

Sistema baseado em visão computacional para identificar a composição de concreto

Computer-vision-based system to identify concrete composition

RESUMO

Sistemas computacionais que trabalhem com reconhecimento de padrões têm sido aplicados problemas para substituir ou auxiliar especialistas humanos. Esta aplicação ocorre principalmente quando os processos são repetitivos, monótonos e demorados, os trabalhos demandam altos níveis de experiência e os resultados estão sujeitos a fatores físicos e subjetivos. Este artigo apresenta um sistema para identificar diferentes composições de concreto por meio de visão computacional. Para isso, foram empregados ferramentais amplamente conhecidos na área de aprendizagem de máquina. As melhores taxas de acerto compreendem 85% usando o descritor GLCM.

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

ABSTRACT

Buildings are largely dependent on the combination of concrete structures and metal structures. The composition of concrete, also called dosage or trace, is a factor of great importance, and its main elements are cement, sand, gravel, and water. Both, proportion and the origin of these materials, have influence on the final characteristics of the traces, i.e., resistance, durability, and workability. This article presents a system for identifying different concrete compositions through computer vision. To do that, tools widely known in the machine learning area were employed. The best recognition rates achieved 85%, by using GLCM descriptor.

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

Alessandra Iolanda Pacheco dos Santos

aleiolandap@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Eduarda Simonis Gavião

eduardagaviao@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Marcos Vinícius 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

Jefferson Gustavo Martins

martins@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



INTRODUÇÃO

A composição do concreto, também chamado traço, é uma característica extremamente importante em qualquer obra e muda de acordo com a finalidade de aplicação: lajes, contrapisos, muros, fundações, calçadas, vigas etc. Tanto a proporção quanto a origem dos materiais exercem influência nas características finais do traço, dentre as quais tem-se resistência, durabilidade e trabalhabilidade. Dentre os materiais comumente utilizados, tem-se cimento, areia, brita e água, mas concretos com características especiais podem ser obtidos com o acréscimo de aditivos, isopor, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições (ABNT, 2015; MALTA, 2012; MONTEIRO, 2010).

A quantidade de água deve ser suficiente para envolver os grãos e promover a hidratação do cimento, além de atender os requisitos da ABNT NBR 15900-1, a qual também contempla exigências de utilização da água sob a forma de gelo. Sua função é ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante que criará um bloco único com areia e a brita (agregados). Se em excesso, ter-se-á uma pasta mais porosa e melhores níveis trabalhabilidade. Porém, também piores níveis de resistência e aderência entre a pasta e o agregado devido à exsudação. Para a definição de tal proporção é necessário identificar o teor de umidade dos agregados, pois estes podem transportar diferentes quantidades de água para o concreto e ocasionar o decréscimo de sua resistência mecânica (ABNT, 2009; ABNT, 2015; MALTA, 2012; MONTEIRO, 2010).

Os agregados são materiais adicionados à pasta de cimento e água para aumentar seu volume e torná-la mais econômica. Assim como a água, as propriedades dos agregados têm influências da formação geológica local visto que são extraídas de jazidas próximas ao local da dosagem. O conhecimento das características individuais dos elementos, e também de sua combinação, é essencial para garantir certas características fundamentais ao concreto e a segurança da estrutura. Além disso, materiais com diferentes granularidades podem ser combinados dependendo da finalidade e produzem diferentes características texturais (ABNT, 2015; BAUER, 1994; MALTA, 2012; MEHTA e MONTEIRO, 2008; MONTEIRO, 2010).

Além dos custos envolvidos devido a degradação destas estruturas, o risco em termos de colapsos estruturais merece atenção. Nos últimos anos, têm sido recorrentes os casos de colapsos de estruturas, dentre os quais tem-se o colapso parcial de um viaduto em Brasília no ano de 2018 (VIADUTO, 2018), a interdição do acesso à Rodovia Presidente Dutra em São Paulo no ano de 2019 (PREFEITURA, 2019) e o desabamento de prédios na comunidade de Muzema, na Zona Oeste do Rio, em 2019 (MAIA e GARCIA, 2019). Portanto, estudos pertinentes que auxiliem a fiscalização e a prevenção destes acontecimentos são necessários com vistas a garantir estruturas mais seguras e duráveis e manutenções preventivas.

Além do exposto, outra importante característica deste cenário compreende o fato de que as inspeções para avaliar a composição do concreto e também se este mantém suas propriedades são realizadas visualmente por especialistas humanos. Tais inspeções demandam altos níveis de experiência por ser um fator decisivo para uma correta avaliação. Dentre as possíveis ferramentas a serem empregadas, tem-se filmadoras, máquinas fotográficas, lupas e binóculos (ABNT, 2014; SCHVAICKARDT e MATTOS, 2018).

