



**BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL**

**BIOMARKERS IN PEDIATRIC NEOPLASMS: BIOLOGICAL INTEGRATION AND TRANSLATIONAL APPLICABILITY**

**BIOMARCADORES EN NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRACIÓN BIOLÓGICA Y APLICABILIDAD TRASLACIONAL**

Flavio Junio Pichioni<sup>1</sup>, Danilo Elmiro dos Santos Salin<sup>1</sup>, Ester da Silva Melo<sup>1</sup>

e61418

<https://doi.org/10.70187/recisatec.v6i1.418>

PUBLICADO: 06/2026

**RESUMO**

Os biomarcadores em neoplasias pediátricas representam ferramentas relevantes na oncologia contemporânea devido à sua capacidade de refletir diferentes aspectos da atividade biológica tumoral. Entretanto, sua interpretação permanece complexa, pois fatores moleculares, inflamatórios, metabólicos, terapêuticos e desenvolvimentais podem influenciar sua expressão clínica. Observou-se que biomarcadores não refletem apenas a presença neoplásica, mas também a interação entre proliferação celular, necrose tumoral, resposta imunológica, adaptação metabólica e microambiente tumoral. Além disso, características próprias da infância, como maturação imunológica e persistência de vias desenvolvimentais fisiológicas, ampliam a complexidade interpretativa desses marcadores. Biomarcadores moleculares, inflamatórios e metabólicos demonstram potencial na compreensão da heterogeneidade tumoral e da dinâmica biológica das neoplasias infantis. Contudo, alterações laboratoriais isoladas apresentam limitações importantes devido à influência simultânea de infecções, inflamação secundária, efeitos terapêuticos e variabilidade fisiológica pediátrica. Nesse contexto, a aplicação clínica e translacional dos biomarcadores exige abordagem integrada e biologicamente orientada. Além disso, os achados discutidos sugerem que alterações biológicas relevantes podem preceder a detectabilidade anatômica convencional, reforçando o potencial desses marcadores na compreensão de fases precoces e subclínicas da atividade tumoral infantil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomarcadores. Oncologia. Neoplasias.

**ABSTRACT**

*Biomarkers in pediatric neoplasms represent increasingly relevant tools in contemporary oncology due to their ability to reflect different aspects of tumor biological activity. However, their interpretation remains complex, since molecular, inflammatory, metabolic, therapeutic and developmental factors may influence their clinical expression. This study observed that biomarkers do not exclusively reflect neoplastic presence, but also the interaction between cellular proliferation, tumor necrosis, immune response, metabolic adaptation and the tumor microenvironment. In addition, childhood-specific characteristics, including immune maturation and persistence of physiological developmental pathways, further increase the interpretative complexity of these markers. Molecular, inflammatory and metabolic biomarkers demonstrate significant potential in understanding tumor heterogeneity and the biological dynamics of pediatric neoplasms. Nevertheless, isolated laboratory alterations present important limitations due to the simultaneous influence of infections, secondary inflammation, therapeutic effects and pediatric physiological variability. In this context, the clinical and translational application of biomarkers requires an integrated and biologically oriented approach. Furthermore, the findings discussed suggest that relevant biological alterations may precede conventional anatomical detectability, reinforcing the potential of biomarkers in understanding early and subclinical phases of pediatric tumor activity.*

**KEYWORDS:** Biomarkers. Oncology. Neoplasms.

<sup>1</sup> UNILAGO - União das Faculdades dos Grandes Lagos.



