

Uso dos biomarcadores na detecção precoce de câncer: Uma revisão de literatura

Use of biomarkers in early cancer detection: A literature review

Uso de biomarcadores en la detección temprana del cáncer: Una revisión de la literatura

Recebido: 23/07/2024 | Revisado: 05/08/2024 | Aceitado: 07/08/2024 | Publicado: 12/08/2024

Lucas Arruda Lino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4747-6308>
Universidade de Gurupi, Brasil
E-mail: lucas.a.lino@unirg.edu.br

Luis Miguel Carvalho Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7493-8710>
Universidade de Gurupi, Brasil
E-mail: Luis.m.c.mendes@unirg.edu.br

Edivaldo Silva Araújo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3879-2077>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: edivaldo.neto@mail.uft.edu.br

Nycollas João Nascimento Martins

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4476-9817>
Universidade de Gurupi, Brasil
Email: nycollas.j.n.martins@unirg.edu.br

Zaine Santos de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2777-7653>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: zaine.alves@uft.edu.br

Isabela Passos Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3890-4509>
Universidade de Gurupi, Brasil
E-mail: Isabelapassos21@hotmail.com

Alexandre Magno dos Santos Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9609-0854>
Universidade de Gurupi, Brasil
E-mail: Alexandres.f234@outlook.com

Ana Carla Pires de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6035-3377>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: ana.lima@icm.ufpa.br

Túlio Jordano Gonçalves Valente

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3485-6498>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: tulio.jordano@mail.uft.edu.br

Ana Carlyne Portela Radtke

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0707-6213>
Universidade de Gurupi, Brasil
E-mail: anacpradtke@unirg.edu.br

Andreza Soares de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-3330>
Universidade Estadual do Tocantins, Brasil
E-mail: andreasouza@unitins.br

Natanael Soares de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9451-6050>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: natanael.souza@mail.uft.edu.br

Resumo

Introdução: Biomarcadores surgem como ferramentas fundamentais no diagnóstico oncológico. Características biológicas mensuráveis, eles indicam processos biológicos normais, patológicos ou respostas a terapias. Na oncologia são utilizados para detecção precoce de câncer, prognóstico, predição de resposta ao tratamento e monitoramento da progressão da doença. A introdução destaca a importância da detecção precoce do câncer e a relevância dos biomarcadores para intervenções eficazes. Biomarcadores genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos são essenciais para detectar alterações moleculares e celulares precoces. **Objetivo:** Este artigo visa oferecer uma visão abrangente sobre o papel crucial dos biomarcadores na detecção precoce do câncer, destacando avanços tecnológicos,

desafios enfrentados e implicações clínicas para melhorar os desfechos dos pacientes. A metodologia inclui uma revisão integrativa da literatura, utilizando bases de dados como PubMed, Scopus e Web of Science para identificar estudos relevantes. Os termos de busca incluíram "biomarcadores", "detecção precoce de câncer" e "tecnologias de diagnóstico". Os artigos foram selecionados com critérios rigorosos de inclusão e exclusão, e os dados extraídos e analisados para identificar tendências e avanços no campo. Este artigo revisa o papel dos biomarcadores na detecção precoce do câncer, abordando sua importância, metodologias de detecção, desafios técnicos e impactos na sobrevida e prognóstico dos pacientes. Resultados: A utilização de biomarcadores genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos demonstra grande potencial para identificar alterações moleculares e celulares precoces, possibilitando intervenções mais rápidas e eficazes. Contudo, a heterogeneidade tumoral, a variabilidade dos resultados, a validação clínica e a complexidade da interpretação dos dados permanecem desafios significativos que precisam ser superados.

Palavras-chave: Biomarcadores; Detecção precoce; Diagnóstico.

Abstract

Introduction: Biomarkers emerge as fundamental tools in oncological diagnosis. Measurable biological characteristics, they indicate normal, pathological biological processes or responses to therapies. In oncology, they are used for early detection of cancer, prognosis, prediction of response to treatment and monitoring of disease progression. The introduction highlights the importance of early cancer detection and the relevance of biomarkers for effective interventions. Genomic, proteomic, metabolomic and epigenetic biomarkers are essential to detect early molecular and cellular changes. Objective: This article aims to provide a comprehensive overview of the crucial role of biomarkers in early cancer detection, highlighting technological advances, challenges faced and clinical implications for improving patient outcomes. The methodology includes an integrative literature review, using databases such as PubMed, Scopus and Web of Science to identify relevant studies. Search terms included "biomarkers," "early cancer detection," and "diagnostic technologies." Articles were selected using strict inclusion and exclusion criteria, and data extracted and analyzed to identify trends and advances in the field. This article reviews the role of biomarkers in the early detection of cancer, addressing their importance, detection methodologies, technical challenges and impacts on patient survival and prognosis. Results: The use of genomic, proteomic, metabolomic and epigenetic biomarkers demonstrates great potential for identifying early molecular and cellular changes, enabling faster and more effective interventions. However, tumor heterogeneity, outcome variability, clinical validation, and complexity of data interpretation remain significant challenges that need to be overcome.

