https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019

Identificação do Nível de Deterioração de Barras de Aço por meio de Visão Computacional

Identification of Steel Bar Deterioration Level through Computer Vision

Jefferson Gustavo Martins
martins@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Eduarda Simonis Gaviao
eduardagaviao@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Guilherme Dias Almanza
guilherme.almanza@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Lara Letícia de Morais
lara.morais@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Mathias Ronaldo Kapp
mathiaskapp98@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Rafaela Louise Dos Santos
rraaffaaeellaa2009@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Victor Costa De Souza
victor_2000_21@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Marcos Vinicius Schlichting
mvinicius@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Wilson Leobet
wleobet@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Carlos Eduardo Tino Balestra
carlosbalestra@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Fabio Alexandre Spanhol
faspanhol@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.
Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO

A deterioração de estruturas prediais comprometem a segurança de muitas pessoas. O **objetivo** deste projeto é identificar níveis de deterioração de armaduras por meio de visão computacional. Para isso, serão **empregadas** ferramentais amplamente conhecidos na área de aprendizagem de máquina. Dentre os **resultados** científicos tem-se a determinação de padrões para a identificação dos diferentes níveis de deterioração de barras de aço. Também se tem a inserção de componentes baseados em novas tecnologias, inclusive com possibilidade de gerar registros de propriedade intelectual. No contexto social, identifica-se uma nova alternativa para auxiliar no monitoramento de edificações, além da melhoria da qualidade de vida dos técnicos e maior precisão dos resultados. **Conclui-se** que o problema apresentado é mais um em que a automação tem beneficiado a humanidade e sua qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Defesa civil. Segurança pública. Automação.

ABSTRACT

Building structures deterioration compromises many people safety. This project aims to identify deterioration levels of metal structures through computer vision. To do that, a set of tools widely known in the machine learning will be employed. Among the scientific results, we have the determination of patterns to identify different levels of steel bars deterioration. There is also the insertion of components based on new technologies, including the possibility of generating intellectual property registrations. In the social context, it is identified a new alternative to assist in the monitoring of buildings, in addition to improving the technicians' quality of life and greater accuracy of results. Finally, the presented problem is one more in which automation has benefited humanity and its quality of life.

KEYWORDS: Construction. Civil defense. Public security. Automation.

INTRODUÇÃO

A corrosão das armaduras é um dos principais problemas relacionados a degradação de estruturas de concreto armado no mundo, chegando a envolver até 50% dos recursos financeiros investidos em construção civil para a reabilitação de armaduras degradadas (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Muitos dos problemas relacionados à corrosão das armaduras têm alguma relação com as características do concreto, cuja função é oferecer uma dupla proteção ao aço. Primeiramente, tem-se a proteção física com a separação do aço e do meio externo. Já a proteção química é decorrente do elevado pH da solução presente nos poros do concreto e consequente formação de uma película passivadora que envolverá o aço no interior do concreto (FIGUEIREDO; MEIRA, 2012).

A corrosão pode ser definida basicamente como a deterioração de um metal (ou liga) a partir do contato de sua superfície com o meio no qual este esteja inserido. O processo envolve reações de oxidação e de redução (redox) que convertem o metal ou componente metálico em óxidos ou hidróxidos expansivos (SILVA et al., 2015). Segundo Cunha *et al*. (2013), tal problema consome direta ou indiretamente uma parcela significativa do produto interno bruto (PIB) de uma nação industrializada. No entanto, além das perdas financeiras, as consequências mais graves são possíveis danos corporais e até mesmo perdas de vidas humanas.

Dentre os fatores que influenciam de corrosão do aço imerso no concreto estão: o coeficiente de difusão do concreto, a relação água/cimento, a espessura de cobrimento, a presença e a quantidade de adições, a umidade relativa, o pH do concreto e a temperatura de exposição (ANDRADE, 2001; GU; BEAUDOIN, 1998).

