

## BOMBA DE NÊUTRONS: O APOCALIPSE EM CONFETES<sup>(\*)</sup>

Bruno Vitale

*Este artigo estava já no prelo quando Reagan anunciou sua intenção de dar o sinal verde para a construção da bomba de nêutrons. Publicâmo-lo sem nada acrescentar como uma "chamada" à nossa memória e também como uma contribuição para que estejamos informados sobre o perigo que nos ameaça.*

Dizem que tudo começou com um grupo de físicos nucleares americanos no fim da guerra. Eles estavam com a cabeça cheia de idéias geniais e anteviam o perigo de não poder testá-las por causa da paz. O General L.R. Groves (responsável pelo Projeto Manhattan, ou seja, pela construção da primeira bomba atômica) parecia entendê-los bem:

"Acho que é preciso considerar a atitude de um pesquisador em 1945, no fim da guerra. Os pesquisadores eram exatamente como os soldados rasos. Os soldados diziam: a guerra acabou, quero tirar este uniforme e ir para casa. Os cientistas pensavam também da mesma forma: queriam ir embora, voltar à vida acadêmica, não trabalhar mais sob pressão... Mas aconteceu aquilo que eu já esperava: depois que gozaram sua liberdade por uns seis meses, começaram a ficar nervosos. Como é sabido, voltaram quase todos a fazer pesquisa para o Governo: era excitante demais. E acho que ainda é excitante"<sup>1</sup>.

Entre as idéias geniais que ferviam na cabeça dos melhores cientistas americanos (e imigrados: E.Teller, da Hungria; E.Fermi, da Itália, etc...), algumas acabaram por determinar a orientação tática e estratégica dos Estados Unidos no pós-guerra. As únicas armas nucleares construídas até então eram de fissão (urânio ou plutônio: Hiroshima e Nagasaki) mas, como relata J.R.Oppenheimer, já se estava pensando no futuro:

"Fiquei contente quando, na primavera de 1945, fui convidado - juntamente com Compton, Lawrence e Fermi - a fazer parte de um Comitê Consultivo sobre energia atômica. Reunimo-

---

(\*) Traduzido da Revista "Sapere", nº 840, julho, 1981, pág. 36/42. Tradução de Regina M.D. Kawamura.

-nos a 1º de junho de 1945. No período em que Hiroshima e Nagasaki foram bombardeadas, encontrávamo-nos em Los Alamos para delinear as perspectivas de desenvolvimento da energia atômica: cabeçotes atômicos para mísseis teleguiados, aprimoramento das bombas atômicas, desenvolvimento do programa termonuclear..."<sup>2</sup>.

O "programa termonuclear" significa a tentativa de construção de uma bomba de fusão (ou de uma bomba de fusão detonada por uma bomba de fissão). Tratava-se, portanto, da bomba de hidrogênio ou superbomba (ou ainda, *Super*, como era chamada afetuosamente pelos que trabalhavam em seu projeto).

E a menção a "cabeçotes (ogivas) atômicos para mísseis teleguiados" leva a se pensar já nas aplicações táticas das armas nucleares que vão conduzir, muitos anos mais tarde, à bomba de nêutrons.

O cenário sistematicamente previsto para a utilização destas armas nucleares táticas é a Europa. O projeto *Vista* (verão de 1951) esclarece os objetivos atribuídos aos cientistas que trabalhavam para os militares.

Oppenheimer, que participou ativamente dessas reuniões, explica: "Tratava-se de estudar a defesa da Europa... Continuavam a perguntar-me como seria possível utilizar armas atômicas neste contexto. O que nós procuramos fazer foi tentar esclarecê-los sobre como as armas atômicas poderiam ter utilizações diversas, não óbvias naquele tempo...: utilização dessas armas na defesa anti-aérea, seu uso para destruir aeroportos inimigos, tanto os vizinhos às fronteiras como aqueles distantes, localizados nas linhas estratégicas inimigas..., levando o átomo a realizar trabalho no campo de batalha e também no coração do país inimigo"<sup>3</sup>.

### Uma família sinistra

A primeira bomba de hidrogênio foi experimentada com sucesso em 1952. Desta forma, começava uma longa fase de grandes investimentos militares, visando explorar todas as possibilidades táticas e estratégicas das bombas de fusão e fissão.

Em particular, começava a se falar do interesse que teria uma arma somente de fusão (ou pelo menos, detonada por uma bomba de fissão com potência muito reduzida em relação à potência total), na qual os efeitos destrutivos sobre estruturas ma-

teriais (ondas de pressão, onda térmica) fossem reduzidos ao mínimo, enquanto os efeitos de irradiação devidos à emissão de nêutrons fossem maximizados.

Esta é, em linhas gerais, a chamada bomba de nêutrons (É claro, portanto, que não existe uma bomba de nêutrons, mas toda uma família de variações sobre o tema). De novo, são justamente os físicos mais geniais dos maiores laboratórios militares dos Estados Unidos que se transformam em vendedores ambulantes em favor da nova arma nuclear. Eles se deparam com militares um pouco cépticos, talvez, e fazem tudo que podem para convencê-los. H. Agnew, Diretor do Laboratório Científico de Los Alamos — (onde, juntamente com o Laboratório de Lawrence, em Livermore, se desenvolve a maior parte da pesquisa militar nuclear americana) — prestou depoimento diante do Comitê para a Energia Atômica, do Congresso Americano, em 1973. Deste depoimento, bastante censurado mas ainda compreensível, extraímos o trecho que se segue:

"Tem gente que prefere ver carros armados destruídos, ao invés de somente ver mortos seus ocupantes ... Naturalmente isto está sendo reconsiderado... Nós, em Los Alamos, temos um pequeno grupo de elite que mantém contato com pessoas fora do laboratório, militares, etc..., em vários encontros (think-tanks). Trabalham de forma agressiva, procurando influenciar o Departamento de Defesa em favor do uso dessas (censurado) armas"<sup>4</sup>.

