



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIELY CAROLINE ALCOLUMBRE REZENDE

**Avaliação da incorporação de material luminescente alternativo no  
revestimento de pavimentos flexíveis para condições de visibilidade noturna.**

Macapá – AP

2023



JULIELY CAROLINE ALCOLUMBRE REZENDE

**Avaliação da incorporação de material luminescente alternativo no revestimento de pavimentos flexíveis para condições de visibilidade noturna.**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: **Me. Adenilson Costa de Oliveira**

Macapá – AP

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

---

R467 Rezende, Juliely Caroline Alcolumbre.

Avaliação da incorporação de material luminescente alternativo no revestimento de pavimentos flexíveis para condições de visibilidade noturna / Juliely Caroline Alcolumbre Rezende. - Macapá, 2023.

1 recurso eletrônico. 57 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2023.

Orientador: Adenilson Costa de Oliveira.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Materiais Luminescentes. 2. Sinalização Viária. 3. Pavimentos Flexíveis. I. Oliveira, Adenilson Costa de, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 624

---

REZENDE, Juliely Caroline Alcolumbre. **Avaliação da incorporação de material luminescente alternativo no revestimento de pavimentos flexíveis para condições de visibilidade noturna.** Orientador: Adenilson Costa de Oliveira. 2023. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autora: REZENDE, Juliely Caroline Alcolumbre.

Título: Avaliação da incorporação de material luminescente alternativo no revestimento de pavimentos flexíveis para condições de visibilidade noturna.

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: 20 / 09 / 2023

### Banca examinadora

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ADENILSON COSTA DE OLIVEIRA  
Data: 26/09/2023 15:49:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Adenilson Costa de Oliveira**  
Mestre em Engenharia Civil  
Universidade Federal do Amapá

Presidente/  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** CRISTINA MARIA BADDINI LUCAS  
Data: 27/09/2023 12:47:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Cristina Maria Baddini Lucas**  
Mestre em Engenharia Civil  
Universidade Federal do Amapá

Membro Titular

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUIS HENRIQUE RAMBO  
Data: 27/09/2023 09:20:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Luis Henrique Rambo**  
Mestre em Engenharia Civil  
Universidade Federal do Amapá

Membro Titular



Dedico este trabalho a  
minha família, em especial  
ao meu anjo que me  
acompanha: Vovó Maria  
Barbosa.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, em especial aos meus pais, que desde sempre me incentivaram a estudar e apoiaram minhas escolhas. A compreensão de vocês ao longo de toda a minha trajetória acadêmica até aqui foi fundamental para que eu não desistisse. À minha irmã Jonaly Alcolumbre, que dedicou parte do seu tempo para me auxiliar do início até a conclusão deste trabalho, não tenho palavras para expressar o quanto tu fostes valiosa. Sem o teu apoio, eu estaria perdida. Muito obrigada!

Quero também agradecer aos meus colegas de curso. Ao Leon Gonçalves, que me incentivou e ajudou quando enfrentei dificuldades, as tardes de estudo na biblioteca, fizeram toda a diferença na minha jornada acadêmica. Ao Marcos Sanches, que nunca deixou ninguém desamparado durante o curso e que sempre estava disposto a ajudar. À Larissa Almeida, Matheus Ferraro, Alexis Leite e Arthur Germano, o grupo oficial dos “trabalhos em grupo” e que apesar do estresse (risos), compartilhamos muitas vivências. A todos vocês, meus amigos, vocês foram uma parte fundamental da minha história dentro e fora da universidade.

Quero estender meus agradecimentos ao meu namorado, Jhonatan Duarte, por todo o incentivo e compreensão ao longo desses anos, especialmente nesta fase final. Agradeço por ser tão incrível para mim!

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Adenilson Oliveira, que desempenhou um papel fundamental para que este trabalho se tornasse realidade, superando todos os desafios que enfrentamos durante o processo, e por não ter desistido de mim (risos). Obrigada, professor!

Por fim, mas não menos importante, desejo agradecer à Universidade Federal do Amapá e ao corpo docente do curso de engenharia civil por proporcionarem um vasto conhecimento ao longo destes anos.

Vovó, este trabalho é dedicado a você.

## RESUMO

Os materiais luminescentes, quando usados para fins decorativos, possuem aplicabilidade consolidada, como no caso de ornamentação de aquários, jardins ao ar livre, gramados, sinalizações de saída de emergência e passarelas. Esses materiais são formado por resinas sintéticas, sem impacto ambiental, cuja luminescência é obtida de forma natural, sem necessidade de eletricidade. Entretanto, dentro das Engenharias, sua aplicação é pouco frequente, principalmente no contexto de infraestrutura viária. Considerando tal cenário, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar a utilização e a viabilidade do uso desses materiais para fins de sinalização viária horizontal. Para fins de estudo, foram realizados ensaios em corpos de prova de CBUQ com a incorporação de três materiais distintos: Pedras luminosas com granulometria equivalente a um agregado graúdo; Pedras luminescentes com granulometria equivalente a um agregado miúdo; Pintura com tinta luminescente tipo Glow Corion, visando avaliar o comportamento da luminosidade dos corpos de prova ao longo do tempo, após cessado a exposição a luz natural. Os resultados encontrados demonstraram que, dentre os materiais empregados, a pintura com a tinta Glow Corion aplicada à superfície do corpo de prova apresentou melhores resultados, com boa aderência a superfície. A duração máxima observada do brilho foi de aproximadamente 780 minutos, destes quais os primeiros 5 minutos apresentaram brilho intenso com decaimento progressivo da fosforescência.

**Palavras-Chave:** Materiais Luminescentes. Sinalização Viária. Pavimentos Flexíveis.

## ABSTRACT

Luminescent materials, when used for decorative purposes, have a well-established applicability, such as in the ornamentation of aquariums, outdoor gardens, lawns, emergency exit signs, and walkways. These materials are composed of synthetic resins with no environmental impact, and their luminescence is naturally obtained without the need for electricity. However, within the field of engineering, their application is infrequent, especially in the context of road infrastructure. Considering this scenario, the present study aims to evaluate the utilization and feasibility of using these materials for horizontal road signage. For the purposes of this study, tests were conducted on specimens of CBUQ (Conventional Bituminous Concrete Mix) incorporating three different materials: luminous stones with granulometry equivalent to coarse aggregate, luminous stones with granulometry equivalent to fine aggregate, and painting with luminescent Glow Corion paint. The objective was to assess the luminosity behavior of the specimens over time after exposure to natural light ceased. The results obtained demonstrated that among the materials tested, the application of Glow Corion paint to the surface of the specimen yielded the best results, with good surface adhesion. The maximum observed duration of brightness was approximately 780 minutes, with the first 5 minutes displaying intense brightness followed by a progressive decay of phosphorescence.

**Keywords:** Luminescent Material. Road Signage. Flexible Floors.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
4.1 SINALIZAÇÃO VIÁRIA.....	15
4.1.1 SOLUÇÕES CONVENCIONAIS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL....	17
4.1.1.1 Tintas .....	18
4.1.1.2 Dispositivos auxiliares: Tachões .....	18
4.2 SINALIZAÇÃO FOTOLUMINESCENTE .....	19
4.3 MISTURA ASFÁLTICA.....	20
4.3.1 Agregados.....	21
4.3.1.1 Agregado Graúdo.....	22
4.3.1.2 Agregado Miúdo.....	22
4.3.2 Betume.....	22
4.3.3 Mistura Betuminosa .....	23
4.3.3.1 Mistura Betuminosa a Quente.....	24
4.4 MATERIAL LUMINESCENTE .....	24
4.5 APLICAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL .....	26
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
5.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	29
5.2 PROCEDIMENTOS.....	30
5.2.1 Fracionamento dos Agregados .....	30
5.2.1.1 Agregado Graúdo (Experimento I) .....	30
5.2.1.2 Agregado Miúdo (Experimento II).....	34
5.2.3 Pintura dos Corpos de prova (Experimento III) .....	41
5.2.4 Teste de Luminescência.....	43
<b>5. RESULTADOS</b> .....	45
5.1 AGREGADO LUMINESCENTE GRAÚDO (EXPERIMENTO I) .....	45
5.2 AGREGADO LUMINESCENTE GRAÚDO (EXPERIMENTO II) .....	46
5.3 TESTES DE LUMINESCÊNCIA (EXPERIMENTO III) .....	47

<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	52
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

A sinalização viária assume um papel de destaque durante as horas noturnas, quando a visibilidade se reduz e os desafios para a navegação nas vias públicas se intensificam. A sinalização viária noturna, caracterizada por elementos luminosos estrategicamente posicionados, desempenha um papel de suma importância na promoção da segurança e na eficácia do tráfego rodoviário durante a escuridão.

De acordo com o Centro de Policiamento de Trânsito de São Paulo, 38% dos acidentes em estradas ocorrem no período noturno. As complexidades associadas à condução noturna são evidenciadas não somente através das estatísticas, mas também respaldadas pela perspectiva científica. O diretor de Comunicação da ABRAMET (Associação Brasileira de Medicina de Tráfego), Dirceu Rodrigues, salienta que a capacidade de visão periférica é significativamente reduzida, resultando em um campo de visão mais estreito e indistinto. (Estradas, 2023)

Salete Romero, especialista em psicologia de tráfego, destaca um outro fator complicador associado à direção noturna: o fenômeno do lusco-fusco, que representa a transição entre o período diurno e noturno. Esse fenômeno interfere na nossa capacidade visual, pois nosso sistema visual necessita de tempo para se adaptar às mudanças na luminosidade que ocorrem nesse intervalo. (Estradas, 2023)

Dentre os elementos de sinalização viária, destaca-se a marcação horizontal, responsável por indicar faixas de tráfego, áreas de pedestres e outros pontos de referência nas vias. Atualmente, a maioria das marcações é feita utilizando tintas refletivas ou termoplásticas, que dependem da iluminação externa para serem visualizadas, especialmente durante a noite ou em condições de baixa luminosidade. Essa dependência da luz externa pode comprometer a visibilidade e a eficácia da sinalização, principalmente em áreas com pouca iluminação artificial ou em condições climáticas adversas.

Com os avanços do aquecimento global, a tecnologia tem voltado seu olhar para a sustentabilidade e o benefício de usar materiais que promovam meios para que se alcance um equilíbrio do uso da natureza.

Com o progresso da tecnologia, materiais luminescentes têm emergido como uma alternativa promissora para aprimorar a eficiência e a visibilidade da sinalização

viária horizontal em rodovias e vias pedestres. Esses materiais possuem a capacidade de emitir luz própria, o que os torna visíveis mesmo na ausência de iluminação externa. Além disso, alguns materiais luminescentes possuem propriedades autossustentáveis, não necessitando de fontes de energia externas para manter sua luminosidade.

Em Eindhoven, uma cidade localizada no Sul da Holanda, há uma ciclovia iluminada, que foi inspirada na obra “Starry Night” (Figura 1), do pintor holandês Vicente Van Gogh, inaugurada em 12 de novembro de 2014, desenvolvida por um designer holandês Daan Roosegaarde.

