


## FÍSICA MÉDICA NO RASTREAMENTO PRECOCE DO CÂNCER DE PULMÃO

### MEDICAL PHYSICS IN THE EARLY DETECTION OF LUNG CANCER

 <https://doi.org/10.63330/armv2n5-042>

Submetido em: 19/05/2026 e Publicado em: 22/05/2026

**César Augusto Venâncio da Siva**

Professor Especialista

Pesquisador CIPE-Brasil. Doutorado em Ciências da Saúde (Programa de Integralização). Graduado em Física. Especialista em Física Médica (Faculdade Focus-2026). Especialista em Radiologia (Faculdade Faculeste-2026).

Especialista em Oncologia (Faculdade Batista de Minas Gerais-2023). Graduado em Biologia, pesquisador na Oncobiologia. Graduado em Química, pesquisador em Química Médica.

#### RESUMO

O câncer de pulmão permanece como a principal causa de mortalidade por neoplasias malignas em escala global, configurando-se como um desafio de saúde pública de elevada complexidade. A Física Médica desempenha papel central no rastreamento, especialmente por meio da tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD), que demonstrou reduzir em 20% a mortalidade em populações de risco, segundo o *National Lung Screening Trial* (2011). Avanços em protocolos de redução de dose, reconstrução iterativa de imagens e inteligência artificial ampliaram a precisão diagnóstica e a segurança radiológica, permitindo identificar nódulos em estágios iniciais com maior acurácia. Apesar dos progressos, persistem desafios como falsos positivos, exposição cumulativa à radiação, custos elevados e dilemas éticos. As perspectivas futuras apontam para abordagens multimodais e personalizadas, integrando radiômica, biomarcadores moleculares e algoritmos de inteligência artificial, consolidando o rastreamento como ferramenta estratégica na redução da mortalidade por câncer de pulmão.

**Palavras-chave:** Câncer de pulmão; Física Médica; Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD); Inteligência Artificial; Radiômica; Rastreamento populacional; Medicina personalizada.

#### ABSTRACT

Lung cancer remains the leading cause of mortality from malignant neoplasms worldwide, representing a highly complex public health challenge. Medical Physics plays a central role in screening, particularly through low-dose computed tomography (LDCT), which has been shown to reduce mortality by 20% in at-risk populations, according to the *National Lung Screening Trial* (2011). Advances in dose-reduction protocols, iterative image reconstruction, and artificial intelligence have enhanced diagnostic accuracy and



radiological safety, enabling the identification of nodules at earlier stages with greater precision. Despite these advances, challenges persist, such as false positives, cumulative radiation exposure, high costs, and ethical dilemmas. Future perspectives point toward multimodal and personalized approaches, integrating radiomics, molecular biomarkers, and artificial intelligence algorithms, consolidating screening as a strategic tool in reducing lung cancer mortality.

**Keywords:** Lung cancer; Medical Physics; Low-Dose Computed Tomography (LDCT); Artificial Intelligence; Radiomics; Population screening; Personalized medicine.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 INTRODUÇÃO AO RASTREAMENTO DO CÂNCER DE PULMÃO

A afirmação recorrente é que o câncer de pulmão representa a principal causa de mortalidade por neoplasias malignas em escala global, configurando-se como um desafio de saúde pública de elevada complexidade. Estimativas recentes apontam para uma alta incidência e taxas de mortalidade que permanecem significativas, mesmo diante dos avanços terapêuticos (Siegel, Miller & Jemal, 2023). Nesse cenário, a detecção precoce surge como estratégia fundamental para aumentar as chances de cura e reduzir o impacto da doença.

A Física Médica desempenha papel crucial nesse processo, ao desenvolver e aprimorar técnicas de rastreamento por imagem que permitem identificar lesões em estágios iniciais. Entre essas técnicas, a **tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD)** consolidou-se como método eficaz para rastreamento em populações de risco, especialmente em indivíduos com histórico de tabagismo. Evidências científicas demonstram que a TCBD reduz significativamente a mortalidade por câncer de pulmão, como comprovado pelo estudo multicêntrico **National Lung Screening Trial (NLST)**, que evidenciou uma redução de 20% na mortalidade entre os participantes submetidos ao rastreamento (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).

