INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLOGICAS EM RODOVIAS

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO THE DETECTION OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS ON HIGHWAYS

Autor(a) – Sarah Chimenes Ribeiro
Estudante de Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Tecnologiade Curitiba (UNIFATEC)
E-mail Institucional:
sarah99930@unifatecpr.com.br

Orientador(a) – Ana Carolina Mendonça Mansur
Mestre em Engenharia Mecânica pelo Programa de Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná
E-mail: ana.mansur@unifatecpr.comb.br

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

RESUMO
Este trabalho de conclusão de curso, apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação da inteligência artificial (IA) na detecção de manifestações patologicas em pavimentos rodoviários. Esse assunto foi motivado, devido a vasta utilização da IA como uma ferramenta que auxilia de forma mais assertiva nas tomadas de decisões e na verificação da qualidade da pavimentação das rodovias. A metodologia utilizada, visou buscar informações referentes ao condicionamento de pavimentos, seu ciclo de vida baseado nas legislações e diretrizes do Departamento de Estradas de Rodagem (DER), e na análise de estudos voltados à aplicação da IA para a detecção das manifestações patologicas em infraestruturas rodoviárias. Os estudos encontrados demostraram que a aplicação dessa tecnologia têm um grande potencial de integração com o setor rodoviário, permitindo intervenções cada vez mais rápidas, precisas e seguras.
Palavras-chave: Condicionamento de pavimentos, Machine Learning, Redes Neurais

ABSTRACT
This final project presents a bibliographical survey on the application of artificial intelligence (AI) in detecting pathological manifestations in road pavements. This topic was motivated by the widespread use of AI as a tool that assists in more assertive decision-making and in verifying the quality of highway paving. The methodology used aimed to gather information regarding pavement conditioning, its life cycle based on the legislation and guidelines of the Department of Highways (DER), and the analysis of studies focused on the application of AI for the detection of pathological manifestations in road infrastructure. The studies found demonstrated that the application of this technology has great potential for integration with the road sector, enabling increasingly faster, more precise, and safer interventions.
Keywords: Pavement conditioning, Machine Learning, Neural Networks

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um crescimento no Brasil do uso da inteligência artificial, de acordo com uma pesquisa desenvolvida pela Edelman Comunicação destinada a Microsoft em 2023, 74% dos 300 questionários respondidos pelas empresas de pequeno a grande porte já utilizam e ou adotam a IA em suas atividades operacionais. Isso se deve, não só pelo avanço tecnológico, mas pela necessidade de controle e armazenamento de dados, pelos novos padrões organizacionais e pelas exigências de qualidade nos processamentos de informações (OLIVEIRA *et al.,* 2024).

Esse novo cenário tecnológico já se reflete nas atividades da indústria construtiva, que implementam a IA na otimização de processos e análises de dados em conjunto com simples programas, como o Word, Excel, até softwares mais estruturados, como o Revit, Civil 3D, Navisworks e outros. Assim pode-se afirmar que a aplicação da IA se apresenta de diferentes formas, nas infraestruturas rodoviárias por exemplo, auxilia na identificação das condições do pavimento, nas deformações, nas trincas e fissuras, de forma a tornar o processo que antes era realizado de forma manual um processo mais ágil e de fácil visualização (FREITAS, 2022).

De acordo com os dados divulgados pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2022, houve uma piora na situação da malha viária quando comparada com o ano de 2021, essa tendência de defeitos do pavimento, poderia ser verificada de forma mais rápida com a implementação da IA. Assim, se busca compreender como se poderia utilizar a IA de forma qualitativa e benéfica para a automatização de processos, controle de informações, verificação e análise de pavimentos de forma a se mitigar os problemas atuais e futuros relacionados ao condicionamento dos pavimentos.

2. OBJETIVO GERAL

Levantar dados bibliográficos referente ao uso da inteligência artificial na detecção de manifestações patologicas na infraestrutura rodoviária, de forma a entender a sua contribuição, suas limitações e seu potencial para o setor de estudo.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Analisar a implementação da inteligência artificial em infraestruturas rodoviárias, relacionadas ao condicionamento dos pavimentos, a automatização de processos, ao controle de dados, para por fim entender seus impactos na detecção da qualidade dos pavimentos com o uso da tecnologia.

3. METODOLOGIA DA PROPOSTA DE PESQUISA

As etapas adotadas na metodologia de pesquisa, foram por meio de artigos publicados em revistas, artigos publicados em congressos, dissertações de mestrado e teses de doutorados relacionados ao tema. Com o resultado dessas pesquisas se verificou a viabilidade do uso da inteligência artificial na detecção das manifestações patologicas no pavimento, seus benefícios e riscos.

4. FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

Abaixo serão apresentados alguns conceitos técnicos em relação a constituição de pavimentos, bem como explicações das manifestações patológicas que se pode encontrar nas rodovias, a importância do ciclo de vida que visa estabelecer a conservação, restauração e a reabilitação dos pavimentos e a integração do uso da inteligência artificial na detecção dos defeitos de pavimentos que não permitem a qualidade das rodovias.

4.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA – CONSTITUIÇÃO DE PAVIMENTOS

O entendimento referente a contituição dos pavimentos é essencial para o início de um reparo em uma rodovia, sendo assim se faz necessário realizar um estudo minucioso referente às condições do pavimento. O Departameto Nacional de Infraestrura de Transporte (2003) intrui como metodologia para a avaliação e diagnóstico do pavimento, a verificação do volume de tráfego, o monitoramento climático, a avaliação dos materiais empregados e a classificação dos defeitos.

E em conjunto o DER PR (2023) salienta a impotância de se realizar o estudo do comportamento estrutural do pavimento, visto que sua composição é subdividida em camadas que visam minimizar os esforços verticais e oferecer proteção a camada do subleito, elemento essencial para a durabilidade e segurança da via.

Assim, o tipo de pavimentação e estrutura adotada em uma rodovia pode variar de acordo com a sua finalidade, visto que seu objetivo é de suportar o tráfego e transmitir as cargas para o solo. Os pavimentos flexíveis, por exemplo, são compostos por ligantes asfálticos e agregados, indicados para vias urbanas e rurais. Já os pavimentos rígidos, apresentam em sua constituição o uso de concreto e ou cimento que aumentam a rigidez da estrutura, esse tipo de pavimentação é indicada para áreas urbanas de alto tráfego.

A figura 1 apresentada abaixo demostra a composição do pavimento flexível, divido em cinco camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Já a figura 2, demostra a composição de base e revestimento, sub-base e subleito das camadas de um pavimento rígido com placas de concreto de cimento portland.

Figura 1 – Composição de um pavimento flexível



Fonte: BERNUCCI, L. B. *et. al*., 2008.

Figura 2 – Composição dos pavimentos rígidos



Fonte: BERNUCCI, L. B. *et. al*., 2008.

É importante ressaltar que à deterioração do pavimento pode acontecer devido aos erros de projeto, erros de execução, dosagem indequada de materiais, tráfego de veículos,

bem como devido a fatores ambientais relacionados a altas chuvas e mudanças climáticas (ALBUQUERQUE, 2017) que ocasionam os defeitos nos pavimentos conhecidos como manifetações patológicas.

4.1.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As rodovias são expostas ao clima, alto tráfego, e a diferentes condições que com o passar do seu ciclo de vida podem ocasionar manifestações patológicas que comprometem a qualidade viária. Bauduíno e Cosmos (2022) destacam as fendas, a exsudação de asfaltos, a subida de finos, o desgaste superficial, o escorregamento do revestimento asfáltico, as panelas e o remendo como os principais tipos de degradação do pavimento flexível. O Quadro 1 a seguir ilustra algumas dessas manifestações, com suas respectivas características e possíveis causas.

Quadro 1 – Tipos de Patologias

Tipo de Patologia:	Imagens
Fenda: São caracterizas como fissuras longitudinais e ou transversais que se pode ramificar com o passar do tempo e ocasionar outras fissuras em paralelo. No seu estado mais crítico pode ocasionar a "pele de crocodilo", nome que se dá devido as fissuras interligadas, ocasionada por fadiga do pavimento; insuficiência estrutural; infiltrações de água e ou falta de impermeabilização; e o envelhecimento do ligante asfálticos (MARTINS,2019).	 Fonte: SINDETRANS,2018.
Exsudação de Asfalto: Apresenta um baixo volume de vazios, sendo o excesso de ligantes um dos fatores que pode ocasionar a dilatação do asfalto quando submetido ao calor, sua aparência é brilhosa dado o excesso da utilização do ligante betuminoso (RIBEIRO,2017).	 Fonte: SINDETRANS,2018.

