

Chernobyl: mitologia contemporânea?

Alexandre F. Ramos

Escola de Artes, Ciências e Humanidades; Dept. Radiologia, Faculdade de Medicina; Núcleo de Sistemas Complexos; Centro de Proteção Ambiental para o Uso de Energia Nuclear; Universidade de São Paulo

A despeito dos efeitos de altas doses de radiação ionizante serem bem documentados na literatura científica, e do consenso sobre estes efeitos, ainda há controvérsias sobre os efeitos que baixas doses de radiação possam ter sobre a saúde e/ou funcionamento dos organismos que as absorvem (Averbeck, 2009), (Mattsson & Nilsson, 2015). Os efeitos das baixas doses de radiação são fortuitos (aleatórios) e as tentativas de compreendê-los cientificamente ainda estão em sua infância. Todavia, eventuais demandas imediatas por conhecimento acerca dos efeitos de baixas doses de radiação podem levar à construção de hipóteses que se confundem com verdades científicas. A diferença entre uma e outra é que a verdade científica se estabelece pela verificação experimental e confirmações independentes, nos limites de margens de erro dadas. Já as hipóteses podem ser estabelecidas por extrapolações de resultados conhecidos. Um exemplo é extrapolar para baixas doses de radiação ionizante os efeitos conhecidos para altas doses por mera redução de escala. As baixas doses de radiação podem ativar mecanismos como o reparo de DNA e morte celular programada (apoptose), que podem corrigir eventuais defeitos causados por baixas doses de radiação (Averbeck, 2009). Cientificamente, a confusão entre a hipótese e o fato pode gerar erros científicos desastrosos, uma vez que fenômenos de correção de erros do interior celular são negligenciados. De fato, isso foi observado recentemente num artigo publicado pelo periódico científico *Nature* (Baker, et al., 1996).

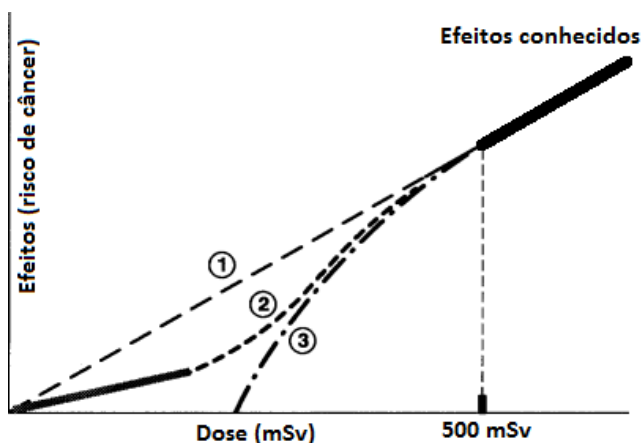


Figura 1. A curva relacionando a dose de radiação recebida por um organismo e seus efeitos. Note que as unidades de medida são arbitrárias.

Relação entre a dose de radiação absorvida e seus efeitos

Na Figura 1 apresentamos a curva relacionando as doses de radiação recebida por um organismo e os efeitos dela resultantes. A linha contínua mais espessa indica a região para a qual os efeitos são confirmados experimentalmente. As linhas tracejadas consistem em três possíveis extrapolações dos resultados teóricos que podem descrever os resultados experimentais já conhecidos. O limiar inferior de dose efetiva de radiação absorvida para a qual os efeitos são conhecidos são em aproximadamente 500 mSv¹. A curva (1) é chamada de

¹ O milisievert (mSv) é uma unidade destinada a medir a dose efetiva absorvida por um organismo. Essa unidade destina-se a medir o risco resultante devido à radiação. A dose efetiva considera a energia absorvida, o tipo da radiação e a susceptibilidade de vários órgãos e tecidos ao desenvolvimento de um câncer severo induzido por radiação ou efeitos genéticos. Ademais, essa unidade é aplicada à exposições internas e externas.

modelo linear sem limiar (LNT), a curva (2) indica o modelo linear quadrático e a curva (3) o modelo linear com limiar.

