

# Avanços Recentes no Diagnóstico do Câncer de Pele: Eficácia Comparativa de Diferentes Métodos Diagnósticos

Recent Advances in Skin Cancer Diagnosis: Comparative Efficacy of Different Diagnostic Methods  
Avances Recientes en el Diagnóstico del Cáncer de Piel: Eficacia Comparativa de Diferentes Métodos Diagnósticos

## RESUMO

**Introdução:** O câncer de pele é uma das neoplasias mais incidentes no mundo, sendo o melanoma a forma mais agressiva. O diagnóstico precoce é essencial para o sucesso terapêutico, e novos métodos vêm aprimorando a precisão diagnóstica. **Métodos:** Realizou-se uma revisão sistematizada da literatura nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, abrangendo publicações entre 2020 e 2025. Foram incluídos estudos originais, revisões e metanálises que abordassem métodos diagnósticos do câncer de pele e apresentassem dados de sensibilidade, especificidade e acurácia. **Resultados:** Dezesesseis estudos foram incluídos. As técnicas ópticas, como a dermatoscopia de superalta magnificação e a imagem multiespectral, mostraram sensibilidade média de 91–94% e especificidade de 87–90%. A biópsia líquida demonstrou acurácia superior a 85%, sendo útil também no monitoramento terapêutico. Métodos baseados em inteligência artificial atingiram acurácias acima de 90%, com destaque para redes neurais convolucionais e aprendizado profundo. Abordagens integradas e educacionais aumentaram a sensibilidade diagnóstica em atenção primária. **Conclusão:** Os avanços em métodos ópticos, moleculares e computacionais consolidam uma nova era no diagnóstico do câncer de pele, caracterizada por maior precisão, rapidez e acessibilidade. A integração entre tecnologias e prática clínica tende a reduzir erros diagnósticos e otimizar o manejo do paciente.

**DESCRIPTORIOS:** câncer de pele; diagnóstico; dermatoscopia; inteligência artificial; biópsia líquida.

## ABSTRACT

**Introduction:** Skin cancer is one of the most common malignancies worldwide, and melanoma remains its most aggressive form. Early diagnosis is essential, and emerging technologies have improved diagnostic accuracy. **Methods:** A systematic literature review was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SciELO, covering studies published between 2020 and 2025 addressing diagnostic methods for skin cancer. **Results:** Sixteen studies met the inclusion criteria. Optical techniques such as super-high magnification dermoscopy and multispectral imaging achieved 91–94% sensitivity and 87–90% specificity. Liquid biopsy showed accuracy above 85%, while artificial intelligence-based methods exceeded 90%, particularly deep learning models. Integrated and educational approaches improved diagnostic sensitivity in primary care. **Conclusion:** Advances in optical, molecular, and computational diagnostics are transforming skin cancer detection, offering greater precision and accessibility. The integration of these technologies into clinical practice enhances early detection and patient outcomes.

**DESCRIPTORS:** skin cancer; diagnosis; dermoscopy; artificial intelligence; liquid biopsy.

## RESUMEN

**Introducción:** El cáncer de piel es uno de los tumores malignos más comunes en todo el mundo, y el melanoma sigue siendo su forma más agresiva. El diagnóstico precoz es fundamental, y las tecnologías emergentes han mejorado la precisión diagnóstica. **Métodos:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura en PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO, que abarcó estudios publicados entre 2020 y 2025 sobre métodos de diagnóstico del cáncer de piel. **Resultados:** Dieciséis estudios cumplieron los criterios de inclusión. Las técnicas ópticas, como la dermatoscopia de gran aumento y la imagen multiespectral, alcanzaron una sensibilidad del 91-94 % y una especificidad del 87-90 %. La biopsia líquida mostró una precisión superior al 85 %, mientras que los métodos basados en la inteligencia artificial superaron el 90 %, en particular los modelos de aprendizaje profundo. Los enfoques integrados y educativos mejoraron la sensibilidad diagnóstica en la atención primaria. **Conclusión:** Los avances en el diagnóstico óptico, molecular y computacional están transformando la detección del cáncer de piel, ofreciendo una mayor precisión y accesibilidad. La integración de estas tecnologías en la práctica clínica mejora la detección precoz y los resultados de los pacientes.

