3M Science.
Applied to Life.™
Retrorrefletividade em pavimento molhado confiável, quando os motoristas mais precisam.
Ajude os motoristas a chegarem em casa com segurança com demarcações retrorrefletivas para todo clima.

Demarcações de pavimento de dia, linhas de vida à noite.

Você sabia que, em média, dirigimos apenas 25% do tempo à noite, embora 50% das mortes no trânsito aconteçam após escurecer?1 Sem falar que quando você acrescenta chuva, as chances de se envolver em um acidente aumentam?

É por isso que o tipo de demarcações de pavimento que você escolhe importa. Demarcações de pavimento retrorrefletivas comuns não refletem a luz de volta para os motoristas, quando cobertas por chuva, fazendo com que elas quase desapareçam. Mas isso não tem que ser assim. Existe uma solução disponível, hoje, que permite que os motoristas vejam as demarcações no escuro e em condições chuvosas.

Este eBook ajudará você a entender os benefícios das demarcações retrorrefletivas para todo clima em relação ao uso das demarcações padrão; e como, no final do dia, a escolha é clara e a hora de agir é agora.

Índice

Definição do Problema	3
O Custo da Complacência	5
O Impacto na Segurança das Demarcações Retrorrefletivas Todo Clima	6
A Ciência da Óptica	8
Métodos de Teste Retrorrefletivo Molhado	10
Especificações de Desempenho	11
Conclusão	12
Fontes e Sugestões de Leitura	13

Por que as demarcações retrorrefletivas para todo clima importam.

A diferença entre demarcações viárias retrorrefletivas para todo clima e convencionais.

É fácil de ver as demarcações no asfalto em um dia de sol. Até mesmo demarcações mais antigas e desgastadas podem oferecer aos motoristas orientação suficiente em circunstâncias ideais. Mas e à noite? Durante uma tempestade com uma lâmina de água cobrindo a estradas? Nessas condições, as demarcações de pavimento retrorrefletivas convencionais desaparecem, levando à redução da visibilidade do motorista, ao aumento do desconforto do motorista[3], a sistemas de orientação de faixa (CAV) menos eficazes[4,5] e maior risco de colisões[8]. É por isso que o tipo de demarcações que você escolhe é essencial para ajudar a manter os motoristas seguros em dias de sol e em noites escuras e com tempestade, especialmente quando você leva em consideração as mudanças demográficas dos condutores, como o aumento do número de condutores mais velhos que possuem limitações de visão.

Recentemente, entre 2014 e 2016, o Departamento de Trânsito da Geórgia observou uma tendência surpreendente.

“Vimos um aumento no número de vítimas fatais em todo o estado da Geórgia. Ao analisarmos os dados, vimos que muitas das fatalidades que estavam acontecendo em todo o estado, ocorriam a noite e em condições com chuva, com isso percebemos que precisávamos de produtos que influenciassem diretamente nessas situações para tentar reduzir nossos números”, disse Andrew Heath, Engenheiro de Trânsito Estadual do DOT da GA.

Com muitas autoridades rodoviárias hoje adotando uma abordagem de segurança no trânsito Rumo a Mortes Zero, entender a correlação entre condições de chuva e escuridão e acidentes é de extrema importância.

À noite, sob chuva, as demarcações de pavimento retrorrefletivas convencionais desaparecem, o que leva a:

Visibilidade reduzida do motorista

Maior desconforto do motorista

Sistemas de orientação de faixa menos eficientes

Aumento do risco de acidentes

> “...vimos que muitas das fatalidades que estavam acontecendo em todo o estado, ocorriam a noite e em condições com chuva,”
>
> Andrew Heath, Engenheiro de Trânsito Estadual do DOT da GA.

A diferença é dia e noite—e noite chuvosa.

Poderíamos falar da grande diferença existente entre as demarcações de pavimento, mas é mais impactante apenas mostrar.

O que os motoristas veem:

Durante o dia em condição seca
Todas as demarcações brancas (símbolo e linha central) confeccionadas com elementos retrorrefletivos comuns, Linha de bordo amarela aplicada com elementos retrorrefletivos todo clima. Durante o dia todas são visíveis.

Durante a noite sem chuva
Ambos os tipos de demarcações são visíveis em condições noturnas sem chuva.