Trata-se da bomba de nêutrons. Esse termo é duro e preocupante demais para alguns, que preferem um nome mais científico: arma de radiação reforçada (ERW: enhanced-radiation weapon)<sup>5</sup>. Mas, qualquer que seja a forma de designá-la, é uma arma que pode contribuir perigosamente no sentido de tornar a fronteira entre armas convencionais e armas nucleares cada vez mais incerta, e, portanto, a fazer com que se torne mais provável o uso de armas nucleares mesmo no caso de conflitos locais e limitados.

É interessante falar um pouco sobre a história da bomba de nêutrons e sua situação atual. A realização e produção em larga escala dessa nova arma impulsiona um impressionante conjunto de forças convergentes. Kaplan<sup>5</sup> enumera algumas: "...a Comissão de Energia Atômica, o Comitê de Energia Atômica do Congresso dos Estados Unidos, os laboratórios militares, alguns setores militares e a Divisão de Energia Atômica, nomeada pelo Secretário de Defesa".

A esses interesses é necessário acrescentar o interesse político dos Estados Unidos (e, como veremos, de outros países) em poder dispor de mais uma arma de chantagem contra tentativas de transformação revolucionária em qualquer parte do mundo onde houver interesses americanos em jogo (e que parte do mundo está imune a isso?).

É, portanto, essencial, embora bastante difícil, procurar encontrar os caminhos que permitam opor-se a um alargamento do controle global americano no mundo. Uma pequena contribuição nesse sentido pode ser a de procurarmos esclarecer a nós mesmos sobre o papel tático e político da bomba de nêutrons, partindo de um mínimo de informações técnicas, e procurando, também, analisar simultaneamente o papel que os cientistas e manipuladores profissionais da opinião pública vêm desempenhando neste último decênio para manter a estratégia do imperialismo.

#### A história da bomba de nêutrons

Parece razoável começar essa história em 1957. Nesse ano, um grupo de cientistas do Laboratório Lawrence, em Livermore, chefiados por Teller (sim, ele mesmo, o pai da bomba de hidrogênio, e que evidentemente prezava muito a necessidade de gerar outras filhinas), obteve um encontro com o então Presidente dos Estados Unidos, Eisenhower. Durante o encontro, os cientistas comunicaram ao presidente que dele dependeria a possibilidade de desenvolver uma nova arma nuclear capaz de produzir essencialmente radiação e, portanto, efeitos mortais sobre os seres humanos sem destruir bens materiais. J. Foster Dulles comentará mais tarde, a propósito deste encontro.

"A engenhosidade dos que servem ao país no campo da ciência e da engenharia militar hoje nos demonstra que é possível alterar o caráter das armas nucleares".<sup>6</sup>

Por alguns anos, os cientistas trabalharam em silêncio. Os militares não pareciam interessados em suas propostas: um relatório encomendado pelo Secretário de Defesa, McNamara, em 1960, conclui com um parecer negativo em relação ao uso tático de armas nucleares em caso de um conflito limitado à Europa<sup>5</sup>. Em 1961, o Bulletin of the Atomic Scientists publica uma nota sobre a bomba de nêutrons, de F.J. Dyson (físico de Princeton que colaborou com os militares por muito tempo)<sup>7</sup>. Dyson declara não

poder entrar no mérito dos aspectos técnicos porque "infelizmente", as normas de segurança militares não permitem que eu exprima com precisão minhas opiniões sobre essas questões".

Contudo, ele trata do problema de forma geral: pensamos que seja possível, de alguma maneira, construir bombas termonucleares puramente de fusão. Estamos pensando em uma bomba de hidrogênio pesado (Deutério): cada grama de Deutério queimada na reação poderá submeter a uma dose mortal de radiação todos que se encontrarem a menos de um quilômetro do lugar da explosão. Estas armas são militarmente úteis? Dyson conclui que não o são:

"Não acredito que as bombas de nêutrons sejam vantajosas para os Estados Unidos nem que possam simplificar nossos problemas militares. Ao contrário, as bombas de nêutrons, da mesma forma que as de hidrogênio, a longo prazo, só poderão complicar nossa vida, aumentar nossa insegurança e, talvez, facilitar nosso extermínio".

#### Onde colocar os "confetes"?

Apesar dessas manifestações em contrário, tanto por parte de alguns setores militares quanto de cientistas já vinculados à pesquisa militar, prosseguiram as atividades de pesquisa visando a produção de uma bomba de nêutrons, realizadas em laboratórios militares. Um protótipo experimental parece ter sido testado em 1963, nos Estados Unidos. Fala-se também que uma ogiva neutrônica de míssil (para o míssil Sprint) teria sido experimentada durante uma explosão subterrânea no inverno de 1977/78<sup>6</sup>. A situação, em 1978, era assim sintetizada por Kaplan<sup>5</sup>:

"Hoje, ogivas ERW (bombas de nêutrons) são construídas para mísseis Lance e para projéteis de artilharia de 200mm. E há também um projeto, embora ainda no estágio inicial, que prevê a construção de projéteis de artilharia de 155 mm.:

Pelo menos uma dessas ogivas foi testada, provavelmente em uma explosão subterrânea perto de Las Vegas... As novas versões de ogivas ERW para mísseis Lance terão duas potências que poderão ser pré-escolhidas apenas apertando alguns botões. A primeira, muito menor que 1 kt (quiloton: equivalente a 1000 toneladas de TNT; a bomba nuclear de Hiroshima tinha uma potên-

cia de cerca de 15 kt); a segunda, um pouco maior que 1 kt".

