

Hiroshima 70 anos



# A gênese da bomba

JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO<sup>1</sup>

## Introdução

**H**Á CONTROVÉRSIAS sobre os motivos que levaram o então recém-empossado presidente dos Estados Unidos, Harry Truman, a autorizar o lançamento de uma bomba atômica sobre Hiroshima no dia 6 de agosto de 1945, isto é, depois da rendição da Alemanha às forças aliadas e mesmo havendo indícios de que os japoneses fariam o mesmo.

Teria sido uma forma de abreviar o fim da guerra e poupar a vida de mais soldados americanos e civis japoneses? – ou seria uma estratégia para intimidar os soviéticos, no contexto das tensões que começavam a surgir entre as duas grandes potências que emergiram da Segunda Guerra Mundial? – Ou simplesmente uma vingança pelo ataque a Pearl Harbor, que feriu o orgulho dos militares norte-americanos, para os quais apenas a derrota do Japão não seria suficiente? – Nesse caso, talvez sem ter refletido serenamente sobre a destruição indiscriminada e a mortandade de civis inocentes, que decerto causaria a explosão de um artefato nuclear numa cidade, o presidente da nação mais poderosa do mundo, empossado no cargo em 12 de abril, tomou, em 6 de agosto, uma decisão com peso de crime contra a humanidade.

Seja como for, pode-se dizer que a bomba lançada sobre Hiroshima foi um dos frutos do massivo êxodo de cientistas europeus que, escapando a perseguições políticas e religiosas, emigraram para os Estados Unidos depois de 1933, contribuindo para enriquecer bem depressa o cabedal técnico-científico norte-americano, que já era considerável.

## O nascimento da física moderna

Até meados do século XX, a Europa esteve no centro da criação científica mundial. A física clássica – ou mecânica clássica – tinha alcançado o máximo desenvolvimento no final do século XIX. O progresso das telecomunicações e das ferrovias – e a proximidade geográfica – favoreciam a cooperação entre os centros de pesquisa europeus e facilitavam a troca de informações entre os pesquisadores, em proveito da criação científica.

Na virada do século XIX para o século XX, cientistas como Henri Becquerel, Marie Curie e Henri Poincaré, em Paris; J. J. Thompson, Ernest Rutherford e Frederick Soddy, em Cambridge; Hendrik Lorentz e Pieter Zeeman, em Amsterdã; Arnold Sommerfeld, em Munique; Max Planck e Albert Einstein, em Berlim, foram abrindo novos horizontes para a física, com a descrição do elétron e do núcleo atômico; a relatividade especial e a descoberta dos “quanta”.

Lorentz questionava a relatividade de Galileu e formulava as transformações básicas da teoria especial da relatividade (Lorentz, 1899).

Em 1898, Poincaré dava uma interpretação física para o conceito de tempo local na mecânica clássica (Poincaré, 1898) – e, em 1900, entrevia uma equivalência entre massa e energia (Poincaré, 1900). Ainda em 1900, Planck postulava que a radiação emitida por um corpo aquecido compõe-se de *quanta*, ou “pacotes”, com energia proporcional à frequência da radiação. Em junho de 1905, Einstein formulava a teoria especial da relatividade (Einstein, 1905a) e, em setembro do mesmo ano, explicava a equivalência entre massa e energia por uma argumentação que podia ser sintetizada na expressão  $E = mc^2$  (Einstein, 1905b), que ficou famosa no mundo inteiro, principalmente depois da bomba de Hiroshima.

Em 1911, bombardeando uma finíssima folha de ouro com partículas alfa (núcleos de hélio), Rutherford formulava a hipótese de que o átomo compõe-se de um núcleo, em torno do qual circulam elétrons.

Os trabalhos de Lorentz, Poincaré, Planck, Einstein e Rutherford exerceram grande influência sobre a comunidade dos físicos e estimularam uma intensa e frutífera cooperação entre os principais centros de pesquisa europeus, graças à qual a física experimentou o rápido avanço, que afluiu na chamada *física moderna*.

