

AValiação DA INFLUêNCIA DA TEXTURA DO PAVIMENTO NO DESEMPENHO DA RETRORREFLETIVIDADE EM DEMARCAÇÕES VIÁRIAS: ESTUDO DE CASO EM UM TRECHO MONITORADO EM SANTA MARIA/RS

Marcos Rodrigues da Silva

Departamento de Transportes
Universidade Federal de Santa Maria

Felipe Peranzoni Parcianello

Departamento de Transportes
Universidade Federal de Santa Maria

Antônio Daniel Boff Vieira

Departamento de Transportes
Universidade Federal de Santa Maria

Artur Cortês da Rosa

Seção de Ensino de Fortificação e Construção
Instituto Militar de Engenharia

RESUMO

Metade dos acidentes fatais de trânsito registrados nas rodovias gaúchas ocorrem nos períodos da noite e madrugada. Portanto, os métodos e mecanismos utilizados na sinalização viária devem ser estudados, aprimorados e fiscalizados afim de prover maior segurança. Os principais dispositivos utilizados para suprir tal necessidade são as demarcações retrorrefletivas, tendo em sua textura superficial, um fator de influência nos valores de retrorrefletividade. Este trabalho buscou correlacionar a textura do pavimento com o comportamento das propriedades retrorrefletivas das demarcações neste aplicadas. Para tal, em um segmento de estudo, foram realizados ensaios na cidade de Santa Maria/RS, para caracterizar a textura do pavimento nas demarcações, assim como seus respectivos valores de retrorrefletividade. Verificou-se, a partir das avaliações de retrorrefletividade, um Fator de Correlação de Geometrias (FCG) para retrorrefletômetros de dupla geometria. Constatou-se, também, uma sutil diminuição dos valores de retrorrefletividade para superfícies mais rugosas do pavimento.

ABSTRACT

Half of the fatal traffic accidents recorded on the highways of Rio Grande do Sul (Brazil) occur during night and wee hours periods. Therefore, the used methods and mechanisms in road signs should be studied, improved and monitored in order to provide greater safety. The main devices used to meet this need are retroreflective markers, having in their surface texture, an influence factor in the retroreflectivity values. This work sought to correlate the texture of the pavement with the behavior of the retroreflective properties of the markers applied to the pavement. Thus, in a study segment, tests were done in the city of Santa Maria / RS, to characterize the pavement texture in the markers, as well as its respective retroreflectivity values. It was verified, from the retroreflectivity evaluations, a Geometry Correlation Factor (GCF) for double-geometry retroreflectors. Also, there was a subtle decrease at the retroreflectivity values for the roughest pavement surfaces.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de o sistema de transportes brasileiro ser diversificado, ele é muito dependente do modal rodoviário, o qual corresponde por 61% das movimentações de carga no país (CNT, 2017). Portanto, é de extrema importância que as vias atendam as demandas dos veículos de forma satisfatória, em especial na segurança dos usuários. Os maiores riscos de acidentes estão durante o período noturno, sendo que a pouca iluminação promove a perda de visão a longa distância, que é de fundamental importância na antecipação de manobras, e há maior dificuldade de posicionar o veículo corretamente na via, necessitando das demarcações horizontais como referência para conduzir, como afirma Schwab (1999). Para uma boa visualização durante a baixa luminosidade, as marcações devem prover um contraste luminoso entre as mesmas e a superfície do pavimento.

A retrorrefletividade é a propriedade de uma superfície de permitir que boa parte da luz incidida sobre ela seja direcionada de volta para o ponto emissor, ou próximo a ele. Para as demarcações viárias, geralmente são usadas microesferas de vidro para se atingir a refletância desejada, que juntamente com as pinturas de demarcações são aplicadas diretamente na superfície do pavimento. Dito isto, este trabalho busca observar a influência das texturas do pavimento no comportamento da retrorrefletividade de demarcações viárias, analisando os resultados obtidos em um levantamento em um trecho experimental monitorado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e assim estabelecer a correlação entre a refletividade em relação a macrotextura e em relação a microtextura.

2. RETRORREFLETIVIDADE

Segundo a RoadVista (2016), a retrorreflexão é um dos três fenômenos principais da reflexão de feixes de luz. Na reflexão, os raios de luz emitidos ao colidirem com alguma superfície reflexiva podem assumir diferentes direções. O brilho refletido depende da intensidade da luz inicial, do material reflexivo e da orientação com que o feixe atinge a superfície. Os três tipos são: reflexão difusa, onde a luz incide sobre superfícies rugosas ou opacas e é dispersa em todas as direções com padrão indefinido; reflexão espelhada, que é quando o feixe incide sobre superfícies lisas e é refletido com ângulo igual ao de incidência, porém no sentido contrário em relação a linha normal à superfície; retrorreflexão, que ocorre quando o feixe de luz é redirecionado de volta para a fonte de luz.

A unidade geralmente utilizada para medir a retrorrefletividade é o coeficiente de luminância retrorrefletida, que é obtido através da Equação 1 que é expressa em unidade por candela por metro quadrado por lux ((cd/m²)/lux). Contudo, por praticidade, os aparelhos costumam utilizar a unidade de milicandela por metro quadrado por lux ((mcd/m²)/lux).

$$\text{Retrorrefletividade} = \frac{L}{E} = \frac{\text{Luz que chega ao observador}}{\text{Luz que atinge o objeto}} = \frac{\text{cd/m}^2}{\text{lux}} \quad (1)$$

O retrorrefletômetro é um aparelho comumente utilizado para realizar medições. Ele é constituído de uma caixa, com objetivo de eliminar a interferência da luz ambiente, onde há uma fonte de luz que é projetada em uma área conhecida e através de um fotorreceptor é medida a luz retrorrefletida. Uma grande vantagem dele é por ser possível a medição durante o dia e não apenas durante a noite, diferentemente de outros métodos que necessitam ser feitos durante o período noturno.

