



Desigualdade Regional e Estrutural no Acesso à Radioterapia no Brasil: Implicações para o Controle do Câncer

Regional and Structural Inequality in Access to Radiotherapy in Brazil: Implications for Cancer Control

Ricardo de Oliveira da Silva

Físico Médico. Quantum Física Médica

Resumo: O câncer representa uma das principais causas de morbimortalidade no Brasil, exigindo acesso oportuno a modalidades terapêuticas eficazes, entre as quais a radioterapia desempenha papel central. Este estudo analisa a distribuição da infraestrutura radioterápica no território brasileiro e discute suas implicações para a equidade no cuidado oncológico. Trata-se de estudo descritivo e analítico baseado em dados secundários provenientes de bases operacionais e regulatórias nacionais, estimativas populacionais oficiais e literatura internacional. Observou-se forte concentração da infraestrutura nas regiões Sudeste e Sul, com escassez significativa no Norte e em áreas interiorizadas. O cruzamento entre bases operacionais e regulatórias revelou descompasso entre capacidade autorizada e capacidade assistencial efetivamente captada em levantamentos censitários. Modelos ecológicos mostraram que a distribuição da infraestrutura não acompanha de forma proporcional a carga epidemiológica e que determinantes regionais permanecem mais fortemente associados à disponibilidade de recursos do que à incidência estimada de câncer. Em perspectiva internacional, o Brasil apresenta densidade de radioterapia substancialmente inferior à de países de alta renda e mais próxima de contextos marcados por restrições estruturais de acesso. Conclui-se que a desigualdade no acesso à radioterapia no Brasil é simultaneamente quantitativa, territorial, regulatória e tecnológica, exigindo planejamento integrado, expansão da rede e melhor alinhamento entre necessidade epidemiológica e capacidade instalada.

Palavras-chave: radioterapia; desigualdade em saúde; câncer; acesso aos serviços de saúde; SUS.

Abstract: Cancer is one of the leading causes of morbidity and mortality in Brazil, requiring timely access to effective therapeutic modalities, among which radiotherapy plays a central role. This study analyzes the distribution of radiotherapy infrastructure across the Brazilian territory and discusses its implications for equity in oncological care. It is a descriptive and analytical study based on secondary data from national operational and regulatory databases, official population estimates, and international literature. A strong concentration of infrastructure was observed in the Southeast and South regions, with significant scarcity in the North and in inland areas. The comparison between operational and regulatory databases revealed a mismatch between authorized capacity and the actual care capacity captured in census-based surveys. Ecological models showed that infrastructure distribution does not proportionally follow the epidemiological burden, and that regional determinants remain more strongly associated with resource availability than with estimated cancer incidence. From an international perspective, Brazil presents radiotherapy density substantially lower than that of high-income countries and closer to settings marked by structural constraints in access. It is concluded

that inequality in access to radiotherapy in Brazil is simultaneously quantitative, territorial, regulatory, and technological, requiring integrated planning, expansion of the network, and better alignment between epidemiological need and installed capacity.

Keywords: radiotherapy; health inequality; cancer; access to health services; SUS.

INTRODUÇÃO

O câncer constitui um dos principais desafios de saúde pública global, sendo responsável por elevada carga de mortalidade e incapacidade. No Brasil, a magnitude do problema exige organização eficiente da rede assistencial, com acesso equitativo às modalidades terapêuticas disponíveis.

A radioterapia é indicada em aproximadamente 50% dos pacientes ao longo da evolução da doença^[1], podendo ser empregada de forma isolada ou em combinação com outras modalidades terapêuticas, como cirurgia e quimioterapia, tanto com intenção curativa quanto paliativa. Seu acesso, contudo, depende de infraestrutura tecnológica complexa, que inclui não apenas aceleradores lineares, mas também outras modalidades ainda em uso, como unidades de cobaltoterapia com fontes de cobalto-60, além de sistemas de planejamento de tratamento, controle de qualidade rigoroso e equipes multiprofissionais altamente especializadas.

