

**ALGORITMO PARA PREVISÃO DE QUEDA DA  
RETROREFLETIVIDADE EM SINALIZAÇÃO HORIZONTAL APLICADA EM  
RODOVIAS**

Diogo Moreira, Nyelthon da Rosa Refatti<sup>1</sup>

Fabio Andrijauskas<sup>2</sup>

Universidade São Francisco

**nyelthon.refatti@mail.usf.edu.br**

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Engenharia de Computação, Universidade São Francisco; Campus de Itatiba - SP

<sup>2</sup>Professor Orientador Fabio Andrijauskas, Curso de Engenharia de Computação, Universidade São Francisco; Campus de Itatiba – SP

**Resumo.** O Brasil conta com 1,7 milhão de Km de rodovias com apenas 13% asfaltado, levando em conta esse percentual temos um importante aspecto para a redução de acidentes no transporte viário é a Sinalização Horizontal, para orientação dos usuários na via e uma maior segurança em seu fluxo. E dos vários critérios que determinam a visibilidade da sinalização horizontal viária, dois critérios que são os principais: Contraste e coeficiente de luminância retrorefletida, ou retrorefletividade. Em período diurno, o parâmetro que define quantitativamente a visibilidade da sinalização horizontal é o contraste, e em período noturno, o parâmetro que define a visibilidade da sinalização horizontal é a retrorefletividade, que pode ser medida utilizando aparelho retrorefletômetro portátil ou dinâmico, instalado sobre um automóvel, avaliando continuamente o coeficiente de luminância retrorefletida em um determinado eixo ou bordo das demarcações viárias. Tendo como base a importância da retrorefletividade na sinalização horizontal, o trabalho apresenta uma forma de utilizar o potencial de algoritmos computacionais para realizar previsões no desgaste do coeficiente de luminância retrorefletiva nas marcas longitudinais, aplicadas em estradas e rodovias, buscando aprimorar processos de avaliação da retrorefletividade em grandes períodos de tempo, bem como prover auxílio gerencial, permitindo uma visão mais ampla dos custos envolvidos com sinalização horizontal.

**Palavras-chave:** Retrorefletividade, Algoritmo, Previsão, Sinalização Horizontal, Demarcação Viária, Rodovia, Retrorefletômetro.

## **1- Introdução**

As rodovias no Brasil passaram por um crescimento saindo de caminhos da roça estreitos para rodovias, somente em 1861 foi inaugurada a primeira rodovia, o que ficou conhecido como a Primeira Estrada de Rodagem do Brasil. Em 1905 foi aprovada a primeira lei que concedia auxílio federal para o departamento responsável pelas obras rodoviárias. O primeiro órgão brasileiro a ser responsáveis pelas rodovias foi DNER (Departamento Nacional de Estrada e Rodagens), foi criado primeiramente em 1927 em São Paulo e somente em 1937 foi considerado nacionalmente. Em 2001 o DNER foi substituído por dois órgãos ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) e DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

## ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - USF

Na década de 40 o Brasil tinha apenas 423 Km de estradas pavimentadas, que já não conseguiria se sustentar por muito mais tempo, pois já estava vindo a popularização dos carros, para obter uma mudança foi realizado o Decreto-Lei 8.463, que dava autonomia e financeiro ao DNER, ficando conhecido como Lei Joppert. Na década de 50 o Brasil já tinha 968 Km de rodovias pavimentadas, vindo assim a chegada da popularização dos carros, com grandes avanços nas rodovias. Entrando na década de 80 com 47 mil Km de rodovias pavimentadas. No ano de 2018 o Brasil contava com 1,7 milhão de Km de rodovias, sendo apenas 12,4% pavimentadas.

Mesmo o Brasil tendo uma porcentagem muito baixa de pavimentação o número de acidentes nas rodovias é alto, e é uma grandeza proporcional, se aumenta o número de veículos, aumenta o número de acidentes. Com isso o Brasil criou normas para padronização e sinalizações, como medidas preventivas para acidentes. Um importante aspecto para a redução de acidentes no transporte viário é a Sinalização Horizontal, que, segundo o CONTRAN (2007, p.5), “tem a finalidade de transmitir e orientar os usuários sobre as condições de utilização adequada da via, [...] de forma a aumentar a segurança e ordenar os fluxos de tráfego”.

Segundo SCHWAB (1999), dos vários critérios que determinam a visibilidade da sinalização horizontal viária, dois critérios quantificáveis são: Contraste e coeficiente de luminância retrorrefletida, ou retrorrefletividade. Em período diurno, o parâmetro que define quantitativamente a visibilidade da sinalização horizontal é o contraste, e em período noturno, o parâmetro que define a visibilidade da sinalização horizontal é a retrorrefletividade, que pode ser medida utilizando aparelho retrorrefletômetro portátil ou dinâmico, instalado sobre um automóvel, avaliando continuamente o coeficiente de luminância retrorrefletida em uma determinada linha de eixo ou bordo das demarcações viárias (SCHWAB, 1999).

Tendo como base a importância da retrorrefletividade na sinalização horizontal, o trabalho apresenta pretende apresentar uma forma de utilizar o potencial de algoritmos computacionais para realizar previsões no desgaste do coeficiente de luminância retrorrefletiva nas marcas longitudinais, aplicadas em estradas e rodovias, buscando aprimorar processos de avaliação da retrorrefletividade em grandes períodos de tempo, bem como prover auxílio gerencial, permitindo uma visão mais ampla dos custos envolvidos com sinalização horizontal.