Schwab (1999) discorre sobre os diferentes modelos de retrorrefletômetros e suas variações, podendo ser o ângulo de entrada, ângulo de observação e ângulo de iluminação, que correspondem à geometria na qual o aparelho opera. Eles podem realizar leituras com geometrias distintas, estas definidas de acordo com a distância de um veículo hipotético que transita pela via. A geometria de 15 metros representa um ângulo de incidência de 86,5° e um ângulo de observação de 1,5°, como mostra a Figura 1. Já a geometria de 30 metros corresponde a 88,76° para o ângulo de incidência e 1,05° para o ângulo de observação.

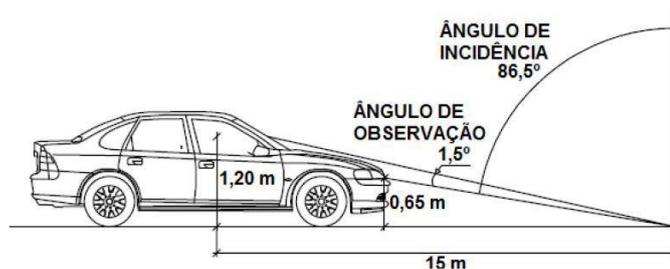


Figura 1: Geometria para retrorefletômetro de 15 metros
 Fonte: Adaptado de Renz (2016)

2.1. Parâmetros Normativos e Mínimos Aceitáveis

Há normativas, como a NBR 14723 (ABNT, 2013) e NBR 16307 (ABNT, 2014), que estipulam, respectivamente, os métodos e critérios para avaliação da retrorefletividade na sinalização horizontal para 15 e 30 metros. Segundo Salles *et al.* (2015), no Brasil a utilização de equipamentos com geometria de 15 metros é mais difundida e requerida pelas agências regulamentadoras. Tais normas não estipulam valores mínimos de retrorefletância para medições na sinalização horizontal, não sendo possível classificar como satisfatório ou não. Sendo assim, tais parâmetros para aceitabilidade são estipulados por órgãos da administração pública responsáveis pela regulamentação e fiscalização das concessões rodoviárias.

No estado do Rio Grande do Sul, a Agência Estadual de Regulamentação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS) publica notas técnicas desde 2006, nas quais estipula parâmetros mínimos de retrorefletividade residual. A nota técnica DQ 01/2006 (AGERGS, 2006) diz que o valor mínimo deve ser de 80 mcd/m²/lux quando medido com geometria de 15 metros. Já o DAER-RS (2013), através da Instrução de Serviço para Estudos e Projetos CREMA IS - 112/13, estipula valores mínimos com diferenciação quanto às cores, utilizando para os três casos a unidade mcd/m²/lux, sendo que se for branca o valor tem que ser maior que 220, se for amarela deve ser superior a 170 e se for branca/amarela deve ser maior que 130 (residual). Entretanto, o DNIT por meio do Manual de Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária - BR-LEGAL (DNIT, 2013), impõe que esses valores sejam de pelo menos 80 mcd/m²/lux para a cor amarela e 100 para a cor branca.

Graham e King (1991) se propuseram a definir valores mínimos de retrorefletância através de dois métodos de avaliação. Primeiramente foi realizada uma avaliação subjetiva na qual 59 observadores classificavam as demarcações em aceitáveis ou não e em seguida era feita a avaliação por meio do retrorefletômetro de geometria de 30 metros. Mostrou-se que 90% dos observadores julgaram as demarcações com o valor de 93 mcd/m²/lux como adequadas. Entretanto, salienta-se que o estudo foi realizado com uma população jovem como base, logo, é possível que esse valor mínimo não seja suficiente caso o condutor seja mais velho.

Parker e Meja (2003) realizaram estudo utilizando retrorefletômetro de geometria de 30 metros para avaliar um trecho de 52 quilômetros, onde condutores, por meio de questionário, também avaliaram a visibilidade das demarcações viárias. Os autores concluíram que o nível mínimo aceitável de retrorefletividade está entre 80 e 130 mcd/m²/lux para motoristas com menor de 55 anos, e entre 120 e 165 mcd/m²/lux para condutores com 55 anos ou mais.

2.2. Influências da Textura do Pavimento na Retrorefletividade

Wambold *et al.* (1995) diz que a textura do pavimento pode ser classificada em três principais

categorias: a megatextura, a macrotextura e a microtextura, representadas na Figura 2. Tais asperezas presentes na superfície do pavimento podem ser comparadas com uma série de senóides, com diferentes amplitudes e comprimentos de onda equivalentes.

Specht *et al.* (2007) relatam que a macrotextura de um pavimento pode ser definida como asperezas superficiais do mesmo, oriundas das protuberâncias causadas pelo agregado com comprimento de onda de 0,5 a 50mm e amplitude de 0,2 a 10mm. Os autores ainda apontam que fatores como a distribuição granulométrica, as características dos agregados, a dosagem da mistura e os processos construtivos afetam a macrotextura final do pavimento. Os mesmos autores ainda associam a microtextura com a superfície do agregado mineral utilizado no revestimento do pavimento, com comprimentos de onda de entre 0 a 0,5mm e amplitude de 0 a 0,2mm. Tal característica depende das propriedades mineralógicas dos agregados utilizados.

