura seca = 0,3 mm).

Porém, a escolha do tipo de material deve estar ligada ao maior benefício que este possa oferecer, não só a um maior intervalo entre as manutenções, mas também a uma maior eficiência na retrorrefletância, ao menor custo, para um determinado período de tempo.

O fator determinante para esta escolha deve estar ligado principalmente, ao tipo e volume de tráfego a que os materiais serão submetidos. Algumas situações particulares,

como regiões de maior precipitação pluviométrica ou de grande formação de neblina, requerem soluções mais onerosas, mas são consideradas excepcionais e ocorrem em pequena escala.

Assim, de acordo com o resumo dos resultados anteriormente apresentados e assumindo que todos os materiais foram observados segundo o seu desgaste e sua retrorrefletância, pode-se estabelecer os seguintes parâmetros:

- Quanto a retrorrefletância:

O padrão de retrorrefletância inicial, não deve ser menor do que 220 mcd/lux/m² para as demarcações de cor branca, nem menor do que 170 mcd/lux/m² para a cor amarela.

O padrão de retrorrefletância residual, não deve ser menor do que 130 mcd/lux/m² para as demarcações de cor branca e amarela.

- Quanto ao desgaste:

O desgaste não deverá ser maior do que 25%, em relação à área total da demarcação executada.

Outro aspecto importante a ser abordado, é que conforme descrito no capítulo I, os preços médios de demarcação viária praticados no mercado durante este trabalho foram de R\$ 40,00/m² para o elastoplástico, R\$ 26,00/m² para o termoplástico extrudado, R\$15,00/m² para o termoplástico aspergido e finalmente R\$ 7,00/m² para as tintas acrílicas solvente.

Desta forma, admitindo-se que os materiais de demarcação implantados foram submetidos às mesmas condições de tráfego e intempéries, pode-se calcular o custo efetivo de cada material pela equação ^[19]:

$$C = C_i \div V \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde,

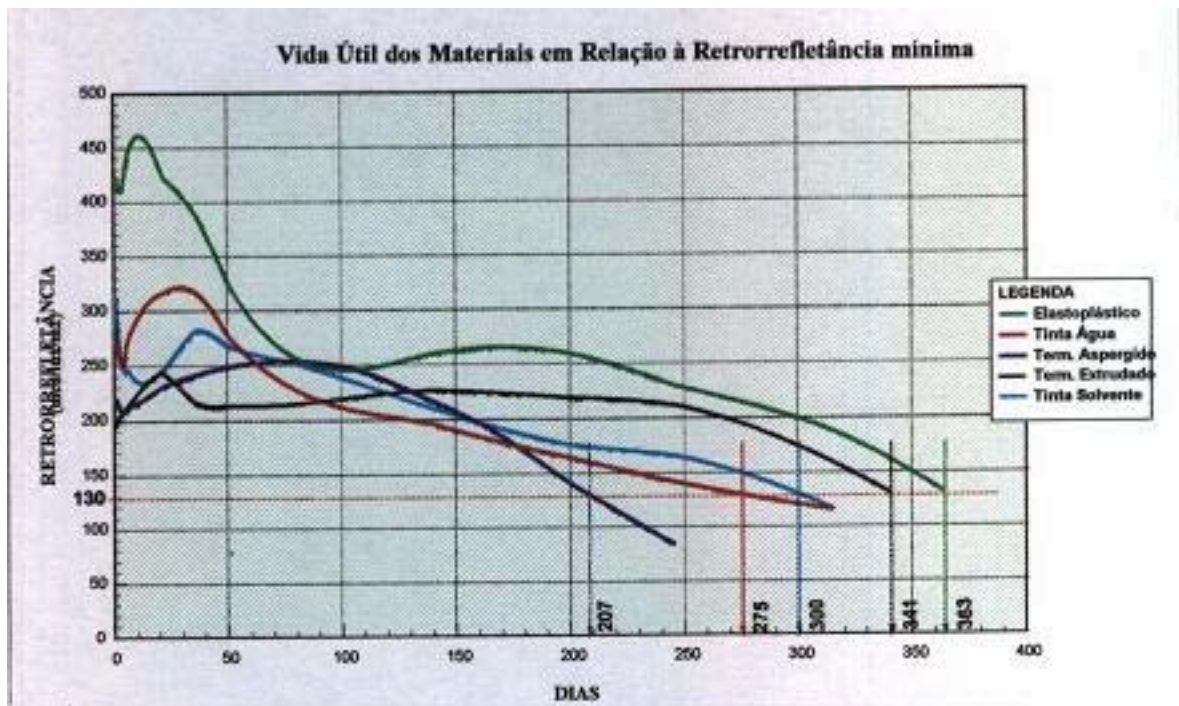
C = Custo efetivo do material de demarcação por dia