A 7 de abril de 1978, Carter declara que os Estados Unidos renunciam à produção em série de bombas de nêutrons; não renunciando, contudo, à construção de "seus elementos principais".

Mas, apenas parecia afastado o perigo da proliferação em larga escala das novas armas (pelo menos temporariamente), e eis que Giscard D'Estaing anunciava, em uma entrevista coletiva de 27 de junho de 1980:

"A França realizou experiências com bombas de nêutrons"<sup>8</sup>. E novamente o espectro dessas "pequenas" armas mortíferas ressurgiu ainda maior.

Vamos considerar alguns aspectos técnicos simples do problema. Obviamente, os detalhes de construção das bombas de nêutrons, tanto da americana quanto da francesa, não são conhecidos. Podemos fazer somente algumas afirmações simples que serão úteis depois para que se possa discutir o papel que esta nova arma nuclear desempenha na tática e estratégia militares.

A pesquisa, inicialmente, estava voltada para uma bomba de nêutrons de fusão.

"Se fosse possível desenvolver um método para desencadear uma explosão termonuclear (uma bomba de hidrogênio) sem utilizar uma bomba de fissão - ou seja, um método que não produzisse uma forte onda nem um despreendimento radioativo grande - então, seria possível construir bombas termonucleares tão pequenas quanto se quizesse. Seria possível fazer com que uma pequena bomba de hidrogênio explodisse a uma altura suficientemente grande, em relação ao alvo, de tal forma que seu efeito de choque fosse reduzido a valores insignificantes. A explosão produziria um fluxo de nêutrons de tal potência que destruiria os organismos, mesmo se defendidos por escudos protetores. Esta é a arma que tem sido atualmente bastante discutida como bomba de nêutrons"<sup>9</sup>.

Na realidade, em uma bomba de nêutrons (como realizada até agora) ainda coexistem a fusão e a fissão: a fissão para desencadear o processo de fusão, a fusão para produzir a maior parte da potência explosiva. Há, contudo, uma diferença fundamental entre as bombas normais de hidrogênio (que são também todas do tipo fissão-fusão) e as bombas de nêutrons. As primeiras (de hidrogênio) são envolvidas por uma "camisa" de Urânio-238, que

aumenta o poder explosivo e destrutivo da bomba, enquanto que dispensa-se essa camisa nas bombas de nêutrons, fazendo com que todos os nêutrons produzidos durante o processo de fusão contribuam para o efeito de radiação<sup>5</sup>.

### Um segredo de Polichinelo

Pesquisas vêm sendo realizadas no sentido de reduzir a percentagem da potência total que é relativa à fissão. Kaplan<sup>5</sup> menciona os seguintes valores: 50% fissão/50% fusão para projéteis de artilharia de 200 mm e 1 kt de potência; 40%/60% para as ogivas Lance; 25%/75% para os projéteis de artilharia de 200mm e 2 kt. Nestas bombas, cerca de 30% da energia total produzida pela explosão é irradiada sob forma de nêutrons velozes.

Para melhor descrever o mecanismo de fusão, que é a base das bombas de nêutrons, é preciso considerar alguns elementos essenciais do mecanismo da bomba de hidrogênio: como já foi mencionado, a bomba de nêutrons é somente uma variante particular da bomba de hidrogênio. Ainda que seja possível reconstruir as linhas essenciais a partir dos fenômenos básicos que são bem conhecidos, muitos detalhes técnicos permanecem ignorados.

Na base de um esforço de divulgação e de discussão sobre armas termonucleares há um problema que deve ser considerado. Para alguns, pode parecer inútil entrar em detalhes técnicos ("de qualquer forma, são coisas muito difíceis e não podemos compreender ou fazer com que sejam entendidas"). Para outros, ainda, pode parecer perigoso ("se o segredo da bomba de hidrogênio fosse tornado público, então poderia ser desenvolvido por qualquer país, Israel, Africa do Sul, etc...").

Mas, na verdade, os fenômenos básicos envolvidos são conhecidos e estudados em detalhe em muitos laboratórios do mundo. As possibilidades tecnológicas, em cada fase do desenvolvimento científico, são também do conhecimento daqueles que trabalham no campo. Os chamados "segredos atômicos" têm se demonstrado segredos de Polichinelo, se considerarmos que sua razão de ser está vinculada à preocupação em se evitar uma proliferação das armas termonucleares: em poucas décadas, Inglaterra, França e China descobriram independentemente esses "segredos".

Por outro lado, uma simples visão do conjunto de téc-

nicas e de fenômenos básicos que estão em jogo pode ajudar a acompanhar as escolhas que vêm sendo feitas a nível tático e estratégico, a compreender as razões de interesses militares imprevistos em relação a um certo setor de pesquisa ou de produção, a encontrar armas de discussão e de propaganda mais eficazes para opor-se ao contínuo bombardeio de sugestões em favor de um "guarda-chuva defensivo tático-nuclear". Por estas razões, antes de passar a uma análise mais detalhada deste perigo so bombardeio ideológico, apresentamos um mínimo de detalhes técnicos sobre a bomba de hidrogênio (Apêndice 1, fig. 1 e 2) e sobre a bomba de nêutrons (Apêndice 2, fig. 3).

Uma análise das figuras e a compreensão dos mecanismos descritos nos dois apêndices esclarece a diferença fundamental da bomba de nêutrons em relação tanto a bombas atômicas tradicionais (de fissão) como a bombas de hidrogênio (de fusão) com alta potência destrutiva.