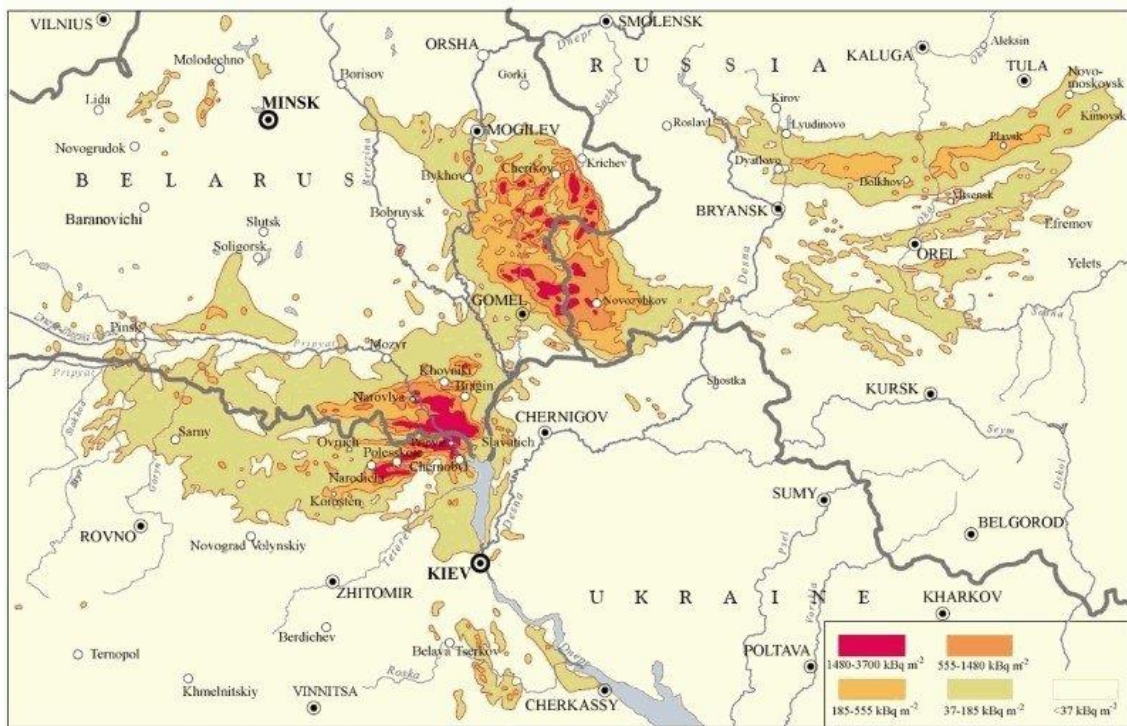
A curva (1) extrapola linearmente os resultados já confirmados experimentalmente, assumindo que os efeitos se preservam de acordo com a dose, tendendo a zero se a dose for nula. O modelo linear quadrático assume efeitos atenuados para doses baixas. Já o modelo linear limiar assume que para doses abaixo de um valor limite, não há efeitos de radiação absorvida. Ambos os modelos, (2) e (3), convergem ao modelo LNT quando há altas doses de radiação.

A despeito do uso da curva (1) para fins de saúde pública, há diversas evidências de que para certos tipos de câncer em humanos, há um limiar de dose, que sugere a curva (3) como apropriada. Por fim, dado que o processo evolutivo ocorreu sob influência de radiação natural, há inclusive a possibilidade de que doses suficientemente baixas de radiação sejam benéficas (E. Okuno, 2010). De fato, têm-se encontrado evidências de que níveis de radiação abaixo dos comuns na natureza afetam negativamente o funcionamento celular, ativando seus sistemas de resposta a stress (H. Castillo, 2015) ou reduzindo sua capacidade de replicação (H. Planel, 1987).

Do ponto-de-vista científico, a relação dose-resposta representada pelas linhas tracejadas na Figura 1 é uma hipótese. A confirmação de qualquer uma das hipóteses apresentadas somente será estabelecida após a obtenção de dados de experimento cuidadosamente desenhados para esse fim. O método usual, de uso de estudos epidemiológicos para avaliar os efeitos de baixas doses de radiação não oferecem base estatística confiável. Sendo assim, uma análise que considere os mecanismos envolvidos na absorção de radiação por células e tecidos vivos deve ser realizada (Averbeck, 2009).

O acidente de Chernobyl: breve descrição e doses de radiação absorvidas.

Em 26 de abril de 1986 ocorria o acidente de Chernobyl, o mais grave da história da tecnologia nuclear, conforme bem documentado em diversos relatórios produzidos pela ONU e suas agências subsidiárias, juntamente com pesquisadores da Bielorrússia, Rússia e Ucrânia. Ocorrido por falha humana (por exemplo, ausência de cultura de segurança de acordo com parâmetros internacionais), suas consequências imediatas incluem a morte de 28 pessoas ainda em 1986 e de outras 19 entre 1987 e 2004 por efeitos agudos de radiação ionizante (The Chernobyl Forum: 2003 - 2005, 2005). Outro efeito confirmado da radiação ionizante devida ao acidente foi a ocorrência de 4 mil casos de câncer de tireoide em indivíduos que eram crianças ou adolescentes no ano de 1986. Isto ocorreu pois, o acidente também causou a liberação de partículas radioativas (iodo – 131) que foram depositadas no solo, principalmente numa região de raio de 30 km, centrada no reator acidentado, chamada zona de exclusão.