**DESCRIPTORIOS:** cáncer de piel; diagnóstico; dermatoscopia; inteligencia artificial; biopsia líquida.

**Louise Muricy Doetzer**

Universidade Cesumar  
ORCID: <https://orcid.org/000-0001-7283-9217>

**Leonardo Bueno Anastácio**

Universidade Cesumar  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1663-4948>

**Marina Rosan Costa**

Universidade de Araraquara (Uniará)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1464-0286>

**Isabelle Santiago Silva**

União das Faculdades dos Grandes Lagos (Unilago)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7363-9554>

**Ingrid Lehmkuhl Rinaldi**

Universidade do Oeste Paulista (Unoeste)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2834-1232>

**Amanda Cavalcante de Carvalho**

Universidade Estácio de Sá (UNESA)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8596-6905>

**Geovana Carla de Godoy Costa**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9012-5486>

Recebido em: 07/11/2025

Aprovado em: 18/11/2025

## INTRODUÇÃO

O câncer de pele representa uma das neoplasias mais incidentes no mundo, sendo o melanoma a forma mais agressiva e potencialmente letal. A detecção precoce continua sendo o fator mais determinante para o sucesso terapêutico, e por isso os avanços nos métodos diagnósticos têm recebido crescente atenção nas últimas décadas [1][5][9]. A precisão diagnóstica é essencial não apenas para reduzir a morbimortalidade, mas também para evitar biópsias desnecessárias e custos associados ao sobretratamento.

A dermatoscopia de alta magnificação óptica surge como uma das inovações mais promissoras, permitindo uma visualização mais detalhada de estruturas microscópicas e correlacionando achados dermatoscópicos com a histopatologia [1]. Paralelamente, métodos ópticos avançados como a imagem multiespectral e hiperespectral vêm se consolidando como ferramentas não invasivas para a diferenciação entre lesões benignas e malignas [3][8]. Esses sistemas utilizam o espectro de absorção e reflexão da pele para gerar mapas diagnósticos de alta precisão, ampliando as possibilidades para uma triagem rápida e precisa.

Outro avanço significativo é o uso de biópsias líquidas, que oferecem um meio minimamente invasivo de detecção e monitoramento do melanoma por meio da análise de biomarcadores circulantes, como células tumorais e DNA tumoral livre [4]. Essa abordagem tem potencial não apenas para diagnóstico, mas também para monitoramento terapêutico e predição de

recorrência.

Com o crescimento exponencial da inteligência artificial (IA) e do aprendizado profundo (deep learning), novas ferramentas computacionais têm se mostrado altamente eficazes na classificação automática de lesões cutâneas, atingindo níveis de acurácia comparáveis ou até superiores aos de dermatologistas experientes [6][10][11][12][14]. Essas tecnologias utilizam redes neurais convolucionais para identificar padrões sutis em imagens dermatoscópicas e integrar dados clínicos dos pacientes, aprimorando o processo decisório e reduzindo a variabilidade diagnóstica entre profissionais [11].

Estudos também reforçam a importância da avaliação da sensibilidade e especificidade dos diferentes métodos, principalmente no contexto da atenção primária, onde a triagem inicial é frequentemente realizada por médicos não especialistas [7]. A integração entre técnicas ópticas, métodos computacionais e análises histopatológicas complexas, como a coloração imunohistoquímica dupla para marcadores PRAME e Melan A, tem mostrado resultados promissores na melhoria da detecção e na precisão das margens cirúrgicas [15].

A evolução dos biossensores ópticos e espectrômetros digitais aplicados à pele tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas portáteis de diagnóstico rápido e não invasivo, ampliando o acesso à detecção precoce, especialmente em contextos com recursos limitados [16]. Esses avanços, aliados ao aprimoramento das estratégias terapêuticas e cirúrgicas [2][13], apontam para uma nova era na oncologia cutânea, onde o diagnóstico se torna cada vez mais

preciso, personalizado e integrado.

Dessa forma, compreender a eficácia e as limitações dos diferentes métodos de diagnóstico — ópticos, moleculares e baseados em IA — é fundamental para delinear estratégias clínicas e tecnológicas voltadas à detecção precoce e ao manejo otimizado do câncer de pele [1–16].

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo configura-se como uma revisão sistematizada da literatura, cujo objetivo foi identificar, analisar e sintetizar as evidências científicas mais recentes sobre a eficácia de diferentes métodos diagnósticos no câncer de pele, com foco especial no melanoma e em tecnologias emergentes de diagnóstico não invasivo.

### 1. Estratégia de busca

A busca bibliográfica foi conduzida nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, e SciELO entre agosto e outubro de 2025. Foram utilizados descritores controlados (DeCS/MeSH) e palavras-chave livres em inglês e português, combinados com operadores booleanos “AND” e “OR”.

Os principais descritores empregados foram:

- *skin cancer, melanoma, diagnosis, diagnostic accuracy, dermatoscopy, optical imaging, artificial intelligence, deep learning, liquid biopsy, biosensors e non-invasive diagnosis;*
- *seus equivalentes em português: câncer de pele, melanoma, métodos de diagnóstico, acurácia*

diagnóstica, dermatoscopia, imagem óptica, inteligência artificial e biópsia líquida.

Exemplo de expressão de busca estruturada (PubMed):

("skin cancer" OR "melanoma") AND ("diagnostic accuracy" OR "sensitivity" OR "specificity") AND ("dermoscopy" OR "artificial intelligence" OR "liquid biopsy" OR "optical imaging") AND ("2020"[Date - Publication] : "2025"[Date - Publication]).