Subida de Finos: Movimentação dos materiais entre as camadas, devido a problemas de drenagem e ou infiltração. O material evacua pela superfície do pavimento por meio de fendas que são ocasionadas pela compressão exercida pelos veículos (RIBEIRO,2017).	 Fonte: RIBEIRO,2017.
Desgaste: Essa patologia está associada ao alto tráfego de veículos, ao intemperismo e composição não eficaz entre os componentes, que ocasiona o surgi mento dos agregados na camada superficial. (MARTINS,2019);	 Fonte: SINDETRANS,2018.

Fonte: A Autora, 2025.

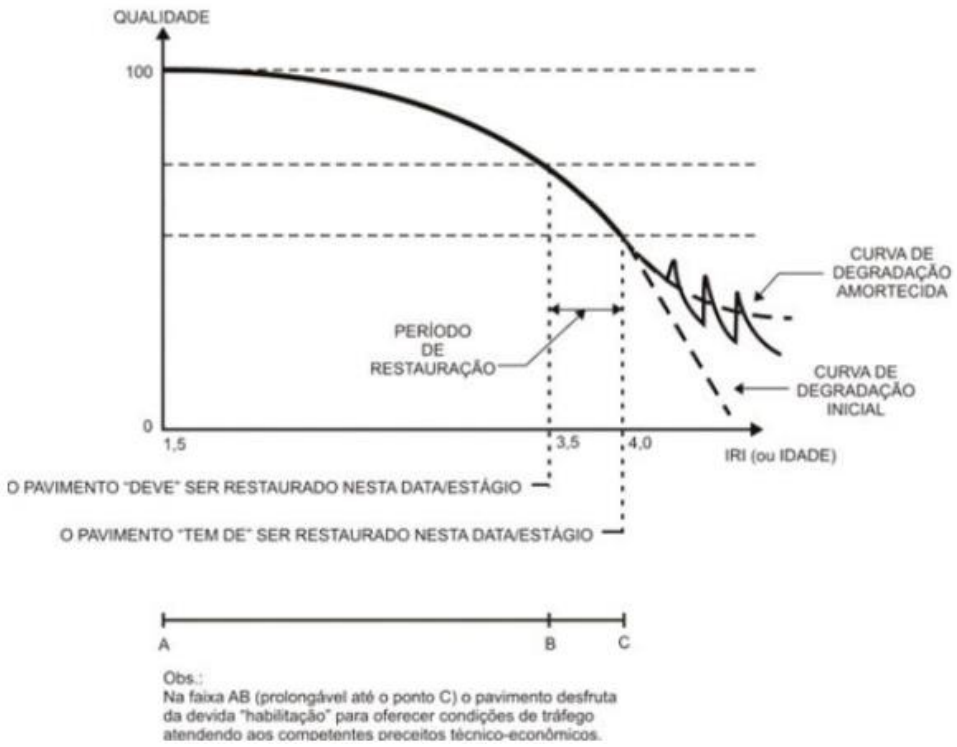
4.1.3 CICLO DE VIDA DO PAVIMENTO

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006), o pavimento tem um ciclo de vida que se baseia na conservação, restauração e reabilitação. A conservação visa preservar as características pré-estabelecidas com operações periódicas, sendo assim, nela pode-se empregar melhoramentos do sistema de proteção, a recuperação do pavimento por meio da restauração e ou reabilitação.

Já a restauração e a reabilitação referem-se a recuperação do pavimento deteriorado dentro ou próximo de seu ciclo de vida final, englobam possíveis melhoramentos relacionados a adequações da capacidade de tráfego, segurança viária; restauração e reabilitação; duplicação da rodovia; recapeamento do pavimento; reconstrução do pavimento e o reforço do pavimento.

Abaixo a Figura 3 ilustra o ciclo de vida de um pavimento, quando o eixo se encontra em AB e ou ABC o pavimento ainda esta em situação de uso, mas deve ser restaurado afim de oferecer uma boa qualidade de tráfego. Ou seja, quanto maior for o tempo de vida, menor será a qualidade do pavimento e consequente maior serão os problemas relacioandos a reabilitação, restauração e conservação.

Figura 3 – Ciclo de vida do pavimento



Fonte: DNIT, 2006

4.2 APLICAÇÃO DA IA EM INFRAESTRUTURAS RODOVIARIAS

Novos padrões de projetos na construção civil vem sendo redefinidos devido a utilização da inteligencia artificial. Dias *et al.* (2023) aponta que os sistemas de automatização permitem um gerenciamento de tempo, custos adequados e o monitoramento das atividades, os avanços no setor possibilitam uma maior eficiência, segurança e sustentabilidade.