Nas primeiras décadas do século XX a física nuclear e a físico-química estavam em seus primórdios e Berlim era um de seus principais redutos. Além de Planck e Einstein, ali trabalharam físicos e químicos dos mais importantes da época, tais como Wilhelm Wien, Max von Laue, Philipp Lenard, Walther Nernst, Wilhelm Ostwald, Emil Fischer e Jacobus van't Hoff, entre outros galardoados com o Prêmio Nobel.

Cientistas contemporâneos ou pouco posteriores a esses deram continuidade aos seus trabalhos, na própria Alemanha e em outros países. Aí destacaram-se – além dos alemães Max Born, Werner Heisenberg, Walther Gerlach, Otto Stern, Carl Friedrich von Weizsäcker, Otto Hahn, Pascual Jordan; Hans Jensen, Hans Bethe, Gregor Wentzel, James Franck, Rudolf Peierls e Friedrich Houtermans – dezenas de físicos e químicos, dentre os quais podemos lembrar os franceses Francis Perrin, Louis de Broglie, Frédéric Joliot, Irène Curie, Pierre Auger e Léon Brillouin; os ingleses James Chadwick, John Cockcroft, Patrick Blackett, Ernest Walton e Paul Dirac; os austríacos Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Lise Meitner, Otto Frisch e Victor Weisskopf; os italianos Enrico Fermi, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Ettore Majorana e Bruno Pontecorvo; os holandeses Petrus Debye, Hans Kramers, George Uhlenbeck e Paul Ehrenfest; os soviéticos, Georgi Gamow, Lev Landau e Piotr Kapitza; os húngaros Leo Szilard, Eugene Wigner e Edward Teller; os suecos Hannes Alfvén e Oskar Klein, e o suíço Felix Bloch.

No decorrer das décadas de 1920 e 1930, o modelo atômico de Rutherford foi reformulado por Bohr e Sommerfeld – e, posteriormente, revisto por

Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Dirac, Pauli e Fermi, cujos trabalhos deram origem ao modelo atômico aceito até os dias de hoje.

Na Inglaterra, em 1932, Chadwick comprovou a existência do nêutron.

Em 1934, os franceses Frédéric e Irène Joliot-Curie produziram radioatividade artificial, pelo impacto de partículas alfa em átomos de alumínio. Nesse mesmo ano, o italiano Enrico Fermi bombardeou núcleos de urânio com nêutrons, gerando energia.

### **A era atômica**

Em dezembro de 1938, os químicos Otto Hahn e Fritz Strassmann irradiaram núcleos de urânio natural (mistura de U-238 e de U-235) com nêutrons “lentos” (isto é, com energia indo de 1 eV até 500 keV), esperando obter elementos mais pesados.

Em vez disso, obtiveram isótopos de bário (massa atômica =  $\sim 137$ ), de criptônio (massa atômica =  $\sim 83$ ) e de outros produtos, liberando energia, o que confirmava a experiência de Fermi.

Em janeiro de 1939 o achado de Hahn e Strassmann foi publicado pela revista *Die Naturwissenschaften*, na forma de comunicação original. Lise Meitner, colaboradora de Hahn, mediu a intensidade da energia emitida na experiência e deu ao fenômeno o nome de fissão. Em seguida elaborou, em colaboração com Otto Frisch, uma interpretação teórica da experiência de Hahn e Strassmann, que foi publicada pela revista inglesa *Nature*, em fevereiro de 1939.

Em abril de 1939, Frédéric Joliot e seus colaboradores detectaram a liberação de nêutrons em reações de fissão e previram que seria possível desencadear uma reação de fissão em cadeia, mediante o bombardeio de núcleos de urânio com nêutrons. Esse trabalho também foi publicando pela *Nature*, pouco depois da publicação de Lise Meitner e Otto Frisch.

Tais publicações contribuíram muito para estreitar a cooperação entre os principais centros de pesquisa europeus, no campo da física nuclear. Em pouco tempo, o fenômeno da fissão foi unanimemente assimilado e aceito pelos físicos, daí a profusão de trabalhos sobre o assunto, publicados na época. Até então as pesquisas em física nuclear tinham por objetivo o conhecimento da estrutura da matéria.

