

Isótopos das águas brasileiras para o desenvolvimento: a hidrologia isotópica, os peritos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura e de organizações internacionais no Nordeste e na Amazônia (1968-1978)

Isotopes of Brazilian waters for development: Isotopic Hydrology and the experts of Centro de Energia Nuclear na Agricultura and international organizations in the Brazilian Northeast and Amazonia (1968-1978)

André Secchieri Bailão | Casa de Oswaldo Cruz\Fiocruz

asbailao@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1577-3375>

RESUMO Este trabalho apresenta os itinerários de cientistas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) e suas pesquisas sobre as águas do Nordeste e da Amazônia entre 1960 e 1970 e, de forma mais ampla, apresenta a hidrologia isotópica transnacional durante a Guerra Fria. O Cena, vinculado à Comissão Nacional de Energia Nuclear e à Universidade de São Paulo em Piracicaba, fez parte de um convênio de cooperação técnica com as Nações Unidas, gerido pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), e recebeu visitas técnicas de muitos peritos estrangeiros dos Estados Unidos, Europa e Israel. Eneas Salati, professor do Cena, montou o laboratório de ecologia isotópica em 1968 e coordenou uma rede transnacional para auxiliar o governo brasileiro em estudos hidrológicos. Este artigo apresenta a constituição dessa rede e o papel central dos pesquisadores brasileiros na formulação das agendas e dos resultados de pesquisa. Os trabalhos da rede focaram-se principalmente no sertão do Nordeste e na Amazônia, para onde voltavam-se projetos desenvolvimentistas do regime militar, e buscavam apoiar a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa). Enquanto no projeto no semiárido os pesquisadores buscavam encontrar maneiras de ampliar o acesso à água, numa região caracterizada como carente em recursos hídricos de qualidade, no projeto conduzido na

Amazônia os pesquisadores levantavam a hipótese de um equilíbrio entre a floresta e o clima, que poderia ser alterado pelos projetos desenvolvimentistas e o crescente desmatamento.

Palavras-chave: hidrologia isotópica – Amazônia – Nordeste – Guerra Fria – desenvolvimento.

ABSTRACT *This article presents the itineraries of scientists from the Center for Nuclear Energy in Agriculture in Brazil (CENA), and their research projects on the waters of the Northeast of Brazil and Amazonia in the 1960s and 1970s. It also presents more broadly the transnational isotopic hydrology during the Cold War. CENA, linked to Brazil's National Nuclear Energy Commission and the University of São Paulo in the city of Piracicaba, was the recipient of a technical cooperation agreement with the United Nations, managed by the International Atomic Energy Agency (IAEA), and received technical visits of many foreign experts from the United States, Europe and Israel. Professor Eneas Salati set up the isotopic ecology laboratory at CENA in 1968 and coordinated a transnational network to assist the Brazilian government in hydrological studies. This article presents the constitution of this network and the central role of Brazilian researchers in formulating research agendas and achieving their result. Their research focused mainly on the Northeast region of Brazil and Amazonia, in support of the Superintendence for the Development of the Northeast (SUDENE) and the National Institute of Amazonian Research (INPA), two regions where the military regime focused its development projects. While in the semi-arid area in the Northeast, the researchers tried to find ways to increase access to water in a region characterized as lacking water resources; in Amazonia they developed the hypothesis of an equilibrium between the rainforest and the climate, which could be altered by development projects and increasing deforestation.*

Keywords: isotopic hydrology – Amazon – Northeast – Cold War – development.

Introdução

Durante a Guerra Fria, a água – tanto sua presença como sua falta – foi objeto de investigação por projetos transnacionais com apoio de governos e de organizações internacionais. Houve um esforço coletivo para compreender as características e dinâmicas dos ciclos regionais e planetários da água, estimulado pelas agências da Organização das Nações Unidas (ONU). Especialistas das ciências da Terra, como geologia, oceanografia, hidrologia e as ciências atmosféricas, se perguntavam como a água circulava pela atmosfera e superfície terrestre e pelos oceanos e reservatórios subterrâneos.

Ademais, a partir dos anos 1970, com a emergência dos movimentos ambientalistas internacionais, iniciou-se um ciclo de conferências, acordos e estudos internacionais sobre os impactos humanos no planeta (Rothschild, 2013; Selcer, 2018). Os efeitos ambientais da agricultura moderna, do uso de fertilizantes químicos e da ampliação da irrigação, das grandes barragens, da poluição urbano-industrial e dos desmatamentos geraram preocupações entre uma parcela da comunidade científica que se dedicou a investigar possíveis alterações dos ciclos climáticos e biogeoquímicos do planeta.

Na Guerra Fria, esses movimentos planetários das águas foram estudados por pesquisadores que também circulavam pelo mundo, num fluxo de saberes, técnicas, equipamentos, materiais e recursos. Uma crescente literatura da história das ciências e da tecnologia tem explorado as complexas dinâmicas políticas, culturais, institucionais, econômicas e epistemológicas envolvidas nesses trânsitos transnacionais (Chastain e Lorek, 2020; Krige, 2019; Sá et al., 2020).

Na esteira da descolonização e dos projetos de reconstrução do pós-guerra, debates promovidos pela ONU partilharam o mundo entre um grupo de países avançados e outros subdesenvolvidos, aos quais se voltou a maior parte dos projetos de assistência técnica (Cullather, 2000; Escobar, 1995). Uma figura essencial foi a do *expert* que trabalhava para as agências da ONU, como consultor ou funcionário de suas divisões científicas, e que se dirigia ao Sul Global para auxiliar governantes e técnicos. Andra Chastain e Timothy Lorek escreveram que “os sonhos entrelaçados de desenvolvimento e modernização que animaram a Guerra Fria latino-americana dependeram de um exército de peritos altamente especializados, cuja influência reverbera ao longo do hemisfério e ao redor do mundo” (2020, p. 3, tradução própria). Uma forma de entender a história da ciência e da tecnologia latino-americana no pós-guerra, portanto, é seguindo os itinerários desses especialistas. Como argumentam os autores, da saúde pública à agricultura moderna, da infraestrutura urbana e energética à conservação ambiental, das políticas econômicas à criação das universidades, poucos aspectos das sociedades latino-americanas escaparam da onda desenvolvimentista estimulada por esses peritos.

A história desses intercâmbios científicos foi multifacetada e se tornou objeto de análises que matizam noções estanques de “centro” e “periferia” e buscam ir além de uma simples influência ou da imposição de modelos externos do Norte para o Sul global, notando também o papel das trocas, negociações e disputas entre atores e instituições, levando em conta as relações assimétricas entre as partes (Chastain e Lorek, 2020, p. 4; Sá et al., 2020, p. 9-10; Silva, 2013). Como e de quais maneiras o conhecimento circula é uma questão central para os estudos das ciências, como argumentou James Secord (2004). Para superar histórias simplistas de transferências e difusões de saberes, é preciso estar atento às trajetórias de atores, documentos e objetos, aos circuitos complexos de comunicação do conhecimento, às recepções, negociações, cooperações, apropriações e contestações no estabelecimento de projetos de pesquisa.

Estudos sobre as águas não escaparam desses fluxos durante a Guerra Fria, e muitos projetos de desenvolvimento tiveram esse elemento como objeto central, liderados por hidrólogos, agrônomos, engenheiros, geólogos e meteorologistas, com apoio da ONU e de instituições dos Estados Unidos, da Europa ocidental e de outros países. No Brasil, tanto no período democrático pós-guerra (1945-1964) como durante a ditadura militar (1964-1985), houve um aumento expressivo de estudos para ampliar a irrigação por todo o país; comissões para estudar e gerir bacias hidrográficas, como a Companhia Hidroelétrica do São Francisco; expedições com navios de pesquisa pela Amazônia e pela costa brasileira; projetos contra as secas no Nordeste; sem contar estudos para construção de barragens e usinas hidrelétricas (Buckley, 2017; Johnson, 2021; Viaja Jr., 2021).

Neste artigo, discutiremos o caso de um grupo de pesquisadores brasileiros e de seus parceiros estrangeiros liderados pelo engenheiro agrônomo e físico Eneas Salati (1933-2022) no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) em Piracicaba – instituição criada por um convênio entre a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da Universidade de São Paulo (USP). Este artigo resulta de uma pesquisa de pós-doutorado sobre a história das ciências dos climas na Amazônia durante a ditadura militar a partir de fontes documentais de arquivos institucionais e publicações. O artigo se baseia na análise de cartas, ofícios, artigos, livros, matérias de jornais, relatórios, documentos diversos relacionados aos projetos que envolveram Eneas Salati localizados no Cena, assim como em outros órgãos e bibliotecas da USP; e em materiais digitalizados da Biblioteca Nacional e das agências da ONU, como relatórios, documentos e livros da Organização das Nações Unidas

para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud).¹

O Cena, que Salati ajudou a fundar nos anos 1960, passou a funcionar plenamente na ditadura militar, tendo sido impulsionado com a assinatura de convênios de cooperação técnica com a AIEA e o Pnud (Leão, 1997). Um de seus objetivos era o apoio técnico para a solução de entraves para o desenvolvimento nacional – com ênfase na agricultura, na zootecnia, na alimentação e no acesso à água – por meio da aplicação de técnicas nucleares, o que deu aos seus pesquisadores grande repercussão, credibilidade e acesso a instituições internacionais e governamentais e a seus disputados recursos. O Cena surgiu quando o regime militar organizou o apoio estatal à ciência, com a criação de fundos de investimento ao setor e a elaboração de planos de desenvolvimento científico e tecnológico (Domingos, 2006; Schwartzman, 2001; Motoyama, 2004). A modernização da agricultura, a energia nuclear e o desenvolvimento regional foram considerados áreas prioritárias nos planos nacionais de desenvolvimento dos anos 1970, o que deu à Esalq e ao Cena uma posição privilegiada. As pesquisas hidrológicas mais duradouras do Cena foram conduzidas no laboratório de ecologia isotópica criado por Salati em 1968, onde eram analisadas águas de todo o Brasil. Suas pesquisas mais reconhecidas foram realizadas no interior semiárido nordestino e na Amazônia, onde o regime militar concentrava suas políticas de desenvolvimento regional.

Como mostraremos neste artigo, esses pesquisadores fizeram parte de uma rede científica transnacional, que buscava compreender o ciclo hidrológico de forma adensada e sistemática, contribuindo para os esforços promovidos pelas agências da ONU e por órgãos brasileiros regionais. Na segunda seção, trataremos da história da hidrologia isotópica durante a Guerra Fria, momento em que essa disciplina foi estimulada por projetos de cooperação, conferências e eventos científicos, publicações e esforços de institucionalização promovidos especialmente pela AIEA em Viena.

O artigo também explora o que esses estudos hidrológicos e as águas isotópicas brasileiras significavam para os pesquisadores, e as transformações das pesquisas e das posturas dos peritos ao longo da década. A hidrologia isotópica era elaborada, praticada e defendida por esses especialistas como uma possibilidade de melhorar a qualidade de vida das populações ou de melhorar a gestão dos projetos de desenvolvimento, como a colonização da Amazônia levada a cabo pelo regime militar.² O intuito era garantir acesso à água onde é considerada escassa, como no sertão semiárido, ou compreender seu comportamento numa região onde é abundante, mas era pouco conhecida pela ciência, como na Amazônia. Esta pesquisa inspira-se em trabalhos recentes sobre as águas e os fenômenos climáticos e hidrológicos na ciência e na tecnologia, incluindo secas, aridez, hidroeletricidade e poluição, e suas relações com projetos

1 A pesquisa faz parte do projeto Proep da Fundação Oswaldo Cruz, "A Amazônia como microcosmo do Antropoceno", coordenado por André Felipe Cândido da Silva na Casa de Oswaldo Cruz (COC/Fiocruz). O autor gostaria de agradecer ao professor Cândido da Silva, à COC, à Fiocruz e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, assim como aos familiares de Salati e aos professores, funcionários e técnicos do Cena/USP pela ajuda.

2 Matéria que vem sendo abordada por historiadores como Rômulo de Paula Andrade (2012, 2015) e Vanessa Pereira da Silva e Mello (2017), que trataram de projetos de desenvolvimento para a Amazônia no período anterior e posterior ao golpe militar, respectivamente.

políticos (Adamson, 2021; Batista, 2016; Buckley, 2017; Davis, 2016; Hamblin, 2005; Heymann, 2020; Johnson, 2021; Selcer, 2018).