Durante a noite com chuva
Enquanto o símbolo retrorrefletivo comum e a linha central praticamente desaparecem, a demarcação retrorrefletiva todo clima permanece visível.

Como você pode ver, partes das demarcações viárias retrorrefletivas convencionais praticamente desaparecem no escuro quando ficam cobertas pela chuva, fazendo com que o motorista não perceba que a faixa é uma faixa para virar à esquerda.

Com o envelhecimento da população, veículos autônomos, e novos motoristas inexperientes conduzindo nas estradas, é mais importante do que nunca ter demarcações no pavimento que sejam visíveis nas mais variáveis condições tanto para humanos como para os veículos autônomos.

Em qual trecho da estrada você prefere dirigir?

Veja a diferença que as demarcações retrorrefletivas todo clima fazem.

> **Assista ao vídeo**

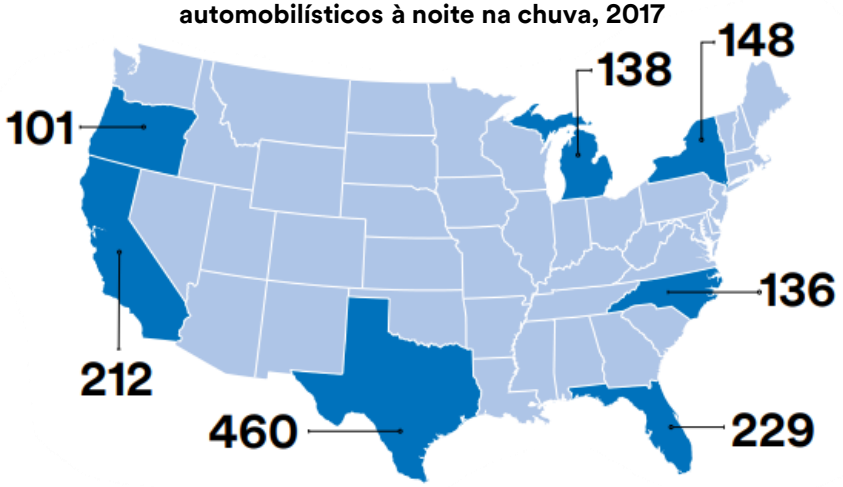
Estatísticas que contam a história.

Há muita coisa em jogo - conheça os números.

Em 2017, 6.952 pessoas morreram em acidentes nas estradas dos EUA em condições de chuva. Apesar de apenas 25% das viagens ocorrerem à noite, impressionantes 55% (ou 3.811) dessas mortes ocorreram à noite ou em condições de pouca luz.

As condições de chuva e de luz são fatores agregadores de riscos de colisão. Um estudo de 2015 realizado no Texas investigou a variabilidade temporal e espacial do risco relativo de acidentes devido às condições de chuva em todo o estado. Os pesquisadores descobriram que a chuva aumentava o risco de acidentes em todo o estado em cerca de 57%, e as condições noturnas aumentavam o risco até 80%.

Número de mortes em acidentes automobilísticos à noite na chuva, 2017



1,25 milhão
de vidas perdidas no mundo todo por ano devido a acidentes de trânsito
Fonte: OMS. Lesões causadas pelo trânsito, janeiro de 2018.

49% dos acidentes fatais
acontecem à noite, muito embora a maioria do tráfego nas estradas se dê durante o dia.
Fonte: OMS. Lesões causadas pelo trânsito, janeiro de 2018.

Estudos de acidentes na França

Na França, foram realizados estudos de dados de acidentes semelhantes ao longo dos últimos 12 anos. Ajustada para a densidade média do tráfego na França (90% do tráfego ocorre durante o dia), a análise estatística mostrou que dirigir à noite aumentava o risco de acidente com ferimentos em 3,5 vezes e o risco de acidente fatal em 6 vezes (comparado à direção durante o dia). À noite, com chuva, esses números sobem para 7,7 vezes e 10 vezes, respectivamente.7
Ficou provado que aumentar a visibilidade das demarcações do pavimento, especialmente no escuro ou sob chuva e umidade reduz o risco de acidentes. Como as estatísticas mostram, as chances de um condutor se envolver em um em um acidente noturno ou enquanto conduz por estradas molhadas ou sob chuva são maiores. Por isso, melhorar as estradas para ajudar os motoristas a lidar melhor com essas condições pode levar à redução de acidentes, lesões, mortes e custos.