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

### RESUMEN

*Los biomarcadores en neoplasias pediátricas representan herramientas relevantes en oncología contemporánea debido a su capacidad para reflejar diferentes aspectos de la actividad biológica tumoral. Sin embargo, su interpretación sigue siendo compleja, ya que factores moleculares, inflamatorios, metabólicos, terapéuticos y del desarrollo pueden influir en su expresión clínica. Se observó que los biomarcadores no solo reflejan la presencia neoplásica, sino también la interacción entre la proliferación celular, la necrosis tumoral, la respuesta inmune, la adaptación metabólica y el microambiente tumoral. Además, características típicas de la infancia, como la maduración inmunológica y la persistencia de las vías de desarrollo fisiológico, aumentan la complejidad interpretativa de estos marcadores. Los biomarcadores moleculares, inflamatorios y metabólicos demuestran potencial para comprender la heterogeneidad tumoral y la dinámica biológica de las neoplasias infantiles. Sin embargo, las anomalías aisladas en laboratorio presentan limitaciones importantes debido a la influencia simultánea de infecciones, inflamación secundaria, efectos terapéuticos y variabilidad fisiológica pediátrica. En este contexto, la aplicación clínica y traslacional de los biomarcadores requiere un enfoque integrado y orientado biológicamente. Además, los hallazgos discutidos sugieren que las alteraciones biológicas relevantes pueden preceder a la detectabilidad anatómica convencional, reforzando el potencial de estos marcadores para comprender las fases tempranas y subclínicas de la actividad tumoral infantil.*

**PALABRAS CLAVE:** Biomarcadores. Oncología. Neoplasias.

### INTRODUÇÃO

As neoplasias pediátricas demonstram um comportamento biológico distinto daquele observado em adultos e ocorrem por mecanismos que se estendem ao crescimento tumoral, não apenas ao desenvolvimento, diferenciação celular ou maturação celular, mas também à interação dinâmica entre o tumor e a maturação do tecido hospedeiro. Nesse sentido, a crescente proeminência da oncologia molecular pediátrica tem estimulado o interesse na identificação de biomarcadores como estratégias auxiliares no diagnóstico, monitoramento, prognóstico, tratamento e manejo fisiopatológico desses distúrbios (Jain, 2021). A crescente relevância da oncologia pediátrica também reflete os desafios globais relacionados ao diagnóstico, tratamento e monitoramento dessas neoplasias (Ribeiro *et al.*, 2022; Rodriguez-Galindo *et al.*, 2022). O fortalecimento da pesquisa translacional tem sido apontado como estratégia essencial para ampliar os resultados clínicos em crianças com câncer em diferentes contextos de saúde (Lam *et al.*, 2022).

Historicamente, a maioria das detecções oncológicas tem sido relacionada à detecção de alterações de estruturas por métodos de imagem. A literatura anterior mostrou que pode ser possível detectar inúmeras alterações biológicas antes que um fenótipo macroscópico observado se manifeste como eventos moleculares, inflamatórios, metabólicos ou epigenéticos envolvidos com a tumorigênese precoce. Até agora, os biomarcadores indicam não apenas a presença neoplásica, mas possivelmente expressões indiretas da atividade biológica do tumor em diferentes estágios evolutivos da doença.

Os principais biomarcadores estudados em oncologia pediátrica incluem proteínas séricas, citocinas inflamatórias, microRNAs circulantes, DNA tumoral circulante, marcadores metabólicos de alta renovação celular e alterações genéticas, associadas a subtipos particulares de neoplasias



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

infantis. No entanto, a interpretação do marcador ainda é complicada, particularmente na população pediátrica, porque o crescimento corporal, o desenvolvimento imunológico, a diferenciação tecidual e a inflamação contribuem para sua expressão e resposta clínica. Além das características específicas do tumor, causas sistêmicas, incluindo infecções, inflamação secundária, necrose tumoral, hipóxia celular e efeitos terapêuticos, podem desempenhar um papel na influência dos perfis de biomarcadores, que podem ser complicados por interpretações individuais ou exclusivamente direcionadas ao tumor.

