

Protótipo de Visão Computacional para Detecção e Classificação de Patologias de Ruptura em Estruturas de Concreto

Marcos Virgílio da Costa | marcos.virgilio@ifsc.edu.br¹
Renato Luiz Bergamo | renatobergamo@ifsc.edu.br²
Rafael Silva Pippi | pippi@ifsc.edu.br³
Guilherme João Zardo | guilherme.jz@aluno.ifsc.edu.br⁴
Vinícius Artini Bergamo | vinicius.ab27@aluno.ifsc.edu.br⁵

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Um estudo realizado pelo IBAPE (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia) em 2020, indica que cerca de 80% das construções com mais de 30 anos apresentam manifestações patológicas que podem comprometer a segurança estrutural. Atualmente, a inspeção de estruturas de concreto depende majoritariamente de métodos manuais e visuais, que são subjetivos e suscetíveis a falhas de interpretação humana. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo baseado em Visão Computacional (VC) para a detecção e classificação de patologias de ruptura, em tempo real, em estruturas de concreto, utilizando uma placa Raspberry Pi 3B como unidade de processamento.

Os testes experimentais foram realizados com corpos de prova de concreto, submetidos a tensões de compressão em uma prensa hidráulica, nos quais o sistema alcançou 100% de sucesso na detecção visual das patologias de ruptura nos corpos de prova e um índice de 20% de detecção de falsos positivos, indicando outros tipos de patologias como lascas, delaminações e desagregações, também como rupturas. Já na mensuração/classificação das patologias detectadas, o sistema apresentou um erro de 0,10 a 0,30 mm em relação a medição de verificação manual com o paquímetro. Com esses resultados o protótipo demonstrou seu potencial como uma ferramenta para o auxílio de especialistas humanos, principalmente em áreas de risco ou de difícil acesso.

Palavras-chave: visão computacional; patologias de ruptura; concreto; inspeção automatizada; processamento de imagem.

Introdução

¹ Docente da área de Informática do IFSC Campus Chapecó.

² Docente da área de Mecânica do IFSC Campus Chapecó.

³ Docente da área de Engenharia de Controle e Automação do IFSC Campus Chapecó.

⁴ Egresso do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFSC Campus Chapecó.

⁵ Estudante do curso Técnico em Desenvolvimento de Sistemas do IFSC Campus Chapecó.

A indústria da construção civil enfrenta um desafio persistente relacionado à durabilidade e segurança de suas estruturas. O surgimento de patologias de ruptura, como fissuras, trincas e rachaduras, atua como um sinal de alerta para estados limites de serviço ou de utilização, podendo indicar desde falhas de execução até problemas graves de recalque ou sobrecarga, segundo Saliba e Carvalho Júnior (2019).

A prática convencional de inspeção visual, embora essencial, é limitada pela acuidade do inspetor, pela dificuldade de acesso a locais críticos e pela falta de padronização quantitativa. Métodos tradicionais são puramente qualitativos e não permitem um acompanhamento dinâmico do histórico da estrutura, dificultando a gestão de ativos baseada em dados precisos. Nesse cenário, a Visão Computacional (VC) apresenta-se como uma tecnologia promissora para a automação destas inspeções.

Segundo Silva e Costa (2022), o uso de tecnologias digitais para o monitoramento de estruturas permite uma análise mais objetiva, superando a subjetividade da avaliação humana. Diferente de abordagens de VC baseadas em *Deep Learning*, este projeto usa apenas técnicas da VC Clássica para reduzir o custo computacional de processamento e permitir a execução do sistema em um hardware de menor custo financeiro.

Fundamentação teórica

A análise das patologias de ruptura é fundamentada nas normas brasileiras, especificamente a NBR 6118:2023 e a NBR 15575:2021, que estabelecem parâmetros para o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto. Para a classificação das patologias, adotou-se a metodologia de Oliveira (2012), que categoriza as rupturas conforme sua severidade milimétrica: fissuras (até 0,5 mm), trincas (0,5 a 1,5 mm), rachaduras (1,5 a 5,0 mm) e fendas ou brechas (acima de 5,0 mm).

No campo tecnológico, a Visão Computacional (VC) é definida como a área que permite a sistemas digitais extrair informações significativas de imagens. Segundo Marr (1982), a VC pode ser compreendida como um processo de investigação computacional que busca representar e processar informações visuais de forma estruturada. No contexto da engenharia civil, a VC é vista como um sensor óptico capaz de automatizar tarefas de inspeção. Gonzalez e Woods (2010) ressaltam que o processamento digital de imagens

permite a aplicação de operações matemáticas para realçar feições de interesse, como bordas e contornos, essenciais para isolar as patologias do fundo ruidoso do concreto.

No protótipo proposto, grande parte das etapas de processamento das imagens são executadas com a biblioteca gratuita OpenCV, como a conversão de cores para uma escala de cinza, o uso de Filtros Gaussianos para suavização de ruídos superficiais, técnica defendida por Bhattacharya e Chatterjee (2017) para a remoção de ruídos em imagens digitais e a limiarização adaptativa (*thresholding*), que permite separar a morfologia da ruptura da face do concreto mesmo sob condições variáveis de luminosidade, conforme técnicas de preservação de arestas discutidas por Raman (2024).