Em situações ótimas, 80% da energia disponível a partir da explosão é irradiada sob forma de nêutrons extremamente velozes (de cerca de 14 milhões de eletronsvolts) e, portanto, extremamente penetrantes.

A ausência de uma casca refletora de Urânio-238 garante que a bomba de nêutrons (se assim o preferirem os militares) possa ser uma bomba limpa: produzindo pouco desprendimento radioativo no fungo atômico após a explosão. A pequena intensidade da bomba de fissão usada como detonadora (Urânio-235 ou Plutônio-239) garante uma onda de choque e de calor limitada e certamente muito inferior àquela associada a explosão de uma bomba termonuclear convencional (como a discutida no Apêndice 1, de cerca de 300 kt).

O que nos interessa, naturalmente, são os efeitos sobre o homem. Os nêutrons velozes, de fato, atravessariam não só couraças de carros armados mas também as casas, os refúgios tradicionais... e o corpo humano. Os militares (e seus propagandistas) costumam fazer o confronto entre os efeitos de uma bomba atômica convencional (de fissão) e os efeitos de uma bomba de nêutrons de igual potência. Como exemplo, consideremos uma bomba atômica de 1 kt (isto é, como vimos, o equivalente em energia total liberada por 1000 toneladas de TNT). Se a bomba for de fissão, qualquer pessoa que se encontre em um raio de 375 m do ponto de explosão será exposta a pelo menos 8000 rads <sup>16</sup> de

radiação: dose capaz de tornar um indivíduo inerte até a morte, morte esta que ocorrerá alguns dias mais tarde). Se a bomba fôr de nêutrons, este ralo aumenta para 850 m, enquanto que a destruição física das estruturas no solo (casas, ferrovias, canais...) é muito menor do que a provocada por bombas de fissão.

Diz-se que estamos diante da mais extraordinária arma capitalista: salva as coisas, destrói as pessoas!

Eis, portanto, o cenário preparado pelos militares para o uso tático da bomba de nêutrons: uma espécie de linha Magi not neutrônica, criada por uma série de explosões (a cerca de 500 m de altura) de pequenas bombas de nêutrons (de 1 kt). Naturalmente, com isso, seriam mortos não somente os soldados nos carros armados mas também toda a população civil que habitasse na zona; seria preciso evacuá-la ou colocá-la em abrigos subterrâneos...

### A propaganda pró-bomba

Os custos de uma reconversão da tática e estratégia nucleares no sentido de uma produção em larga escala de bombas de nêutrons e da elaboração dos dispositivos para sua utilização são assustadores. Kaplan<sup>5</sup> estima que um único projétil de artilharia de bomba de nêutron custaria cerca de um milhão de dólares. Embora seja difícil fazer estimativas precisas, as ordens de grandezas dos custos são suficientes para horrorizar qualquer um. Os interesses do complexo militar-industrial-científico nos Estados Unidos, na França, e provavelmente também em outros países (é muito pouco conhecida a situação dessas bombas na União Soviética), procuram descarregar essas despesas insensatas na pele dos cidadãos contribuintes. Para isso, precisam vender bem sua mercadoria: precisam de jornais e jornalistas que criem uma nova onda de histeria, uma nova necessidade popular pela bomba.

Cientistas não faltam. Há já bastante tempo, Teller era habilíssimo neste tipo de propaganda.

"É possível imaginar a realização de uma bomba de nêutrons num futuro não muito distante?... São necessárias certas idéias brilhantes para resolver este problema. Mas faz já quatro anos que E. Teller e seus colegas do Laboratório Lawrence, em Livermore, andam dizendo por aí que têm idéias prometedoras

para a solução<sup>9</sup>.

Através do silêncio do segredo militar surgiu, agora, um pai da bomba de nêutrons - S.T.Cohen - físico nuclear, pesquisador do Laboratório Lawrence, em Livermore.

Este cientista, juntamente com um coronel francês, M. Geneste, publicou um livro, "Xeque-mate na Guerra"<sup>10</sup>, em que conta a história de sua filha predileta (justamente a bomba de nêutrons). Ele propõe planos estratégicos para a Europa e apresenta os aspectos humanitários de uma guerra tática à base de bombas de nêutrons.

### O papel dos mass media

Mas um livro apenas não é o suficiente para uma propaganda bem orquestrada. É preciso também o ataque da imprensa. De fato, depois de poucos meses foi possível ler nos jornais franceses:

J.Cohen: Proclamação em defesa da bomba de nêutrons: I - "As muralhas da cidade"; II - Uma nova e estranha forma de guerra<sup>11</sup>.

G.Buis: Os nêutrons fazem a barreira<sup>12</sup>.

D.D.Montvillon: A bomba de nêutrons - um dossier "quente"<sup>13</sup>.

J.Cau: Viva a bomba de nêutrons! E se esta for nossa única esperança para escapar do holocausto?<sup>14</sup>.

J.Cressard: A bomba de nêutrons é necessária<sup>15</sup>.

As argumentações são mais ou menos as mesmas, mal copiadas do livro de Cohen e Geneste ou dos artigos de Cohen: autonomia para a França, defesa da Europa Ocidental, ameaça de uma avalanche de carros armados soviéticos, aspectos humanos de uma "estranha e nova forma de guerra" que destrói somente os combatentes (desde que todos os demais estejam tranquilos em abrigos subterrâneos!) e limita ao máximo destruições materiais. Nada é dito acerca dos custos e muito pouco sobre os perigos que ameaçam a população civil. (Mas, sobre isso, basta ver os inúmeros anúncios publicitários que apareceram na França nos últimos meses, fazendo propaganda de refúgios familiares anti-bomba sob piscinas...). Também nada é mencionado sobre os riscos de retorno nuclear. E absolutamente nada sobre o aspecto essencial do problema: quem tem interesse nessa onda de histeria? Quem pres-

siona no sentido de um investimento maciço na produção em larga escala de bombas de nêutrons? E, finalmente, qual o papel desempenhado pelos Estados Unidos (eventualmente através de Cohen) em todo esse concerto bem orquestrado?