Com a realização do trabalho será possível realizar pinturas, onde é necessário de acordo com o índice de retrorrefletividade, olhando fatores como custo dos materiais, deslocamento da equipe equipamentos e durabilidade, acaso for menor que a duração do contrato, e a simulação para prever o desgaste do mesmo, para a tomada de decisão e análise dos custos para o planejamento de futuras reformas na sinalização horizontal.

Portanto, o trabalho apresenta visa, não somente apresentar uma ferramenta de auxílio gerencial para concessionárias administradoras de rodovias, visando reduzir custos com sinalização horizontal e auxiliar no planejamento de obra a longo prazo, como também apresentar uma possível solução para aumentar a segurança nas rodovias e prover um maior bem estar a seus usuários condutores.

## 2- Referencial Teórico

Para que seja possível a correta interpretação do material proposto, faz-se de grande importância a elucidação de conceitos específicos referentes a Sinalização Horizontal, que

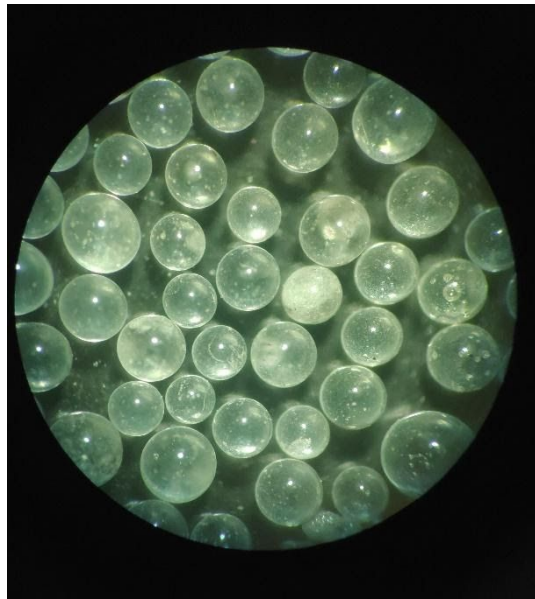
possuem grande ênfase na área da Engenharia Civil e de Transportes. Também com o objetivo de aclarar as ideias no âmbito das análises de desgaste nas marcações viárias, convém citar trabalhos anteriores com objetivos similares.

## 2.1 RETRORREFLETIVIDADE

A sinalização horizontal deve ser visível tanto em período diurno quanto noturno. Para que a sinalização viária possa ser vista a noite, é necessário que seja retrorrefletiva. Segundo MACHADO (2019, p.19), “o termo retrorrefletividade refere-se à propriedade de um sinal de trânsito ser capaz de refletir a luz na direção do condutor”, e pode ser obtida através do acréscimo de microesferas de vidro em tintas à base d'água ou termoplásticos aplicados ao pavimento. De acordo com a norma 16410, a retrorrefletividade é o coeficiente da luminância retrorrefletida, expresso em milicandelas por metro quadrado por lux ( $mcd.m^{-2}.lx^{-1}$ ). O equipamento utilizado para aferir tal coeficiente é o retrorrefletômetro (ABNT, 2015).

Dentre as funções da sinalização horizontal, está a ordenação e separação do fluxo de veículos, através das marcas longitudinais (DNIT, 2017). Em vista da necessidade de conservar as marcas longitudinais visíveis ao condutor, mesmo que em período noturno, é fundamental monitorar a situação da retrorrefletividade das faixas, especialmente em rodovias, onde o tráfego de veículos em alta velocidade é intenso e constante. Segundo o CONTRAN (2007), a sinalização horizontal deve sempre ser retrorrefletiva, para proporcionar visibilidade noturna. Para a obtenção dessa característica, são utilizadas microesferas de vidro, conforme vemos na figura 1, pulverizadas sobre a pintura no pavimento. Microesferas de vidro são partículas de vidro, em formato esférico, de alta qualidade, aplicadas em tintas ou termoplásticos através de aspersão ou extrusão (DNIT, 2017).

**Figura 1** – Microesferas de vidro do tipo II-C, através do microscópio.



Fonte: Autor (2020)

### 2.1.1 Retrorrefletividade em Marcas Longitudinais

Além de ordenar e separar o fluxo do tráfego de veículos, as marcas longitudinais, também regulamentam a ultrapassagem, de acordo com a cor da linha

## ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - USF

(DNIT, 2017). As marcas longitudinais podem ser simples ou duplas, seccionadas ou contínuas, bem como podem estar presente nas cores branca ou amarela. Tais propriedades definem a orientação do tráfego de e regras de ultrapassagem e transposição (CONTRAN, 2007), abaixo estão descritas as combinações de características possíveis para as linhas longitudinais:

-Linhas contínuas amarelas, simples ou duplas: “separam os movimentos veiculares de fluxos opostos e regulamentam a proibição de ultrapassagem e os deslocamentos laterais”, (CONTRAN, 2007, p.10).

-Linhas seccionadas amarelas, simples ou duplas: “ordenam os movimentos veiculares de sentidos opostos”, (CONTRAN, 2007, p.10).

-Linhas contínuas brancas: “são utilizadas para delimitar a pista (linha de bordo) e para separar faixas de trânsito de fluxos de mesmo sentido.”, (CONTRAN, 2007, p.10).

-Linhas seccionadas brancas: “ordenam os movimentos veiculares de mesmo sentido”, (CONTRAN, 2007, p.10).