Deposição de céσιο - 137 devida ao acidente de Chernobyl.

Figura 2. A zona de exclusão de Chernobyl: o entorno do reator acidentado. A cidade de Kiev, capital da Ucrânia, fica 100km de distância do reator acidentado (UNSCEAR, 2000). As regiões rosadas indicam onde ocorrem os maiores níveis de radiação devidos ao céσιο radioativo liberado após o acidente. Os valores de máximos de radiação emitida pelo céσιο --- 137 resultam em uma absorção de aproximadamente 2,5 mSv/ano por indivíduo a 1 metro do solo, de acordo com estimativas (Ray McGinnis, s.d.).

A zona de exclusão foi evacuada e proibiu-se nela a habitação de humanos, embora o pessoal que trabalhava na usina tenha permanecido ativo. É que dos quatro reatores nucleares da usina, somente um sofreu o acidente. Os três restantes foram desligados paulatinamente, sendo o último desligado no ano 2.000. Mesmo depois disso, operários continuaram atuando naquela área, seja na construção de um repositório de combustível nuclear usado, seja construindo a nova redoma de isolamento do reator acidentado (isto é, a redoma atual será coberta por uma nova). Os profissionais permanecem na região em regime de turnos e, recentemente, até mesmo antigos moradores evacuados da região voltaram a viver nela. A zona de exclusão também é frequentada por cientistas que investigam os efeitos da radiação ionizante em seres vivos. Todas as pessoas que ainda frequentam a zona de exclusão o fazem sem riscos definitivos à saúde.

Doses de radiação absorvidas por humanos

Na Tabela 1 apresentamos as doses típicas de radiação absorvida acumulada por seres humanos habitando o planeta terra. A radiação absorvida por um organismo é medida em mSv. A parte da tabela sombreada em verde denota populações afetadas por radiação devido à presença de elementos radioativos de origem geológica, raios cósmicos, etc. Esse é o caso, por exemplo, das areias monazíticas de Guarapari, ES, Brasil, indicado na segunda linha da tabela. Na terceira linha apresentamos o intervalo típico da radiação absorvida acumulada por um ser humano durante um ano e que é considerado normal. Na segunda parte da tabela (sombreada em amarelo) incluímos os níveis de radiação absorvida acumulada pela população afetada pelo acidente de

Chernobyl. Na primeira linha incluímos os chamados “liquidators”, que são os profissionais que trabalharam durante as operações de emergência, resgate, mitigação e restauro após o acidente de Chernobyl. Estes indivíduos sofreram as maiores doses de radiação devida ao acidente. Em seguida, mostramos as doses absorvidas pelas populações que habitavam a região do entorno do reator acidentado e que foram evacuadas imediatamente. Populações não evacuadas e habitantes de regiões próximas ou distantes são mostradas na terceira e quarta linhas, respectivamente.

Tabela 1. Resumo das doses médias de radiação acumuladas devido ao acidente de Chernobyl pela população afetada e doses devido a radiação em regiões não afetadas.

População habitantes de regiões sob:	Tempo de absorção (ano)	Dose média (mSv)
Níveis de radiação natural típicos do planeta Terra.	1	2,4
Altos níveis de radiação natural em regiões limitadas do: Brasil, China, Índia, Irã.	20	100 – 200
Níveis de radiação absorvida em todo o planeta Terra.	1	1 – 10
	População afetada pelo acidente de Chernobyl	
Categoria populacional	Número de indivíduos	Dose média (mSv)
“Liquidators” (1986 – 1986)	600.000	Aprox. 600
Evacuados (1986)	116.000	33
Residentes de zonas de controle estrito (1986 – 2005)	270.000	> 50
Residentes de outras áreas afetadas (1986 – 2005)	5.000.000	10 – 20

Hipótese: houve efeitos genéticos devidos à radiação liberada após o acidente de Chernobyl?

No dia 25 de abril de 1996, o jornal científico *Nature* publicou um artigo intitulado “High levels of genetic change in rodents of Chernobyl” (Baker, et al., 1996)– “Tradução: Altos níveis de modificações genéticas nos roedores de Chernobyl”. Os autores do artigo reportaram maiores níveis de modificações genéticas em roedores vivendo a 1 km de distância do reator acidentado que em roedores vivendo a 30 km de distância deste. Baker e colaboradores afirmaram que essas altas taxas de modificações genéticas deveriam ser causadas pela radiação dos materiais ali presentes após o acidente da usina de Chernobyl. Afinal, a radiação ionizante era a única “variável” introduzida no ambiente que diferenciava as duas amostras de roedores avaliadas.