Atualmente a inspeção e manutenção das infraestruturas já encontram-se integradas com o uso da IA. Assim, a inspeção das infraestruturas podem ser levantadas por meio de algoritmos de visão computacional que capturam imagens, as enviam para o sistema criado que realizada o aprendizado da máquina.

Em obras de infraestruturas como a de rodovias a utilização da inspeção visual por meio de imagens; o monitoramento contínuo das condições do pavimento em tempo real; auxiliam no diagnóstico, pois a partir desses dados obtidos pode-se identificar padrões, possíveis falhas, possíveis manutenções de forma se empregar medidas corretivas em um tempo hábil evitando-se possíveis problemas fututos.

4.3 DEFINIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

A inteligência artificial é uma ferramenta amplamente utilizada na atualidade, Silva F. M. *et al.* (2018) a define como uma tecnologia inteligente desenvolvida pela ciência da computação com o objetivo de realizar atividades desenvolvidas pelo ser humano, tais como, o raciocínio lógico, o aprendizado por meio de dados, o reconhecimento de padrões e a tomada de decisões, sendo assim, pode-se entender que o armazenamento e a manipulação de dados possibilita o aprendizado da máquina.

Os principais campos de estudo da tecnologia são o Machine Learning, que é o aprendizado da máquina por meio de dados e padrões nos quais foram programados. Deep Learning área mais complexa, voltada para a parte estatística e lógica onde se utiliza de redes neurais artificiais para o seu apresendizado. Computer Vision (Visão Computacional), que utiliza imagens e vídeos para a interpretação das máquinas, o processamento da linguagem neural, a robótica e muitos outros setores que a inteligencia artificial abrange.

4.4 EXEMPLIFICAÇÃO DE UM LEVANTAMENTO AUTOMATIZADO

No estudo de caso realizado pelo Freitas (2022), os levantamentos foram realizados por meio de câmeras acopladas sobre um veículo que realizam registros fotográficos e ou frames em um curto período sobre uma velocidade média que poderia variar de 30 km/h a 110 km/h, com esses registros se pode avaliar os defeitos de superfície de um pavimento e classificar os defeitos por meio dos sensores do disposto que foram treinados a verificar os defeitos em relação a severidade, integridade e frequência. O que resultou em três índices: Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis (ICPF); Indice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e o Indice do Estado de Superfície do Pavimento (IES). Após o levantamento dessas informações, os defeitos foram segmentados de acordo com as suas características e quantificados.

4.4.1 DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE OBJETOS

A classificação de objetos identifica classe da imagem gerada se é um buraco ou um remendo. Já a detecção prevê e identifica objetos conforme sua classificação. Abaixo a figura 4 demostra a esquerda, a classificação do tipo de patologia e do lado direito os burados e os locais que deverão ser reparados (FREITAS,2022).

Figura 4 – Funcionamento da Detecção



Fonte: Freitas, 2022.

4.4.2 ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO

ICPF – Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semirrígidos

É estimado por meio de avaliação da superfície conhecido como Levantamento Visual Contínuo (LVC), onde se calcula a média dos índices para se chegar em um resultado para o trecho de estudo (DNIT, 2003). Abaixo a tabela 2, demostra o conceito que pode ir do ótimo ao péssimo; a descrição da condição do pavimento; e o índice ICPF.

Tabela 2 – Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semirrígidos – DNIT

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5-4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA - Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4-3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com “panelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3-2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2-1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO -defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base.	1-0

Fonte: DNIT,2003.

Índice De Gravidade Global Expedito (IGGE)

Esse índice é essencial para o entendimento da qualidade das rodovias, pois, além de avaliar a média dos valores entre trincas, deformações, panelas e remendos, identifica a gravidade de cada patologia. Assim, se o resultado encontrado for de gravidade 1, significa que a rodovia se encontra em boas condições, já se o resultado foi de gravidade 3 os profissionais responsáveis deverão tomar medidas para a resolução do problema conforme demostrado na tabela 3 e 4 respectivamente (DNIT,2003).

Tabela 3 – Indicador panelas e remendos

Panelas (P) e Remendos (R)		
FREQÜÊNCIA	**Fator Fpr Quantidade/Km**	**GRAVIDADE**
A - ALTA	≥ 5	3
M - MÉDIA	2 - 5	2
B - BAIXA	≤ 2	1
Demais **defeitos** (trincas, deformações)		
FREQÜÊNCIA	**Fatores Ft e Foap (%)**	**GRAVIDADE**
A - ALTA	≥ 50	3
M - MÉDIA	50 - 10	2
B - BAIXA	≤ 10	1

Tabela 4 – Gravidade das Deformações

GRAVIDADE	Pt	Poap	Ppr
3	0,65	1,00	1,00
2	0,45	0,70	0,80
1	0,30	0,60	0,70

Fonte: DNIT, 2003.