### 2.2 RETRORREFLETÔMETRO

O retrorrefletômetro é o equipamento responsável por aferir a condição da retrorrefletividade na sinalização horizontal, podendo ser manual (ABNT, NBR 14723, 2013) ou dinâmico (ABNT, NBR 16410, 2015). Os procedimentos de aferição do retrorrefletômetro manual e dinâmico encontram-se descritas abaixo:

-Equipamento Manual, conforme figura 2: Deve ser utilizado com o operador em campo, posicionando o equipamento na superfície demarcada e no sentido do fluxo de tráfego. Para cada faixa de demarcação, é necessário definir 3 estações de medição (com mais de 2 km de espaçamento entre si), e em cada estação, deve-se anotar, pelo menos, 10 medições. Os segmentos devem ter, no mínimo 300m, e no máximo 10km, devendo ser divididos em novos segmentos inferiores a 10 km, caso ultrapassem o tamanho máximo. A retrorrefletividade da estação corresponde à média aritmética das leituras na estação, e a retrorrefletividade do segmento corresponde à média aritmética da retrorrefletividade das estações (ABNT, NBR 14723, 2013).

**Figura 2** – Equipamento retrorrefletômetro manual



Fonte: Easylux (2020)

-Equipamento Dinâmico, conforme figura 3: É acoplado a um veículo, que será utilizado para a medição. O operador deve realizar as leituras no veículo, posicionando o mesmo na faixa de demarcação a ser analisada, onde os dados serão posteriormente tratados e cada medição deve ser realizada com espaçamento máximo de 50 cm entre cada medição (ABNT, NBR 16410, 2015).

Figura 3 – Equipamento retrorrefletômetro dinâmico

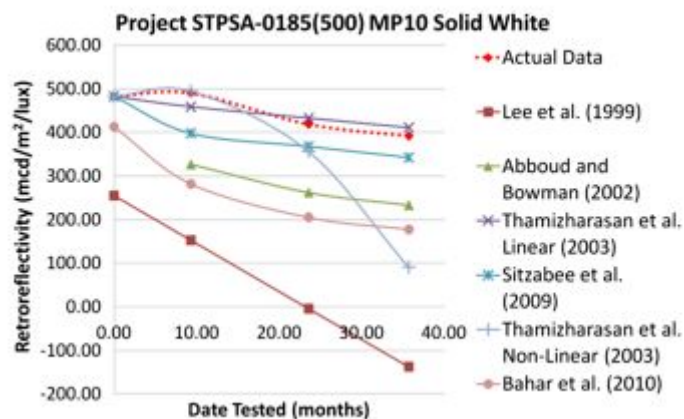


Fonte: Adaptado de Roadvista (2020)

### 2.3 MODELOS DE PREVISÃO DE PERFORMANCE

Seguindo o mesmo objetivo, de prever o desgaste nas marcações viárias, houve outros estudos de modelos de previsão anteriormente desenvolvidos. Alguns dos principais trabalhos envolvendo a previsão de performance das marcações viárias com base na queda da retrorrefletividade são os de Mull e Sitzabee (2009) e o de Thamizharasan et al (2002), que de acordo com o estudo comparativo realizado por Ozelim e Turochy (2014) unificando todos os resultados obtidos na tabela 1 dentre os principais modelos existentes, os resultados previstos mais acurados em relação ao desempenho real do segmento analisados.

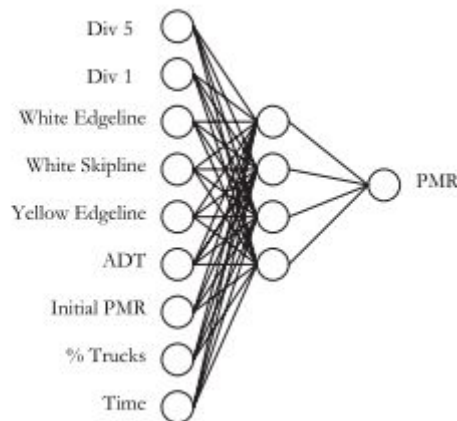
Tabela 1 – Comparação entre modelos para o projeto STPSA-0185 (500) MP10, Linhas Contínuas Brancas.



Fonte: Ozelim e Turochy (2014)

Outra interessante abordagem, no âmbito das previsões de performance da retrorefletividade foi o estudo de Karwa e Donnell (2011), utilizando algoritmos de redes neurais para analisar e prever o comportamento da retrorefletividade nas marcações viárias, onde as variáveis de entrada são: White edgeline e Yellow edgeline, que são faixas contínuas brancas e amarelas, respectivamente, yellow edgeline são faixas tracejadas amarelas, ADT é o tráfego médio diário, initial PMR é a retrorefletividade inicial, aferida com equipamento retrorefletômetro, % Trucks é o percentual médio de caminhões que passam no segmento, Div 5 e Div 1 são divisões de rodovias nos Estados Unidos e Time é o tempo, como ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Arquitetura final da rede neural desenvolvida por Karwa e Donnell (2011).



Fonte: Karwa e Donnell (2011)

Os dados recebidos dos equipamentos de medição, bem como os conceitos vistos nos trabalhos anteriores com temática semelhante são importantes para a construção metodológica deste trabalho.

### 3- Metodologia

A possibilidade de desenvolver algoritmos computacionais para auxiliar na pintura das rodovias, se dá graças a imersão constante no mundo da computação, partindo da ideia de utilizar campanhas que já foram realizadas, assim podendo organizar a logística dos pontos que será realizados as manutenções necessárias na pinturas, para otimizar o custo operacional da empresa que é responsável pela rodovia.