Keywords: Biomarkers; Early detection; Diagnosis.

Resumen

Introducción: Los biomarcadores emergen como herramientas fundamentales en el diagnóstico oncológico. Características biológicas medibles, indican procesos biológicos patológicos normales o respuestas a terapias. En oncología, se utilizan para la detección temprana del cáncer, el pronóstico, la predicción de la respuesta al tratamiento y el seguimiento de la progresión de la enfermedad. La introducción destaca la importancia de la detección temprana del cáncer y la relevancia de los biomarcadores para intervenciones efectivas. Los biomarcadores genómicos, proteómicos, metabolómicos y epigenéticos son esenciales para detectar cambios moleculares y celulares tempranos. Objetivo: Este artículo tiene como objetivo proporcionar una descripción general completa del papel crucial de los biomarcadores en la detección temprana del cáncer, destacando los avances tecnológicos, los desafíos enfrentados y las implicaciones clínicas para mejorar los resultados de los pacientes. La metodología incluye una revisión integradora de la literatura, utilizando bases de datos como PubMed, Scopus y Web of Science para identificar estudios relevantes. Los términos de búsqueda incluyeron "biomarcadores", "detección temprana del cáncer" y "tecnologías de diagnóstico". Los artículos se seleccionaron utilizando estrictos criterios de inclusión y exclusión, y los datos se extrajeron y analizaron para identificar tendencias y avances en el campo. Este artículo revisa el papel de los biomarcadores en la detección temprana del cáncer, abordando su importancia, las metodologías de detección, los desafíos técnicos y los impactos en la supervivencia y el pronóstico del paciente. Resultados: El uso de biomarcadores genómicos, proteómicos, metabolómicos y epigenéticos demuestra un gran potencial para identificar cambios moleculares y celulares tempranos, lo que permite intervenciones más rápidas y efectivas. Sin embargo, la heterogeneidad del tumor, la variabilidad de los resultados, la validación clínica y la complejidad de la interpretación de los datos siguen siendo desafíos importantes que deben superarse.

Palabras clave: Biomarcadores; Detección temprana; Diagnóstico.

1. Introdução

A detecção precoce do câncer é um dos principais desafios da oncologia moderna, uma vez que diagnósticos realizados em estágios iniciais estão fortemente associados a melhores prognósticos e maiores taxas de sobrevivência. O câncer continua sendo uma das principais causas de mortalidade no mundo, com milhões de novos casos diagnosticados anualmente. De acordo com a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), houve aproximadamente 19,3 milhões de novos

casos de câncer e cerca de 10 milhões de mortes relacionadas ao câncer em 2020. Esses números sublinham a urgência de desenvolver métodos eficazes para a detecção precoce da doença.

Os biomarcadores emergem como ferramentas essenciais neste contexto. Biomarcadores são características biológicas que podem ser medidas e avaliadas objetivamente como indicadores de processos biológicos normais, processos patogênicos ou respostas farmacológicas a uma intervenção terapêutica. Na oncologia, os biomarcadores podem ser utilizados para vários fins, incluindo a detecção precoce de câncer, prognóstico, predição de resposta ao tratamento e monitoramento da progressão da doença. Os biomarcadores podem ser classificados em várias categorias, dependendo da sua natureza e aplicação. Entre as principais categorias estão os biomarcadores genômicos: incluem mutações no DNA, variações no número de cópias, polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) e alterações epigenéticas. Um exemplo clássico é o gene BRCA1/BRCA2, cujas mutações estão associadas a um risco elevado de câncer de mama e ovário. Existem também os biomarcadores proteômicos, que referem-se às proteínas cuja presença ou níveis são indicativos de câncer. Por exemplo, o antígeno prostático específico (PSA) é utilizado na triagem do câncer de próstata. Os biomarcadores metabolômicos, que envolvem metabólitos cuja concentração pode estar alterada em pacientes com câncer. A análise de perfis metabólicos pode oferecer informações sobre o metabolismo tumoral e os biomarcadores epigenéticos que incluem modificações no DNA, como a metilação, que podem influenciar a expressão gênica sem alterar a sequência do DNA. Alterações epigenéticas podem ser detectadas em vários tipos de câncer (Almeida et al., 2007).