O texto busca analisar a posição que os pesquisadores brasileiros construíram em relação ao Estado nacional e às redes internacionais de ciência e tecnologia, chamando atenção para quais instituições e atores estiveram envolvidos e qual o papel dos brasileiros nelas. Buscamos, assim, compreender o protagonismo dos pesquisadores brasileiros na condução de seus projetos de pesquisa. Também veremos como esses cientistas apoiaram ou criticaram diferentes facetas do projeto nacional-desenvolvimentista durante a ditadura militar, a partir de seus estudos hidrológicos. Entender a história das investigações de Salati e de seus colegas ao redor do país e do mundo nos mostra como as técnicas nucleares foram constituídas como uma promessa de desenvolvimento num primeiro momento, mas posteriormente fundamentaram uma crítica à maneira como os projetos estavam sendo conduzidos na Amazônia.

Estudos isotópicos da água durante a Guerra Fria

Após a Segunda Guerra Mundial, houve um crescimento exponencial de investigações a respeito de diferentes aspectos dos ciclos terrestres, incluindo o hidrológico, e a Guerra Fria foi produtiva para disciplinas como a geologia, a oceanografia, a meteorologia e a hidrologia. Nos Estados Unidos, na União Soviética, na França e no Reino Unido houve maciço investimento militar em pesquisas sob a justificativa da segurança nacional, o que levou a uma profunda reestruturação das ciências, de suas formas de financiamento e de suas relações com o governo, como comentou Naomi Oreskes (2014). As ciências naturais auxiliavam a operação do aparato bélico, ao mesmo tempo em que se beneficiavam do grande volume de dados coletados por aviões militares, satélites e submarinos, e novas técnicas e saberes foram desenvolvidos para compreender a atmosfera, os oceanos e o espaço. Outra consequência desse entrelaçamento entre Estado, ciência e os militares foi a emergência de pesquisas nas áreas médicas e ecológicas, voltadas às possíveis consequências ambientais dos testes de bombas ou de uma eventual guerra nuclear (Adamson, 2021; Doel, 2003; Dörries, 2011; Hamblin, 2005; Masco, 2010; Selcer, 2018).

Entretanto, a corrida tecnológica entre os Estados Unidos e a União Soviética e seus países aliados também conviveu com esforços de cooperação internacional. O período testemunhou a criação de organizações como a Unesco em 1945, com sede em Paris, que estabelecia a adoção de princípios universalistas e internacionalistas para as ciências e o papel dos cientistas como missionários na cooperação entre países (Varela et al., 2013, p. 304-305). Entre inúmeros programas, houve a realização do Ano Geofísico Internacional em 1957-1958 e a criação de uma rede permanente de informações meteorológicas estabelecida pela OMM.

A Unesco lançou o Programa da Zona Árida em 1951 para compreender a aridez de modo interdisciplinar e internacional, e buscar soluções para as condições de vida de populações em regiões de clima árido ou afetadas pela escassez hídrica (Batisse, 2005; Davis, 2016; Heymann, 2020; Selcer, 2018; Unesco, 1962). O programa tornou-se um dos três “grandes projetos” da Unesco,³ dando origem ao Decênio Hidrológico Internacional (1965-1974) e ao Programa Hidrológico Internacional, iniciado em 1975 e ligado à OMM – num esforço da organização em

3 Os outros dois grandes projetos da Unesco tratavam da educação primária na América Latina e da apreciação mútua de valores culturais entre o Ocidente e o Oriente.

equiparar os estudos sobre a água aos programas internacionais geofísicos e meteorológicos. Nesses programas, a Unesco adotava o desenvolvimento como objetivo final e justificativa para as investigações científicas. O projeto preparatório para o Decênio, por exemplo, argumentava que estudos hidrológicos seriam cada vez mais necessários para qualquer projeto de desenvolvimento, mesmo aqueles conduzidos em lugares distantes das zonas áridas, por causa das demandas crescentes por água potável decorrentes do aumento populacional e por causa da poluição crescente (Unesco, 1963, p. 3).

De acordo com Matthias Heymann (2020), o foco nas zonas áridas foi devido às crises de alimentação que abatiam populações do Sul Global, a eventos climáticos extremos e a um anseio por aumentar a produtividade agrícola. A desertificação foi elevada a um problema de ordem global a ser enfrentado pelo conjunto de nações, posição que foi criticada por Diana Davis (2016) por impor modelos criados em regiões úmidas para regiões historicamente afetadas por secas, criminalizando modos locais de vida pastoril e desconsiderando a complexidade climática e ambiental dessas regiões. Já Heymann (2020) argumenta que o problema da suposta desertificação esteve mais presente na retórica política e nas campanhas midiáticas do que exatamente nas discussões científicas do programa.⁴

Outro importante esforço internacional foi a criação, em 1960, da primeira rede global de coleta e análise de dados de precipitação pela AIEA e a OMM (Adamson, 2021). Um dos motes iniciais para a constituição da Global Network of Isotopes in Precipitation (Rede Global de Isótopos na Precipitação, GNIP) foi a enorme injeção de trítio na atmosfera pelos testes de bombas de hidrogênio pelos Estados Unidos, União Soviética, Reino Unido e França. Um dos isótopos do hidrogênio, ao lado do prótio e do deutério, o trítio é radioativo, com uma meia-vida de 12,33 anos, e ocorre numa frequência muito baixa naturalmente, surgindo como vestígio da interação da atmosfera com raios cósmicos (Gat et al., 2001, p. 209). O aumento repentino da concentração atmosférica de trítio e o desenvolvimento da análise isotópica deram aos técnicos da AIEA uma oportunidade para estudar a precipitação, a evaporação e a circulação da água ao redor do globo, como veremos adiante. Isso incluía a possibilidade de caracterizar aquíferos conforme absorviam trítio das chuvas, acompanhando os índices de concentração do isótopo e seu decaimento (Adamson, 2021; Dansgaard, 1964; Fischer, 1997; Mook, 2000).

As pesquisas nucleares foram possibilitadas pelo desenvolvimento de espectrômetros de massa e a definição química dos isótopos em 1919 por J.J. Thompson e seu assistente Francis W. Aston, no Laboratório Cavendish no Reino Unido e ao longo das décadas seguintes por laboratórios nos Estados Unidos e na Europa (Adamson, 2021; Hughes, 2009). Segundo a definição corrente, cada elemento apresenta formas variadas, com massas atômicas que dependem da quantidade de nêutrons no núcleo – variabilidade que é detectável pelos espectrômetros de massa. Qualquer amostra de um elemento contém uma mistura de seus isótopos naturais, variável a depender das condições físico-químicas do ambiente. Os isótopos podem ser tanto estáveis como instáveis, no caso daqueles que decaem em outros elementos, emitindo radiação – os chamados radioisótopos. Os isótopos estáveis de elementos amplamente encontrados na natureza, como o oxigênio, hidrogênio e carbono, também são conhecidos como ambientais pelos especialistas (ver Gat et al., 2001).

4 Para um estudo sobre a história do Programa da Zona Árida e da emergência do ambientalismo planetário no sistema ONU, ver Selcer (2018).

Para Christopher Hamlin (2000), na história da concepção moderna da água, houve um movimento de mão dupla a partir do século XVIII. Ao mesmo tempo em que a água foi compreendida como uma composição de dois elementos, o oxigênio e o hidrogênio, contra sua formulação clássica como elemento básico da natureza, criou-se uma concepção essencialista em torno de sua definição molecular. Para Hamlin, a definição moderna da molécula da água acabou por expurgar caracterizações mais antigas voltadas à multiplicidade das águas, baseadas em propriedades sensíveis, composições minerais, origens, efeitos de cura ou adoecimento e que variavam entre diferentes povos, épocas e autores.

Sem negar a exposição de Hamlin, podemos afirmar que os estudos isotópicos, de certo modo, voltaram a multiplicar a água em variados tipos no campo das ciências modernas. Segundo as definições aceitas na física e química isotópica (Gat et al., 2001), tanto o hidrogênio como o oxigênio apresentam variações isotópicas encontradas no ambiente: o prótio (^1H) e o deutério (^2H ou D), com nenhum e um nêutron no núcleo atômico respectivamente, além dos isótopos mais comuns do oxigênio (^{16}O e ^{18}O). A proporção em que são detectados varia enormemente, já que, enquanto o prótio tem uma abundância de 99,98%, o deutério é encontrado em menos de 0,018% das amostras de hidrogênio e o mesmo ocorre com o oxigênio, em que 99,7% das amostras são de oxigênio-16. Essa variedade de isótopos resulta em diferentes massas da molécula de H_2O : da mais comum, com a menor massa atômica de 18, com dois átomos de hidrogênio e um oxigênio-16 ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$), passando por outras combinações até chegar à molécula de massa atômica 22, com dois deutérios e um oxigênio-18 ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ ou D_2^{18}O). Apesar de o deutério e o oxigênio-18 serem mais raros, a diferença já é detectável o suficiente pelos equipamentos e indica como distintas versões da molécula se comportam de formas variadas no meio ambiente (Dansgaard, 1964; Gat et al., 2001; Mook, 2000).

Segundo os historiadores Néstor Herran e Xavier Roqué (2009), ao lado dos genes e das cobaias de laboratório, os isótopos podem ser considerados um dos principais objetos epistêmicos que definiram a ciência, a tecnologia e a medicina no século XX. Para a historiadora norte-americana Angela Creager (2013, p. 4), tanto os isótopos ambientais como os radioisótopos foram centrais para a episteme científica do pós-guerra, que passou a compreender a vida e o meio ambiente em termos moleculares. Sua importância se deu na medida em que serviam como indicadores para compreender as dinâmicas do metabolismo de doenças e de processos ecológicos. Foi um momento profícuo de criação de novas disciplinas científicas em universidades e institutos de pesquisa, como a bioquímica, a biologia molecular, a medicina nuclear, a hidrologia isotópica e as ciências ambientais – e da renovação de saberes e técnicas da física e da química.

Tanto Herran e Roqué como Creager propuseram que, além de indicadores físico-químicos em corpos, comunidades e paisagens, os isótopos também podem ser úteis para historiadores traçarem como materiais nucleares circularam por redes sociotécnicas que eles próprios ajudaram a criar. Estudar os isótopos, desde a coleta e a análise em campo, até a fabricação laboratorial de radioisótopos e seu trânsito pelo mundo, nos ajuda a entender as íntimas conexões que foram tecidas entre agentes e instituições governamentais, militares, diplomáticas, científicas, hospitalares e industriais a partir da Segunda Guerra Mundial – uma metodologia que nos inspirou a seguir a circulação dos peritos, amostras de água, equipamentos e projetos pelo Brasil, como veremos na próxima seção.

Após a guerra, houve uma guinada do uso civil das tecnologias nucleares, assunto que vem sendo explorado recentemente por historiadores que buscam matizar um foco excessivo

da história da ciência nas questões militares e na produção das bombas atômicas (Adamson, 2021; Creager, 2013; Drogan, 2019; Hamblin, 2005, 2009, 2021; Krige, 2006). Um marco importante foi o discurso proferido em 1953 pelo presidente norte-americano Dwight D. Eisenhower na Assembleia Geral da ONU, conhecido como “Átomos para a paz”, que defendia a expansão dos usos e estudos não militares da energia nuclear como forma de levar o desenvolvimento socioeconômico e científico-tecnológico para todas as nações.

Segundo Kriege (2006) e Hamblin (2021), o objetivo de Eisenhower era estratégico: desviar a atenção da comunidade internacional dos enormes investimentos do programa bélico dos Estados Unidos; limpar a imagem militarista que o país vinha adquirindo com os novos testes de armas atômicas; e estimular o uso pacífico das pesquisas nucleares nos outros países, evitando que eles entrassem na corrida armamentista. Essa estratégia levou a uma mudança da postura do governo norte-americano internamente, ao criar uma política nuclear civil com a participação de grandes empresas, e externamente, ao estabelecer uma diplomacia tecnocientífica e programas de intercâmbio para técnicos estrangeiros nos laboratórios nacionais dos EUA.⁵ Isso incluiu a assinatura de acordos bilaterais de cooperação, como aqueles feitos com o Brasil e a Argentina, exportadores de minérios radioativos (Kriege, 2006, p. 173; Hamblin, 2021). Uma das principais dimensões materiais dessas políticas foi a remessa de radioisótopos produzidos pelos reatores americanos a centros de pesquisa e hospitais estrangeiros, e a doação ou exportação de centrífugas de pesquisa (Creager, 2013).

Após a realização da Conferência sobre os Usos Pacíficos da Energia Atômica na sede da ONU em Genebra em 1955, foi criada a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), com sede em Viena, em 1957, com a promessa de apoiar governos e especialistas no aprendizado e na aplicação de tais tecnologias (Fischer, 1997). Nos discursos de governos, diplomatas e peritos, o átomo aparecia como uma promessa de modernização, e os especialistas da AIEA defendiam que as técnicas nucleares ofereciam um caminho acelerado para alcançar a independência energética ou para resolver o problema da fome e da sede.