Utilizaremos como base para a realização do presente estudo uma saída de dados simulada, similar a tabela 2, tomando como base o aparelho retrorefletômetro dinâmico Laserlux G7, comercializado pela empresa RoadVista. O Laserlux G7 permite medir a retrorefletividade ao longo de uma faixa longitudinal com grande precisão, permitindo avaliar um segmento de acordo com as normas vigente e fornecendo a orientação estratégica para a manutenção de estradas e rodovias. Após a avaliação, o aparelho exporta arquivos no formato \*.csv, que será utilizado para realizar o estudo de previsão.

## ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - USF

**Tabela 2** – Trecho do arquivo de saída do retrorrefletômetro Laserlux G7 - Dados Simulados

| Record #  | Odomete | Date       | Time     | Latitude | Longitude | GPS Accuracy | Retro_Left_Average |
|-----------|---------|------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------------|
| 1340      | 200,000 | 03/12/2019 | 17:03:41 | -29,2569 | -49,6680  | 0,94         | 75,5               |
| (Road Cor | 200,500 | 03/12/2019 | 17:03:40 | -29,2571 | -49,6700  | 0,94         |                    |
| 1339      | 201,000 | 03/12/2019 | 17:03:36 | -29,2573 | -49,6720  | 0,95         | 73                 |
| 1338      | 201,500 | 03/12/2019 | 17:03:30 | -29,2575 | -49,6740  | 1,02         | 65,5               |
| 1337      | 202,000 | 03/12/2019 | 17:03:24 | -29,2577 | -49,6760  | 1,03         | 67,6               |
| 1336      | 202,500 | 03/12/2019 | 17:03:18 | -29,2579 | -49,6780  | 1,01         | 69                 |
| 1335      | 203,000 | 03/12/2019 | 17:03:12 | -29,2581 | -49,6800  | 1,01         | 65,9               |
| 1334      | 203,500 | 03/12/2019 | 17:03:07 | -29,2583 | -49,6820  | 1            | 62,5               |

Fonte: Autor (2020)

Os dados obtidos pela análise são dispostos de forma ordenada, de acordo com o hodômetro do veículo pela extensão da via, possuindo, além do coeficiente de retrorrefletividade de cada ponto avaliado, outras informações úteis para análises, como coordenadas geográficas de cada ponto, velocidade do veículo, condições da rodovia, dentre outras informações. Para que se possa realizar, de fato a previsão, são necessárias a realização de várias análises com espaços de tempo superiores à, no mínimo, um mês. Em todas as avaliações, o comprimento dos pontos de avaliação deve ser igual e organizado em uma planilha do Excel, conforme observamos na tabela 3, onde cada linha representa um ponto de comprimento fixo e cada coluna representa a avaliação de um determinado mês.

**Tabela 3** – Dados organizados para a importação pelo algoritmo.

|       | 1      | 6      | 11     | 16     |
|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | jan/18 | jun/18 | out/18 | mar/19 |
| 250   | 242    | 254    | 266    | 211    |
| 250,5 | 242    | 252    | 260    | 212    |
| 251   | 261    | 257    | 248    | 225    |
| 251,5 | 218    | 204    | 208    | 185    |
| 252   | 187    | 187    | 188    | 159    |
| 252,5 | 176    | 202    | 194    | 165    |
| 253   | 213    | 217    | 235    | 185    |

Fonte: Autor (2020)

Para o desenvolvimento do algoritmo de previsão utilizou-se a linguagem Python e as bibliotecas NumPy, Pandas e ScyPy, que são voltadas à análise e ordenação de dados.

A biblioteca Pandas é uma ferramenta muito útil para a extração e organização de dados, auxiliando na limpeza, transformação e análise dos dados, oferecendo inclusive funções para a leitura de arquivos do Excel, conforme figura 5, onde após importar a biblioteca, um dataframe do pandas, já com a planilha do excel carregada, é atribuída a variável “df”, e será utilizada com o intuito de ler o arquivo contendo as análises, bem como exportar os resultados. São necessários também, a definição de algumas propriedades do segmento analisado, sendo: O período em meses que deverá ser simulado, as faixas de valores para a avaliação da retrorrefletividade, o valor mínimo de retrorrefletividade até que seja necessária uma nova pintura e o valor mínimo de retrorrefletividade após a pintura.

## ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - USF

A biblioteca NumPy é utilizada principalmente para facilitar a manipulação de Arrays Multidimensionais, fornecendo uma grande quantidade de funções e bibliotecas com esse intuito. Para a construção deste algoritmo o NumPy foi utilizado para armazenar as informações da planilha e os cálculos realizados. Ao receber o objeto Dataframe (da biblioteca Pandas), o mesmo é convertido para um array do NumPy, onde serão preenchidas as lacunas (pontos onde houveram falhas de leitura e, portanto não possuem dados) e logo após, enviado para a função que, deverá retornar outro array contendo as taxas de decréscimo mensal, utilizando a fórmula de taxa de juros compostos, como visto na função lineRate, função da figura 8, onde são recebidos dois parâmetros: a linha analisada e um array com os meses. A função itera sobre os meses, avaliando se houve decréscimo entre os mesmos, neste caso mesclando o decréscimo daquele mês com a média do segmento, caso não haja decréscimo o valor da média é descartado ou considerado pintura. Ao final a média é calculada e retornada.