C_i = Custo de implantação do material de demarcação

V = Vida útil, em dias.

Admitindo-se que o fim da vida útil equivale ao valor de retrorefletância residual mínimo igual a 130 mcd/lux/m² e tomando-se os sistemas que apresentaram o melhor desempenho – Faixas n°3,11,19 e 26, aplicadas no CBUQ, obteve-se através das equações dos gráficos de retrorefletância, o tempo (dias) em que determinado sistema chegou à retrorefletância residual mínima, adotando-se este como o valor de V . Tais valores estão representados na figura a seguir.

FIGURA 5.1. – Vida Útil dos Materiais x Retrorefletância Mínima



Os resultados obtidos indicam que as tintas acrílicas podem ser cerca de 4 (quatro)

vezes mais econômicas do que os termoplásticos e cerca de 5 (cinco) vezes mais econômicas do que os elastoplásticos.

Pode-se afirmar também que o sistema de demarcação viária constituído por tinta acrílica solvente e microesferas de vidro tipo I-A/II-A foi o que obteve melhor relação custo/benefício.

As tintas acrílicas emulsionadas em água apresentaram comportamento idêntico à tinta acrílica solvente, porém com duas vantagens adicionais; apresentam um menor tempo de secagem e como não utilizam solvente orgânico, possuem baixa toxicidade. Isto propicia melhores condições de segurança na aplicação e manuseio e não agressão ao meio-ambiente.

O estudo mostra que a maioria das demarcações viárias apresentam pior desempenho no pavimento de concreto do que no pavimento asfáltico, conforme se observa nas figuras a seguir. As observações em campo mostram acentuado desgaste por descolamento, e este desempenho pode estar ligado à falta de aderência ao pavimento. Comparando o desempenho dos materiais em ambos os pavimentos, e considerando por exemplo, os sistemas de demarcação tintas (fx. 8 CCP e fx. 12 CBUQ) e termoplásticos (fx. 22 CCP e fx. 26 CBUQ), observa-se que o termoplástico pode ser até 30 vezes mais durável no pavimento asfáltico do que no de concreto e que as tintas pode ter uma vida útil até 15 vezes mais longa no pavimento asfálticos do que no de concreto, conforme mostram os gráficos a seguir.

