

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE PÓS-PROCESSAMENTO NA ANÁLISE DE IMAGENS DE MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA COM APOIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Yasmin Luísa Gomes Lourenço – PIBITI/IFSP¹

Matheus Mendes Beati – PIBIC/IFSP²

Profa. Dra. Flaviana Bombarda de Andrade – FOB-USP³

Prof. Dr. Allan Victor Ribeiro – IFSP⁴

Introdução

A microscopia de força atômica (MFA) é uma técnica de varredura por sonda que permite a obtenção de imagens de alta resolução em diferentes ambientes, inclusive em meio líquido. Seu funcionamento baseia-se na medição das deflexões de um cantilever decorrentes das interações entre a ponta e a superfície analisada, sendo amplamente empregada na caracterização de biomateriais (Eaton, 2010; Cascudo, 2018).

Por meio da força de interação entre os átomos da sonda e os átomos da camada mais externa da superfície é possível obter a micro-nanotextura da superfície e a matriz de alturas registrada na varredura. Cada pixel da imagem de MFA fornece um valor de altura registrado pelo equipamento sendo possível assim reconstruir uma imagem tridimensional e estimar diversos parâmetros estatísticos que permitem quantificar as características topográficas da superfície (Rodrigues, 2003).

Métodos de pós-processamento de imagens são utilizados em estudos baseados em MFA. O uso inadequado de ferramentas de pós-processamento e filtros, comumente utilizados para minimizar artefatos contidos nas imagens, podem adicionar alterações significativas nos parâmetros topográficos obtidos (Rodrigues, 2003). Estas alterações podem atribuir características não físicas à superfície topográfica, levando assim, a uma compreensão equivocada dos fenômenos que ocorrem na interface do biomaterial. A escolha inadequada de filtros pode comprometer a reprodutibilidade dos resultados em estudos baseados em AFM.

O uso de ferramentas computacionais e de inteligência artificial tem ganhado espaço como uma forma de facilitar a análise das imagens de MFA (Contel, 2025). Essas tecnologias ajudam a automatizar parte do processo e podem tornar a interpretação dos resultados mais rápida e menos dependente da análise manual. No entanto, ainda existem desafios,

¹Estudante do curso de Engenharia de Computação, IFSP – Birigui/SP. yasmin.luisa@aluno.ifsp.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9869-7979>

²Estudante do curso de Engenharia de Computação, IFSP – Birigui/SP. mendes.beati@aluno.ifsp.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-9256-3446>

³Doutora no Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos, FOB/USP - Bauru/SP. E-mail do autor: flaviana@fob.usp.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1238-2160>

⁴Doutor em Ciência dos Materiais, IFSP – Birigui/SP. E-mail do autor: allanvrb@ifsp.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3000-6118>

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

principalmente em relação à consistência dos resultados e à adaptação dessas ferramentas a diferentes tipos de imagens, o que mostra que seu uso deve ser feito com cuidado.

Neste sentido o presente trabalho visa avaliar o impacto de diferentes métodos de pós-processamento em imagens de microscopia de força atômica na determinação de parâmetros topográficos de biomateriais e investigar o uso de modelos de inteligência artificial como ferramenta de apoio na análise comparativa dessas imagens.

Metodologia

Foram utilizadas imagens de MFA de amostras de guta-percha termoplastificadas (biomaterial) de dimensão $5 \times 5 \mu\text{m}$ e resolução 512×512 pixels. As imagens foram obtidas pelo sistema de microscopia de força atômica FlexAFM - NanoSurf e processadas no software livre Gwyddion (Nečas, 2012). Para o tratamento das imagens utilizou a metodologia apresentada na Figura 1 que representa o procedimento de pós-processamento aplicado às imagens. Foi estabelecido como imagem de referência aquela sem aplicação de filtros, sendo aplicadas apenas correção de plano e ajuste de escala. Em seguida, aplicaram-se três métodos sob a imagem de referência: Mediana (F1), Mediana das diferenças (F2) e ajuste polinomial de 2ª ordem (F3). Todas as imagens foram exportadas em formato TIFF (alta qualidade). Os parâmetros topográficos S_a , S_q , S_z , S_{sk} e S_{ku} foram então extraídos para análise para cada filtro aplicado.