A biblioteca SciPy contém várias ferramentas dedicadas a problemas comuns em computação científica. Seus diferentes submódulos correspondem a diferentes aplicações, tais como interpolação, integração, otimização, processamento de imagens, estatísticas, entre outras. A biblioteca SciPy deverá ser utilizada com uma das formas de preencher as lacunas, através de interpolação linear entre os valores de pontos próximos e campanhas anteriores, conforme visto na figura 6, onde a função “fillnaInterp” recebe uma array, e após corrigir os valores do array numpy o mesmo é aplicado na função de interpolação e retornado .

Após a obtenção da taxa de decréscimo de cada segmento, o algoritmo realizará a aplicação da taxa de decréscimo para um número de meses simulados pré definido onde, ao atingir um valor mínimo de retrorrefletividade, o mês em questão será considerado como pintura, incrementando um array com a quantidade de pinturas de cada ponto dentro do período simulado e, substituindo o valor atual pela retrorrefletividade mínima após a pintura (figura 9).

Ao final do processo, os arrays resultantes são reorganizados em um objeto dataframe da biblioteca Pandas (Figura 5) e exportado para um arquivo do Excel. O algoritmo deve realizar as operações descritas para todos os bordos em cada arquivo, separando na planilha de saída pelas pastas de trabalho do Excel, bem como a quantidade de pinturas.

Outra função do algoritmo é a de parcialidade, que realiza a simulação de pinturas parciais, neste caso, o software recebe quatro parâmetros iniciais, para realizar uma análise da viabilidade e como serão divididas as campanhas de pinturas, para um melhor gerenciamento do todo envolvido no serviço a ser realizado. O software leva em consideração se a Função de Parcialidade está habilitada, que habilita a possibilidade de divisão do serviço a ser realizado; A função trabalha com percentual do parcial, que necessita que o administrador da rodovia defina a porcentagem que será pintada na primeira etapa; Automaticamente executando um suavizador, onde realizará uma compensação da porcentagem inicial, para manter o mesmo desempenho na pintura; E o último parâmetro é o tempo total que será realizado a pintura total da rodovia que necessita de reparos. Abaixo encontra-se uma explicação mais detalhada dos parâmetros de entrada.

O primeiro parâmetro define a parcialidade, onde se habilita a simulação de pinturas parciais entre as campanhas, possibilitando assim, a viabilização das equipes para realizar as campanhas com o melhor custo benefício possível. Sendo uma função que se habilita logo que se inicia a execução do software, permitindo realizar as próximas etapas.



## ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - USF

O segundo parâmetro é o percentual inicial de parcialidade, onde o responsável pela campanha dirá o percentual que será pintado durante a campanha. A variável é um número inteiro, que pode variar conforme o tempo necessário para realizar a manutenção da totalidade necessária.

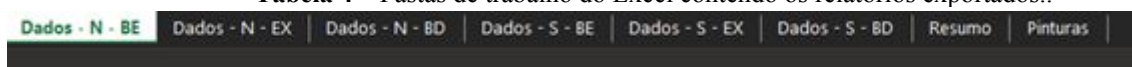
O terceiro parâmetro é o incrementador de parcialidade, que tem como objetivo manter a mesma taxa de pintura durante toda a campanha, incrementando assim, o percentual anterior de pintura. Supondo que 100 Km devam ser pintados em no máximo 10 meses e o percentual inicial é de 30%, no primeiro mês são pintados 30 Km, sobrando 70 Km, se o percentual de 30% for utilizado novamente, serão pintados somente 21 Km, para que se mantenha um ritmo constante de pinturas, utiliza-se o incrementador de parcialidade, que proverá um acréscimo na porcentagem anterior para manter a taxa de pintura constante a cada mês.

O quarto parâmetro é o número de meses até atingir a totalidade nas pinturas, sendo necessário somente manter o desgaste de cada respectivo mês.

### 4- Resultados e Discussão

O resultado da execução do algoritmo de previsão é um relatório em formato do Microsoft Excel, contendo uma pasta de trabalho para cada bordo da rodovia, uma pasta para um relatório de faixas de qualidade e uma pasta contendo os somatórios de pinturas para cada mês, como visto na tabela 4.

**Tabela 4** – Pastas de trabalho do Excel contendo os relatórios exportados..



Fonte: Autor (2020)

Os relatórios de cada bordo contém todos os valores de retrorefletividade previstos para todo o período de concessão pré-definido como parâmetro antes da execução do algoritmo de previsão, conforme a tabela 5. Também estão descritos os valores recebidos e todos os pontos onde, de acordo com o valor previsto, deveriam ser realizadas obras de pintura.