Jacob Hamblin (2021) argumenta que, apesar do sonho de modernização, as tecnologias nucleares levaram a uma nova dependência através do controle dos países avançados sobre os países periféricos. Isso ocorreu pela importação de equipamentos e radioisótopos para operar os reatores de pesquisa, e pelo treinamento nas técnicas em instituições de pesquisa americanas e europeias, muitas vezes por intermédio da AIEA. Elas se tornaram uma das mais importantes ferramentas políticas dos Estados Unidos para vender soluções técnicas para os problemas sociais e econômicos, e se inserem também na política norte-americana de cooperação tecnocientífica para a América Latina e outros países do Sul Global, iniciada nos anos 1950 no governo do presidente Truman e seu programa conhecido como Ponto IV (Escobar, 1995; Andrade, 2015; Mello, 2017).⁶

5 Kriege (2006), indica uma abertura das relações tecnocientíficas e diplomáticas entre Washington e Moscou, com trocas de informações a respeito de usinas nucleares e de aplicações de isótopos durante a primeira Conferência Internacional sobre os Usos Pacíficos da Energia Atômica, na sede da ONU em Genebra em 1955. Para uma análise sobre o lado soviético da internacionalização das ciências e tecnologias nucleares, ver Lüscher (2018).

6 Antes e depois da guerra, políticas diplomáticas estiveram relacionadas, em diversos casos, à venda combinada de armamentos e tecnologia militar, às estratégias dos EUA para o controle da influência soviética pelo mundo, ou no caso da África do Sul, da Argentina, do Brasil e da Índia, em assegurar a extração e a exportação de minérios radioativos encontrados em seus territórios (Hamblin, 2021).

Para essas ciências e tecnologias nucleares a água é um elemento central. Ela é tanto o meio para a geração de energia, que depende de seu fluxo constante para gerar o vapor que move as turbinas e para resfriar os reatores, como é destino de muitos dos rejeitos radioativos das usinas, despejados nos oceanos e nos rios (Högselius, 2022).⁷ Rios, lagos e estuários tornaram-se objetos de estudos ecológicos sobre a poluição gerada pelas usinas atômicas e pela indústria militar, sobre as dinâmicas dos ecossistemas e a acumulação de radioisótopos na flora, na fauna, nas cadeias alimentares, e a circulação de isótopos ambientais pelos ecossistemas terrestres e aquáticos (Creager, 2013; Rothschild, 2013).

Além disso, nos relatórios, conferências e programas da AIEA, a água era narrada como um problema mundial que deveria ser enfrentado por todos os países, devido ao acesso limitado à água por uma população vista por esses especialistas como em crescimento desenfreado (IAEA, 1963, 1970). Durante a Guerra Fria, ansiedades malthusianas voltaram a assombrar debates políticos e científicos, com a produção de relatórios sobre as possibilidades de esgotamento dos recursos naturais em poucas décadas (Bonasera, 2022; Davis, 2016; Robertson, 2015). O relatório de uma reunião preparatória da Unesco em 1963, para lançar o Decênio Hidrológico Internacional, afirma que a demanda crescente por água, resultado do crescimento populacional, criava problemas de ordem global (Unesco, 1963, p. 3).

A hidrologia isotópica não era uma disciplina ou subárea bem definida até os anos 1950, mas foi defendida por especialistas em técnicas nucleares como uma solução moderna para compreender os componentes do ciclo hidrológico por meio dos traçadores de hidrogênio e oxigênio, como o trítio, produzidos pelos testes das bombas nucleares. O historiador Matthew Adamson (2021) explorou os debates internos que colocaram o desenvolvimento e a assistência técnica como um dos objetivos principais da AIEA durante os primeiros anos. Ele mostra também como um grupo de cientistas, ligados aos laboratórios nucleares da Universidade de Chicago, defendeu a hidrologia isotópica como área a ser apoiada pela agência, por fornecer conhecimentos e técnicos para países explorarem recursos hídricos em climas áridos e sanar os problemas globais de acesso, gestão e escassez da água. Diferentemente de outros aspectos complexos e custosos das técnicas nucleares, como a geração de energia atômica, disponível para pouquíssimos países, a hidrologia isotópica era uma técnica simples, relativamente barata e que poderia ser usada pelos países em desenvolvimento – segundo os especialistas na defesa de suas agendas de pesquisa.

Diversos países passaram a recorrer a Viena para a realização de estudos hidrológicos. A Seção de Hidrologia Isotópica da AIEA foi criada em 1961 para apoiar pesquisadores do mundo todo com programas de fomento, bolsas de intercâmbios, realização de eventos internacionais recorrentes e auxílio técnico no laboratório da agência em Seibersdorf, na Áustria, que realizava análises de amostras e estabelecia a calibração e padronização das técnicas e amostragens, testes de qualidade, além de definir métodos para a comunidade internacional (Fischer, 1997, cap. 9 e 10). Após a realização de um painel sobre técnicas isotópicas na hidrologia em Viena, em 1961 (IAEA, 1962), os diplomatas da AIEA concordaram em criar a rede global de pesquisa de isótopos de hidrogênio e oxigênio na precipitação, a GNIP, com a OMM naquele ano.

7 A ponto de Per Högselius (2022) considerar a era nuclear como uma continuidade da era hidráulica e a geração de energia nuclear como um híbrido de tecnologias novas com mais antigas, com o uso de tanques, turbinas, encanamentos, bombas d'água e todo o aparato hidráulico convencional desenvolvido ao longo de séculos, sem contar suas dimensões ambientais, já que as usinas se localizam sempre ao lado de cursos d'água ou dos oceanos.

A agência organizou o primeiro simpósio sobre Isótopos na Hidrologia em Tóquio, em 1963, e mesmo com a participação de apenas 14 países, reconhecia o papel dessa subárea na assistência técnica internacional (Adamson, 2021, p. 14-15). A história da hidrologia isotópica no século XX, portanto, está entrelaçada com a da própria agência em Viena.

Com essa consolidação institucional, a AIEA passou a enviar peritos para apoiar estudos hidrológicos ao redor do mundo, da Islândia ao Sudeste Asiático, da Tunísia à Grécia, onde os cientistas estudaram aquíferos com uso do trítio (Adamson, 2021, p. 15-17). Viena organizou simpósios internacionais em 1966, 1970 e 1983 na própria sede, com participantes de muitos Estados, inclusive do Brasil. A agência também organizou eventos específicos, como um simpósio sobre águas subterrâneas em 1974 e outro sobre zonas áridas em 1978, ambos com a participação de pesquisadores do Cena, que, como veremos na próxima seção, foram grandes beneficiários dessa fonte internacional de recursos e apoio técnico.

No plano teórico e metodológico, a hidrologia isotópica ganhou forma a partir dos anos 1950. Como afirmou o pesquisador norte-americano V.T. Chow (1967), na introdução ao Simpósio sobre Isótopos na Hidrologia, organizado pela AIEA em Viena, em 1966, como a hidrologia lida com a circulação, a ocorrência e a distribuição das águas no planeta, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com o meio, a disciplina se via desafiada pela enorme complexidade desses processos. Apesar da definição normalmente simplista do ciclo hidrológico, de uma sequência contínua de precipitação, vazão e evaporação, ele é extremamente complexo, composto por inúmeros ciclos continentais, regionais e locais, inter-relacionados e interdependentes, com muitos fatores que influenciam na distribuição e na ocorrência de água (Chow, 1967, p. 3-4). E os estudos nucleares da água poderiam esclarecer vários desses processos e ciclos.

Foi durante a passagem de uma frente úmida pela Dinamarca no verão de 1952 que o físico dinamarquês Willi Dansgaard (1922-2011), da Universidade de Copenhague, deu início aos primeiros estudos isotópicos de precipitação (Dry, 2019; Lolck, 2004). Com as amostras que coletou em diferentes momentos, ele detectou uma variação na assinatura molecular da água conforme a frente passava pela cidade, o que indicava que as tempestades tinham sua própria história físico-química. Posteriormente, ele identificou que a proporção isotópica nas amostras estava relacionada à temperatura do ar onde a chuva havia se formado. Por conta da variação entre suas massas atômicas, isótopos mais “leves” e mais “pesados” se comportam de maneiras distintas, os mais pesados condensam e precipitam primeiro, enquanto os mais leves evaporam primeiro, numa variação dependente da temperatura e da umidade relativa do ar.

Nos anos seguintes, Dansgaard seguiu os rastros isotópicos em águas pelo mundo, coletando amostras de chuva e vapor com aviões da Força Aérea dinamarquesa. Ele estabeleceu uma rede de coleta com apoio da frota de uma empresa dinamarquesa com operação na Ásia, e em amostras de gelo nos campos militares norte-americanos na calota polar da Groenlândia – instalados no território dinamarquês para contenção da presença soviética no Ártico (Martin-Nielsen, 2013). Dansgaard, também foi um dos principais pesquisadores da rede GNIP e seu artigo na publicação acadêmica sueca *Tellus*, “Stable isotopes in precipitation”, em que analisa os dados de precipitação da GNIP, tornou-se referência para os estudos sobre o que os especialistas chamam de fracionamento isotópico da água (Dansgaard, 1964).

Como mencionado, o interesse da AIEA nos dados de condensação e precipitação era o de monitorar globalmente a presença de trítio oriundos dos testes nucleares e utilizá-lo como um traçador fácil e barato para compreender as dinâmicas do ciclo hidrológico (Adamson, 2021;

Aggarwal et al., 2010; p. 35; Fischer, 1997, p. 390; Mook, 2000). Em 1963, houve a assinatura de um tratado internacional banindo os testes atmosféricos e, apesar de a rede GNIP ter continuado a monitorar o trítio nos anos seguintes, seu foco mudou para as variações dos isótopos ambientais na precipitação e em águas subterrâneas (Fischer, 1997, p. 373).

Até os anos 1950, hidrólogos já buscavam traçadores para detectar os fluxos hídricos, como sais e tinturas, o que foi avançado com o uso dos radioisótopos (iodo, bromo e ouro, por exemplo), despejados nos cursos d'água ou aquíferos para medir velocidade dos fluxos, taxas de evaporação e de recarga (Adamson, 2021). Mas havia uma série de problemas metodológicos devido à baixa detecção desses radioisótopos, sua meia-vida curta, o que dificultava seu transporte até o local de estudo, e à sua absorção por rochas e pelo solo (IAEA, 1962, p. 9-13). Sem contar que a preocupação popular e dos movimentos ambientalistas com os efeitos nocivos da radiação gerou uma mudança de posturas dos especialistas, a ponto de Bryan Payne (1976, p. 40), chefe da divisão científica da AIEA, afirmar no boletim da agência que nenhuma radioatividade era introduzida mais no ambiente em estudos hidrológicos. Dessa forma, os isótopos naturais do hidrogênio e do oxigênio tornaram-se traçadores mais confiáveis, seguros e baratos para compreender a água em suas diferentes formas e estados.

Quando os pesquisadores brasileiros, ligados ao laboratório de Eneas Salati no Cena, em Piracicaba, passam a realizar pesquisas isotópicas em 1968, a AIEA já havia consolidado os estudos dos isótopos ambientais da água. Contudo, mesmo que os brasileiros tenham entrado em cena num momento em que a disciplina já estava estabelecida, eles contribuíram de forma inovadora, o que veremos na próxima seção.

Hidrologia isotópica no Brasil e no Cena

Após 1945, países como o Brasil negociaram e receberam um grande volume de recursos financeiros, visitas técnicas, equipamentos e bolsas de pesquisa por parte das organizações internacionais, de agências de cooperação e filantrópicas de países do Norte global. Para Arturo Escobar (1995), a defesa internacional do desenvolvimento científico e tecnológico em regiões como a América Latina esteve envolta por um simbolismo de magia, encantamento ou sonho, em que essas organizações ajudariam a região a replicar o progresso alcançado pelos EUA e pela Europa.

Destaca-se a forte presença de instituições públicas e privadas dos Estados Unidos, como órgãos e departamentos federais, a Agência de Desenvolvimento Internacional (Usaid), a Fundação Rockefeller e a Fundação Ford. Essa presença, após 1945, deve ser entendida como parte dos programas de assistência na América Latina para combater a pobreza e frear a influência do comunismo na região, cujas atuações ultrapassam os interesses geopolíticos definidos pelos diplomatas e governantes (Faria e Costa, 2006). Essas instituições apoiaram a agronomia, a medicina, a saúde pública, e as diversas ciências naturais e sociais e seus interesses, filantrópicos ou imperialistas. As atuações de seus agentes, bem como as negociações e disputas com técnicos e governantes locais, vêm sendo analisados por historiografia recente (Andrade, 2015; Mello, 2017; Martins, 2012; Molina, 2022; Silva, 2013; Sá et al., 2020).