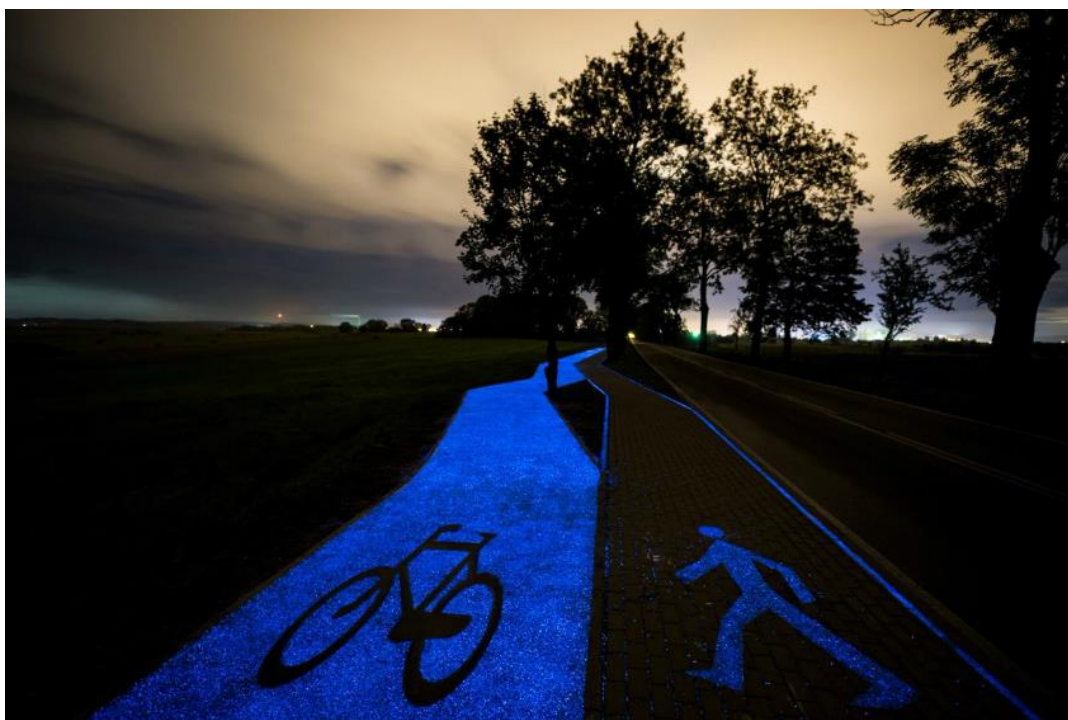
**Figura 1** – Ciclovia iluminada “Starry Night”.



Fonte: Studio Roosegaarde.

Seguindo o viés de segurança e sustentabilidade, foi criada em Mazury, na Polônia, uma ciclovia iluminada, inspirada na “Starry Night” (Figura 2), utilizando-se de um material sintético que possui propriedades luminescentes, que absorve energia durante o dia e acende durante a noite, visto que para muitos poloneses as bicicletas são uma forma primária de transportes.

**Figura 2** – Ciclovía iluminada, Mazury.



Fonte: Follow the colours.

No Brasil, não possui nenhuma cidade com a ciclovía iluminada, porém a temática foi abordada na 2ª Edição do Desafio Profissional da Universidade Cesumar, em Maringá, no Paraná, com alguns alunos do 7º semestre de arquitetura, que idealizaram um projeto chamado “Magic Avenue”, que consiste na intervenção da Avenida Presidente Afonso Camargo, localizada no Paraná, uma importante via da capital paranaense, para o ano de 2030 e uma das propostas desse projeto, é a implementação da ciclovía iluminada, inspirada, também, na “Starry Night”.

As rodovias brasileiras representam uma infraestrutura vital para o desenvolvimento econômico e social do país. No entanto, apesar da importância estratégica dessas vias, o Brasil enfrenta desafios significativos em relação à qualidade e segurança de suas rodovias, como falta de manutenção adequada, deficiências na sinalização viária e congestionamentos frequentes afetam a eficiência e a segurança do sistema rodoviário brasileiro.

Diante disso, através dos ensaios experimentais, é possível analisar a aplicabilidade do material luminescente e a viabilidade de seu uso como agregado de pavimento flexível destinado a sinalização viária horizontal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho consiste em realizar ensaios experimentais com a finalidade de avaliar o desempenho do brilho do material luminescente ao longo do tempo, quando incorporado superficialmente ao corpo de prova de CBUQ, e seu potencial quando utilizado para melhoria da visibilidade e sinalização viária noturna.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar uma pesquisa na literatura sobre materiais luminescentes;
- Verificar as propriedades da mistura obtida a partir da incorporação de material luminescente em corpos de prova de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente);
- Avaliar o desempenho do material luminescente incorporado à mistura betuminosa em CBUQ.



### 3. JUSTIFICATIVA

A importância da sinalização viária noturna no contexto das vias urbanas e rodovias é incontestável, dada a sua função vital de promover a segurança e a fluidez do tráfego durante as horas de escuridão.

A visibilidade noturna é naturalmente limitada, e fatores como a falta de luz natural, condições climáticas adversas e variações na iluminação pública podem impactar negativamente a capacidade dos condutores de identificar informações cruciais nas vias.

De acordo com CNT (2018), os dados revelaram que a principal razão para as tragédias em ocorrências de tráfego está associada à insuficiente sinalização. Adicionalmente, foi constatado que em 47,7% dos incidentes fatais, estes ocorreram em áreas onde a marcação da faixa central encontra-se apagada ou simplesmente não existe. Foi igualmente observado que a ausência de sinalização apropriada nas margens das estradas desempenha um papel crucial, contribuindo para cerca de 49,5% dos incidentes com vítimas e 53,5% das mortes.

Dentro da Engenharia de Transportes e Materiais, surge a motivação de avaliar novas soluções que podem ser incorporadas à pavimentação convencional visando proporcionar a sustentabilidade e principalmente melhorar as condições de visibilidade durante a noite, proporcionando uma melhor condição de dirigibilidade em vias com ausência de iluminação artificial noturna.

Materiais luminescentes têm a capacidade de absorver e armazenar energia luminosa, liberando-a gradualmente no escuro. Isso resulta em uma sinalização mais visível durante a noite, permitindo que os condutores identifiquem sinais, marcações e obstáculos com maior clareza, contribuindo para uma condução mais segura.

Tem-se assim, como proposta deste trabalho, avaliar a utilização do material luminescente, considerando como hipótese básica que o material incorporado pode promover a diminuição do consumo de energia, visto que o material é auto suficiente e se utiliza de uma fonte de energia limpa e renovável que é a luz solar para recarregar. Pretende-se verificar se o material consegue manter um baixo nível de luz durante 6 horas, de forma a melhorar a visibilidade noturna viária.



## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico tem como objetivo apresentar informações reunidas sobre os conceitos mais importantes acerca da importância da sinalização viária noturna e introduzir a cerca dos materiais que compõem os pavimentos flexíveis.

### 4.1 SINALIZAÇÃO VIÁRIA

A sinalização viária abrange diferentes componentes, como elementos horizontais, verticais e auxiliares, que desempenham papéis essenciais na regulamentação, advertência e orientação dos usuários da via, visando criar um ambiente de tráfego seguro e confortável (FUJII, 2017).

Conforme o “Manual de Sinalização Rodoviária” do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010), a sinalização deve conquistar a atenção e confiança do usuário, permitindo um tempo de reação adequado. A escolha correta das dimensões e posicionamentos dos sinais depende de fatores como características físicas da rodovia, velocidade operacional, características da região e ocupação lateral da via. Portanto, o processo de oferecer uma sinalização adequada envolve considerar todos esses aspectos (p. 35).

Conforme dados apresentados pela Confederação Nacional de Transportes – CNT (2018), verificou-se que a inadequação da sinalização é a principal causa de fatalidades em acidentes de trânsito. Além disso, constatou-se que 47,7% dos acidentes e mortes ocorrem em trechos onde a pintura da faixa central está desgastada ou inexistente. Também foi identificado que a falta de sinalização adequada nas laterais das vias contribui para a concentração de 49,5% dos acidentes com vítimas e 53,5% das mortes.

Ainda de acordo com os dados apresentados pela CNT (2018), trechos de rodovias federais com sinalização deficiente apresentaram maior índice de mortes por acidentes, com 11,4 mortes a cada 100 acidentes. Em contrapartida, trechos com sinalização adequada registraram 10,4 mortes por 100 acidentes. A gravidade dos acidentes foi ainda maior nos trechos com sinalização ruim e péssima, chegando a 13,0 mortes por 100 acidentes. Por outro lado, trechos com sinalização ótima registraram o menor índice, com 8,5 mortes por 100 acidentes. Esses resultados



destacam a importância de investimentos na melhoria da sinalização, pois trechos com sinalização problemática apresentaram um índice de gravidade 52,9% maior do que aqueles com sinalização adequada.

De acordo com o "Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV" do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2007), a sinalização horizontal (Figura 3) tem como objetivo fornecer informações aos usuários das vias, a fim de que adotem comportamentos adequados, aumentando a segurança e fluidez do trânsito, ordenando o fluxo de tráfego, canalizando e orientando os usuários. Além disso, a sinalização horizontal possui a capacidade de transmitir mensagens aos condutores e pedestres, possibilitando sua percepção e compreensão, sem desviar a atenção do leito da via (p. 3).

**Figura 3 – Sinalização horizontal.**



Fonte: Sinal center.

Ainda de acordo com as considerações feitas pelo CONTRAN (2007), é possível inferir que a sinalização horizontal desempenha diversas funções benéficas para o trânsito. Ela otimiza a utilização do espaço viário disponível, proporciona maior segurança em situações desfavoráveis, como neblina, chuva e noite, contribui para a diminuição de acidentes e comunica mensagens importantes tanto aos condutores quanto aos pedestres. No entanto, é importante salientar que essa forma de sinalização apresenta algumas limitações, como a redução de durabilidade em casos de tráfego intenso e a visibilidade comprometida em condições de neblina, pavimento



molhado, sujeira ou alto fluxo de veículos. (p. 6)

É essencial salientar a relevância da sinalização horizontal como guia para o tráfego noturno, pois ela proporciona aos usuários a clara demarcação das faixas de rolamento. Sem essa demarcação, a visualização adequada da pista da rodovia se torna difícil. Portanto, é fundamental que a sinalização horizontal seja implementada em novos segmentos de pista ou recapeamentos antes de sua liberação ao tráfego. (DNIT, 2010)

Em conformidade com o Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo - DER/SP (2006), a tinta utilizada para sinalização viária horizontal consiste em uma combinação de resina, solventes, cargas e aditivos, resultando em um composto líquido que, ao secar, forma uma camada sólida, opaca e aderente à superfície, sem causar efeitos nocivos ao revestimento. É importante que a tinta possibilite a adição de microesferas de vidro, de forma a conferir ao material características que atendam ao propósito ao qual se destina. Para garantir a qualidade, as tintas devem estar em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 13699. (DER/SP, 2006).

#### **4.1.1 SOLUÇÕES CONVENCIONAIS DE SINALIZAÇÃO HORIZONTAL**

Conforme a CONTRAN (2022), a sinalização horizontal tem o objetivo de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança e fluidez do trânsito, ordenar o fluxo de tráfego, canalizar e orientar os usuários da via. Por esse motivo a sinalização deve ser reconhecida e compreendida por todo usuário, independentemente de sua origem ou da frequência com que utiliza a via.

O CONTRAN (2022) destaca a importância dessa sinalização, pois ela permite o melhor aproveitamento do espaço viário disponível, maximizando seu uso, aumenta a segurança em condições adversas tais como: neblina, chuva e noite e auxilia na redução de acidentes.



#### **4.1.1.1 Tintas**

Segundo a CONTRAN (2022) inúmeros tipos de materiais podem ser aplicados na execução da sinalização horizontal. A seleção do material deve considerar os seguintes fatores: natureza do projeto (provisório ou permanente), volume e classificação do tráfego (VDM), qualidade e vida útil do pavimento, frequência de manutenção, dentre outros.