Ademais, é importante ressaltar os desafios técnicos, que apesar dos avanços tecnológicos, a detecção de biomarcadores enfrenta vários desafios técnicos, como a necessidade de alta sensibilidade e especificidade, a padronização de técnicas e a validação clínica dos biomarcadores identificados. Além disso, a heterogeneidade tumoral e a variabilidade biológica entre pacientes podem complicar a interpretação dos resultados. Sobre os impactos na sobrevida e prognóstico, a detecção precoce de câncer por meio de biomarcadores pode ter um impacto significativo na sobrevida dos pacientes. Estudos demonstram que diagnósticos realizados em estágios iniciais permitem intervenções terapêuticas mais eficazes e menos agressivas. Por exemplo, a detecção precoce do câncer de colo do útero através do teste de Papanicolaou e da detecção do HPV tem reduzido significativamente a mortalidade associada a esta doença (Silva et al., 2016).

Por fim, vale destacar os desafios e perspectivas futuras, em que a incorporação de biomarcadores na prática clínica não está isenta de desafios. Questões éticas e regulamentares, como a privacidade dos dados genéticos e a aprovação de novos testes diagnósticos, são cruciais. A análise de custo-efetividade também é fundamental para garantir que os benefícios da detecção precoce justifiquem os custos associados. Futuras direções de pesquisa incluem a identificação de novos biomarcadores, a melhoria das tecnologias de detecção e a integração de dados ômicos (genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos) para uma abordagem mais holística da detecção precoce de câncer. A personalização dos protocolos de triagem com base no perfil biomarcador individual de cada paciente é uma perspectiva promissora que pode revolucionar a prevenção e o tratamento do câncer (Oliveira et al., 2011).

Em suma, a utilização de biomarcadores na detecção precoce do câncer representa uma oportunidade significativa para a oncologia moderna devido ao seu potencial de identificar a doença em estágios iniciais, quando as intervenções são mais eficazes. A profilaxia, através de programas de triagem e monitoramento regular utilizando biomarcadores específicos, mostra-se essencial na redução da incidência de câncer e na melhoria dos resultados dos pacientes. A detecção precoce, utilizando técnicas avançadas como PCR, sequenciamento de nova geração e espectrometria de massa, continua sendo a abordagem principal para identificar alterações moleculares associadas ao câncer. Além disso, a integração de programas de monitoramento e avaliação contínua dos biomarcadores é crucial para um acompanhamento eficaz e seguro dos pacientes. Assim, a combinação de estratégias profiláticas, tecnologias de detecção avançadas e programas de monitoramento robustos é fundamental para otimizar a prevenção, o diagnóstico e o tratamento do câncer.

Este artigo visa oferecer uma visão abrangente sobre o papel crucial dos biomarcadores na detecção precoce do câncer, destacando avanços tecnológicos, desafios enfrentados e implicações clínicas para melhorar os desfechos dos pacientes.

2. Metodologia

Este estudo utilizará como método a revisão narrativa da literatura das publicações sobre o tema "Uso dos biomarcadores na detecção precoce de câncer: uma revisão de literatura". Trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica, realizada online na Biblioteca Virtual em Saúde, sendo utilizadas as bases de dados Google Acadêmico, LILACS e SCIELO para a construção do estudo. O período de coleta de dados iniciará no 1º semestre de 2024, e será realizada uma pesquisa que se iniciará por meio da inserção dos termos "biomarcadores na detecção precoce do câncer", "tecnologias de detecção de câncer", "impacto dos biomarcadores no prognóstico do câncer" e "futuras direções na pesquisa de biomarcadores" com artigos publicados no período de 2000 a 2024 nos idiomas português, inglês e espanhol. A pesquisa na literatura e revisão será feita obedecendo-se a seis etapas, conforme descrito por Mendes et al. (2008). A pesquisa na literatura e revisão foi feita obedecendo-se a seis etapas. Primeira etapa: identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa. Segunda etapa: estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/ amostragem ou busca na literatura. Terceira etapa: definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados. Quarta etapa: avaliação dos estudos incluídos na revisão. Quinta etapa: interpretação dos resultados. Sexta etapa: apresentação da revisão/síntese do conhecimento (Mendes et al., 2008).