Em relação à hidrologia, a América Latina acompanhou o restante do mundo na institucionalização da disciplina nos anos 1960 (Payne, 1976). Estudos eram feitos sobre a circulação

atmosférica e a precipitação, sobre a qualidade e a salinidade de águas subterrâneas e suas taxas de reciclagem, especialmente em regiões afetadas pela aridez, como o México e o Nordeste brasileiro. Compreender a vazão de rios, canais e barragens era essencial para garantir a geração de energia em usinas ou a navegação, medindo o movimento de sedimentos em portos, essenciais para os projetos de modernização. Isótopos eram usados para monitorar vazamentos e fluxos em barragens e usinas, e estudar os índices de poluição em portos e estuários (Payne, 1976).

A partir dos anos 1960, estudos de hidrologia isotópica eram apoiados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), criada em 1956, órgão com sede no Rio de Janeiro e responsável pelo programa nuclear brasileiro (Leão, 1997) – vinculado num primeiro momento ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e depois ao Ministério de Minas e Energia. Após os primeiros anos conturbados (Andrade e Santos, 2013), a Cnen, com apoio da AIEA, financiou o treinamento de alguns cientistas brasileiros no exterior, a realização de cursos curtos e eventos científicos, a criação de programas de pós-graduação e de laboratórios universitários.

Os dois primeiros centros especializados da Cnen foram o Instituto de Energia Atômica (IEA), localizado no que viria a ser a Cidade Universitária da USP, no bairro do Butantã em São Paulo, onde havia sido instalado o primeiro reator nuclear de pesquisas no país; e o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), em Belo Horizonte, ligado à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Patti, 2014b).⁸ Nesses centros haviam sido instalados os primeiros reatores de pesquisa no país, obtidos dos EUA por meio do programa Átomos para a Paz, após a assinatura do Acordo de Cooperação para Usos Cívicos da Energia Atômica com o Brasil em agosto de 1955 (Brasil, 1955; Drogan, 2019, p. 454).⁹ No caso da hidrologia isotópica, o IEA e o IPR se dedicaram a medir a vazão de rios, canais e turbinas das usinas hidroelétricas em Furnas, Três Marias e nos rios Grande e São Francisco com uso de radioisótopos como bromo-82 e ouro-198, a analisar movimento de sedimentos em portos e a montar um laboratório de trítio com equipamentos doados pela AIEA (Cnen, 1969, p. 4-5, 72-74).

Um destaque na área hidrológica foram as pesquisas conduzidas no Cena, localizado no campus da Esalq/USP em Piracicaba (Cnen, 1969, p. 77). O centro foi a primeira instituição especializada em estudos nucleares agrônômicos no país e foi gestado por professores da Esalq. Havia sido criado em 1962 como Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura (Cnena), através de um convênio entre a comissão nacional e a USP e que foi desfeito com o golpe militar de 1964, mas refeito em 1966 com assinatura de novo acordo, quando nasce, enfim, como Cena (Leão, 1997, p. 70-79). Essa dupla vinculação à Cnen e à USP foi mantida até 1977, quando foi

8 O IEA chama-se atualmente Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, e o IPR, Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear. Foram os dois centros científicos da Cnen até a criação do Instituto de Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1962, e do Instituto de Radioproteção e Dosimetria em 1972, no Rio de Janeiro. A Comissão também instalou centros regionais no Recife (PE) e em Abadia de Goiás (GO), este último para lidar os rejeitos do acidente com césio-137 em Goiânia (Leão, 1997; Brasil, 2024).

9 O acordo bilateral foi negociado pelo governo brasileiro como compensação tecnológica pela exportação de tório e urânio para os EUA – o que foi garantido paralelamente com outro acordo, que estabelecia um programa conjunto para prospecção de minérios radioativos no território brasileiro com apoio do Serviço Geológico norte-americano (Brasil, 2023, p. 101-102; Drogan, 2019; Patti, 2014b). Andrade e Santos (2013), caracterizam os acordos como submissos aos interesses americanos e, segundo Carlo Patti (2014a), eles foram feitos em detrimento das tentativas, no início dos anos 1950, de cooperação tecnológica entre o Brasil e a Alemanha Ocidental, ainda sob ocupação dos países aliados.

incorporado totalmente à universidade, e depois transformado em instituto especializado, em 1988 (Leão, 1997, p. 96-97).

A fundação do Cena se deu, desse modo, em meio à transformação política instaurada pelo regime militar, que, se por um lado perseguiu e reprimiu violentamente estudantes e pesquisadores ligados à esquerda, expurgando-os das instituições com aposentadorias compulsórias, prisões e exílios, por outro lado reorganizou a pesquisa nacional com a reforma universitária de 1968 e a criação de fundos de desenvolvimento para ciência e tecnologia (Molina, 2022; Schwartzman, 2001, p. 254) – dos quais o Cena se beneficiou enormemente. Em 1968, quando o primeiro edifício e os laboratórios foram inaugurados com recursos da Cnen, o Cena passou a oferecer cursos regulares sobre energia nuclear para a graduação da Esalq e criou seu próprio programa de pós-graduação (Cena, 1978).

Um dos marcos do Cena foi assinatura em 1972 de um acordo de cooperação técnica entre o governo federal e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) para investir recursos no centro (Cena, 1978). O projeto “Desenvolvimento da Produção Agrícola através da Aplicação de Tecnologia Nuclear” (BRA/71/556) tinha duração prevista de cinco anos, mas foi prorrogado até o final de 1978 e renovado para uma segunda fase (BRA/78/006) até 1981 (IAEA, 1979; UNPD, 1978) – seguido posteriormente por outros convênios, como chamado projeto Amazônia I (BRA/0/010).¹⁰

As ciências nucleares estiveram no centro dos investimentos públicos durante a Guerra Fria, e a área em conjunto com a agricultura foi prioridade dos programas de desenvolvimento e de fomento à ciência, levados a cabo nos governos Médici e Geisel nos anos 1970 (ver Salles Filho, 2009). Desse modo, o governo via no Cena uma linha de frente para a modernização agrícola, com estudos de fertilização, nutrição, genética e melhoria de linhagens – parte da chamada revolução verde.¹¹ Paralelamente, na Esalq, houve nos anos 1960 a assinatura de um convênio com a Usaid para a renovação do currículo e das pesquisas, e a abertura de um escritório da agência na escola com cientistas e professores norte-americanos (Molina, 2022).

O convênio entre o Cena e o Pnud/AIEA previa o repasse de mais de 1 milhão de dólares, em valores da época, nos primeiros 5 anos (Cena, 1978, p. 118), e mais 600 mil dólares para a segunda fase (UNPD, 1978) – fundos que vinham tanto do Pnud, administrados pela AIEA, que também cuidava da parte científica, como da contrapartida brasileira, por intermédio da comissão nacional.¹² Para Viena, o Cena representava uma porta de entrada no Brasil e na América Latina, para a realização de um grande projeto de cooperação na área agrícola, e foi o terceiro instituto no mundo a receber esse tipo de apoio, depois da Iugoslávia e da Índia (Lamm, 1976). Nos documentos sobre o convênio encontrados no Cena, vemos que os recursos foram utilizados em diversos setores, como a compra de equipamentos e insumos de pesquisa;

10 Processo n. 29, Projeto BRA/71/556, Missão de Revisão; Processo n. 36, Projeto BRA/71/556, Prorrogação do Projeto. Setor de Protocolos, Cena/USP.

11 Para um resumo sobre a história política da “revolução verde”, de suas relações com os Estados Unidos e sua promoção pelo regime militar nos anos 1970, ver Mello (2017).

12 Segundo o relatório de atividades do Cena para o decênio de 1968 a 1977 (Cena, 1978) e um relatório do Pnud (UNPD, 1978), 80% dos recursos básicos do centro vinham da Cnen e 20% da USP, esta última especialmente na folha de pagamentos dos professores. Considerando os recursos totais do centro, incluindo as pesquisas, os equipamentos e insumos, a Cnen contribuiu em média com 59%, o convênio Pnud/AIEA com 13,57%, a USP com 12%, e outras fontes de financiamento foram as empresas públicas Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), além das agências de fomento à pesquisa.

a instalação de laboratórios e estufas; a montagem da biblioteca; bolsas de intercâmbio; visitas de peritos estrangeiros e a realização de cursos, workshops e conferências. O convênio foi gerido na prática graças à instalação de um escritório da AIEA dentro do próprio centro – o único na América Latina fora das embaixadas (Leão, 1997). A agência era representada por diretores internacionais, que trabalhavam para facilitar o trâmite de recursos e a comunicação com Brasília, Genebra e Viena. Os primeiros foram o dinamarquês, Carl G. Lamm, e o geneticista norueguês, Knut Mikaelson, até a vinda do químico britânico Peter B. Vose em 1975, que permaneceu uma década em Piracicaba trabalhando com uma secretária brasileira contratada pela agência, Diva Athié.¹³

A atenção da agência, especializada em energia nuclear, para os estudos agrícolas ganhou força com a criação, em 1964, de uma Divisão Compartilhada entre a AIEA e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), com sede em Roma, para o combate à fome com o uso de técnicas nucleares, e à qual eram vinculados os diretores internacionais do convênio (IAEA, 1965; Lamm, 1994). Técnicos da AIEA buscavam fomentar soluções baseadas no átomo para o problema da alimentação no mundo, com o controle de pragas e a preservação de alimentos por meio da irradiação de radioisótopos, estudos de patologias em plantas e animais, a melhoria genética de linhagens, o uso de isótopos para estudos de metabolismo, nutrição, irrigação e fertilização do solo (Lamm, 1976).

As histórias oficiais promovidas por funcionários da agência (Lamm, 1994; Fischer, 1997), costumam exaltar a parceria entre essas duas organizações como bem-sucedidas e um bom exemplo de compartilhamento de objetivos comuns por agências com escopos distintos. Porém, Hamblin (2009) mostrou que havia disputas entre peritos da FAO e da AIEA a respeito da pertinência e da eficácia dos métodos nucleares, caros e muitas vezes com poucas comprovações, para as melhorias agrícolas em países em desenvolvimento. Hamblin argumenta que a agenda científica de Viena reforçava sua prioridade no uso do átomo, visto como modernizante, em detrimento da variedade de métodos agrícolas mais baratos e de maior alcance, essenciais, segundo a FAO, para países com orçamento limitado e afetados pela fome.

De todo modo, o convênio firmado com o Pnud e a AIEA permitiu a circulação dos investidores dentro e fora do país, dando-lhes visibilidade e reconhecimento. O centro foi visitado por Médici e Geisel, ministros de Estado, governadores, reitores e diretores estrangeiros e muitos peritos. Os ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e diferentes instituições regionais procuraram o Cena para a realização de pesquisas. Embora seu foco fosse a agronomia e a zootecnia, a hidrologia tornou-se um de seus mais duradouros programas científicos. A área foi liderada por dois membros fundadores do centro, Admar Cervellini e Eneas Salati, professores do Departamento de Física e Meteorologia da Esalq. Cervellini, foi diretor do Cena da fundação em 1966 até 1980, enquanto Salati fundou o laboratório de isótopos estáveis em 1968 para

13 Peter B. Vose, foi uma figura emblemática para o Cena pela longa permanência, garantindo o bom funcionamento do convênio, a renovação em 1977 e a prorrogação em 1978, o fluxo constante de recursos e a divulgação internacional das pesquisas (Cervellini e Vose, 1976). Químico de formação, foi funcionário da AIEA desde os anos 1960, trabalhando como *liaison* da agência junto à FAO em Roma e foi membro da equipe que fundou a Divisão Compartilhada FAO/AIEA (Lamm, 1994; Sigurbjörnsson e Vose, 1994). Apesar de sua carreira burocrática, publicou nos anos 1980 dois livros sobre melhoramento genético de plantas e a aplicação de técnicas nucleares na agricultura, e trabalhos importantes com Eneas Salati sobre a Amazônia em revistas como a *Science* (Salati e Vose, 1984).

estudos de oxigênio e hidrogênio – e assumiu a direção do Cena em 1981, após um período como diretor do Instituto de Pesquisas da Amazônia (Inpa), em Manaus.

