REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

AVANÇOS DA BIÓPSIA LÍQUIDA NO DIAGNÓSTICO ONCOLÓGICO: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

ADVANCEMENTS IN LIQUID BIOPSY FOR ONCOLOGICAL DIAGNOSIS

Ciências da Saúde • 09/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794140111

Alycia Souza Rocha[1]

Letícia Estéfani Marques Silva[2]

Thays Renata de Oliveira[3]

Samyra Giarola Cecilio[4]

Daniele Sapede Alvarenga Medaglia[5]

Martinelle Ferreira da Rocha Taranto[6]

RESUMO

O câncer representa um importante desafio para a saúde pública em escala mundial, o que reforça a necessidade de métodos diagnósticos mais eficientes e menos invasivos em comparação às biópsias convencionais de tecido. Nesse cenário, a biópsia líquida destaca-se como uma abordagem promissora, baseada na investigação de componentes tumorais presentes em fluidos biológicos. O presente trabalho teve como objetivo analisar a contribuição dessa técnica para a detecção precoce e o acompanhamento de pacientes no contexto do diagnóstico oncológico. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter descritivo e abordagem qualitativa, a partir da análise de artigos científicos e dados epidemiológicos disponíveis em bases de dados acadêmicas. Os resultados demonstraram que a avaliação do DNA tumoral circulante, das células tumorais presentes na corrente sanguínea e dos exossomos, possibilita a identificação de alterações genéticas e epigenéticas associadas ao tumor. Além disso, a biópsia líquida apresenta potencial para reduzir limitações relacionadas à representatividade das amostras obtidas por métodos convencionais, permitindo a identificação de doença residual mínima, o acompanhamento de alterações relacionadas à resistência ao tratamento e a avaliação contínua da evolução tumoral, com menor impacto invasivo para o paciente. Dessa forma, a biópsia líquida apresenta-se como uma ferramenta complementar de grande potencial na oncologia de precisão, contribuindo para o diagnóstico em fases iniciais e para a definição de estratégias terapêuticas individualizadas.

Palavras-chave: Neoplasias; ctDNA; Biomarcadores; Células Tumorais Circulantes; Oncologia.

ABSTRACT

Cancer represents a major global public health challenge, highlighting the need for more efficient and less invasive diagnostic methods compared with conventional tissue biopsies. In this context, liquid biopsy has emerged as a promising approach based on the analysis of tumor-derived components present in biological fluids. This study aimed to analyze the contribution of this technique to early detection and monitoring of patients in the context of cancer diagnosis. To this end, a descriptive literature review with a qualitative approach was conducted based on the analysis of scientific articles and epidemiological data available in academic databases. The findings demonstrated that the assessment of circulating tumor DNA, tumor cells present in the bloodstream, and exosomes enables the identification of genetic and epigenetic alterations associated with tumors. Furthermore, liquid biopsy has the potential to overcome limitations related to the representativeness of samples obtained through conventional methods, allowing for the detection of minimal residual disease, the monitoring of changes associated with treatment resistance, and the continuous assessment of tumor progression, with less invasive impact on patients. Therefore, liquid biopsy represents a highly promising complementary tool in precision oncology, contributing to early-stage diagnosis and the development of individualized therapeutic strategies.

Keywords: Neoplasms; ctDNA; Biomarkers; Circulating Tumor Cells; Oncology.

1. INTRODUÇÃO

A confirmação diagnóstica na oncologia tem dependido historicamente da biópsia de tecido, considerada o nível mais alto de

excelência para o estudo histopatológico e diagnóstico da massa tumoral. No entanto, a obtenção de amostras teciduais apresenta severas limitações clínicas e biológicas que comprometem sua aplicação no diagnóstico precoce e no monitoramento contínuo do paciente (Abreu *et al.*, 2026). O procedimento é essencialmente invasivo, demandando frequentemente intervenções cirúrgicas ou punções por agulha, o que acarreta dor, desconforto e riscos inerentes de complicações, como infecções e hemorragias. Em contrapartida, a biópsia líquida consiste em um método inovador de diagnóstico, estratificação e monitoramento oncológico realizado a partir da coleta e análise de biomarcadores tumorais presentes em fluidos biológicos, especialmente o sangue periférico (Pinheiro *et al.*, 2022).

Tendo em vista que o câncer permanece como uma das patologias de maior impacto e mortalidade na saúde pública, seria necessário estratégias de rastreamento cada vez mais ágeis (Llanos *et al.*, 2025). Considerando no cenário nacional cuja a elevada incidência de diagnósticos descobertos em estágios avançados (62% em 2021) compromete significativamente as chances de cura e a eficácia das intervenções terapêuticas, a biópsia líquida aparece como uma tecnologia essencial com a convergência entre a biologia molecular e a prática clínica contemporânea, permitindo compreender como exames minimamente invasivos revolucionam o cuidado ao paciente (Instituto Oncoguia, 2023). De maneira objetiva, a técnica fundamenta-se na identificação de analitos circulantes que fornecem dados genômicos em tempo real sobre a neoplasia sem procedimentos invasivos.

Diante desse panorama, o presente trabalho delimita-se a investigar a viabilidade e o papel da biópsia líquida como ferramenta

complementar na oncologia de precisão, focando no isolamento e caracterização de biomarcadores como o DNA tumoral circulante (ctDNA), as células tumorais circulantes (CTCs) e os exossomos.

2. METODOLOGIA

O estudo consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e exploratório, com o objetivo de analisar os avanços da biópsia líquida no diagnóstico e monitoramento de pacientes oncológicos. Foram consultados artigos científicos, documentos institucionais e publicações acadêmicas relacionadas ao tema.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas, utilizando descritores relacionados à biópsia líquida, DNA tumoral circulante (ctDNA), diagnóstico oncológico, câncer e monitoramento tumoral. Foram priorizadas publicações relevantes e atualizadas que abordassem as aplicações, vantagens, limitações e perspectivas da biópsia líquida na oncologia.

Após a seleção dos materiais, os estudos foram analisados de forma qualitativa, buscando identificar as principais evidências científicas sobre a utilização da biópsia líquida, bem como seus benefícios e desafios para o diagnóstico, prognóstico e acompanhamento do paciente com câncer.