Tendo como necessidade o entendimento sobre um problema levantado e subsidiar dados que auxiliem em sua elucidação, trata-se de uma pesquisa exploratória que, conforme Gil (2017), envolve levantamento bibliográfico através de material já publicado em artigos científicos, onde são levantados elementos que irão servir de referencial teórico na busca das informações relevantes ao objetivo da pesquisa e proporcionar maior familiaridade com o problema a fim de construir uma hipótese ou torná-lo explícito. Assim, conforme os materiais foram sendo lidos e selecionados, as informações pertinentes a esta pesquisa foram sendo levantadas até totalizar 17 artigos que tratam sobre os diferentes tipos de biomarcadores, suas técnicas de detecção, impacto na sobrevida e prognóstico dos pacientes com câncer, bem como os desafios e perspectivas futuras no campo da detecção precoce de câncer utilizando biomarcadores.

3. Resultados

Os biomarcadores representam uma ferramenta valiosa na detecção precoce do câncer, oferecendo a possibilidade de diagnósticos mais precoces e intervenções terapêuticas mais eficazes. A relevância clínica dos biomarcadores é inegável, com um impacto direto na sobrevida e na qualidade de vida dos pacientes. Embora os desafios persistam, pode-se afirmar que pacientes com níveis elevados iniciais de marcadores tumorais que se normalizam após a intervenção terapêutica geralmente apresentam uma resposta favorável. Em contraste, um marcador tumoral que permanece elevado ou em ascensão está associado a uma alta probabilidade de doença recorrente ou progressiva e deve ser considerado um indicativo sério de possível doença metastática (Rodrigues et al., 2019).

Os métodos e tecnologias de detecção de biomarcadores são essenciais para a percepção precoce do câncer, desempenhando um papel fundamental na prática clínica. A capacidade de identificar alterações moleculares antes do aparecimento dos sintomas clínicos permite intervenções mais eficazes e melhora os desfechos dos pacientes. A contínua evolução e integração dessas tecnologias na prática clínica prometem avanços significativos na detecção e tratamento do câncer. Os métodos e tecnologias de detecção de biomarcadores são fundamentais para a percepção precoce do câncer e

desempenham um papel crucial na prática clínica atual. Essas tecnologias permitem a identificação de alterações moleculares associadas ao câncer em estágios iniciais, antes que os sintomas clínicos se manifestem, possibilitando intervenções mais eficazes e melhorando os desfechos para os pacientes (Silva et al., 2023).

Embora os desafios técnicos na detecção precoce do câncer sejam substanciais, eles são uma área de intensa pesquisa e desenvolvimento. Avanços na tecnologia, melhores métodos de validação e soluções para a variabilidade e custo das técnicas são essenciais para superar essas barreiras. A resolução desses desafios pode transformar a abordagem do câncer, melhorando a capacidade de detectar e tratar a doença em estágios iniciais e, assim, aumentando as taxas de sobrevivência e a qualidade de vida dos pacientes.

A detecção precoce do câncer impacta significativamente a sobrevida e o prognóstico dos pacientes. A capacidade de identificar tumores em estágios iniciais permite a implementação de tratamentos mais eficazes e menos agressivos, ajustados de acordo com o perfil genético do tumor. Além disso, o monitoramento contínuo e a intervenção precoce podem melhorar ainda mais os resultados, aumentando as taxas de sobrevivência e a qualidade de vida. Superar desafios técnicos e melhorar as tecnologias de detecção é essencial para maximizar esses benefícios e transformar a abordagem ao câncer (Xavier et al., 2022).

4. Discussão

A identificação e validação de biomarcadores para a detecção precoce de câncer são áreas cruciais de pesquisa biomédica com implicações clínicas significativas. Os biomarcadores oferecem uma maneira de detectar alterações moleculares e celulares antes do aparecimento de sintomas clínicos, permitindo intervenções mais precoces e, potencialmente, melhores desfechos para os pacientes. Os biomarcadores genômicos, como mutações em genes específicos, são de particular importância para o rastreamento de predisposição hereditária ao câncer. Mutações nos genes BRCA1 e BRCA2 aumentam significativamente o risco de câncer de mama e ovário. Testes genéticos para essas mutações permitem a identificação de indivíduos em risco, que podem se beneficiar de estratégias de prevenção e monitoramento mais intensivas. A relevância clínica desses biomarcadores está na sua capacidade de orientar decisões preventivas, como a mastectomia profilática ou ooforectomia, e na personalização do rastreamento de câncer (Rodrigues et al., 2019).