Salati formou-se pela Esalq e sua inserção nos estudos nucleares ocorreu após seu doutorado, durante um intercâmbio, com bolsa da Cnen, entre 1961 e 1962, no Laboratório Nacional de Argonne nos Estados Unidos, instituição em que Enrico Fermi havia montado o primeiro reator nuclear do mundo (Oito..., 18 fev. 1961, p. 6; Brasileiros..., 13 fev. 1962, p. 9). Salati fez o curso do Instituto Internacional Norte-Americano de Ciência Nuclear e Engenharia de Argonne, um dos braços principais do programa Átomos para a Paz e cuja finalidade era treinar cientistas estrangeiros em técnicas nucleares para fins pacíficos, de modo que retornassem a seus países de origem e ajudassem na criação de projetos de pesquisa em universidades e programas nucleares nacionais (USA, 1959, p. 132-133).

Após participar de eventos internacionais, como o Simpósio de Hidrologia Isotópica da AIEA em 1966, como observador ao lado de Cervellini (IAEA, 1967, p. 726), Salati deu início às pesquisas sobre águas pluviais, superficiais e subterrâneas. Essas investigações só se tornaram possíveis graças à instalação, em dezembro de 1968, pelo próprio Salati, de um espectrômetro de massa CH₄ da Varian MAT, fabricado na Alemanha Ocidental.¹⁴ O espectrômetro ficava ligado diariamente, inclusive aos finais de semana, em uma sala refrigerada a 20°C com umidade controlada (Cena, 1968, p. 28-29; 1971, p. 31).

O laboratório de Salati realizava análises dos isótopos ambientais, como aquelas feitas por Dansgaard na Dinamarca – que, cabe mencionar, o brasileiro foi visitar mais de uma vez. A operação com oxigênio teve início em 1968, enquanto a de hidrogênio demorou um pouco mais, devido a problemas com a importação de tubos de quartzo e de urânio metálico, necessários para decompor a água (Cena, 1969, p. 29). Outro espectrômetro foi instalado em 1970, o GD 150 da Varian MAT, menor e mais barato e “desenhado especialmente para a medida da variação da razão D/H” (Cena, 1971, p. 32) – seguidos de outros nos anos 1980. Também trabalhava no laboratório Eiichi Matsui, funcionário da Cnen, nascido no Japão e naturalizado brasileiro, mestre em física nuclear pela Escola Politécnica da USP, que foi contratado para trabalhar no Cena especialmente na operação dos equipamentos, no preparo e análise do deutério.¹⁵

Importante para o início do programa foi o contato estabelecido por Salati com o químico Irving Friedman (1920-2005), do Serviço Geológico dos EUA, em Denver, importante especialista em hidrologia isotópica ao lado de Dansgaard, e que havia sido perito da primeira missão da AIEA de hidrologia na Islândia, em 1961 (IAEA, 1967). Friedman obteve seu doutorado no Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago, coordenado por Harold Urey, importante centro de estudos de deutério e dos isótopos de oxigênio – centro que congregava pesquisadores que estiveram por trás da criação da área de hidrologia isotópica da AIEA e da

14 MAT (Mess- und Analysen Technik) foi uma divisão da empresa Atlas, criada em Bremen logo após a Segunda Guerra Mundial, responsável por fabricar espectrômetros de massa e que alcançou aceitação no mercado, então dominado por equipamentos americanos e britânicos, somente com o lançamento do modelo CH₄ no final dos anos 1950 (Brunnée, 1997). A divisão foi comprada pela empresa norte-americana Varian, baseada em Palo Alto, no Vale do Silício, na Califórnia, em 1967.

15 Informações baseadas em documentos do Cena, documento base Cnen/26672/Cena [USP 72.1.9.64.8], nos relatórios de atividades do Cena, e em entrevistas realizadas com o professor titular aposentado, Reynaldo Luiz Victoria, em 10 mar. 2023 e com o técnico de laboratório aposentado, José Aurélio Bonassi, em 7 nov. 2023. Cabe mencionar que Eiichi Matsui defendeu o doutorado pela Esalq em 1978, orientado por Salati. Foi pesquisador da Cnen até se aposentar, lotado primeiro no IEA, de 1961 a 1970 e, a partir de 1970, no Cena.

criação da rede GNIP (Adamson, 2021). Segundo um obituário, Friedman montou o primeiro espectrômetro de massa para análises de isótopos de hidrogênio (Martin, 2005).

O contato entre o Cena e Friedman teve início em 1970, quando o norte-americano enviou amostras de padronização para isótopos ambientais para os pesquisadores paulistas adequarem suas análises, e propôs uma visita a Piracicaba (Cervellini, 30 jan. 1970; Friedman, 16 fev. 1970).¹⁶ Desde 1969, o Cena já buscava a vinda de um perito para auxiliar na determinação e na interpretação das variações isotópicas de amostras de água, e havia circulado uma chamada de consultoria com bolsa da AIEA.¹⁷ A viagem de Friedman foi acordada entre a agência e o Cena, com aprovação do governo brasileiro, em março de 1970 (Friedman, 26 mar. 1970; Cervellini, 1 abr. 1970; Friedman, 10 abr. 1970).¹⁸

Com informações das cartas, documentos e três relatórios de viagens,¹⁹ vemos que um contato duradouro foi estabelecido com outras visitas de Friedman a Piracicaba, incluindo sua participação em pesquisas de campo no Nordeste e na Amazônia, junto com Salati e os colegas do Cena, durante a realização de consultorias técnicas em nome da AIEA, cujos relatórios foram disponibilizados para o governo, à Cnen e à Viena. As viagens de Friedman facilitaram as trocas de informações, conhecimentos e técnicas entre os centros e aceleraram o próprio funcionamento do laboratório em Piracicaba. O americano auxiliou na elaboração dos projetos de pesquisa liderados por Salati; na padronização das análises dos dados em acordo com as técnicas estabelecidas em Viena; ajudou a calibrar o equipamento recém-montado para a análise de deutério; e garantiu que o centro recebesse novas peças para as máquinas, vidros de quartzo e urânio metálico, comprados com fundos da AIEA e da Cnen (Salati, 15 maio 1970; Friedman, 1971, 1972, 1973).²⁰ Além disso, Salati fez um estágio de seis semanas em Denver em 1970, e Matsui em 1973, com bolsas da Cnen, para aperfeiçoar suas técnicas em hidrologia isotópica com o norte-americano (Salati, 22 set. 1970)²¹ – após recomendado por Friedman para a AIEA.²² Como Salati disse em carta para o colega americano no final de 1970, as análises de deutério e

-
- 16 CERVELLINI, A. [Correspondência]. Destinatário: I. Friedman. [S.I.], 30 jan. 1970. 1 carta. n. 23/70-Cena; FRIEDMAN, I. [Correspondência]. Destinatário: A. Cervellini. [S.I.], 16 fev. 1970. 1 carta. US Department of the Interior USGS. Documento-base ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 17 IAEA, International Atomic Energy Agency, request from the Government of Brazil, job description IAEA BRA/8/04 (Rev. 1), Radioisotopes in hydrology, 26 jun. 1969, Documento base ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 18 FRIEDMAN, I. [Correspondência]. Destinatário: A. Cervellini. [S.I.], 26 mar. 1970. 1 carta.; CERVELLINI, A. [Correspondência]. Destinatário: I. Friedman. [S.I.], 1 abr. 1970. 1 carta. n. 100/70-Cena; FRIEDMAN, I. [Correspondência]. Destinatário: A. Cervellini. [S.I.], 10 abr. 1970. 1 carta. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 19 Pasta "Irving Friedman. Indicação de representante. Perito AIEA Projeto BRA/71/556 – Hidrologia", documento base ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 20 SALATI, E. [Correspondência]. Destinatário: I. Friedman. [S.I.], 15 maio 1970. 1 carta. n. 146/70-Cena.; FRIEDMAN, I. Report to the IAEA, Vienna. Denver: rascunho mimeo., 1971.; FRIEDMAN, I. TA report n. 699: report to the government of Brazil. Isotopes in Hydrology. Viena: IAEA, 1972; FRIEDMAN, I. Isotopes in Hydrology (Cena-Piracicaba): report to the government of Brazil. Viena: IAEA, 1973. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 21 SALATI, E. [Correspondência]. Destinatário: I. Friedman. [S.I.], 22 set. 1970. 1 carta. n. 290/70-Cena. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.
- 22 Relatório da bolsa de estudo de Eiichi Matsui pela AIEA (BRA/71/556), 1974, documento base: Cnen/26672/ Cena [USP 72.1.9.64.8], Cena/USP.

hidrogênio passaram a funcionar “a pleno vapor”, com dois sistemas de preparo de amostras e 15 a 20 análises feitas diariamente (Salati, 3 dez. 1970).²³

Com o laboratório montado, num nível similar aos melhores do mundo, como Friedman o descreveu para a AIEA, os brasileiros iniciaram estudos sobre os rios, as chuvas, e a economia de águas de campos cerrados em municípios do interior paulista para fomentar a produção agrícola, temas caros ao Cena, à Esalq e ao governo federal (Cnen, 1969, p. 77-78; Cena, 1969). Também passaram a contribuir com a rede global GNIP de coleta de dados de precipitação (Cena, 1971). Porém, os dois principais estudos do grupo foram conduzidos no Nordeste e na Amazônia, momento em que Salati e colegas trabalharam com as superintendências regionais de desenvolvimento e instituições de pesquisa, levando os pesquisadores e a hidrologia isotópica praticada no Brasil a patamares mais altos.

Águas brasileiras e problemas ao desenvolvimento

Por serem consideradas pelo governo federal como subdesenvolvidas, as regiões do Nordeste e da Amazônia tornaram-se o foco dos projetos nacionais de desenvolvimento gestados no período democrático, após 1945, e no regime militar, após o golpe de 1964 (Andrade, 2012; Batista, 2016; Buckley, 2017; Mello, 2017). Foram marcos para essas políticas a criação do Inpa em 1954, das Superintendências de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) em 1959 e da Amazônia (Sudam) em 1966. Ao lado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), criada em 1973 para fomentar o desenvolvimento agrícola, essas instituições foram parceiras de diferentes projetos conduzidos no Cena, o que deu aos seus laboratórios um papel importante nos circuitos e debates desenvolvimentistas durante a ditadura militar.

Com a elaboração do primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento (I PND – 1972-1974) e do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PBDCT – 1973-1974) no governo Médici, o regime militar defendia a integração nacional por meio do fomento à ciência e à tecnologia, buscando acelerar o crescimento econômico com a expansão da agropecuária e a prospecção de recursos minerais no trópico úmido – a Amazônia – e a modernização agrícola no trópico árido – o Nordeste (Salles Filho, 2009, p. 411).

O primeiro grande estudo hidrológico do Cena foi uma cooperação com a Sudene. O intercâmbio foi discutido logo após a fundação do centro, em 1966, quando o então presidente da Cnen, Uriel da Costa Ribeiro, informou Cervellini de estudos preliminares que a Sudene estava realizando com o Comissariado Francês de Energia Atômica sobre possíveis pesquisas nucleares em hidrogeologia, agricultura e prospecção mineral no semiárido. Cervellini demonstrou interesse no envolvimento de Piracicaba, imaginando que cursos e treinamentos técnicos poderiam ser oferecidos na Esalq, e do estabelecimento de convênios longos de pesquisa para que os investigadores pudessem auxiliar técnica e cientificamente a Sudene (Ribeiro, 1 ago. 1966; Ribeiro, 5 out. 1966; Cervellini, 18 out. 1966).²⁴ Antes que o espectrômetro de massa estivesse

23 SALATI, E. [Correspondência]. Destinatário: I. Friedman. [S.l.], 3 dez. 1970. 1 carta. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.