Ainda acrescenta CONTRAN (2022), que podem ser utilizadas na sinalização viária tintas, massas plásticas de dois componentes, massas termoplásticas, plásticos aplicáveis a frio, películas pré fabricadas, dentre outros. E para fornecer uma melhor visibilidade noturna a sinalização horizontal deve ser sempre retrorrefletiva.

A norma NBR 11862 estabelece requisitos para tintas acrílicas usadas na demarcação de vias. Essas tintas devem ser aplicadas em pavimentos de concreto asfáltico ou blocos de concreto, sem apresentar sedimentos após a abertura. Elas precisam permitir rejuvenescimento com novas camadas, aplicar em temperaturas entre 5°C e 40°C, e ter consistência adequada para máquinas. A aplicação deve cobrir o pavimento perfeitamente, secar em até 30 minutos, manter coesão e cor, e criar uma película uniforme e aderente, sem fissuras. Embalagens devem conter informações específicas. A conformidade com a NBR 11862 é necessária para a tinta à base de resina acrílica utilizada na demarcação viária.

Além disso a CONTRAN (2022) declara que a escolha do material utilizado para sinalização necessitam, obrigatoriamente, proporcionar um coeficiente de atrito adequado para assegurar a segurança aos usuários, especialmente em situações críticas de superfície molhada, não sendo permitida a aplicação de tintas de baixa aderência (como por exemplo a tinta preta simples) nem mesmo em sinalizações provisórias e/ou temporárias ou para cobrir sinalizações horizontais antigas.

#### **4.1.1.2 Dispositivos auxiliares: Tachões**

De acordo com a CONTRAN (2022) os dispositivos delimitadores são



extremamente importantes à noite e sob condições atmosféricas adversas nas vias, onde seja crucial destacar a sua geometria, as faixas de rolamento ou a existência de obstáculos, devido à falta de iluminação da via pública ou condições climáticas adversas.

Segundo a CONTRAN (2022, p. 35 ) “O tachão delimita ao condutor a utilização do espaço destinado à circulação, inibindo a transposição de faixa de trânsito ou a invasão de marca de canalização, devendo sempre estar associado a uma marca viária”.

A norma NBR 15576 estabelece diretrizes para tachões utilizados na sinalização viária. Essas peças podem ser feitas de resina sintética à base de poliéster ou plástico acrílico, com alta resistência a impactos e uma carga de compressão mínima de 15.000kgf. São realizados testes de resistência à compressão, penetração de água e calor para garantir a qualidade do tachão. As cores dos elementos refletivos devem estar de acordo com a ASTM D 4280. Quanto à retrorrefletividade, são classificados em Tipo I (com elementos prismáticos ou plásticos injetados) e Tipo II (com elementos refletivos). O corpo do tachão deve ser sempre de cor amarela. O elemento retrorrefletivo pode ter as seguintes cores: Branca – em zona neutra, para separar fluxos do mesmo sentido e Amarela – em zona neutra, para separar fluxos de sentidos opostos.

## 4.2 SINALIZAÇÃO FOTOLUMINESCENTE

A fotoluminescência pode ser descrita como um fenômeno óptico que ocorre quando um material é estimulado energeticamente, resultando na emissão de fótons sob a forma de uma onda eletromagnética. Geralmente, a onda eletromagnética emitida durante a fotoluminescência possui um comprimento de onda superior ao da onda eletromagnética que provocou essa luminescência (Lucena et al., 2004).

A introdução de métodos inovadores de sinalização, como a aplicação de tinta fotoluminescente, desempenha um papel significativo na melhoria da qualidade, clareza e longevidade da sinalização, superando os padrões tradicionais de sinais de segurança (Neves, 2008).

De acordo com a empresa ADVCOMM (2017), na área de sinalização de



segurança contra incêndio e pânico, a sinalização fotoluminescente é de caráter obrigatório. A sinalização de rota continuada deve ser utilizada em edificações com população circulante superior a 100 pessoas por pavimento ou em edificações com população total superior a 1,000 pessoas. Essa sinalização deve possuir características fotoluminescentes de acordo com as condições estabelecidas na norma NBR 16820/2020.

No contexto de sinalização viária, a sinalização fotoluminescente também pode exercer uma função importante. As estradas e vias podem ser mal iluminadas em determinadas áreas, especialmente à noite ou em condições climáticas adversas. Nesses casos, sinais de trânsito, marcações de estradas e outros elementos de sinalização que brilham no escuro podem melhorar a visibilidade dos motoristas e pedestres, ajudando a evitar acidentes e facilitando a navegação. Ela deve ser vista como um complemento à sinalização tradicional, oferecendo uma camada adicional de segurança em situações específicas de pouca luz.

#### 4.3 MISTURA ASFÁLTICA

Balbo (2007) comenta que as misturas asfálticas devem ter seus materiais bem aglutinados, a fim de que ao serem submetidas a esforços, sejam eles estáticos ou dinâmicos, devem resistir sem sofrer grandes deformações, perda de compactação, ou a desagregação de seus componentes.

Em misturas asfálticas, os agregados possuem um tamanho máximo que podem afetar essas misturas de diversas maneiras, podendo as tornar instáveis com agregados de tamanho máximo demasiadamente pequenos, prejudicando, assim, a sua trabalhabilidade e/ou ocasionar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A distribuição granulométrica do agregado também afeta as misturas asfálticas em quase todas as suas propriedades, como na rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, entre outros. (Bernucci *et. al* , 2008).

De acordo com o relatório da COPPE/UFRJ (Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto,



2010), a composição das misturas asfálticas consiste na adição do ligante ao agregado e modificadores para melhorar suas propriedades em relação à mistura tradicional. Essas misturas são utilizadas na camada de revestimento do pavimento, há diferentes métodos de produção, podendo ser usinadas a quente ou a frio e produzidas na própria pista ou em usinas móveis.

#### **4.3.1 Agregados**

De acordo com a norma ABNT NBR 9935/2005, agregado é definido como material sem forma ou volume definido, normalmente inerte, com dimensões e propriedades apropriadas para preparação de argamassas e de concreto.

A caracterização tecnológica dos agregados na construção civil, é de suma importância, pois os ensaios de laboratório têm como finalidade quantificar suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, para orientar a dosagem correta do concreto e outros materiais, além de antecipar seu comportamento futuro em serviço. (TOURENQ & DENIS, 2000; LOEMCO, 2003; FRAZÃO, 2002; FRAZÃO, 2007).

De acordo com Roberts et al. (1996), as propriedades físicas dos agregados são as principais determinantes da adequação para uso em misturas asfálticas, enquanto as propriedades químicas têm uma importância menor. As propriedades físicas e mecânicas básicas são: resistência, porosidade e densidade.

O agregado é responsável por formar a estrutura de sustentação da mistura asfáltica, cuja função é suportar os esforços de compressão e o movimento das cargas dos veículos. As propriedades dos agregados estão ligadas a capacidade de sustentação da estrutura formada, por consequência, estão relacionadas aos critérios de desempenho dos pavimentos, como a deformação permanente, as trincas por fadiga e o desgaste. (GOUVEIA, 2006). Por esta razão, os agregados devem ser obtidos a partir da britagem de rochas duras, serem resistentes à quebra e à degradação causadas pelo tráfego, além de terem boa forma. (CEPSA, 2007).

Quanto às dimensões dos agregados, a Norma Brasileira (NBR 7211) define agregado da seguinte maneira:



#### **4.3.1.1 Agregado Graúdo**

A norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece os requisitos para os ensaios de granulometria e de abrasão dos agregados graúdos, que são importantes para avaliar a distribuição do tamanho das partículas e a resistência à abrasão do material. De acordo com a norma, os agregados graúdos devem ter uma granulometria adequada ao uso, sendo que as partículas maiores devem ter uma resistência à abrasão superior a 25%.

"A qualidade do agregado graúdo é essencial para garantir a resistência e a durabilidade do concreto, sendo necessário avaliar características como resistência à compressão, resistência à abrasão, forma e textura das partículas" (MARTINS et al., 2019, p. 377).

#### **4.3.1.2 Agregado Miúdo**

A norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2005), estabelece que os agregados miúdos devem ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis e limpos, sem a presença de substâncias orgânicas que possam interferir nas reações de hidratação durante a cura e endurecimento das argamassas.

A norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece os requisitos para o ensaio de equivalente de areia dos agregados miúdos, que deve ser realizado para avaliar a limpeza desses materiais. De acordo com a norma, o equivalente de areia deve ser igual ou superior a 55% para que o agregado seja considerado adequado para uso em concretos e argamassas.

#### **4.3.2 Betume**

O betume é um ligante essencial nas misturas betuminosas, fornecendo coesão e estabilidade à mistura e ligações tenazes e flexíveis aos materiais tratados. É uma mistura de hidrocarbonetos viscosa, elástica, não cristalina e preta, cujo comportamento depende da temperatura. É importante usar um ligante betuminoso compatível com a faixa de temperatura da mistura quando integrada no pavimento.



(CESPA, 2007).

De acordo com Araújo (2007): "diversos fatores afetam a adesão inicial entre o betume e o agregado, incluindo a textura superficial do agregado, a presença de pó e o pH da água" (p. 32). O autor destaca que agregados mais rugosos são geralmente associados a uma melhor adesão, mas ressalta a importância de equilibrar a rugosidade do agregado com sua molhabilidade, que é maior em materiais mais lisos. Araújo também afirma que alcançar uma boa ligação mecânica em uma superfície rugosa pode ser mais crucial do que a mineralogia específica do agregado para garantir uma adesão adequada. Embora a viscosidade do betume, a polaridade e a composição também exerçam algum impacto, a natureza do agregado é o fator dominante que influencia a adesão entre o betume e o agregado (Araújo, 2007, p. 32).

No que tange ao desempenho, constatou-se que "o betume desempenha um papel fundamental, promovendo a ligação entre os agregados e fornecendo características essenciais como flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade e uma adequada trabalhabilidade à mistura betuminosa" (BARROS, 2012, p. 6).

As funções mais relevantes do betume na pavimentação rodoviária são de aglutinação e impermeabilização. Como aglutinante, proporciona uma ligação forte entre agregados, capaz de resistir à ação mecânica de desagregação produzida pelas cargas dos veículos. Como impermeabilizante, garante a vedação eficaz à penetração da água, evitando desta forma danos às camadas inferiores do pavimento (Araújo, 2007).

#### **4.3.3 Mistura Betuminosa**

As misturas betuminosas empregadas em pavimentos flexíveis são compostas por diferentes componentes.

"As misturas betuminosas usadas nos pavimentos flexíveis são constituídas por um ligante betuminoso que ocupa uma percentagem que varia entre 10 % a 15 % do volume da mistura, por agregados que constituem 75 % a 85 % do volume mistura e por uma pequena percentagem de vazios que permite fornecer a estabilidade adequada à estrutura" (RIBEIRO, 2012 *apud* Barros, 2012, p. 6).

As misturas betuminosas devem apresentar características como estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência à fadiga, aderência, impermeabilidade e trabalhabilidade para serem consideradas adequadas. (Branco et



al, 2011)

De acordo com Pimentel (2013), antes da aplicação de misturas betuminosas em pavimentos rodoviários e aeroportuários, é necessário realizar ensaios para determinar a quantidade adequada de ligante a ser utilizada na mistura, a fim de evitar problemas como desagregação prematura da mistura por falta de ligante ou superfícies escorregadias e deformáveis por excesso de ligante. O objetivo é garantir que a mistura esteja dentro das especificações definidas.

