

Aplicação do filtro Sobel na análise digital da obra "Moça com brinco de pérola" de Johannes Vermeer: uma abordagem computacional para detecção de bordas em patrimônio artístico

Vitor Amadeu Souza¹; 0009-0002-1857-6799

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

Resumo: Este estudo apresenta uma análise computacional da obra-prima "Moça com Brinco de Pérola" (1665) de Johannes Vermeer através da aplicação do filtro Sobel para detecção de bordas. A pesquisa utiliza técnicas de processamento digital de imagens implementadas em Python com as bibliotecas OpenCV e NumPy para extrair características estruturais da pintura. O filtro Sobel, baseado em operadores de gradiente, foi aplicado para identificar transições de intensidade na imagem, revelando detalhes sobre a técnica pictórica de Vermeer. Os resultados demonstram a eficácia da detecção de bordas na análise de obras de arte, evidenciando contornos faciais, texturas de tecidos e elementos compositivos que caracterizam o estilo do mestre holandês. A análise digital revela informações sobre a precisão técnica de Vermeer na delimitação de formas e na construção de volumes através de gradientes tonais. Este trabalho contribui para o campo emergente da análise digital de patrimônio artístico, oferecendo ferramentas computacionais que auxiliam historiadores da arte e conservadores na compreensão de técnicas pictóricas históricas.

Palavras-chave: Processamento digital de imagens. Filtro Sobel. Johannes Vermeer. Análise computacional de arte. Detecção de bordas. Patrimônio artístico.

INTRODUÇÃO

O processamento digital de imagens tem revolucionado diversos campos do conhecimento, incluindo a análise e preservação do patrimônio artístico. A aplicação de algoritmos de visão computacional em obras de arte permite uma compreensão mais profunda das técnicas pictóricas empregadas pelos grandes mestres da história da arte (Stork, 2009). Entre as técnicas mais utilizadas na análise digital de imagens, a detecção de bordas ocupa posição de destaque, sendo fundamental para a identificação de estruturas, contornos e transições tonais em pinturas (Gonzalez & Woods, 2018).

Johannes Vermeer (1632-1675), mestre da pintura holandesa do século XVII, é reconhecido por sua técnica refinada e uso magistral da luz. Sua obra "Moça com Brinco de Pérola" (1665), também conhecida como "Girl with a Pearl Earring", representa um dos exemplos mais notáveis da arte barroca holandesa, caracterizada por sua composição íntima e técnica pictórica excepcional (Wheelock, 1995). A análise digital desta obra pode revelar aspectos técnicos que contribuem para sua eficácia visual e importância histórica.

O filtro Sobel, desenvolvido por Irwin Sobel em 1968, constitui um dos operadores de detecção de bordas amplamente utilizado em processamento de imagens (Sobel, 2014). Este filtro utiliza matrizes de convolução 3x3 para calcular aproximações do gradiente da intensidade da imagem, sendo particularmente eficaz na detecção de bordas em diferentes direções (Canny, 1986). A aplicação do operador Sobel em obras de arte permite identificar elementos compositivos, técnicas de modelagem e características estilísticas específicas de cada artista (Pappas *et al.*, 2008).

Pesquisas anteriores demonstraram a eficácia de técnicas de processamento digital na análise de obras de arte. Hendricks *et al.* (2006) aplicaram algoritmos de detecção de bordas para analisar pinturas de Van Gogh, revelando aspectos únicos de sua técnica de pincelada. Similarmente, Johnson *et al.* (2016) utilizaram filtros de gradiente para estudar a evolução estilística de Picasso ao longo de diferentes períodos artísticos. Estes estudos estabelecem precedentes importantes para a aplicação de técnicas computacionais na análise do patrimônio artístico.

A escolha da "Moça com Brinco de Pérola" para este estudo justifica-se por suas características técnicas distintivas, incluindo o uso sofisticado de luz e sombra, a precisão na definição de contornos e a complexidade tonal que caracteriza o trabalho de Vermeer (Gowing, 1952). A aplicação do filtro Sobel a esta obra permite investigar como Vermeer construía volumes e definia formas através de transições graduais de tonalidade, aspectos fundamentais de sua técnica pictórica.

MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo baseia-se na aplicação de técnicas de processamento digital de imagens utilizando Python como linguagem de programação principal. O ambiente de desenvolvimento incluiu as bibliotecas OpenCV (Open Source Computer Vision Library) versão 4.7.0 para processamento de imagens, NumPy versão 1.26.0 para operações matemáticas matriciais e Matplotlib versão 3.8.4 para visualização dos resultados (Bradski, 2000).