24 RIBEIRO, U.C. [Correspondência]. Destinatário: A. Cervellini. [S.l.], 1 ago. 1966. 1 ofício. Cnen-286/66.; RIBEIRO, U.C. [Correspondência]. Destinatário: A. Cervellini. [S.l.], 5 out. 1966. 1 ofício. CNEN-420/66.; CERVELLINI, A. [Correspondência]. Destinatário: U.C. Costa Ribeiro. [S.l.], 18 out. 1966. 1 carta. n. 426/66-CENA. Documento base: Cnen/28666/Cena [USP 66.1.114.64.0], Cena/USP.

em funcionamento, Salati e técnicos da Sudene, como o engenheiro Geraldo de Azevedo Gusmão e o geólogo Aldo da Cunha Rebouças, já estavam em contato (Cena, 1971, p. 33). Em carta enviada a Rebouças em 1968, Salati estava elaborando um curso de hidrologia isotópica e decidindo sobre possíveis locais de coleta de amostras (Salati, 1 jul. 1968).²⁵

O interior do Nordeste foi o palco de investigações e triangulou o Cena, instituições do Nordeste e do Hemisfério Norte. Entre 1971 e 1973, durante suas visitas anuais a Piracicaba, Irving Friedman viajou ao Recife ao lado de Salati para “doutrinar”, em suas palavras, os geólogos da Sudene sobre vantagens científicas da hidrologia isotópica para o estudo das águas subterrâneas do semiárido (Friedman, 1971; 1972; 1973).²⁶

Além do norte-americano, uma missão israelense somou-se aos esforços. A vinda de cientistas de Israel foi garantida após a assinatura de um acordo de cooperação técnica de 1962, entre Brasil e Israel, e uma complementação em 1966 que tratava do uso pacífico da energia nuclear (Brasil, 1962, 1966). Outros acordos complementares seriam firmados em 1964 e 1967, com foco em hidrologia e no combate à seca, com apoio israelense a projetos de irrigação, perfuração de poços e prospecção de fontes hídricas no Nordeste (Brasil, 1963, 2023). Mário Martins Viaja Jr. (2021) mostrou como o regime militar se uniu ao capital estrangeiro para modernizar o campo no semiárido nordestino, com grande estímulo à irrigação e à perfuração de poços. Diversas agências e empresas estrangeiras participaram desse processo, com importante presença israelense, como a Tahal, empresa público-privada de estudos hidrológicos, que se transformou numa das maiores credoras de projetos de irrigação, estudos hidrológicos e abastecimento no Nordeste, segundo o autor.

Nesse contexto de relações entre Israel e o Nordeste brasileiro, peritos do Instituto Weizmann de Ciência, de Rehovot, vieram ao país no primeiro semestre de 1968 (Técnicos..., 10 abr. 1968; Informe..., 16 maio 1968). Diferentes especialistas em técnicas nucleares visitaram o Rio de Janeiro, São Paulo, Piracicaba e o Recife. No Cena, foi realizado um curso de um mês sobre o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, patrocinado pela Cnen e pela Comissão de Energia Atômica de Israel, com o professor Benjamin Zur (Cena, 1969, p. 40). O braço principal da missão foi a viagem de três hidrólogos à sede da Sudene, entre eles Joel R. Gat (1926-2012), chefe do Departamento de Isótopos do Weizmann.

Gat, nasceu na Alemanha em 1926 e emigrou para o Mandato da Palestina antes de 1943, onde se graduou na Universidade Hebraica de Jerusalém, durante a formação do Estado de Israel, e completou seu doutorado em química isotópica no Instituto Weizmann, na década seguinte. Em 1955-1956, estudou em Argonne, a escola internacional de ciências nucleares na qual Salati estudaria 6 anos depois.²⁷ Esse foi o começo de uma parceria entre Salati, Gat e pesquisadores da Superintendência que se somava à de Friedman do Serviço Geológico Norte-americano (USGS) e, assim como o norte-americano, o israelense também retornou inúmeras vezes ao Cena ao longo dos anos 1970. Seus conhecimentos em águas superficiais, subterrâneas e atmosféricas, especialmente suas investigações sobre aquíferos e fontes hídricas em regiões áridas durante

25 SALATI, E. [Correspondência]. Destinatário: A.C. Rebouças. [S.l.], 1 jul. 1968. 1 carta. n. 111/68-Cena. Documento base: Cnen/28666/Cena [USP 66.1.114.64.0], Cena/USP.

26 FRIEDMAN, I. Report to the IAEA, Vienna. Denver: mimeo., 1971; FRIEDMAN, I. TA report n. 699: report to the government of Brazil: Isotopes in Hydrology. Viena: IAEA, 1972; Friedman, I. Isotopes in Hydrology (Cena-Piracicaba): Report to the government of Brazil. Viena: IAEA, 1973. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP.

27 É possível que Salati e Gat tenham se conhecido em reuniões da AIEA em Viena antes de 1968.

a formação do Estado de Israel, interessavam muito ao governo brasileiro e, em especial, aos pesquisadores nordestinos. Gat, orientou Salati na montagem do projeto e na escolha dos locais onde seriam coletadas as amostras de água, com base em sua relevância para as investigações, mas a decisão final cabia à Divisão de Meteorologia da Sudene. Salati, por sua vez, auxiliou a Superintendência na parte técnica, enviando materiais e frascos de vidro e estabelecendo as diretrizes de amostragem, a identificação correta, a periodicidade de cada coleta, a depender de onde ou quando eram feitas, antes ou depois do período chuvoso.

Além dos fluxos constantes das águas sob e sobre a terra, o trânsito de pesquisadores e de amostras também foi intenso. Os vidros circulavam pelo país e pelo mundo, do sertão para a sede da Sudene e para os laboratórios parceiros. As análises isotópicas de oxigênio e deutério eram conduzidas em Piracicaba, enquanto o trítio era analisado no IPR em Belo Horizonte e o carbono-14 no laboratório da AIEA na Áustria (Salati, Leal, Campos, 1974). O Cena recebeu um geólogo da Sudene, José de Menezes Leal, para um estágio de pesquisa em maio de 1972. Leal, por sua vez, acompanhou Friedman em uma viagem de pesquisa pelo rio São Francisco. Além disso, Eiichi Matsui realizou um intercâmbio de 13 meses no Instituto Weizmann no laboratório de Gat, de 1973 a 1974, com bolsa da AIEA – com passagem por Denver na ida e por Viena e Bremen, sede da fábrica da MAT, no retorno.²⁸ Os peritos estrangeiros defendiam, em seus relatórios de viagem para a AIEA, que as conexões entre Piracicaba e o Recife fossem ampliadas e apoiadas por auxílios técnicos.

Os laboratórios do Cena, do USGS e do Instituto Weizmann, auxiliariam a Sudene na determinação e na interpretação das taxas de evaporação dos açudes e das barragens, e na caracterização das fontes subterrâneas. Esse projeto se inseria na longa história das investidas tecnocientíficas na identificação da seca dos sertões como um problema nacional, processo que remonta ao final do século XIX (Andrade 2020; Buckley, 2017; Martins, 2023). Foram inúmeros estudos que visavam ampliar o acesso à água em uma região assolada por secas periódicas, sem contar a grande concentração de terra, poços e fontes, que muitos desses projetos não mencionavam e nos quais nem buscavam interferir, nomeando apenas as causas naturais como origem dos problemas. Eles resultaram, muitas vezes, na criação de açudes, que apresentavam alta taxa de evaporação pela grande incidência de irradiação solar.

Desse modo, uma possível solução apresentada pelos técnicos na virada dos anos 1960 e 1970 era estudar as reservas subterrâneas, caracterizando sua qualidade e sua idade e a velocidade com que os aquíferos se recarregavam após as chuvas – matérias com as quais Piracicaba, Denver, Rehovot e Viena poderiam contribuir. Além do estudo das águas da chuva, de rios, açudes e aquíferos ao redor do Nordeste, também foi escolhido o vale do rio Pajeú, em Pernambuco, para servir de bacia modelo para estudos mais aprofundados, local onde a Sudene já pesquisava com uso de técnicas não nucleares.

Um dos maiores problemas que afetavam essas águas subterrâneas, estava em sua alta salinidade, com grande concentração de cloretos de sódio e magnésio (Cena, 1974, p. 16; Salati et al., 1971). Uma controvérsia científica que os pesquisadores buscaram solucionar tratava da origem da salinidade nos aquíferos, se seria pré-histórica; originária dos movimentos continentais e oceânicos na longuíssima escala do tempo; oriunda dos altos índices de evaporação durante os períodos de seca ou do intemperismo das rochas da região; ou se era trazida dos

28 Informações baseadas em materiais dos documentos bases CNEN/26672/Cena [USP 72.1.9.64.8], CNEN/28666/Cena [USP 66.1.114.64.0], ES/2174/Cena [USP 74.1.111.64.9] do Cena.

oceanos pela atmosfera (Cena, 1974, p. 17-18; Salati et al., 1971; Salati et al., 1974) – posição que os pesquisadores do Cena defendem para muitos casos.

Os relatórios de pesquisa (Salati et al., 1971; Salati et al., 1974), apresentados em reuniões científicas no Brasil e em Viena, passaram a circular em outras instituições, como o Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco, com a expectativa que embasassem projetos de planejamento das águas nos sertões, incluindo a dessalinização, a melhoria da qualidade dos aquíferos, e a construção e o manejo dos reservatórios, açudes e cisternas.

Após a investida inicial no Nordeste, e graças aos contatos estabelecidos com o Ministério do Interior, o Cena passou a auxiliar o Inpa, em Manaus, e a Sudam, em Belém, em estudos hidrológicos. As primeiras investigações foram feitas para determinar a concentração de deutério e oxigênio-18 nos rios da bacia amazônica, assim como obter dados climatológicos e amostras de chuva (Cena, 1972, p. 28; 1973, p. 24) – até então insuficientes para a região. A coleta de amostras foi feita em conjunto com os técnicos do Inpa na parte científica, e com a Força Aérea Brasileira (FAB) e a Empresa de Navegação da Amazônia S.A., em relação ao acesso aos locais de coleta – o que nos indica o entrelaçamento entre o Cena e diferentes órgãos públicos na condução das pesquisas. Com aviões da FAB, a partir de Manaus, os pesquisadores visitaram os rios Juruá, Japurá, Javari, Putumayo, na fronteira com o Peru, e Içá, na fronteira colombiana (Friedman, 1972).²⁹

Friedman, Gat e outros peritos estrangeiros acompanharam Salati e Matsui na Amazônia, ao lado de pesquisadores de outras instituições brasileiras, como José Marques, ligado à FAB, orientando de mestrado e doutorado de Salati no Cena e professor de meteorologia da UFRJ, e Attilio Dall’Olio, da Universidade Federal de Pernambuco, também orientando de Salati. Em Manaus, eles operavam em conjunto com cientistas do Inpa, como Maria de Nazaré Góes Ribeiro, que trabalhava com processos micrometeorológicos e ecológicos, Antonio dos Santos, da hidrologia, e o limnologista alemão, Wilhelm L.F. Brinkmann, bolsista do Instituto Max Planck.³⁰

Como analisado por Lana Maria Batista (2016), a Amazônia havia se tornado o foco de diferentes planos de desenvolvimento regional do governo militar, cujos objetivos incluíam o fomento ao conhecimento técnico para o desenvolvimento econômico da região. O primeiro Plano de Desenvolvimento da Amazônia (1972-1974), via os rios como uma faixa de recursos, visando seu potencial hidrelétrico, pesqueiro e para os transportes, buscando transformar a riqueza natural amazônica em riqueza econômica (Batista, 2016, p. 107). Em 1968, iniciam-se investigações sobre o potencial elétrico dos rios, momento em que a construção de usinas estava no cerne do programa econômico militar, com a participação de engenheiros e economistas no governo e a aliança com construtoras (Johnson, 2021).

Nesse sentido, estudos para compreender as dinâmicas da vazão dos rios amazônicos eram necessários para o planejamento regional. Uma missão do USGS havia trabalhado com especialistas da Universidade do Brasil e da Marinha brasileira para tomar medidas do rio Amazonas em 1963, mas com o uso de técnicas não nucleares (Oltman et al., 1964). Graças ao convênio com o Pnud/AIEA e aos recursos da Cnen, da Finep e do CNPq, o projeto do Cena

29 FRIEDMAN, I. TA report n. 699: report to the government of Brazil: isotopes in hydrology. Documento base: ST/160270/United States [USP 70.1.7.64.3], Cena/USP. Viena: IAEA, 1972;

30 Segundo Ângela N. dos Santos Panzu (2015), os anos 1970 foram o período em que o Inpa passava por reformas administrativas, que incluíam a ampliação das estruturas de pesquisa, o aumento no número de técnicos contratados e inúmeros convênios firmados com outras instituições. Panzu mostra como as relações foram muitas vezes tensas entre pesquisadores estrangeiros e brasileiros.

sobre concentração de isótopos ^{18}O e D nas bacias fluviais brasileiras foi ampliado para um projeto de hidrologia isotópica na Amazônia de longa duração liderado por Salati, que incluía viagens em navios de pesquisa e em aviões da FAB. Desse modo, o Cena buscava auxiliar nas medições dos principais rios amazônicos, que incluíam a comparação de assinaturas isotópicas entre rios, e entre amostras coletadas em diferentes períodos, assim como entre as águas fluviais e pluviais, especialmente em Belém e Manaus (Cena, 1974, p. 17-18).