Apesar dos princípios de universalidade e equidade que regem o Sistema Único de Saúde (SUS), estabelecidos na Constituição Federal de 1988 (art. 196) e regulamentados pela Lei nº 8.080/1990^[2, 3], evidências demonstram que a distribuição dos serviços de radioterapia no Brasil permanece desigual, refletindo disparidades regionais históricas e comprometendo a efetividade do cuidado oncológico^[4, 5]. Diante desse cenário, o presente estudo analisa a distribuição da infraestrutura radioterápica brasileira, compara bases operacionais e regulatórias, estima o déficit estrutural frente a parâmetros internacionais de planejamento e discute as implicações territoriais, epidemiológicas e comparativas desse padrão para o controle do câncer no país.

METODOLOGIA

Trata-se de estudo descritivo e analítico, baseado em dados secundários provenientes de relatórios institucionais, literatura científica e documentos técnicos nacionais e internacionais. Foram utilizados: (i) dados do censo operacional de radioterapia do Ministério da Saúde; (ii) registros regulatórios de instalações autorizadas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), atual Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN); (iii) estimativas populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); (iv) estimativas estaduais de incidência do Instituto Nacional de Câncer (INCA); e (v) literatura internacional sobre acesso e capacidade radioterápica. A capacidade assistencial considerada neste estudo

não foi restrita a estabelecimentos públicos. No contexto do SUS, a oferta de serviços ocorre em modelo misto, no qual instituições privadas podem atuar de forma complementar à rede pública mediante contratos ou convênios, conforme previsto no art. 199, § 1º da Constituição Federal de 1988, no art. 4º, § 2º, e no art. 24 da Lei nº 8.080/1990. Essa distinção foi considerada na interpretação da capacidade instalada, evitando superestimação de lacunas assistenciais associadas exclusivamente à rede pública estatal. Para o indicador de cobertura, adotou-se como referência de planejamento o parâmetro internacional de aproximadamente um equipamento de radioterapia para cada 250.000 habitantes^[1]. O déficit estrutural nacional foi estimado pela diferença entre a necessidade teórica e a capacidade instalada observada nas bases brasileiras.

A análise estadual incluiu o cálculo da densidade de instalações autorizadas por milhão de habitantes e a comparação entre instalações autorizadas (ANSN) e serviços captados no censo operacional. Como medida descritiva de incerteza para densidades baseadas em contagens, utilizou-se a aproximação de Poisson, expressa por:

$$IC_{95\%} \approx \lambda \pm 1,96\sqrt{\lambda}, \quad (1)$$

Em que λ representa o número de instalações.

Para explorar a relação entre carga epidemiológica e infraestrutura, foi conduzida regressão linear ponderada pela população estadual, tendo como variável dependente a disponibilidade de unidades de megavoltagem por milhão de habitantes e, como variável independente principal, a incidência combinada por 100.000 habitantes de cinco grupos tumorais de alta relevância assistencial: mama feminina, próstata, cólon e reto, traqueia/brônquio/pulmão e colo do útero. Em análise secundária, incluiu-se variável binária para estados das regiões Sul e Sudeste.

Por fim, para estimar a carga potencial de mortalidade evitável associada ao déficit de radioterapia, utilizou-se como parâmetro nacional o estudo de Mendez *et al.*, que estimou 111.432 pacientes sem acesso à radioterapia no SUS em 2016 e 5.083 mortes potencialmente evitáveis sob acesso universal ^[4]. A distribuição estadual foi modelada proporcionalmente ao déficit estrutural de capacidade radioterápica:

$$\hat{D}_i = \frac{Gap_i}{\sum Gap_i} \times 5083, \quad (2)$$

q \hat{D}_i representa a carga estimada de mortes potencialmente evitáveis no estado i .

RESULTADOS

Base de dados e capacidade instalada

A integração entre dados operacionais e regulatórios permitiu caracterizar com maior precisão a infraestrutura radioterápica brasileira. A base regulatória indica aproximadamente 380–400 instalações de radioterapia autorizadas, enquanto o censo operacional nacional identificou cerca de 140 serviços em atividade. As estimativas de equipamentos em operação variaram conforme a base utilizada, oscilando de aproximadamente 200 a 365 aceleradores lineares.