O presente trabalho investigou como o uso da biópsia líquida tem contribuído para a detecção precoce e o monitoramento no diagnóstico oncológico, buscando trazer informações mais atualizadas sobre marcadores tumorais. Para isso, foram lidos textos que tratam sobre dificuldades no diagnóstico oncológico e sobre como a biópsia líquida tem evoluído nos últimos anos. A seleção dos artigos foi feita em bancos de dados como PubMed e SciELO.

Como critérios de exclusão, foram desconsiderados artigos que não apresentassem relação direta com a temática proposta, estudos duplicados nas bases de dados, publicações cujo texto completo não estivesse disponível, trabalhos que abordassem a biópsia líquida exclusivamente para aplicações não relacionadas à oncologia e estudos que não apresentassem informações relevantes para responder à pergunta norteadora.

Para adicionar informações ao estudo de revisão bibliográfica, também foram utilizados dados fornecidos por associações governamentais e institutos brasileiros para explicitar a importância do tema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

Os principais avanços da biópsia líquida no diagnóstico e acompanhamento das neoplasias, mostraram como destaque o DNA tumoral circulante (ctDNA), as células tumorais circulantes (CTCs) e os exossomos, representados na Tabela 1. Os estudos abordaram principalmente a identificação de alterações moleculares, o monitoramento da doença e a avaliação da resposta ao tratamento.

Tabela 1. Principais aplicações, resultados e limitações da biópsia líquida no diagnóstico e monitoramento oncológico.

Marcador	Principais resultados	Referência

ctDNA	Identificação de mutações tumorais, monitoramento terapêutico e detecção de doença residual e recorrência. Aplicações relevantes em câncer colorretal, pulmão, mama e melanoma.	Abreu *et al.*, 2026; Borea *et al.*, 2025.
CTCs	Avaliação prognóstica e caracterização de células tumorais. Resultados relevantes em cânceres metastáticos de mama e próstata; estudos investigam aplicações em melanoma e gliomas.	Abreu *et al.*, 2026; Brock *et al.*, 2015.
Exossomos	Identificação de biomarcadores moleculares para diagnóstico e monitoramento. Aplicações promissoras, ainda investigacionais, em cânceres de pâncreas, pulmão, mama e gliomas.	Yu *et al.*, 2022; Abreu *et al.*, 2026; Borea *et al.*, 2025; Brock *et al.*, 2015.
Aspectos gerais		
Monitoramento	Acompanhamento da evolução da doença e resposta ao tratamento.	Abreu *et al.*, 2026.
Detecção precoce	Potencial relevante, porém limitado pela baixa quantidade de biomarcadores em estágios iniciais.	Wu *et al.*, 2025.
Rastreamento	Pode complementar métodos já estabelecidos, mas ainda não os substitui.	Abreu *et al.*, 2026
Limitações	Falta de padronização, baixa concentração de biomarcadores e resultados falso-positivos ou falso-negativos.	Abreu *et al.*, 2026; Brock *et al.*, 2015.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De modo geral, a técnica demonstrou potencial para fornecer informações tumorais por meio de amostras biológicas de forma minimamente invasiva. O ctDNA destacou-se na identificação de alterações genéticas e epigenéticas e de doença residual mínima, enquanto as CTCs e os exossomos permitem diferentes formas de caracterização tumoral (Wang *et al.*, 2024).

Em um estudo com 178 pacientes com câncer colorretal em estágio II identificou ctDNA em 14 pacientes (7,9%) (Tie *et al.,* 2016). Nesse mesmo estudo ouve uma recorrência foi de aproximadamente 79% entre aqueles com ctDNA detectável e 9,8% entre os pacientes com resultado negativo, reforçando seu potencial na identificação de doença residual mínima e estratificação de risco.

Nos estudos sobre rastreamento, a biópsia líquida apresentou potencial em indivíduos de maior risco, mas limitações como baixa concentração de biomarcadores, necessidade de maior sensibilidade e especificidade e possibilidade de resultados falso-positivos ainda restringem sua aplicação (Crosby, 2022). A técnica permanece, portanto, como complemento aos métodos já estabelecidos.

3.1. Limitações das Biópsias Teciduais no Diagnóstico Precoce

Estudos apontam que a nova tecnologia da biópsia líquida pode contribuir para o acompanhamento pós-cirúrgico no monitoramento da recidiva tumoral. Um estudo baseado em ensaios de sequenciamento paralelo massivo foi realizado para avaliar a capacidade do ctDNA na detecção de doenças residuais mínimas, utilizando 1.046 amostras de plasma provenientes de 230 pacientes submetidos à ressecção de câncer de cólon em estágio II. De acordo

com os resultados, todos os pacientes que apresentavam ctDNA detectável após a cirurgia exibiram um risco significativamente maior de recorrência da doença. Entre os pacientes positivados, houve uma taxa de recorrência de aproximadamente 79% durante o período de acompanhamento, enquanto entre os negativados apenas 9,8% tiveram recidiva (Tie *et al.*, 2016).

Confirmando esses achados, um estudo prospectivo realizado com pacientes portadores de câncer colorretal em estágios II e III avaliou a presença de ctDNA no pós-operatório e no acompanhamento clínico, demonstrando que os pacientes com ctDNA positivo apresentam maior taxa de recorrência. Além disso, o estudo evidenciou que alterações no ctDNA precedem a confirmação da recidiva por exames de imagem em alguns pacientes (Chen *et al.*, 2021). Ambos os trabalhos demonstram o potencial do ctDNA como marcador prognóstico e como ferramenta complementar para o monitoramento pós-cirúrgico em pacientes oncológicos.

A persistência do ctDNA após a quimioterapia adjuvante também está relacionada a uma sobrevida livre de recorrência inferior, o que reforça o potencial desse biomarcador para identificar doença residual mínima e auxiliar na estratificação de risco dos pacientes (Oliveira *et al.*, 2024).