Procedimentos metodológicos

A metodologia seguiu uma abordagem experimental aplicada em três frentes: hardware, software e ensaios laboratoriais. O conjunto de hardware é composto por uma placa Raspberry Pi 3B, uma câmera USB de resolução HD e um refletor LED de 10W. A escolha desse conjunto visou a portabilidade e o processamento local, eliminando a dependência de servidores externos e transmissão de dados via redes de comunicação.

O software foi implementado com a linguagem Python, uma vez que a biblioteca OpenCV é disponibilizada nessa mesma linguagem. As imagens são obtidas em tempo real da câmera USB pelo software, que então realiza todo processamento das imagens e executa as devidas rotinas de identificação e classificação das patologias de ruptura.

Para a validação prática, foram utilizados 15 corpos de prova de concreto submetidos a ensaios de compressão em prensa hidráulica. O protótipo foi calibrado para funcionar a 23 cm de distância da face monitorada, os resultados obtidos foram confrontados com medições manuais feitas com o auxílio de um paquímetro digital de precisão 0,01 mm.

Resultados e discussões

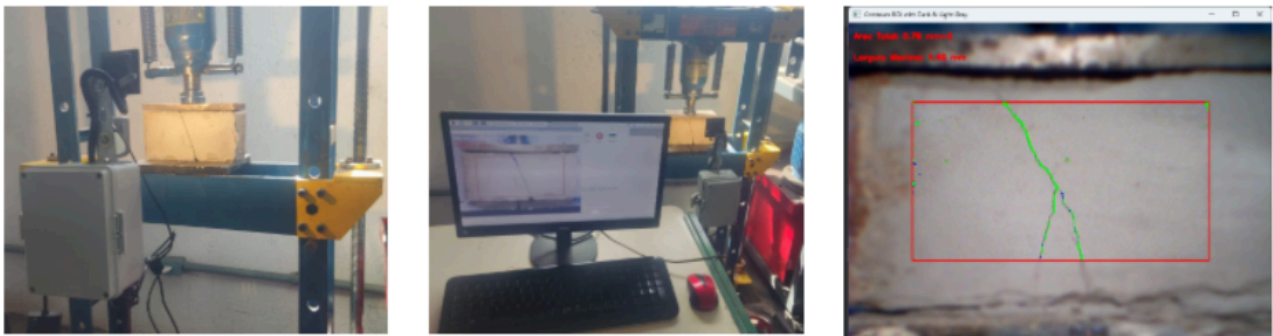
O protótipo obteve 100% de sucesso na detecção visual das patologias de ruptura reais nos corpos de prova e um índice de 20% de detecção de falsos positivos, indicando outros tipos de patologias como lascas, delaminações e desagregações, também como

rupturas. Já na mensuração/ classificação das patologias de ruptura detectadas, o sistema apresentou uma margem de erro de 0,10 a 0,30 mm em relação à medição de verificação manual com o paquímetro.

Como a ferramenta atua como auxílio ao processo de inspeção e não substitui o especialista humano, os falsos positivos podem ser interpretados como alertas de outras manifestações patológicas para avaliação. Além disso, a margem de erro na medição, por ser uma constante conhecida, não desqualifica o protótipo, pois o sistema ainda permite a análise da tendência de crescimento das rupturas.

Quando comparado a trabalhos similares que utilizam redes neurais profundas, como discutido por Pereira Júnior et al. (2024), o protótipo destacou-se pela economia no custo computacional, podendo ser executado em uma placa Raspberry Pi, indicando viabilidade da VC clássica para soluções em tempo real, aplicada ao contexto proposto.

Figura 1 – Captura da imagem, processamento e resultado



Fonte: Autores (2026).

Considerações finais

O protótipo atingiu os objetivos propostos ao validar que a Visão Computacional Clássica é uma tecnologia robusta e acessível para soluções na área de engenharia diagnóstica. O sistema consegue auxiliar nas inspeções e no monitoramento autônomo de estruturas de concreto em cenários de risco ou difícil acesso, além de facilitar o acesso a esse tipo de tecnologias para profissionais autônomos, pequenas e médias construtoras, devido ao seu custo financeiro.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o estudo de algoritmos de filtragem espacial para reduzir os falsos positivos em superfícies ruidosas. Em suma, o trabalho consolida a



ideia de que a tecnologia, quando aplicada de forma consciente, é capaz de elevar os padrões de segurança e contribuir com o bem-estar social.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BHATTACHARYA, T.; CHATTERJEE, A. **Evaluating performance of some common filtering techniques for removal of Gaussian noise in images**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER, CONTROL, SIGNALS AND INSTRUMENTATION ENGINEERING (ICPCSI), 2017, Chennai. Anais. Piscataway: IEEE, 2017. p. 1920-1924.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

MARR, D. **Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information**. San Francisco: W. H. Freeman, 1982.

OLIVEIRA, A. M. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque de fundações**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA JÚNIOR, W. M.; JÚNIOR, A. S.; SOUZA, A. L. R.; ALMEIDA, L. C. **Avaliação da presença de fissuras em estruturas de concreto através do uso de redes neurais profundas**. Matéria, v. 29, n. 2, 2024.

RAMAN, R. *et al.* **Brain Image Denoising and Segmentation Using Advanced Mixed Thresholding**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE ENGINEERING AND COMMUNICATION SYSTEMS (ICKECS), 2024. Proceedings. IEEE, 2024.

SALIBA, G. C. L.; CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Estudos das manifestações patológicas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 20., 2019, Salvador. Anais. São Paulo: IBAPE, 2019.

SILVA, A. S.; COSTA, D. B. **Análise do uso de tecnologias digitais**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2022.