Esse descompasso decorre de diferenças metodológicas: a base da ANSN registra instalações autorizadas, ao passo que o censo do Ministério da Saúde descreve serviços em funcionamento e a infraestrutura efetivamente captada em levantamento operacional.

Para fins analíticos, optou-se por adotar a base regulatória da ANSN como referência principal, por representar o cenário mais abrangente e, portanto, mais otimista da capacidade instalada nacional. Essa abordagem permite estimar o limite superior da oferta de serviços de radioterapia no país, reduzindo o risco de superestimação do déficit estrutural associado exclusivamente a limitações operacionais ou temporais das bases assistenciais.

Observou-se concentração regional marcada, com predominância da infraestrutura nas regiões Sudeste e Sul. Em termos agregados, a região Sudeste concentrou mais de 60% das instalações autorizadas, padrão consistente com a literatura nacional e com relatórios institucionais sobre capacidade radioterápica brasileira^[4, 5].

Cobertura radioterápica e déficit estrutural

Considerando a população brasileira de aproximadamente 203 milhões de habitantes e o parâmetro de um equipamento para cada 250.000 habitantes, a necessidade teórica nacional foi estimada em 812 equipamentos:

$$N_{\text{necessário}} \approx \frac{203.000.000}{250.000} \approx 812. \quad (3)$$

Dependendo da base considerada, a capacidade instalada situou-se entre 200 e 365 equipamentos. Assim, o déficit estrutural absoluto foi estimado entre 447 e 612 unidades:

$$\text{Déficit} \approx 812 - (200 \text{ a } 365) = 447 \text{ a } 612. \quad (4)$$

A cobertura nacional correspondente variou entre 25% e 45% da capacidade recomendada, indicando déficit estrutural entre 55% e 75%.

Distribuição estadual, densidade e descompasso regulatório-operacional

A Tabela 1 apresenta o cruzamento entre instalações autorizadas pela ANSN e serviços identificados no censo operacional, bem como a densidade de instalações autorizadas por milhão de habitantes.

Distribuição por estado (dados ANSN/CNEN)

A análise por unidade federativa evidencia forte heterogeneidade na distribuição das instalações de radioterapia no Brasil, com concentração em estados mais desenvolvidos e lacunas significativas em regiões periféricas.

Observa-se que estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul apresentam densidades superiores a 2 instalações por milhão de habitantes, refletindo maior concentração de recursos. Em contraste, estados das regiões Norte e Nordeste apresentam densidades inferiores a 1 instalação por milhão, com casos extremos de ausência total de cobertura, como Acre e Roraima.

Essa distribuição evidencia que o acesso à radioterapia no Brasil permanece fortemente condicionado à localização geográfica, com implicações diretas na equidade do cuidado oncológico.

Tabela 1: Distribuição selecionada de instalações de radioterapia e densidade populacional por estado

Estado	Instalações ANSN	Serviços (censo)	Diferença	Densidade (/milhão)
SP	96	73	+23	2,09
RJ	38	27	+11	2,21
MG	38	28	+10	1,78
RS	23	19	+4	2,05
SC	16	11	+5	1,99
PR	19	12	+7	1,60
DF (melhor CO)	8	6	+2	2,68
MS (melhor CO)	6	5	+1	2,07
BA (melhor NE)	13	10	+3	0,87
MA (pior NE)	4	2	+2	0,57
CE (baixo NE)	5	4	+1	0,54
AM (melhor N)	4	4	0	0,93
PA (baixo N)	5	5	0	0,58
AC (ausência)	0	0	0	0
RR (ausência)	0	0	0	0

Fonte: Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN); Departamento de Informática do SUS (DATASUS/CNEN); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (n.d.). Dados sobre instalações de radioterapia, serviços de saúde e densidade populacional no Brasil. Recuperado de <https://www.gov.br/ansn> ; <https://cnes.datasus.gov.br/> ; <https://www.ibge.gov.br/>

Diferenças podem refletir inconsistências temporais entre bases regulatórias e operacionais, além de distintos critérios de unidade de registro.