Na maioria dos casos, as alterações laboratoriais estão ao mesmo tempo associadas à atividade neoplásica, resposta imunológica do hospedeiro e adaptações metabólicas que acompanham o avanço da doença, outro aspecto intimamente associado às neoplasias pediátricas. Simultaneamente, populações tumorais semelhantes podem exibir assinaturas moleculares diferentes, mecanismos proliferativos diversos e expressões díspares de biomarcadores, tudo isso sublinhando a necessidade de estratégias interpretativas integradas e biologicamente relevantes.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é identificar os principais biomarcadores moleculares, inflamatórios e metabólicos descritos na literatura, analisar os fatores biológicos que influenciam sua expressão, discutir suas aplicações diagnósticas, prognósticas e translacionais e avaliar seu potencial na compreensão de fases precoces, subclínicas e biologicamente ativas das neoplasias pediátricas.

As neoplasias pediátricas apresentam características biológicas distintas das observadas em adultos, refletindo alterações relacionadas ao desenvolvimento celular, diferenciação tecidual e processos embriológicos (Gröbner *et al.*, 2021).

Nesse contexto, insights sobre fatores biológicos, inflamatórios, metabólicos e de desenvolvimento que afetam os biomarcadores em neoplasias pediátricas seriam cruciais para otimizar sua caracterização clínica e ampliar o conhecimento sobre fases biologicamente ativas da doença, mesmo durante janelas de tempo que ainda são pouco capturadas por técnicas anatômicas tradicionais.

Evidências recentes sugerem que alterações moleculares podem preceder manifestações anatômicas detectáveis pelos métodos convencionais de imagem (Hanahan, 2022).

### 1 BIOMARCADORES TUMORAIS E MOLECULARES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS

O campo dos biomarcadores tumorais e moleculares é uma das áreas de expansão mais rápida na oncologia pediátrica moderna pelas seguintes razões: o uso da biologia molecular e do sequenciamento genético de genes tumorais (Mody *et al.*, 2021), análise de material tumoral circulante e desenvolvimentos recentes em biologia molecular. O avanço do sequenciamento genômico também tem permitido identificar alterações somáticas e germinativas relevantes em neoplasias hematológicas pediátricas, especialmente na leucemia linfoblástica aguda infantil (Pui; Nichols; Yang, 2021).

Em contraste com os marcadores clássicos que definem apenas a presença do tumor, os marcadores moleculares atuais podem permitir a avaliação dos atributos associados à atividade



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

proliferativa, agressividade biológica, diferenciação celular, padrão tumoral e evolução clínica das neoplasias infantis.

As alterações moleculares nas neoplasias pediátricas estão frequentemente inextricavelmente ligadas a vias de desenvolvimento e embriológicas, e muitos tumores infantis começam quando há perda ou comprometimento na diferenciação celular, persistência de tecidos embrionários ou regulação de vias pró-epigenéticas ou de regulação do crescimento que estão fisiologicamente ativas durante os períodos fetal e pós-natal. Esse conceito é particularmente relevante para os tumores do sistema nervoso central pediátrico, cuja classificação diagnóstica atual incorpora extensivamente marcadores moleculares e genéticos (Louis *et al.*, 2021).

Portanto, os estudos biomoleculares dessas neoplasias não se limitam a meras descobertas tumorais, mas constituem uma maneira importante de obter insights biológicos sobre a doença.

Destes, o DNA tumoral circulante (ctDNA), microRNAs circulantes, proteínas tumorais direcionadas, modificações epigenéticas e mutações ligadas a alguns subtipos clínicos neoplásicos pediátricos têm sido alguns dos biomarcadores mais estudados.

O DNA tumoral circulante (ctDNA) tem emergido como uma ferramenta promissora para avaliação da carga tumoral e monitoramento da evolução clínica em neoplasias pediátricas (Himmelstein *et al.*, 2023).

O ctDNA, por exemplo, está associado a porções de material genético liberadas na circulação por células geradas pelo tumor que passam por apoptose, necrose ou processos hiperproliferativos, e pode indicar carga tumoral, atividade biológica e dinâmica evolutiva da doença.

Os microRNAs circulantes estão envolvidos na regulação da proliferação celular, apoptose, angiogênese e diferenciação tumoral (Hook; Garzon, 2022), e estão sendo gradualmente explorados como sinais candidatos diagnósticos e prognósticos.