Logo depois da descoberta de Hahn e Strassmann, o físico Georg Joos, da Universidade de Göttingen, fez um relatório sobre o achado, para o Ministério da Educação do Reich, ao qual estavam subordinados os institutos de pesquisa científica da Alemanha (Winnaker; Wirtz, 1975).

A partir de 1933, entretanto, a participação alemã na cooperação científica internacional, em particular no tocante à pesquisa atômica, vinha sendo dificultada pelo regime nacional-socialista. Os institutos de pesquisa alemães foram-se aos poucos isolando e os nazistas criavam problemas para determinados cientistas, chegando ao ponto de excluir alguns das universidades.

As desfeitas impostas a cientistas malquistos pelo regime ficavam insuportáveis, de forma que inúmeros pesquisadores alemães e de países ameaçados pelo nazismo, como a Dinamarca, a Holanda, a Polônia e a Hungria, partiram para o exílio. Alguns por se terem recusado a entrar para o partido; outros simplesmente por serem judeus, o fato é que todos resolveram deixar a Europa e foram para os Estados Unidos, seguindo o exemplo de Einstein, que para lá já tinha emigrado.

Em 1938 o regime de Mussolini também promulgou leis raciais e, por isso, o físico mais importante da Itália, Enrico Fermi, que era casado com uma judia, resolveu emigrar para os Estados Unidos, seguido por alguns colaboradores do Grupo de Roma, conhecidos como “Os Meninos da Rua Panisperna”.

Em pouquíssimo tempo, portanto, o cabedal científico americano foi incalculavelmente enriquecido por cientistas do porte de Enrico Fermi, Hans Bethe, Emilio Segrè, Otto Stern, Leo Szilard, Edward Teller, James Franck, John Von Neumann, Eugene Wigner, Felix Bloch, Victor Weisskopf, Samuel Goudsmit e outros, quase todos laureados com o Prêmio Nobel. Um dos precursores da moderna teoria atômica, Niels Bohr, foi para a Inglaterra, mas, depois, também seguiu para os Estados Unidos.

Ninguém duvida de que essa plêiade de cientistas notáveis tenha contribuído para alçar a física norte-americana – que já era muito avançada – a um nível que talvez só pudesse ser alcançado em algumas décadas, à custa de pesados investimentos na formação, no próprio país, de dezenas de cientistas de nível comparável ao dos emigrados; os quais, por isso mesmo, foram tão bem recebidos em ricas universidades americanas, que dispunham de laboratórios dos mais modernos e bem equipados do mundo.

A Europa estava às portas da guerra. Mesmo assim, lá permaneceram alguns cientistas desafetos dos nazistas, como Max Born, Klaus Fuchs, Lise Meitner, Otto Frisch, Fritz Haber e Rudolf Peierls (que depois foi para os Estados Unidos), que emigraram para países neutros ou adversários da Alemanha, como a Suécia e a Inglaterra.

Naquelas circunstâncias, a divulgação da descoberta de Hahn e Strassmann não poderia deixar de induzir muitas especulações acerca do eventual emprego bélico da energia nuclear, de modo que todos os cientistas emigrados continuaram acompanhando o que acontecia na Alemanha e compreenderam logo que a fissão do átomo, descoberta por Hahn e Strassmann, poderia abrir o caminho para a bomba atômica. E, conhecendo de perto o que naquela época acontecia em seus países de origem, prevalecia entre eles a convicção de que os nazistas não hesitariam em usar a bomba atômica na guerra.

### **A corrida pela bomba**

Em março de 1939 os alemães ocuparam a Tchecoslováquia e interromperam as exportações de minério de urânio das minas de St. Joachimsthal, deixando claro que pretendiam usar aquele minério na pesquisa atômica.

Em abril daquele ano, os físicos Paul Harteck e seu assistente Wilhelm Groth, da Universidade de Hamburgo, informaram o Departamento de Armamentos do Exército (onde Harteck era consultor) sobre o possível emprego da fissão do urânio, para a obtenção de artefatos explosivos incomparavelmente mais potentes do que as bombas convencionais.