Castro (2009) realizou análises de retrorrefletividade, utilizando retrorrefletômetro com geometria de 15 metros, em demarcações viárias em revestimentos que possuíam diferentes macrotexturas. Demonstrou-se que pavimentos com superfície mais uniformes tendem a retrorrefletir mais, enquanto que em pavimentos com superfície mais rugosa, o fenômeno da reflexão difusa é mais observado, logo, apresentando menores valores de retrorrefletividade.

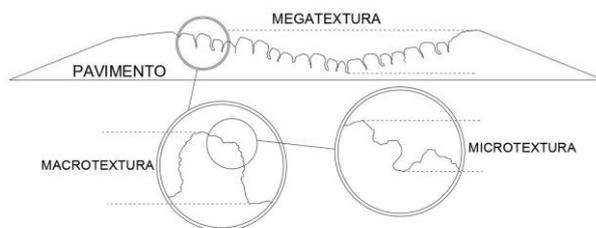


Figura 2: Composição de texturas do pavimento

3. METODOLOGIA

3.1. Planejamento do Levantamento

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi realizado um levantamento em um trecho experimental. Tal trecho é o mesmo utilizado na pesquisa de Renz (2016), o que se justifica pelo fato de ele já possuir marcações que subdividem o mesmo em estações e pontos de medição, facilitando o processo de nomenclatura e armazenamento de resultados. O trecho fica no km 238 da rodovia BR-287, mostrada na Figura 3, situada na cidade de Santa Maria/RS. É constituído de uma rodovia com dois sentidos de tráfego, em pista simples, como velocidade admitida de até 60 km/h, possuindo sinalização horizontal na forma de faixa dupla contínua dotada de tachões no eixo e delimitações de bordo, por vezes dotada de tachas, totalizando 4 faixas de pintura, sendo estas de quinze centímetros de largura. A pintura foi realizada no dia 31 de março de 2016 no eixo da pista, e no dia 05 de abril nos bordos.

O seguimento foi dividido em 5 estações de medição, conforme sentido do crescimento da quilometragem da via, onde cada linha de demarcação viária foi dividida em 20 pontos de aferição. Os pontos receberam nomes conforme seu posicionamento, sendo os nomes compostos por cinco caracteres. O primeiro caractere representa a estação em que o ponto se encontra (1 a 5), o segundo descreve a cor da demarcação (A para amarela e B para branca), o terceiro referente à faixa (D quando na direita e E quando na esquerda), e ordem em que está posicionado na estação completa a nomenclatura (01 a 20).

Para este trabalho, foram utilizados doze pontos em cada uma das cinco estações. Os pontos 5AD20, 5AE20, 5BD20 e 5BE20 coincidiram com uma entrada e saída de veículos, com isso a pintura de demarcação não fora realizada, impossibilitando a avaliação dos mesmos. Portanto, 56 pontos fazem parte da amostra no levantamento. Os pontos escolhidos foram o primeiro, o décimo e o vigésimo ponto de cada linha, em cada uma das estações. O levantamento seguiu uma ordem específica, de modo que os procedimentos de avaliação de resultados de um método não interferissem nos resultados do experimento seguinte. O ensaio de retrorefletividade foi o primeiro a ser executado, seguido do ensaio de pêndulo britânico para avaliação da microtextura, e finalizando com o ensaio de mancha de areia para a avaliação da macrotextura, sendo todos realizados no dia 17 de setembro de 2016, sábado pela manhã, a fim de evitar interferências de tráfego excessivo.