Índice Do Estado De Superfície Do Pavimento (IES)

Índice que avalia a superfície do pavimento onde os valores podem ir de 0 a 10, esse valor é estimado por meio de outras variáveis como a condição do pavimento ICPF e do resultado da gravidade das patologias IGGE, ambos os indicadores influênciam no resultado da superfície do pavimento (IES). Assim, conforme demostrado na tabela 5, quanto menor o IES, menor é o resultado das variáveis e maior é a qualidade da via e quanto maior o IES pior é o resultado encontrado e maior é o valor da variáveis (DNIT,2003)

Figura 5 – Indice ICPF e IGGE.

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
IGGE ≤ 20 e ICPF > 3,5	0	A	ÓTIMO
IGGE ≤ 20 e ICPF ≤ 3,5	1	B	BOM
20 ≤ IGGE ≤ 40 e ICPF > 3,5	2		
20 ≤ IGGE ≤ 40 e ICPF ≤ 3,5	3	C	REGULAR
40 ≤ IGGE ≤ 60 e ICPF > 2,5	4		
40 ≤ IGGE ≤ 60 e ICPF ≤ 2,5	5	D	RUIM
60 ≤ IGGE ≤ 90 e ICPF > 2,5	7		RUIM
60 ≤ IGGE ≤ 90 e ICPF ≤ 2,5	8	E	PÉSSIMO
IGGE > 90	10		

Fonte: DNIT, 2003.

4.5 EXEMPLICAÇÃO DA IA POR VISÃO COMPUTACIONAL

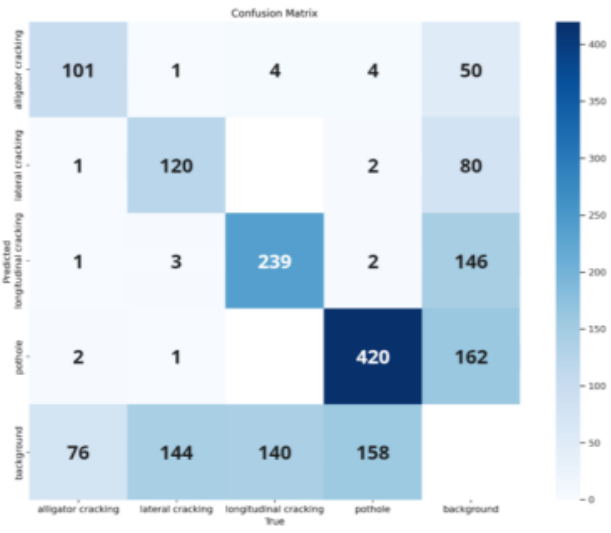
Tessitore *et al.* (2020) em sua pesquisa desenvolveu um modelo da inteligencia artificial de visão computacional, no qual processava imagens e identificava objetos por meio de padrões e movimentos, essa tecnologia foi desenvolvida por meio de treinamento em conjunto com os dados coletados. O funcionamento do processamento consistia na coleta da imagem pelo sistema que passava pela extração e refino de forma a buscar as características mais relevantes pelo modelo de algoritmo YOLOv9.

Foram coletadas algumas imagens para o estudo e os resultados obtidos apontaram que o modelo identificou de forma correta 101 *alligator cracking* (trincas interligadas) , 120 de *lateral cracking* (trincas transversais), 239 de *longitudinal cracking* (trincas longitudinais) e 420 de *potholes* (panelas), a tecnologia pontuou de forma mais eficaz na detecção de panelas. Abaixo a Figura 6 e 7 ilustraram o resultado obtido por meio da proposta da visão computacional e a matriz de confusão dos dados de teste que visa avaliar o desempenho do modelo de estudo.

Figura 6 – Proposta Visão Computacional



Figura 7 – Matriz de avaliação de desempenho



Fonte: Tessitore *et al.* (2020)

Os autores também ressaltam que o modelo criado realiza o processamento da imagem, desde que a mesma apresente uma boa resolução e que esteja no enquadramento adotado pela tecmologia. Dessa forma salientam a importância do treinamento da máquina de forma a melhorar a capacidade do aprendizado da máquina e aumentar a precião dos dados coletatos.