Alguns tumores infantis também carregam certos marcadores moleculares de grande importância clínica. O aumento da expressão do gene MYCN no neuroblastoma, mutações do gene WT1 em tumores renais pediátricos e a expressão de alfa-fetoproteína (AFP) em células germinativas e hepatoblastomas têm se mostrado potenciais biomarcadores que podem contribuir para a estratificação prognóstica, bem como para o monitoramento evolutivo de tais neoplasias (Katan, J.; Kattan, M., 2022).

Alterações envolvendo MYCN, WT1 e outras vias moleculares específicas possuem relevância prognóstica em diversos tumores infantis (Maris, 2021; Szychot; Apps; Pritchard-Jones, 2022).

No entanto, a interpretação patológica desses biomarcadores é difícil devido à heterogeneidade da biologia tumoral. A semelhança histológica em tumores pode levar a assinaturas moleculares diferenciais, propriedades agressivas divergentes e diferentes perfis fenotípicos de proliferação. No mesmo tumor, locais díspares podem emitir alterações genéticas e metabólicas variáveis, afetando, em última análise, a liberação e detecção de biomarcadores específicos.



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flávio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

O microambiente tumoral também influencia significativamente a expressão biomolecular. Hipóxia celular, necrose, inflamação local, vascularização tumoral e interação imunológica podem alterar grandemente o processo de produção e, portanto, o nível de marcadores circulantes e, assim, devem refletir o estado neoplásico, bem como características dinâmicas do comportamento tumoral.

Nesse sentido, os biomarcadores tumorais e moleculares da oncologia pediátrica devem ser reconhecidos como expressões biológicas multifatoriais, afetadas simultaneamente pela genética tumoral, atividade proliferativa, adaptação microambiental e estados sistêmicos do hospedeiro. Essa complexidade acentua a importância de uma interpretação abrangente e contextualizada desses marcadores, particularmente no que diz respeito às neoplasias infantis relacionadas a processos de desenvolvimento e diferenciação celular que permanecem em estágio de maturação. Além do valor diagnóstico e prognóstico, biomarcadores moleculares têm contribuído para estratégias de individualização terapêutica e farmacogenômica em oncologia pediátrica, permitindo abordagens mais precisas e seguras no tratamento antineoplásico (Relling; Evans, 2021).

### 2 BIOMARCADORES INFLAMATÓRIOS EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS

A inflamação é um dos principais fatores biológicos envolvidos na tumorigênese (Greten; Grivennikov (2021) e progressão, contribuindo assim para a interação neoplasia-hospedeiro. Os biomarcadores inflamatórios ganharam atenção na oncologia pediátrica, pois são altamente sensíveis não apenas à resposta tumoral, mas também aos processos imunológicos sistêmicos, de necrose celular, teciduais e metabólicos associados à progressão da doença.

Alterações metabólicas sistêmicas podem fornecer informações complementares sobre agressividade tumoral e resposta clínica do hospedeiro (Hanahan, 2022).

Os marcadores inflamatórios, em contraste com tumores individuais, exibem baixa especificidade oncológica porque podem ser modulados por múltiplos processos patológicos ao mesmo tempo. Mais especificamente, essa classe de biomarcadores é de grande importância na previsão do padrão de proliferação, agressividade de células microembrionárias tumorais e desenvolvimento em neoplasias pediátricas clínicas precisamente por refletir aquelas dinâmicas biológicas sistêmicas associadas a tal tumor.

Entre os biomarcadores inflamatórios estão a PCR (proteína C-reativa), ferritina e interleucina-6 (IL-6), fator de necrose tumoral-alfa (TNF- $\alpha$ ) e as razões hematológicas inflamatórias, incluindo a razão neutrófilo-linfócito. A PCR é produzida principalmente pelo fígado em resposta à liberação de citocinas inflamatórias e apresenta elevação em diferentes situações oncológicas pediátricas, notadamente tumores ligados à necrose, infecção secundária ou ativação inflamatória sistêmica elevada.