#### **4.3.3.1 Mistura Betuminosa a Quente**

As misturas betuminosas a quente tradicionais são compostas por um ligante e uma mistura de agregados, onde todas as partículas de agregado são revestidas por uma película de ligante. O processo de fabrico envolve o aquecimento do ligante e dos agregados, mistura e aplicação em temperaturas elevadas na obra, que são significativamente superiores à temperatura ambiente. (Pimentel, 2013).

A qualidade e a durabilidade das MBQ são avaliadas por meio de testes laboratoriais e de campo, como o ensaio Marshall, que verifica a estabilidade e a resistência à deformação da mistura, e o ensaio de aderência, que verifica a capacidade do pavimento de aderir ao substrato (SOUZA et al., 2017).

Quanto à utilização das misturas betuminosas à quente, de acordo com o autor Palma (2015): “misturas betuminosas fabricadas a quente são utilizadas na construção e conservação de pavimentos flexíveis como camadas de desgaste, ligação ou regularização e de base.” (p. 1)

#### **4.4 MATERIAL LUMINESCENTE**

Os materiais luminescentes, conhecidos como fósforos, são compostos por uma estrutura cristalina principal e um centro luminescente ativado. Esses materiais emitem radiação eletromagnética, geralmente na faixa visível do espectro. (ISOLANI e MARTINS, 2005, p. 113-114).

De acordo com a classificação proposta por Winnischofer (2010), a

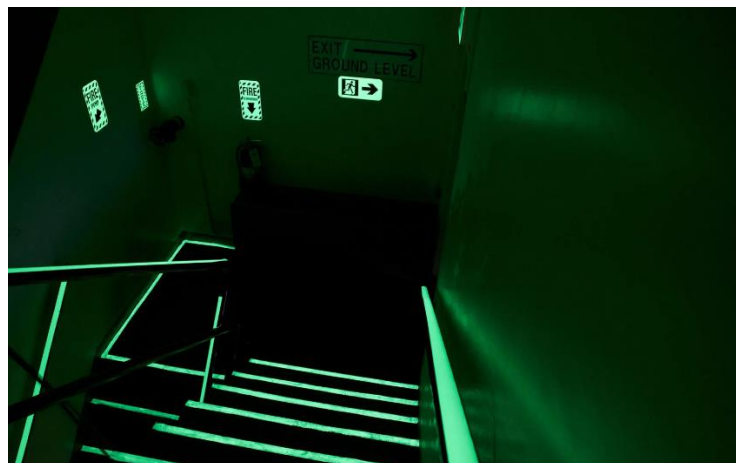


luminescência pode ser categorizada com base na fonte de excitação. Dentre as classificações encontradas na literatura, destacam-se as seguintes: fotoluminescência, catodo-luminescência, eletro-luminescência, quimiluminescência, bioluminescência e termoluminescência. Além da fonte de excitação, outra classificação relevante diz respeito à duração da emissão de luz. Assim, tem-se a fluorescência, a qual a emissão de luz cessa quando a excitação da amostra é interrompida, e a fosforescência, na qual a emissão de luz perdura por um período considerável após o término da excitação (WINNISCHOFER, 2010).

Esses materiais que emitem luz por um período de tempo após o término da excitação, também são conhecidos como *persistent luminescence (PeL) materials* (materiais de luminescência persistente). Esses materiais apresentam potencial para diversas aplicações, como fontes de iluminação fluorescente, devido à sua alta eficiência luminosa, capacidade de economia de energia, longa durabilidade e características favoráveis à preservação do meio ambiente" (OJHA et al., 2019).

Existem *persistent phosphors* (fósforos persistentes) disponíveis para cada uma das cores primárias, e estão sendo amplamente empregados como materiais de visão noturna em diversos setores cruciais, como sinalização de segurança, sinalização de rotas de emergência (Figura 4), sinalização de trânsito, mostradores e displays, e diagnóstico médico. Esses materiais destacam-se pela intensidade e duração de sua luminescência persistente, que pode superar 10 horas, além de sua capacidade de serem excitados tanto pela luz solar quanto pela luz ambiente. (PAN et al., 2012)

**Figura 4** – Material luminescente em rotas de emergência.



Fonte: Forthlux.



#### 4.5 APLICAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL

Na construção civil, pode-se encontrar a utilização de pigmentos fotoluminescentes em argamassa. No artigo "Estudo sobre argamassa fosforescente: propriedades ópticas e aplicabilidade na construção civil", Biasi et. al. (2020), aborda sobre a criação dessa argamassa, suas propriedades ópticas, bem como sua aplicabilidade em diferentes áreas da construção civil, apresentando vantagens em relação à eficiência na sinalização de segurança e emergência, bem como funções estéticas na arquitetura de acabamentos.

Outra aplicação encontrada dentro da engenharia civil é a construção de estradas inteligentes. A primeira rodovia brilhante no escuro foi testada na Holanda, em um segmento de 500 metros da rodovia N329 em Oss (Figura 1). Esse projeto, denominado *Smart Highway* (rodovia inteligente) foi uma iniciativa colaborativa entre o artista interativo Daan Roosegaarde, do Studio Roosegaarde, e a empresa de engenharia civil Heijmans. Seu objetivo é desenvolver rodovias mais sustentáveis e interativas. (Dube, 2014).

Outra colaboração de Daan Roosegaarde e do Studio Roosegaarde e Heijmans *Infrastructure*, é a *Van-Gogh Path* (Caminho de Van-Gogh) que está localizada em Eindhoven, terra natal do artista Van-Gogh. A ciclovia (Figura 2) é composta por milhares de pedras revestidas com tinta fosforescente que recarregam durante o dia e brilham durante a noite. A obra cria um ambiente encantador e inspirador, ao mesmo tempo em que contribui para a segurança pública e impulsiona o turismo na região. (Studio Roosegaarde, s.d)



Figura 1 - *smart highway*, Holanda.



Fonte: Dube, 2014.

Figura 2 - *Van-Gogh Path*, Eindhoven.



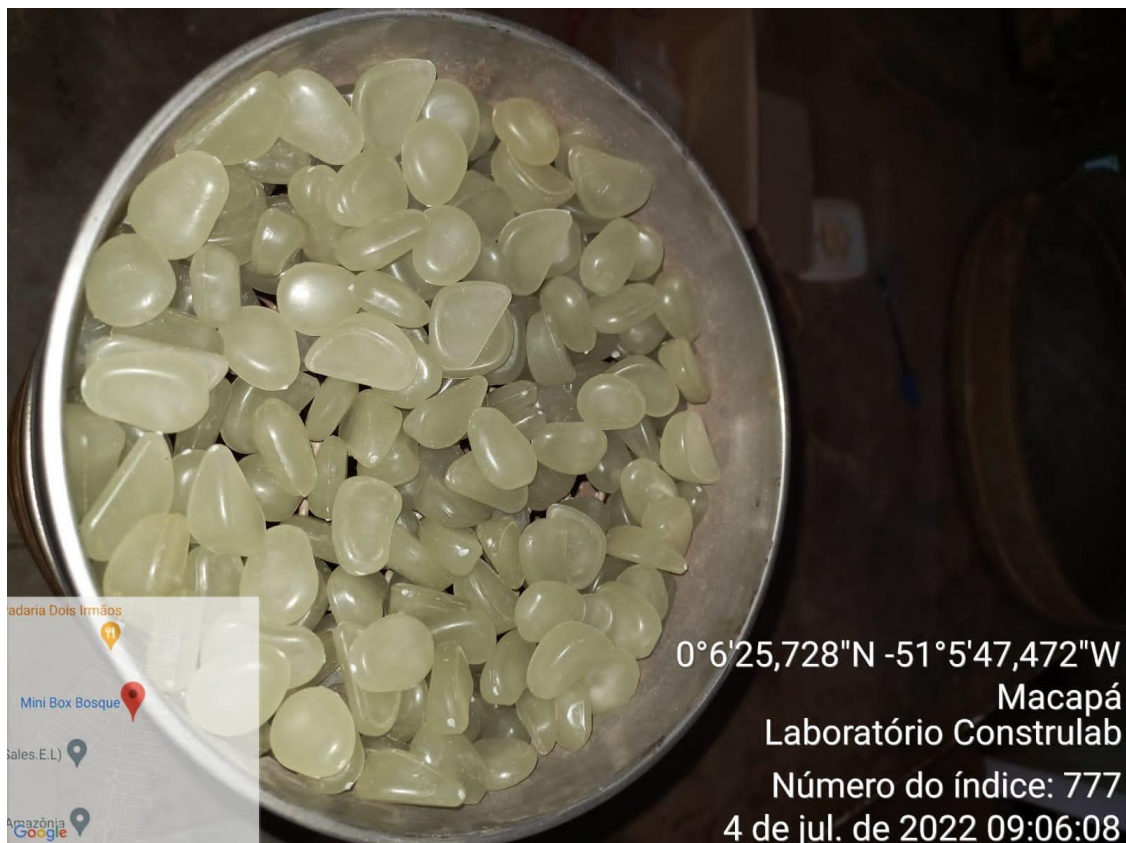
Fonte: Studio Roosegaarde.



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta inicial deste trabalho consistiu na moldagem de três corpos de prova utilizando agregado luminescente, o experimento I, consistiu na utilização de agregado com granulometria maior (Figura 3), com o intuito de realizar ensaios físicos. No entanto, devido às dificuldades encontradas durante o processo de moldagem do corpo de prova, foi necessário realizar outros testes. Dessa forma, foi conduzido o Experimento II, onde o agregado maior foi substituído por um agregado luminescente com granulometria menor (Figura 4). Posteriormente, foi adquirida tinta luminescente para realização de testes comparativos, denominado Experimento III.

Figura 3 – Agregado Graúdo Luminescente.



Fonte: Acervo Pessoal. 2022.



Figura 4 – Agregado Graúdo Luminescente.



Fonte: Acervo Pessoal. 2022.

A fase laboratorial deste estudo foi dividida em 6 etapas, constando de: caracterização do material luminescente; determinação do fracionamento para saber a quantidade de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) a ser utilizado; confecção e moldagem dos corpos de prova; realização dos testes de luminescência; e por fim, avaliação da viabilidade do uso de materiais luminescente para sinalização viária.

### 5.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para a confecção de diferentes corpos de prova foram:

- Agregado miúdo (areia, pó de brita);  
Agregado graúdo (brita 0);
- Ligante asfáltico (CAP 50/70);
- Material luminescente em diferentes tamanhos: 2 a 5 mm e de 1,5 a 2 cm, do fornecedor Luminstant, na cor verde;



- Tinta luminescente em diferentes cores: verde, azul, amarelo e laranja, do fornecedor Corion.

## 5.2 PROCEDIMENTOS

### 5.2.1 Fracionamento dos Agregados

#### 5.2.1.1 Agregado Graúdo (Experimento I)

No presente trabalho foram produzidas misturas asfálticas contendo material luminescente, de forma que seus parâmetros e especificações se enquadrassem a norma DNIT 031/2006 que define as exigências para os materiais utilizados em revestimentos asfálticos.

Inicialmente, foram realizados ensaios granulométricos pelo método das peneiras. O procedimento para a realização do ensaio seguiu a seguinte ordem:

1. Preparação das amostras: as amostras foram separadas (Figura 5), secas e homogeneizadas para garantir uma distribuição uniforme das partículas.

Figura 5 - Separação dos materiais.



Fonte: Acervo Próprio. 2022.