Dirigir à noite com chuva leve ou forte aumenta o risco de acidentes com ferimentos em
7,7X
e o risco de acidentes fatais em
10X
comparado à direção diurna
Fonte: BAAC (Banco de dados de trânsito rodoviário francês, dados governamentais abertos).

Pesquisas de terceiros sugerem que as demarcações retrorrefletivas todo clima reduzem os acidentes.

Hoje, os motoristas confiam em demarcações eficientes no pavimento, e continuarão a fazer isso no futuro.

Mais da metade de todos os carros vendidos nos EUA nos últimos anos tinha tecnologias autônomas, como sistemas de alerta de saída de faixa de rodagem, mas os veículos ainda são em grande parte operados por motoristas humanos. Qualquer solução de demarcação de pavimento precisa estar visível em todas as condições climáticas para ajudar todos a chegarem em casa em segurança.

Em 2015, a *Federal Highway Authority* dos EUA conduziu uma avaliação rigorosa, antes e depois das demarcações retrorrefletivas todo clima usadas em Minnesota, Carolina do Norte e Wisconsin para desenvolver fatores de modificação de colisão recomendados (*crash modification factors* CMF). O *CMF* recomendado para acidentes com ferimentos em estradas com várias pistas é de 0,595 e em vias expressas 0,881, o estudo sugeriu uma redução de 40% e 12%, respectivamente, nesses tipos de acidentes após a implementação de demarcações de pavimento retrorrefletivas todo clima.

Da mesma forma, um estudo entre 2018-2019 do *Texas A&M Transportation Institute* avaliou a eficácia das demarcações de pavimento para clima úmido no distrito de *Atlanta (TxDOT)*. Eles observaram especificamente acidentes em noites chuvosas em aproximadamente 1.013 km de estradas onde demarcações de pavimentação para clima úmido foram instaladas. O estudo descobriu que a implementação das demarcações de pavimento para clima úmido nessas estradas reduziu os acidentes noturnos em cerca de 30% e as mortes noites chuvosas em cerca de 50%.

Finalmente, de acordo com um estudo patrocinado pela *UE*, "*Rainvision: o impacto das demarcações rodoviárias no comportamento do* de direção noturnas e chuvosas, as demarcações*motorista"*, a aplicação de material de demarcação de pavimento retrorrefletivo na pista teve um efeito positivo na sensação subjetiva de segurança e conforto dos motoristas, especialmente em condições climáticas adversas. Em condições retrorrefletivas garantiam trajetórias claras na rota, proporcionando estímulos antecipatórios do ambiente da estrada e tirando uma carga de trabalho substancial do motorista. Por outro lado, os erros cometidos por motoristas aumentaram 70% quando as marcações rodoviárias eram menos visíveis.

Avaliação de Segurança das Demarcações de Pavimento em Clima Úmido
Fatores de Modificação de Acidentes Recomendados pela FHWA: Acidentes com Ferimentos Accidentes com lesões.

Rodovias com várias pistas
40%
de redução

Vias expressas
12%
de redução

Tabela A: Efeitos de Segurança das demarcações de Pavimento em Clima Úmido

Estimativas de Percentual de Redução de Acidentes para Demarcações de Pavimento em Clima Úmido		
Abordagem	Úmido | Noite*	Úmido | Noite - Mortes*
Bayes empírico (EB)	28%	53%
Bayes completo (FB)	32%	49%

*Resultados estatisticamente significativos com 95% de confiança

Focando na segurança para veículos conectados e autônomos.

Como acontece com os motoristas, as demarcações retrorrefletivas úmidas também podem permitir uma visão de máquina mais robusta.