As conclusões do referido trabalho estavam erradas. De fato, em 6 de novembro de 1997 os mesmos autores publicaram uma **retratação** no mesmo periódico *Nature*, “Retraction: High levels of genetic change in rodents of Chernobyl”, (Baker, et al., 1997), informando que a conclusão apresentada no artigo anterior estava errada. É que no 1º trabalho os autores utilizaram técnicas de sequenciamento sensíveis a erro humano. Quando repetiram o experimento com as mesmas sequências de DNA anteriores, mas utilizando técnicas automatizadas de sequenciamento, não conseguiram reproduzir os resultados anteriores.

Algum tempo depois os autores ainda verificaram que as espécies habitantes do entorno do reator eram diferentes das espécies distantes, (Chesser & Baker, 2006). Ou seja, os autores não fizeram um trabalho de classificação das espécies analisadas.

Discussão

O exemplo acima é simbólico da influência de pré-concepções (viés cognitivo) sobre a construção de uma teoria científica (R. J. Heuer, 1999). Inicialmente, Baker e seus coautores sabiam que altas doses de radiação causam mutações genéticas. Os pesquisadores supuseram que esse fenômeno ocorreria nos animais habitantes da região do entorno de Chernobyl. O motivo para tal hipótese é que os níveis de radiação ionizante na região aumentaram após o acidente nuclear. A preconcepção de que a radiação causa mutações genéticas fez com que os autores interpretassem suas observações experimentais como a confirmação de seus pressupostos. Baker e colaboradores deixaram de buscar outras explicações para o fenômeno que observaram: o aumento dos níveis de mutações genéticas em roedores vivendo no entorno do reator acidentado. Destarte, foi tratada como verdade científica o que deveria ser hipótese, isto é, que a radiação era a causa das mutações. Deve-se mencionar que esse pensamento sobre os efeitos da radiação é bastante comum e seria natural interpretar os dados a luz desta expectativa. Porém, havia um erro, que somente foi descoberto por uma estudante de doutoramento ao tentar reproduzir os resultados previamente publicados. A estudante não conseguiu fazê-lo pois utilizava uma nova tecnologia de sequenciamento de DNA que eliminava o viés dos pesquisadores.

Uma situação recorrente na sociedade contemporânea é extrapolar as conclusões de uma determinada teoria científica a regimes para os quais ainda não houve confirmação experimental. Embora essa estratégia mostrou-se bem-sucedida em diversas circunstâncias ao longo da história da ciência, é necessário alertar que, enquanto não há confirmação experimental, as extrapolações são apenas hipóteses. A alternativa, isto é, tratar como verdade a possibilidade, é uma prática da pseudociência, mesmo que construída a partir de uma teoria que “todo mundo” sabe ser correta em certas condições experimentais. Quando essas “verdades” chegam a influenciar a forma como uma pessoa interpreta os resultados de seus experimentos, não é demasiado afirmar que essa pessoa pode ter construído uma mitologia.

Bibliografia

Averbeck, D., 2009. Does scientific evidence support a change from the LNT model for low-dose radiation risk extrapolation?. *Health Physics*, Novembro, Volume 97, pp. 493 -- 504.

Baker, R. et al., 1996. High levels of genetic change in rodents of Chernobyl. *Nature*, 25 April, Volume 380, pp. 707-708.

Baker, R. et al., 1997. Retraction: High levels of genetic change in rodents of Chernobyl. *Nature*, 6 November, Volume 380, p. 100.

Chesser, R. K. & Baker, R. J., 2006. Growing up with Chernobyl. *American Scientist*, November, Volume 94, pp. 542 - 549.

E. Okuno, E. Y., 2010. *Física das Radiações*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Mattsson, S. & Nilsson, M., 2015. On the estimation of radiation-induced cancer risks from very low doses of radiation and how to communicate these risks. *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 165, pp. 17 -- 21.

R. J. Heuer, J., 1999. *Psychology of intelligence analysis*. 1 ed. Washington: CSI.

Ray McGinnis, M., s.d. *Rad Pro Calculator*. [Online]
Available at: <http://www.radprocalculator.com/>
[Acesso em 25 09 2015].

The Chernobyl Forum: 2003 - 2005, 2005. *Chernobyl's legacy: health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*, Vienna: International Atomic Energy Agency.

UNSCEAR, 2000. *Sources and effects of ionizing radiation*, Vienna: International Atomic Energy Agency.