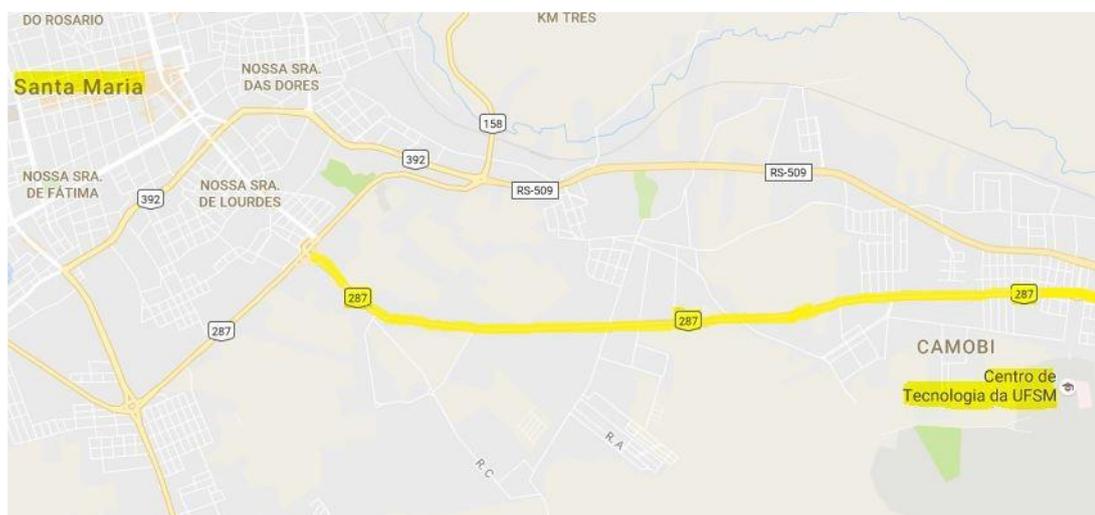


Figura 3: Trecho da BR-287 onde se localiza o segmento de estudo

3.2. Avaliação da Retrorefletividade

Os levantamentos foram realizados seguindo metodologia adaptada da NBR 14723 (ABNT, 2013), onde diz que o equipamento a ser utilizado é o retrorefletômetro com ângulo de observação de $1,5^\circ$ e ângulo de incidência de $86,5^\circ$, correspondentes à geometria de 15 metros, sendo necessária a calibragem do mesmo. O equipamento utilizado foi o Easylux de dupla geometria, empresa brasileira Easylux Retroreflectometers (2016). Possui área de leitura de 153 cm^2 , 9 cm de largura e 17 cm de comprimento; O aparelho possui, ainda, calibração instantânea, dispondo de cerdas aplicadas à superfície de contato do aparelho com a demarcação a fim de vedar a área de leitura perante a luminosidade ambiente. Para efeito de comparação, foram feitas medições com a geometria de 15 e 30 metros. A avaliação foi feita com demarcações secas, que consiste em posicionar o retrorefletômetro sobre cada um dos pontos, no sentido em que foram pintados, e efetuar a leitura dos valores de retrorefletividade apontados pelo equipamento quando o pavimento se encontrar em condições secas, ou seja, não há acúmulo de água na superfície de leitura.

3.3. Avaliação da Microtextura

A avaliação da microtextura seguiu os padrões da norma americana ASTM E303 (2013), utilizando o pêndulo britânico. Logo, o procedimento para preparo do ensaio consta das etapas: nivelamento do aparato, adequação da área de atrito e limpeza da área de contato

sapata/pavimento, além do umedecimento da mesma antes do ensaio. Para cada ponto foi realizado cinco medições, sendo o valor final da avaliação da microtextura, expresso em British Pendulum Number (BPN), obtido pela média entre os valores. O equipamento, também, foi posto de modo que a leitura fosse realizada na direção do sentido do tráfego.

3.3. Avaliação da Macrotextura

A avaliação da macrotextura seguiu os padrões da norma americana, ASTM E 965 (2015b), para o método de mancha de areia. Na metodologia do ensaio os vazios da textura superficial do pavimento são preenchidos com um volume conhecido de $25.000\text{mm}^3 \pm 150\text{mm}^3$ de areia natural ou microesferas de vidro, limpa e seca, uniforme, de grãos arredondados, que passam na peneira de abertura 0,3mm e retidos na peneira de abertura 0,15mm. O volume de areia é espalhado por meio de um disco de diâmetro entre 60 e 75mm, no pavimento previamente limpo, até que surjam pontas de agregados. Em seguida, são medidos três valores de diâmetro em direções distintas, de modo que a média destes valores corresponde ao diâmetro final da mancha. A altura de areia HS, em milímetros, é obtida por meio da Equação 2, adaptada na norma ASTM D965 (2015b), a qual relaciona o volume conhecido do recipiente com o diâmetro final obtido através do ensaio.

$$HS = \frac{4V}{D_m^2 \pi} \quad (2)$$

em que R : HS = Altura média da mancha de areia em milímetros;
 V = Volume constante de areia de 25.000mm^3 ;
 D_m = Diâmetro médio do círculo de areia em milímetros.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos em todas as avaliações efetuadas no levantamento realizado no dia 17 de setembro de 2016 foram organizados conforme nomenclatura previamente estipulada, gerando uma tabela de resultados com 56 pontos e seus respectivos valores de macro e microtexturas e retrorrefletividade. A Tabela 1 mostra os resultados para cada um dos pontos, sendo estes agrupados em suas respectivas estações, de acordo com a nomenclatura padrão.

A análise da retrorrefletividade dos 56 pontos avaliados presentes na Tabela 1 permite, através da relação direta dos valores avaliados para da geometria (15 e 30m), chegar a um Fator de Correlação de Geometria (FCG) médio entre as geometrias de 15 e 30 metros de 2,061 (CV de 21,7%). Isso significa que, para a amostra em questão, as avaliações realizadas com a geometria de 30m são cerca de duas vezes mais rigorosas do que aquelas realizadas com a geometria de 15m, corroborando com estudo prévio realizado por Salles *et al.* (2015).

4.1. Síntese de resultados por Macrotextura

As demarcações viárias com colorações diferentes apresentam variações nos valores de retrorrefletividade quando estes são avaliados (DNIT, 2013). Portanto, decidiu-se por ir de encontro aos estudos realizados previamente, de modo que a análise de resultados por macrotextura foi realizada separando os pontos por classes de macrotextura, assim como por coloração da demarcação viária.

4.1.1. Macrotextura em demarcações de coloração amarela

É possível observar na Tabela 1 que a classe predominante no agrupamento de cor amarela é a aberta, sendo apenas três pontos situados fora de tal classificação. Assim, optou-se por excluir tais pontos da análise gráfica.