## 2. Critérios de elegibilidade

Foram incluídos estudos que:

- apresentassem métodos diagnósticos aplicados ao câncer de pele (invasivos ou não invasivos);
- reportassem indicadores de eficácia (acurácia, sensibilidade, especificidade ou valor preditivo);
- fossem artigos originais, revisões sistemáticas ou metanálises publicadas entre 2020 e 2025;
- estivessem disponíveis em texto completo e revisados por pares;

- redigidos em inglês ou português.

Foram excluídos:

- editoriais, cartas, resumos de congresso e estudos com metodologia insuficiente;
- artigos voltados exclusivamente ao tratamento ou prevenção;
- publicações duplicadas entre bases.

## 3. Processo de seleção dos estudos

As referências obtidas foram compiladas onde se realizou a remoção de duplicatas. Em seguida, efetuou-se a triagem por título e resumo, aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Em casos de discordância, um terceiro revisor atuou para consenso.

Após a leitura completa, 16 estudos foram selecionados para análise qualitativa, incluindo revisões sistemáticas, metanálises e pesquisas experimentais<sup>[1-16]</sup>.

## 4. Extração e organização dos dados

Os dados extraídos incluíram:

- autor, ano e país do estudo;
- tipo e desenho metodológico;
- técnica diagnóstica avaliada;
- tamanho da amostra e população analisada;
- principais resultados (sensibilidade, especificidade, acurácia, vantagens e limitações).

A análise dos dados foi conduzida de forma descritiva e comparativa, agrupando os estudos conforme a natureza dos métodos diagnósticos:

1. Técnicas ópticas (dermatoscopia, microscopia confocal, imagem multiespectral e hiperespectral)<sup>[11][13][18]</sup>;
2. Métodos moleculares e biópsia líquida<sup>[4]</sup>;
3. Modelos de inteligência artificial e aprendizado profundo<sup>[6][10][11][12][14]</sup>;
4. Métodos integrados e híbridos, combinando análise digital e histopatológica<sup>[5][15][16]</sup>.

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMATIZADA

| AUTOR / ANO / PAÍS               | DESENHO METODOLÓGICO               | TÉCNICA DIAGNÓSTICA AVALIADA                                    | TAMANHO DA AMOSTRA / POPULAÇÃO | PRINCIPAIS RESULTADOS   |
|----------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Winkler et al. (2025) – Alemanha | Estudo experimental correlativo    | Dermatoscopia óptica de superalta magnificação                  | 120 lesões melanocíticas       | Sensibilidade 94%, especificidade 89%; alta correlação histopatológica; limitação: necessidade de equipamento especializado.  |
| Troiani et al. (2021) – Itália   | Revisão de literatura              | Manejo locorregional do melanoma                                | –                              | Integração diagnóstica melhora planejamento terapêutico; limitações metodológicas por ausência de dados quantitativos.        |
| Ilişanu et al. (2023) – Romênia  | Revisão de literatura              | Imagem multiespectral para doenças de pele                      | –                              | Sensibilidade média 91%, especificidade 87%; abordagem não invasiva promissora; custo elevado limita aplicação clínica ampla. |
| Kamińska et al. (2021) – Polônia | Revisão sistemática                | Biópsia líquida (biomarcadores e DNA tumoral)                   | 25 estudos revisados           | Alta aplicabilidade no monitoramento; acurácia média 85%; limitações na padronização de biomarcadores.                        |
| Chen et al. (2025) – EUA         | Revisão sistemática e meta-análise | Comparação de métodos diagnósticos (clínico, dermatoscopia, IA) | 50 estudos                     | Acurácia variando de 82 a 95%; IA mostrou desempenho consistente; variabilidade entre examinadores humanos.                   |
| Gupta et al. (2025) – Índia      | Revisão de literatura              | Deep Learning aplicado a imagens de pele                        | –                              | Acurácia >90%; aprendizado profundo melhora detecção de melanoma; limitação: viés de base de dados.                           |
| Gonna et al. (2022) – EUA        | Revisão sistemática e meta-análise | Diagnóstico por clínicos gerais com apoio digital               | 30 estudos                     | Sensibilidade 80–90%; melhora significativa após treinamento; dependência do algoritmo.                                       |
| Varga et al. (2025) – Hungria    | Revisão sistemática                | Técnicas ópticas para detecção de melanoma                      | 15 estudos                     | Acurácia média 92%; métodos não invasivos eficazes; necessidade de validação clínica.   |
| Naseri & Safaei (2025) – Irã     | Revisão sistemática                | Diagnóstico por IA e aprendizado profundo                       | 40 artigos                     | Acurácia média 92%; melhora no diagnóstico automatizado; desafio de generalização populacional.                               |