2. Seleção e empilhamento das peneiras: Foi selecionado um conjunto de peneiras com aberturas que cubrissem toda a faixa de tamanhos de



partículas presentes nas amostras. As peneiras foram encaixadas de maneira que se formasse um único conjunto de peneiras (Figura 6), com a abertura da malha em ordem decrescente do topo para a base.

Figura 6 - Conjunto de peneiras.



Fonte: Construlab. 2022.

3. Agitação: A amostra foi colocada na peneira de maior abertura e agitada manualmente, fazendo com que as partículas menores passassem pelos orifícios das peneiras e ficassem retidas nas peneiras subsequentes.



Figura 7 - Material Luminescente na peneira.



Fonte: Construlab. 2022.

4. Pesagem: Após agitação é pesada a massa retida em cada peneira.

Conforme estabelecido pela norma DNIT 031/2006, é imprescindível garantir a qualidade da composição da mistura asfáltica, assegurando que sua constituição atenda aos requisitos definidos no quadro abaixo, dentro da faixa especificada. Para este ensaio em particular, foi adotada a faixa "C", que se destina à aplicação em camadas de rolamento, também conhecidas como "capa asfáltica". Esta camada superior do pavimento asfáltico é diretamente afetada pelo intenso tráfego rodoviário.



Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série	Abertura	A	B	C	Tolerâncias
ASTM	(mm)				
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT 031/2006.

A partir do ensaio granulométrico, é possível verificar se a mistura atende aos requisitos estabelecidos por normas e especificações técnicas.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS																
Norma DNIT 031/06 - ES - Faixa " C																
Peneiras	mm	Luminescente		Brita 0		Pó de Brita		Areia		Filler		0		Mistura	Peneiras	% Retida
		%pass.	P/Mistura 25,0%	%pass.	P/Mistura 15,0%	%pass.	P/Mistura 45,0%	%pass.	P/Mistura 15,0%	%pass.	P/Mistura 0,0%	%pass.	P/Mistura 25,0%			
Nº	abertura													100,0%		
11/2"	37,8	100,0	25,0	100,0	15,0	100,0	45,0	100,0	15,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		
1"	25,4	100,0	25,0	100,0	15,0	100,0	45,0	100,0	15,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		0,0
3/4"	19,1	100,0	25,0	100,0	15,0	100,0	45,0	100,0	15,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		0,0
1/2"	12,7	100,0	25,0	99,8	15,0	100,0	45,0	100,0	15,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100	3/4" a 1/2"	0,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	88,2	13,2	100,0	45,0	99,4	14,9	100,0	0,0	100,0	0,0	73	1/2" a 3/8"	26,8
Nº 4	4,8	0,0	0,0	47,2	7,1	97,8	44,0	97,0	14,5	100,0	0,0	100,0	0,0	66	3/8" a Nº 4	7,5
Nº 10	2	0,0	0,0	22,1	3,3	72,6	32,7	88,9	13,3	100,0	0,0	100,0	0,0	49	Nº 4 a Nº 10	16,3
Nº 40	0,42	0,0	0,0	18,3	2,7	30,1	13,6	29,4	4,4	100,0	0,0	100,0	0,0	21	Nº 10 a Nº 40	28,6
Nº 80	0,18	0,0	0,0	17,5	2,6	9,8	4,4	5,2	0,8	100,0	0,0	100,0	0,0	8	Nº 40 a Nº 80	12,9
Nº 200	0,075	0,0	0,0	17,1	2,6	0,3	0,1	0,3	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	3	Nº 80 a Fundo	7,8

Fonte: Laboratório Construlab. 2022.

A porcentagem de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) empregada na mistura asfáltica selecionada foi de 4,5%. Essa porcentagem representa a relação proporcional do CAP necessária para alcançar as características desejadas no material asfáltico. A escolha dessa porcentagem determina a quantidade precisa de cada componente a ser utilizado na produção dos corpos de prova.



Fracionamento dos Agregados										
% de Cap.	4,0%		4,5%		5,0%		5,5%		6,0%	
Fração	Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.
	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4" a 1/2"	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1/2" a 3/8"	309,2	309,5	307,6	307,9	305,9	306,3	304,3	304,6	302,7	303,0
3/8" a Nº 4	86,3	395,8	85,9	393,8	85,4	391,7	85,0	389,6	84,5	387,6
Nº 4 a Nº 10	187,8	583,7	186,9	580,6	185,9	577,6	184,9	574,5	183,9	571,5
Nº 10 a Nº 40	329,8	913,4	328,1	908,7	326,4	903,9	324,6	899,2	322,9	894,4
Nº 40 a Nº 80	148,5	1062	147,7	1056	146,9	1051	146,2	1045,3	145,4	1039,8
Nº 80 a Fundo	90,1	1152,0	89,6	1146,0	89,1	1140,0	88,7	1134,0	88,2	1128,0
Cap.	48,0	1200,0	54,0	1200,0	60,0	1200,0	66,0	1200,0	72,0	1200,0
Total	1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0	

Agregados	%	Peso Total	Peso	Procedência dos Agregados	Obs.:
Luminescente	25,0%	4,500	1,125	Luminstant	
Brita 0	15,0%		0,675	Britador Santa Barbara	
Pó de Brita	45,0%		2,025	Britador Santa Barbara	
Areia	15,0%		0,675	Porto Grande	
Filler	0,0%		0,000		
0	0,0%		0,000		

Fonte: Laboratório Construlab. 2022.

### 5.2.1.2 Agregado Miúdo (Experimento II)

O processo de fracionamento e moldagem dos corpos de prova dos agregados miúdos foi realizado seguindo o mesmo procedimento aplicado aos agregados graúdos, do experimento I. Iniciando com o ensaio granulométrico pelo método das peneiras:

1. Preparação das amostras;
2. Seleção e empilhamento das peneiras;
3. Agitação;
4. Pesagem.

Figura 8 - Separação dos materiais.



Fonte: Construlab. 2022.



Figura 9 - Separação dos materiais – material luminescente.



Fonte: Construlab. 2022.

De acordo com as diretrizes presentes na norma DNIT 031/2006, foi selecionada a faixa "C" (quadro a seguir) para aplicação nas camadas de rolamento, que são popularmente conhecidas como "capa asfáltica".

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT 031/2006.



Através da análise granulométrica, é viável avaliar se a composição da mistura atende aos critérios determinados pelas normas e especificações técnicas estabelecidas.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS																
Norma DNIT 031/06 - ES - Faixa " C																
Peneiras	mm	Seixo		Luminstant		Pó de Brita		Areia		Filler		0		Mistura	Peneiras	% Retida
		%pass.	P/Mistura 53,0%	%pass.	P/Mistura 25,0%	%pass.	P/Mistura 22,0%	%pass.	P/Mistura 0,0%	%pass.	P/Mistura 0,0%	%pass.	P/Mistura 25,0%			
Nº	abertura													100,0%		
11/2"	37,8	100,0	53,0	100,0	25,0	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		
1"	25,4	100,0	53,0	100,0	25,0	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		0,0
3/4"	19,1	100,0	53,0	100,0	25,0	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100		0,0
1/2"	12,7	94,3	50,0	100,0	25,0	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	97	3/4" a 1/2"	3,0
3/8"	9,5	80,9	42,9	100,0	25,0	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	90	1/2" a 3/8"	7,1
Nº 4	4,8	51,3	27,2	87,0	21,8	100,0	22,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	71	3/8" a Nº 4	18,9
Nº 10	2	25,7	13,6	4,5	1,1	74,1	16,3	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	31	Nº 4 a Nº 10	39,9
Nº 40	0,42	5,3	2,8	0,0	0,0	37,3	8,2	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	11	Nº 10 a Nº 40	20
Nº 80	0,18	2,4	1,3	0,0	0,0	22,1	4,9	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	6	Nº 40 a Nº 80	4,9
Nº 200	0,075	1,4	0,7	0,0	0,0	12,8	2,8	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	4	Nº 80 a Fundo	6,1

Fonte: Laboratório Construlab. 2022.

A mistura asfáltica selecionada para este estudo foi composta por uma porcentagem de 4,5% de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Fracionamento dos Agregados											
% de Cap.		4,0%		4,5%		5,0%		5,5%		6,0%	
Fração		Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.	Peso	Acum.
		0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4" a 1/2"		34,8	34,8	34,6	34,6	34,4	34,4	34,3	34,3	34,1	34,1
1/2" a 3/8"		81,8	116,6	81,4	116,0	81	115,4	80,5	114,8	80,1	114,2
3/8" a Nº 4		218,2	334,8	217	333,0	215,9	331,3	214,8	329,6	213,6	327,8
Nº 4 a Nº 10		459,5	794,3	457,2	790,2	454,8	786,1	452,4	781,9	450,0	777,8
Nº 10 a a Nº 40		230,8	1025,1	229,6	1019,8	228,4	1014,5	227,2	1009,1	226,0	1003,8
Nº 40 a Nº 80		56,2	1081,3	55,9	1075,7	55,6	1070,1	55,4	1064,4	55,1	1058,8
Nº 80 a Fundo		70,7	1152,0	70,3	1146,0	69,9	1140	69,6	1134,0	69,2	1128,0
Cap.		48,0	1200,0	54,0	1200,0	60,0	1200	66,0	1200	72,0	1200,0
Total		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0	
Obs.:											
Agregados	%	Peso Total	Peso	Procedência dos Agregados							
Seixo	53,0%	3,600	1,908	Britador Gran Amapá							
Luminescente	25,0%		0,900	Luminstant							
Pó de Brita	22,0%		0,762	Britador Santa Barbara							
Areia	15,0%		0,000								
Filler	0,0%		0,000								
0	0,0%		0,000								

Fonte: Laboratório Construlab. 2022.

## 5.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova com Agregados Luminescentes

A moldagem dos corpos de prova nos experimentos I e II foi realizada em conformidade com as diretrizes estabelecidas na norma DNER-ME 045/93:

1. Aquecimento do agregado: Os agregados, incluindo a brita e a areia, foram aquecidos a 160°C.

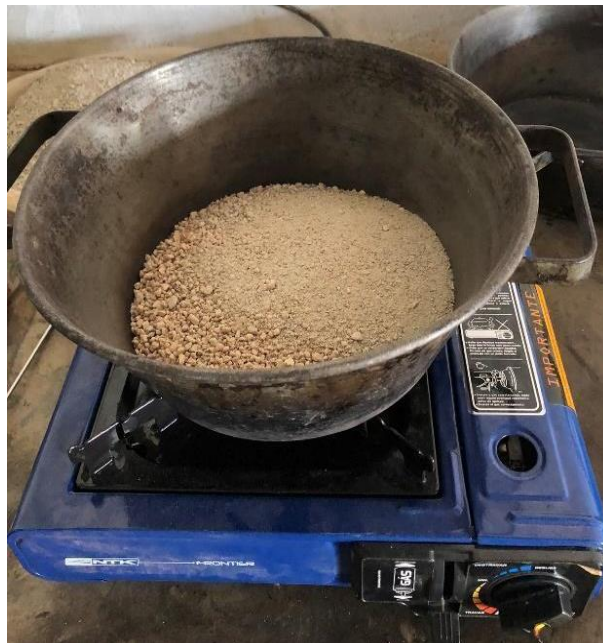


Figura 10 - Aferição da temperatura dos agregados – experimento I.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

Figura 11 - Aquecimento dos agregados – experimento II.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

2. Aquecimento do CAP: O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) foi aquecido a 160°.



Figura 12 - Aquecimento do CAP – experimento I.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

Figura 13 - Aquecimento do CAP – experimento I.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

3. Mistura dos agregados e do CAP: Após o aquecimento adequado dos agregados e do CAP, eles foram misturados em um recipiente. A mistura foi realizada



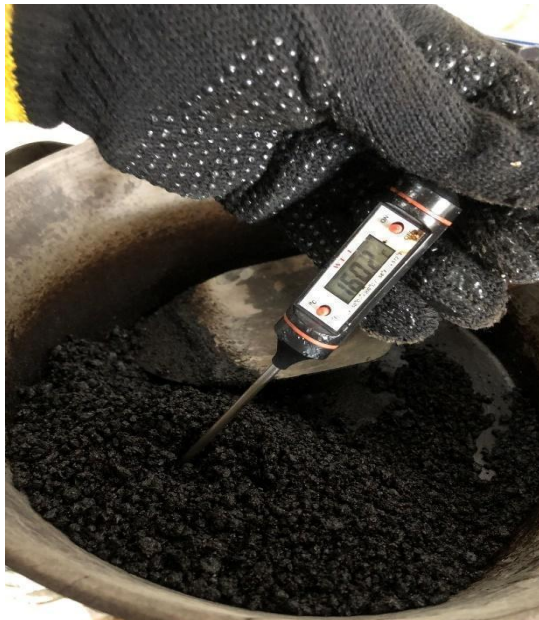
em temperaturas entre 150°C e 160°C. Essa temperatura é controlada para garantir a viscosidade adequada do CAP e a homogeneização completa dos materiais.