FIGURA 5.2. – Gráfico comparativo entre tintas- % desgaste x tempo

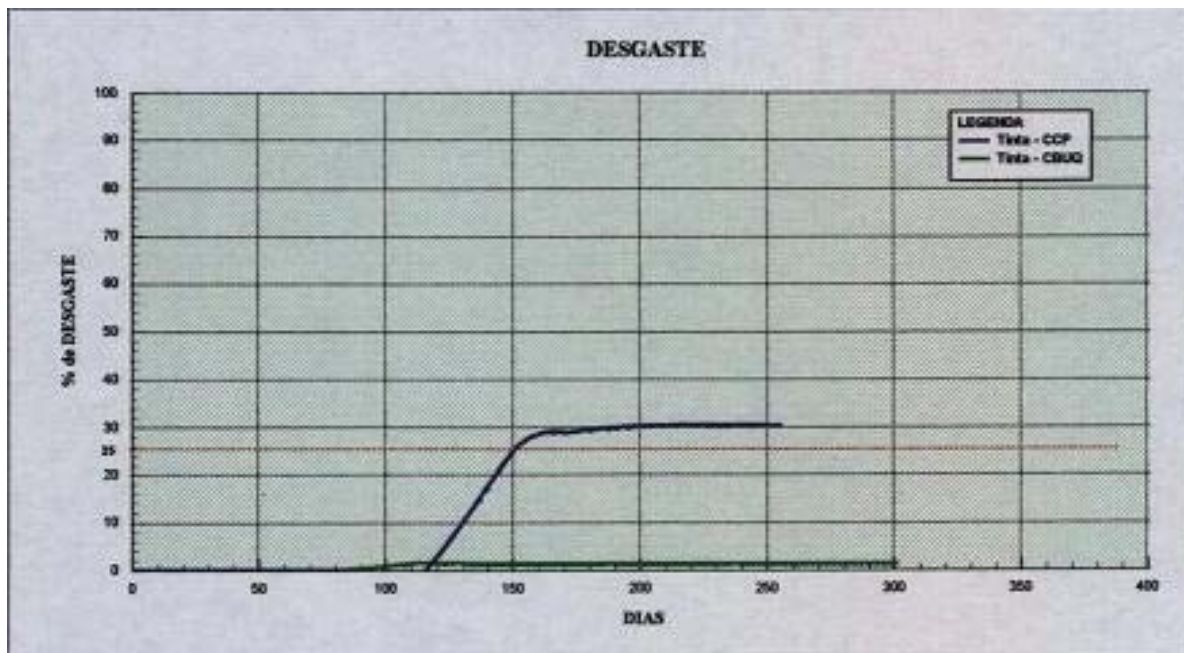
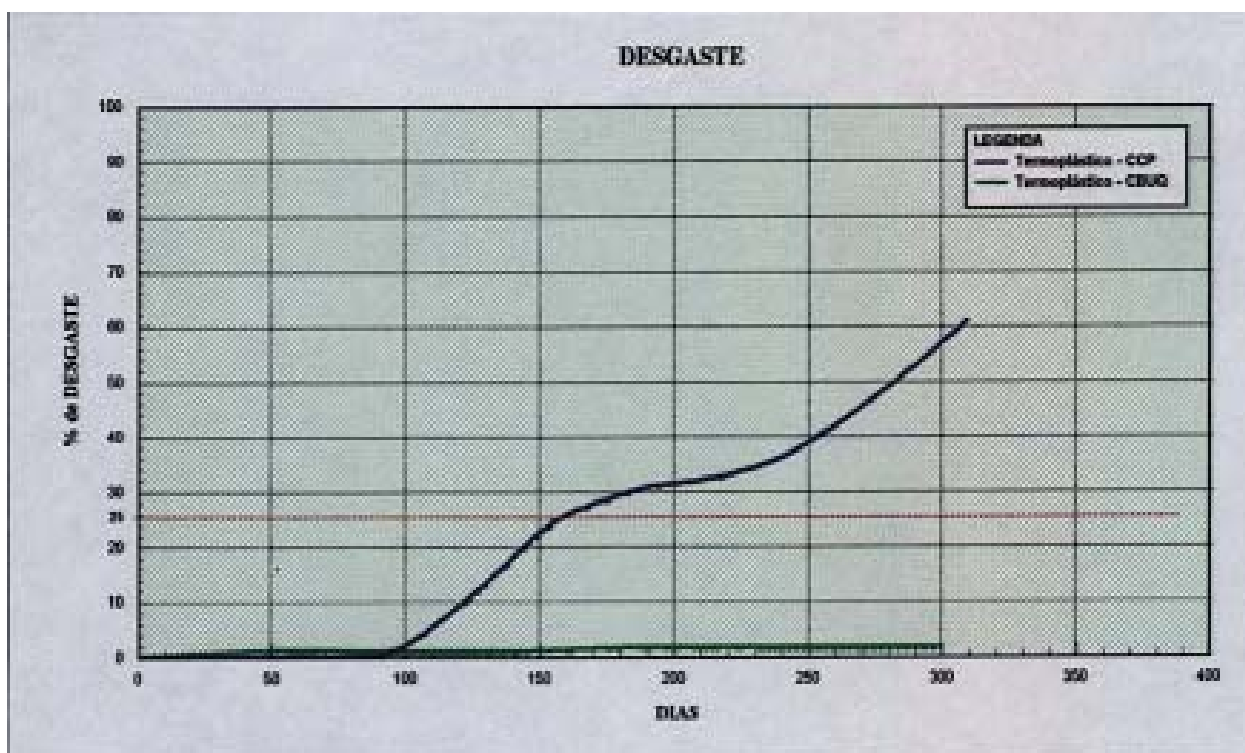