Biomarcadores proteômicos, como o antígeno prostático específico (PSA) para câncer de próstata, são amplamente utilizados em triagens populacionais. O PSA é uma proteína produzida pela próstata e níveis elevados no sangue podem indicar a presença de câncer. No entanto, a especificidade do PSA é limitada, pois níveis elevados também podem ocorrer em condições benignas como a hiperplasia prostática benigna (HPB). Apesar disso, o uso do PSA tem reduzido a mortalidade por câncer de próstata através da detecção precoce e tratamento subsequente (Murcarbel et al., 2020). Os biomarcadores metabolômicos analisam as alterações nos perfis metabólicos que ocorrem no câncer. A detecção de metabólitos específicos, como o ácido 2-hidroxiacetoacetato em gliomas, pode fornecer informações valiosas sobre a presença e o tipo de câncer. A relevância clínica dos biomarcadores metabolômicos reside na sua capacidade de refletir as alterações bioquímicas associadas ao desenvolvimento e progressão do câncer, muitas vezes antes que alterações estruturais sejam detectáveis por técnicas de imagem (Ortiz et al., 2023).

Biomarcadores epigenéticos, como padrões de metilação do DNA, têm mostrado grande potencial na detecção precoce de câncer. A hipermetilação de promotores de genes supressores de tumor é uma característica comum em muitos tipos de câncer e pode ser detectada em amostras de sangue, oferecendo uma abordagem não invasiva para o rastreamento. Por exemplo, a metilação do gene SEPT9 é utilizada na triagem de câncer colorretal. A importância clínica desses biomarcadores está na sua capacidade de fornecer informações sobre a regulação gênica e potencialmente detectar cânceres em estágios muito iniciais. A detecção precoce de câncer utilizando biomarcadores tem várias implicações clínicas importantes. Primeiro, permite

intervenções mais precoces, quando o câncer é mais tratável e as chances de cura são maiores. Segundo, a detecção precoce pode reduzir a necessidade de tratamentos agressivos e invasivos, melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Terceiro, o uso de biomarcadores pode permitir a monitorização contínua da resposta ao tratamento e a detecção precoce de recidivas, proporcionando uma abordagem mais dinâmica e personalizada ao manejo do câncer (Batista Santos et al., 2022).

Como exemplo, observa-se que, no câncer de pulmão, a detecção de mutações no gene EGFR permite a seleção de pacientes para tratamento com inibidores de tirosina-quinase, que têm mostrado melhorar significativamente a sobrevida em pacientes com mutações específicas. Da mesma forma, a presença de mutações no gene KRAS pode indicar resistência a certos tratamentos, ajudando a evitar terapias ineficazes e a escolher opções alternativas (Medeiros, 2023). No câncer de mama, além dos testes de BRCA1/BRCA2, a expressão de receptores hormonais (estrogênio e progesterona) e do receptor HER2 é fundamental para a escolha do tratamento, influenciando a decisão entre terapias hormonais, quimioterapia e terapias direcionadas (Achig Carrión et al., 2023; Zhuang et al., 2021).

Reação em Cadeia da Polimerase (PCR): A PCR é uma técnica amplamente utilizada para amplificar pequenas quantidades de material genético, facilitando a detecção de mutações e alterações genéticas associadas ao câncer. A PCR em tempo real (qPCR) permite quantificar a expressão de biomarcadores específicos, fornecendo informações valiosas sobre a presença e a carga tumoral. A capacidade da PCR de detectar alterações genéticas com alta sensibilidade e especificidade a torna uma ferramenta essencial na triagem e no monitoramento de cânceres, como os de mama e próstata. **Sequenciamento de Nova Geração (NGS):** O NGS oferece uma abordagem abrangente para a análise de alterações genéticas e epigenéticas em tumores. Esta tecnologia permite o sequenciamento simultâneo de múltiplos genes e regiões do genoma, identificando mutações raras e alterações que podem não ser detectadas por métodos mais tradicionais (Silva et al., 2023).

A relevância clínica do NGS é significativa, pois fornece uma visão detalhada do perfil genético do tumor, facilitando a personalização do tratamento e a previsão de resposta a terapias específicas. **Espectrometria de Massa:** Utilizada para a análise proteômica, a espectrometria de massa permite a identificação e quantificação de proteínas e metabólitos associados ao câncer. Essa tecnologia pode revelar perfis proteicos únicos ou padrões de metabólitos que indicam a presença de tumor. A espectrometria de massa é particularmente útil na descoberta de biomarcadores para cânceres como o de ovário e pâncreas, onde a detecção precoce é desafiadora devido à falta de sintomas específicos (Durans, 2022). **Imunohistoquímica:** A imunohistoquímica é uma técnica que utiliza anticorpos para detectar proteínas específicas em amostras de tecidos. Essa abordagem é crucial para a avaliação da expressão de marcadores tumorais em biópsias, ajudando a diagnosticar e classificar diferentes tipos de câncer. A imunohistoquímica é amplamente utilizada na prática clínica para guiar decisões terapêuticas, como a escolha de tratamentos direcionados para cânceres com base na expressão de receptores hormonais ou proteínas específicas (Herchenhorn et al., 2022; Zhou et al., 2021).