Atualmente, o diagnóstico e o acompanhamento do câncer colorretal exigem que o paciente seja submetido a colonoscopias, exames de imagem e dosagens seriadas do antígeno carcinoembrionário (CEA), um marcador tumoral sistêmico. Embora esses métodos sejam importantes e efetivos, eles apresentam limitações na detecção precoce da recidiva tumoral e podem envolver procedimentos invasivos, demorados e onerosos. Estudos

apontam que, em casos de recorrência, o diagnóstico molecular pode antecipar a detecção em 6 a 12 meses em relação aos exames tradicionais. Ao avaliarem 144 pacientes em acompanhamento, pesquisadores observaram que o ctDNA apresentou maior sensibilidade para a detecção de recidiva quando comparado ao antígeno carcinoembrionário, sendo identificado de 6 a 12 meses antes da confirmação por exames de imagem (Symonds *et al.*, 2020). Outro estudo com pacientes com câncer colorretal em estágio III corroborou esses dados, mostrando que o ctDNA foi detectado antes da recorrência por imagem, adiantando o diagnóstico em 6 a 10 meses (Henriksen *et al.*, 2022).

Além disso, a espera prolongada pela realização de exames tradicionais e liberação de laudos pode retardar o início do tratamento adequado e expor o paciente ao avanço da doença, o que pode acarretar metástases e limitar o prognóstico a abordagens paliativas, impedindo a intervenção precoce com uma terapia quimioterápica mais eficaz.

Por fim, existem desafios técnicos que dificultam a implementação ampla desse procedimento no país. Isso se deve principalmente às disparidades na infraestrutura e na capacidade dos centros de coleta, às limitações das plataformas de sequenciamento disponíveis no Brasil, ao alto custo de equipamentos e reagentes, à escassez de profissionais especializados e à complexidade na interpretação de variantes especialmente de alterações raras ou daquelas que ainda carecem de evidências científicas suficientes para determinar seu significado clínico e sua relevância para o diagnóstico e tratamento do paciente. No entanto, com o contínuo desenvolvimento tecnológico, a metodologia tem se tornado mais padronizada,

facilitando a comparação de resultados entre diversos centros oncológicos brasileiros (Rezende, 2026).

3.2. Biomarcadores Circulantes

A biópsia líquida tem se consolidado como um pilar fundamental da medicina de precisão, atuando como um exame de apoio e complemento às biópsias teciduais e transformando paradigmas na oncologia moderna. O conceito baseia-se no isolamento e na caracterização de biomarcadores derivados do tumor que são continuamente liberados em fluidos corporais, incluindo plasma sanguíneo, soro, urina, saliva, líquido cefalorraquidiano, exsudatos e outros efluentes biológicos (Llanos *et al.*, 2025). Diferente da biópsia tecidual convencional, que representa um retrato estático e limitado a uma única região da massa tumoral, a análise de marcadores circulantes reflete a dinâmica molecular em tempo real e a totalidade da heterogeneidade tumoral do organismo (Brock *et al.*, 2015).

Os biomarcadores circulantes originam-se tanto do tumor primário quanto de focos metastáticos à distância (Llanos *et al.*, 2020). Durante o processo de progressão tumoral, o microambiente neoplásico sofre remodelações vasculares, apoptose, necrose celular, liberação ativa de vesículas e disseminação celular na corrente sanguínea (Abreu *et al.*, 2026). Dentre a diversidade de analitos presentes na circulação, destacam-se como principais alvos de investigação o DNA tumoral circulante (ctDNA), as células tumorais circulantes (CTCs) e os exossomos.

3.3. DNA Tumoral Circulante (ctDNA)

O DNA livre de células (cfDNA) abrange todos os fragmentos de ácidos nucleicos que circulam livremente no plasma sanguíneo. Em pacientes com câncer, uma fração variável desse material genético deriva diretamente de células neoplásicas, sendo denominada DNA tumoral circulante (ctDNA) (Brock *et al.*, 2015). A liberação do ctDNA ocorre predominantemente através de mecanismos de morte celular fisiológica ou induzida por tratamentos (como apoptose e necrose), embora processos de secreção ativa por células viáveis também desempenhem um papel relevante (Ma *et al.*, 2024).

Fisicamente, o ctDNA apresenta-se altamente fragmentado, exibindo um comprimento característico de aproximadamente 150 a 160 pares de bases (pb), padrão que reflete a clivagem nucleossômica típica de processos apoptóticos (Brock *et al.*, 2015). A proporção de ctDNA em relação ao cfDNA total varia drasticamente de acordo com a carga tumoral, o estágio da doença e a vascularização do tumor, podendo representar desde menos de 0,1% em lesões iniciais até mais de 40% a 50% em cenários metastáticos avançados (Abreu *et al.*, 2026).

A relevância funcional e diagnóstica do ctDNA reside no fato de que ele carrega as mesmas alterações genômicas e epigenéticas presentes no tumor de origem. Por meio de técnicas avançadas de sequenciamento de nova geração (NGS) e PCR digital em gotas (ddPCR), o ctDNA permite mapear mutações somáticas pontuais, inserções e deleções (indels), variações no número de cópias e perfis epigenéticos de metilação (Borea *et al.*, 2025; Abreu *et al.*, 2026). O monitoramento longitudinal do ctDNA também possibilita identificar mutações de resistência adquirida tais como mutações no câncer de pulmão de pequenas células ou no gene *ESR1* no câncer de mama, permitindo a alteração preventiva da conduta

terapêutica meses antes de a progressão se tornar visível em exames de imagem tradicionais (Abreu *et al.*, 2026).

3.4. Células Tumorais Circulantes (CTCs)

As células tumorais circulantes (CTCs) são células íntegras que se desprendem da massa tumoral primária ou de sítios metastáticos, podem invadir o sistema vascular ou disseminam pelo organismo, sendo capazes de colonizar órgãos distantes (Brock *et al.*, 2015).

A análise das CTCs apresenta desafios consideráveis devido à sua extrema raridade: de acordo com Neumann *et al.* (2018), estima-se que variem de 1 a 10 CTCs em 10^6 a 10^8 de glóbulos brancos. A sobrevida das CTCs na corrente sanguínea é baixa, estimando-se que aproximadamente 0,1% das células liberadas consigam sobreviver ao estresse de cisalhamento hemodinâmico e à vigilância do sistema imunológico (Wirtz *et al.*, 2011).