4.6 DESVANTAGENS E BENEFÍCIOS

Os principais pontos de desvantagens considerados por Freitas (2022) esta ligado com a variação e qualidade das imagens que podem impactar diretamente na performace do software, se o produto não for obtido visando a excelência e a obtenção de dados. Entretanto, o mesmo salienta que a tecnologia, possibilita o mapeamento de grandes áreas, auxiliando no reconhecimento de defeitos de pavimentos, e nas tomadas de decisões das manutenções de rodovias.

Também salienta que o tempo de resposta é eficaz no que que diz respeito a identificação das condições de pavimentos e que apresenta uma precisão de 99,89% e 95,91% para buracos e remendos respectivamente. A utilização da IA apresenta resultados posivitos, seu investimento possui um baixo custo, sua operação depende de uma boa câmera e de uma boa resolução, e que a tecnologia apresenta uma alta produtividade por não depender de inspeções visuais e tem um potencial de ser utilizado em grande escala.

4.7 REGULAMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA

O Projeto de Lei 2.338/2023 foi aprovado pelo senado em dezembro de 2024 e passará para a Câmara dos Deputados, onde ira se discutir a respeito do desenvolvimento da tecnologia (IA) visando estabelecer e orientar a respeito de seus usos, direitos e segurança de dados (SENADO,2024). Os principais pontos levantados na PL se referem a classificação por riscos; avaliação preliminar de riscos; direitos autorais; autoridade reguladora, tais pontos visam estabelecer um marco regulatório para o uso da inteligência atificial no Brasil.

4.8 DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA IA

Os principais desafios apontados por Dias *et al.* (2023) em relação ao uso da tecnologia faz referência a responsabilidade na tomada de decisões que deve depender da supervisão humana, pois os algoritmos podem gerar resultados falsos em suas análises. Também comenta sobre a importância da criação de algoritmos transparentes que possibilitem o entendimento dos profissionais que auxiliam na atividade de campo,

garantindo dessa forma, a proteção ao empreso, a inclusão social, treinamentos e até impactos positivos em relação ao uso da tecnologia. E salienta sobre o investimento na proteção dos sistemas de computação relacionados a tecnologia, tais como a cybersegurança e a implementação da Lei Geral de Proteção de Dados, garantindo dessa forma a segurança da empresa, dos clientes, do banco de dados e integridade das informações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho de conclusão de curso buscou analisar o uso da inteligência artificial na detecção das manifestações patológicas nas infraestruturas rodoviárias. Para esse estudo foi necessário buscar referências bibliográficas sobre o condicionamento de pavimentos, as manifestações patológicas, o ciclo de vidado pavimento, para assim compreender como a IA pode ser uma ferramenta de apoio para a automatização de processos e para o controle de dados.

Os resultados encontrados evidenciaram que o uso da inteligência artificial apresentam resultados positivos, pois as metologias aplicadas para a obtenção de dados como as inspeções em campo poderão se integrar com a tecnologia garantindo dessa forma resultados mais rápidos, relacionados a identificação das manifestações patológicas, a automatização de processos e consequentemente a adequação das rodovias que não se encontram com uma qualidade adequada para o uso.

Os pontos positivos encontrados, foram que a aplicação da tecnologia IA e do aprendizado da máquina podem auxiliar na conservação, restauração e reabilitação das vias, garantido dessa forma a segurança, a mobilidade viária e a reconstrução adequada do pavimento conforme estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Já os pontos negativos relacionados ao uso da tecnologia encontra-se no treinamento da máquina e ou do algoritmo, é necessário testes contínuos bem como avalições do desempenho do uso de forma a se garantir resultados precisos.

Um ponto a se considerar é que a implementação da IA apesar de contribuir com a resolução de problemas voltados com a detecção de patologias na infraestrutura viária deve estar vinculada a estudos contínuos, não só por ser ser um tema com uma crescente no cenário mundial, mas por necessitar de um entendimento adequado em relação ao uso tecnologia pelos profissionais e empresas.

6. REFERÊNCIAS

ARTIGOS

ALBUQUERQUE, Tairone Paz. **Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos**. João Pessoa, paraíba. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/12835/1/Arquivototal.pdf. Acesso em: 17 de novembro de 2024.