Depois de ter lido todo esse material de propaganda, onde a opinião pública é intencionalmente manipulada, reli com uma certa ironia (surpreso pela minha ingenuidade) um trecho de um velho artigo de Dyson, de 1961<sup>7</sup>:

"Um Comitê de Cientistas poderia dizer corretamente: "Não temos necessidade de bombas de nêutrons. Os mesmos resultados podem ser igualmente obtidos com bombas do tipo antigo". Mas as pessoas desprezariam o conselho dos cientistas. A importância da bomba de nêutrons dependeria, então, da mesma forma que ocorreu com a bomba de hidrogênio, do fato de ser tecnicamente um sintoma e politicamente um símbolo. Tecnicamente, a bomba de nêutrons seria um sintoma de um certo progresso no campo nuclear... Politicamente, essa bomba seria um símbolo, aos olhos do mundo, de poder militar".

Parece que Dyson não acredita que a opinião pública possa ser manipulada por quem tem interesse e poder em criar sintomas e símbolos. O exemplo da França é bastante significativo: a opinião pública é hipnotizada por campanhas de imprensa homogêneas, coerentes, repetitivas e obsessivas. E, no final, é preciso que sejamos nós a perguntar bem alto - onde estão nossos sintomas símbolos quotidianos.

Este artigo pretende ser uma pequena contribuição para a produção dos antídotos necessários<sup>17</sup>.

#### BIBLIOGRAFIA E NOTAS

- (1). Depoimento de L.R.Groves no processo Oppenheimer, em "In the matter of J.R.Oppenheimer", MIT, Cambridge, Ma, 1971, p. 178.
- (2). Carta de J.R.Oppenheimer ao General K.D.Nichols, em nota 1, pag. 14.
- (3). Depoimento de J.R.Oppenheimer, idem nota 1, pag. 48.
- (4). "Physicists try to forget Vietnam while producing the neutron bomb", New Scientist 22, setembro 1977.
- (5). F.M.Kaplan, "Enhanced-radiation weapons", Scientific American, vol. 238, nº 5, 1978.

- (6). J.B.Margeride, "L'arme à effets de radiation renforcés", Stratégique, nº 3, pag. 99, 1979. Este artigo é o primeiro de uma série que continua no Stratégique nº 4, 5 e 6. Por cópias destes artigos e de outros citados nas notas 11-15, agradeço a André Gsponer, do GIPRI (Geneva International Peace Research Institute - 41, rue de Zurich, CH-1201, Genève, Suíça), por ter preparado e distribuído interessante bibliografia sobre a bomba. Ver também: "Scientists must oppose the neutron bomb and all military research", Science for the People, vol.9, nº 6, pag.17, 1977. E ainda: o número dossier sobre a bomba de nêutrons do Cahiers Galilée, nº 41, setembro de 1978.
- (7). F.J.Dyson, "The neutron bomb", Bulletin of the Atomic Scientists, pag.271, setembro de 1961.
- (8). Le Monde, 27 de junho, 1980.
- (9). "Neutron bomb: how, why, when?", Bulletin of the Atomic Scientists, pag. 297, setembro de 1961.
- (10). S.T.Cohen e M.Geneste, "Echec à la guerre", Ed. Copernic, Paris, 1980.
- (11). S.Cohen, "Plaidoyer pour la bombe à neutron", Le Monde, 16/17 de abril, 1980.
- (12). G.Buis, "Les neutrons font le mur", Le Nouvel Observateur, 5 de maio, 1980.
- (13). D.De Montvillon, "Bombe à neutron: le dossier chaud", Le Point, 2 de junho, 1980.
- (14). J.Cau, "Brave bombe N!", Paris Match, 27 de junho, 1980.
- (15). J.Cressard, "Pour quelle politique? II - La bombe à neutron s'impose", Le Monde, 9 de fevereiro, 1980.
- (16). O rad e o rem são duas unidades de medida das doses de radiação absorvidas. O rad corresponde à medida da energia absorvida por uma grama de substância irradiada, independentemente da natureza da radiação (raios  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ou nêutrons), e é usada frequentemente pelos militares. O rem, ao contrário, leva em conta os efeitos biológicos que as radiações de natureza diferente provocam sobre o organismo humano. Portanto, para medir correta e completamente as consequências da radiação, é necessário utilizar o rem.
- (17). Sobre o debate acerca da bomba de nêutrons na Itália, iniciado em 1978, ver: N.A.Maffli, "Bomba A, H, N, la storia è sempre la stessa", Quotidiano dei lavoratori, 1º de fe-

vereiro, 1978. Este artigo foi precedido por uma breve nota no mesmo jornal (11.1.1978) sob o título: "La Strategia della bomba al neutrone". Mais tarde, o Quotidiano dei lavoratori publicou outra nota (24.10.1978): "Una bomba da disinnescare". Recentemente, P. Violino (Istituto di Fisica, Univ. di Pisa) escreveu para publicação em La Fisica nella Scuola um artigo detalhado e bastante técnico: "La bomba a neutroni" (junho de 1980, em publicação).