FIGURA 5.3. – Gráfico comparativo entre termoplásticos - % desgaste x tempo



Comparando-se os materiais entre si, vê-se que o termoplástico apresentou o dobro de desgaste em relação à tinta, quando estes materiais foram aplicados em pavimento de

concreto. No pavimento asfáltico, a durabilidade do termoplástico e da tinta teve resultados semelhantes, durante o período de observação considerado.

FIGURA 5.4. – Soltura dos materiais aplicados em pavimento rígido



Outra importante conclusão deste trabalho, é que através dos experimentos de laboratório, foi possível definir uma quantidade adequada de microesferas que possibilitasse a maior retrorrefletância para os sistemas de demarcação viária. Desta forma estabeleceu-se uma metodologia para determinação destas quantidades, de maneira que os projetos de sinalização viária indiquem números e quantidades reais,

visando aplicações racionais de materiais, evitando o desperdício e conseqüentemente menor custo.

A metodologia de aplicação dos materiais de demarcação viária em laboratório, mostrou ser mais um caminho no estudo dos materiais de demarcação. O processo metodológico, constitui o diferencial que irá permitir a avaliação de quaisquer materiais de demarcação sob condições controladas, representando um avanço no estudo de comportamento destes materiais, visando o desenvolvimento de equipamentos aplicadores e processos de avaliação ou controle de qualidade.

Um diferente aspecto a ser abordado é que o custo atual da microesfera é da ordem de R\$ 1,00/Kg, enquanto uma demarcação é executada a R\$ 7,00/m². Considerando um consumo de 250g de microesferas por metro quadrado de demarcação executada, vê-se que a microesfera representa 4% no custo total da demarcação. E como já foi dito anteriormente, a demarcação representa por sua vez, 6% do custo de construção e manutenção de uma rodovia.

5.2. – Sugestões Para Novos Estudos

Novos estudos a serem realizados, em decorrência do conhecimento já adquirido são:

- Avaliar o desempenho dos vários materiais de demarcação viária, quando aplicados em pavimentos com diferentes texturas superficiais e indicar as melhores opções segundo a ótica custo/benefício.
- Estabelecer a durabilidade dos diferentes materiais de demarcação viária, em função de volumes de tráfego pré-classificados.
- Testar outras combinações de materiais em laboratório, visando encontrar as taxas adequadas de aplicação de microesferas de vidro, associando cada tipo de esfera aos diferentes tipos de tinta de demarcação e espessuras de película.
- Variar a composição de tintas e termoplásticos, objetivando a melhoria da retrorrefletividade inicial.
- Testar no campo os valores obtidos em laboratório, quanto à taxa de aplicação de microesferas tipo II-A em tintas de demarcação viária à base de resina acrílica (solvente) e obter sua correlação, visando consolidar a metodologia estabelecida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- 1- Código Nacional de Trânsito, instituído pela Lei nº 9.503 de 23/09/97, 1ª edição, Brasília, DF, DENATRAN, 189 p., 1997.
 2. NBR 7396 – Material para sinalização horizontal – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Janeiro, 2p., 1987.
 3. Boletim Técnico do Programa Volvo de Segurança no Trânsito, Nº 10, 1993.
 4. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasília, DF, Ofício nº 607/96-DORo/DEST, enviado ao DER/MG em 30 de Julho de 1996.
 5. Pesquisa Retro-refletância na Demarcação Viária, FAPEMIG-TEC 778/95, Relatório Técnico Final, em “Consultoria dos dados biofísicos do olho humano”, por Sebastião Cronemberger, Belo Horizonte, Minas Gerais, Setembro de 1998.
 6. Revista “Exame”, pag.32, 27.09.1995, em matéria escrita por Lauro Jardim.
 7. Ward, Balcar, Menegon, Potters Industries S.A. “Acidentes en Carretera: El impacto economico en países en vias de desarrollo en comparación con países industrializados”, trabalho apresentado no Seminario del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Peru, 1988.
 8. Vasconcelos, E.,”O que é Trânsito”, Editora Brasiliense, 2ª ed, 92p, São Paulo, 1992.
 9. Martire, L.; Moreira, H.; Esquenazi, E. – “Sinalização: História e Desenvolvimento”, Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo - SINICESP, 1999.