Figura 14 - Aferição da mistura dos agregados e do CAP – Experimento I.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

Figura 15 - Aferição da mistura dos agregados e do CAP – Experimento II.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

4. Moldagem do corpo de prova: A mistura asfáltica foi transferida para moldes metálicos, seguindo as dimensões e formato padrão especificados pela norma.



Posteriormente, com um soquete metálico foi aplicado 75 golpes em cada face do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 16.

No experimento I, uma porção do agregado luminescente foi inserida dentro da mistura betuminosa, enquanto as demais porções foram distribuídas equitativamente em cada uma das faces do corpo de prova.

Figura 16 - Compactação do corpo de prova



Fonte: Acervo próprio. 2022.

Figura 17 - Corpo de prova pós compactação – Experimento I.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

No experimento II, os agregados luminescentes foram distribuídos de forma a serem aplicados em cada face do corpo de prova. Contudo, não obtivemos êxito nesse procedimento.



Figura 18 - Corpo de prova – Experimento II.



Fonte: Acervo próprio. 2022.

### 5.2.3 Pintura dos Corpos de prova (Experimento III)

Diante das dificuldades encontradas na moldagem dos corpos de prova com o agregado luminescente, optamos por utilizar tintas luminescentes como alternativa, dando início, portanto, ao experimento III.

Os corpos de prova utilizados na aplicação da tinta luminescente foram fornecidos pelo laboratório Construlab e foram moldados de acordo com a norma DNIT 031/2006, assim como os demais corpos de prova mencionados neste estudo.

O processo de aplicação da tinta luminescente nos corpos de prova foi conduzido de acordo com as diretrizes e recomendações fornecidas pelo fabricante, sendo aplicado em todos os corpos de prova de forma padronizada.



1. Uma demão de primer branco:

Figura 19 - Corpo de prova com primer branco – Experimento III.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.

2. Duas demão com a tinta luminescente:

Figura 20 - Corpo de prova com primer branco – Experimento II



Fonte: Acervo Próprio. 2023.



#### 5.2.4 Teste de Luminescência

Para execução dos testes de luminescência do experimento III, os corpos de prova foram submetidos a um processo de exposição solar, conforme ilustrado na Figura 21, por períodos de 120, 240, 360 e 720 minutos.

Figura 21 - Corpos de prova expostos ao sol.



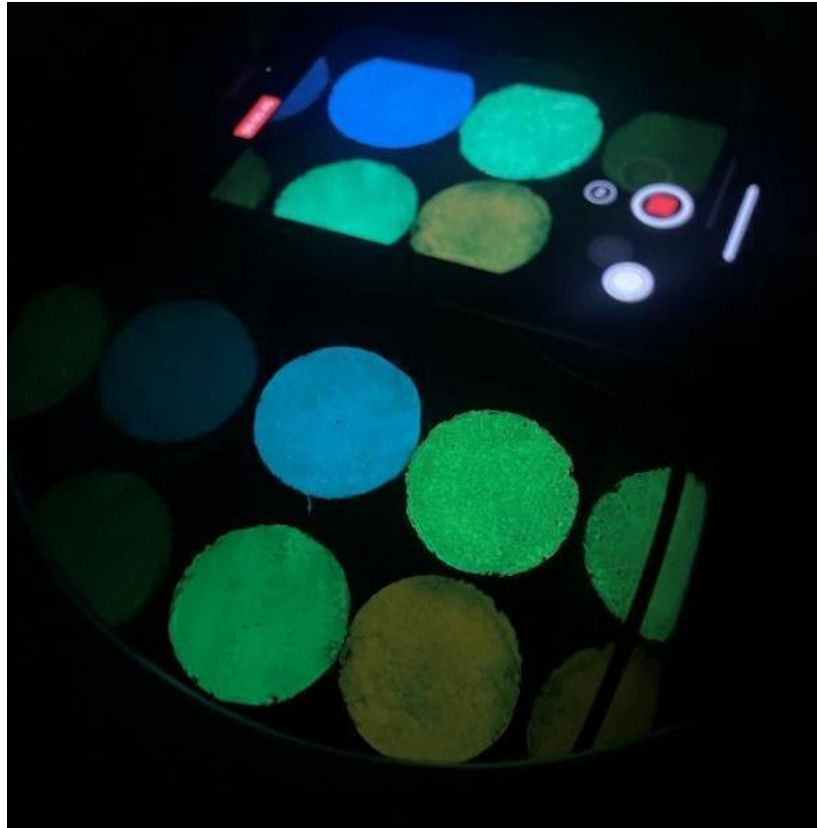
Fonte: Acervo Próprio. 2023.

Após a conclusão da exposição solar, os corpos de prova foram transferidos para uma sala escura, a fim de realizar observações sobre o comportamento do brilho ao longo do tempo. Devido à falta de acesso a um equipamento de medição de luminescência de alta precisão, o teste foi registrado em formato de vídeo, conforme exemplificado na Figura 22, buscando obter uma percepção mais detalhada em relação à diminuição gradual do brilho ao longo do tempo.

Exceto pelo ensaio de 720 minutos, o qual não foi documentado por meio de filmagem, a observação foi realizada a partir da observação direta sem o auxílio de instrumentos óticos. Vale ressaltar que o corpo de prova para esse referido ensaio foi exposto de 6h da manhã até às 18h, e em algumas horas do dia foi sujeito a sombra e a chuva.



Figura 22 - Gravação dos corpos de prova.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.



## 5. RESULTADOS

O presente trabalho, em sua proposta inicial, tinha como objetivo avaliar a viabilidade do uso de material luminescente como agregado para pavimentos flexíveis, bem como analisar seu comportamento mecânico e suas propriedades luminescentes. No entanto, devido às dificuldades encontradas ao longo do estudo, foi necessário adquirir um material luminescente com granulometria menor, a fim de dar continuidade à pesquisa. Como o Experimento II também não obteve sucesso, foi adotada a alternativa de adquirir a tinta luminescente. Essa escolha se deu pelo fato de o objetivo principal do trabalho ser avaliar o uso de materiais luminescentes como forma de sinalização viária, com foco em rodovias e ciclovias.

### 5.1 AGREGADO LUMINESCENTE GRAÚDO (EXPERIMENTO I)

No experimento em questão, a moldagem do corpo de prova foi realizada em conformidade com as normas estabelecidas. No entanto, ao proceder com a desmoldagem, foi observado que o agregado luminescente apresentou baixa aderência ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Como citado anteriormente, em misturas asfálticas, os agregados possuem um tamanho máximo que podem afetar essas misturas de diversas maneiras, podendo as tornar instáveis com agregados de tamanho demasiadamente pequenos, prejudicando, assim, a sua trabalhabilidade e/ou ocasionar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho excessivamente grande. (Bernucci *et. al* , 2008).

Segundo Gouveia (2002), a utilização de agregados de maior dimensão, de formato arredondado e superfície lisa, como exemplificado pelo seixo, é associada à limitação do encaixe eficaz entre as partículas, o que resulta na ocorrência de deslizamento entre as mesmas. Essa condição contribui para a instabilidade da mistura e sua reduzida resistência à ação do cisalhamento.

Considerando que o agregado luminescente possui características similares às do seixo em termos de formato e superfície lisa, isso levou a uma aderência insuficiente entre o agregado e o cimento asfáltico de petróleo (CAP), conforme exibido na Figura 23.



Figura 23 - Corpo de prova fora do molde – experimento I.



Fonte: Acervo Próprio. 2022.

## 5.2 AGREGADO LUMINESCENTE GRAÚDO (EXPERIMENTO II)

No experimento II, observa-se a ocorrência de uma dosagem inadequada dos materiais, esse desvio resultou na formação de vazios e numa textura irregular no corpo de prova, evidenciando assim, dificuldades durante o processo de compactação, conforme pode-se observar na Figura 24.

Durante a etapa de moldagem do corpo de prova, os agregados graúdos da mistura foram substituídos por agregados miúdos, ocasionando assim, um excesso de agregados finos dentro da mistura e resultando numa adesividade deficiente. De acordo com Moura (2001), a quantidade de finos é um dos fatores que influenciam no processo de perda de adesividade.



Figura 24 - Corpo de prova fora do molde – experimento II.



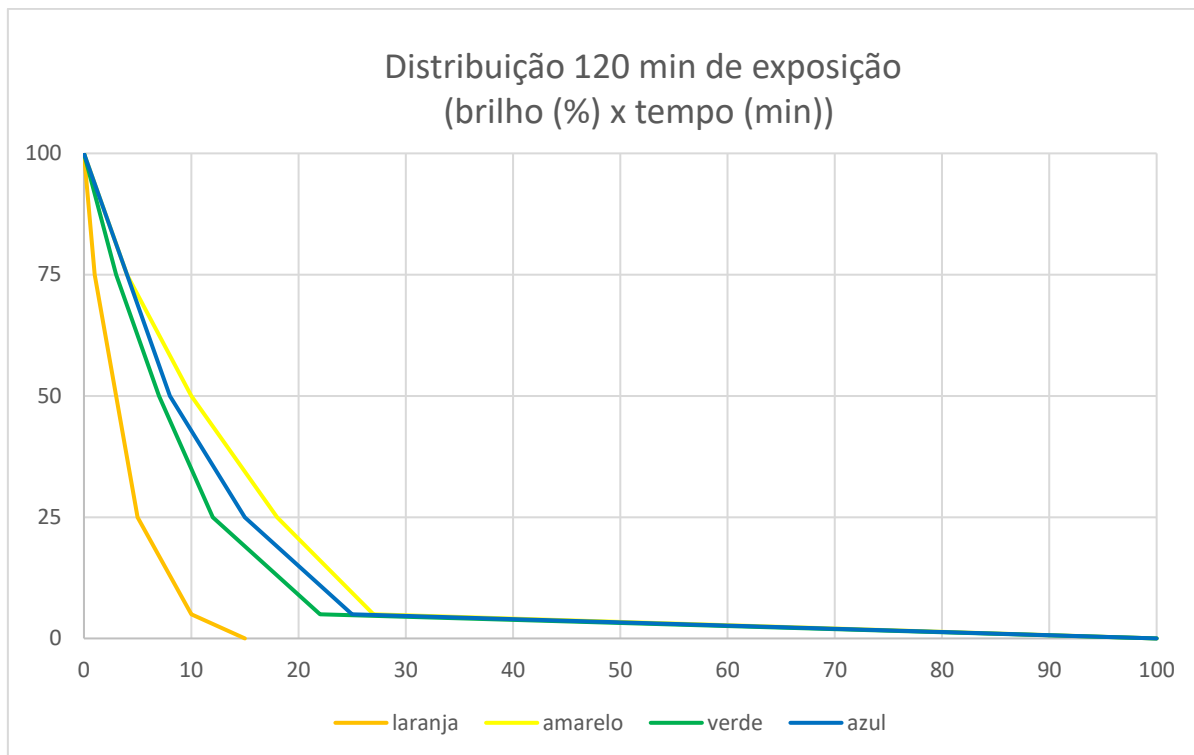
Fonte: Acervo Próprio. 2022.