A imagem digital da "Moça com Brinco de Pérola" que é de domínio público foi obtida através da Wikimedia Commons, utilizando uma versão em alta resolução (800x800 pixels) da obra que se encontra no Museu Mauritshuis em Haia, Holanda. Para garantir a qualidade do download, foi implementado um sistema de requisição HTTP com User-Agent personalizado, evitando bloqueios por parte do servidor. A imagem foi processada no formato RGB de 24 bits, preservando a fidelidade cromática original.

O processo de análise iniciou-se com a conversão da imagem colorida para escala de cinza utilizando o método de luminância ponderada, conforme estabelecido pelos padrões ITU-R BT.709 (International Telecommunication Union, 2015). Esta conversão é essencial para a aplicação eficaz do filtro Sobel, uma vez que operadores de gradiente funcionam sobre valores de intensidade únicos por pixel.

A implementação do filtro Sobel seguiu a abordagem clássica de detecção de bordas através do cálculo de gradientes direcionais. Foram aplicados dois kernels de convolução 3x3, um para detecção de gradientes horizontais (G_x) e outro para gradientes verticais (G_y). O kernel horizontal utilizado foi $[-1, 0, +1; -2, 0, +2; -1, 0, +1]$, enquanto o kernel vertical correspondeu à transposição do anterior (Pratt, 2007). O tamanho do kernel foi definido como 5x5 para

umentar a sensibilidade na detecção de bordas em uma imagem com detalhes finos como a obra de Vermeer.

A magnitude do gradiente foi calculada através da fórmula euclidiana $|\nabla f| = \sqrt{(G_x^2 + G_y^2)}$, onde G_x e G_y representam os gradientes nas direções x e y , respectivamente (Russ, 2016).

Este cálculo foi implementado utilizando a função `cv2.magnitude()` da biblioteca OpenCV, que otimiza computacionalmente esta operação matemática.

Para visualização comparativa dos resultados, foi desenvolvido um sistema de plotagem que apresenta simultaneamente a imagem original e o resultado da aplicação do filtro Sobel. A imagem original foi convertida do espaço de cores BGR (utilizado pelo OpenCV) para RGB (utilizado pelo Matplotlib) para garantir a fidelidade cromática na visualização final.

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram que o filtro Sobel detectou eficazmente os principais elementos compositivos da obra. O contorno facial da jovem retratada emerge com definição notável, revelando a habilidade de Vermeer em criar volumes tridimensionais através de modulações sutis de luz e sombra. Esta característica é particularmente evidente na região das bochechas e na definição do queixo, onde as transições tonais são suficientemente pronunciadas para serem detectadas pelo algoritmo, mas suficientemente suaves para manter o realismo característico da obra (Wheelock, 2001). A Figura 1 apresenta o resultado obtido no desenvolvimento.

O brinco de pérola, elemento central que nomeia a obra, apresenta detecção de bordas particularmente interessantes. O algoritmo identifica claramente o contorno da pérola, evidenciando como Vermeer utilizou contrastes tonais para criar o efeito de luminosidade e volume desta joia. A capacidade do filtro Sobel de detectar esta estrutura circular pequena,



mas tonalmente bem definida, demonstra a precisão técnica de Vermeer na construção de detalhes específicos (Binstock, 2013).

Figura 1 - Resultado obtido ao aplicar o Filtro Sobel

Original



Filtro Sobel



Fonte: O autor.

A análise da região do turbante azul revela aspectos da técnica pictórica de Vermeer. O filtro Sobel detecta não apenas o contorno geral do tecido, mas também as dobras e texturas internas, sugerindo que Vermeer empregava variações tonais sistemáticas para criar a impressão de materialidade têxtil. Esta observação corrobora estudos anteriores sobre o uso de ultramarino natural por Vermeer, pigmento que permitia modulações tonais refinadas (Kirby, 1999).

A detecção de bordas na região dos olhos merece discussão específica. O algoritmo identifica os contornos das pálpebras e a delimitação entre íris e esclera. Esta precisão na detecção sugere que Vermeer empregava contrastes tonais calculados para criar profundidade e expressividade no olhar, característica fundamental para o impacto emocional da obra (Steadman, 2001).

Um aspecto particularmente revelador dos resultados é a detecção de bordas na região dos lábios. O filtro Sobel identifica não apenas o contorno geral da boca, mas também a linha de separação entre os lábios, evidenciando como Vermeer utilizava transições tonais mínimas, mas perceptíveis, para definir formas anatômicas complexas. Esta técnica demonstra o domínio técnico do artista na criação de volumes realistas através de modulações tonais sutis (Arasse, 1994).

A análise do fundo da composição através do filtro Sobel revela informações importantes sobre as escolhas compositivas de Vermeer. A ausência quase total de detecção de bordas no fundo neutro evidencia a uniformidade tonal desta área, característica que contribui significativamente para o foco visual na figura principal. Esta observação confirma análises artístico-históricas que identificam o uso de fundos neutros como elemento compositivo estratégico na obra de Vermeer (Liedtke, 2008).