10. Magri, J., et al., “Sinalização Horizontal - Tinta à Base de Água”, Dissertação apresentada no II Curso de Especialização em Engenharia Rodoviária promovida por DER/MG-IPC/BR-PUC/MG-, 32 p., Belo Horizonte, MG, 1995.
11. Edelmuth, A., “Durabilidad Especifica de Materiales para la Demarcación Vial”, Boletim Técnico da Cristalcol Indústrias , Argentina, 1992.
12. Miller, T., “Benefit/Cost Analyses of Lane Marking”, Final Report for American Glass Bead Manufactures Association, 1991.
13. Kalchbrenner, J., “Large Glass Beads for Pavement Markings”, Transportation Research Record 1230, Transportation Research Board, National Research Council, 9 p., Washington, D.C., 1989.
14. ABNT NBR 5734, “Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico”, 1989.
15. Recomendações Técnicas para sinalização viária horizontal - R.T. 01.02 “Microesferas de vidro para sinalização viária”, do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG, Belo Horizonte, MG, 1998.
16. Publication nº FHWA-SA-93-001, “Roadway Delineation Practices Hanbook”, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1994.
17. Dale, “Development of Improved Pavement Marking Materials – Laboratory Phase”, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A., 1967.
18. Schwab e Mace, “Luminance Requirements for Signs with Complex Backgrounds”, Public Roads, Vol.2, nº 51, p.48-55.
19. Pantoja, J., “El Control de Calidad en la Señalización Horizontal”, Revista “Rutas Técnica”, España, p. 25-30, 1996.

-
20. Henry, J., Antle, C., Carroll, J., “Service Life and Cost of Pavement Marking Materials, Final Report, prepared for National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Pennsylvania, U.S.A., 71 p., 1989.
 21. Attaway, R., “In Service Evaluation of Thermoplastic and Tape Pavement Markings Using a Portable Retroreflectometer”, University of North Carolina, Institute for Transportation Research and Education, Paper nº 880490, U.S.A., 29 p., 1989.
 22. Attaway, R., Adeleke-Sheidun, P., “Pavement Marking Materials Program”, Research Report: FHWA/NC/80-005, Raleigh, North Carolina, U.S.A., 102 p., 1990.
 23. Mayora, J., “Sistemas de Gestión de la Señalización Horizontal y Vertical – Mantenimiento de los Niveles de Visibilidad de las Señales”, Instituto Pan-americano de Carreteras, España, 18 p., 1998.
 24. Fanderlik, I., “Optical Properties of Glass”, Glass Science and Technology – 5, Ed. Elsevier, 1983.
 25. Ritter, J., “A Unique Approach for Evaluating Road Stripe Material on Two-Lane Rural Roads”, Highway Research Record, nº 447, p 1-7, U.S.^a, 1973.
 26. Brooks, “Pavement Marking Practices Report”, for Federal Highway Administration, U.S.A., 1986.
 27. Federal Highway Administration, FHWA-SA-97-016, “Laserlux Mobile Retroreflectometer - Operational Testing Results”, U.S. Department of Transportation, U. S. A., 55 p., 1996.