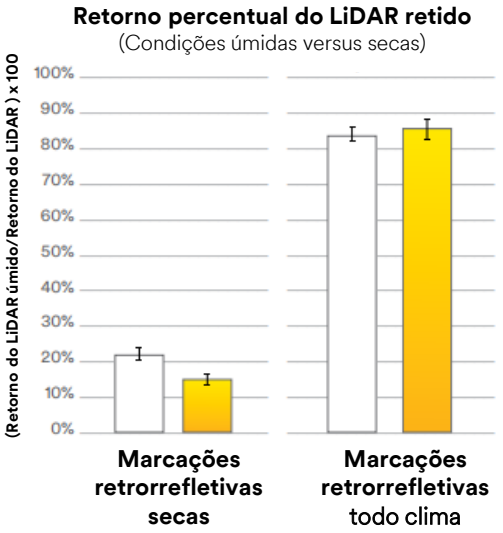
Quer se trate de sistemas de câmeras ópticas em carros hoje ou *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*, ou Detecção e alcance por Luz) nos carros de amanhã, estudos recentes indicaram que demarcações retrorrefletivas úmidas também melhoram a visibilidade de Sistemas de Assistência Avançada ao Motorista (*ADAS*) e Veículos Conectados e Automatizados (*CAVs*).

No estudo, *"Efeitos da Retrorrefletividade molhada e Luminância das Marcações do Pavimento no Aviso de Saída da Pista em chuva noturna contínua com e sem fontes de brilho"*, publicado pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (Society of Automotive Engineers), os pesquisadores da 3M exploraram os efeitos da retrorrefletividade úmida e luminância das marcações brancas e amarelas sobre o desempenho de detecção de um sistema *Mobileye LDW* em condições de chuva noturna contínua.

Eles descobriram que a porcentagem de detecção em determinados níveis de confiança foram correlacionados com uma interação de dois fatores da propriedade de luminância difusa e retrorrefletividade úmida contínua. Os pesquisadores propõem a possibilidade de que a porcentagem de detecção em certos níveis de confiança podia se correlacionar com a interação de dois fatores da propriedade de luminância difusa e retrorrefletividade úmida contínua.

Outro estudo analisou especificamente os efeitos de desempenho de demarcações de pavimento retrorrefletivas molhadas para detecção pela visão da máquina, com a detecção de luz e os sistemas LiDAR em condições de estrada continuamente molhada. A Tabela B representa a % de retorno do LiDAR em condições noturnas chuvosas de marcações retrorrefletivas secas e marcações retrorrefletivas todo clima. Os resultados preliminares deste estudo de triagem sugeriram que as marcações de pavimento retrorrefletivas todo clima provavelmente são vantajosas para sistemas de visão de máquina e tecnologia LiDAR.

Tabela B



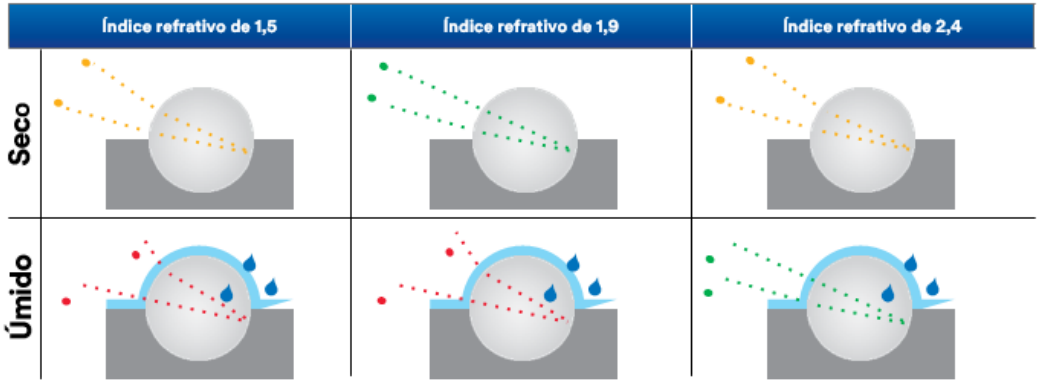
"À noite em condições de chuva, a óptica retrorrefletiva todo clima permite a detecção em distâncias maiores do que as esferas de vidro nas marcações amarelas."*

*Com base em testes conduzidos em conjunto com a *Continental Automotive Systems Inc.* em dezembro de 2017 em *Brimley, Michigan*, EUA. Os materiais testados incluíram linhas LPM amarelas em Áreas de direção convencionais e chuva noturna com vidro ou elementos 3M.

Nem toda óptica é criada igual.

A ciência sob a superfície de diferentes tipos de marcações retrorrefletivas contínuas todo clima.

