

Análise comparativa de filtros digitais em processamento de imagens: um estudo de caso aplicado à Arquitetura Histórica Brasileira

Vitor Amadeu Souza¹; 0009-0002-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
vitor.amadeu@foa.org.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise comparativa da aplicação de diferentes técnicas de filtragem digital em imagens, utilizando como objeto de estudo uma fotografia do pátio interno do Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro. Foram implementados e avaliados oito tipos de filtros distintos: conversão para escala de cinza, filtro Gaussiano, filtro de média móvel, filtro de mediana, detector de bordas Canny, operador Sobel e limiarização binária. A metodologia empregou a biblioteca OpenCV em linguagem Python para processamento das imagens, permitindo uma comparação sistemática dos resultados obtidos. Os resultados demonstraram que cada filtro possui características específicas adequadas para diferentes aplicações: os filtros de suavização (Gaussiano, média móvel e mediana) mostraram-se eficazes na redução de ruído, enquanto os detectores de borda (Canny e Sobel) destacaram contornos arquitetônicos com precisão variável. A limiarização binária proporcionou uma segmentação clara entre elementos claros e escuros da imagem. Este estudo contribui para o entendimento prático das técnicas de processamento digital aplicadas ao patrimônio arquitetônico, oferecendo subsídios para futuras pesquisas em análise automática de estruturas históricas.

Palavras-chave: Processamento de imagens. Filtros digitais. OpenCV. Patrimônio arquitetônico. Análise comparativa.

INTRODUÇÃO

O processamento digital de imagens constitui uma área fundamental da ciência da computação com aplicações crescentes em diversas disciplinas, incluindo a preservação e análise do patrimônio cultural (Gonzalez; Woods, 2018). A aplicação de filtros digitais representa uma das técnicas mais utilizadas para aprimoramento, análise e extração de características relevantes em imagens digitais (Szeliski, 2010). No contexto da documentação arquitetônica, estas técnicas assumem particular importância, permitindo a análise detalhada de estruturas históricas e a identificação de elementos construtivos específicos (Remondino; Campana, 2014).

A evolução tecnológica das últimas décadas proporcionou o desenvolvimento de algoritmos sofisticados para processamento de imagens, tornando possível a análise automatizada de características arquitetônicas complexas (Parker, 2010). Entre as técnicas mais consolidadas encontram-se os filtros de suavização, que reduzem ruídos e irregularidades; os detectores de borda, que identificam contornos e transições; e os operadores morfológicos, que permitem a segmentação de elementos estruturais (Pratt, 2007).

O Museu Histórico Nacional, localizado no Rio de Janeiro, representa um importante exemplo da arquitetura colonial brasileira, apresentando elementos construtivos característicos do período imperial (Grigoletto, 2013). Sua estrutura arquitetônica, com pátios internos, arcadas e elementos decorativos, oferece um objeto de estudo adequado para a aplicação de técnicas de processamento digital, permitindo a análise de diferentes texturas, contornos e padrões geométricos presentes na construção histórica.

A biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) estabeleceu-se como uma das ferramentas mais utilizadas para processamento de imagens, oferecendo implementações otimizadas de algoritmos clássicos e modernos (Bradski; Kaehler, 2008). Sua integração com a linguagem Python facilita a prototipagem e experimentação, tornando-a uma escolha adequada para estudos acadêmicos e aplicações práticas em análise de imagens (Howse, 2013).

MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo baseou-se na análise comparativa de oito técnicas distintas de filtragem digital aplicadas a uma imagem fotográfica do pátio interno do Museu Histórico Nacional. A imagem de referência, obtida a partir do repositório Wikimedia Commons, apresenta resolução de 640x480 pixels e foi capturada em condições de iluminação natural, proporcionando um conjunto diversificado de elementos arquitetônicos para análise.

O processamento foi realizado utilizando a linguagem Python (versão 3.12.11) com as bibliotecas OpenCV (versão 4.12.0), NumPy (versão 2.0.2) e Matplotlib (versão 3.10.0) para manipulação, processamento e visualização das imagens. A implementação seguiu as práticas recomendadas para processamento científico de imagens, garantindo a reprodutibilidade dos resultados (Van der Walt *et al.*, 2014).