A principal vantagem biológica das CTCs em relação aos fragmentos livres de ácidos nucleicos é que elas estão íntegras e viáveis. Isso possibilita análises genômicas, transcriptômicas, proteômicas e funcionais no nível de célula única, permitindo estudar como as células tumorais alteram seus fenótipos. O principal obstáculo biológico para o seu isolamento é a transição epitélio-mesênquima (EMT), processo no qual as CTCs perdem progressivamente marcadores epiteliais e adquirem características mesenquimais móveis, o que exige o desenvolvimento de plataformas de captura independentes de anticorpos epiteliais, como métodos baseados em propriedades físicas de tamanho e deformabilidade (Brock *et al.*, 2015).

3.5. Exossomos

Os exossomos representam uma subclasse especializada de vesículas extracelulares de membrana, com dimensões nanométricas variando tipicamente entre 30 e 200 nanômetros de diâmetro (Yu *et al.*, 2022). Diferente da liberação passiva resultante da morte celular, os exossomos são secretados de forma ativa por células viáveis através da via endossomal, resultante da fusão de corpos multivesiculares com a membrana plasmática (Yu *et al.*, 2022).

A grande relevância dos exossomos no contexto da biópsia líquida fundamenta-se em seu conteúdo ou "carga molecular" (*cargo*), que inclui ácidos nucleicos (DNA de fita dupla, RNA mensageiro e RNAs não-codificantes), proteínas estruturais e funcionais, proteínas de choque térmico e metabólitos e lipídios específicos (Ma *et al.*, 2024).

Segundo Yu *et al* (2022), fisiologicamente, os exossomos atuam como mediadores essenciais de comunicação intercelular. Em condições oncogênicas, as células tumorais secretam quantidades significativamente maiores de exossomos em comparação com células saudáveis. Essas vesículas transferem material oncogênico para células receptoras à distância, modulando a angiogênese, promovendo o remodelamento do microambiente tumoral, induzindo a supressão da resposta imunológica e preparando o nicho pré-metastático em órgãos-alvo (Yu *et al.*, 2022).

Uma das maiores vantagens dos exossomos como ferramenta de biópsia líquida é a proteção membranosa da bicamada lipídica, que preserva as moléculas de RNA e proteínas contidas em seu interior contra a degradação promovida por RNases e proteases abundantes nos fluidos corporais. Essa estabilidade estrutural permite a análise

contínua do transcriptoma tumoral a partir de amostras biológicas simples (Brock *et al.*, 2015).

3.6. Síntese Funcional e Complementaridade dos Biomarcadores

A integração dos diferentes analitos circulantes oferece uma perspectiva holística da evolução neoplásica (Tabela 2). Enquanto o ctDNA sobressai-se pela rapidez de quantificação, rastreamento de mutações pontuais e detecção de doença residual mínima, as CTCs oferecem a oportunidade única de realizar estudos funcionais e transcriptômicos em células inteiras (Abreu *et al.*, 2026). Paralelamente, os exossomos garantem a estabilidade do RNA circulante e revelam as vias de sinalização intercelular do microambiente tumoral.

Tabela 2. Comparação entre os principais biomarcadores utilizados na biópsia líquida.

Característica	ctDNA	CTCs	Exossomos
Origem	Fragmentos de DNA tumoral.	Células tumorais intactas que se desprendem.	Vesículas extracelulares com carga molecular.
Mecanismo de liberação	Principalmente apoptose e necrose.	Desprendimento do tumor e disseminação.	Via endossomal com fusão de corpos à membrana plasmática
Vantagem	Permite detectar e acompanhar alterações moleculares tumorais de forma	Permite estudar células tumorais intactas, incluindo características	A membrana protege o conteúdo molecular

	minimamente invasiva.	funcionais e fenotípicas.	contra degradação.
Desafio	A sua quantidade pode ser baixa em tumores iniciais.	Raridade e heterogeneidade celular.	Isolamento e caracterização das vesículas e de seu conteúdo.

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Abreu *et al.* (2026).

Dessa forma, a biópsia líquida elimina os riscos de procedimentos cirúrgicos invasivos, reduz custos operacionais e viabiliza um monitoramento longitudinal dinâmico, permitindo que a conduta clínica seja ajustada em tempo real conforme a neoplasia adquire novas mutações e mecanismos de resistência (Abreu *et al.,* 2026).

3.7. Aplicações Clínicas e Rastreio Populacional

A possibilidade de utilizar a biópsia líquida no rastreamento do câncer tem despertado grande interesse, principalmente pela facilidade de obtenção da amostra e pela capacidade de identificar alterações tumorais a partir de uma simples coleta de sangue. A técnica permite investigar diferentes componentes circulantes, como o ctDNA, as CTCs, RNAs, vesículas extracelulares e proteínas. Entre esses marcadores, o ctDNA tem recebido destaque por carregar alterações moleculares específicas do tumor, fornecendo informações precisas sobre sua presença e características biológicas (Brock *et al.*, 2015; Ma *et al.*, 2024).

Apesar desse enorme potencial, o uso da biópsia líquida para o rastreamento de pessoas assintomáticas ainda enfrenta limitações importantes. Tumores em estágios iniciais podem liberar quantidades muito reduzidas de material tumoral na circulação,

dificultando a sua identificação. Além disso, o ctDNA representa apenas uma pequena parcela do cfDNA total, que também é liberado por células saudáveis e não tumorais. Essa característica pode comprometer a sensibilidade dos testes e aumentar a incidência de resultados falso-negativos ou falso-positivos, sobretudo em quadros de baixa carga tumoral (Ma *et al.*, 2024).

Por esse motivo, a utilização da biópsia líquida como método de rastreamento populacional não deve ser avaliada apenas pela sua capacidade analítica de detectar alterações moleculares. É fundamental demonstrar que a identificação precoce se traduz em benefício clínico real, auxiliando na conduta médica e proporcionando melhores desfechos para os pacientes. Adicionalmente, a padronização rigorosa das técnicas de coleta, processamento e análise laboratorial permanece como um passo indispensável para garantir a comparabilidade dos resultados entre diferentes centros e populações.