### 5.3 TESTES DE LUMINESCÊNCIA (EXPERIMENTO III)

Os testes de luminescência foram realizados nos corpos de prova previamente pintados com a tinta luminescente, conforme descrito no Experimento III. Com o intuito de obter uma compreensão mais precisa do comportamento de cada cor, foram elaborados gráficos correspondentes a cada intervalo de tempo de exposição. A seguir, apresentam-se os referidos gráficos:

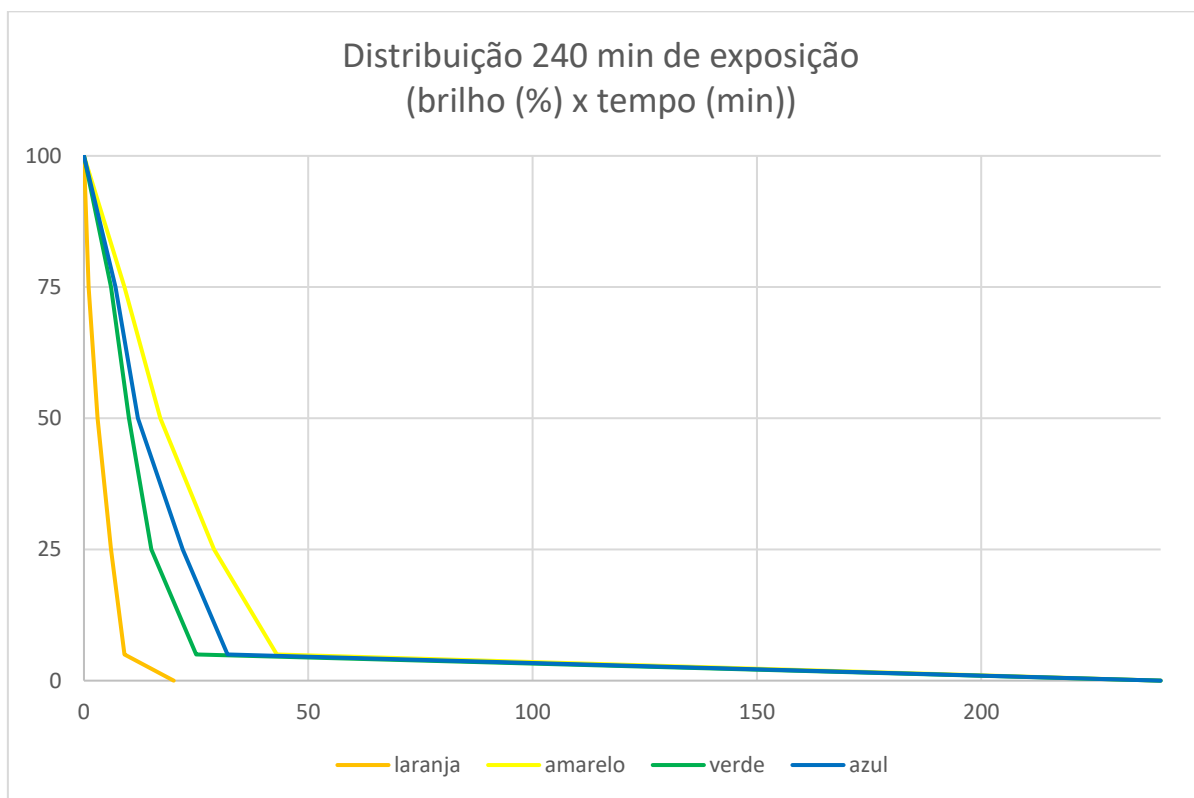


Gráfico 1 – Distribuição 120 minutos de exposição.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.

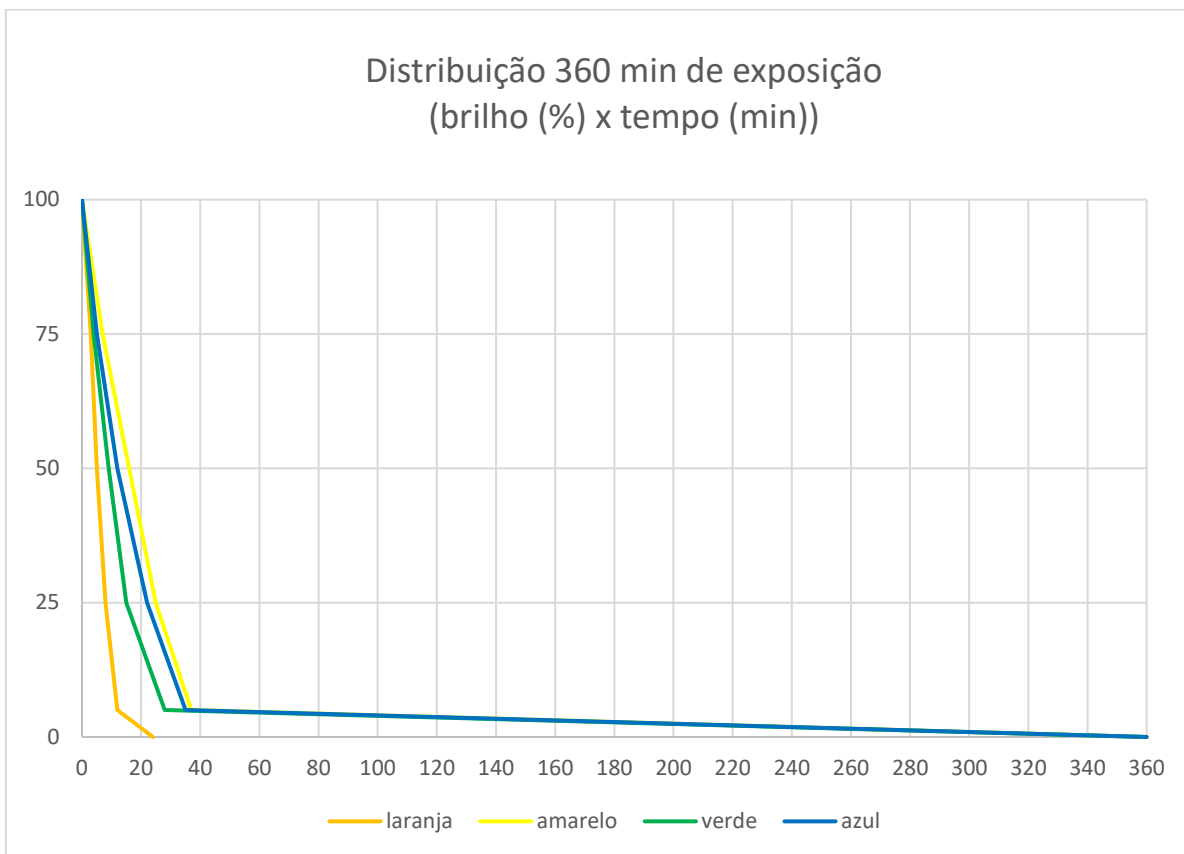
Gráfico 2 – Distribuição 240 minutos de exposição.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.

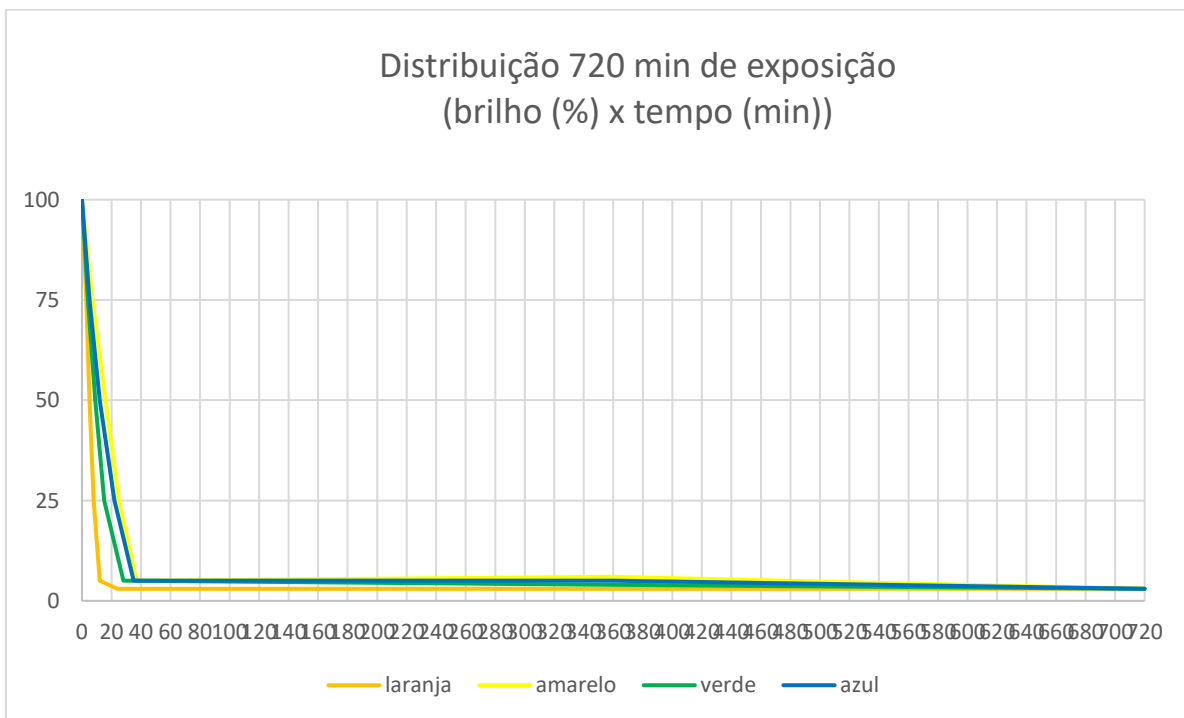


Gráfico 3 – Distribuição 360 minutos de exposição.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.

Gráfico 4 – Distribuição 720 minutos de exposição.



Fonte: Acervo Próprio. 2023.



Com base nas observações realizadas, constatou-se que as cores amarela e azul apresentaram um melhor desempenho em relação ao tempo de luminescência, enquanto a cor laranja se dissipou de forma mais rápida. De acordo com GD artes (2020), a persistência do efeito luminescente é influenciada pela concentração e pela coloração da tinta.

No site da fabricante da tinta Corion Glow, é mencionado que a cor laranja exibe um brilho médio, enquanto que as cores azul, amarelo e verde apresentam um brilho forte. Essa diferença de luminosidade entre as cores foi claramente observada quando o corpo de prova na cor laranja experimentou uma rápida diminuição de seu brilho nos primeiros minutos após a exposição solar cessar.