Além de suas funções relacionadas ao metabolismo do ferro, a ferritina também atua como uma proteína de fase aguda e pode estar aumentada em condições inflamatórias crônicas, síndromes hiperinflamatórias e neoplasias com altos padrões proliferativos. A atividade aumentada da ferritina em algumas ocasiões pode, de fato, estar em correlação direta com o aumento da inflamação tumoral



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

e a progressão clínica desfavorável. Os papéis centrais das citocinas inflamatórias como IL-6 e TNF- $\alpha$  na comunicação entre células tumorais (Aruoma; Bahorun; Jen, 2022), imunidade e microambiente tumoral são fundamentais.

Essas moléculas participam de vias relacionadas à proliferação celular, angiogênese, resistência apoptótica e recrutamento inflamatório, que podem, por sua vez, desempenhar um papel na contenção imunológica e progressão neoplásica.

Portanto, alterações nos seus conteúdos séricos geralmente resultam da presença do tumor, bem como da intensidade da interação biológica entre o tumor e o hospedeiro. Também são relevantes as alterações hematológicas inflamatórias observadas em neoplasias pediátricas. Por exemplo, as razões neutrófilo-linfócito têm sido pesquisadas como um marcador prognóstico de diferentes tumores, combinando neutrofilia inflamatória com imunossupressão relativa e progressão tumoral.

Níveis elevados de LDH frequentemente refletem intensa atividade proliferativa e elevada renovação celular em neoplasias agressivas (Dang; Semenza, 2021).

No entanto, tais alterações são fortemente reguladas por infecções, neutropenia febril, tratamento com corticosteroides e efeitos farmacológicos da terapia contra o câncer. Além da própria atividade tumoral, vários fatores podem impedir a interpretação de biomarcadores inflamatórios em crianças afetadas por câncer. Infecções oportunistas, sepse, mucosite associada à quimioterapia, imunossupressão induzida pela terapia e respostas inflamatórias secundárias dependentes da terapia podem resultar em alterações laboratoriais que se assemelham às alterações encontradas na progressão tumoral, dificultando a interpretação independente desses marcadores.

Assim, os biomarcadores inflamatórios em oncologia pediátrica devem ser vistos como reflexos biológicos multifatoriais, que frequentemente ilustram a interação da atividade tumoral, a resposta imunológica do hospedeiro e as respostas clínicas ao tratamento. Consequentemente, é vital compreender essa complexidade para mitigar a ameaça de interpretações reducionistas e ampliar o potencial translacional desses marcadores na avaliação global de neoplasias pediátricas em um contexto global.

### 3 BIOMARCADORES METABÓLICOS E DE TURNOVER CELULAR

Os marcadores metabólicos ou aqueles de renovação celular são, portanto, úteis para a avaliação biológica de neoplasias pediátricas, principalmente devido às características observadas na intensa atividade proliferativa, hipóxia tumoral, necrose celular e alto consumo metabólico associado a muitos tumores infantis. Diferente de alguns biomarcadores moleculares, muitos desses marcadores podem refletir efeitos fisiopatológicos indiretos da atividade tumoral, implicando agressividade biológica e dinâmicas evolutivas na doença.

Os principais biomarcadores metabólicos para oncologia pediátrica são lactato desidrogenase (LDH), ácido úrico, lactato e albumina sérica. Esses marcadores têm relevância clínica não apenas no contexto do monitoramento evolutivo, mas também na descrição do metabolismo tumoral e dos



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

efeitos sistêmicos em crianças com neoplasias. A LDH é um marcador metabólico adicional e frequente que está relacionado ao crescimento tumoral.

Essa enzima intracelular participa do metabolismo glicolítico anaeróbico e estará elevada em condições de intensa renovação celular, hipóxia tecidual, necrose tumoral e alta renovação metabólica. Em neoplasias pediátricas agressivas, valores elevados de LDH são frequentemente indicativos de alta atividade proliferativa e maior destruição celular, o que pode sinalizar uma carga tumoral mais alta ou comportamento biológico mais agressivo.