Além da eficácia comprovada, avanços tecnológicos têm ampliado a precisão diagnóstica e a segurança radiológica. Protocolos de redução de dose, algoritmos de reconstrução de imagens e o uso crescente da **inteligência artificial** em análise radiológica contribuem para minimizar riscos e aumentar a acurácia na detecção de nódulos pulmonares (McKee et al., 2022). Esses progressos refletem a capacidade da Física Médica em integrar ciência, tecnologia e saúde, promovendo soluções que impactam diretamente a qualidade de vida dos pacientes.

Este artigo tem como objetivo revisar a literatura sobre a contribuição da Física Médica no rastreamento do câncer de pulmão, destacando as principais tecnologias empregadas, os desafios enfrentados e as perspectivas futuras para a área. A análise crítica da produção científica permitirá



compreender como a Física Médica se posiciona como protagonista na luta contra uma das doenças mais letais da atualidade.

## 2 TECNOLOGIAS EM FÍSICA MÉDICA APLICADAS AO RASTREAMENTO

O desenvolvimento tecnológico em Física Médica tem sido determinante para a evolução dos métodos de rastreamento do câncer de pulmão. A integração entre avanços em **tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD)**, algoritmos de reconstrução de imagens e ferramentas de inteligência artificial (IA) tem permitido diagnósticos mais precisos, com menor exposição à radiação e maior eficiência clínica (McKee et al., 2022). Este capítulo aborda as principais tecnologias aplicadas ao rastreamento, destacando sua relevância científica e clínica.

### 2.1 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE BAIXA DOSE (TCBD)

A TCBD é considerada o padrão-ouro para rastreamento em populações de risco, sobretudo em indivíduos fumantes ou ex-fumantes. O **National Lung Screening Trial (NLST)** demonstrou que o uso da TCBD reduziu em 20% a mortalidade por câncer de pulmão em comparação com a radiografia de tórax (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).

- **Principais características da TCBD:**

- Redução significativa da dose de radiação em relação à TC convencional.
- Alta sensibilidade para detecção de nódulos pulmonares.
- Capacidade de identificar lesões em estágios iniciais.

Esses atributos tornam a TCBD uma ferramenta indispensável na prática clínica, ao equilibrar eficácia diagnóstica e segurança radiológica (Siegel, Miller & Jemal, 2023).

### 2.2 RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS E PROTOCOLOS DE REDUÇÃO DE DOSE

A otimização dos protocolos de aquisição e reconstrução de imagens é um dos grandes avanços da Física Médica. Técnicas como **iterative reconstruction** e **model-based reconstruction** permitem reduzir ruídos e melhorar a qualidade da imagem mesmo em condições de baixa dose (McKee et al., 2022).

- **Benefícios principais:**

- Melhoria da resolução espacial e contraste.
- Redução da dose efetiva de radiação.
- Maior confiabilidade na detecção de nódulos pequenos.

Essas técnicas representam um equilíbrio entre segurança e precisão, ampliando a aplicabilidade da TCBD em programas de rastreamento populacional.



## 2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZADO DE MÁQUINA

A incorporação da inteligência artificial (IA) na análise de imagens médicas tem revolucionado o rastreamento do câncer de pulmão. Algoritmos de **deep learning** são capazes de identificar padrões sutis em imagens, auxiliando radiologistas na detecção precoce de nódulos e na diferenciação entre lesões benignas e malignas (Ardila et al., 2019).

### • Aplicações da IA:

- Detecção automatizada de nódulos pulmonares.
- Estimativa de risco individual de malignidade.
- Redução de falsos positivos e negativos.