Tabela 1: Resultados agrupados de acordo com a nomenclatura padrão

Detalhamento		Macrotextura			Microtextura	Retrorefletividade (mcd/m ² /lux)	
Nº	Nomenclatura	Diâmetro médio (cm)	HS (mm)	Classe	Pêndulo Britânico (BPN)	15m	30m
1	1AD01	16,7	1,146	Aberta	54	201	80
2	1AD10	16,3	1,193	Aberta	47	150	59
3	1AD20	19,2	0,866	Aberta	75	109	71
4	1AE01	17,7	1,020	Aberta	48	169	87
5	1AE10	18,7	0,914	Aberta	62	112	71
6	1AE20	18,7	0,914	Aberta	69	170	75
7	1BD01	22,0	0,658	Média	60	195	104
8	1BD10	21,0	0,722	Média	64	115	89
9	1BD20	25,3	0,496	Média	54	234	129
10	1BE01	20,2	0,783	Média	50	224	166
11	1BE10	21,7	0,678	Média	65	176	74
12	1BE20	23,8	0,560	Média	57	216	113
13	2AD01	20,3	0,770	Média	53	151	85
14	2AD10	18,0	0,982	Aberta	55	173	101
15	2AD20	17,0	1,101	Aberta	58	169	79
16	2AE01	16,5	1,169	Aberta	48	163	101
17	2AE10	17,2	1,080	Aberta	60	186	79
18	2AE20	18,7	0,914	Aberta	55	197	101
19	2BD01	21,3	0,699	Média	56	257	153
20	2BD10	22,8	0,611	Média	54	218	126
21	2BD20	22,5	0,629	Média	59	213	123
22	2BE01	21,5	0,689	Média	53	153	95
23	2BE10	22,5	0,629	Média	61	195	110
24	2BE20	23,2	0,593	Média	76	188	86
25	3AD01	16,0	1,243	Muito aberta	69	157	73
26	3AD10	17,7	1,020	Aberta	64	181	54
27	3AD20	16,3	1,193	Aberta	48	141	73
28	3AE01	18,3	0,947	Aberta	49	189	97
29	3AE10	19,5	0,837	Aberta	70	134	69
30	3AE20	18,5	0,930	Aberta	54	163	82
31	3BD01	21,3	0,699	Média	51	264	164
32	3BD10	21,7	0,678	Média	58	249	135
33	3BD20	20,7	0,745	Média	51	217	138
34	3BE01	22,3	0,638	Média	50	148	69
35	3BE10	25,5	0,490	Média	55	253	185
36	3BE20	23,2	0,593	Média	56	251	80
37	4AD01	17,7	1,020	Aberta	64	149	85
38	4AD10	17,7	1,020	Aberta	64	156	73
39	4AD20	17,3	1,059	Aberta	59	158	87
40	4AE01	18,7	0,914	Aberta	57	160	41
41	4AE10	18,7	0,914	Aberta	62	183	102
42	4AE20	19,3	0,852	Aberta	57	195	104
43	4BD01	21,5	0,689	Média	46	261	139
44	4BD10	21,2	0,710	Média	47	220	134
45	4BD20	22,7	0,620	Média	54	266	175
46	4BE01	21,3	0,699	Média	46	227	112
47	4BE10	23,0	0,602	Média	51	203	110
48	4BE20	22,8	0,611	Média	54	181	87
49	5AD01	19,0	0,882	Aberta	60	147	71
50	5AD10	20,0	0,796	Média	57	128	66
51	5AE01	19,0	0,882	Aberta	60	191	90
52	5AE10	19,3	0,852	Aberta	46	225	122
53	5BD01	21,0	0,722	Média	50	189	120
54	5BD10	23,0	0,602	Média	48	206	115
55	5BE01	21,8	0,668	Média	61	176	76
56	5BE10	22,0	0,658	Média	58	148	79

Os dados foram computados em gráficos de barras e linhas, onde os valores de altura de areia HS (mm) são correlacionados com os valores de retrorrefletividade, tanto na geometria de 15m, como na de 30m, para seus respectivos pontos. Foram adicionadas linhas indicando a média dos valores de retrorrefletividade. A Figura 4 apresenta o gráfico onde valores de retrorrefletividade dos pontos com demarcações viárias de coloração amarela são correlacionados seus respectivos valores de macrotextura. Os pontos desta análise foram classificados na classe aberta de macrotextura, em função dos seus valores de altura de areia HS (mm), ou seja, a superfície do pavimento é considerada rugosa.

É possível observar que, para tal classe, os valores de retrorrefletividade sofreram variações significativas entre os valores avaliados pelo equipamento utilizando as geometrias de 15 e 30 metros. A amostra na qual a avaliação de retrorrefletividade fora realizada com equipamento de geometria de 15 metros apresenta desvio-padrão significativamente superior (26,5%) ao apresentado pela amostra a que fora avaliada com geometria de 30 metros (17,5%). Também é possível observar a dispersão das leituras por meio de análise visual da linha média dos valores de retrorrefletividade em ambas as geometrias de leitura.