A presente proposta se caracteriza como um projeto de pesquisa com foco no emprego de técnicas de visão computacional automatizando a avaliação da corrosão em barras de aço em estruturas de concreto armado. A corrosão será obtida por meio de métodos acelerados em laboratório, visto que a obtenção de barras corroídas naturalmente a partir de estruturas reais é um processo difícil que pode chegar até mesmo a comprometer a estrutura no ato de sua obtenção.

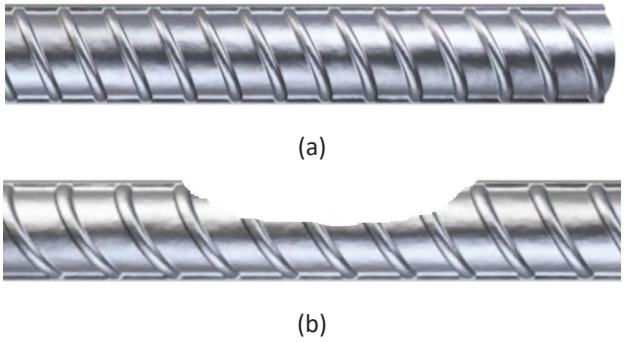
A corrosão é um dos principais problemas observados na construção civil no que tange a degradação de estruturas de concreto armado. Ao observar o estado de corrosão, pode se constatar fissuras paralelas às armaduras; fragmentação e destacamento do cobrimento; e o lascamento do concreto. Logo, quando há indicações externas do processo corrosivo, normalmente parte da armadura já se encontra comprometida, pois, a manifestação é tão somente o afloramento deste.

Além dos custo envolvidos, o risco em termos de colapsos estruturais merece atenção. Nos últimos anos, têm sido recorrentes os casos de colapsos de estruturas devido à corrosão de armaduras. Para citar dois casos de grande repercussão na mídia nacional, destacam-se o colapso parcial de um viaduto na cidade de Brasilia em 2018 e a interdição do acesso à Rodovia Presidente Dutra, na cidade de São Paulo em 2019. Portanto, estudos pertinentes ao melhor entendimento dos processos de degradação de estruturas devido a corrosão são necessários com vistas a edificar estruturas mais seguras e duráveis.

As Figuras 1 e 2 ilustram a ação da corrosão da armadura de aço. Basicamente, há perda de seção na região anódica devido à dissolução do ferro (Figura 1). Conforma Figura 2, comumente se identifica fissuras acompanhadas de manchas

corrosivas concomitantemente (CASCUDO, 1997). Tensões internas expansivas provenientes dos produtos da corrosão provoca a deterioração da ferragem e o destacamento da camada de cobrimento (Figura 2(b-c)) (ANDRADE, 2001).

Figura 1: Barra de aço: (a) original; (b) perda de seção devido à corrosão.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Além do exposto, outra importante característica deste cenário é o fato de que, em sua maior parte, as inspeções para avaliar o grau de corrosão são realizadas visualmente por especialistas humanos. Tais avaliações demandam altos níveis de experiência por ser um fator decisivo para uma correta avaliação do estado de deterioração da estrutura. Dentre as possíveis ferramentas a serem empregadas, tem-se filmadoras, máquinas fotográficas, lupas e binóculos.

Figura 2: Efeitos da corrosão na camada de cobrimento de concreto: (a) manchas; (b) fissuras e rachaduras; (c) destacamento total.

(a) (b) (c)

Fonte: Autoria própria.