**Tabela 5** – Relatório de previsão de retrorefletividade.

| KM    | 01/01/2018 | 01/06/2018 | 01/10/2018 | 01/03/2019 | 01/04/2019 | 01/05/2019 | 01/06/2019 | 01/07/2019 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 250   | 221        | 112        | 86         | 85         | 228        | 215        | 202        | 191        |
| 250,5 | 287        | 155        | 118        | 114        | 335        | 317        | 299        | 283        |
| 251   | 344        | 171        | 127        | 142        | 159        | 146        | 135        | 124        |
| 251,5 | 338        | 199        | 161        | 164        | 131        | 124        | 350        | 331        |
| 252   | 128        | 79         | 204        | 161        | 121        | 350        | 327        | 306        |
| 252,5 | 98         | 90         | 235        | 198        | 326        | 316        | 306        | 297        |
| 253   | 104        | 75         | 263        | 213        | 221        | 209        | 199        | 188        |
| 253,5 | 86         | 69         | 184        | 189        | 104        | 350        | 325        | 303        |
| 254   | 111        | 146        | 292        | 288        | 259        | 251        | 243        | 236        |
| 254,5 | 102        | 135        | 176        | 213        | 304        | 295        | 286        | 278        |
| 255   | 121        | 104        | 218        | 315        | 354        | 343        | 333        | 323        |

Fonte: Autor (2020)

O relatório de faixas de qualidade mostra a extensão total do estado geral da rodovia, no que tange a qualidade, dividido em faixas de qualidade que se baseiam nos valores de faixa que, foram também pré-definidos antes da execução do programa. Os valores são descritos para cada mês. Por último, conforme a tabela 6, o relatório possui uma pasta de trabalho

contendo o somatório mensal da extensão que, supostamente deveria ser pintada, de acordo com os valores previsto.

**Tabela 6** – Relatório de faixas de qualidade.

| 0      | 1    | 2     | 3      | 4     | 5      | 6      | 7     | 8    |
|--------|------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|------|
| 37     | 28,5 | 21,5  | 14,5   | 11,5  | 10     | 10     | 8,5   | 7,5  |
| 119,5  | 1978 | 2028  | 1866,5 | 1599  | 1340,5 | 1091,5 | 898,5 | 745  |
| 262    | 235  | 250   | 443,5  | 724,5 | 932,5  | 1062   | 1129  | 1145 |
| 508,5  | 460  | 418,5 | 398,5  | 402,5 | 453    | 567    | 697   | 787  |
| 1864,5 | 109  | 92,5  | 87,5   | 73    | 74,5   | 80     | 77,5  | 126  |
| 24     | 0    | 0     | 0      | 0     | 0      | 0      | 0     | 0    |

Fonte: Autor (2020)

Como forma de otimizar os dados exportados e permitir uma melhor visualização do investimento total e mensal durante o período de tempo a ser analisado, o trabalho apresenta possui uma última etapa, que consiste na organização dos dados em um relatório final de investimento. Para a construção do relatório, os somatórios de trechos pintados foram organizados em uma nova planilha e transformados em área. Para descobrir o valor gasto em cada mês, foi multiplicado o valor por metro<sup>2</sup> pela área total pintada em cada mês. Também foram descritos os valores acumulados para cada mês, e para os valores acumulados, foi gerado um gráfico mostrando o investimento ao longo do tempo.

**Figura 5** – Importação do arquivo Excel utilizando a framework Pandas.

```

1  import pandas as pd
2
3  df = pd.read_excel(
4  |         fileImport, sheet_name=sheet, header=None)
5  data = df.values
6
7

```

Fonte: Autor (2020)

**Figura 6** – Reorganização da matriz utilizando Numpy onde logo após será convertida para um dataframe Pandas.

```

1  import numpy as np
2
3  dt = np.c_[points, dt]
4  dates = np.insert(dates,0,0)
5  dt = np.vstack((dates[None, :],dt[:, :]))
6
7

```

Fonte: Autor (2020)

Figura 7 – Função responsável por realizar a interpolação das lacunas.

```
1 import numpy as np
2 from scipy import interpolate
3
4 def fillnaInterp(A):
5     x = np.arange(0, A.shape[1])
6     y = np.arange(0, A.shape[0])
7
8     dt = np.ma.masked_invalid(A)
9     xx, yy = np.meshgrid(x, y)
10
11     x1 = xx[~A.mask]
12     y1 = yy[~A.mask]
13     newarr = A[~A.mask]
14
15     return interpolate.griddata((x1, y1), newarr.ravel(),
16                               (xx, yy),
17                               method='linear')
18
19
```

Fonte: Autor (2020)

O código na figura 5 apresenta um exemplo de uso da biblioteca pandas, onde na linha 1 a biblioteca é importada. Na linha 3 a função “read\_excel” da biblioteca é utilizada, onde receberá o endereço de um arquivo do excel juntamente com o nome da pasta de trabalho que deverá ser importada, assim abrirá o arquivo e retornará um dataframe o qual será armazenado na variável “df”, e logo após na linha 5 esse mesmo dataframe será convertido para um array e armazenado na variável “data”.

A figura 6 demonstra o uso da biblioteca Numpy, que é importada na primeira linha e na linha 3 realiza a concatenação vertical de arrays utilizando ferramentas da biblioteca. Na linha 4 a variável “dates” recebe um array contendo os meses analisados que são concatenados ao array “dt” na linha 5. Outro código apresentado é o da figura 7, que apresenta a função “fillnaInterp”, que recebe um array com valores de retrorrefletividade, e após efetuar correções no array realiza, a interpolação linear nos pontos em que não exista leituras de retrorrefletividade, com auxílio da biblioteca scipy.