3.8. Rastreio do Câncer de Pulmão em Indivíduos de Alto Risco

O câncer de pulmão é um dos principais exemplos em que a biópsia líquida pode apresentar utilidade como ferramenta complementar ao rastreamento. Atualmente, a tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD) é utilizada para o rastreamento de indivíduos com maior risco de desenvolver a doença, especialmente aqueles com histórico significativo de tabagismo. A biópsia líquida, por sua vez, pode acrescentar informações moleculares que não são obtidas diretamente pelo exame de imagem, principalmente por meio da análise de ctDNA e outros biomarcadores circulantes.

A aplicação do ctDNA nesse contexto é promissora, mas ainda precisa superar algumas dificuldades. Em tumores pequenos ou em estágios iniciais, a quantidade de DNA tumoral presente no sangue pode ser muito baixa, o que reduz a capacidade de detecção. Estudos recentes reforçam que a sensibilidade dos testes baseados em ctDNA é uma das principais questões a serem resolvidas antes de sua utilização ampla no rastreamento do câncer de pulmão (Ma *et al.,* 2024; Normanno *et al.,* 2025).

Também é importante diferenciar o uso da biópsia líquida no acompanhamento de pacientes que já possuem diagnóstico de câncer de sua utilização em indivíduos saudáveis ou assintomáticos. Em pacientes diagnosticados, a quantidade de material tumoral circulante pode ser maior e sua análise pode auxiliar no acompanhamento da doença e de alterações moleculares. No rastreamento, entretanto, o objetivo é identificar alterações muito precoces, quando a quantidade de ctDNA pode ser insuficiente para produzir um resultado confiável.

Dessa forma, a biópsia líquida apresenta maior perspectiva, no momento, como ferramenta complementar à avaliação clínica e aos exames de imagem, e não como substituta da TCBD. A combinação de diferentes métodos pode permitir uma análise mais ampla, mas ainda são necessários estudos prospectivos e padronizados que demonstrem segurança e benefício clínico antes de sua incorporação ao rastreamento de rotina.

3.9. Potencial Complementar no Câncer de Mama

No contexto do rastreamento populacional, entretanto, a utilização da biópsia líquida ainda apresenta limitações. A mamografia

permanece como um dos principais métodos de rastreamento do câncer de mama nas populações para as quais sua utilização é recomendada, devido à existência de evidências clínicas consolidadas. Nesse cenário, a biópsia líquida apresenta potencial como ferramenta complementar, uma vez que pode fornecer informações moleculares sobre a doença que não são obtidas diretamente pela avaliação das imagens. Contudo, sua capacidade de identificar tumores em indivíduos assintomáticos ainda precisa ser validada em estudos clínicos de maior escala, não sendo possível considerá-la, atualmente, uma substituta dos métodos de rastreamento estabelecidos (Stibbards-Lyle *et al.,* 2024).

Uma das principais dificuldades para essa aplicação está relacionada à baixa liberação de material tumoral na circulação, especialmente nos tumores pequenos ou em estágios iniciais. Nessas condições, a concentração de ctDNA pode ser insuficiente para garantir a detecção da doença, aumentando a possibilidade de resultados falso-negativos. Além disso, as diferenças entre as técnicas de análise, os biomarcadores investigados e as características das populações estudadas dificultam a comparação dos resultados e a padronização dos testes. Por esse motivo, são necessários estudos prospectivos que avaliem a sensibilidade, a especificidade e a utilidade clínica dessas estratégias em diferentes grupos de pacientes antes de sua incorporação ampla ao rastreamento (Panet *et al.,* 2024; Nader-Marta *et al.,* 2024).

Dessa forma, a biópsia líquida apresenta perspectivas promissoras no cuidado oncológico do câncer de mama, sobretudo como recurso complementar para a caracterização molecular do tumor, a avaliação prognóstica e o monitoramento da doença. Embora os resultados relacionados à detecção de doença residual molecular e à

antecipação de recidivas sejam promissores, ainda é necessário demonstrar que a utilização desses testes para orientar decisões clínicas melhora os desfechos das pacientes. No rastreamento populacional, sua aplicação permanece em investigação e depende de validação clínica adicional. Assim, sua possível integração aos métodos convencionais poderá contribuir para uma abordagem mais individualizada, desde que sua utilidade e seus benefícios sejam confirmados por evidências científicas robustas.

3.10. Rastreio de Múltiplos Tipos de Câncer

Outra possibilidade investigada atualmente é o desenvolvimento de testes capazes de identificar sinais de diferentes tipos de câncer a partir de uma única amostra de sangue. Essa abordagem busca reconhecer alterações moleculares relacionadas aos tumores e, posteriormente, indicar o provável local de origem da doença. A proposta é especialmente relevante para neoplasias que ainda não possuem programas de rastreamento populacional amplamente estabelecidos.

A principal vantagem seria ampliar a possibilidade de investigação precoce sem a necessidade de realizar exames específicos para cada tipo de câncer. No entanto, detectar uma alteração molecular no sangue não significa, necessariamente, que a identificação precoce resultará em maior sobrevida ou em melhor qualidade de vida. Existe também o risco de resultados falsopositivos, exames complementares desnecessários e sobrediagnóstico, principalmente quando alterações de baixo significado clínico são identificadas.

Por isso, a avaliação desses testes precisa ir além da capacidade de detectar câncer. É necessário demonstrar que sua utilização

modifica positivamente a trajetória clínica dos pacientes. Estudos maiores, com acompanhamento prolongado e diferentes populações, são fundamentais para determinar em quais situações esses testes podem realmente oferecer benefício.

3.11. Importância da Biópsia Líquida no Futuro do Rastreamento

A utilização da biópsia líquida no rastreamento pode contribuir para uma abordagem mais preventiva e individualizada do câncer. Seu papel futuro não está necessariamente na substituição dos métodos já estabelecidos, mas na possibilidade de acrescentar informações moleculares à avaliação clínica e radiológica.