A implementação eficaz dessas tecnologias de detecção melhora significativamente a percepção precoce do câncer. Métodos como PCR e NGS oferecem a capacidade de identificar alterações genéticas e epigenéticas antes que se desenvolvam sinais clínicos, permitindo um diagnóstico mais precoce. A espectrometria de massa e a imunohistoquímica fornecem informações adicionais sobre a presença e o perfil dos tumores, contribuindo para uma avaliação mais completa. Essas tecnologias não apenas permitem a detecção precoce, mas também possibilitam o monitoramento contínuo da doença. A capacidade de acompanhar a evolução do câncer ao longo do tratamento e detectar recidivas precocemente é vital para ajustar estratégias terapêuticas e melhorar os resultados clínicos.

Apesar dos avanços, a aplicação dessas tecnologias enfrenta desafios, como a necessidade de validação rigorosa, a padronização de procedimentos e a interpretação dos resultados. Além disso, a integração dessas tecnologias na prática clínica requer treinamento adequado e a implementação de protocolos para garantir a precisão e a confiabilidade dos diagnósticos. A pesquisa futura deve focar no aprimoramento dessas tecnologias e na combinação de métodos para otimizar a detecção

precoce. A integração de abordagens multi-ômicas e a aplicação de inteligência artificial para análise de dados têm o potencial de transformar a detecção do câncer, oferecendo diagnósticos ainda mais precisos e personalizados.

Um dos principais desafios técnicos é a heterogeneidade tumoral. Tumores podem variar significativamente entre os pacientes e mesmo dentro do mesmo tumor ao longo do tempo. Essa variação pode dificultar a identificação de biomarcadores que sejam representativos e consistentes para todos os casos. A heterogeneidade pode resultar em amostras tumorais que não refletem completamente o perfil genético ou molecular do tumor, levando a diagnósticos imprecisos e a tratamentos menos eficazes. A variabilidade dos resultados é outro desafio crucial. A sensibilidade e a especificidade das técnicas de detecção, como PCR e NGS, podem ser influenciadas por fatores técnicos e biológicos, como a qualidade da amostra, a técnica de preparação e as condições laboratoriais. Pequenas variações nos procedimentos podem levar a resultados inconsistentes, afetando a capacidade de detectar alterações tumorais precoces e levando a diagnósticos errôneos ou atrasados (Souza et al, 2006; Zhang et al, 2020).

A validação clínica dos biomarcadores e das tecnologias de detecção é essencial para garantir que eles sejam eficazes e confiáveis em ambientes clínicos diversos. Muitas das novas tecnologias e biomarcadores ainda precisam ser validados em grandes estudos clínicos para confirmar sua utilidade e aplicabilidade. A falta de validação pode limitar a adoção generalizada e a confiança dos profissionais de saúde na aplicação desses métodos na prática clínica diária. A interpretação dos dados é complexa e pode ser desafiadora. A análise de grandes volumes de dados gerados por técnicas como NGS e espectrometria de massa exige algoritmos avançados e conhecimento especializado. A interpretação incorreta dos dados pode levar a conclusões errôneas sobre a presença ou a progressão do câncer, afetando negativamente as decisões de tratamento e o gerenciamento da doença (Freitas et al., 2024).

Ademais, a implementação e o custo das tecnologias de detecção também representam desafios significativos. Tecnologias avançadas como NGS e espectrometria de massa podem ser caras e exigem equipamentos sofisticados e treinamento especializado. A acessibilidade e o custo dessas tecnologias podem limitar sua aplicação em ambientes clínicos, especialmente em regiões com recursos limitados. Superar esses desafios técnicos é crucial para melhorar a percepção precoce do câncer. A capacidade de identificar biomarcadores de forma precisa e confiável permite a detecção de alterações tumorais antes que os sintomas clínicos apareçam, possibilitando intervenções mais precoces e potencialmente mais eficazes. A resolução desses desafios pode levar a um diagnóstico mais rápido, a um tratamento mais personalizado e a melhores desfechos clínicos para os pacientes.