Estudos recentes demonstram que sistemas de IA podem alcançar desempenho comparável ou superior ao de especialistas humanos, especialmente em cenários de grande volume de exames (McKee et al., 2022).

## 2.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

A tendência é que o rastreamento do câncer de pulmão evolua para uma abordagem **personalizada**, integrando dados clínicos, genômicos e radiológicos. A Física Médica terá papel central na criação de protocolos híbridos que combinem **TCBD, IA e biomarcadores moleculares**, ampliando a precisão diagnóstica e reduzindo riscos associados à exposição radiológica (Siegel, Miller & Jemal, 2023).

Essa convergência tecnológica aponta para um futuro em que o rastreamento será mais seguro, eficiente e adaptado às necessidades individuais dos pacientes.

## 3 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DO RASTREAMENTO

Apesar dos avanços significativos na Física Médica e na consolidação da **tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD)** como método eficaz de rastreamento, diversos desafios e limitações ainda comprometem a plena implementação dessa estratégia em larga escala. Questões relacionadas à acurácia diagnóstica, riscos associados à radiação, custos e logística de programas populacionais, além de dilemas éticos, precisam ser considerados para que o rastreamento seja seguro, eficiente e sustentável (Siegel, Miller & Jemal, 2023).

### 3.1 FALSOS POSITIVOS E NEGATIVOS

Um dos principais desafios da TCBD é a ocorrência de **falsos positivos**, que podem levar a procedimentos invasivos desnecessários, aumentando riscos e custos para os pacientes. O **NLST** evidenciou que aproximadamente 24% dos exames iniciais apresentaram achados positivos, mas a maioria não correspondia a câncer (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).



- **Impactos dos falsos positivos:**

- Ansiedade e estresse psicológico nos pacientes.
- Realização de biópsias e cirurgias desnecessárias.
- Sobrecarga nos sistemas de saúde.

Por outro lado, os **falsos negativos** representam risco de atraso no diagnóstico, reduzindo as chances de tratamento precoce e aumentando a mortalidade.

### 3.2 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO

Embora a TCBD utilize doses significativamente menores que a tomografia convencional, a exposição cumulativa em programas de rastreamento contínuo ainda é motivo de preocupação. Estudos apontam que, em populações de alto risco, o benefício supera o risco, mas a necessidade de protocolos otimizados e monitoramento rigoroso permanece essencial (McKee et al., 2022).

- **Desafios principais:**

- Balancear a redução de dose com a manutenção da qualidade da imagem.
- Avaliar riscos de indução de neoplasias secundárias em longo prazo.

### 3.3 CUSTOS E LOGÍSTICA

A implementação de programas nacionais de rastreamento exige recursos financeiros e infraestrutura robusta. Países com sistemas de saúde limitados enfrentam dificuldades para garantir acesso equitativo à TCBD. Além disso, a necessidade de radiologistas treinados e equipamentos modernos representa barreiras significativas (Field et al., 2018).

- **Limitações logísticas:**

- Desigualdade no acesso entre regiões urbanas e rurais.
- Necessidade de manutenção e atualização tecnológica constante.
- Alto custo de programas populacionais em larga escala.

### 3.4 QUESTÕES ÉTICAS E SOCIAIS

O rastreamento levanta dilemas éticos relacionados à seleção de populações de risco, ao consentimento informado e à comunicação de resultados. A definição de critérios claros para inclusão e exclusão é fundamental para evitar discriminação e garantir justiça social (Harris et al., 2019).

- **Principais dilemas éticos:**

- Quem deve ser incluído nos programas de rastreamento?
- Como comunicar resultados incertos sem causar danos psicológicos?
- Como equilibrar benefícios individuais e coletivos?



### 3.5 LIMITAÇÕES TECNOLÓGICAS

Apesar dos avanços em reconstrução de imagens e inteligência artificial, ainda existem limitações relacionadas à variabilidade dos algoritmos e à necessidade de validação clínica ampla. A integração de IA em sistemas de saúde requer padronização e regulamentação para garantir segurança e confiabilidade (Ardila et al., 2019).