## APÊNDICE I

### Como funciona uma bomba de hidrogênio

O esquema aqui descrito foi reconstruído por Morland, que utilizou-se essencialmente de informações publicadas, ainda que de forma fragmentária e muitas vezes irreconhecíveis, em revistas especializadas americanas, em documentos oficiais e "unclassified" (não mais sujeitos a segredo militar), e em relatórios e projetos para acionistas das maiores indústrias bélicas e laboratórios militares americanos. Trata-se, como afirma o autor, de um mosaico de informações diversas, muitas vezes não compatíveis diretamente. A reconstrução do esquema de funcionamento da bomba é, portanto, hipotética. Mas, paradoxalmente, a maior garantia de que este esquema está substancialmente correto foi dada pelo próprio governo americano. A revista que encomendou o artigo a Morland (o "Progressive", de Madison, Wisconsin), antes de publicá-lo, enviou uma cópia do mesmo para a Comissão de Energia Atômica. Isso foi feito com a intenção de obter um parecer sobre a credibilidade das informações e, eventualmente, correções do ponto de vista técnico. Mas o que a editoria da revista recebeu, através de um Tribunal Federal, foi uma intimação suspendendo a publicação do artigo, sob alegação de que estaria lesando segredos militares. Somente depois de vários meses de batalha jurídica, o "Progressive" conseguiu a publicação do artigo, embora permaneçam ainda hoje ameaças de eventuais sanções.

O esquema que será descrito refere-se a uma bomba de hidrogênio de cerca 300 kt. Destes, 40 são produzidos durante a explosão de uma bomba atômica (isto é, bomba de fissão), 130 durante o processo de fusão de isótopos pesados do hidrogênio (Deu

tério e Trítio) e, finalmente, outros 130 durante o processo final de fissão da estrutura externa de Urânio-238.

As dimensões externas da bomba parecem ser as de um paralelepípedo de cerca 150 cm x 50 cm x 50 cm, o que, segundo Morland, permite que ela "possa estar guardada comodamente embaixo da sua cama". E poderia destruir uma grande cidade e toda sua periferia!

Vejamos, primeiro como funciona o sistema primário, isto é, a bomba de fissão que detona a bomba de hidrogênio (fig.1).

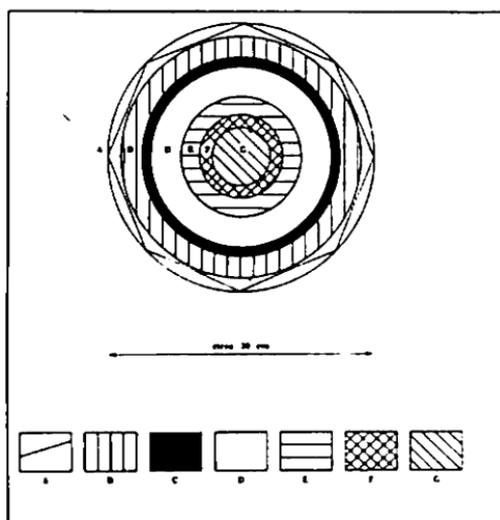


Figura 1. Esquema do sistema primário (detonador tipo bomba de fissão) de uma bomba de hidrogênio, composta por (A) explosivo convencional, (B) Berilo, (C) Urânio-238, (D) vácuo, (E) Urânio-235, (F) Plutônio-239, (G) Núcleo de vácuo ou eventualmente de deutereto de Lítio-6.

Trata-se de uma esfera, do tamanho aproximado de uma bola de futebol, composta por várias camadas: uma camada externa (A) de explosivo convencional, seguida por outra de Berilo (B) e mais uma de Urânio-238 (C). Há, então, um espaço com vácuo, de alguns centímetros, envolvendo o material físsil, este também distribuído em camadas: uma de Urânio-235 (E) e outra de Plutônio-239 (F). A esfera central poderia ser de vácuo ou, para uma

maior eficiência, poderia conter uma pequena quantidade de deutereto de Lítio-6 (que é um composto do Lítio-6 com o Deutério ou Hidrogênio-2, isto é, hidrogênio pesado).

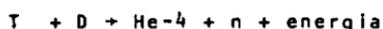
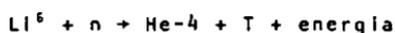
As funções dessa bomba detonadora são múltiplas: fornecer uma parte da potência explosiva total, prover o fluxo de radiação que comprimirá o material onde vai ocorrer a fusão (no sistema secundário, que será discutido depois) e tornar físsil pelo menos parte do Urânio-238. Essas operações são realizadas através do seguinte mecanismo:

(1) É desencadeada a explosão: as camadas esféricas de Berilo e Urânio-238 são projetadas em direção ao centro da esfera, adquirindo velocidade no espaço com vácuo que as separa do centro físsil e atingindo esse centro com altíssima velocidade, comprimindo-o.

(2) A compressão do centro físsil leva a um aumento considerável de sua densidade (pelo menos o dobro). Com isso, o Urânio-235 e o Plutônio-239 atingem a massa crítica (que depende inversamente do quadrado da densidade) e tem início o processo de fissão. Nesse processo, os núcleos dos átomos pesados de urânio e plutônio, sob a ação dos nêutrons, se dividem em núcleos menores produzindo energia e mais outros nêutrons (numa média de 2,5 nêutrons por reação). Uma parte dos nêutrons produzidos se dispersa (mas a camada externa de berilo funciona como espelho para os nêutrons, limitando as perdas), enquanto outra parte desencadeia outros processos de fissão e, assim por diante, uma reação em cadeia que conduz à fissão de grande parte do Urânio-235 e Plutônio-239 presentes, com a produção de cerca de 40 kt de energia.