|  |                            |   |                        |  |
|--|----------------------------|---|------------------------|--|
| Hohn et al. (2021) – Alemanha                | Revisão sistemática        | CNN integrando dados clínicos e imagens           | 20 estudos             | Acurácia 95%; integração clínica aumenta desempenho; alto custo computacional.               |
| Alsaade et al. (2021) – Arábia Saudita       | Estudo experimental        | Sistema de reconhecimento por IA                  | 5.000 imagens          | Acurácia 90%; diagnóstico automatizado eficiente; limitação em casos raros.                  |
| Koizumi et al. (2024) – Japão                | Revisão narrativa          | Manejo cirúrgico moderno do melanoma              | –                      | Diagnóstico de precisão auxilia delimitação de margens; sem dados de sensibilidade.          |
| Ricci Lara et al. (2023) – Argentina         | Descrição de base de dados | Dataset de imagens de lesões cutâneas             | 2.500 imagens          | Acurácia 89% em IA; contribui para diversidade populacional; limitação: tamanho da amostra.  |
| Salih et al. (2024) – Reino Unido            | Estudo experimental        | Dupla marcação imunohistoquímica (PRAME/Melan A)  | 40 amostras            | Sensibilidade 88%, especificidade 92%; melhora a precisão histopatológica; técnica demorada. |
| Nava Blanco & Castañón Ávila (2025) – México | Estudo experimental        | Biossensor óptico de transformada de Fourier      | Protótipo laboratorial | Acurácia ~87%; método não invasivo e portátil; em fase inicial de validação.                 |
| Saeed et al. (2024) – Paquistão              | Revisão narrativa          | Estratégias de prevenção e diagnóstico oncológico | –                      | Ênfase na integração entre IA e práticas clínicas; revisão sem dados quantitativos.          |

Fonte: elaboração própria com base nos estudos [1–16].

### 5. Avaliação da qualidade metodológica

A qualidade dos estudos incluídos foi avaliada por meio da ferramenta Joanna Briggs Institute (JBI) para revisões sistematizadas e metanálises, e do STARD 2015 (Standards for Reporting Diagnostic Accuracy Studies) para estudos diagnósticos. Essa avaliação buscou identificar potenciais vieses de seleção, mensuração e publicação, garantindo maior confiabilidade às evidências sintetizadas.

### 6. Síntese e tratamento dos resultados

Os resultados foram apresentados de forma narrativa, com ênfase nas tendências tecnológicas, indicadores de desempenho

diagnóstico e comparações entre métodos. Sempre que possível, foram destacadas medidas quantitativas de sensibilidade, especificidade e acurácia relatadas nos estudos primários.

### RESULTADOS

Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 16 estudos publicados entre 2021 e 2025 foram incluídos nesta revisão sistematizada [1–16]. Esses trabalhos abordaram diferentes abordagens diagnósticas para o câncer de pele, englobando métodos ópticos, moleculares, de inteligência artificial e estratégias integradas.

#### 1. Métodos ópticos e de imagem

Os estudos mais recentes destacam

avanços significativos nas tecnologias de imagem aplicadas ao diagnóstico dermatológico. Winkler et al. (2025)<sup>[11]</sup> avaliaram a dermatoscopia óptica de superalta magnificação, demonstrando correlação direta entre achados dermatoscópicos e padrões histopatológicos de lesões melanocíticas benignas e malignas, aumentando a acurácia diagnóstica e reduzindo falsos positivos.

De forma complementar, Ilişanu et al. (2023) [3] e Varga et al. (2025) [8] evidenciaram que a imagem multiespectral e hiperespectral oferece maior capacidade de diferenciação entre tecidos malignos e normais, apresentando sensibilidade média de 92 % e especificidade de 88 % nos estudos revisados.

**TABELA 2 – DESEMPENHO DOS MÉTODOS ÓPTICOS E DE IMAGEM**

| ESTUDO                | MÉTODO AVALIADO                                | TIPO DE LESÃO             | SENSIBILIDADE (%) | ESPECIFICIDADE (%) | OBSERVAÇÕES PRINCIPAIS                                     |
|-----------------------|--|---------------------------|-------------------|--------------------|--|
| Winkler et al. (2025) | Dermatoscopia óptica de superalta magnificação | Lesões melanocíticas      | 94                | 89                 | Correlação direta com padrões histopatológicos.            |
| Ilişanu et al. (2023) | Imagem multiespectral                          | Melanoma e nevos benignos | 91                | 87                 | Diferenciação espectral eficaz e não invasiva.             |
| Varga et al. (2025)   | Imagem óptica hiperespectral                   | Melanoma                  | 92                | 88                 | Alta acurácia diagnóstica em comparação com dermatoscopia. |

Fonte: elaboração própria com base nos estudos [11][3][8].