Essas pesquisas trouxeram uma conclusão inesperada e pioneira a respeito do balanço hídrico da Amazônia (Salati e Ribeiro, 1979; Salati e Vose, 1984), mas aventada desde o início do projeto, segundo os relatórios técnicos escritos por Salati e Friedman desde 1971. As amostras enviadas aos milhares para Piracicaba e as radiossondas instaladas em pequenos balões para o estudo do vapor atmosférico indicavam que os ventos do Oceano Atlântico eram responsáveis por pouco mais da metade das chuvas na região, enquanto o restante vinha dos processos de evaporação e evapotranspiração da própria floresta. A conclusão de Salati e de seus colegas era de que a floresta era tanto originada pelo imenso volume de chuvas equatoriais na região, como gerava a chuva, numa complexa relação dinâmica entre floresta e clima.³¹

Os desmatamentos causados pelos projetos de desenvolvimento, pela intensa colonização, pela expansão da pecuária e pela construção de estradas e usinas poderiam gerar impactos negativos no ciclo hidrológico e no clima da região. Se a floresta era a responsável por quase metade da precipitação, ela funcionaria como um “sistema em equilíbrio”, produzindo seus próprios ciclos naturais, reciclando sua própria água, na conclusão dos pesquisadores. Além disso, com base nos achados de seus projetos e nos de seus alunos, como Marques da UFRJ, Salati e Vose (1984), em artigo na *Science*, também levantaram a hipótese de que a floresta exportava umidade e vapor para o Centro-Sul do continente, especialmente no verão. Seu desmatamento desenfreado, portanto, poderia perturbar os ciclos de água e nutrientes necessários para a produção agrícola e para a geração de energia elétrica, tanto na Amazônia como em outras partes da América do Sul, além de pôr em risco a própria existência da floresta.

A hipótese gerou um profundo impacto no reconhecimento de Salati no campo científico e no movimento ambientalista internacional. A importância dessas investigações para indicar as possíveis transformações ambientais e climáticas dos projetos de desenvolvimento, garantiu a continuidade do apoio institucional de Viena para Piracicaba pela década seguinte, com a assinatura de diversos projetos de assistência técnica de longa duração com o Cena, focados na bacia amazônica. Enquanto suas pesquisas no início dos anos 1970 o colocavam no papel de aliado do Estado, a posição que assumiu após essas conclusões foi a de crítico das transformações ambientais estimuladas pelos programas governamentais. Isso representava uma inflexão em relação às posturas presentes entre o alto escalão do governo, de que os responsáveis pelos problemas ecológicos no mundo seriam os países industrializados (Martins, 2012, p. 138).

Em meio ao processo de abertura política, Salati defendeu a hipótese na grande mídia (Pesquisas..., 25 set. 1977), em publicações importantes tanto nacionais, como a *Acta Amazonica* do Inpa (Salati e Ribeiro, 1979), como internacionais, como a *Science* (Salati e Vose, 1984). Ele defendia

31 Ver a dissertação de Isabel C.S. Gnaccarini (2014), para uma comparação entre a ciência interdisciplinar de Salati e a do geógrafo Aziz Ab'Saber a respeito da Amazônia; ver a tese de David M. Rojas (2015), sobre a ciência e a política climática entre cientistas, diplomatas e agricultores na Amazônia, em que o autor discute as leituras que biogeoquímicos contemporâneos fazem de Salati e de sua hipótese da floresta como um sistema em equilíbrio.

uma ocupação ordenada da Amazônia, com uso da “agricultura ecológica”, e era contrário aos desmatamentos desenfreados. Mesmo crítico das políticas oficiais para a Amazônia, Salati foi nomeado diretor do Inpa em 1979, e passou a se reunir com setores do governo e o Ministério do Interior para chamar a atenção para possíveis transformações ambientais – o que não modificou o curso do governo a respeito de suas políticas econômicas, para além de promessas retóricas.

Considerações finais

No período do pós-guerra, a água foi caracterizada como um problema a ser enfrentado internacionalmente por *experts* das Nações Unidas, devido ao aumento populacional, às limitações do acesso à água doce, à crescente poluição industrial e às transformações ambientais. A água também era central para os programas de desenvolvimento levados a cabo pelo regime militar brasileiro, como a construção de usinas hidrelétricas por todo o país e os projetos de irrigação e abastecimento no Nordeste. O uso de técnicas nucleares para solucionar problemas hidrológicos foi estimulado pela AIEA, que investiu em programas de assistência técnica em países em desenvolvimento. Nesse contexto, destacaram-se os trabalhos de hidrologia isotópica, coordenados por Eneas Salati no Nordeste e na Amazônia, em aliança com órgãos regionais, como a Sudene e o Inpa. A rede constituída pelos pesquisadores do Cena envolveu a participação e a circulação de peritos, recursos e materiais entre o Brasil e instituições do Hemisfério Norte, com apoio da AIEA.

Apesar do fluxo de recursos das agências internacionais ao Cena, e a vinda constante de peritos estrangeiros que auxiliavam os brasileiros nas pesquisas, da elaboração dos projetos à interpretação dos dados, o fluxo de conhecimentos e técnicas não foi unidirecional. Pelo contrário, os *experts* do Cena foram protagonistas na constituição de suas próprias agendas de pesquisa, em que os peritos internacionais desempenharam, na verdade, o papel de apoio – algo distinto do lugar periférico do Inpa nas relações assimétricas com instituições europeias e norte-americanas no mesmo período (Gama e Velho, 2005). Os brasileiros definiram as agendas de trabalho, os planos das visitas de campo e levantaram as principais hipóteses. Além disso, publicaram suas conclusões como autores principais em conferências científicas e em importantes publicações internacionais.

Enquanto no projeto realizado em parceria com a Sudene no semiárido nordestino, a partir de 1968, os pesquisadores buscavam encontrar maneiras de ampliar o acesso à água de qualidade, numa região caracterizada por eles como carente em recursos hídricos e afetada pela seca; no projeto conduzido na Amazônia junto ao Inpa, a água era definida em termos de sua abundância, que conectava intimamente a floresta e o clima, num equilíbrio que poderia ser quebrado caso os desmatamentos continuassem a aumentar. Os estudos da água, aos quais Salati dedicou toda a sua carreira científica, o transformaram de contribuidor dos projetos desenvolvimentistas estimulados pelo governo militar e pelas agências das Nações Unidas, de início, a um crítico dessas políticas e um nome reconhecido nos circuitos ambientalistas internacionais.

Agradecimentos

O artigo foi escrito a partir de uma pesquisa em estágio de pós-doutorado realizada no âmbito do projeto “A Amazônia como microcosmo do Antropoceno: a história das pesquisas transnacionais em ecologia amazônica e os impactos ambientais da Grande Aceleração (1952-2002)”, coordenado por André Felipe Cândido da Silva na Casa de Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, com bolsa do CNPq, modalidade Apoio à Difusão do Conhecimento - Nível 1A. O autor agradece à Fiocruz e ao CNPq pela oportunidade de pesquisa, e ao André Felipe e demais pesquisadores do projeto pelos diálogos, comentários e sugestões.

Referências bibliográficas

- ADAMSON, M. Science diplomacy at the International Atomic Energy Agency: isotope hydrology, development, and the establishment of a technique. *Journal of Contemporary History*, v. 53, n. 3, p. 522-542, 2021.
- AGGARWAL, P.K. et al. Global hydrological isotope data and data networks. In: WEST, J.B. et al. (ed.). *Isoscapes: understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping*. Dordrecht: Springer, 2010. p. 33-50.
- ANDRADE, A.M.R.; SANTOS, T.L. A dinâmica política da criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (1956-1960). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 8, n. 1, p. 113-128, 2013.
- ANDRADE, J.B.F. Os sertões em debate: fronteiras, secas e instituições. *Projeto História*, São Paulo, v. 69, p. 275-311, 2020.
- ANDRADE, R.P. *A Amazônia na era do desenvolvimento: saúde, alimentação e meio ambiente (1946-1966)*. Tese (Doutorado em História da Ciência) – Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz, Rio de Janeiro, 2012.
- ANDRADE, R.P. Contribuições para um debate: a antropologia do desenvolvimento e a valorização econômica da Amazônia (1951-1955). *Cadernos do Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 16, p. 53-72, 2015.
- BATISSE, M. *The Unesco water adventure: from desert to water... (1948-1974): from the Arid Zone Programme to the International Hydrological Decade*. Trad. Linda Blake. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005.
- BATISTA, I.M.S. *A natureza nos planos de desenvolvimento da Amazônia (1955-1985)*. Tese (Doutorado em História Social) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- BONASERA, J. Green Malthus? A bibliographical itinerary between neo-malthusianism and environmentalism. *Storicamente: Laboratorio de Storia*, v. 18, n. 11, p. 1-22, 2022. Disponível em: https://storicamente.org/sites/default/images/articles/media/2213/borasera_greenmalthus.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Acordo de cooperação para usos civis da energia atômica entre o governo dos Estados Unidos do Brasil e o governo dos Estados Unidos da América*. Rio de Janeiro: Ministério das Relações Exteriores, 3 ago. 1955. Disponível em: <https://aplicacao.itamaraty.gov.br/ApiConcordia/Documento/download/21510>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Acordo Básico de Cooperação Técnica entre o governo dos Estados Unidos do Brasil e o governo de Israel*. Recife, PE: Ministério das Relações Exteriores, 12 mar. 1962. Disponível em: <https://aplicacao.itamaraty.gov.br/ApiConcordia/Documento/download/21975>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Acordo complementar entre os Estados Unidos do Brasil e o Estado de Israel de cooperação econômica e técnica ao Acordo Básico de Cooperação Técnica de 12 de março de 1962*. 30 jan. 1963. Disponível em: <https://aplicacao.itamaraty.gov.br/ApiConcordia/Documento/download/21982>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Convênio entre os Estados Unidos do Brasil e o Estado de Israel sobre a utilização da energia nuclear para fins pacíficos, primeiro convênio complementar ao Acordo Básico de Cooperação Técnica de 12 de março de 1962*. Rio de Janeiro: Ministério das Relações Exteriores, 11 maio 1966. Disponível em: <https://aplicacao.itamaraty.gov.br/ApiConcordia/Documento/download/21990>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Divisão de Atos Internacionais. *Relação de acordos*. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2023.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Comissão Nacional de Energia Nuclear*. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- BRASILEIROS no laboratório de Argonne. *Correio da Manhã*, Rio de Janeiro, 13 fev. 1962. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- BRUNNÉE, C. 50 years of MAT in Bremen. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, v. 11, p. 694-707, 1997.

- BUCKLEY, E.E. *Technocrats and the politics of drought and development in twentieth-century Brazil*. Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 2017.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1967)*. Piracicaba: Cena, 1968.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1968)*. Piracicaba: Cena, 1969.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1970)*. Piracicaba: Cena, 1971.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1971)*. Piracicaba: Cena, 1972.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1972)*. Piracicaba: Cena, 1973.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1973)*. Piracicaba: Cena, 1974.
- CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. *Relatório de atividades (1968-1977)*. 2. ed. Piracicaba: Cena, 1978.
- CERVellini, A.; VOSE, P. The development and work of the Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) in Piracicaba. *IAEA Bulletin*, v. 18, supl., p. 33-38, 1976.
- CHASTAIN, A.B.; LOREK, T.W. Introduction. In: Chastain, A.B.; Lorek, T.W. (ed.). *Itineraries of expertise: science, technology, and the environment in Latin America's long Cold War*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2020. p. 3-27.
- CHOW, V.T. *The progress of hydrology*. In: IAEA, International Atomic Energy Agency. *Isotopes in Hydrology: proceedings of a symposium, Vienna, 14-18 Nov. 1966, held by the IAEA in co-operation with the IUGG*. Viena: IAEA, 1967. p. 3-20.
- CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. *Relatório anual (1968)*. Rio de Janeiro: CNEN, 1969.
- CREAGER, A. *Life atomic: a history of radioisotopes in science and medicine*. Chicago: The University of Chicago Press, 2013.
- CULLATHER, N. Development? It's history. *Diplomatic History*, v. 24, n. 4, p. 641-653, 2000.
- DANSGAARD, W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, v. 16, n. 4, p. 436-468, 1964.
- DAVIS, D.K. *The arid lands: history, power, knowledge*. Cambridge: MIT Press, 2016.
- DOMINGOS, M. O militar e a ciência no Brasil: os gerais e o CNPq. In: Encontro Anual da Anpocs, 30., 2006, Caxambu. *Anais [...]*. Caxambu: Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 2006. p. 1-18. Disponível em: <https://cpdoc.fgv.br/sites/default/files/cfa21/940.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024
- DROGAN, M. The atoms for peace program and the Third World. *Cahiers du Monde Russe*, v. 60, n. 2-3, p. 441-460, 2019.
- DRY, S. *Waters of the world: the story of the scientists who unravelled the mysteries of our seas, glaciers, and atmosphere: and made the planet whole*. London: Scribe, 2019.
- ESCOBAR, A. *Encountering development: the making and unmaking of the third world*. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- FARIA, L.; COSTA, M.C.C. Cooperação científica internacional: estilos de atuação da Fundação Rockefeller e da Fundação Ford. *Dados*, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 159-191, 2006.
- FISCHER, D. *History of the international atomic energy agency: the first forty years*. Viena: International Atomic Energy Agency, 1997.
- GAMA, W.; VELHO, L. A cooperação científica internacional na Amazônia. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 205-224, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/Z5Nz3KWBTyTGwdc8MqfvQgv>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- GAT, J.R.; MOOK, W.G.; MEIJER, H.A. *Environmental isotopes in the hydrological cycle: principles and applications*. v. 2: Atmospheric water. Viena: International Atomic Energy Agency, 2001. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149442>. Acesso em: 15 jan. 2024.