Em geral, as demarcações de pavimento são visíveis à noite por causa da óptica retrorrefletiva na demarcação que retorna a luz dos faróis de um veículo de volta para seu motorista. No entanto, diferentes ópticas são melhores para o retorno da luz em diferentes condições - não é possível que um único elemento seja otimizado para condições secas e úmidas.



> Confira o Vídeo

As marcações com elementos de índice de refração 2,4 podem ser vistas em condições molhadas, quando as marcações com outras índices podem não ser visíveis. Isso também vale para sistemas de visão de máquinas baseados em câmeras ópticas. Assista ao vídeo para saber mais sobre as diferenças das marcações de pavimento.

Código de índice refrativo:
Vermelho - menor retorno de luz ideal
Amarelo - retorno de luz subótimo
Verde - retorno de luz ideal

Como testar elementos *antes* de instalá-los.

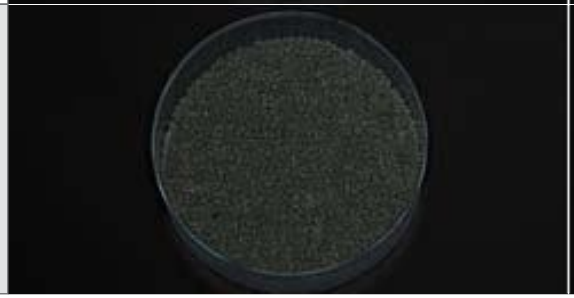
O Teste de Brilho do Copo fornece uma indicação dos coeficientes esperados de luminância retrorrefletida.

A melhor hora para ter uma ideia de que tipo de desempenho retrorrefletivo molhado você pode esperar de uma mistura de elementos ou esferas de vidros é bem antes de instalá-los em suas estradas. É por isso que é recomendado usar o Teste de Brilho do Copo antes da especificação, especialmente em elementos todo clima para simular condições contínuas de chuva. Embora o teste chuva contínua da ASTM (consulte a próxima página) seja a metodologia de teste recomendada para retrorrefletividade todo clima, pode ser difícil fazer leituras em todas as faixas de rodagem. Especificar o teste de brilho do copo, além do teste chuva contínua, garante que suas estradas tenham o nível desejado de luminância. O teste de brilho do copo pode ser realizado antes da instalação do produto e pode ser feito com materiais limitados em ambiente de laboratório.

Veja a pág. 2 do Boletim de Produtos 3M™ Connected Roads All Weather Elements Product para mais informações sobre este método.

Baixar PDF

Comparação de desempenho da tacha de índice de refração 1,9 e 2,4: Seco vs. Totalmente Submerso em Água

Índice de refração de tachas	Seco	Submerso em água
Tachas com índice de 1,9		
Tachas com índice de 2,4		

Quando se trata de metodologias de teste, recuperação pós molhado não é igual a chuva contínua.

Testes comparativos mostram que há uma grande diferença nas condições de somente molhado e chuva contínua.

A maioria dos motoristas teve dificuldades para dirigir em uma estrada escura e desconhecida durante uma chuva torrencial. Você pode ter pensado que as demarcações de pavimento estavam velhas e desbotadas e apenas precisavam ser substituídas. Mas a verdade é que, se não fossem testadas e projetadas para funcionar em condições de umidade contínua, não teria feito muita diferença, não importa quão antigas ou novas fossem, pois as demarcações de recuperação pós chuva não são projetadas para funcionar como as demarcações chuva contínua.

Globalmente, existem dois tipos de métodos de teste usados para medir a refletividade molhada das demarcações de pavimento: Métodos de chuva contínua que simulam a refletividade molhada de uma demarcação de pavimento durante a chuva, e métodos de recuperação pós chuva que simulam a refletividade molhada de uma demarcação de pavimento depois que parou de chover e a demarcação está se recuperando ou drenando (consulte a Tabela C abaixo para um esboço das metodologias de teste retrorrefletivo úmido disponíveis).

Tabela C:

Tipo	Chuva Contínua	Recuperação pós chuva
ASTM	E2832	E2177
EN	EN1436 Anexo B7	EN1436 Anexo B6

Que tipo de método de teste é mais realista?