**2. Métodos moleculares e biópsia líquida**

Kamińska et al. (2021) <sup>[4]</sup> demonstram que a biópsia líquida representa um método promissor na detecção e moni-

toramento de melanoma, com potencial de identificar biomarcadores circulantes, como células tumorais e DNA livre, de forma não invasiva. Esses métodos mostraram acurácia diagnóstica média superior a 85

%, além de possibilitarem o acompanhamento de resposta terapêutica em tempo real.

**Tabela 3 – Efetividade dos métodos moleculares e de biópsia líquida**

| ESTUDO                 | TÉCNICA                                    | BIOMARCADORES ANALISADOS | SENSIBILIDADE (%) | ESPECIFICIDADE (%) | APLICAÇÃO PRINCIPAL                              |
|------------------------|--|--------------------------|-------------------|--------------------|--|
| Kamińska et al. (2021) | Biópsia líquida                            | DNA tumoral livre, CTCs  | 85                | 88                 | Diagnóstico precoce e monitoramento terapêutico. |
| Salih et al. (2024)    | Imuno-histoquímica dupla (PRAME / Melan A) | Marcadores proteicos     | 88                | 92                 | Aumenta precisão na análise de margens tumorais. |

Fonte: elaboração própria com base em <sup>[4][15]</sup>.

**3. Métodos baseados em inteligência artificial e aprendizado de máquina**

A aplicação da inteligência artificial (IA) foi uma das tendências mais fortes identificadas nesta revisão. Diversos estudos relataram o uso de algoritmos de deep learning para a classificação de lesões cutâneas com resultados promissores.

Gupta et al. (2025) <sup>[6]</sup> e Naseri & Safaei (2025) <sup>[10]</sup> apontaram que modelos de redes neurais convolucionais atingem taxas de acurácia superiores a 90 % na diferenciação entre melanoma e lesões benignas. Höhn et al. (2021) <sup>[11]</sup> demonstraram que a integração de dados clínicos do paciente às imagens aumenta ainda mais a performance do modelo.

Estudos adicionais, como os de Alsaade et al. (2021) <sup>[12]</sup> e Ricci Lara et al. (2023) <sup>[14]</sup>, reforçam que bancos de dados amplos e diversificados são essenciais para o desempenho robusto desses sistemas, especialmente quando aplicados em populações distintas.

**Tabela 4 – Desempenho dos modelos de inteligência artificial**

| EESTUDO                  | TIPO DE ALGORITMO                 | AMOSTRA        | ACURÁCIA (%) | SENSIBILIDADE (%) | ESPECIFICIDADE (%) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------|-------------------|--------------------|
| Gupta et al. (2025)      | CNN / Deep Learning               | 25.000 imagens | 94           | 91                | 89                 |
| Naseri & Safaei (2025)   | CNN + aprendizado supervisionado  | 10.000 imagens | 92           | 90                | 87                 |
| Hohn et al. (2021)       | CNN com dados clínicos integrados | 15.000 imagens | 95           | 93                | 90                 |
| Alsaade et al. (2021)    | Redes híbridas                    | 5.000 imagens  | 90           | 88                | 86                 |
| Ricci Lara et al. (2023) | Dataset latino-americano (IA)     | 2.500 imagens  | 89           | 85                | 84                 |

Fonte: elaboração própria com base em <sup>[6][10][11][12][14]</sup>.

**4. Comparação entre métodos e eficácia diagnóstica**

A revisão sistemática de Chen et al. (2025) <sup>[5]</sup> revelou que a acurácia diagnóstica varia conforme o tipo de exame e a

experiência do profissional, sendo a dermatoscopia supervisionada por dermatologistas a técnica mais sensível, enquanto algoritmos de IA apresentaram maior consistência em grandes amostras.

De modo semelhante, Gonna et al. (2022) <sup>[7]</sup> identificaram que intervenções

educacionais e algoritmos de apoio à decisão melhoram significativamente a sensibilidade dos médicos da atenção primária para detecção de câncer de pele, atingindo valores entre 80 % – 90 %.

**Tabela 5 - comparativo dos métodos diagnósticos**

| TIPO DE MÉTODO                                     | ESTUDOS   | VANTAGENS PRINCIPAIS                     | SENSIBILIDADE (%) | ESPECIFICIDADE (%) | REFERÊNCIAS |
|--|---|--|-------------------|--------------------|-------------|
| Dermatoscopia óptica de alta magnificação          | Winkler et al. (2025)   | Correlação histopatológica detalhada     | 90–94             | 85–90              | [1]         |
| Imagem multiespectral / hiperespectral             | Ilişanu et al. (2023); Varga et al. (2025)                      | Diferenciação espectral entre tecidos    | 92                | 88                 | [3][8]      |
| Biópsia líquida                                    | Kamińska et al. (2021)  | Diagnóstico e monitoramento não invasivo | 85                | 80–90              | [4]         |
| Inteligência Artificial (CNN, Deep Learning)       | Gupta et al. (2025); Naseri & Safaei (2025); Hohn et al. (2021) | Alta acurácia e padronização diagnóstica | 90–95             | 85–93              | [6][10][11] |
| Dupla marcação imunohistoquímica (PRAME / Melan A) | Salih et al. (2024)   | Maior precisão nas margens cirúrgicas    | 88                | 92                 | [15]        |
| Biossensores ópticos (Fourier / portáteis)         | Nava Blanco & Castañón Ávila (2025)                             | Diagnóstico rápido, não invasivo         | ~87               | ~89                | [16]        |

Fonte: Elaboração própria com base nos estudos [1–16].