-
28. Lundkwist, Sven-Olof, "A Study of Different Types of Road Markings as Related to Retro-reflectivity and Wear" – Väg-och Trafik-Institutet, VTI- Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, Suécia, 12 p., 1989.
29. Kachbrenner, "A New Low-cost Portable Retroreflectometer", apresentado na 66th Annual Meeting of the Transportation Research Board, U.S.A., 1987.
30. Publication CIE n° 73, "Visual Aspects of Road Markings", Central Bureau of the Comission Internationale de L'Eclairage, Viena, Áustria, 1988.
31. Resultado dos Estudos de Tráfego para Pesquisa Técnica n° 778/95", Serviço de Engenharia de Tráfego, Divisão de Faixa de Domínio, Diretoria de Engenharia, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais - DER/MG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1996
32. Erosion Metre Instruction Guide, Road Marking Erosion Metre - Procedure, produzido por Road Marking Industry Group e Road Marking Manufacturers and Contractors Association, Pontefract Road, Barnsley, South Yorkshire S71 1HJ.
33. King, L., Graham, J., "Evaluation of Pavement Marking Materials for Wet Night Conditions", Department of Civil Engeneering, University of North Carolina at Charlotte, U.S.A., 1989.
34. ABNT-NBR 11862 – Tinta para sinalização horizontal à base de resina acrílica, Abril, 1992.
35. ABNT NBR 13699 – Sinalização horizontal viária – Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água – Requisitos e Métodos de Ensaio, Junho, 1996.
36. Schwab, S., Afonso, R., Rodrigues, C., "Retrorefletância inicial x taxa de aplicação de microesferas de vidro em tintas de demarcação viária", Revista VIAS GERAIS,

publicação do Centro de Transferência de Tecnologia do Instituto Pan-Americano de Carreteras – IPC e DER/MG, p. 107-111, Dezembro, 1998.

37. Ward, Balcar, Menegon, Potters Industries S.A. “Acidentes en Carretera: El impacto econômico en países en vías de desarrollo en comparación con países industrializados”, trabalho apresentado no Seminário del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Peru, 1988.

A N E X O I

DADOS COLETADOS EM CAMPO

APLICAÇÃO DOS MATERIAIS DE DEMARCAÇÃO VIÁRIA

Dados Coletados em Campo

Aplicação dos Materiais de Demarcação Viária

TABELA I.1

Tinta à base de resina acrílica (solvente), nas cores branca e amarela, aplicada em pavimento de concreto de cimento Portland (km 18)

Faixa nº	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavto (°C)	Temp ^a Ambiente (°C)	Umidade do Ar (%)	Tempo Secagem (min.)	
							Ao toque	Ao tráfego
01	Tinta Solv. Br, com microesferas II-A	28.08.97	11:07	33	23	75	15	55
02	Tinta Solv. Br, com microesferas I-B	REJEITADA (Aplicação inadequada de material)						
03	Tinta Solv. Br, com microesferas I-B e II-A	28.08.97	11:36	35	26	75	15	55
04	Tinta Solv. Br, com microesferas I-B e II-A e III-A	28.08.97	11:40	35	26	75	15	55
05	Tinta Solv. Am, com microesferas II-A	28.08.97	11:57	37	26	68	15	55
06	Tinta Solv. Am, com microesferas I-B e II-A	28.08.97	12:20	39	27	56	15	55
07	Tinta Solv. Am, com microesferas I-B e II-A e III-A	28.08.97	12:27	39	27	56	15	55

TABELA I.2

Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, nas cores branca e amarela, aplicada em pavimento de concreto de cimento Portland (Km 18)