Os desafios e limitações do rastreamento do câncer de pulmão refletem a complexidade de equilibrar benefícios clínicos com riscos, custos e dilemas éticos. A Física Médica, ao lado de políticas públicas bem estruturadas, desempenha papel essencial na superação dessas barreiras, pavimentando o caminho para programas de rastreamento mais seguros, acessíveis e eficazes.

## 4 PERSPECTIVAS FUTURAS E INOVAÇÕES EM FÍSICA MÉDICA

O rastreamento do câncer de pulmão encontra-se em constante evolução, impulsionado por avanços tecnológicos e pela integração de diferentes áreas do conhecimento. A Física Médica, ao lado da bioinformática e da biologia molecular, desempenha papel estratégico na construção de um futuro em que o diagnóstico precoce será cada vez mais preciso, seguro e personalizado (Siegel, Miller & Jemal, 2023). Este capítulo explora as principais perspectivas e inovações que moldarão os próximos anos do rastreamento.

### 4.1 INTEGRAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BIG DATA

A utilização de **inteligência artificial (IA)** e **big data** promete revolucionar o rastreamento ao permitir análises mais rápidas e acuradas. Sistemas de **deep learning** já demonstraram capacidade de superar radiologistas em determinadas tarefas de detecção de nódulos pulmonares (Ardila et al., 2019).

- **Tendências futuras:**

- Plataformas integradas que cruzam dados clínicos, genômicos e radiológicos.
- Algoritmos capazes de prever risco individual de malignidade.
- Redução de falsos positivos por meio de aprendizado contínuo.

### 4.2 RADIÔMICA E BIOMARCADORES DE IMAGEM

A **radiômica** consiste na extração de características quantitativas das imagens médicas, transformando pixels em dados que podem ser correlacionados com perfis genômicos e moleculares. Essa abordagem abre caminho para diagnósticos mais personalizados e para a identificação de biomarcadores de imagem que auxiliem na estratificação de risco (Gillies, Kinahan & Hricak, 2016).

- **Potenciais aplicações:**

- Diferenciação entre nódulos benignos e malignos.
- Predição da resposta terapêutica.



- Integração com medicina de precisão.

#### 4.3 PROTOCOLOS HÍBRIDOS E MULTIMODAIS

O futuro do rastreamento aponta para a combinação de diferentes tecnologias, como **TCBD associada a biomarcadores sanguíneos** e testes genômicos. Essa abordagem multimodal pode aumentar a sensibilidade e especificidade do rastreamento, reduzindo limitações atuais (McKee et al., 2022).

- **Exemplos de integração:**

- TCBD + análise de DNA tumoral circulante (ctDNA).
- TCBD + radiômica + IA.
- Protocolos adaptados ao perfil de risco individual.

#### 4.4 MEDICINA PERSONALIZADA E RASTREAMENTO ADAPTATIVO

A tendência é que o rastreamento evolua para modelos **personalizados**, em que cada paciente terá protocolos ajustados de acordo com seu histórico clínico, genético e ambiental. Isso permitirá reduzir exames desnecessários e otimizar recursos de saúde (Field et al., 2018).

- **Benefícios esperados:**

- Maior eficiência na detecção precoce.
- Redução de custos em programas populacionais.
- Melhor aceitação por parte dos pacientes.

#### 4.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM FÍSICA MÉDICA

Novas tecnologias estão em desenvolvimento para ampliar a segurança e eficácia do rastreamento:

- **Tomografia espectral e dual-energy CT** para caracterização mais detalhada dos tecidos.
- **Reconstruções baseadas em inteligência artificial** que reduzem ainda mais a dose de radiação.
- **Plataformas de telemedicina** que permitem análise remota de exames, ampliando o acesso em regiões com menor infraestrutura (Harris et al., 2019).