Os filtros implementados incluíram: conversão para escala de cinza utilizando a transformação padrão RGB para luminância; filtro Gaussiano com kernel 5x5 e desvio padrão automático; filtro de média móvel com kernel 5x5; filtro de mediana com kernel 5x5; detector de bordas Canny com limites inferior e superior de 100 e 200, respectivamente; operador Sobel aplicado nas direções horizontal e vertical com posterior cálculo da magnitude; e limiarização binária com valor de corte de 127.

A avaliação dos resultados foi conduzida através de análise visual comparativa, considerando critérios como preservação de detalhes, redução de ruído, definição de bordas e adequação para diferentes tipos de análise arquitetônica. Esta abordagem qualitativa foi complementada pela análise das características matemáticas de cada filtro, conforme estabelecido na literatura especializada (Burger; Burge, 2016).

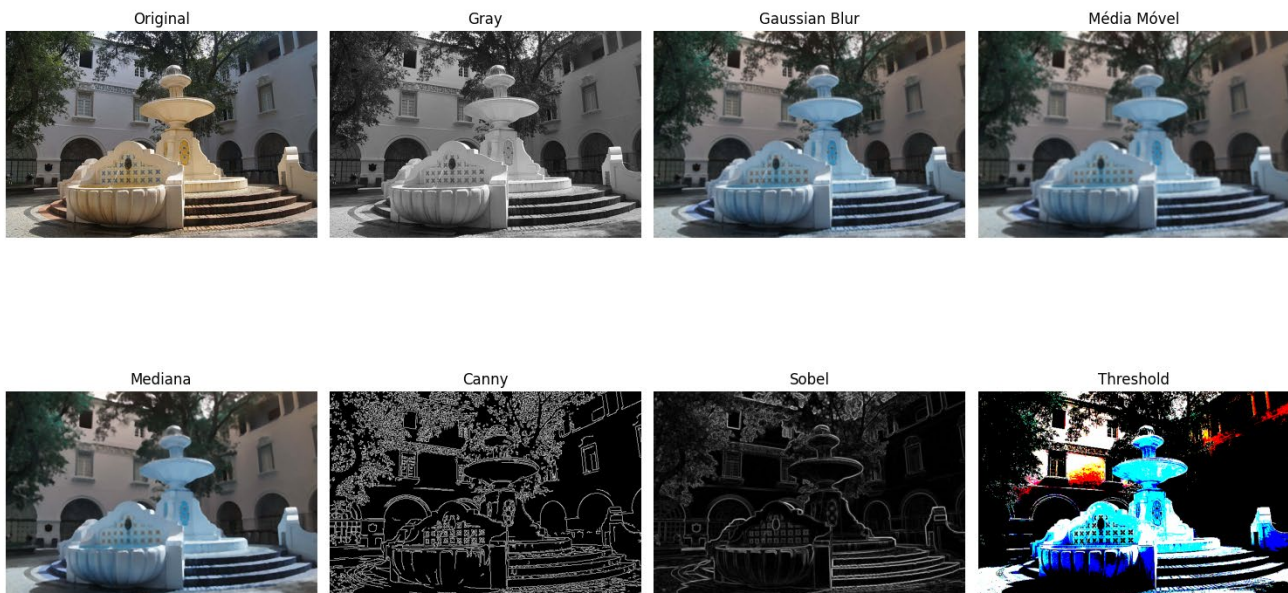
O código-fonte está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/filtro>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos revelou características distintivas para cada tipo de filtro aplicado, demonstrando a adequação específica de diferentes técnicas para distintos propósitos analíticos. A conversão para escala de cinza, utilizando a transformação padrão

de luminância, preservou adequadamente os contrastes presentes na imagem original, facilitando a aplicação subsequente de filtros que operam em intensidade única. Esta técnica, fundamental em processamento de imagens, manteve a informação estrutural essencial da arquitetura do museu, conforme observado por Jain (1989) em seus estudos sobre transformações de espaço de cores. A Figura 1 apresenta o resultado gerado pelo programa.

Figura 1 - Imagens filtradas com diversos tipos de filtros



Fonte: O autor.