Faixa n°	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavimento (°C)	Temp ^a Ambiente (°C)	Umidade do Ar (%)	Tempo Secagem (min.)	
							Ao toque	Ao tráfego
08	Tinta Água Br, com microesferas II-A	28.08.97	16:00	36	28	45	05	10
09	Tinta Água Br, com microesferas I-B e II-A	REJEITADA (Aplicação inadequada)						
10	Tinta Água Br, com microesferas I-B e II-A	28.08.97	16:40	36	28	45	05	10
11	Tinta Água Br, com microesferas I-B e II-A e III-A	28.08.97	16:50	36	28	45	05	10
12	Tinta Água Am, Com microesferas II-A	29.08.97	10:50	39	24	61	05	10
13	Tinta Água Am, com microesferas I-B e II-A	29.08.97	11:00	39	24	61	05	10
14	Tinta Água Am, com microesferas I-B e II-A e III-A	29.08.97	11:10	39	24	61	05	10

TABELA I.3

Termoplástico extrudado, nas cores branca e amarela, aplicado em pavimento de concreto de cimento Portland (Km 18)

Faixa n°	Material	Dia	Hora	Temp ^a	Temp ^a	Umidade do Ar (%)	Tempo
				Pavimento (°C)	Ambiente (°C)		Secagem (min.) Ao tráfego
15	Termopl. Extr..Br, com microesferas II-A	11.09.97	14:20	39	33	47	02
16	Termopl. Extr..Br, com microesferas III-C	REJEITADA (Aplicação inadequada)					
17	Termopl. Extr. Br, com microesferas III-C	11.09.97	14:40	39	33	47	02
18	Termopl. Extr..Br, com microesferas II-A e III-C	11.09.97	14:50	39	33	47	02
19	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A	11.09.97	11:10	40	35	47	02
20	Termopl. Extr. Am, com microesferas III-C	11.09.97	11:20	40	35	47	02
21	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A e III-C	11.09.97	11:31	40	35	47	02

TABELA I.4

Termoplástico aspergido, nas cores branca e amarela, aplicado em pavimento de concreto de cimento Portland (km 18)

Faixa nº	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavimento (°C)	Temp ^a Ambiente (°C)	Umidade do Ar (%)	Tempo Secagem (min.)
							Ao tráfego
22	Termopl. Asp.Br, com microesferas II-A	3.09.97	1:00	34	27	62	01
23	Termopl. Asp. Br, com microesferas III-B	3.09.97	1:10	34	27	62	01
24	Termopl. Asp..Br, com microesferas II-A e III-B	1.09.97	1:20	34	27	62	01
25	Termopl. Asp. Am, com microesferas II-A	1.09.97	5:10	40	35	47	01
26	Termopl. Asp. Am, com microesferas III-B	1.09.97	5:30	40	35	47	01
27	Termopl. Asp. Am, com microesferas II-A e III-B	1.09.97	5:45	40	35	47	02

TABELA I.5

Elastoplástico, nas cores branca e amarela, aplicado em pavimento de concreto
betuminoso usinado à quente (km 24)

01	Elastopl. .Br, N 5730, com microesferas I-B	07.09.97	13:30	50	36,5	41
02	Elastopl. .Am, N 5730, com microesferas I-B	07.09.97	13:45	50	36,5	41
03	Elastopl. .Br, A 380, com microesferas II-A	07.09.97	14:20	50	36,5	41
04	Elastopl. .Am, N 421, com microesferas II-A	07.09.97	14:15	50	36,5	41

TABELA I.6

Tinta à base de resina acrílica (solvente), nas cores branca e amarela, aplicada em pavimento de concreto betuminoso usinado à quente (km 24)

Faixa n°	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavimento	Temp ^a Ambiente	Umidade do Ar	Tempo Secagem (min.)
-------------	----------	-----	------	--------------------------------	-------------------------------	------------------	-------------------------

							Ao toque	Ao tráfego
05	Tinta Solv. Br, com microesferas II-A	27.08.97	10:25	37	24	61	15	55
06	Tinta Solv. Br, com microesferas I-B e II A	27.08.97	10:45	39	24	61	15	55
07	Tinta Solv. Br, com microesferas I-B, II-A e III A	27.08.97	10:50	39	24	61	15	55
08	Tinta Solv. Br, com microesferas II-A	27.08.97	11:20	40	26	55	15	55
09	Tinta Solv. Am, com microesferas I B e II-A	27.08.97	15:00	44	30	47	15	55
10	Tinta Solv. Am, com microesferas I-B, II-A e III A	27.08.97	15:10	44	30	47	15	55