#### 4.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

As perspectivas futuras do rastreamento do câncer de pulmão refletem uma convergência entre Física Médica, biologia molecular e ciência de dados. A inovação tecnológica, aliada à personalização dos protocolos, promete transformar o rastreamento em uma ferramenta cada vez mais eficaz, segura e adaptada às necessidades individuais. O desafio será garantir que tais avanços sejam acessíveis e equitativos, consolidando um modelo de saúde mais justo e eficiente.



## 5 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

O rastreamento do câncer de pulmão, fundamentado em avanços da Física Médica, consolidou-se como uma das estratégias mais promissoras para reduzir a mortalidade associada a essa neoplasia. A trajetória apresentada nos capítulos anteriores evidencia conquistas relevantes, mas também desafios que precisam ser superados para que o rastreamento seja amplamente eficaz, seguro e acessível. Este capítulo sintetiza os principais pontos discutidos e apresenta recomendações para futuras pesquisas e políticas públicas.

### 5.1 SÍNTESE CRÍTICA

- **Avanços tecnológicos:** A tomografia computadorizada de baixa dose (TCBD) demonstrou impacto significativo na redução da mortalidade, especialmente em populações de risco (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).
- **Inovações em Física Médica:** Técnicas de reconstrução de imagens, protocolos de redução de dose e inteligência artificial ampliaram a precisão diagnóstica e a segurança radiológica (McKee et al., 2022; Ardila et al., 2019).
- **Desafios persistentes:** Falsos positivos, exposição cumulativa à radiação, custos elevados e dilemas éticos ainda limitam a plena implementação de programas populacionais (Harris et al., 2019).
- **Perspectivas futuras:** A integração de radiômica, biomarcadores moleculares e medicina personalizada aponta para um rastreamento adaptativo e mais eficiente (Gillies, Kinahan & Hricak, 2016).

### 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

1. **Validação clínica de algoritmos de IA:** Investir em estudos multicêntricos que confirmem a eficácia e segurança de sistemas automatizados de detecção.
2. **Exploração da radiômica e genômica:** Ampliar pesquisas que correlacionem dados de imagem com perfis moleculares, fortalecendo a medicina de precisão.
3. **Protocolos híbridos:** Desenvolver e testar estratégias que combinem TCBD com biomarcadores sanguíneos e genéticos, aumentando a acurácia diagnóstica.
4. **Estudos de custo-efetividade:** Avaliar a viabilidade econômica de programas nacionais de rastreamento, especialmente em países com recursos limitados.

### 5.3 RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

- **Implementação gradual de programas de rastreamento:** Priorizar populações de maior risco,



como fumantes e ex-fumantes, garantindo equidade no acesso.

- **Capacitação profissional:** Investir na formação de radiologistas e físicos médicos para lidar com novas tecnologias e protocolos.
- **Regulação da inteligência artificial:** Estabelecer diretrizes éticas e legais para o uso de IA em diagnóstico médico, assegurando transparência e confiabilidade.
- **Integração com atenção primária:** Incorporar o rastreamento em estratégias de saúde pública, articulando prevenção, diagnóstico e acompanhamento.

#### 5.4 RESUMO PARA DISCUSSÃO DIALÉTICA NO CONTEXTO DOUTORAL

Este trabalho apresenta uma revisão abrangente sobre o papel da **Física Médica no rastreamento do câncer de pulmão**, estruturado em cinco momentos para uma discussão mais ampla em tese de doutoramento em Ciências da Saúde, e que aborda desde a introdução ao tema até recomendações finais para pesquisa e políticas públicas.