O filtro Gaussiano demonstrou a suavização da imagem, reduzindo ruídos de alta frequência enquanto preservava as características principais da estrutura arquitetônica. A aplicação do kernel 5x5 proporcionou um equilíbrio adequado entre suavização e preservação de detalhes, resultado consistente com as observações de Lindeberg (1994) sobre a teoria de espaço-escala em processamento de imagens. Os elementos arquitetônicos como arcadas, colunas e detalhes ornamentais permaneceram claramente distinguíveis, embora com contornos mais suaves em comparação à imagem original.

O filtro de média móvel, implementado com kernel uniforme 5x5, produziu resultados similares ao filtro Gaussiano em termos de suavização, porém com menor preservação de bordas nítidas. Esta característica, inerente à natureza uniforme do kernel de média, resultou

em um efeito de borramento mais pronunciado nas transições entre elementos arquitetônicos distintos, conforme previsto pela teoria clássica de processamento de sinais (Oppenheim; Schafer, 2010).

O filtro de mediana apresentou desempenho superior na preservação de bordas em comparação aos filtros lineares de suavização, mantendo a definição dos contornos arquitetônicos enquanto reduzia efetivamente ruídos impulsivos. Esta propriedade, característica dos filtros não-lineares baseados em estatística de ordem, mostrou-se particularmente adequada para a análise de estruturas com geometria bem definida, como observado nas arcadas e elementos decorativos do museu (Huang *et al.*, 1979).

O detector de bordas Canny demonstrou boa capacidade de identificação dos contornos principais da estrutura arquitetônica, produzindo mapas de bordas limpos e bem definidos. A aplicação dos limites duplos (100 e 200) proporcionou uma segmentação adequada entre bordas relevantes e ruído, resultando na clara identificação de elementos como arcos, colunas, janelas e detalhes ornamentais. Este resultado corrobora a eficácia do algoritmo proposto por Canny (1986) para detecção de bordas em imagens naturais.

O operador Sobel, aplicado nas direções horizontal e vertical com posterior cálculo da magnitude, produziu mapas de gradiente que destacaram as transições de intensidade na imagem. Embora menos refinado que o detector Canny em termos de supressão de ruído, o operador Sobel forneceu informações valiosas sobre a orientação das bordas, característica importante para análise de padrões arquitetônicos direcionais (Sobel, 1978).

A limiarização binária com valor de corte de 127 proporcionou uma segmentação clara entre elementos claros e escuros da imagem, criando uma representação simplificada mas informativa da estrutura arquitetônica. Esta técnica mostrou-se particularmente útil para identificação de áreas de sombra e iluminação, informação relevante para análise de características construtivas e condições de iluminação natural do pátio interno.

A comparação entre os diferentes filtros revelou que a escolha da técnica adequada depende fundamentalmente do objetivo específico da análise. Para documentação geral e redução de ruído, os filtros Gaussiano e de mediana apresentaram resultados superiores. Para análise estrutural e identificação de contornos, os detectores de borda Canny e Sobel

mostraram-se mais apropriados. A limiarização binária demonstrou utilidade específica para análise de padrões de iluminação e segmentação grosseira de elementos arquitetônicos.

Os resultados obtidos são consistentes com estudos anteriores sobre aplicação de técnicas de processamento digital em análise arquitetônica, confirmando a importância da seleção adequada de filtros para diferentes tipos de análise patrimonial (Remondino; Campana, 2014). A combinação de múltiplas técnicas de filtragem pode proporcionar informações complementares para análise abrangente de estruturas históricas, conforme demonstrado pela diversidade de características extraídas de uma única imagem fonte.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou a aplicação sistemática de diferentes técnicas de filtragem digital para análise de imagens arquitetônicas históricas, utilizando como caso de estudo o pátio interno do Museu Histórico Nacional. Os resultados obtidos confirmaram que cada tipo de filtro possui características específicas adequadas para diferentes propósitos analíticos, desde a documentação geral até a análise estrutural detalhada.

O filtro Gaussiano e o filtro de mediana mostraram-se melhores para suavização e redução de ruído, mantendo a qualidade visual adequada para documentação patrimonial. Os detectores de borda Canny e Sobel demonstraram eficácia na identificação de elementos estruturais e contornos arquitetônicos, proporcionando informações valiosas para análise geométrica e identificação de padrões construtivos. A limiarização binária revelou-se útil para análise de condições de iluminação e segmentação preliminar de elementos arquitetônicos.