TABELA I.7

Tinta à base de resina acrílica emulsionada em água, nas cores branca e amarela,
aplicada em pavimento de concreto betuminoso usinado à quente (km 24)

Faixa n°	Material	Dia	Hora	Temp^a Pavimento	Temp^a Ambiente	Umidade do Ar	Tempo Secagem (min.)
---------------------	-----------------	------------	-------------	---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------	---------------------------------

							Ao toque	Ao tráfego
11	Tinta Água Br, com microesferas II-A	28.08.97	16:15	39	28	51	05	10
12	Tinta Água Br, com microesferas I-B e II-A	28.08.97	16:00	40	28	51	05	10
13	Tinta Água Br, com microesferas I-B, II-A e III A	28.08.97	15:20	42	29	45	05	10
14	Tinta Água Am, com microesferas II-A	28.08.97	16:25	39	28	51	05	10
15	Tinta Água Am, com microesferas I B e II-A	REJEITADA (Aplicação inadequada)						
16	Tinta Água Am, com microesferas I-B e II-A	29.08.97	14:35	43	28	45	05	10
17	Tinta Água Am, com microesferas I-B, II-A e III-A	29.08.97	15:00	42	29	45	05	10

TABELA I.8

Termoplástico extrudado, nas cores branca e amarela, aplicado em pavimento de concreto betuminoso usinado à quente (km 24)

Faixa n°	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavimento	Temp ^a Ambiente	Umidade do Ar	Tempo Secagem (min.)
				(°C)	(°C)	(%)	Ao tráfego
18	Termopl. Extr..Br, com microesferas II-A	REJEITADA (Aplicação inadequada)					

19	Termopl. Extr..Br, com microesferas II-A	09.09.97	10:35	41	35	46	02
20	Termopl. Ext. Br, com microesferas III-C	10.09.97	10:20	40	32	37	02
21	Termopl. Extr..Br, com microesferas II-A e III-C	10.09.97	10:30	40	32	37	02
22	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A	10.09.97	11:30	43	35	36	02
23	Termopl. Extr. Am, com microesferas III-C	10.09.97	12:00	46	38	36	02
24	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A e III-C	REJEITADA (Aplicação inadequada)					
28	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A	REJEITADA (Aplicação inadequada)					
29	Termopl. Extr. Am, com microesferas II-A e III-C	09.09.97	15:30	44	38	36	02

TABELA I.9

Termoplástico aspergido, nas cores branca e amarela, aplicado em pavimento de concreto betuminoso usinado à quente (km 24)

Faixa nº	Material	Dia	Hora	Temp ^a Pavimento (°C)	Temp ^a Ambiente (°C)	Umidade do Ar (%)	Tempo Secagem (min.)
----------	----------	-----	------	--	---------------------------------------	-------------------------	----------------------------

							Ao tráfego
25	Termopl. Asp.Br, com microesferas III-B	09.09.97	13:30	48	38	36	01
26	Termopl. Asp. Br, com microesferas II-A	09.09.97	13:45	48	38	36	01
27	Termopl. Asp..Br, com microesferas II-A e III-B	09.09.97	14:05	48	38	36	01
30	Termopl. Asp. Am, com microesferas II-A	10.09.97	14:30	44	38	36	01
31	Termopl. Asp. Am, com microesferas III-B	10.09.97	14:45	44	38	36	01
32	Termopl. Asp. Am, com microesferas II-A e III-B	10.09.97	15:00	44	38	36	01

A N E X O II

DADOS COLETADOS EM CAMPO AVALIAÇÕES PERIÓDICAS DE DESGASTE

A N E X O III

DADOS COLETADOS EM CAMPO

AVALIAÇÕES PERIÓDICAS DE RETRORREFLETÂNCIA