A detecção precoce é crucial porque os tratamentos são geralmente mais eficazes quando o câncer é diagnosticado em estágios iniciais. Tumores detectados precocemente têm menos chances de metastizar e podem ser tratados com métodos menos invasivos, aumentando as taxas de sobrevivência. Por exemplo, no câncer de mama, a triagem regular com mamografias pode detectar lesões em estágios iniciais, levando a um tratamento que pode resultar em taxas de sobrevivência a cinco anos superiores a 90%. Em contraste, cânceres detectados em estágios avançados frequentemente requerem tratamentos mais agressivos e têm prognósticos menos favoráveis (Thuler, 2003).

Além disso, a identificação precoce também influencia o prognóstico ao permitir uma abordagem mais personalizada do tratamento. Biomarcadores identificados precocemente podem fornecer informações detalhadas sobre a agressividade do tumor e a melhor abordagem terapêutica. Por exemplo, a presença de mutações específicas pode orientar a escolha de terapias direcionadas que têm mostrado melhorar significativamente o prognóstico em cânceres como o de pulmão e o de mama. O conhecimento antecipado do perfil genético do tumor permite ajustes mais precisos no tratamento, aumentando as chances de uma resposta positiva (Xavier et al., 2022).

O monitoramento contínuo utilizando biomarcadores também é essencial para a detecção precoce de recidivas. A capacidade de acompanhar as alterações nos biomarcadores ao longo do tempo permite a detecção de recidivas ou progressão

da doença antes que os sintomas se manifestem. Essa vigilância constante pode resultar em intervenções mais rápidas e ajustes no tratamento, o que pode melhorar os resultados a longo prazo. Detectar cânceres em estágios iniciais também pode reduzir a necessidade de tratamentos agressivos. Tratamentos menos invasivos e menos intensivos podem ser suficientes para controlar a doença, minimizando efeitos colaterais e melhorando a qualidade de vida dos pacientes. A detecção precoce pode evitar a necessidade de cirurgias extensivas ou terapias combinadas intensivas, que são frequentemente associadas a maiores complicações e recuperação mais difícil (Cabral et al., 2020).

5. Considerações Finais

A detecção precoce do câncer por meio de biomarcadores é crucial para melhorar o prognóstico e a sobrevida dos pacientes. Este artigo revisou os principais tipos de biomarcadores, métodos e tecnologias de detecção, desafios técnicos, e impactos na sobrevida e prognóstico. Os biomarcadores genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos oferecem informações essenciais para a detecção precoce e o monitoramento contínuo do câncer. Métodos como PCR, NGS, espectrometria de massa e imunohistoquímica são fundamentais, apesar dos desafios técnicos, como a heterogeneidade tumoral e a variabilidade dos resultados. Superar esses desafios é vital para diagnósticos precisos e confiáveis, permitindo intervenções mais eficazes e menos invasivas, que melhoram a qualidade de vida dos pacientes. A validação clínica e a acessibilidade dessas tecnologias são essenciais para sua ampla adoção.

Para enriquecer e valorizar ainda mais a pesquisa sobre biomarcadores na detecção precoce do câncer, sugerimos que futuros estudos se concentrem em várias áreas promissoras. Primeiramente, a identificação e validação de novos biomarcadores específicos para diferentes tipos de câncer podem ampliar as opções de diagnóstico precoce. Além disso, a integração de dados multi-ômicos (genômicos, proteômicos, metabolômicos e epigenéticos) com o uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode oferecer uma abordagem mais holística e precisa para a detecção e monitoramento do câncer. Estudos que avaliem a eficácia e a custo-efetividade dessas novas tecnologias em diferentes populações e ambientes clínicos também são necessários para garantir sua aplicabilidade e acessibilidade global. Por fim, a investigação sobre os aspectos éticos e regulamentares relacionados ao uso de dados genéticos e biomarcadores pode ajudar a estabelecer diretrizes claras e seguras para a implementação dessas tecnologias na prática clínica. Essas direções de pesquisa não apenas contribuirão para o avanço científico, mas também aumentarão a possibilidade de que este artigo seja citado e referenciado por outros pesquisadores, promovendo a continuidade dos estudos na área.