A metodologia empregada, baseada na biblioteca OpenCV e linguagem Python, mostrou-se adequada para processamento eficiente e reprodutível de imagens arquitetônicas, oferecendo ferramentas acessíveis para pesquisadores em patrimônio cultural. A análise comparativa sistemática permitiu a identificação das vantagens e limitações de cada técnica, contribuindo para a seleção informada de métodos de processamento em futuras pesquisas.

Os resultados obtidos têm implicações práticas para a documentação e preservação digital do patrimônio arquitetônico brasileiro, oferecendo subsídios técnicos para o desenvolvimento de sistemas automatizados de análise estrutural. A aplicação de técnicas

de processamento digital pode contribuir significativamente para programas de conservação preventiva e monitoramento de estruturas históricas.

Recomenda-se para trabalhos futuros a expansão desta análise para conjuntos maiores de imagens arquitetônicas, a implementação de métricas quantitativas de avaliação da qualidade dos filtros e a investigação de técnicas avançadas como filtros adaptativos e algoritmos baseados em aprendizado de máquina para análise patrimonial especializada.

REFERÊNCIAS

BRADSKI, G.; KAEHLER, A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. Disponível em: <https://www.oreilly.com/library/view/learning-opencv/9780596516130/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

BURGER, W.; BURGE, M. J. Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction Using Java. 2. ed. London: Springer-Verlag, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4471-6684-9. Acesso em: 18 ago. 2024.

CANNY, J. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. 8, n. 6, p. 679-698, 1986. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851. Acesso em: 20 ago. 2024.

GRIGOLETO, Maira Cristina. Documento, poder e governo: os agenciamentos políticos na construção patrimonial no Arquivo Central do IPHAN/Seção Rio de Janeiro. 2013.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 4. ed. New York: Pearson, 2018. Disponível em: <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Gonzalez-Digital-Image-Processing-4th-Edition/PGM241219.html>. Acesso em: 10 ago. 2024.

HOWSE, J. OpenCV Computer Vision with Python. Birmingham: Packt Publishing, 2013. Acesso em: 16 ago. 2024.

HUANG, T. S.; YANG, G. J.; TANG, G. Y. A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, v. 27, n. 1, p. 13-18, 1979. DOI: 10.1109/TASSP.1979.1163188. Acesso em: 25 ago. 2024.

JAIN, A. K. Fundamentals of Digital Image Processing. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989.

LINDBERG, Tony. Scale-space theory: A basic tool for analyzing structures at different scales. Journal of applied statistics, v. 21, n. 1-2, p. 225-270, 1994.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. Discrete-Time Signal Processing. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. Disponível em: <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Oppenheim-Discrete-Time-Signal-Processing-3rd-Edition/PGM212808.html>. Acesso em: 19 ago. 2024.

PARKER, Jim R. Algorithms for image processing and computer vision. John Wiley & Sons, 2010.

PRATT, W. K. Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside. 4. ed. Los Altos: PixelSoft Inc., 2007.

REMONDINO, F.; CAMPANA, S. 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Oxford: Archaeopress, 2014. DOI: 10.30861/9781407312309. Acesso em: 23 ago. 2024.

SOBEL, I. E. An Isotropic 3x3 Image Gradient Operator. Machine Vision for Three-Dimensional Scenes, p. 376-379, 1978. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239398674_An_Isotropic_3x3_Image_Gradient_Operator. Acesso em: 26 ago. 2024.

SZELISKI, R. Computer Vision: Algorithms and Applications. London: Springer-Verlag, 2010. DOI: 10.1007/978-1-84882-935-0. Acesso em: 11 ago. 2024.

VAN DER WALT, S.; SCHÖNBERGER, J. L.; NUNEZ-IGLESIAS, J.; BOULOGNE, F.; WARNER, J. D.; YAGER, N.; GOUILLART, E.; YU, T. scikit-image: Image Processing in Python. PeerJ, v. 2, e453, 2014. DOI: 10.7717/peerj.453. Acesso em: 24 ago. 2024.