A Figura 1 ilustra o problema abordado no projeto e o grau de dificuldade a ele inerente. Suas imagens foram obtidas a partir de dois diferentes traços (cimento : areia : brita : água), com as proporções (1 : 1,49 : 2,88 : 0,48) e (1 : 1,49 : 2,70 : 0,48). Neste exemplo, pode-se nitidamente observar a variação na quantidade de britas entre os concretos.

Figura 1 – Composições de concreto (cimento : areia : brita : água): (a) 1 : 1,49 : 2,88 : 0,48; (b) 1 : 1,49 : 2,70 : 0,48.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020).

Diante do exposto, esta pesquisa busca desenvolver soluções automatizadas que auxiliem nas inspeções realizadas com o objetivo de identificar a composição de um corpo de concreto qualquer. Estas soluções combinarão hardware e software e deverão propiciar a vantagens relativas à 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 dos especialistas humanos 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 e ALCOCK, 1997; RADOVAN et al., 2001).

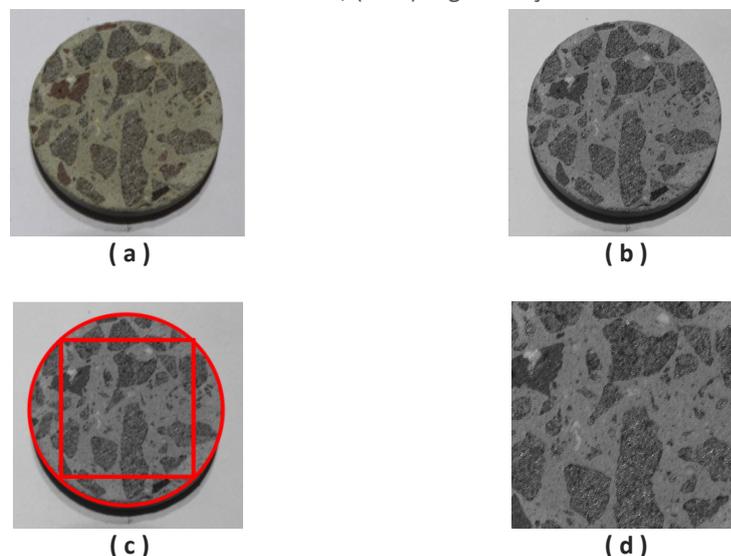
MATERIAIS E MÉTODOS

Sistemas computacionais que trabalhem com reconhecimento de padrões geralmente apresentam as seguintes etapas: aquisição da base de dados, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação. Na primeira etapa obtém-se a base de dados, ou seja, o conjunto de imagens, padrões e etc. Inicialmente foram preparados os corpos de prova de concreto sob a forma cilíndrica e com medidas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram utilizadas 2 corpos de prova de concreto para cada um dos diferentes traços analisados. Tal escolha é consequência do fato (e se adequa a ele) de que 2 (dois) corpos de prova são construídos com amostras de cada carga de concreto utilizada nas construções.

Os traços utilizados para a construção dos corpos de prova consideraram a proporção 1: 1,41: 2,01: 0,49 utilizando cimento do tipo Portland CII, areia média, brita zero e água potável disponibilizada pela companhia de saneamento. Para avaliar a variação da granularidade do agregado brita, foi utilizada uma variação do traço padrão com a troca da brita zero pela brita um, gerando o traço 1: 1,49: 2,60: 0,49. Nesta variação de traço, tem-se um uso maior dos agregados (areia e brita) devido a um maior volume e superfície de cada unidade do agregado brita, sendo necessária menor quantidade de cimento para a construção de peças com um mesmo volume final (Figura 1).

Na sequência, foram realizados cortes transversais a cerca de 5 mm da base e outro 5 mm do topo do corpo de prova (Figura 2(a)). O objetivo de ambos os cortes é eliminar a camada superficial e expor a caracterização da composição real do concreto (Figura 2(b)). A partir disto, foram realizados outros 8 cortes transversais em cada corpo de prova de concreto. Considerando que as lâminas de corte têm aproximadamente 2 mm, sendo obtido um total de 9 amostras distintas para cada corpo de prova. Considerando as duas faces de cada amostra, chegou-se a um total de 18 imagens para cada corpo de prova. Ao todo, foram utilizadas 72 imagens para construção dos modelos de reconhecimento dos traços de concreto.