Um modelo de rastreamento mais integrado poderia reunir fatores de risco, histórico familiar, dados genéticos, exames de imagem e biomarcadores circulantes. A possibilidade de realizar coletas sanguíneas de maneira relativamente simples e pouco invasiva também favorece a repetição das análises ao longo do tempo, permitindo acompanhar alterações nos biomarcadores.

Ainda existem, contudo, desafios importantes. Entre eles estão a necessidade de aumentar a sensibilidade para detectar tumores muito pequenos, diferenciar alterações relacionadas ao câncer daquelas decorrentes do envelhecimento ou de condições não malignas, padronizar os métodos laboratoriais e estabelecer pontos de corte que tenham significado clínico (Pascual *et al.,* 2022; Wan; Sasieni; Rosenfeld, 2025).

Dessa maneira, a biópsia líquida apresenta potencial relevante para o rastreamento de indivíduos de alto risco e para a detecção precoce de diferentes tipos de câncer. No entanto, os resultados disponíveis ainda não justificam sua utilização como substituta dos métodos de

rastreamento já estabelecidos. Sua incorporação à prática clínica dependerá da demonstração de que a identificação de alterações moleculares em fases iniciais realmente proporciona benefícios aos pacientes e contribui para a redução de desfechos desfavoráveis relacionados ao câncer.

3.12. Regulação e Implementação

Para que novas tecnologias em saúde sejam disponibilizadas e incorporadas à prática clínica no Brasil, é necessário considerar as exigências regulatórias e os processos de avaliação estabelecidos pelos órgãos competentes. No caso da biópsia líquida, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é responsável pela regulamentação dos produtos para diagnóstico *in vitro*, incluindo os requisitos de registro ou notificação, conforme a classificação de risco. Quando se pretende incorporar essa tecnologia ao Sistema Único de Saúde (SUS), sua avaliação compete à Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS (CONITEC), que considera aspectos como eficácia, efetividade, segurança, custo-efetividade e impacto orçamentário, cabendo ao Ministério da Saúde a decisão final. Já no âmbito da saúde suplementar, a Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS) avalia a inclusão de procedimentos e exames no Rol de Procedimentos e Eventos em Saúde, determinando sua cobertura obrigatória pelos planos de saúde. Dessa forma, a regulamentação sanitária e os processos de incorporação e cobertura são etapas distintas, importantes para a disponibilização e a utilização dessas tecnologias em larga escala.

Mesmo contendo diversas vantagens sua implementação possui um valor elevado quando comparado com as outras técnicas utilizadas. Para iniciar a sua implantação é necessários equipamentos

específicos, reagentes próprios, além de plataformas de sequenciamento genético. Para tomar a frente desse procedimento é preciso profissionais capacitados e especializados, gerando um grande aumento dos custos operacionais. O que pode gerar grandes impactos financeiros nos sistemas públicos e privados de saúde.

Por ser uma tecnologia nova ainda existem barreiras que podem trazer erros nos resultados, ainda não existe uma padronização universal entre os métodos laboratoriais, possibilitando resultados falhos em tumores com baixa liberação de ctDNA. Mesmo com o diagnostico confirmado por esse método, ainda é necessário exames teciduais em alguns casos por se tratar de métodos de referência e de confirmação histopatológica, além do estadiamento em alguns tipos de câncer.

Em vista desse panorama, é necessário que se apresentem justificativas consistentes dos benefícios clínicos, segurança e custo-efetividade, estudos atuais afirmam uma melhora significativa com a adoção dessa nova medida, além do potencial de redução de procedimentos invasivos. Os órgãos responsáveis ainda avaliam os impactos econômicos da tecnologia e a qualidade das evidências cientificas disponíveis. Portanto ainda existe alguns procedimentos a serem tomados juntos aos órgãos regulamentadores para que esse método chegue ao mercado com eficácia e segurança para ajudar a diminuir os números de exames e procedimentos invasivos e desnecessários (Agência Nacional De Saúde Suplementar, 2025).

4. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biópsia líquida apresenta avanços relevantes na oncologia por possibilitar a investigação de alterações tumorais de forma

minimamente invasiva. Os estudos analisados demonstraram seu potencial para auxiliar na identificação de alterações moleculares, no monitoramento da evolução da doença e na avaliação da resposta ao tratamento.

Entre os principais biomarcadores, o ctDNA, as CTCs e os exossomos apresentam funções complementares. O ctDNA permite investigar alterações genéticas e epigenéticas, além de auxiliar na identificação de doença residual mínima e de possíveis mecanismos de resistência terapêutica. As CTCs possibilitam a análise de células tumorais circulantes, enquanto os exossomos fornecem informações sobre moléculas relacionadas ao comportamento tumoral.

Embora apresente perspectivas para a detecção precoce e o rastreamento, a técnica ainda enfrenta limitações, como a baixa quantidade de material tumoral nos estágios iniciais, resultados falso-positivos e falso-negativos e a falta de padronização. Assim, atualmente, a biópsia líquida deve ser compreendida como uma ferramenta complementar aos métodos diagnósticos e de rastreamento já estabelecidos, e não como sua substituta.

A incorporação à prática clínica também depende da redução de custos, da capacitação profissional, da padronização dos métodos e de evidências mais consistentes sobre sua eficácia e custo-efetividade. Conclui-se que a biópsia líquida possui potencial significativo para contribuir com a oncologia de precisão, ampliando as possibilidades de diagnóstico, monitoramento e individualização do cuidado ao paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Gabriel dos Santos Martins de et al. Utilização de DNA tumoral circulante na análise de prognóstico de pacientes com tumores malignos sólidos do trato gastrintestinal: revisão sistemática. Revista Brasileira de Cancerologia, v. 70, n. 4, 2024. DOI: https://doi.org/10.32635/21769745.RBC.2024v70n4.4873. Disponível em: https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/4873.

ABREU, Rayane da Silva; FERREIRA, Danielle Dias Pinto; DE ARAUJO, Natassia Silva; HORITA, Samuel; TILLI, Tatiana Martins; DEGRAVE, Wim; MOREIRA, Aline dos Santos; WAGHABI, Mariana Caldas. Liquid biopsy in cancer diagnosis and prognosis: a paradigm shift in precision oncology. Frontiers in Molecular Biosciences, v. 12, art. 1708518, 2026. DOI: https://doi.org/10.3389/fmolb.2025.1708518.

AGÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE SUPLEMENTAR (ANS). Nota Técnica nº 16/2025/GCITS/GGRAS/DIRADDIPRO/DIPRO e anexos. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Saúde Suplementar, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ans/pt-br/arquivos/acesso-a-informacao/participacao-da-sociedade/audienciaspublicas/49/NOTA_TCNICA_RECOMENDAO_FINAL_N_16_2025_GCITS_GGRAS_DIRADDIPRO_DIPRO_ e_anexos.pdf.

BETTEGOWDA, Chetan et al. Detection of circulating tumor DNA in early- and late-stage human malignancies. Science Translational Medicine, v. 6, n. 224, art. 224ra24, 2014. DOI: https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3007094. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4017867/.

BOREA, Roberto et al. Cancer in a drop: advances in liquid biopsy in 2024. Critical Reviews in Oncology/Hematology, v. 213, art. 104776, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2025.104776. Disponível

em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040842825001647.

BROCK, Graham et al. Liquid biopsy for cancer screening, patient stratification and monitoring. Translational Cancer Research, 2015. DOI: https://doi.org/10.3978/j.issn.2218-676X.2015.06.05.

BRUHM, Daniel C. et al. Genomic and fragmentomic landscapes of cell-free DNA for early cancer detection. Nature Reviews Cancer, v. 25, p. 341–358, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41568-02500795-x. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41568-025-00795-x.

CHEN, G. et al. Postoperative circulating tumor DNA as markers of recurrence risk in stages II to III colorectal cancer. Journal of Hematology & Oncology, v. 14, art. 80, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s13045-021-01089-z

CONNAL, Siobhan et al. Liquid biopsies: the future of cancer early detection. Journal of Translational Medicine, v. 21, art. 118, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s12967-023-03960-8. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9922467/.

CROSBY, D. Delivering on the promise of early detection with liquid biopsies. British Journal of Cancer, v. 126, n. 3, p. 313–315, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41416-021-01646-w

DANTAS, Amanda Almeida Gomes. Desigualdades no diagnóstico, tratamento e mortalidade por câncer colorretal no Brasil. 2025. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025.

HENRIKSEN, T. V. et al. Circulating Tumor DNA in Stage III Colorectal Cancer, beyond Minimal Residual Disease Detection, toward Assessment of Adjuvant Therapy Efficacy and Clinical Behavior of Recurrences. Clinical Cancer Research, v. 28, n. 3, p. 507–517, 2022. DOI: https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-21-2404.

HU, Zijian et al. The main sources of circulating cell-free DNA: apoptosis, necrosis and active secretion. Critical Reviews in Oncology/Hematology, v. 157, art. 103166, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2020.103166. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33254039/.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (Brasil). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA, 2022. Disponível em: https://www.inca.gov.br/publicacoes/livros/estimativa-2023incidencia-de-cancer-no-brasil.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Câncer de mama: versão para profissionais de saúde. Rio de Janeiro: INCA. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/mama/versaopara-profissionais-de-saude.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Câncer de pulmão: versão para profissionais de saúde. Rio de Janeiro: INCA. Disponível em: https://www.gov.br/inca/ptbr/assuntos/cancer/tipos/pulmao/versao-para-profissionais-de-saude.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Detecção precoce do câncer de mama. Rio de Janeiro: INCA. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/gestor-e-profissional-de-saude/controle-docancer-de-mama/acoes/deteccao-precoce.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Rastreamento do câncer de mama na população-alvo. Rio de Janeiro: INCA. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/gestor-e-profissional-desaude/controle-do-cancer-de-mama/dados-e-numeros/rastreamento-do-cancer-de-mama-napopulacao-alvo.

INSTITUTO ONCOGUIA. Em 2021, 62% dos pacientes com câncer tiveram diagnóstico tardio no país. São Paulo: Instituto Oncoguia, 24 jul. 2023.

LLANOS, J. J. et al. Biopsia líquida: estudio genómico para el diagnóstico, pronóstico y terapéutica del paciente oncológico. Revista Venezolana de Oncología, v. 37, n. 3, p. 198–204, 2025.

MA, Liwei et al. Liquid biopsy in cancer: current status, challenges and future prospects. Signal Transduction and Targeted Therapy, v. 9, n. 1, art. 336, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41392024-02021-w. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39617822/.

MAQSOOD, Quratulain et al. Circulating tumor cells and tumor-derived cell-free DNA in cancer management: clinical evidence, limitations, and future directions. The International Journal of Biological Markers, v. 41, 2026. DOI: https://doi.org/10.1177/03936155261435596. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/42212495/.

MIGOWSKI, Arn et al. Diretrizes para detecção precoce do câncer de mama no Brasil. II – Novas recomendações nacionais, principais evidências e controvérsias. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 34, n. 6, e00074817, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csp/a/8gGyb5s9Nt3nSsw5GFnnPQb/?lang=pt.

MONTEALEGRE-PÁEZ, Ana Lorena et al. La biopsia líquida en el diagnóstico y monitoreo de pacientes oncológicos: oportunidades y retos en Latinoamérica. Revista Colombiana de Cancerología, v. 24, n. 4, p. 164–177, 2020. DOI: https://doi.org/10.35509/01239015.44. Disponível em: https://www.revistacancercol.org/index.php/cancer/article/view/44.

NADER-MARTA, G. et al. Circulating tumor DNA for predicting recurrence in patients with operable breast cancer: a systematic review and meta-analysis. **ESMO Open,** v. 9, n. 3, p. 102390, mar. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2024.102390. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38460249/.

NASORRY, Débora Cristina et al. Avanços e desafios da biópsia líquida em oncologia nos cânceres de mama e de ovário: uma revisão narrativa. Revista Médica de Minas Gerais, v. 36, e36208, 2026. DOI: https://doi.org/10.5935/2238-3182.2025e36208. Disponível em: https://www.rmmg.org/artigo/detalhes/4243.