Subsequentemente as imagens foram analisadas com auxílio de diferentes inteligências artificiais (Gemini, ChatGPT, DeepSeek, Microsoft Copilot e Claude), utilizando prompts padronizados para garantir imparcialidade. Observou-se que o DeepSeek apresentou limitações, não conseguindo interpretar imagens sem texto ou contexto, enquanto ChatGPT, Gemini e Claude realizaram análises diretamente a partir de imagens TIFF. Inicialmente, utilizou-se o formato TIFF pela sua maior qualidade, mas, como o Copilot não o suporta, os testes foram adaptados para PNG, que apresentou resultados semelhantes. Assim, padronizou-se o uso de PNG para melhor comparação.

Figura 1: O fluxograma representa o procedimento de pós-processamento aplicado às imagens obtidas por Microscopia de Força Atômica (AFM).



Fonte: Autor.

Resultados

Os métodos de pós-processamento influenciam diretamente os parâmetros topográficos, podendo reduzir os parâmetros de rugosidade ou alterar a distribuição das alturas como apresentado na Tabela 1. As IAs apresentaram resultados consistentes e alinhados à análise visual humana, como evidencia a Figura 3 (c), mas devem ser utilizadas em

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

conjunto com análises quantitativas. Em geral, maior suavização reduz detalhes, enquanto menor processamento preserva melhor a estrutura da superfície.

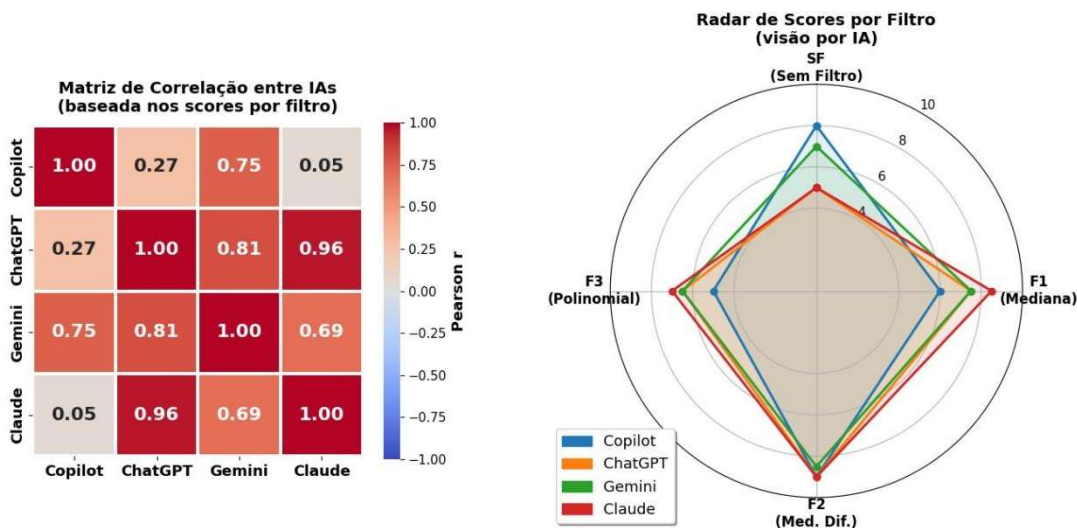
Tabela 1 – Comparação dos parâmetros de rugosidade superficial (Sa, Sq, Sz, Ssk e Sku) da amostra para diferentes filtros.

Filtros	Sa(nm)	Sq(nm)	Sz(nm)	Ssk	Sku
SF	25,65	34,59	307,2	1,419	5,881
F1	16,56	25,59	282,9	2,747	15,88
F2	16,66	25,38	280,1	2,687	15,49
F3	14,22	21,73	274,2	2,124	13,21

Fonte: Autor.

A análise de correlação de Pearson indicou alta concordância entre os modelos ($r > 0,85$), com destaque para ChatGPT e Claude ($r \approx 0,99$). O Copilot apresentou maior divergência, especialmente na avaliação da imagem sem filtro. No geral, o Filtro de Mediana das Diferenças (F2) foi o melhor avaliado, enquanto a imagem sem filtro (SF) e o Filtro Polinomial de 2ª ordem (F3) apresentaram maior variação entre os modelos, reforçando a escolha do F2 como o mais adequado.

Figura 2: Matriz de correlação de Pearson (a) e gráfico de radar (b) dos scores atribuídos por quatro modelos de IA (Copilot, ChatGPT, Gemini e Claude) aos filtros aplicados em imagens AFM (SF – sem filtro; F1 – Mediana; F2 – Mediana das Diferenças; F3 – Polinomial de 2ª ordem).