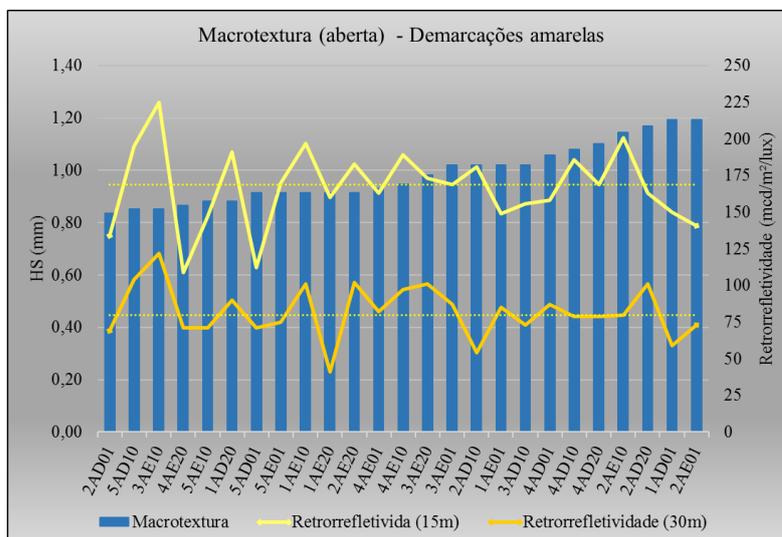


Figura 4: Gráfico correlacionando valores de macrotexturas (classe aberta) com respectivos valores de retrorrefletividade dos pontos em demarcações de coloração amarela

4.1.2. Macrotextura em demarcações de coloração branca

Primeiramente, foi possível observar que em tal agrupamento, somente pontos de classe média de macrotextura foram encontrados. A Figura 5 apresenta o gráfico onde valores de retrorrefletividade, dos pontos com demarcações viárias de coloração branca, são correlacionados seus respectivos valores de macrotextura.

Os pontos desta análise são classificados na classe média de macrotextura, em função dos seus valores de alturas de areia HS (mm), ou seja, a superfície do pavimento é mediamente rugosa. Ao avaliar o gráfico produzido por tal correlação de pontos, pode-se observar uma diferença menos significativa, se quando comparada a análise anterior, entre as leituras de retrorrefletividade nas geometrias de 15 e 30 metros.

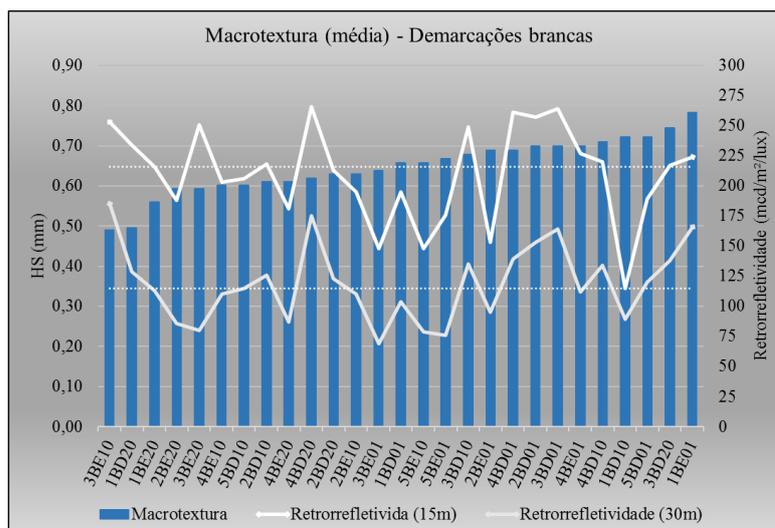


Figura 5: Gráfico correlacionando valores de macrotexturas (classe média) com respectivos valores de retrorefletividade dos pontos em demarcações de coloração branca

Em uma análise global, as leituras de retrorefletividade realizadas em superfícies de macrotextura mais rugosa apresentaram distorções mais discrepantes, quando comparadas com as leituras de superfícies menos rugosas, o que, pode levantar a possibilidade da influência, em grau indeterminado, da macrotextura nas avaliações de retrorefletividade. Também, a sujeira do próprio pavimento, esta composta por partículas de areia, resíduos sólidos e agregados que vieram a se soltar da superfície do revestimento, no ponto de avaliação dos ensaios elencados para este trabalho, pode ter sido responsável por distorcer os valores obtidos nos ensaios de mancha de areia, assim como as leituras de retrorefletividade em ambas as geometrias.

4.2 Síntese de resultados por microtextura

Para a análise de microtextura não foi adotada nenhuma distinção de valores por classe. Entretanto, ao avaliar os resultados por macrotextura foi possível observar que a amostra, quando dividida em função da coloração das demarcações, apresentava, também, uma divisão por classes de macrotextura. Ou seja, os pontos em demarcações de coloração amarelas se enquadravam na classe aberta (exceto três pontos não contabilizados na análise gráfica), enquanto os pontos em demarcações de coloração branca se enquadravam na classe média de macrotextura. Portanto, para a análise dos resultados por microtextura foi possível:

- isolar a influência da coloração das demarcações na avaliação da retrorefletividade por meio da separação de pontos situados em demarcações amarelas dos situados em brancas;
- isolar a possível influência da macrotextura do pavimento na avaliação da retrorefletividade, uma vez que todos os pontos situados nas demarcações de coloração branca pertencem a classe média de macrotextura, enquanto todos os pontos situados nas demarcações de coloração amarela (exceto três pontos não contabilizados na análise gráfica) pertencem a classe aberta de macrotextura.

4.2.1. Microtextura em demarcações de coloração amarela

Os dados de microtextura apresentados na Tabela 1 foram computados em gráficos da mesma forma que os resultados de macrotextura. A Figura 6 apresenta o gráfico onde valores de retrorefletividade dos pontos com demarcações viárias de coloração amarela são correlacionados seus respectivos valores de microtextura.