A comparação entre a imagem original e o resultado do filtro Sobel permite observar como elementos que podem parecer sutis à percepção visual direta tornam-se evidentes através do processamento digital. Esta capacidade de revelar aspectos técnicos não imediatamente perceptíveis demonstra o potencial das ferramentas computacionais como auxiliares na análise artístico-histórica (Stork, 2004).

CONCLUSÕES

A detecção eficaz de elementos compositivos centrais, incluindo contornos faciais, texturas têxteis e detalhes específicos como o brinco de pérola, confirma a capacidade do filtro Sobel de identificar características estruturais fundamentais da obra. Esta capacidade técnica oferece suporte objetivo para análises artístico-históricas, fornecendo dados quantitativos que complementam interpretações qualitativas tradicionais.

A pesquisa contribui para o campo emergente da análise computacional de arte, estabelecendo metodologias replicáveis para o estudo de obras similares. A implementação em Python com bibliotecas de código aberto garante a acessibilidade e reprodutibilidade dos métodos propostos, características fundamentais para o avanço científico na área.

Os resultados sugerem aplicações importantes para conservadores e historiadores da arte. A capacidade de detectar e documentar características estruturais específicas pode auxiliar em processos de autenticação, monitoramento de conservação e análise comparativa entre obras de um mesmo artista ou período.

A integração de análises digitais com métodos tradicionais de história da arte representa uma fronteira promissora para a compreensão aprofundada do patrimônio artístico mundial. Este trabalho demonstra que ferramentas computacionais, quando aplicadas criteriosamente, podem revelar aspectos técnicos que enriquecem nossa compreensão das obras-primas da humanidade.

REFERÊNCIAS

- ARASSE, D. Vermeer: Faith in Painting. Princeton: Princeton University Press, 1994. 168p.
- BINSTOCK, Benjamin. Vermeer's Family Secrets: Genius, Discovery, and the Unknown Apprentice. Routledge, 2013.
- BRADSKI, G. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, v. 25, n. 11, p. 120-125, 2000. Disponível em: <https://opencv.org/>. Acesso em: 15 set. 2025.
- 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. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4767851>. Acesso em: 15 set. 2025.
- HENDRIKS, Ella; CONSTANTIN, Stéphanie; MARINO, Beatrice. Various approaches to Van Gogh technical studies; common grounds, 2006. Reporting Highlights of the De Mayerne Programme, (Jaap J. Boon and Esters SB Ferrera), Den Haag, p. 77-88.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 4th ed. Boston: Pearson, 2018. 1168p.
- GOWING, L. Vermeer. London: Faber & Faber, 1952. 128p.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. Recommendation ITU-R BT.709-6: Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. Geneva: ITU, 2015. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709/en>. Acesso em: 15 set. 2025.

JOHNSON, C. R.; HENDRIKS, E.; BEREZHNOY, I. J. Image processing for artist identification. IEEE Signal Processing Magazine, v. 25, n. 4, p. 37-48, 2008. DOI: 10.1109/MSP.2008.923513.

KIRBY, Jo. The painter's trade in the seventeenth century: theory and practice. National gallery technical bulletin, v. 20, p. 5-49, 1999.

LIEDTKE, W. A. Vermeer: The Complete Paintings. New York: Harry N. Abrams, 2008. 320p.

PAPPAS, Michail; PITAS, Ioannis. Digital color restoration of old paintings. IEEE Transactions on image processing, v. 9, n. 2, p. 291-294, 2000.

PRATT, W. K. Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. 782p.

RUSS, J. C. The Image Processing Handbook. 7th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. 1053p.

SOBEL, I. An Isotropic 3×3 Image Gradient Operator. In: DUDA, R.; HART, P. (Eds.). Pattern Classification and Scene Analysis. New York: John Wiley & Sons, 1973. p. 271-272.

SOBEL, I. History and Definition of the Sobel Operator. Machine Vision International, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239398674_An_Isotropic_3x3_Image_Gradient_Operator. Acesso em: 15 set. 2025.

STEADMAN, P. Vermeer's Camera: Uncovering the Truth Behind the Masterpieces. Oxford: Oxford University Press, 2001. 214p.

STORK, David G.; JOHNSON, Micah K. Computer vision, image analysis, and master art: Part 2. IEEE MultiMedia, v. 13, n. 4, p. 12-17, 2006.

STORK, D. G. Computer vision and computer graphics analysis of paintings and drawings: An introduction to the literature. Lecture Notes in Computer Science, v. 5702, p. 9-24, 2009. DOI: 10.1007/978-3-642-03767-2_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03767-2_2. Acesso em: 15 set. 2025.