Pouco depois – por iniciativa do físico Kurt Diebner, que trabalhava no Comando Superior do Exército como especialista em explosivos – decidiu-se que o Instituto Keiser Wilhelm de Física, em Berlin-Dahlen, passaria a ser administrado pelo Departamento de Armamentos do Exército e incluiria as pesquisas de fins militares entre as suas atribuições. Tal decisão desagradou o diretor daquele instituto, que era o prestigiado físico holandês Petrus Debye, ganhador do Prêmio Nobel em 1936. Não conseguindo desvencilhar o seu instituto da nova atribuição, Debye desligou-se do cargo e emigrou para os Estados Unidos, com importantes informações sobre os planos nucleares alemães (Winnaker; Wirtz, 1975).

Em 1939, Heisenberg foi nomeado para o cargo de diretor do Instituto Keiser Wilhelm, que deveria centralizar (mas não o fez satisfatoriamente) os trabalhos que vinham sendo realizados em outros institutos do país, no campo da fissão nuclear.

Em suas memórias, Heisenberg fala de um encontro que teve com Fermi no verão de 1939, quando deu aulas nas Universidades de Ann Arbor e Chicago, em que o físico italiano teceu considerações sobre o desastre que se aproximava, com a possível entrada dos Estados Unidos na guerra, que então parecia inevitável (Heisenberg, 1969).

Relembra, ainda, o dilema que ele, Carl Friedrich von Weisäcker e Karl Wirtz viviam, quanto a estarem ou não fazendo a coisa certa, ao participarem do desenvolvimento de uma arma atômica para os nazistas. A esperança era de que isso demandasse investimentos de tal monta, que ficava afastado o fantasma de que a bomba fosse empregada na guerra. Por outro lado, pensavam eles, nos Estados Unidos, a situação psicológica dos físicos era completamente diferente – em particular daqueles que tinham emigrado para escapar ao nazismo – os quais foram tão bem recebidos naquele país, que deveriam sentir-se obrigados a contribuir com a sua ciência a favor da causa americana, numa eventual guerra.

Heisenberg lembra, também, a frustrada viagem que fez a Copenhague em 1941, por sugestão de von Weisäcker, com o objetivo de conhecer a opinião de Niels Boh sobre a eventual utilização militar da fissão e sobre o programa nuclear anglo-americano (Heisenberg, 1969).

É possível que esse encontro tenha sido motivado pela notícia, divulgada um pouco antes, de que um instituto independente de pesquisa, alemão, havia confirmado teoricamente a viabilidade da chamada *alternativa do plutônio*.

A viagem de Heisenberg a Copenhague foi um episódio controvertido, que lançou uma sombra sobre o perfeito relacionamento que havia entre Bohr e

seu ex-colaborador e discípulo, Heisenberg (Toledo Piza, 2003). Cumpre notar que, bem antes de receber a visita de Heisenberg, embora ainda estivesse na Universidade de Copenhagen, Bohr já participava de pesquisas teóricas sobre a fissão nuclear, no Instituto de Estudos Avançados, em Princeton, haja vista um artigo sobre o assunto, que ele e o físico John Wheeler publicaram na *Physical Review*, tomando o modelo da gota d'água para desenvolver uma teoria sobre o mecanismo da fissão nuclear (Bohr; Wheeler, 1939).

\* \* \*

No projeto nuclear alemão, colaboraram com Heisenberg cientistas como Otto Hahn, Walther Bothe, Carl Friedrich von Weisäcker, Walter Gerlach, Erich Schumann, Klaus Clausius, Paul Harteck, Kurt Diebner, Abraham Esau, Siegfried Flügge, Karl Wirtz, Friedrich Houtermans etc., formando o chamado Clube do Urânio (*Uranverein*).

Entre cientistas e técnicos, esse programa não empregou mais do que algumas centenas de pessoas e seu orçamento ficou em cerca de 150 a 200 milhões de Reichsmark de 1940 (Winnaker; Wirtz, 1975). Isso equivale a algo em torno de 1,9 bilhão a 2,5 bilhões de dólares de hoje, o que era insuficiente para um programa daquela envergadura.

Na verdade, os nazistas não confiavam muito no trabalho dos cientistas, de modo que o Departamento de Armamentos do Exército atribuía prioridade às armas convencionais, que podiam ser usadas imediatamente nas frentes de batalha.