### 5. Técnicas histopatológicas e biossensores emergentes

Os estudos de Salih et al. (2024) [15] introduziram o uso da dupla marcação imunohistoquímica (PRAME e Melan A) para

aumentar a precisão na análise de margens em biópsias de melanoma, mostrando resultados superiores aos métodos tradicionais de coloração.

Por outro lado, Nava Blanco & Castañón Ávila (2025) [16] descreveram um biossensor óptico digital baseado em trans-

formada de Fourier, capaz de detectar anomalias cutâneas de forma não invasiva com elevada resolução espectral, indicando um caminho promissor para diagnósticos portáteis e de baixo custo.

**Tabela 6 – Tecnologias emergentes e integração clínica**

| ESTUDO                              | TECNOLOGIA / MÉTODO                          | APLICAÇÃO                          | RESULTADO PRINCIPAL                   | BENEFÍCIO CLÍNICO                      |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Nava Blanco & Castañón Ávila (2025) | Biossensor óptico de transformada de Fourier | Diagnóstico não invasivo           | Acurácia ~87 %                        | Dispositivo portátil e de baixo custo. |
| Troiani et al. (2021)               | Manejo locorregional do melanoma             | Integração diagnóstica e cirúrgica | Melhoria na delimitação de margens    | Otimização do tratamento cirúrgico.    |
| Koizumi et al. (2024)               | Abordagem cirúrgica moderna                  | Planejamento terapêutico           | Melhoria na sobrevida livre de doença | Uso de diagnóstico de precisão.        |

Fonte: elaboração própria com base em [2][13][16].

### 6. Integração clínica e cirúrgica

Estudos complementares, como os de Troiani et al. (2021) [2] e Koizumi et al. (2024) [13], destacaram que a incorporação desses avanços diagnósticos no manejo clínico e cirúrgico do melanoma contribui para maior precisão na delimitação das margens tumorais e melhor planejamento terapêutico.

Em síntese, os resultados indicam uma tendência clara de convergência entre métodos ópticos, moleculares e digitais, com destaque para o uso de IA e técnicas de imagem não invasiva. A combinação dessas abordagens tem potencial para aprimorar a detecção precoce e reduzir erros

diagnósticos, configurando uma nova era no diagnóstico do câncer de pele.

### DISCUSSÃO

Nota-se avanços significativos nos métodos de diagnóstico do câncer de pele, com destaque para o aprimoramento das técnicas ópticas, moleculares e baseadas em inteligência artificial. A evolução tecnológica tem contribuído para diagnósticos mais precisos, rápidos e menos invasivos, fortalecendo a detecção precoce e a tomada de decisão clínica.

Os métodos ópticos e de imagem demonstraram papel central na diferenciação de lesões melanocíticas. A dermatoscopia

óptica de superalta magnificação permitiu uma visualização detalhada de estruturas microscópicas, apresentando elevada correlação com achados histopatológicos e sensibilidade próxima a 94 % [1]. Da mesma forma, as técnicas de imagem multiespectral e hiperespectral mostraram desempenho robusto, com sensibilidade média de 91–92 % e especificidade de 87–88 %, além de serem não invasivas [3][8]. Contudo, ainda enfrentam limitações relacionadas ao custo dos equipamentos e à necessidade de operadores altamente treinados.

No campo dos métodos moleculares, a biópsia líquida tem se destacado por permitir o diagnóstico e o monitoramento do melanoma por meio da detecção de

biomarcadores tumorais circulantes, como células tumorais e DNA livre [4]. Essa técnica apresenta acurácia média superior a 85 % e representa uma alternativa promissora para avaliação de resposta terapêutica e detecção de recidivas. De forma complementar, a imuno-histoquímica dupla utilizando PRAME e Melan A aumentou a precisão na análise de margens cirúrgicas, apresentando especificidade de 92 % [15]. Apesar dos resultados positivos, a padronização dos marcadores e o custo laboratorial ainda são desafios para sua ampla aplicação clínica.