Figura 2 – Ilustração do processo de reconhecimento de padrões: (a) corpo de prova de concreto; (b) corte do corpo de prova; (c) pré-processamento com conversão para níveis de cinza; (d-e) segmentação.



Fonte: Autoria própria (2020).

O pré-processamento (Figura 2(b)) aplica operações para realçar as características importantes no processo de diferenciação das classes existentes no problema. Assim, após a obtenção da base de dados obtida a partir dos corpos de prova fatiados, iniciou-se a etapa do pré-processamento de imagem, a fim de adequá-las e facilitar a extração das características. Passo no qual utilizou-se principalmente da biblioteca OpenCV para converter a base toda em escala de cinza, como mostra a Figura 2(b).

A segmentação (Figura 2(c-d)) compreende a próxima etapa do processo e busca separar apenas a região de interesse da imagem original. O processo de

segmentação refere-se ao método de “fragmentar” uma imagem em múltiplas regiões, com o objetivo de simplificar ou mudar sua representação, a fim de facilitar sua análise. O sucesso de um modelo de identificação ou de classificação depende fortemente da etapa de segmentação. O primeiro passo desta etapa foi segmentar a imagem pré-processada e selecionar a área de interesse, ou seja, o retângulo circunscrito. Nesta etapa utilizou-se a técnica de limiarização para destacar o objeto na imagem, o algoritmo de detecção de bordas Canny (BUENO, 2020) para ressaltar os contornos das bordas dos objetos e a função HoughCircles da biblioteca OpenCV para identificar os objetos. Ao final, após identificar o raio dos objetos (Figura 2(c)), recortou-se a área de interesse (Figura 2(d)).

Para a etapa de Extração de Características, busca-se representar a imagem por meio de um vetor numérico de medidas. Nesta etapa foram utilizados os descritores GLCM (*Gray Level Co-occurrence Matrix*) e LBP (*Local Binary Pattern*, Padrão Binário Local). Boas referências quanto a detalhes destes descritores podem ser encontradas em Martins (2014). Destaca-se que, no presente trabalho, foi empregada a mesma metodologia apresentada em Martins (2014) quanto à variação dos valores para os parâmetros dos dois descritores..

Por fim, na etapa de classificação foi utilizada o algoritmo kNN (k-Nearest Neighbors, k-vizinhos mais próximos), o qual utiliza o conjunto de treinamento como referências durante o processo de predição de uma classe para uma instância do conjunto de testes. Diferentes tamanhos de vizinhanças foram testadas.

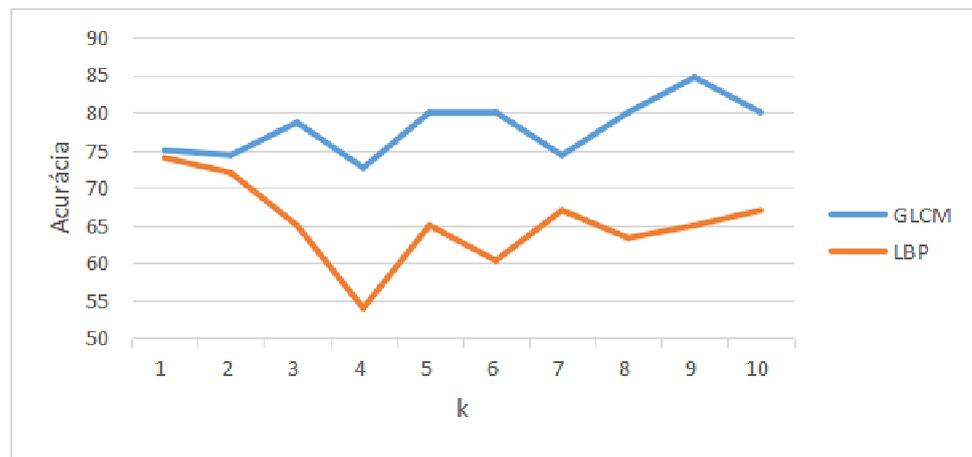
Para a definição dos conjuntos de treinamento e teste, dividiu-se a base de imagens em 3 partes (*folds*), os quais mantinham a representatividade das classes pertencentes ao problema em questão. Foi empregada validação cruzada com 3 execuções, sendo que em que execução, um parte era usada como conjunto de teste e as outras duas eram utilizadas como conjunto de treinamento. Os resultados finais são expressos pela acurácia média (acertos do classificador) e desvio padrão (dp) das taxas de classificações corretas das três execuções.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada etapa do processo de reconhecimento de padrões foram testados diferentes parâmetros, muitos dos quais já identificados anteriormente na seção de materiais e métodos. Para GLCM, foram testadas diferentes distâncias e para LBP foram testados diferentes raios. Os melhores resultados alcançados foram 74,0% (dp = 0,01) para LBP, com raio igual a 1 e k (k-NN) igual a 6. Para GLCM, obteve-se 85,0% (dp = 0,04), com distância 5 e k (k-NN) igual a 9. A Figura 3 apresenta a variação das acurácias alcançadas com diferentes tamanhos de vizinhanças para o k-NN.