Além disso, observou-se uma relação proporcional entre o tempo de luminescência e o tempo de exposição. Ou seja, à medida que o corpo é exposto por um período maior à luz solar ou artificial, observa-se um aumento correspondente no período de iluminação.

Durante o ensaio de 720 minutos, no qual a observação foi realizada por meio da visualização direta sem o uso de instrumentos óticos, foi constatado que o corpo de prova na cor laranja apesar de ter a queda da intensidade do brilho antes dos outros, manteve um brilho reduzido até 780 minutos, assim como os demais, após o término da exposição solar.

É relevante ressaltar que o local onde o corpo de prova estava posicionado foi sujeito à sombra em determinado período do dia, além de ter sido exposto à chuva, em condições semelhantes às de uma via. No entanto, o comportamento do brilho observado foi conforme as expectativas prévias.

Como observado no gráfico 4, apesar da luminosidade perdurar por bastante tempo é importante reforçar que o nível de brilho é baixo, visto que o corpo de prova dissipa a maior parte do seu brilho no período de 10 a 15 minutos.

Conforme o CONTRAN (2007), as cores da sinalização horizontal obedecem a um padrão específico, que inclui as cores amarela, branca, vermelha, azul e preta. Para o escopo do presente trabalho, que se concentra principalmente na sinalização de rodovias, as cores laranja e verde não seriam consideradas para uso. Por outro lado, a cor amarela seria a escolha ideal para suas finalidades, que são:



1. Separar movimento veiculares de fluxos opostos;
2. Regulamentar ultrapassagem e deslocamento lateral;
3. Delimitar espaços proibidos para estacionamento;
4. Demarcar obstáculos transversais à pista, como lombadas;



## 6. CONCLUSÕES

A sinalização viária noturna desempenha um papel crucial na segurança rodoviária, garantindo que motoristas, pedestres e ciclistas possam se deslocar com segurança mesmo em condições de baixa visibilidade. Ela fornece informações essenciais e ajuda a prevenir acidentes, salvando vidas e mantendo a ordem nas estradas.

Em vista disso, o presente trabalho teve como objetivo pesquisar acerca dos materiais luminescentes buscando obter mais conhecimento a respeito do seu comportamento e avaliar o comportamento do brilho do material luminescente ao longo do tempo, visando a sua utilização para a melhoria das condições de visibilidade noturna.

Buscou-se avaliar o comportamento do material luminescente quando incorporado ao CBUQ, contudo os resultados encontrados quanto a utilização dele como agregado miúdo e graúdo não foram satisfatórios.

A utilização da tinta glow corion, permitiu a continuidade do trabalho e avaliação da luminosidade durante o tempo. É importante ressaltar que houve limitações quanto a tecnologias necessárias para estimar de maneira precisa a intensidade e durabilidade do brilho fosforescente em relação ao tempo.

É relevante enfatizar que os resultados obtidos são baseados puramente em observações, o que limita conclusões mais específicas sobre o desempenho do material empregado, principalmente em condições adversas como, por exemplo, quando a pista está sujeita a precipitações pluviométricas.

Considerando as limitações apresentadas, pode-se concluir que os resultados demonstraram que a tinta aplicada à superfície do corpo de prova apresentou boa aderência e brilho com duração máxima observada foi de 780 minutos, destes quais os primeiros 5 minutos apresentaram brilho intenso com decaimento progressivo da fosforescência.

Entende-se então que para situações onde há inexistência de iluminação na via durante a noite, a aplicação da tinta Glow Corion promove o aumento das condições de visibilidade, desde que haja contato com uma fonte luminosa natural ou artificial como, por exemplo, os faróis dos veículos.



## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver estudo comparativo quanto a viabilidade econômica do uso de material alternativo em relação aos soluções usuais;
- Utilizar outros tipos de tintas luminescente;
- Avaliar, através da realização de ensaios específicos, a aderência da tinta com o pavimento;
- Avaliar, através da realização de ensaios específicos, as limitações do material luminescente quando sujeito a precipitações pluviométricas;



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AdvComm.** Onde é obrigatória a sinalização fotoluminescente? Disponível em: [Onde é obrigatória a sinalização fotoluminescente? \(advcomm.com.br\)](http://advcomm.com.br). Acesso em: 01 de setembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados: Terminologia. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11862**: Sinalização Horizontal Viária – Tinta acrílica à base de solvente - Requisitos. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15576**: Sinalização horizontal viária - Tachões refletivos viários - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

Acidentes rodoviários e infraestrutura. – Brasília : CNT, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16820**: Sistemas de sinalização de emergência – Projeto, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ARAUJO, M. – **Efeito da radiação solar no envelhecimento do concreto betuminoso usinado a quente**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2007.

BALBO, J.T. Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração, 2007.

BARROS, Elisabete Sofia Santos de et al. Comportamento dos betumes em função da temperatura. 2012.

BERNUCCI, L.B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 504 f, 2008.

BIASI, Bárbara; LÓPEZ, Dagoberto; VENQUIARUTO, Simone. **Estudo sobre argamassa fosforescente: propriedades ópticas e aplicabilidade na construção civil**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 11, n. 2, p. 57-66, 2020.

(Branco et al, 2011) – Branco, F.; Pereira, P.; Picado-Santos, L. – Pavimentos rodoviários, Edições Almedina, 4a Reimpressão, Coimbra, 2011.

CASTRO, A. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, São Paulo, 2002. . Acesso em: 31 ago. 2023.

(Cepssa, 2007) – Cepssa Betumes – **Manual de pavimentação**, 2ª edição, 2007. Disponível em [www.cepsa.com](http://www.cepsa.com)

**Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN)**. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume IV - Sinalização Horizontal. 2007.



**Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).** Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume VI - Sinalização Horizontal. 2022.

**Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).** Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume VI - Dispositivos Auxiliares. 2022.

COPPE/UFRJ. Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto. Relatório Final. Convênio PEC 8650. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

COSTA, M. S. (2008). **Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DER/SP ET-DE-L00/020.** Sinalização Horizontal Acrílica à Base de Água. Julho, 2006.

DNIT (2006) DNIT 31/2006 ES – Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT (2010) Manual de sinalização rodoviária. – 3.ed, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Dube, D.-E. J. G. N. (April, 2014). Netherlands test-drives world's first glow-in-the-dark highway. 15. Retrieved from <http://globalnews.ca/news/1272844/glow-in-the-dark-highway-of-the-future/>

**Estradas.com.br.** Motoristas que dirigem à noite correm mais risco de acidente. Disponível em: [Estradas - Motoristas que dirigem a noite correm mais risco de acidente](#). Acesso em: 02 de agosto de 2023.

FRAZÃO, E. B. (2002). Caracterização tecnológica das rochas. In: Tecnologia de Rochas na Construção Civil, Capítulo 7, p. 33-84, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.

FRAZÃO, E. B. (2007). Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: Agregados para a construção civil no Brasil, Capítulo 1, p. 25-74. Marcos Bartasson Tannús e João César Cardoso do Carmo (organizadores), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – MME, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC

**Follow the Colours.** Ciclovía Solar na Polônia. Disponível em: [Ciclovía solar, na Polônia, brilha no escuro e incentiva ciclistas e turistas a pedalam à noite - FTCMAG \(followthecolours.com.br\)](#). Acesso em: 25 de agosto de 2022.

FUJII, W. Y. **Avaliação do desempenho dos elementos de sinalização viária em rodovias.** Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - São Paulo, 2017.

**GD Artes.** Tinta Glow: a tinta que brilha no escuro. Disponível em: [Tinta Glow – A Tinta que Brilha no Escuro - GD Artes](#). Acesso em: 01 de setembro de 2023.

GOUVEIA, L. **Contribuições ao estudo da influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil – área de transportes) – Departamento de Transportes da Escola



- de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 340, 2006.
- ISOLANI, P. C.; MARTINS, T. S. Terras Raras: Aplicações Industriais e Biológicas. *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 1, p. 111-117, 2005. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.
- LUCENA, P. R. et al. Photoluminescence in disordered materials. *Cerâmica*, v. 50, p. 138–144, 2004.
- LOEMCO - Laboratório Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción (2003). *Aridos: Manual de Prospección, Explotación y Aplicaciones*; Capítulo 15 – Propiedades Básicas de Los Aridos, p. 343-357; Capítulo 17-Aridos para Drenaje, Filtración y Control de La Erosión, p. 393-404; Carlos López Jimeno (Editor), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas da Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- MARTINS, R. A. et al. Avaliação de agregados graúdos de pedreiras do município de Guarapari, ES. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 13, n. 3, p. 373-380, 2019.
- MOURA, Edson de. **Estudo do efeito de aditivos químicos e da cal como melhoradores de adesividade em misturas asfálticas densas**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. . Acesso em: 31 ago. 2023.
- NEVES, F. Condições de evacuação de um edifício recebendo público. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP. Porto, p. 4, 2008.
- N. Ojha, M. Tuomisto, M. Lastusaari, L. Petit, **Phosphate glasses with blue persistent luminescence prepared using the direct doping method**, *Optical Materials*, Volume 87, 2019, Pages 151-156, ISSN 0925-3467, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.03.063>.
- PALMA, Luís Manuel. **Produção de Misturas Betuminosas a Quente com Incorporação de Material Fresado**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, março de 2015.
- PAN, Zhengwei; LU, Yi-Ying; LIU, Feng. Sunlight-activated long-persistent luminescence in the near-infrared from Cr<sup>3+</sup>-doped zinc gallogermanates. *Nature materials*, v. 11, n. 1, p. 58-63, 2012.
- Pigmento de 500g. Disponível em: [500gr Pigmento Luminescente Corion Glow p/ Resina Epoxi, EVA, Cola, Tinta Branca. Brilha no Escuro sem Luz Negra - Corion Tinta Glow, Tinta Fosforescente UV, Tinta Glitter, Glow in the dark \(corionshop.com.br\)](http://500gr.Pigmento.Luminescente.Corion.Glow.p/Resina.Epoxi,EVA,Cola,Tinta.Branca.Brilha.no.Escuro.sem.Luz.Negra-Corion.Tinta.Glow,Tinta.Fosforescente.UV,Tinta.Glitter,Glow.in.the.dark.corionshop.com.br). Acesso em: 01 de setembro de 2023.
- PIMENTEL, C. **Formulação de misturas betuminosas a quente. Contribuição para um novo método de formulação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias - Faculdade de Engenharia, Lisboa, p. 124, 2013.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y., & Kennedy, T. W. (1996). Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction (No. FHWA-SA-97-071). US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- SOUZA, M. V. de et al. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. 1. ed. São Carlos: Editora da UFSCar, 2017.



STUDIO ROOSEGAARDE. **Van-Gogh Path**. Holanda: Studio Roosegaarde (s.d.) Disponível em: <<https://www.studioroosegaarde.net/project/van-gogh-path>>. Acesso em: 27 de mai. 2023.

TOURENQ, C.; Denis, A.(2000). Properties of Aggregates – Tests and Specifications. In: Aggregates, Louis Primel and Claude Tourenq (Editors), p. 109-142, Rotterdam/Brookfield 2000.

UNICESUMAR. Estudantes criam projetos para inovar e melhorar a qualidade de vida da comunidade. Disponível em: [Estudantes criam projetos para inovar e melhorar a qualidade de vida da comunidade - UniCesumar](#). Acesso em: 10 de agosto de 2022.

WINNISCHOFER, Herbert et al. Simulação Monte Carlo no ensino de luminescência e cinética de decaimento de estados excitados. Química Nova, v. 33, p. 225-228, 2010.