(3) No caso em que a esfera central (mais interna) for de vácuo, o processo termina nesse estágio, com a explosão das camadas externas (de Berilo e Urânio-238) e com a emissão de uma enorme quantidade de energia, sob forma de onda de choque e radiação eletromagnética. Se, ao contrário, a esfera central for preenchida com deutereto de Lítio-6, um primeiro processo de fusão é desencadeado pela enorme compressão e pelos nêutrons produzidos. O Lítio-6 absorve um nêutron, transformando-se em Hélio-4 e Trítio (ou seja, hidrogênio-3 ou hidrogênio superpesado). O trítio produzido, por sua vez, interage com o deutério presente no deutereto de Lítio-6 produzindo um átomo de Hélio-4 e um nêutron. Ambos estes processos produzem energia e, também

neste caso, o nêutron resultante pode desencadear um novo ciclo do processo em cadeia: Lítio-6 + Trítio + Lítio-6... conduzindo à fusão grande parte do material fusível e também produzindo energia. Escrevendo essas reações em fórmulas:



Esse processo não conduz, porém, à produção de nêutrons (uma vez que estes são reabsorvidos para continuar o ciclo) e, então, como veremos, este mecanismo não pode ser utilizado para as variantes das bombas de hidrogênio denominadas como bombas de nêutrons.

Vejamos agora como funciona o sistema secundário, isto é, a bomba de hidrogênio propriamente dita, e como o sistema secundário é detonado pelo sistema primário (fig.2). O cilindro central (G) é de deutereto de Lítio-6 (um material sólido, como uma espécie de cerâmica) encapsulado em uma câmara de expansão (H) que o separa e isola da camada externa de Urânio-238 (I). Os dois sistemas, o primário e o secundário, são dispostos a uma distância de cerca de 50 cm e encapsulados num vaso de contenção externo de Urânio-238 (L). O mecanismo posterior de explosão da bomba pode, então, ser descrito através dos seguintes processos:

(4) A radiação proveniente da explosão do sistema primário é refletida pelas paredes internas do recipiente (L) e exerce uma enorme pressão sobre o sistema secundário que atira a camada externa de Urânio-238 (I), através da câmara de expansão (H), sobre o cilindro de material fusível (G). Esta radiação atinge o sistema secundário apenas alguns milionésimos de segundo antes da onda de choque que destrói tudo que encontra. É, portanto, necessário que o processo de fusão seja desencadeado e se desenvolva antes que a onda de choque o atinja. O segredo técnico da bomba de hidrogênio parece residir essencialmente na construção do refletor de radiação constituído pelo Urânio-238 (L). As paredes do recipiente devem focalizar ao máximo a radiação sobre o sistema secundário, favorecendo-lhe a compressão e o aumento de temperatura.

(5) No sistema secundário assim constituído, a onda de radiação produz um aquecimento de milhões de graus, desenvolvendo-se então, o processo de fusão como descrito no item 3. Essa fase produz cerca de 130 kt de energia.

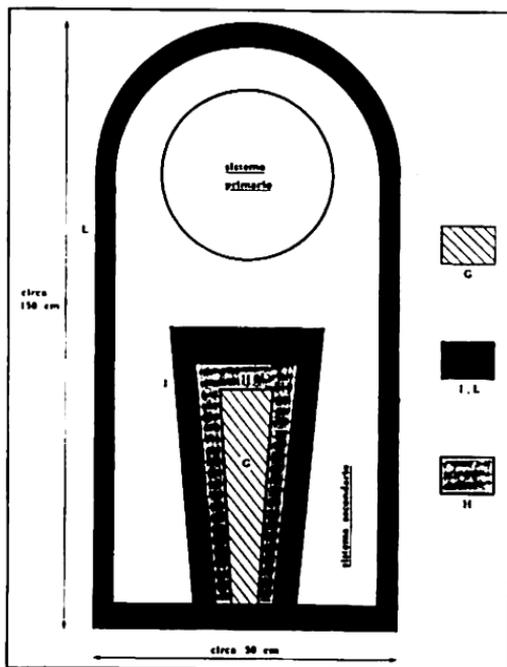


Figura 2. Esquema de uma bomba de hidrogênio com seu sistema primário (apresentado em detalhes na figura 1) e sistema secundário, contendo na coluna central o material passível de fusão, (G - deutereto de Lítio-7) isolado do restante pela câmara de expansão (H). Todo este conjunto é envolvido por um revestimento refratário de Urânio-238 (I e L).

(6) Por outro lado, sob ação da intensa radiação neutrônica proveniente das duas explosões (de fissão e fusão), ocorre a fissão de todo o Urânio-238 presente na bomba (no sistema primário (C), no secundário (I) e no recipiente externo (L)). Esta terceira explosão contribui com outros 130 kt da potência total. Além disso, contribui de forma determinante para a dispersão de substâncias radioativas sobre centenas de quilômetros quadrados em torno do lugar da explosão.

Ainda que a função principal do Urânio-238 na bomba de hidrogênio seja a de refletir e concentrar a radiação proveniente da explosão do sistema primário, sua contribuição ao fall-out (fungo atômico) durante a fase final da explosão é predominante.

Uma das vantagens deste esquema é a de evitar a utilização de Trítio (que, como veremos no apêndice 2) é necessário na confecção da bomba de nêutrons. O Trítio é radioativo, com vida média de pouco mais de dez anos, sendo necessário, então, recarregá-lo periodicamente para substituir a parte já desintegrada. Mas o trítio é raro na natureza, ao contrário do deutério, conhecido por sua abundância. Ele é geralmente produzido a partir do Lítio-6 por bombardeamento de nêutrons (ver reação descrita no Item 3), mas também o Lítio-6 é raro e caríssimo.

## APÊNDICE 2

### Como funciona uma bomba de nêutrons.

Se é difícil propor com segurança um esquema de construção para uma bomba de hidrogênio (apêndice 1), isso é ainda mais difícil no caso da bomba de nêutrons: as informações sobre esse assunto são escassas. Contudo, é possível sugerir alguns esquemas plausíveis, um dos quais será aqui descrito brevemente.