A título de comparação, vale observar que o programa nuclear norte-americano empregou mais de 120 mil pessoas e teve um orçamento de 2 bilhões de dólares da época, o que equivale a cerca de 26 bilhões de dólares de hoje.

Não obstante a carência de pessoal e a exiguidade dos recursos financeiros, no fim de 1941 o Clube do Urânio já dominava todos os aspectos teóricos da fissão nuclear.

Colocava-se, então, o problema de se obter o material físsil para os experimentos. Como se sabe, o único material físsil encontrado na natureza em quantidades aproveitáveis é o urânio 235, que, entretanto, aparece no urânio natural com uma concentração de apenas 0,7%, contra os 99,3% do isótopo 238, que não é físsil.

Abriam-se aí dois caminhos para a bomba de fissão:

1. Separar o urânio 235 do urânio natural e fazer a bomba de urânio. Ocorre que, na época, a separação isotópica (“enriquecimento” do urânio, no isótopo desejado) ainda era experimental. Os processos em estudo na Alemanha eram os da ultracentrifugação, da difusão gasosa e o eletromagnético, que requeriam investimentos muito acima das disponibilidades orçamentárias do grupo de Heisenberg.



2. Eleger a alternativa do plutônio. Para isto dever-se-ia ter a “máquina de urânio”, como o grupo de Heisenberg se referia ao reator nuclear necessário para produzir plutônio pela irradiação do urânio, sem necessidade de enriquecimento. No entanto, a operação de um reator desse tipo precisa de um moderador, para reduzir a energia dos nêutrons a um valor adequado.

Uma vez que o acesso ao urânio estaria assegurado com a exploração das minas de St. Joachimsthal, o grupo de Heisenberg partiu para a busca de possíveis moderadores.

Tentou-se um experimento com carbono puro, na forma de grafita, mas esse fracassou porque o material empregado, testado num laboratório independente, não apresentava o grau de pureza necessário (Heisenberg, 1969).

Outro possível moderador seria o berílio, que entretanto é problemático, devido à alta toxicidade de seus compostos.

Restava a água pesada ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ), que é quimicamente idêntica à água comum, porém mais densa, uma vez que, em suas moléculas, os átomos de oxigênio vêm combinados com átomos de deutério, que é um isótopo de hidrogênio com um nêutron, além do próton, em seu núcleo. Graças à reduzida probabilidade de captura de nêutrons do oxigênio e do deutério, a água pesada é um excelente moderador para reatores a urânio natural.

O professor Karl Friedrich Bonhoeffer, do laboratório de química da Universidade de Leipzig, já vinha trabalhando com o enriquecimento de água pesada, em colaboração com o físico Paul Harteck, de Hamburgo, mas as quantidades disponíveis eram insuficientes.

Na época, entretanto, havia estoques de água pesada que ficavam como subproduto da produção do hidrogênio comum, necessário para a síntese do amoníaco, nas instalações da Norsk Hidro, empresa situada em Vermork, ao sul da Noruega.

Assim, em 1943, após a ocupação da Noruega pelos alemães, Karl Wirtz, que antes da guerra tinha trabalhado com água pesada junto ao grupo de Bonhoeffer, em Leipzig, recebeu a incumbência de entrar em contato com os técnicos noruegueses, que conhecia, para saber se seria possível chegar, com a produção de Vermork, à quantidade de água pesada necessária para operar o reator projetado pelo grupo de Heisenberg (Winnaker; Wirtz, 1975).

A missão de Wirtz chegou logo ao conhecimento da resistência norueguesa, que passou a informação ao serviço secreto britânico. Daí resultou que, no fim de 1943, bombardeiros norte-americanos saíram da Inglaterra e atacaram as instalações da Norsk Hidro, matando trabalhadores e destruindo a fábrica de água pesada.

Esse acontecimento foi um duro golpe para o programa atômico do Reich que, de resto, já estava claudicante, devido à insuficiência de recursos e à ausência de uma direção centralizada, que pudesse otimizar o trabalho descentralizado e fragmentado que vinha sendo realizado em várias instituições do país.