Fonte: Autor.

A Figura 3 mostra uma imagem de MFA da guta-percha processada no Gwyddion, evidenciando artefatos de linha na imagem original e os resultados após diferentes correções. Foram avaliados os métodos de Mediana, Mediana das Diferenças e ajuste polinomial de segunda ordem, visando comparar a remoção de artefatos e a preservação das características topográficas.

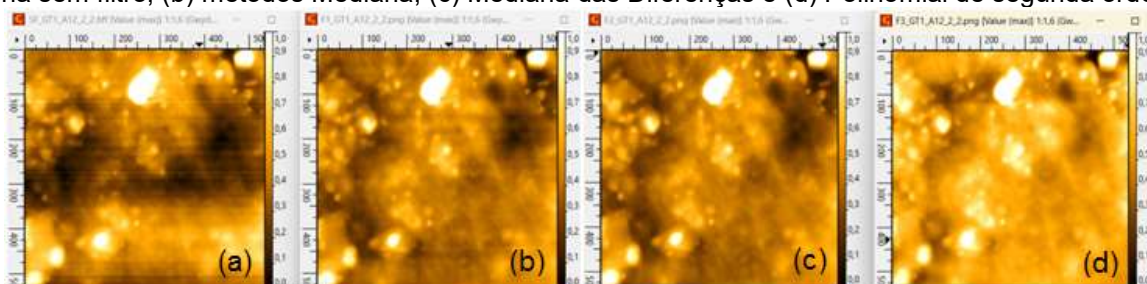
XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

Figura 3: Imagem de MFA da amostra de guta-percha no software Gwyddion: (a) com correção de artefatos de linha sem filtro, (b) métodos Mediana, (c) Mediana das Diferenças e (d) Polinomial de segunda ordem.



Fonte: Autor.

Conclusão

Os resultados mostram que os métodos de pós-processamento influenciam diretamente a análise de imagens de AFM, alterando os parâmetros de rugosidade e a interpretação da superfície. Entre os métodos avaliados, o filtro de Mediana das Diferenças apresentou melhor equilíbrio entre remoção de artefatos e preservação das características topográficas da superfície.

O uso de IA se mostrou útil como apoio, com respostas consistentes entre os modelos, mas deve ser complementar. Assim, destaca-se a importância de escolher adequadamente o método e padronizar as análises para garantir resultados mais confiáveis.

Referências

CASCUDO, Oswaldo et al. Contribuição à caracterização nanoestrutural de pastas de cimento por meio da técnica de Microscopia de Força Atômica. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. e-11953, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/63PZyKsKBzWrwr4M6txbHf/?lang=pt>. Acesso em: 18 mar. 2026.

CONTEL, Lucas et al. O uso de inteligência artificial generativa na análise de parâmetros topográficos em imagens de microscopia de força atômica. In: **XII Congresso de Iniciação Científica do IFSP Itapetininga**. 2025. p. 125-125. Disponível em: <https://eventosacademicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/ic/article/view/125>. Acesso em: 18 mar. 2026.

DEEPSEEK. DeepSeek LLM: modelo de linguagem para suporte à análise de dados. 2026. Disponível em: <https://deepseek.com>. Acesso em: 18 mar. 2026.

EATON, P.; WEST, P. **Atomic Force Microscopy**. Oxford: Oxford University, 2010.

GOOGLE. Gemini: IA do Google feita para ser seu colaborador versátil. Mountain View, 2026. Disponível em: <https://gemini.google.com>. Acesso em: 18 mar. 2026.

NEČAS, David; KLAPETEK, Petr. Gwyddion: an open-source software for SPM data analysis. **Central European Journal of Physics**, v. 10, n. 1, p. 181-188, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.2478/s11534-011-0096-2>. Acesso em: 18 mar. 2026.

OPENAI. ChatGPT: modelo de linguagem para análise de dados. 2026. Disponível em: <https://openai.com/chatgpt>. Acesso em: 18 mar. 2026.

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

RODRIGUES, Carlos Alberto. **Aplicações de processamento e análise avançada de imagens para a caracterização de imagens de microscopia de força atômica**. 2003. Tese (Doutorado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/T.76.2003.tde-19102011-102450. Acesso em: 10 mar. 2026.