A função essencial de uma bomba de nêutrons (em contraposição a uma bomba normal de hidrogênio) é a de limitar ao máximo os efeitos da onda de choque e da radiação eletromagnética (ou seja, limitar ao máximo a contribuição dos processos de fissão na detonação da bomba) e os efeitos do fall-out radioativo (ou seja, a presença de urânio-238). Ao mesmo tempo, deve propiciar um aumento da produção de nêutrons velozes, altamente energéticos e penetrantes (podendo atravessar couraças de carros armados, etc...). Para obter esses resultados, como vimos, a reação de fusão do deutereto de lítio-6 não pode ser utilizada. Nessa reação, os nêutrons produzidos são necessariamente absorvidos para que o processo em cadeia possa prosseguir.

Pensamos, então, que possa tratar-se de uma bomba de fissão-fusão como apresentada na figura 3. Trata-se ainda de uma esfera, maior que a da figura 1, formada também de camadas: uma camada externa (A) de explosivo convencional, outra de berilo (B) que, como vimos, funciona como espelho para os nêutrons. Depois, o material fissil: uma camada de Urânio-235 ou Plutônio-239 (C). A esfera central contém uma mistura de Deutério e Trítio (D). Nesse caso, a explosão se desenvolve na seguinte se-

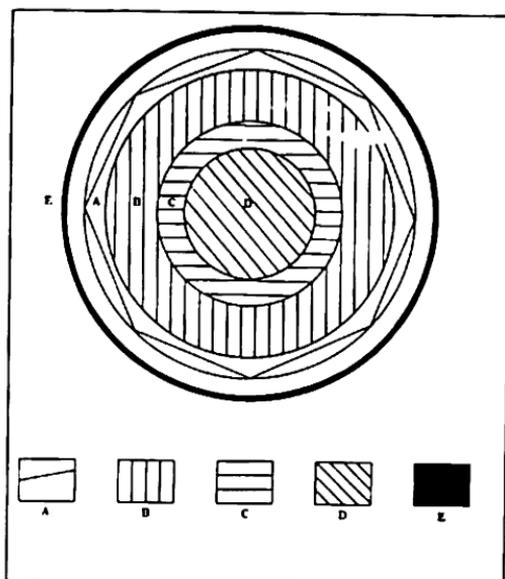


Figura 3. Esquema possível de uma bomba de nêutrons, sendo: (A) explosivo convencional, (B) - Berilo, (C) - Urânio-235 ou eventualmente Plutônio-239, (D) - mistura de Deutério e Trítio, (E) possível revestimento refletor (Tungstênio?).

quência:

- 1 - É detonada a explosão: a camada esférica de Berilo é projetada em direção à camada de Urânio-235 ou Plutônio-239. Sendo esta, então, fortemente comprimida.
- 2 - A massa físsil do Urânio-235 ou Plutônio-239 atinge as dimensões críticas de densidade. Com isso, tem início um processo de fissão, com a liberação de uma grande quantidade de energia. A esfera interna de material fusível é, dessa forma bastante aquecida e comprimida.
- 3 - Na esfera interna de material fusível se desencadeia um processo de fusão:
 
$$D + T + He - 4 + n + \text{energia}$$
 O nêutron resultante desta reação é de energia muito alta. (Cerca de 14 milhões de eletronsvolts). Parte dessa energia é

consumida como energia de recuo do átomo de hélio, mas estima-se que cerca de 80% da energia disponível como resultado da explosão é emitida sob forma de nêutrons velozes.

- 4 - Todo o sistema é eventualmente encapsulado em uma esfera (E) que deve refletir a radiação. Essa reflexão, contudo, não pode ser mais obtida por uma camada de Urânio-238, como no caso da bomba de hidrogênio convencional. Imagina-se que esse envólucro externo seja feito de Tungstênio ou talvez ainda de Rênio.

O esquema aqui proposto satisfaz os requisitos necessários a uma bomba de nêutrons: quase toda a energia disponível deve ser irradiada sob forma de nêutrons velozes e penetrantes: o fall-out radioativo é reduzido, o que implica em contaminação ambiental a longo prazo também reduzida a onda de choque e de calor, dado o peso relativo pequeno dos processos de fissão, também é menor. Além disso, parece que as dimensões e, portanto, a potência deste modelo sejam bastante flexíveis, reduzindo ao mínimo (para as armas táticas) a potência da bomba atômica detonadora e também a quantidade de material passível de fusão.

A desvantagem reside na utilização do Trítio que, como já explicamos, por ter uma vida média relativamente curta, deve ser continuamente recarregado nas armas já armazenadas e nos mísseis nucleares. O desenvolvimento (por enquanto ainda experimental) da bomba de nêutrons, vem resultando em intensas pesquisas visando uma produção maior de Trítio e com menor custo. Os Estados Unidos reativaram um velho reator já fora de uso para procurar utilizar seu alto fluxo de nêutrons na produção do Trítio, a partir do Lítio-6. Na França, as pesquisas no campo da fusão nuclear (que são sempre apresentadas como motivadas pela necessidade de controlar os processos termonucleares - de fusão - visando obter energia a baixo custo e isenta de sub-produtos radioativos) passaram a ser controladas pelos militares, a partir de um decreto nesse sentido de 8 de abril de 1980. Os processos de fusão induzidos por lasers estimularam subitamente a atenção e o financiamento dos militares. Existe já todo um complexo subterrâneo da rede militar-industrial-científica amplamente a serviço da elaboração e mais tarde da produção em larga escala - da bomba de nêutrons.