Figura 8 – Função responsável por calcular a taxa de decréscimo da retrorrefletividade de um segmento.

```

1 def lineRate(analizedLine, times):
2     taxa = 0
3     ctr = 0
4     arrTaxa = []
5     for i in range(len(analizedLine)-1):
6         if analyzedLine[i] > 0 and analyzedLine[i+1] > 0:
7             if analyzedLine[i+1] < analyzedLine[i]:
8                 FV = analyzedLine[i+1]
9                 PV = analyzedLine[i]
10                n = times[i+1] - times[i]
11
12                k = 0
13                for k in range(n):
14                    taxa = taxa+(((FV/PV)**(1/n))-1)
15                    arrTaxa.append(((FV/PV)**(1/n))-1)
16                ctr = ctr+n
17            elif abs(1-(analyzedLine[i+1]/analyzedLine[i])) < percentualDelimitador(analizedLine[i]):
18                n = times[i+1] - times[i]
19                for k in range(n):
20                    arrTaxa.append(0)
21                ctr = ctr+n
22
23        if ctr > 0:
24            return taxa/ctr
25        else:
26            return 0
27

```

Fonte: Autor (2020)

A função “lineRate” realiza uma das principais tarefas do algoritmo: Definir a taxa de decréscimo em um segmento. Para realizar a tarefa, primeiro são definidas algumas variáveis auxiliares: “taxa”, que armazena o total de decréscimos válidos, para posteriormente tirar a média; “ctr”, que armazena o divisor da média e “arrTacha”, que armazena um array com as taxas de decréscimo válidas. O laço da linha 5 é responsável por iterar entre os itens do array contendo os valores de retrorrefletividade (“analyzedLine”). A estrutura condicional da linha 6 simplesmente verifica se o valor atual e o valor subsequente são maiores que 0, caso contrário o ponto é desconsiderado. Na linha 7 encontra-se uma estrutura condicional, responsável por verificar se, de fato, há um decréscimo entre o mês analisado e o mês seguinte. Caso a condição da linha 7 seja verdadeira então será calculada e atribuídos os valores a serem utilizados. A variável “FV” na linha 8 recebe o valor do mês seguinte, “PV” recebe o valor do mês atual e “n” recebe o tempo, em meses, entre as duas leituras. O cálculo do decréscimo entre as duas leitura é realizado da linha 13 até a linha 15, onde o laço da linha 13 irá iterar todos os meses entre as duas leituras, incrementando a variável taxa com o cálculo da função exponencial na linha 14, e logo após, cada valor incrementado é adicionado ao array “arrTaxa” na linha 15. A cada iteração a variável de controle do divisor é incrementada.

Caso a condição na linha 7 seja falsa, na linha 17, será avaliado se o acréscimo se trata de uma pintura ou de uma pequena variação entre as leituras devido à alguma condição externa (como sujeira ou condição climática). Em caso de condição climática, o valor é contabilizado como nulo, para aumentar a taxa de decréscimo, ou ignorado, em caso de pintura.

Ao final, na linha 23, encontra-se uma estrutura condicional para verificar se a variável “ctr” é maior do que zero, com o objetivo de evitar a divisão por zero, ocasionando erro. Caso a condição seja verdadeira, a média de decréscimo é calculada e retornada, caso seja falsa o valor retornado será 0, pois não houve decréscimo válido aferido nas leituras.

**Figura 9** – Função responsável por aplicar a taxa de decréscimo para cada segmento.

```

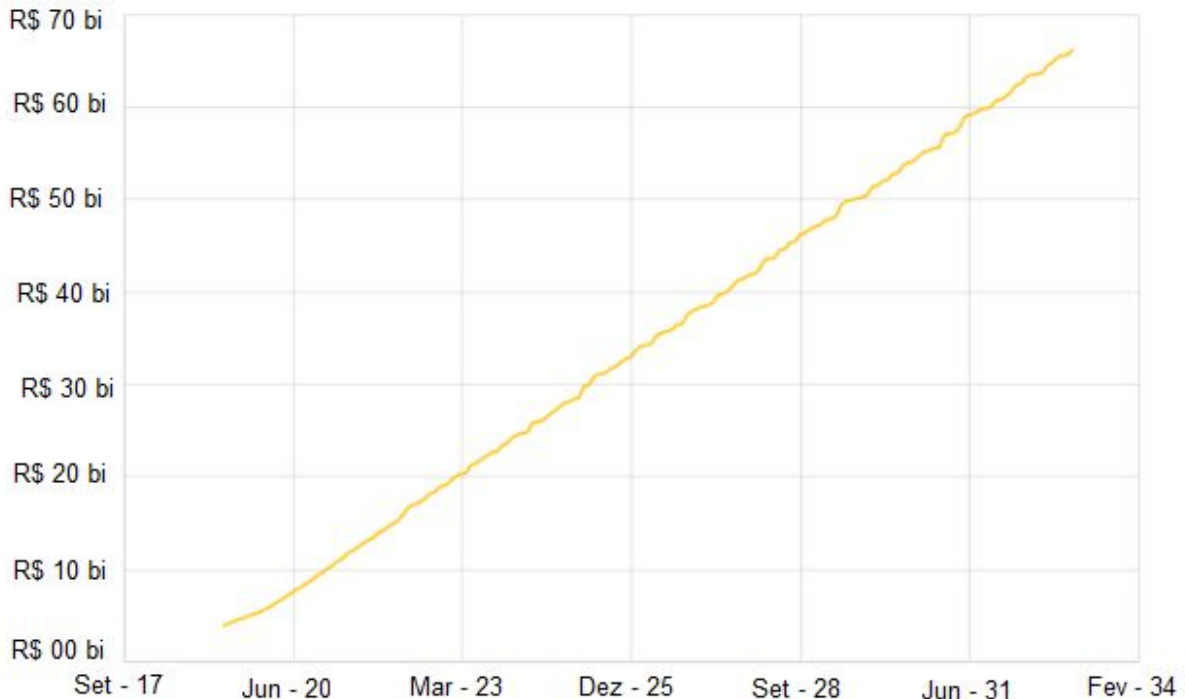
1  def rateApply(analizedLine, times, endTime, rate):
2      lastValue = 0
3      lastTime = 0
4      for i in range(len(analizedLine)-1, 0, -1):
5          if analyzedLine[i] > 0:
6              lastValue = analyzedLine[i]
7              lastTime = endTime-times[i]
8              break
9      return (lastValue*(1+(rate))**(lastTime))
10
11