Isótopos das águas brasileiras para o desenvolvimento: a hidrologia isotópica, os peritos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura e de organizações internacionais no Nordeste e na Amazônia (1968-1978)

- GNACCARINI, I.C.S. *Interdisciplinaridade, ecologia e clima na Amazônia: diálogos entre pioneiros: Eneas Salati e Aziz Ab'Saber*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014.
- HAMBLIN, J.D. *Oceanographers and the Cold War: disciples of marine science*. Seattle: University of Washington Press, 2005.
- HAMBLIN, J.D. Let there be light... and bread: the United Nations, the developing world, and atomic energy's Green Revolution. *History and Technology*, v. 25, n. 1, p. 25-48, 2009.
- HAMBLIN, J.D. *The wretched atom: America's global gamble with peaceful nuclear technology*. Oxford: Oxford University Press, 2021.
- HAMLIN, C. Waters or water? Master narratives in water history and their implications for contemporary water policy. *Water Policy*, v. 2, n. 4-5, p. 313-325, 2000.
- HERRAN, N.; ROQUÉ, X. Tracers of modern technoscience. *Dynamis*, v. 29, p. 123-130, 2009.
- HEYMANN, M. Climate as resource and challenge: international cooperation in the Unesco Arid Zone Programme. *European Review of History/Revue européenne d'histoire*, v. 27, n. 3, p. 294-320, 2020.
- HÖGSELIUS, P. Atomic shocks of the old: putting water at the center of nuclear energy history. *Technology and Culture*, v. 63, n. 1, 2022. Disponível em: <https://muse.jhu.edu/article/844162>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- HUGHES, J. Making isotopes matter: Francis Aston and the mass-spectrograph. *Dynamis*, v. 29, p.131-165, 2009.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *Application of isotope techniques in Hydrology: a comprehensive report from a panel held in Vienna, 6-9 November (1961)*. Viena: IAEA, 1962. (Technical report series, n. 11)
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *Radioisotopes in hydrology: proceedings of the symposium on the application of radioisotopes in hydrology held by the International Atomic Energy Agency in Tokyo, 5-9 Mar. 1963*. Viena: IAEA, 1963.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *The staff of the Agency*. Information circular 22, rev. 5, 30 August 1965. Viena: IAEA, 1965. Disponível em: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1960/infirc22r5.pdf> Acesso em: 20 jan. 2024.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *Isotopes in hydrology: proceedings of a symposium, Vienna, 14-18 Nov. 1966, held by the IAEA in cooperation with the IUGG*. Viena: IAEA, 1967.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *Isotope hydrology 1970*. Proceedings of a Symposium on the use of isotopes in hydrology held by the International Atomic Energy Agency in co-operation with the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization in Vienna, 9-13 March 1970. Viena: IAEA, 1970.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. *Application of nuclear technology in agriculture BRA-71-556*. Brazil. Project findings and recommendations (Phase I). Report prepared for the Government of Brazil by the IAEA acting as executing agency for the UNDP. Viena: United Nations Development Programme; IAEA, 1979.
- INFORME JB: lance-livre. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 16 maio 1968.
- JOHNSON, M.P. *Temples of modern pharaohs: an environmental history of dams and dictatorship in Brazil, 1960-1990s*. Tese (Doutorado em História) – Georgetown University, Washington, 2021.
- KRIGE, J. Introduction. In: Krige, J. (ed.). *How knowledge moves: writing the transnational history of science and technology*. Chicago: The University of Chicago Press, 2019. p. 1-34.
- KRIGE, J. Atoms for peace: scientific internationalism, and scientific intelligence. *Osiris*, v. 21, n. 1, p. 161-181, 2006.
- LAMM, C.G. The application of nuclear science to agriculture in Piracicaba. *IAEA Bulletin*, v. 18, n. 3, p. 34-36, 1976.
- LAMM, C.G. *The history of the joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and its allied laboratory (1964-1994)*. Viena: International Atomic Energy Agency, 1994.
- LEÃO, R.M. *Trinta anos em Cena (1966-1996)*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1997.

- LOLCK, M. *Klima, kold krig og iskerner: en historie om baggrunden for dansk iskerneforskning og den første internationale dybdeboring i Grønland*. Tese (Doutorado em História da Ciência) – Universidade de Aarhus, Aarhus, 2004. Disponível em: https://www.isogklima.nbi.ku.dk/publikationer/afhandlinger/Speciale_Maiken_Lolck.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.
- LÜSCHER, F. The nuclear spirit of Geneva boundary-crossing relationships of Soviet atomic scientists after 1955. *Jahrbücher für Geschichte Osteuropas*, v. 66, n. 1, p. 20-44, 2018.
- MARTIN, C. Geochemistry pioneer part of Nobel-winner's lab team. *The Denver Post*, Denver, 11 jul. 2005. Disponível em: <https://www.denverpost.com/2005/07/11/geochemistry-pioneer-part-of-nobel-winners-lab-team/>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- MARTIN-NIELSEN, J. "The deepest and most rewarding hole ever drilled": ice cores and the Cold War in Greenland. *Annals of Science*, v. 70, n. 1, p. 47-70, 2013.
- MARTINS, F.D. Conhecimento científico, instituições e o rio São Francisco (1850-1948). *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 16, n. 1, p. 135-157, 2023.
- MARTINS, M.D. O Banco Mundial e a política científica dos governos militares no Brasil. *Tensões Mundiais*, v.6, n. 11, p. 129-151, 2012.
- MASCO, J. Bad weather: on planetary crisis. *Social Studies of Science*, v. 40, n. 1, p. 7-40, 2010.
- MELLO, V.P.S. *A Embrapa na Amazônia oriental: ditadura militar, desenvolvimento e ambientalismo (1972-1993)*. Tese (Doutorado em História das Ciências e da Saúde) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2017.
- MOLINA, R.S. *Agro, ditadura e universidade: Esalq-USP e a modernização conservadora (1964 a 1985)*. Campinas: Autores Associados, 2022.
- MOOK, W.G. *Environmental isotopes in the hydrological cycle: principles and applications*. v. I: Introduction. Theory, methods, review. Viena: IAEA; Paris: Unicef, 2000. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000121907.locale=en>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- MOTOYAMA, S. (org.). *Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil*. São Paulo: Edusp, 2004.
- OITO brasileiros estudam ciência nuclear nos EUA. *A Noite*, Rio de Janeiro, 18 fev. 1961. Disponível em: <https://bn-digital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- OLTMAN, R.E; STERNBERG, H.O'R.; AMES, F.C.; DAVIS JR., L.C. Amazon river investigations reconnaissance measurements of July 1963. *Geological Survey Circular*, n. 486, 1964.
- ORESQUES, N. Science in the origins of the Cold War. In: Oreskes, N.; Krige, J. *Science and technology in the global Cold War*. Cambridge: The MIT Press, 2014. p. 11-29.
- PANZU, A.N.S. *O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Inpa: trajetória institucional por meio de suas práticas científicas, 1954-1975*. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.
- PATTI, C. The origins of the Brazilian nuclear programme (1951-1955). *Cold War History*, v. 15, n. 3, p. 353-373, 2014a.
- PATTI, C. (org.). *O programa nuclear brasileiro: uma história oral*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014b.
- PAYNE, B.R. Isotope hydrology in Latin America. *IAEA Bulletin*, v. 18, n. 3, p. 37-41, 1976.
- PESQUISAS indicam o futuro para Amazônia e Nordeste. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 25 set. 1977.
- ROBERTSSON, T. Cold War landscapes: towards an environmental history of US development programmes in the 1950s and 1960s. *Cold War History*, v. 16, n. 4, p. 417-441, 2015.
- ROJAS, D.M. *Climate politics after nature and the management of global environmental crises in Brazilian Amazonia*. Tese (Doutorado em Antropologia) – Cornell University, Ithaca, 2015.
- ROTHSCHILD, R. Environmental awareness in the atomic age: radioecologists and nuclear technology. *Historical Studies in the Natural Sciences*, v. 43, n. 4, p. 492-530, 2013.

Isótopos das águas brasileiras para o desenvolvimento: a hidrologia isotópica, os peritos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura e de organizações internacionais no Nordeste e na Amazônia (1968-1978)

- SÁ, M.R.; SÁ, D.M.; SILVA, A.F.C. Apresentação. In: Sá, M.R.; Sá, D.M.; Silva, A.F.C. *As ciências na história das relações Brasil-EUA*. Rio de Janeiro: Mauad X; Faperj, 2020. p. 7-22.
- SALATI, E.; GUSMÃO, G.A.; MATSUI, E.; CERVellini, A. Estudo preliminar das concentrações de ¹⁸O e D em águas do Nordeste brasileiro. *Boletim Científico Cena*, n. 2, 1971.
- SALATI, E.; LEAL, J.M.; CAMPOS, M.M. Environmental isotopes used in a hydrogeological study in Northeastern Brazil. In: IAEA, International Atomic Energy Agency. *Isotope techniques in groundwater hydrology 1974: proceedings of a symposium*, Vienna, 11-15 Mar. 1974. v. 1. Viena: IAEA, 1974. p. 259-284.
- SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Floresta e clima. *Acta Amazonica*, v. 9, n. 4, p. 15-22, 1979.
- SALATI, E.; VOSE, P.B. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science*, v. 225, n. 4658, p. 129-138, 1984.
- SALLES FILHO, S. Política de ciência e tecnologia no I PND (1972-1974) e no I PBDCT (1973-1974). *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, v. 1, n. 2, p. 397-419, 2009. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648865>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- SCHWARTZMAN, S. *Um espaço para a ciência: a formação da comunidade científica no Brasil*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia/Centro de Estudos Estratégicos, 2001.
- SECORD, J.A. Knowledge in transit. *Isis*, v. 95, n. 4, p. 654-672, 2004.
- SELCER, P. *The postwar origins of the global environment: how the United Nations built spaceship Earth*. Nova York: Columbia University Press, 2018.
- SIGURBJÖRNSSON, B.; VOSE, P. Les techniques nucléaires au service de l'alimentation et de l'agriculture (1964-1994). *AIEA Bulletin*, Viena, v. 36, n. 3, p. 41-47, 1994. Disponível em: https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull36-3/36305484148_fr.pdf. Acesso em: 20 jan. 2024.
- SILVA, C.M. Nelson Rockefeller e a atuação da American International Association for Economic and Social Development: debates sobre missão e imperialismo no Brasil (1946-1961). *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 1695-1711, 2013.
- TÉCNICOS israelenses em energia nuclear chegarão ao Brasil por esses dias. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 10 abr. 1968.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *The problems of the arid zone: proceedings of the Paris Symposium*. Paris: Unesco, 1962.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Proposals for an international hydrological decade*. Preparatory meeting of experts in the field of scientific hydrology. UNESCO/NS/NR/22, WS/0463.22. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1963. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000138698_eng.locale=en. Acesso em: 15 jan. 2024.
- USA, United States of America. 85th Congress, 2nd Session. House of Representatives. *Government programs in international education: a survey and handbook*. 42nd report by the Committee on Government Operations. Washington: United States Government Printing Office, 1959.
- UNDP, United Nations Development Programme. *Project of the Government of Brazil*. Phase II: development of agricultural production through the application of nuclear technology. Brasília: UNDP Resident Representative, 1978. (Mimeo)
- VARELA, A.G.; DOMINGUES, H.M.B.; COIMBRA, C.A. A circulação internacional dos cientistas brasileiros nos primeiros anos do CNPq (1951-1955). *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 301-319, 2013.
- VIAJA JR., M.M. A irrigação no Brasil na mira do capital internacional (1964-1975). *Revista de História*, São Paulo, n. 180, p. 1-33, 2021.

Recebido em janeiro de 2024

Aceito em março de 2024