Naquela altura, diversos cientistas emigrados já tinham passado muitas informações aos americanos e trabalhavam para convencer o governo dos Estados Unidos a investir num programa nuclear. Entre esses estavam os húngaros Leo Szilard, Eugene Wigner e Edward Teller, que fizeram seus doutorados, os dois primeiros, em Berlim e, o último, em Leipzig.

Szilard foi um dos primeiros físicos a entender o mecanismo da fissão em cadeia e como isso poderia ser usado num artefato explosivo.

Convencido de que os alemães poderiam usar a bomba na guerra, Szilard começou uma campanha para atrair o interesse do governo americano para um programa atômico. Para isso, aproximou-se de conselheiros do governo e, em 1939, em colaboração com Wigner e Einstein – dando conhecimento a Teller e Fermi – preparou uma carta para ser entregue ao presidente Franklin Roosevelt, com o objetivo de sugerir-lhe que seu governo avaliasse o interesse de se investir num programa nuclear. O documento falava da viabilidade de se fazer a bomba atômica e alertava o presidente para o avanço da Alemanha, nas pesquisas nucleares com esse objetivo (Rhodes, 1988).

Como Einstein gozava de grande prestígio nos Estados Unidos, combinou-se que ele assinaria a carta, o que feito – e Roosevelt recebeu o documento poucas semanas depois do início da guerra na Europa.

Não se sabe ao certo, mas supõe-se que foi essa carta que levou o presidente dos Estados Unidos a criar um comitê consultivo para o urânio, dirigido por representantes do exército e da marinha (todos americanos), tendo como consultores os emigrados Szilard, Fermi, Teller e Wigner. Abriu-se então uma pequena verba, para dar início às pesquisas. Até aí as autoridades norte-americanas desconsideravam a hipótese de que uma bomba atômica pudesse ser usada naquela guerra.

Esse quadro modificou-se quando alguns cientistas exilados na Inglaterra decidiram alertar o governo britânico. Em março de 1940, dois desses exilados, Otto Frisch e Rudolf Peierls, procuraram o conselheiro científico do Ministério da Aviação, para informá-lo da possibilidade de se construir uma bomba nuclear com poder explosivo equivalente ao de mil toneladas de TNT.

Isso levou as autoridades britânicas à decisão de criar um comitê consultivo para estudar o assunto.

Diante das notícias de que os alemães estariam muito adiantados na pesquisa nuclear de finalidade bélica, o primeiro ministro britânico, Winston Churchill, procurou se informar sobre os pormenores da questão e concluiu que, devido às dificuldades que a economia inglesa enfrentava, não haveria recursos suficientes para um programa nuclear com alguma possibilidade de chegar a resultados práticos. Só com apoio dos Estados Unidos, aliados mais fortes, seria possível fazer algo nesse campo, embora, na época, os físicos ingleses relutassem em compartilhar a sua ciência com os americanos.

No começo de 1941, em visita aos Estados Unidos, um dos membros do comitê consultivo criado pelo governo inglês alertou os seus confrades americanos para o perigo representado pelo avanço do programa nuclear alemão, ponderando que, sem a efetiva participação dos Estados Unidos num programa semelhante, os alemães seriam os primeiros a fazer a bomba atômica, venceriam a guerra, arrasariam a Inglaterra e levariam os americanos a capitular antes mesmo do fim do conflito.

O alerta não demorou a chegar ao presidente Roosevelt que, então, criou um Top Policy Group, do qual participavam, além do próprio presidente, o vice-presidente, o ministro da guerra, o chefe do Estado maior (George Marshall), o engenheiro Vannevar Bush e o químico James Conant (Rhodes, 1988).

Pouco depois Roosevelt propôs a Churchill uma ação conjunta, com o objetivo de coordenar os trabalhos dos cientistas americanos, ingleses, canadenses e emigrados europeus, para estudar a viabilidade do projeto da bomba atômica. Dai resultou um relatório, informando que os pesquisadores tinham chegado à teoria da reação de fissão em cadeia, faltando, por um lado, conseguir uma quantidade de material físsil suficiente para as experiências; por outro lado, definir e obter o moderador a ser empregado num reator experimental.