Os resultados obtidos se mostraram bem interessantes, principalmente para o problema em questão, o qual envolve segurança e vidas humanas, além dos altos valores monetários envolvidos na construção e também manutenção das edificações. Além do exposto, tem-se o fato de que o descritor GLCM representa uma complexidade computacional bem menor para sua extração.

Figura 3 – Gráfico com a evolução da acurácia em decorrência da variação da vizinhança utilizada no k-NN.



Fonte: Autoria própria (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a aplicação de classificadores construídos a partir dos descritores GLCM e LBP ao problema de reconhecimento de traços de concreto por meio de imagens. Mesmo tendo utilizados apenas 2 diferentes traços, os resultados obtidos já se mostraram bastante promissores. Nossos melhores resultados foram 85,0% (dp = 0,04), com k (k-NN) igual a 9 para o descritor GLCM.

Na sequência busca-se pela ampliação da base de imagens, com maior variedade de traços. A ampliação da base representará um desafio maior e, por isso, buscar-se-á por novos descritores e algoritmos de seleção e combinação de classificadores na tentativa de melhorar os resultados obtidos. Uma alternativa para a concatenação dos vetores de características realizada neste trabalho, poderia ser a construção de modelos independentes a partir dos vetores de características de cada momento estatístico. A partir destes, poder-se-ia selecionar e combinar alguns destes modelos. Um estudo comparativo de ambas as abordagens foi apresentada por Martins, Oliveira e Sabourin (2012), o qual demonstrou a superioridade desta nova abordagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos docentes Dr. Jefferson Gustavo Martins, Dr. Fabio Alexandre Spanhol e Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra pela oportunidade e orientação, bem como o apoio incondicional dos técnicos de laboratório Marcos Vinícius Schlichting e Wilson Leobet. Sem este suporte, não seria possível o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5.ed. Vol 1. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e Científicos Editora S.A., 1994.

BUENO, M. L. **Deteção de Bordas através de Algoritmo Canny**. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/visao/2000/Bordas/index.htm>. Acesso em: 20 jan. 2020.

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.

Maia, D. e Garcia, D. Dois prédios desabam na zona oeste do Rio de Janeiro. **Folha de São Paulo**, São Paulo - SP, 12 de abr. de 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/04/dois-predios-desabam-na-zona-oeste-do-rio-de-janeiro.shtml#:~:text=%E2%80%8B%20desabamento%20de%20dois,adolescent e%20est%C3%A3o%20entre%20as%20v%C3%ADtimas.&text=%E2%80%8B%20pr%C3%A9dios%20ca%C3%ADram%20por%20volta%20das%206h30>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

MALTA, J. O. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica (EPUFBA). Universidade Federal da Bahia (UFBA). Salvador, 2012.

MARTINS, J.G.; OLIVEIRA, L.E.S.; SABOURIN, R. Combining textural descriptors for forest species recognition. In **IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society**, p. 1483-1488, 2012.

MARTINS, J.G. **Identificação de Espécies Florestais utilizando Seleção Dinâmica de Classificadores no Espaço de Dissimilaridade**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Informática do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2014.

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

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto Poroso**: dosagem e desempenho. Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás (UFGO). Goiania, 2010.

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

PREFEITURA de SP interdita ponte que leva à Dutra pela Marginal Tietê. **G1 SP**, São Paulo - SP, 23 de jan. de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/01/23/prefeitura-de-sp-interdita-ponte-que-leva-a-dutra-pela-marginal-tiete.ghtml>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

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.

SCHVAICKARDT, C. M.; MATTOS, J. R. G. Estudo de traço para peças pré-moldadas de concreto para pavimentos intertravados. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 39. 2018.

VIADUTO da Galeria dos Estados desaba e abre cratera no Eixão Sul. **Correio Braziliense**, Brasília - DF, 06 de fev. de 2018. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2018/02/06/interna_cidadesdf,658118/parte-do-viaduto-da-galeria-dos-estados-desaba-no-centro-de-brasilia.shtml. Acesso em: 20 de jun. de 2019.