NEUMANN, Martin H. D. et al. ctDNA and CTCs in liquid biopsy – current status and where we need to progress. Computational and Structural Biotechnology Journal, v. 16, p. 190–195, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.05.002. Disponível em: https://spj.science.org/doi/10.1016/j.csbj.2018.05.002.

NORMANNO, N. et al. Circulating tumour DNA in early stage and locally advanced NSCLC: ready for clinical implementation? Nature Reviews Clinical Oncology, v. 22, p. 215–231, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41571-024-00985-w.

OLIVEIRA, Daniela de; VIEIRA, Thiago Augusto. Biópsia líquida: atualização de tema. Revista Científica Hospital Santa Izabel, v. 8, n. 1,

p. 19–24, 2024. DOI: https://doi.org/10.35753/rchsi.v8i1.510. Disponível em: https://revistacientifica.hospitalsantaizabel.org.br/index.php/RCHSI/pt_BR/article/view/510.

OLIVEIRA, Max Moura de et al. Estimativa de pessoas com diagnóstico de câncer no Brasil: dados da Pesquisa Nacional de Saúde, 2013. Revista Brasileira de Epidemiologia, São Paulo, v. 18, supl. 2, p. 146– 157, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/1980-5497201500060013.

PANET, François et al. Use of ctDNA in early breast cancer: analytical validity and clinical potential. NPJ Breast Cancer, v. 10, art. 50, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41523-024-00653-3. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11187121/.

PASCUAL, J. et al. ESMO recommendations on the use of circulating tumour DNA assays for patients with cancer: a report from the ESMO Precision Medicine Working Group. Annals of Oncology, v. 33, n. 8, p. 750–768, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.annonc.2022.05.520. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.annonc.2022.05.520.

PINHEIRO, Priscilla Alves et al. A importância da biópsia líquida no diagnóstico oncológico. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 52988–53003, jul. 2022. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv8n7-288.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. E-book. Disponível em: https://www.feevale.br/comum/midias/0163c988-1f5d-496f-

b118a6e009a7a2f9/ebook%20metodologia%20do%20trabalho%20cientifico.pdf.

REZENDE, Arthur Antônio Akutsu. O papel da biópsia líquida no monitoramento de recidiva do câncer colorretal. Nursing Edição Brasileira, v. 32, n. 340, p. 15811–15813, 2026. DOI: https://doi.org/10.36489/nursing.2026v32i340p15811-15813.

SANTOS, Marcos et al. Custo-efetividade do uso da biópsia líquida versus biópsia tecidual para detecção de câncer de pulmão de não pequenas células avançado com receptor do fator de crescimento epidérmico e mutação T790M sob a perspectiva do sistema suplementar de saúde do Brasil. Jornal Brasileiro de Economia da Saúde, v. 10, n. 3, p. 262–268, 2018. DOI: https://doi.org/10.21115/JBES.v10.n3.p262-8. Disponível em: https://www.jbes.com.br/index.php/jbes/article/view/221.

SIRAVEGNA, Giulia et al. Integrating liquid biopsies into the management of cancer. Nature Reviews Clinical Oncology, v. 14, p. 531–548, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.14. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nrclinonc.2017.14.

STIBBARDS-LYLE, Maya et al. Status of breast cancer detection in young women and potential of liquid biopsy. Frontiers in Oncology, v. 14, art. 1398196, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1398196. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11148378/.

SYMONDS, E. L. et al. Circulating epigenetic biomarkers for detection of recurrent colorectal cancer. Cancer, v. 126, n. 7, p. 1460–1469, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/cncr.32695

TIE, Jeanne et al. Circulating tumor DNA analysis detects minimal residual disease and predicts recurrence in patients with stage II colon cancer. Science Translational Medicine, v. 8, n. 346, art. 346ra92, 2016. DOI: https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaf6219. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5346159/.

TSUI, Dana Wai Yi et al. Dynamics of multiple resistance mechanisms in plasma DNA during EGFRtargeted therapies in non-small cell lung cancer. EMBO Molecular Medicine, v. 10, n. 6, art. e7945, 2018. DOI: https://doi.org/10.15252/emmm.201707945. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5991591/.

WAN, Jonathan C. M.; SASIENI, Peter; ROSENFELD, Nitzan. Promises and pitfalls of multi-cancer early detection using liquid biopsy tests. Nature Reviews Clinical Oncology, v. 22, p. 566–580, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41571-025-01033-x. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41571-025-01033-x.

WANG, Xia et al. Exosomes and cancer: diagnostic and prognostic biomarkers and therapeutic vehicle. Oncogenesis, v. 11, art. 54, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41389-022-00431-5. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9477829/.

WANG, Xiaoling et al. Research progress of CTC, ctDNA, and EVs in cancer liquid biopsy. Frontiers in Oncology, v. 14, art. 1303335, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1303335. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/oncology/articles/10.3389/fonc.2024.1303335/full.

WIRTZ, Denis et al. The physics of cancer: the role of physical interactions and mechanical forces in metastasis. Nature Reviews

Cancer, v. 11, n. 7, p. 512–522, 2011. DOI: https://doi.org/10.1038/nrc3080. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3262453/.

WU, C. Y. et al. Advancing liquid biopsy with qPCR validation: A machine learning-based model for lung cancer detection. Journal of Clinical Oncology, [s. l.], v. 43, n. 16_suppl, p. e20025, jun. 2025. DOI: 10.1200/JCO.2025.43.16_suppl.e20025. Disponível em: https://doi.org/10.1200/JCO.2025.43.16_suppl.e20025.

YU, Dan et al. Exosomes as a new frontier of cancer liquid biopsy. Molecular Cancer, v. 21, art. 56, 2022. DOI: https://doi.org/10.1186/s12943-022-01509-9. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8855550/.

---

[1] Discente do Curso Superior de Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[2] Discente do Curso Superior Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[3] Discente do Curso Superior de Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[4] Docente do Curso Superior de Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[5] Docente do Curso Superior de Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[6] Docente do Curso Superior de Biomedicina do Afya Centro Universitário São João del-Rei (MG), Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.