Em geral, os métodos chuva contínua fornecem um resultado mais comparável à experiência real do motorista em eventos de chuva moderada do que os métodos de recuperação pós chuva. Isso porque os métodos chuva contínua simulam o nível de retrorrefletividade úmida experimentada por um motorista em um evento de chuva, enquanto os métodos de chuva contínua apenas simulam isso em um instante no tempo depois que a chuva parou.

Recuperação Pós Chuva vs. Contínua. Ambiente sem Chuva

Recuperação Pós Chuva vs. Contínua. Ambiente com Chuva.

> Leia mais sobre os métodos de teste.

O que considerar ao criar uma especificação.

O que os engenheiros de tráfego devem levar em conta ao criar um padrão ou especificação de demarcação de solo.

Os engenheiros de tráfego frequentemente perguntam qual é o valor recomendado de retrorrefletividade chuva contínua para incluir em uma especificação ou padrão de demarcação de solo. Dados preliminares de um estudo do Texas Transportation Institute (TTI) compartilhado em um workshop regional de treinamento e educação *ATSSA* ajudam a responder a essa pergunta. Em coordenação com o Departamento de Transporte de Minnesota, o TTI conduziu um estudo dos fatores humanos para determinar a distância de detecção das demarcações do pavimento em função de diferentes valores retrorrefletivos molhados. Descobertas preliminares discutidas durante o workshop indicam que 50 mcd/m²/lux em condição chuva contínua é um limite de substituição apropriado para demarcações de pavimento em serviço, mas este é o mínimo e está longe de ser ideal.

Por que 50 mcd/m²/lux está longe do ideal?

O tempo para visualização de uma demarcação com 50 mcd/m²/lux é de apenas 1,9 segundo, para motoristas a 55 km/h. Estudos de simulador de direção relatados no *COST 331*, um estudo da *UE*11 com a objetivo de recomendar o design ideal da demarcação de pavimento, mostrou que o tempo mínimo absoluto de visualização para uma direção segura é de 1,8 segundo; caso seja inferior a isso, os motoristas terão problemas para se manterem de forma estável na faixa. Segundo os autores do estudo este deve ser o valor mínimo e para se ter uma condição mais segura recomendam a utilização de valores mais altos. O relatório *COST 331* estabeleceu um tempo de visualização recomendado de 2,2 segundos.

A *FHWA-US (Federal Highway Administration of United States)* conduziu um estudo semelhante12 em 1998 no qual determinou que em condições extremas de direção em curto alcance, era recomendado, 2 segundos de tempo de visualização como o limite mínimo seguro aceitável, permitindo tempo suficiente para o e reagir às demarcações do pavimento em condições perigosas.

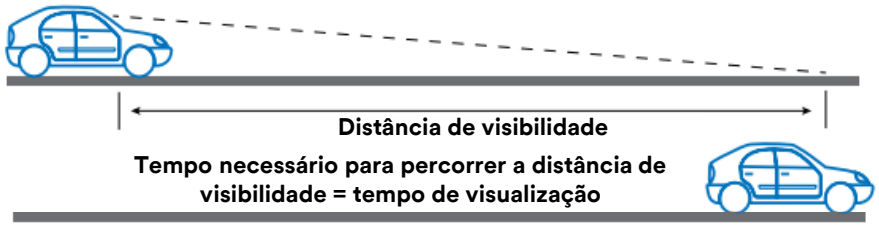
Níveis mais altos de retrorrefletividade chuva contínua são melhores.

A Tabela D mostra os valores mínimos recomendados de retrorrefletividade chuva contínua calculados a partir das descobertas preliminares do estudo do *TTI* considerando diferentes tempos e velocidades de visualização.[10] Valores mais altos de retrorrefletividade chuva contínua são necessários para diferentes velocidades ou tempos de visualização. Embora possa ser difícil que os motoristas dirijam a 70 km/h durante tempestades à noite, esta pesquisa é importante para documentar a relação entre valores contínuos de chuva mais altos e tempos de visualização mais longos.

Tabela D: Mínimos de retrorrefletividade chuva contínua matematicamente derivados de resultados preliminares do estudo do *TTI*

Velocidade em km/h	Tempo de visualização de 1,8 segundo	Tempo de visualização de 2,2 segundos
88 (55 mph)	50 mcd/m2/lux	130 mcd/m2/lux
112 (70 mph)	170 mcd/m2/lux	970 mcd/m2/lux

Figura 1: O que é "Tempo de visualização?"
Situação em um ponto no tempo



O resultado final: Há muita coisa em jogo.