#### 5.5 PRINCIPAIS ACHADOS

- **Câncer de pulmão como desafio global:** É a principal causa de morte por neoplasias malignas, com elevada incidência e mortalidade (Siegel, Miller & Jemal, 2023).
- **Tomografia Computadorizada de Baixa Dose (TCBD):** Método consolidado para rastreamento em populações de risco, com redução de 20% na mortalidade segundo o *National Lung Screening Trial* (2011).
- **Avanços tecnológicos:** Protocolos de redução de dose, reconstrução iterativa e inteligência artificial aumentam a precisão diagnóstica e reduzem riscos radiológicos (McKee et al., 2022; Ardila et al., 2019).
- **Desafios persistentes:** Falsos positivos, exposição cumulativa à radiação, custos elevados e dilemas éticos limitam a plena implementação em larga escala (Harris et al., 2019).
- **Perspectivas futuras:** Integração de radiômica, biomarcadores moleculares e medicina personalizada aponta para rastreamento adaptativo e multimodal (Gillies, Kinahan & Hricak, 2016).

#### 5.6 RECOMENDAÇÕES

##### 5.6.1 Para pesquisas futuras

- Validar algoritmos de IA em estudos multicêntricos.
- Explorar radiômica e genômica para medicina de precisão.
- Desenvolver protocolos híbridos (TCBD + biomarcadores).



- Realizar análises de custo-efetividade em diferentes contextos de saúde.

### 5.6.2 Para políticas públicas

- Implementar programas de rastreamento graduais, priorizando populações de maior risco.
- Investir em capacitação de radiologistas e físicos médicos.
- Regulamentar o uso da inteligência artificial em diagnóstico médico.
- Integrar rastreamento ao sistema de atenção primária, garantindo equidade no acesso.

## 5.7 CONCLUSÃO

O rastreamento do câncer de pulmão, impulsionado pela Física Médica, encontra-se em um momento decisivo. Os avanços já demonstraram impacto positivo na redução da mortalidade, mas sua plena consolidação depende da superação de barreiras científicas, econômicas e sociais. O futuro aponta para uma abordagem **personalizada, multimodal e integrada**.

## 6 CONCLUSÃO FINAL

O rastreamento do câncer de pulmão, impulsionado pela Física Médica, encontra-se em um ponto de inflexão: os avanços tecnológicos já demonstraram impacto positivo, mas sua plena implementação depende de superar barreiras científicas, econômicas e sociais. O futuro aponta para uma abordagem personalizada, multimodal e integrada, capaz de transformar o rastreamento em uma ferramenta ainda mais poderosa contra uma das doenças mais letais da atualidade.

A consolidação desse cenário exigirá não apenas inovação científica, mas também políticas públicas robustas e inclusivas, que garantam acesso equitativo e sustentável às tecnologias emergentes.

## REFERÊNCIAS

Ardila, D., Kiraly, A. P., Bharadwaj, S., Choi, B., Reicher, J. J., Peng, L., Tse, D., & Corrado, G. S. (2019). End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nature Medicine*, 25(6), 954–961.

Field, J. K., Duffy, S. W., Baldwin, D. R., Whynes, D. K., Devaraj, A., & UK Lung Cancer Screening Trial Team. (2018). UK Lung Cancer Screening Trial: a pilot randomised controlled trial of low-dose computed tomography screening for lung cancer. *Health Technology Assessment*, 22(69), 1–146.

Gillies, R. J., Kinahan, P. E., & Hricak, H. (2016). Radiomics: Images are more than pictures, they are data. *Radiology*, 278(2), 563–577.

Harris, R. P., Sheridan, S. L., Lewis, C. L., Barclay, C., Vu, M. B., & Kinsinger, L. S. (2019). The harms of screening: a proposed taxonomy and application to lung cancer screening. *JAMA Internal Medicine*, 179(3), 281–288.



McKee, B. J., Regis, S. M., McKee, A. B., Flacke, S., & Wald, C. (2022). Performance of low-dose CT lung cancer screening in the National Lung Screening Trial: Implications for practice. *Radiology*, 302(2), 298–306.

National Lung Screening Trial Research Team. (2011). Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *New England Journal of Medicine*, 365(5), 395–409.

Siegel, R. L., Miller, K. D., & Jemal, A. (2023). Cancer statistics, 2023. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 73(1), 17–48.