BALDUINO, Yan Carlos; COSMO, Rafael. **Principais patologias na pavimentação rodoviária: identificação das causas e reparos**. Esfera Acadêmica Tecnologia (Issn 2526-4141), Vol. 7, Nº 2, Ano 2022. Disponível em: https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2024/10/REVISTA_ESFERA_TECNOLOGIA_V07_N02_ARTIGO4.pdf

BERNUCCI, Liedi; MOTTA, Laura; CERATTI, Jorge; SOARES, Jorge. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Petrobrás. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/0d316eee-ef3b-4fb0-bdf7-fbd2bc7b0863/Bernucci-2008-Pavimentacao%20asfaltica.pdf. Acesso em: 5 de novembro de 2024.

DIAS, Aniel de Melo; SANTOS, Liliane Cruz Gomes de Souza; DINIZ, Hélio Augusto Goulart. **A inteligência artificial na engenharia civil**. Coleção Pesquisas em Temas de Engenharias. Edição 1. Vol. 09. Pp. 220-238. 2023. ISBN: 9786558894919. Acesso em: 15 de março de 2025.

FREITAS, Gabriel Tavares de Melo. **Software para identificação de defeitos na superfície de pavimentos rodoviários utilizando deep learning**. 2022. FORTALEZA. Disponível em:https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69600. Acesso em: 20 de março de 2025.

MARTINS, Ricardo. **Inteligência artificial no apoio à gestão de infraestruturas rodoviárias**. Porto. 2019. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15673/1/DM_RicardoMartins_2019_MEI.pdf

OLIVEIRA, Tharik; PAULO, Elson; LARA, Rute; MELO, Fabricia; AGNOLETO, Ethiane. **Transformação da engenharia civil através da inteligência artificial: um novo horizonte de inovação**. Nativa – Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso, Mato Grosso, v.13, n.1, p.1-24, 2024.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo descritivo das principais patologias em pavimento flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017. ISSN:2448-0959. Acesso em: 20 de novembro de 2024.

SILVA, Fabrício M.; LENZ, Maikon L.; FREITAS, Pedro HC; e outros. **Inteligência artificial**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. pág.13. ISBN 9788595029392. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595029392/. Acesso em: 14 de maio. 2025.

TESSITORE, Gustavo S.; HIGUCHI, Isaac; AMORIM, Lucas L.; COELHO, Rooney R. A. São Paulo. 2020. **Detecção De Patologias Em Rodovias Utilizando Métodos De Aprendizado Profundo.** Disponível em: https://www.sba.org.br/cba2024/papers/paper_3055.pdf

WEBSITES:

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Rodovias brasileiras apresentam piora de qualidade**. Agência CNT,9 mar.2002. Diponível em: https://cnt.org.br/agencia-cnt/rodovias-brasileiras-apresentam-piora-de-qualidade. Acesso em: 20 de setembro de 2024.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO PARANÁ (DER-PR) – TOMO III – **Manual de execução de serviços rodoviários. 2023**. Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/202310/MESR_TOMO_III_PAVIMENTACAO.pdf. Acesso em: 7 outubro de 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – **Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2006**. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf. Acesso em: 10 de outubro de 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – **Avaliação superfície de pavimento. 2003**. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

MINISTÉRIO DA CULTURA. **Senado Federal aprova marco regulatório da inteligência artificial. 2024.**
Disponível em: https://www.gov.br/cultura/pt-br/assuntos/noticias/senado-federal-aprova-marco-regulatorio-da-inteligencia-artificial. Acesso em: 07 abril 2025.
SINDETRANS RP. **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias**. . 9 fev. 2018. Disponível em: https://www.sindetransrp.com/noticias/conheca-os-13-principais-defeitos-do-pavimento-das/. Acesso em: 20 maio 2025.

ANEXO I

TERMO DE AUTORIZAÇÃO E CIÊNCIA PUBLICAÇÃO DE TRABALHO ACADÊMICO

Eu, **SARAH CHIMENES RIBEIRO** inscrito no CPF sob o nº **09814399930**, devidamente matriculado(a) no curso de Bacharelado em **ENGENHARIA CIVIL** do Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba – UNIFATEC, doravante denominado AUTOR(A), AUTORIZO o Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba – UNIFATEC, instituição de ensino superior, mantida pela Escola Tecnológica de Curitiba LTDA, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ/MF sob nº 04.972.854/0001-90, com endereço na Rua Itacolomi, 450, Portão, Curitiba, Paraná, a expor na íntegra o trabalho acadêmico **intitulado INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM RODOVIAS**, para fins de consulta pública, na biblioteca e/ou qualquer outro espaço, físico ou virtual, disponibilizado pela instituição.
Ainda, devido ao fato de tornar-se um documento científico de domínio público, assumo exclusiva, total e independente responsabilidade pela boa origem e autenticidade de todo o conteúdo do trabalho acadêmico, isentando a instituição de qualquer obrigação perante terceiros que se sintam prejudicados, nos termos da legislação vigente. Além disso, estou ciente de que serão observados os direitos morais de autor.