Como citado anteriormente, os pontos desta análise por microtextura foram previamente classificados na classe aberta de macrotextura, em função dos seus valores de altura de areia HS (mm), tendo superfície do pavimento considerada rugosa. É possível observar que as avaliações de retrorrefletividade apresentam valores representativos para ambas as geometrias, ou seja, não há distorções significativas entre os valores avaliados para as geometrias de 15m e 30m. Também é possível observar que, à medida que os valores de microtextura (BPN) crescem, os valores de retrorrefletividade avaliados em ambas as geometrias apresentam uma linha de tendência decrescente.

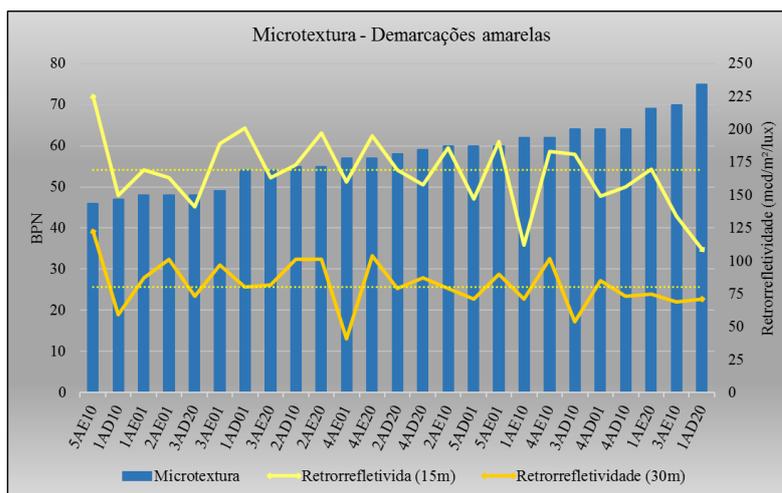


Figura 6: Gráfico correlacionando valores de microtexturas com respectivos valores de retrorrefletividade dos pontos em demarcações de coloração amarela

4.2.2. Microtextura em demarcações de coloração branca

A Figura 7 apresenta o gráfico onde valores de retrorrefletividade dos pontos com demarcações viárias de coloração branca são correlacionados com seus respectivos valores de microtextura. Como citado anteriormente, os pontos desta análise por microtextura foram previamente classificados na classe média de macrotextura, em função dos seus valores de altura de areia HS (mm), tendo superfície do pavimento considerada mediamente rugosa.

É possível observar que as avaliações de retrorrefletividade apresentam valores representativos para ambas as geometrias, ou seja, não há distorções significativas entre os valores avaliados para as geometrias de 15m e 30m. Também é possível observar que, assim como na análise para demarcações de coloração amarela, à medida que os valores de microtextura (BPN) crescem, os valores de retrorrefletividade avaliados em ambas as geometrias apresentam uma linha de tendência decrescente.

Novamente, Specht *et al.* (2007) relacionam a microtextura com a superfície do agregado mineral utilizado no revestimento do pavimento, a qual pode ser áspera ou polida, com comprimentos de onda de entre 0 a 0,5mm e amplitude de 0 a 0,2mm. Já, segundo a NBR 16184, as microesferas de vidro, possuem distribuição granulométrica com diâmetros entre 2,36 e 0,063mm (ABNT, 2013). Logo, para que as leituras de microtextura, através do método de pêndulo britânico, pudessem avaliar, com maior precisão, a quantidade de microesferas presentes no revestimento, necessitar-se-ia que o aparelho fosse aferido de modo que sua medição seja compatível com a distribuição granulométrica das microesferas.

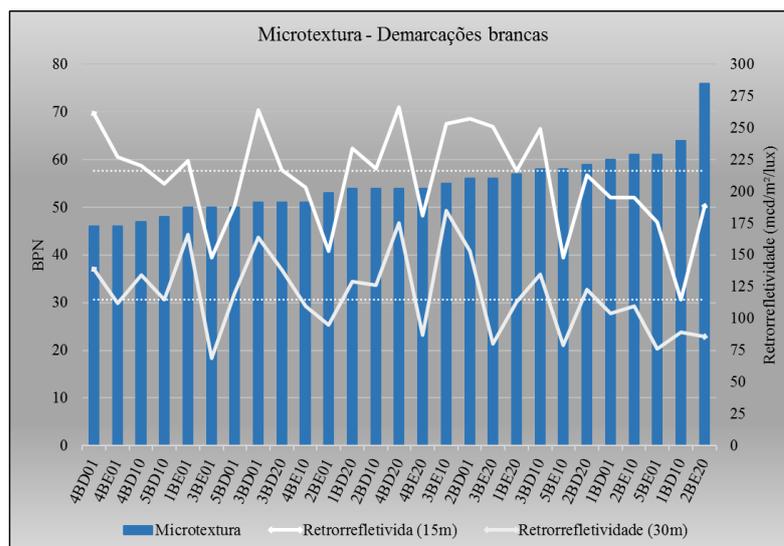


Figura 7: Gráfico correlacionando valores de microtexturas com respectivos valores de retrorefletividade dos pontos em demarcações de coloração branca

4.4. Síntese dos principais resultados

Objetivando sistematizar e filtrar os principais resultados obtidos ao longo deste trabalho, devolvendo para a prática de engenharia algumas contribuições importantes que poderão guiar futuros projetos e pesquisas, concentrar-se, neste item, breves constatações referentes ao assunto estudado. Considerou-se assim, pertinente ressaltar os três tópicos de resultados com maior importância dentre os temas abordados neste estudo. O primeiro deles é a reafirmação do Fator de Correlação de Geometrias (FCG), onde primeiramente, tal fator fora estipulado por Salles *et al.* (2015) como sendo 2,05 para os dados amostrais utilizados pelos autores. A partir deste trabalho, pode-se, através da razão direta entre as médias de retrorefletividade obtidas nos 56 pontos avaliados, a um FCG médio de 2,061, reafirmando a conclusão de que as avaliações de retrorefletividade realizadas em equipamentos com geometria de 30m são cerca de duas vezes mais rigorosas do que aquelas realizadas com a geometria de 15m.