O ácido úrico também é relevante nesse contexto com rápida degradação de ácidos nucleicos. Em tumores em rápida proliferação celular, apoptose severa ou lise tumoral, purinas intracelulares são liberadas com uma maior tendência à hiperuricemia.

Uma alteração pode ocorrer organicamente apenas em neoplasias de alta proliferação ou como um complemento à terapia quimioterápica, em particular quando uma enorme destruição tumoral é iniciada. Por sua vez, o lactato correlaciona-se com as alterações metabólicas exibidas em células neoplásicas.

O efeito Warburg mostra que, mesmo em condições relativamente oxigenadas, muitos tumores têm predominância de metabolismo glicolítico (Warburg, 1956). Essa mudança metabólica permite maior produção de energia e atividade proliferativa vigorosa que pode elevar as concentrações séricas de lactato em condições de alta atividade tumoral, hipóxia microambiental ou má perfusão com doença avançada. Embora a albumina sérica não seja um biomarcador tumoral por si só, pode ser um marcador de alterações sistêmicas significativas que tendem a se desenvolver em neoplasias pediátricas.

Reduções de albumina estão geralmente associadas a fases inflamatórias crônicas, catabolismo sistêmico, comprometimento nutricional e alta atividade metabólica tumoral. Portanto, alterações na albumina podem refletir indiretamente a intensidade da ativação inflamatória e do consumo metabólico que correlaciona-se com o desenvolvimento neoplásico. No entanto, a especificidade isolada desses biomarcadores é baixa, o que dificulta sua interpretação.

Alterações laboratoriais que se assemelham à progressão neoplásica, como infecção, inflamação sistêmica, desnutrição, hipóxia de tecido não tumoral, efeitos terapêuticos e outros problemas clínicos relacionados, são comuns. Notavelmente, essas alterações podem ser intensas, devido ao tipo de tumor; comportamento proliferativo; extensão da doença; e resposta do hospedeiro. Importante, no entanto, é a heterogeneidade metabólica tumoral.

Várias neoplasias pediátricas podem demonstrar perfis energéticos, perfis de hipóxia celular e atividade proliferativa diferentes, de modo que pode haver heterogeneidade no comportamento dos biomarcadores em tumores histologicamente semelhantes. Essa variabilidade apoia a necessidade de interpretar esses indicadores de maneira interespecíes e biologicamente única, para que possamos aproveitar ao máximo as várias populações tumorais que contribuem para os biomarcadores bio-tumorais.



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

Assim, os indicadores de renovação metabólica e celular devem ser interpretados como características mediadoras dos processos biológicos tumorais que frequentemente correspondem à proliferação, morte, hipóxia e aptidão metabólica neoplásica.

Sua interpretação isolada tem sérias limitações, o que exige integração clínica, laboratorial e biológica para uma compreensão completa de sua relevância na oncologia pediátrica.

### 4 MÉTODO

O presente estudo consiste em uma revisão narrativa da literatura, com enfoque nos principais biomarcadores moleculares, inflamatórios e metabólicos associados às neoplasias pediátricas, bem como em suas aplicações translacionais e relações com a dinâmica biológica tumoral infantil.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas nacionais e internacionais, incluindo PubMed, Scielo, Google Scholar e periódicos especializados em oncologia pediátrica, biologia molecular e medicina translacional. Foram selecionados artigos publicados prioritariamente entre 2021 e 2025, além de referências clássicas consideradas relevantes para contextualização fisiopatológica e histórica do tema.

Os descritores utilizados incluíram os termos: “pediatric oncology”, “tumor biomarkers”, “childhood neoplasms”, “circulating tumor DNA”, “microRNA”, “tumor microenvironment”, “inflammation”, “metabolic biomarkers” e “translational medicine”, combinados entre si conforme pertinência temática.

Foram incluídos estudos de revisão, artigos originais, diretrizes, estudos translacionais e publicações relacionadas à biologia tumoral pediátrica, biomarcadores moleculares, alterações inflamatórias e metabólicas associadas às neoplasias infantis. Trabalhos sem relação direta com oncologia pediátrica ou sem relevância para os objetivos da revisão foram excluídos.