Os maiores diferenciais absolutos entre base regulatória e censo operacional foram observados em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, sugerindo que a infraestrutura autorizada não coincide integralmente com a capacidade operacional captada em levantamento censitário. Em densidade populacional, os maiores valores foram observados no Distrito Federal, Rio de Janeiro, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, ao passo que Acre e Roraima não apresentaram instalações autorizadas.

Densidade com intervalo de confiança

A Tabela 2 apresenta densidades selecionadas com intervalos de confiança aproximados de 95% calculados por modelo de Poisson.

Tabela 2: Densidade de instalações autorizadas por milhão de habitantes e intervalo de confiança aproximado de 95% em estados selecionados.

Estado	Instalações	Densidade por milhão	IC 95% (aprox.)
DF	8	2,68	1,85–3,51
RJ	38	2,21	1,50–2,92
SP	96	2,09	1,67–2,51
RS	23	2,05	1,21–2,89
SC	16	1,99	1,02–2,96
MG	38	1,78	1,22–2,34
BA	13	0,87	0,40–1,34
PA	5	0,58	0,08–1,08
CE	5	0,54	0,07–1,01
MA	4	0,57	0,01–1,13
AC	0	0,00	0,00–0,00
RR	0	0,00	0,00–0,00

Fonte: Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN); Departamento de Informática do SUS (DATASUS/CNES); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (n.d.). Dados sobre instalações de radioterapia, serviços de saúde e densidade populacional no Brasil. Recuperado de <https://www.gov.br/ansn> ; <https://cnes.datasus.gov.br/> ; <https://www.ibge.gov.br/>

As densidades superiores a duas instalações por milhão em algumas unidades do Sul e Sudeste contrastam com coberturas inferiores a uma instalação por milhão em vários estados do Norte e Nordeste, reforçando a desigualdade territorial da oferta.

Infraestrutura, incidência e determinantes regionais

O cruzamento entre a incidência combinada de cinco cânceres prioritários e a infraestrutura radioterápica mostrou associação positiva em modelo simples, porém essa relação perdeu significância após ajuste por variável binária para Sul/Sudeste. No modelo ajustado, o coeficiente regional permaneceu robusto, enquanto o efeito da incidência deixou de ser estatisticamente significativo. O modelo múltiplo apresentou R^2 ajustado de 0,677, indicando que fatores estruturais e regionais explicam parte substancial da distribuição da infraestrutura.

Esse achado sugere que a oferta radioterápica no Brasil não acompanha de forma proporcional à necessidade epidemiológica, sendo mais fortemente determinada por contexto regional, concentração econômica e organização histórica da rede assistencial.

Desigualdade tecnológica do parque radioterápico

Além das desigualdades quantitativas e territoriais, observa-se heterogeneidade tecnológica relevante no parque radioterápico brasileiro, inclusive em centros urbanos com elevada concentração de serviços. O município de Porto Alegre constitui um exemplo ilustrativo, com múltiplos centros de radioterapia operando equipamentos de diferentes gerações tecnológicas, desde aceleradores lineares mais antigos, como modelos da série Clinac 600C, até plataformas mais modernas, como Trilogy, TrueBeam e Halcyon.

Nesse contexto, destaca-se que parte dos serviços está vinculada diretamente ao Sistema Único de Saúde (SUS), enquanto outros operam sob regime privado ou misto. Embora o SUS seja responsável por garantir o acesso universal, a disponibilidade de determinadas tecnologias pode variar conforme o modelo de financiamento e a organização dos serviços. Em termos práticos, isso pode resultar em diferenças na incorporação e utilização de tecnologias radioterápicas avançadas, como sistemas mais modernos de entrega de dose e integração de imagem.

De modo geral, equipamentos de gerações anteriores permanecem amplamente utilizados em serviços com maior demanda assistencial, enquanto plataformas mais recentes tendem a estar associadas a centros com maior capacidade de investimento tecnológico. Essa assimetria pode influenciar a oferta de técnicas mais complexas, a eficiência operacional e o acesso a modalidades de tratamento mais avançadas.