Em dezembro de 1941 os Estados Unidos entraram na guerra. No começo de 1942 Roosevelt e Churchill se reuniram em Nova York e, entre outras coisas, decidiram firmar um acordo de cooperação na área nuclear, pelo qual as instalações para a produção do material físsil (urânio) ficariam nos Estados Unidos, assumindo os ingleses a responsabilidade de implantar, no Canadá, um centro de pesquisas sobre o uso da água pesada como moderador, numa reação de fissão.

Dada a pujança da economia norte-americana e o sigilo com que o assunto era tratado, não haveria nenhuma restrição orçamentária para a execução desse acordo. Assim, partindo discretamente de um pequeno projeto de pesquisa iniciado em 1939, criou-se em 1942 o Projeto Manhattan, cuja direção foi entregue ao general Leslie Groves, logo no final daquele ano. Dotado de notória capacidade de liderança, esse general rapidamente tomou decisões estratégicas relativas à expansão do orçamento do projeto e à seleção das localidades para a realização das pesquisas e ensaios (Rhodes, 1988).

Compuseram o “*think tank*” do projeto, já em seu começo, notáveis cientistas norte-americanos, galardoados com o Prêmio Nobel, tais como os físicos Arthur Compton e Ernest Lawrence e os químicos Edwin McMillan, Glenn Seaborg e Harold Urey.

O diretor científico do projeto foi Robert Oppenheimer, que se graduou pela Universidade de Harvard e completou os seus estudos com J. J. Thompson, na Inglaterra (Laboratório Cavendish, da Universidade de Cambridge), indo em seguida para a Alemanha, para fazer doutorado com Max Born, na Universidade de Göttingen, onde – por ocasião dos seminários lá ministrados por

Niels Bohr – conheceu físicos importantes como Werner Heisenberg, Pascual Jordan, Wolfgang Pauli, Paul Dirac, Enrico Fermi e Edward Teller.

No Projeto Manhattan, Oppenheimer teve a colaboração de eminentes cientistas, muitos dos quais laureados com o Prêmio Nobel, que participaram do próprio descobrimento da fissão nuclear, cabendo citar Enrico Fermi, James Chadwick, Niels Bohr, Emilio Segrè, Hans Bethe, Leo Szilard, Eugene Wigner, Edward Teller, James Franck, John Von Neumann, Felix Bloch, Victor Weisskopf e Samuel Goudsmit.

Graças ao prestígio que tinha como cofundador da escola norte-americana de física teórica, Oppenheimer atraiu para o Projeto Manhattan também o interesse de jovens estudantes de pós-graduação, como Richard Feynman, futuro ganhador do Prêmio Nobel.

No auge de suas atividades, o projeto empregou mais de 120 mil pessoas e seu custo final foi de aproximadamente 2 bilhões de dólares, quantia que equivale a cerca de US\$ 26 bilhões de hoje (Rhodes, 1988). Cerca de 90% desses recursos destinaram-se à implantação de usinas para a obtenção de materiais físséis (urânio 235 e plutônio 239). Os aproximadamente 10% restantes destinaram-se ao projeto e produção das bombas, que foram lançadas, a primeira, de caráter experimental, em Alamogordo, no Novo México, em 16 de julho de 1945, e as outras duas sobre Hiroshima e Nagasaki, respectivamente, em 6 e 9 de agosto daquele ano.

A pesquisa, a produção e os ensaios para essas bombas foram realizadas em mais de trinta sítios, alguns secretos, incluindo universidades americanas, inglesas e canadenses.

A produção de plutônio ficou em Hanford, em Washington; a separação isotópica foi para Oak Ridge, no Tennessee.

O carbono como moderador, na forma de grafita, foi objeto do trabalho de Fermi que, com o apoio de pesquisadores do laboratório de metalurgia da Universidade de Chicago, foi o primeiro cientista a sustentar uma reação de fissão em cadeia.

A pesquisa aplicada, o projeto e a construção das bombas realizaram-se em Los Alamos, no Novo México.