Diante do exposto, esta pesquisa busca desenvolver soluções automatizadas que auxiliem nas inspeções realizadas com o objetivo de avaliar o grau de corrosão das estruturas de aço. Estas soluções combinarão hardware e software e deverão propiciar a vantagens relativas a rapidez e precisão quando comparado à avaliação realizada por especialistas humanos. A redução de fatores físicos e subjetivos inerentes ao ser humano também reduzirá o número de etapas executadas manualmente e sua influência nos resultados finais. Tal influência compreende questões como subjetividade do especialista humano e características do processo (repetitivo, monótono e demorado), além de requerer alto grau de concentração. Este conjunto de exigências sobrecarrega o profissional que realiza a inspeção e o leva a possíveis distrações e baixas taxas de acerto (CONNERS *et al.*, 1997; PHAM; ALCOCK, 1997; RADOVAN *et al.*, 2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme cronograma (Tabela 1), o projeto terá duração de 24 meses. Os primeiros seis meses serão dedicados à **(1)** construção das bases de dados a serem utilizadas na identificação do grau de corrosão em barras de aço. Serão utilizadas 24 amostras, sendo que seis delas comporão o grupo de controle (referências isentas de corrosão) e outros três grupos de seis barras serão submetidos a processos de aceleração de corrosão por períodos de 24, 48 e 72 horas.

As barras de aço utilizadas serão da marca Gerdau e têm 12,5 mm de diâmetro. Cada amostra é caracterizada por um comprimento com aproximadamente 25 cm, todas obtidas de barras pertencentes a um mesmo lote de fabricação. Para cada amostra, **(1.a)** será aferida a massa por meio de uma balança de precisão e realizadas 4 fotos abrangendo a diferentes perspectivas de sua superfície. Tais fotos e aferições servirão como referências para as diferentes alternativas a serem avaliadas quanto à corrosão das barras de aço.

Quadro 1. Atividades e cronograma para a execução do projeto.

Atividades	Período de Execução (Semestres)			
	1	2	3	4
1. Construção das bases de dados	X	X		
2. Estudo da biblioteca OpenCV	X	X		
3. Estudo de Aprendizagem de Máquinas	X	X		
4. Avaliação do grau de corrosão das barras de aco: experimentos com imagens da superfície dos corpos de prova de concreto		X	X	
5. Avaliação do grau de corrosão das barras de aco: experimentos envolvendo imagens das barras de aço totalmente removidas dos corpos de prova de concreto.		X	X	X
6. Redação de relatórios, artigos e registros de propriedade intelectual.	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria.

O segundo passo compreende o **(1.b) recobrimento de 2 cm** dos corpos de prova de aço com concreto para simular o contexto real das estruturas nas edificações. O traço de concreto utilizado será 1: 1,49: 2,77: 0,65 (Cimento : Areia : Brita: Água). Um fio elétrico será conectado às barras com o objetivo de permitir o ensaio de aceleração da corrosão. Depois, a amostra será inserida em um cano de PVC com diâmetro nominal de 50 mm e 25 cm de comprimento. Este cano de PVC será preenchido com concreto de tal forma que a cobertura se mantenha homogênea em termos de espessura da camada de cobrimento (2 cm). As amostras permanecerão sob cura por 28 dias para o processo de hidratação do cimento. Na sequência, **(1.c)** serão capturadas novas imagens dos corpos de prova de concreto para servir como referências àquelas obtidas no passo **(1.e)**, na tentativa de identificar a corrosão ainda sem romper o corpo de concreto.

Segue-se com o **(1.d)** processo de aceleração de corrosão das amostras. Os corpos de concreto serão parcialmente imersos em um tanque de água com 3,5% (concentração próxima a água do mar) de cloreto de sódio (NaCl) e serão submetidos ao ensaio de aceleração da corrosão com condução de eletricidade.

Os três grupos de corpos de concreto serão mantidos por três diferentes períodos de tempo no tanque (24, 48 e 72 horas), o que gerará diferentes níveis de corrosão.

Cessado o processo de aceleração de corrosão, os corpos de concreto serão submetidos a uma **(1.e)** coleta de imagens, as quais serão utilizadas em conjunto com aquelas obtidos no passo **(1.c)**, visando observar uma possível coloração e fissuração em decorrência da corrosão acelerada. Os corpos de concreto **(1.f)** serão rompidos à tração por compressão diametral para extração das barras corroídas da cobertura de concreto. Novamente, as amostras de barras de aço terão sua massa aferida por meio de uma balança de precisão e serão submetidas a uma coleta de imagens. Tanto as medidas de massa quanto as imagens serão utilizadas em conjunto com aquelas obtidas no passo **(1.a)** para identificar diferentes diâmetros ao longo das amostras e também a perda de massa.