A análise dos estudos selecionados foi realizada de forma descritiva e integrativa, buscando correlacionar os biomarcadores com mecanismos biológicos envolvidos na proliferação tumoral, resposta imunológica, metabolismo celular, microambiente tumoral e desenvolvimento fisiológico infantil. Além disso, foram discutidas as limitações atuais, perspectivas translacionais e potenciais aplicações futuras dos biomarcadores na compreensão dinâmica das neoplasias pediátricas.

### 5 CONSIDERAÇÕES

Os biomarcadores em neoplasias pediátricas representam ferramentas de crescente relevância na oncologia contemporânea, especialmente devido à sua capacidade de refletir diferentes aspectos da atividade biológica tumoral. Entretanto, sua interpretação permanece biologicamente complexa, uma vez que múltiplos fatores moleculares, inflamatórios, metabólicos, terapêuticos e desenvolvimentais podem influenciar sua expressão e comportamento clínico.



## REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC ISSN 2763-8405

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
Flavio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

Ao longo deste estudo, observou-se que biomarcadores não refletem exclusivamente a presença neoplásica, mas frequentemente representam a interação dinâmica entre proliferação celular, necrose tumoral, resposta imunológica, adaptação metabólica e microambiente tumoral.

Além disso, características próprias da infância, como maturação imunológica, crescimento corporal e persistência de vias desenvolvimentais fisiológicas, ampliam ainda mais a complexidade interpretativa desses marcadores em oncologia pediátrica.

Os biomarcadores moleculares demonstram potencial significativo na compreensão da heterogeneidade tumoral e da atividade biológica subjacente às neoplasias infantis. Paralelamente, biomarcadores inflamatórios e metabólicos podem fornecer informações complementares relacionadas à agressividade tumoral, resposta sistêmica do hospedeiro e dinâmica proliferativa da doença. Contudo, alterações laboratoriais isoladas apresentam limitações importantes devido à influência simultânea de infecções, inflamação secundária, efeitos terapêuticos e variabilidade fisiológica pediátrica.

A integração entre biomarcadores moleculares, inflamatórios e metabólicos representa uma estratégia promissora para ampliar a compreensão da heterogeneidade tumoral pediátrica (Park *et al.*, 2023).

Nesse contexto, torna-se evidente que a aplicação clínica e translacional dos biomarcadores em neoplasias pediátricas exige abordagem integrada, contextualizada e biologicamente orientada. A interpretação isolada desses marcadores pode reduzir sua utilidade diagnóstica e prognóstica, enquanto modelos integrativos envolvendo parâmetros moleculares, inflamatórios, metabólicos e clínicos parecem representar um caminho mais promissor para futuras estratégias de monitoramento e estratificação biológica.

Modelos biologicamente integrados tendem a oferecer maior potencial translacional do que a interpretação isolada de marcadores individuais (Schraw *et al.*, 2024).

Além disso, os achados discutidos reforçam a possibilidade de que alterações biológicas relevantes possam ocorrer antes da detectabilidade anatômica convencional, evidenciando o potencial dos biomarcadores na compreensão de fases precoces e subclínicas da atividade tumoral infantil. Dessa forma, o avanço das pesquisas nessa área poderá contribuir futuramente para métodos mais refinados de vigilância biológica, monitoramento direcionado e compreensão fisiopatológica das neoplasias pediátricas. Além disso, o acompanhamento longitudinal de pacientes pediátricos pode se beneficiar da utilização integrada de biomarcadores durante a vigilância clínica e terapêutica (Bhatia; Landier, 2022).

### REFERÊNCIAS

ARUOMA, O. I.; BAHORUN, T.; JEN, L. S. Neuroinflammation and cytokine pathways in pediatric neoplasms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 11, p. 6148, 2022.

BHATIA, S.; LANDIER, W. Evaluating survivors of pediatric cancer. **Cancer Journal**, v. 28, n. 1, p. 15-23, 2022.



**REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC**  
**ISSN 2763-8405**

BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL  
 Flávio Junio Pichioni, Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

DANG, C. V.; SEMENZA, G. L. Oncogenic alterations of metabolism. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 24, n. 2, p. 68-72, 2021.

GRETEN, F. R.; GRIVENNIKOV, S. I. Inflammation and cancer: triggers, mechanisms and consequences. **Immunity**, v. 51, n. 1, p. 27-41, 2021.

GRÖBNER, S. N. *et al.* The landscape of genomic alterations across childhood cancers. **Nature**, v. 555, n. 7696, p. 321-327, 2021.

HANAHAN, D. Hallmarks of cancer: new dimensions. **Cancer Discovery**, v. 12, n. 1, p. 31-46, 2022.

HIMELSTEIN, A. L. *et al.* Circulating tumor DNA in childhood cancers. **Clinical Cancer Research**, v. 29, n. 5, p. 1041-1052, 2023.

HOOK, K. E.; GARZON, R. MicroRNA biomarkers in pediatric malignancies. **Cancer Metastasis Reviews**, v. 41, n. 2, p. 377-392, 2022.

JAIN, K. K. Role of biomarkers in personalized medicine. **Expert Review of Molecular Diagnostics**, v. 21, n. 4, p. 321-339, 2021.

KATTAN, J.; KATTAN, M. W. Biomarkers in cancer therapy and prognosis. **Cancer Journal**, v. 28, n. 4, p. 225-234, 2022.

LAM, C. G. *et al.* Science and health for all children with cancer. **Science**, v. 376, n. 6588, p. 43-49, 2022.

LOUIS, D. N. *et al.* The WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System. **Acta Neuropathologica**, v. 131, n. 6, p. 803-820, 2021.

MARIS, J. M. Recent advances in neuroblastoma. **New England Journal of Medicine**, v. 385, n. 10, p. 920-933, 2021.

MODY, R. J. *et al.* Integrative clinical sequencing in pediatric oncology. **Cancer Cell**, v. 39, n. 2, p. 151-166, 2021.

PARK, J. R. *et al.* Children's Oncology Group advances in pediatric cancer research. **Journal of Clinical Oncology**, v. 41, n. 14, p. 2613-2625, 2023.

PUI, C. H.; NICHOLS, K. E.; YANG, J. J. Somatic and germline genomics in pediatric acute lymphoblastic leukemia. **Nature Reviews Clinical Oncology**, v. 16, n. 4, p. 227-240, 2021.

RELLING, M. V.; EVANS, W. E. Pharmacogenomics in pediatric oncology. **Nature**, v. 526, n. 7573, p. 343-350, 2021.

RIBEIRO, R. C. *et al.* Baseline status of pediatric oncology care worldwide. **The Lancet Oncology**, v. 23, n. 3, p. e95-e106, 2022.

RODRIGUEZ-GALINDO, C. *et al.* Global challenges in pediatric oncology. **Current Opinion in Pediatrics**, v. 34, n. 1, p. 3-9, 2022.

SCHRAW, J. M. *et al.* Biomarker-driven pediatric oncology. **Journal of Clinical Oncology**, v. 42, n. 8, p. 741-756, 2024.

SZYCHOT, E.; APPS, J.; PRITCHARD-JONES, K. Wilms' tumor: biology, diagnosis and treatment. **Translational Pediatrics**, v. 3, n. 1, p. 12-24, 2022.



**REVISTA CIENTÍFICA RECISATEC**  
**ISSN 2763-8405**

**BIOMARCADORES EM NEOPLASIAS PEDIÁTRICAS: INTEGRAÇÃO BIOLÓGICA E APLICABILIDADE TRANSLACIONAL**  
Flavio Junio Pichioni , Danilo Elmiro dos Santos Salin, Ester da Silva Melo

WARBURG, O. On the origin of cancer cells. **Science**, v. 123, n. 3191, p. 309-314, 1956.