O segundo tópico é a distorção de resultados causada pela interferência da sujeira na superfície do pavimento. Apesar de realizar os ensaios deste trabalho respeitando todas as recomendações técnicas e seguindo todos os procedimentos relatados nas respectivas normas vigentes, assim como ter desenvolvido cronologia específica de ensaios, a fim de que um procedimento experimental não interfira nos resultados do ensaio subsequente, é possível constatar a distorção causada pela sujeira superficial do pavimento nos resultados obtidos. Sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento de nova metodologia de levantamentos, onde seja possível reduzir, ou até mesmo eliminar tal fator da análise de resultados.

O terceiro tópico a ser ressaltado é a diferença entre a faixa granulométrica das microesferas de vidro e as dimensões que caracterizam a microtextura de um pavimento. O equipamento de pêndulo britânico é aferido para realizar avaliações de microtexturas de uma determinada superfície, a qual possui comprimentos de onda variando de 0 a 0,5mm, com amplitudes de 0 a 0,2mm. Já as microesferas de vidros possuem diâmetros de 2,63 a 0,063mm. Portanto, é possível inferir que o resultado obtido através do ensaio de pêndulo britânico não, necessariamente, apresenta relação direta com a quantidade de microesferas de vidro presentes na superfície de avaliação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos em acordo com o delinear metodológico deste trabalho, foi possível concluir que:

- a) Os valores de retrorrefletividade encontrados por meio de avaliação com equipamentos em geometrias de 15m e 30m mostraram-se representativos, tendo FCG de 2,061;
- b) Para análise gráfica de demarcações viárias de coloração amarela, com classe aberta de macrotextura, a linha de tendência infere uma sutil diminuição nos valores de retrorrefletividade, avaliados em ambas as geometrias, ao longo do crescimento dos valores de altura de areia HS (mm) referentes à macrotextura;
- c) Para análise gráfica de demarcações viárias de ambas as colorações, a linha de tendência infere uma sutil diminuição nos valores de retrorrefletividade, avaliados em ambas as geometrias, ao longo do crescimento dos valores de BPN referentes à microtextura.

Agradecimentos

Ao LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil/UFSM), em especial ao GEPPASV (Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária), pela disponibilização do espaço físico e equipamentos para os ensaios. A CAPES/CNPQ pelo auxílio prestado através das bolsas de pesquisa profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGERGS (2006) *Nota Técnica DQ 01*. Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do RS.
- ABNT (2013) *NBR 14723 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento com geometria de 15m*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2013) *NBR 16307 – Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento com geometria de 30m*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ASTM (2013) *E303 - Standard Test Method for Measuring Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, USA.
- ASTM (2015b) *E965 - Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, USA.
- Castro, M. M.; e Alencar, G. M. (2009) *Variação da Retrorreflexão inicial na Sinalização Horizontal em função da textura da Pavimentação*. Monografia (Curso de Especialização em Pavimentação) - Universidade Federal da Bahia, Bahia.
- CNT (2017) *Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial*. Confederação Nacional do Transporte. Brasília: CNT: SEST: SENAT.
- DAER/RS (2013) *CREMA IS-11 - Instrução de Serviço para Estudos e Projetos*. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul.
- DNIT (2013) *Manual do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- EASYLUX. *Products*, Brasil. Disponível em: <<http://easylux.com.br/products/>>. Acesso em: 5 dez. 2016.
- Graham, J. R. e King, L. E. (1991) - *Retroreflectivity Requirements for Pavement Markings, Pavement Markings and Materials*. Transportation Research Board, n. 1316, Washington.
- Parker, N. A.; Meja, J. S. M. (2003) - *Evaluation of The Performance of Permanent Pavement Markings*. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, n. 1824, p. 123 – 132.
- Renz, M. E. (2016) - *Avaliação do Comportamento da Retrorrefletividade de Demarcações Viárias em Pavimentos com Diferentes Tipos de Macrotextura*. Qualificação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.
- ROADVISTA. *Retroreflection*. USA, San Diego, 2016. Disponível em: <<http://www.roadvista.com/retroreflection/>>. Acesso em: 5 dez. 2016.
- Salles, L. S. et al. (2005) - *Road Markings Retroreflectivity Experimental Assesment: Observations on Rainfall, Dirt, Retroreflectometer Geometry and Minimum Requirements*. Transportation Research Record.
- Schwab, M.S.F. (1999) *Estudo do desempenho dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos*. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia) – Rede Temática em Engenharia de Materiais. Belo Horizonte.
- Specht, L. P.; Rozek, T. ; Hirsch, F. ; Santos, R. T. . (2007) *Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia. Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online)*, v. 10, p. 30-38.
- Wambold, J. C. et al. (1995) - *International experiment to compare and harmonize skid resistance and texture measurements*. PIARC report.