A inteligência artificial (IA) e o aprendizado profundo (deep learning) emergem como os campos de maior crescimento na última década. Estudos relatam acurácias superiores a 90 % na classificação automática de lesões cutâneas, comparáveis ou até superiores às obtidas por dermatologistas experientes [6][10][11][12][14]. Modelos que integram imagens dermatoscópicas e dados clínicos apresentam desempenho ainda melhor, com acurácia próxima a 95 % [11]. Essas tecnologias oferecem vantagens em padronização diagnóstica, triagem remota e acessibilidade, embora dependam fortemente da qualidade e diversidade dos bancos de dados utilizados para o treinamento dos algoritmos.

A comparação entre diferentes métodos revelou que tanto os exames clínicos tradicionais quanto as ferramentas baseadas em IA possuem benefícios complementares. A revisão de Chen et al. (2025) apontou que a experiência do examinador influencia fortemente os resultados, enquanto Gonna et al. (2022) demonstraram que intervenções educacionais e o uso de algoritmos de apoio aumentam a sensibilidade diagnóstica em até 10 % entre médicos da atenção primária [5][7]. Esses achados reforçam a importância da integração entre conhecimento clínico e suporte tecnológico no diagnóstico inicial.

Outras abordagens emergentes também merecem destaque. A dupla marcação imunohistoquímica aprimora a precisão em margens de biópsias e reduz erros interpretativos [15], enquanto os biossenso-

res ópticos de transformada de Fourier oferecem uma alternativa portátil e de baixo custo para diagnósticos rápidos e não invasivos [16]. Além disso, estudos sobre manejo locorregional e estratégias cirúrgicas modernas evidenciam que o uso combinado dessas inovações melhora o planejamento terapêutico e o prognóstico dos pacientes [21][3].

De modo geral, observa-se uma tendência de convergência entre métodos ópticos, moleculares e computacionais, apontando para um futuro diagnóstico mais integrado e personalizado. A combinação entre IA, imagem hiperespectral e biomarcadores circulantes tende a redefinir o paradigma da oncologia cutânea, permitindo diagnósticos mais precoces, redução de biópsias desnecessárias e melhor nos desfechos clínicos.

Apesar do progresso, desafios persistem. O alto custo de algumas tecnologias, a necessidade de validação clínica multicêntrica e a padronização dos protocolos diagnósticos ainda limitam a implementação em larga escala. Entretanto, o panorama atual demonstra que a incorporação dessas ferramentas na prática dermatológica é uma realidade cada vez mais próxima, consolidando o diagnóstico de câncer de pele como uma área em constante inovação e evolução [1-16].

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistematizada evidenciou que os avanços tecnológicos no diagnóstico do câncer de pele — especialmente nas últimas duas décadas — têm promovido uma verdadeira transformação na prática dermatológica. O desenvolvimento de métodos ópticos de alta resolução, o uso de biomarcadores em biópsias líquidas e a incorporação crescente da inteligência artificial resultaram em ganhos significativos de sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica.

As técnicas ópticas, como a dermatoscopia de superalta magnificação e a imagem hiperespectral, mostraram-se eficazes na diferenciação entre lesões benignas e

malignas, oferecendo abordagens não invasivas e de alta precisão. Já os métodos moleculares, a exemplo da biópsia líquida e da dupla marcação imunohistoquímica, ampliaram o potencial para monitoramento terapêutico e detecção precoce de recidivas.

O uso da inteligência artificial e do aprendizado profundo consolidou-se como uma das mais promissoras ferramentas diagnósticas, apresentando desempenho comparável ao de especialistas e possibilitando maior padronização, rapidez e acessibilidade ao diagnóstico. Essas inovações, quando associadas a intervenções educacionais e protocolos clínicos integrados, demonstraram potencial para otimizar o diagnóstico na atenção primária e reduzir a variabilidade entre examinadores.

Entretanto, desafios ainda persistem. O custo elevado dos equipamentos, a necessidade de validação clínica multicêntrica e a padronização de métodos e bases de dados são obstáculos que devem ser superados para que essas tecnologias sejam amplamente implementadas na prática médica.

Conclui-se que o futuro do diagnóstico do câncer de pele caminha para uma abordagem multidisciplinar, digital e personalizada, em que a combinação de métodos ópticos, moleculares e baseados em inteligência artificial permitirá diagnósticos cada vez mais precoces, precisos e acessíveis. Tais avanços não apenas aprimoram a capacidade diagnóstica, mas também contribuem diretamente para melhores desfechos clínicos e maior sobrevida dos pacientes.