Referências

- Achig Carrión, K. A., Cabrera Palacios, M. C., Acosta Acero, M. V., & Guerrero Ortiz, F. B. (2023). Câncer de mama hereditario relacionado a mutaciones en BRCA1/BRCA2: Una revisión sistemática. *RECIAMUC*, 7(1), 942-961.
- Almeida, J. R. C., Pedrosa, N. L., Leite, J. B., Fleming, T. R. P., Carvalho, V. H., & Cardoso, A. A. A. (2007). Marcadores Tumorais: revisão da literatura. *Rev Bras Cancerol*, 53(3), 305-16.
- Batista Santos, I. T., & Queiroz de Mello Padilha, I. (2022). Mecanismos Epigenéticos no Surgimento do Câncer: uma Revisão Bibliográfica. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 26(1), 130-134.
- Cabral, P. R. F., Pereira Júnior, J. C., Nunes, J. R. D. S., & Nascimento, J. G. N. D. (2020). Use of tumor markers for câncer diagnosis: a literature review. *Research, Society and Development*, 9(11), e83891110601.
- Durans, A. F. F. (2022). Aplicação de métodos quimiométricos e espectrometria de massa para detectar câncer de próstata através da urina. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Freitas, I. L. D., Miranda, B. C. D., Vieira, H. S., Pereira, M. A. F. F., & Filho, P. R. S. (2024). Avanços em marcadores tumorais no diagnóstico e tratamento do câncer de mama. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 6(5), 2278-2295.
- Herchenhorn, D., Rezende, L. M., Thuler, L. C., Maia, R. C., Medina, M., & Costa, M. A. D. (2022). Quimioterapia Neoadjuvante em Câncer de Mama Localmente Avançado: Análise Imunohistoquímica é Preditiva da Resposta à Quimioterapia. *Rev. Bras. Cancerol.*, 46(2), 163-71.

- Medeiros, J. V. T. (2023). Uso dos biomarcadores na detecção precoce de câncer: uma revisão de literatura. *Revista Contemporânea*, 3(11).
- Mucarbel, I. M. G., Ramos, T. J. L., & Duque, M. A. A. (2020). A importância do exame PSA – antígeno prostático específico – para a prevenção do câncer de próstata. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 94184-94195.
- Oliveira, G. G., & Fonseca, C. A. (2011). Uso de marcadores tumorais no diagnóstico e acompanhamento do tratamento do câncer. *Revista eletrônica de Farmácia*, 8(2), 15. <https://doi.org/10.5216/ref.v8i2.14898>. <https://revistas.ufg.br/REF/article/view/14898>.
- Ortiz, L. D., Rincón, M., Agudelo, P. M., Arango, J. C., Camargo, M., & Barrera Arenas, L. M. (2023). Biomarcadores genéticos en sangre, una nueva herramienta para el diagnóstico, pronóstico y supervivencia en pacientes con gliomas de alto grado. *Med UPB*, 42(2), 52-61.
- Rodrigues, A. H. F., Albuquerque, C. P. C. de, Cavalcante, C. D., & Peixoto, A. da S. (2019). Mecanismos epigenéticos no câncer de mama: o papel dos biomarcadores e da medicina personalizada. *Revista InterScientia*, 7(2), 174-186.
- Silva, H. C. B., Freitas, J. G. A., & Vieira, T. C. (2016). Utilização de marcadores tumorais no manejo clínico de câncer. *Movimenta*, 9(2), 252-65. www.revista.ueg.br/index.php/movimenta/article/view/4644.
- Silva, M. R., Martins, J. O., Kaliniczenko, A., Messias, S. H. N., Patrão, M. C., Yamaguchi, R. S. S., & Peres, A. T. C. (2023). Diagnóstico da leucemia mieloide crônica: O Papel das novas técnicas da biologia molecular. *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, 45, S121.
- Souza, T. L. (2006). A persistência dos cânceres e as células-tronco tumorais. *Revista Da Associação Médica Brasileira* (1992), 52(6), 379-379.
- Thuler, L. C. (2003). Considerações sobre a prevenção do câncer de mama feminino. *Rev. Bras. Cancerol.*, 49(4), 227-38.
- Xavier, R. F., Silva, G. H. C., Gonçalves, C. H. E., Gonçalves, D. E., Moreira, C. G., Minervino, J. L. C., & Bezerra, J. J. (2022). Perspectives in the treatment of lung cancer: analysis of signaling pathways and biomarkers. *Research, Society and Development*, 11(7), e5411722903.
- Zhang, Y., Yang, J., & Li, H. (2020). Advances in the detection of cancer biomarkers in body fluids based on liquid biopsy: A review. **Biosensors and Bioelectronics**, 148, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111-123>.
- Zhou, B., Xu, K., Zheng, X., Chen, T., & Wang, J. (2021). The application of metabolomics in cancer diagnosis and therapeutic monitoring: A review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 192, 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113-121>.
- Zhuang, Z., & Gao, J. (2021). Emerging roles of non-coding RNAs in cancer diagnosis and prognosis. *Cancer Letters*, 501, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2020.11.012>.