```

Fonte: Autor (2020)

Outra função importante no algoritmo é a “rateApply”, apresentada na figura 9, responsável por aplicar a taxa de decréscimo ao último valor válido da linha recebida. O funcionamento da função é bem simples, após a declaração das variáveis auxiliares “lastValue” e “lastTime”, o laço na linha 4 irá iterar nos itens do array “analyzedLine” na ordem inversa, até encontrar o último valor maior que zero. Ao encontrar, são atribuídos os valor de retrorrefletividade e o mês da leitura nas variáveis “lastValue” e “lastTime”, respectivamente. Ao final, na linha 9, o valor de retrorrefletividade já decrescido da taxa é calculado e retornado.

**Tabela 7** – Gráfico de investimento acumulado.



Fonte: Autor (2020)

Ao final, conforme a tabela 7, é gerado uma curva, contendo os valores de investimento acumulado, em relação ao tempo total previamente determinado, representando o investimento com a sinalização durante o contrato de concessão. Entretanto, a previsão dos valores de investimento em sinalização horizontal é somente uma das possíveis aplicações dos resultados gerados pelo algoritmo, sendo possível também utilizar o algoritmo em estudos relacionados a materiais, estratégias em obras, novos equipamentos, dentre outras possibilidades.

## **5- Conclusão**

Como visto, a sinalização horizontal tem uma grande importância no que tange à pavimentação aplicada em rodovias, e a previsão do desgaste na retrorrefletividade das vias pode trazer diversas possibilidades de aplicações, tanto em aspectos financeiros e administrativos às empresas concessionárias de vias, quanto em possíveis estudos relacionados à demarcação viária. Visualizando esse norte, o presente estudo apresentou uma abordagem para que se realize a predição da queda da retrorrefletividade em pinturas utilizando algoritmos computacionais.

Foram realizados estudos, de outros autores, com este mesmo propósito de prever a queda da retrorrefletividade em um período de tempo, através do uso de modelos matemáticos e redes neurais. O presente trabalho porém, apresenta uma abordagem diferente, utilizando o crescimento médio de pequenos trechos para prever a evolução do desgaste.

Utilizando aparelhos retrorrefletômetro dinâmicos para a aquisição dos valores de retrorrefletividade atual em um segmento, os valores são organizados em relação ao tempo para a obtenção de um valor de decréscimo médio para pequenos trechos de tamanhos fixos, que serão aplicados em um determinado período de tempo, levando em consideração a possibilidade de pinturas periódicas, sendo possível estimar o valor gasto com sinalização horizontal no período de tempo em questão.

Após a execução do algoritmo, é gerado um relatório contendo os resultados, onde são apresentadas os desgastes em relação aos meses do período de tempo avaliado, os meses em que foram realizadas pinturas, a distância total dos segmentos repintados em cada mês, e todas essas informações estão separadas pelo respectivo bordo. Tendo em mãos estes resultados, é possível fazer o uso dos mesmos nas mais diversas aplicações.

No atual contexto, a utilização de algoritmos computacionais para a predição do desgaste na sinalização horizontal se faz de grande utilidade, em diversos aspectos administrativos e acadêmicos, bem como a abordagem utilizada no presente estudo para a aquisição dos resultados, a qual pode ser modificada com o objetivo de realizar aprimoramentos ou também adaptá-la a um novo propósito.

## **6- Referências Bibliográficas**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14723 2013. Sinalização horizontal viária - Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento manual com geometria de 15 m, [S. l.], 28 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16410 2015. Sinalização horizontal viária - Avaliação da retrorrefletividade utilizando equipamento dinâmico com geometria de 15 m ou 30 m, [S. l.], 9 dez. 2015.

CONTRAN. Manual Brasileiro de Sinalização Horizontal vol IV. [S. l.: s. n.], 2007.

DNIT. DNIT 100/2017 – ES. Obras complementares – Segurança no tráfego rodoviário – Sinalização horizontal – Especificação de serviço, [S. l.], 1 ago. 2017.

KARWA, Vishesh; DONNELL, Eric T. Predicting Pavement Marking Retroreflectivity Using Artificial Neural Networks: Exploratory Analysis. *Journal of Transportation Engineering*, [s. l.], 2011.

MACHADO, Deise. Estudo da Durabilidade da Sinalização Horizontal em Pavimentos Asfálticos Rodoviários. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2019.

MULL, Dale M.; SITZABEE, William E. Paint Pavement Marking Performance Prediction Model. *Journal of Transportation Engineering*, [s. l.], 2012.

OZELIM, Luana; TUROCHY, Rod E. Modeling Retroreflectivity Performance of Thermoplastic Pavement Markings in Alabama. *Journal of Transportation Engineering*, [s. l.], 2014.

SCHWAB, Maria Selma Freitas. Estudo do desempenho dos materiais de demarcação viário retrorrefletivos. 1999. Dissertação (Mestrado) - Rede Temática em Engenharia de Materiais, [S. l.], 1999.