A visibilidade das demarcações viárias é fundamental de dia ou à noite, com chuva ou com sol.

Aplicar demarcações de pavimento pode ser uma das últimas coisas que você faz ao concluir seu projeto viário, mas é o primeiro passo para ajudar a melhorar a segurança, reduzir acidentes e salvar vidas. Ter a estrada mais bonita do mundo pode não significa muito se for difícil de trafegar em condições de escuridão e chuva.

Como você leu, dirigir à noite e/ou em condições de chuva aumenta o risco de acidentes, com ferimentos e mortes; uma preocupação que pode crescer à medida que mais e mais veículos dependem da tecnologia de visão de máquina e a idade média dos condutores avança. Você também viu a diferença entre as demarcações de pavimento retrorrefletivas úmidas e úmidas contínuas e aprendeu sobre a ciência por trás disso.

Sempre haverá coisas que você não pode controlar, mas você pode controlar que tipo de demarcações de estrada serão aplicadas. E que apenas demarcações retrorrefletivas de chuva contínua são projetadas para fornecer brilho reflexivo nas circunstâncias mais cruciais.

Entre em contato com seu representante local da 3M para mais informações sobre marcações de pavimento retrorrefletivas úmidas e para iniciar uma demonstração na estrada.

3m.com.br/sinalizacao

3M é uma marca comercial da 3M.
© 3M 2019. Todos os direitos reservados.

Fontes e Sugestões de Leitura

Para saber mais sobre a importância das marcações de pavimento retrorrefletivas úmidas em todo o mundo, recomendamos conferir os seguintes estudos e documentos mencionados neste e-book.

1. US DOT National Highway Traffic Safety Administration. Passenger Vehicle Occupant Fatalities by Day and Night – A Contrast. Maio de 2007, https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/810637

2. Omranian, S., Sharif, H., Dessouky, S., Weissmann, J., "Exploring rainfall impacts on the crash risk on Texas roadways: A crash-based matched-pairs analysis approach." Accident Analysis and Prevention, vol. 117, 2018, pp. 10-20

3. Konstandinos Diamandouros, and Michael Gatscha. "Rainvision: The impact of road markings on driver behavior – wet night visibility". 6th Transport Research Arena, April 18-21, 2016. European Road Federation

4. Pike, A., Clear, S., Hedblom, T., and Whitney, J. "How Might Wet Retroreflective Pavement Markings Enable More Robust Machine Vision?" Transportation Research Record 1-6, 2019

5.Pike, A., Clear, S., Barrette, T., Hedblom, T. et al., "Effects of the Wet Retroreflectivity and Luminance of Pavement Markings on Lane Departure Warning in Nighttime Continuous Rain with and without Glare Sources," SAE Technical Paper 2019-01-1014, 2019

6. US DOT National Highway Traffic Safety Administration, Fatality Analysis Reporting System (FARS). 2017 – Available from: https://www.nhtsa.gov/research-data/fatality-analysis-reporting-system-fars

7. 3M France, Combating Poor Road Safety – To Enhance the Safety of Road Users at Night and in All Weather Conditions. Agosto de 2019 Dados coletados do BAAC (banco de dados de lesões por tráfego rodoviário)

8. US DOT Federal Highway Administration. Avaliação de segurança de marcações de pavimento reflexivo úmido. Dez. 2015, FHWA-HRT-15-083

9. Park, ES., Carlson, P., Pike, A., "Safety Effects of Wet-Weather Pavement Markings." Reunião Anual do Conselho de Pesquisa de Transporte 2019: Disponível em: https://trid.trb.org/view/1572259

10. Peterson, E., "Wet Pavement – Where are the Markings?!?" Northland American Traffic Safety Services Association, "How To" Training and Education Workshop, Mar. 2019

11. Requirements for Horizontal road Marking. CUSTO 331. Luxemburgo: Serviço de Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 1999.

12. Freedman, M., L.K. Staplin, D.P. Gilfillan, and A.M. Brynes. Noticeability Requirements for Delineation on Non-Illuminated Highways. Report No. FHWA-RD-88-028, FHWA, US DOT, 1998