Em paralelo, serão iniciados os estudos do ferramental a ser utilizado no projeto: **(2)** biblioteca OpenCV e **(3)** Aprendizagem de Máquinas. A partir da construção de base de dados, **(4-5)** serão explorados diferentes descritores e técnicas para a construção dos modelos de classificação, os quais empregarão os subprodutos das atividades anteriores. A **(6)** redação de relatórios, artigos e registros de propriedade intelectual ocorrerão em paralelo às demais etapas.

Os demais materiais utilizados são disponibilizados pela UTFPR para atividades rotineiras de seus docentes e acadêmicos, dentre os quais elenca-se computadores, *softwares*, ambientes com mobiliários, barras de aço, canos de PVC e demais equipamentos para a confecção dos corpos de prova e seu rompimento. Outros custos extras poderão ser viabilizados pelos acadêmicos, pelos docentes ou por meio de editais de fomento à pesquisa internos ou externos à UTFPR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados esperados focam aspectos científicos, sociais e tecnológicos. Dentre os científicos tem-se a introdução de acadêmicos no contexto de “fazer ciência”, a disponibilização da base de imagens e também um sistema para a identificação dos diferentes níveis de deterioração de barras de aço, permitindo verificar seções reduzidas que afetam as propriedades mecânicas das barras.

As contribuições tecnológicas compreendem a inserção de componentes baseados em novas tecnologias, com possível geração de registros de propriedade intelectual (patente e registro de software) junto ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI). No contexto social, identifica-se nova alternativa para auxiliar o monitoramento e a fiscalização preventivos de edificações, bem como melhor qualidade de vida dos técnicos e uma maior precisão dos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um breve relato do projeto para a identificação do nível de deterioração de barras de aço, o qual começou no segundo semestre do presente ano e atualmente está em suas fases iniciais.

Vários ferramentais a serem utilizados já foram definidos. Atualmente, a base de imagens está em fase de conclusão. Findada esta fase, os próximos passos

focarão na aplicação de processamento de imagens e aprendizagem de máquinas a esta base para se alcançar os objetivos propostos.

Vale ressaltar que outras vertentes de estudo para identificar os efeitos da corrosão das barras por imagens fazem parte do escopo deste projeto como por exemplo a análise por imagem de pontos de rupturas de barras ou ainda estruturas corroídas quanto a sua deflexão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. de O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras:** iniciação por cloretos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil (PPGEC). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2001.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto**. Goiânia: PINI e UFG, 1997.

CONNERS, R. W.; KLINE, D. E.; ARAMAN, P. A.; DRAYER, T. H. **Machine vision technology for the forest products industry**. Computer, v. 30, n. 7, p. 43-48, 1997.

CUNHA, M.; HELENE, P.; LOURENÇO, M. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. Elsevier Brasil, 2013.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Corrosão das armaduras das estructuras de concreto**. Boletín Técnico 6. Asociación Latino americana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción. Mexico, 2012.

GU, P.; BEAUDOIN, J. J. **Obtaining effective half-cell potential measurements in reinforced concrete structures**. Construction Technology Update No. 18. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction. Ottawa, 1998.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PHAM, D. T.; ALCOCK, R. J. **Automated visual inspection of birch wood boards**. IEE Colloquium on Artificial Intelligence in Manufacturing, p. 1-4, 1997.

RADOVAN, S.; GEORGE, P.; PANAGIOTIS, M.; MANOS, G.; ROBERT, A.; IGOR, D. **An approach for automated inspection of wood boards**. International Conference on Image Processing, 1, p. 798-801, 2001.

SILVA, M. V. F., PEREIRA, M. C., CODARO, E. N. **Corrosão do aço-carbono:** uma abordagem do cotidiano no ensino de química. Química Nova, v. 38, n. 2, p. 293-296. São Paulo, 2015.