E por ser esta a expressão da verdade, assino o presente instrumento, a fim de que produza os seus efeitos jurídicos e legais efeitos.

Curitiba, 31 de Maio de 2025

Sarah Chimenes Ribeiro

gov.br
Documento assinado digitalmente
SARAH CHIMENES RIBEIRO
Data: 31/05/2025 17:34:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

ANEXO II

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E COMPROMISSO DE USO RESPONSÁVEL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Eu, **SARAH CHIMENES RIBEIRO**, inscrito no CPF sob o nº **09814399930**, devidamente matriculado(a) no curso de Bacharelado em **ENGENHARIA CIVIL** do Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba – UNIFATEC, doravante denominado AUTOR(A), DECLARO para os devidos fins legais e perante terceiros:

1. Autoria, originalidade e Ineditismo: Que sou o legítimo(a) autor(a) do trabalho intitulado INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM RODOVIAS, e que este é fruto de minha pesquisa, reflexão e/ou criação original, sendo inteiramente inédito, não tendo sido submetido, publicado ou aceito para publicação em qualquer outro veículo ou formato.

2. Respeito às Normas de Citação: Comprometo-me a respeitar integralmente as normas relativas a citações e referências bibliográficas, assegurando a devida menção a todos os autores, autoras e obras que contribuíram para a realização do presente trabalho, evitando, assim, qualquer forma de plágio.

3. Responsabilidades: Estou ciente das implicações legais relativas à violação dos direitos autorais e à prática de plágio, e assumo inteira responsabilidade por eventuais penalidades decorrentes de ações que venham a ser movidas em face do presente trabalho, decorrentes de infrações às disposições aqui declaradas.

4. Uso de Inteligência Artificial: Declaro que, em caso da utilização de ferramentas de Inteligência Artificial, esta foi feita especificamente para a revisão gramatical, coesão e coerência textual do trabalho em questão. No entanto, tal utilização restringiu-se a melhorias textuais, sem interferir, alterar ou comprometer a originalidade e autenticidade do conteúdo, análises, argumentos ou conclusões do estudo.

E por ser esta a expressão da verdade, assino o presente instrumento, a fim de que produza os seus efeitos jurídicos e legais efeitos.

Curitiba, 31 de Maio de 2025

Sarah Chimenes Ribeiro

gov.br Documento assinado digitalmente
SARAH CHIMENES RIBEIRO
Data: 31/05/2025 17:36:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE TECNOLOGIA DE CURITIBA
Mantenedora: Escola Tecnológica de Curitiba Ltda.
Credenciado pela Portaria nº. 1.057, de 27 de dezembro de 2021 – DOU de 28/12/2021.

FORMULÁRIO DE ENCAMINHAMENTO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA BANCA AVALIADORA

Eu, docente Ana Carolina Mendonça Mansur como orientador(a) do trabalho de conclusão de curso intitulado INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM RODOVIAS do(s) estudante(s) SARAH CHIMENES RIBEIRO.

Considero que o TCC está (X) APTO; ( ) NÃO APTO

Para apresentação em Banca de Defesa Pública de TCC:

O PROTOCOLO SOMENTE RECEBERÁ A DOCUMENTAÇÃO COMPLETA:	VERIFICAÇÃO
1. ENVIAR O ARQUIVO DIGITAL DO TCC VIA SISTEMA ACADÊMICO	(X)
2. CONTER TODOS OS ANEXOS DEVIDOS E SUAS RESPECTIVAS ASSINATURAS	(X)
3. REQUERIMENTO DE ORIENTAÇÃO DEVIDAMENTE REALIZADO ANTERIORMENTE VIA SISTEMA ACADÊMICO	(X)

Data de defesa: 16/06/2025 às 19:30.

Curitiba, 04 de junho de 2025.

ESTUDANTE

gov.br Documento assinado digitalmente
SARAH CHIMENES RIBEIRO
Data: 03/06/2025 22:28:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

SARAH CHIMENES RIBEIRO

COORDENADOR(A)

Ana Mendonça Mansur

COORDENAÇÃO DE ÁREA UNIFATEC

DOCENTE ORIENTADOR(A)

Ana Mendonça Mansur

ANA CAROLINA MENDONÇA MANSUR