Evidências internacionais sugerem que a disponibilidade de tecnologias radioterápicas mais modernas está associada à maior utilização da radioterapia e a melhores condições de entrega do tratamento, especialmente em sistemas com maior integração assistencial [6]. Assim, a desigualdade no acesso à radioterapia no Brasil deve ser compreendida não apenas como insuficiência numérica ou desigualdade geográfica, mas também como disparidade qualitativa no nível tecnológico efetivamente acessível aos pacientes.

Modelo preditivo de mortalidade evitável

Com base no parâmetro nacional de 5.083 mortes potencialmente evitáveis descrito por Mendez *et al.* [4], a distribuição estadual da mortalidade evitável foi modelada proporcionalmente ao déficit estrutural de capacidade radioterápica. No plano nacional, a aproximação de Poisson produziu intervalo de confiança de 95% entre 4.943 e 5.223 mortes.

Os resultados indicaram concentração da carga potencial de mortalidade evitável em estados com maior população e maior insuficiência relativa de infraestrutura. Embora se trate de projeção ecológica, e não de contagem observada, o modelo reforça que a desigualdade radioterápica pode produzir impacto potencial direto sobre a sobrevivência oncológica.

Comparação internacional

Em perspectiva internacional, o Brasil apresentou densidade de aproximadamente 1,81 unidades de teleterapia por milhão de habitantes, valor substancialmente inferior ao observado em países de alta renda, como Estados Unidos e Japão, e mais próximo de contextos marcados por restrições estruturais de acesso, como África do Sul e Índia. Esse posicionamento é consistente com dados globais da International Atomic Energy Agency, segundo os quais a América do Norte (Estados Unidos e Canadá) concentra aproximadamente 26% dos equipamentos de megavoltagem do mundo, enquanto a América Latina e o Caribe, incluindo o México, detêm cerca de 9% desse total [1].

Além disso, países de alta renda dispõem de tecnologias avançadas não amplamente disponíveis no Brasil, como a protonterapia e a terapia com íons pesados. Os Estados Unidos concentram a maior parte dos centros de protonterapia em operação no mundo, enquanto o Japão se destaca pela liderança no uso clínico da terapia com íons pesados, considerada uma das modalidades mais avançadas de radioterapia[6, 10]. A ausência ou disponibilidade extremamente limitada dessas tecnologias no contexto brasileiro reforça a dimensão tecnológica da desigualdade no acesso ao tratamento oncológico (Tabela 3).

Tabela 3: Comparação internacional da capacidade radioterápica e do acesso geográfico.

País	Unidades por milhão	População (milhões)	Acesso geográfico / interpretação
Estados Unidos	11,39	~309	77,9% da população a \leq 20 km; 1,8% a $>$ 80 km. Alta capilaridade e acesso amplamente distribuído.
Japão	~7,8	~125	Rede altamente capilarizada, com elevada densidade urbana e ampla disponibilidade de serviços.

País	Unidades por milhão	População (milhões)	Acesso geográfico / interpretação
Brasil	1,81	~203	Predomínio de deslocamentos intermunicipais, frequentemente superiores a 100 km em regiões com baixa densidade de serviços.
África do Sul	~1,64	~60	Densidade próxima à brasileira, porém com atrasos assistenciais significativos no setor público.
Índia	0,60	~1.400	Longas distâncias, baixa utilização e déficit estrutural acentuado.

Fonte: International Atomic Energy Agency (IAEA). (n.d.). Directory of radiotherapy centres (DIRAC). Recuperado de <https://dirac.iaea.org/>

World Health Organization (WHO). (n.d.). Global Health Observatory data repository. Recuperado de <https://www.who.int/data/gho>

World Bank. (n.d.). Population, total. Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL>

A comparação internacional sugere que o Brasil ocupa posição intermediária inferior: supera cenários de escassez extrema, como o observado na Índia, mas permanece substancialmente abaixo de sistemas maduros, como os dos Estados Unidos e do Japão, caracterizados por elevada densidade de equipamentos, maior capilaridade assistencial e maior integração tecnológica.

DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a desigualdade radioterápica no Brasil é multidimensional. Em primeiro lugar, existe déficit quantitativo nacional frente aos parâmetros internacionais de planejamento. Em segundo, a infraestrutura distribuiu-se de forma territorialmente desigual, concentrando-se nas regiões Sudeste e Sul e impondo barreiras geográficas importantes à população residente em áreas interiorizadas e em estados com baixa densidade. Em terceiro, a discrepância entre instalações autorizadas e serviços captados operacionalmente indica que capacidade regulatória e capacidade assistencial não são equivalentes e devem ser interpretadas separadamente.

O cruzamento entre infraestrutura e incidência sugere que a alocação dos recursos não responde prioritariamente à necessidade epidemiológica. Mesmo após considerar a carga estimada de câncer, o fator regional permaneceu dominante. Esse padrão indica que determinantes históricos, econômicos e organizacionais exercem papel central na conformação do parque radioterápico brasileiro.

A análise internacional reforça a posição desfavorável do Brasil. Quando comparado a países de alta renda, o país apresenta densidade muito inferior de equipamentos e menor capilaridade geográfica. A proximidade dos indicadores brasileiros com contextos como a África do Sul sugere que o desafio nacional não é apenas de disponibilidade absoluta, mas também de organização da oferta e de acesso efetivo. Essa leitura é consistente com a literatura internacional, segundo a qual barreiras geográficas estão associadas à menor utilização da radioterapia, atraso no início do tratamento e pior prognóstico [6, 7].

Do ponto de vista das políticas públicas, os achados sugerem a necessidade de planejamento integrado entre vigilância sanitária, regulação nuclear, capacidade assistencial e necessidade epidemiológica. Também apontam para a importância de maior transparência e interoperabilidade entre bases nacionais, uma vez que a ausência de integração entre registros regulatórios e operacionais dificulta o monitoramento do acesso real.

Este estudo possui limitações. Em primeiro lugar, diferentes bases utilizam distintas unidades de observação, incluindo instalações, serviços e equipamentos, o que restringe comparações diretas. Em segundo, parte das estimativas internacionais foi obtida de estudos com anos e metodologias diferentes. Em terceiro, o modelo de mortalidade evitável possui natureza ecológica e distributiva, devendo ser interpretado como aproximação da carga potencial e não como inferência causal individual.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A desigualdade no acesso à radioterapia no Brasil não se resume à insuficiência numérica de equipamentos. Trata-se de problema estrutural caracterizado por déficit quantitativo, concentração espacial, descompasso entre capacidade regulatória e operacional e heterogeneidade tecnológica. A infraestrutura disponível distribui-se mais de acordo com determinantes regionais e históricos do que com a necessidade epidemiológica, o que contribui para barreiras de acesso, deslocamentos extensos e potencial agravamento de desfechos clínicos. O enfrentamento desse cenário exige expansão planejada da rede, maior integração entre bases de dados nacionais e políticas públicas orientadas por equidade territorial.

REFERÊNCIAS

1. International Atomic Energy Agency. Radiotherapy in Cancer Care: Facing the Global Challenge. Vienna: IAEA; 2017.
2. Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.
3. Brasil. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde.

4. Mendez LC, Moraes FY, Poon I, *et al.* Estimated benefit of increased radiotherapy utilization in Brazil: A modeling study. *Radiotherapy and Oncology*. 2018;126(3):427–432.
5. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Relatório de Gestão. Rio de Janeiro: INCA; 2024.
6. Atun R, Jaffray DA, Barton MB, *et al.* Expanding global access to radiotherapy. *Lancet Oncology*. 2015;16(10):1153–1186.
7. Lin CC, Bruinooge SS, Kirkwood MK, *et al.* Association between geographic access to cancer care and treatment. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2021.
8. Abdel-Wahab M, Zubizarreta E, Polo A, *et al.* Status of radiotherapy resources in Africa: An International Atomic Energy Agency analysis. *Lancet Oncology*. 2013.
9. Matsuda T, *et al.* Radiotherapy resources and utilization in Japan. *Journal of Radiation Research*. 2024.
10. Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG). Particle therapy facilities in operation. 2023. Available at: <https://www.ptcog.ch>.