Sob o comando do general Groves, o Projeto Manhattan ocupou-se também da chamada “Operação Alsos”, uma colaboração anglo-americana no campo da espionagem, na qual agentes americanos trabalhando atrás das linhas alemãs capturaram cientistas e recolheram informações e materiais do projeto nuclear alemão.

Além de terem sido fundamentais para a criação das bombas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki, os métodos adotados pelo general Groves no Projeto Manhattan contribuíram muito para dar forma à guerra fria que se seguiu à Segunda Guerra Mundial – e aos chamados Estados de segurança nacional, que, ao lado dos complexos industriais-militares, dominam o cenário mundial em nossos dias.

Há divergências quanto ao número de vítimas da bomba de Hiroshima. Fontes japonesas enumeram cerca de 150 mil fatalidades (sendo 130 mil civis) – uma parte nos primeiros dias, por queimaduras e pelo impacto mecânico da explosão; grande parte até o final de 1945, por síndrome aguda da radiação – os demais em anos subsequentes, também pela ação das radiações ionizantes que receberam.

Outras fontes contabilizam 65 mil vítimas. Aqui não falamos da bomba de plutônio, lançada três dias depois da de Hiroshima, que teria causado a morte de 60 mil a 80 mil seres humanos em Nagasaki.

Em vez de terem contribuído para melhorar a condição humana e a qualidade da vida das pessoas, os saberes, acumulados pelos cientistas durante décadas de estudos – e a fortuna investida nas pesquisas e fabricação das bombas atômicas –, resultaram no sacrifício de centenas de milhares de seres humanos inocentes, no Japão.

Tudo isso parece confirmar a vocação para o abismo, arraigada no caráter humano.

Na atualidade, essa vocação manifesta-se na forma dos atentados ao meio ambiente, causados pelo consumo extravagante de bens supérfluos, pela exploração insustentável de recursos naturais e pelo uso desbragado de energia não renovável e poluidora.

## Referências

BOHR, N.; WHEELER, J. A. The Mechanism of Nuclear Fission. *Phys. Rev.* v.56, Sept. 1939.

EINSTEIN, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, n.17, 1905a.

\_\_\_\_\_. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Annalen der Physik*, v.18, 1905b.

HEISENBERG, W. Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik. R. Piper Verlag, 1969.

LORENTZ, H. Simplified theory of electrical and optical phenomena in moving systems. In: *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences I*, 1899.

POINCARÉ, H. La mesure du temps. *Revue de Métaphysique et de Morale*, n.6, 1898.

\_\_\_\_\_. La théorie de Lorentz et le principe de réaction. *Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles*, n.5, 1900.

RHODES, R. The Manhattan Project: Making the Atomic Bomb. In: *Touchstone Books*, 1988.

TOLEDO PIZA, A. F. *Schrödinger & Heisenberg*. s.l.: Odysseus Editora, 2003.

WINNAKER, K.; WIRTZ, K. *Das unverständene Wunder*. Kernenergie in Deutschland - Econ Verlag, 1975.

*RESUMO* – O artigo traz à memória o desenvolvimento da física no século XX e relembra os cientistas que, direta ou indiretamente, na Europa e nos Estados Unidos, deram as suas contribuições para os programas nucleares de objetivos militares, que culminaram com as bombas de urânio e de plutônio que causaram a morte de centenas de milhares de pessoas inocentes, no Japão.

*PALAVRAS-CHAVE:* Fissão nuclear, Bomba atômica, Ciência mal empregada.

*ABSTRACT* – The article brings to mind the development of physics in the twentieth century and reminds scientists who, directly or indirectly, in Europe and in the United States, gave their contributions to the nuclear programs of military objectives, which led to the bombs of uranium and plutonium that caused the death of hundreds of thousands of innocent people in Japan.

*KEYWORDS:* Nuclear fission, Atomic bomb, Misused science.

*Joaquim Francisco de Carvalho* é doutor em energia pela USP e ex-diretor da Nuclen (atual Eletronuclear); foi pesquisador associado ao Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da USP. @ – [jfdc35@uol.com.br](mailto:jfdc35@uol.com.br)

Recebido em 17.6.2015 e aceito em 30.6.2015.

<sup>1</sup> Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, Brasil.