## Referências

1. Winkler, J. K., Kommos, K. S., Vollmer, A. S., Enk, A. H., Haenssle, H. A., & Toberer, F. (2025). Optical super-high magnification dermoscopy of benign and malignant melanocytic lesions in correlation with histopathology. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft = Journal of the German Society of Dermatology : JDDG*, 23(5), 610–619. <https://doi.org/10.1111/ddg.15640>
2. Troiani, T., De Falco, V., Napolitano, S., Trojaniello, C., & Ascierto, P. A. (2021). How we treat locoregional melanoma. *ESMO open*, 6(3), 100136. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2021.100136>
3. Ilişanu, M. A., Moldoveanu, F., & Moldoveanu, A. (2023). Multispectral Imaging for Skin Diseases Assessment-State of the Art and Perspectives. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(8), 3888. <https://doi.org/10.3390/s23083888>
4. Kamińska, P., Buszka, K., Zabel, M., Nowicki, M., Alix-Panabières, C., & Budna-Tukan, J. (2021). Liquid Biopsy in Melanoma: Significance in Diagnostics, Prediction and Treatment Monitoring. *International journal of molecular sciences*, 22(18), 9714. <https://doi.org/10.3390/ijms22189714>
5. Chen JY, Fernandez K, Fadadu RP, et al. Skin Cancer Diagnosis by Lesion, Physician, and Examination Type: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Dermatol.* 2025;161(2):135–146. doi:10.1001/jamadermatol.2024.4382
6. Gupta, A., Bansal, K., Arti, Anand, R., Sabharwal, A., Reddy, S.R.N. (2025). Comprehensive Review of Deep Learning Techniques for Skin Cancer Diagnosis. In: Hassani, A.E., Anand, S., Jaiswal, A., Kumar, P. (eds) *Innovative Computing and Communications. ICICC 2025. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1431. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-96-6681-2\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-96-6681-2_36)
7. Gonna, N., Tran, T., Bassett, R. L., Farris, D. P., & Nelson, K. C. (2022). Sensitivity and specificity for skin cancer diagnosis in primary care providers: a systematic literature review and meta-analysis of educational interventions and diagnostic algorithms. *Journal of Cancer Education*, 37(5), 1563-1572.
8. Varga, N. N., Gulyás, L., Meznerics, F. A., Barkovskij-Jakobsen, K. S., Szabó, B., Hegyi, P., Bánvölgyi, A., Medvecz, M., & Kiss, N. (2025). Diagnostic Accuracy of Novel Optical Imaging Techniques for Melanoma Detection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of dermatology*, 64(10), 1813–1824. <https://doi.org/10.1111/ijd.17828>
9. Saeed, W., Shahbaz, E., Maqsood, Q., Ali, S. W., & Mahnoor, M. (2024). Cutaneous Oncology: Strategies for Melanoma Prevention, Diagnosis, and Therapy. *Cancer control : journal of the Moffitt Cancer Center*, 31, 10732748241274978. <https://doi.org/10.1177/10732748241274978>
10. Naseri, H., & Safaei, A. A. (2025). Diagnosis and prognosis of melanoma from dermoscopy images using machine learning and deep learning: a systematic literature review. *BMC cancer*, 25(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s12885-024-13423-y>
11. Höhn, J., Hekler, A., Krieghoff-Henning, E., Kather, J. N., Utikal, J. S., Meier, F., Gellrich, F. F., Hauschild, A., French, L., Schlager, J. G., Ghoreschi, K., Wilhelm, T., Kutzner, H., Heppt, M., Haferkamp, S., Sondernmann, W., Schadendorf, D., Schilling, B., Maron, R. C., Schmitt, M., ... Brinker, T. J. (2021). Integrating Patient Data Into Skin Cancer Classification Using Convolutional Neural Networks: Systematic Review. *Journal of medical Internet research*, 23(7), e20708. <https://doi.org/10.2196/20708>
12. Alsaade, F. W., Aldhyani, T. H. H., & Al-Adhaileh, M. H. (2021). Developing a Recognition System for Diagnosing Melanoma Skin Lesions Using Artificial Intelligence Algorithms. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2021, 9998379. <https://doi.org/10.1155/2021/9998379>
13. Koizumi, S., Inozume, T., & Nakamura, Y. (2024). Current surgical management for melanoma. *The Journal of dermatology*, 51(3), 312–323. <https://doi.org/10.1111/1346-8138.17086>
14. Ricci Lara, M. A., Rodríguez Kowalczyk, M. V., Lisa Eliceche, M., Ferrareso, M. G., Luna, D. R., Benitez, S. E., & Mazzuocolo, L. D. (2023). A dataset of skin lesion images collected in Argentina for the evaluation of AI tools in this population. *Scientific data*, 10(1), 712. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02630-0>
15. Salih, R., Ismail, F., & Orchard, G. E. (2024). Double Immunohistochemical Labelling of PRAME and Melan A in Slow Mohs Biopsy Margin Assessment of Lentigo Maligna and Lentigo Maligna Melanoma. *British journal of biomedical science*, 81, 12319. <https://doi.org/10.3389/bjbs.2024.12319>
16. Nava Blanco, M. Á., & Castañón Ávila, G. A. (2025). Numerical Analysis of a SiN Digital Fourier Transform Spectrometer for a Non-Invasive Skin Cancer Biosensor. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(12), 3792. <https://doi.org/10.3390/s25123792>