

Lucas Vieira Barros
Brandow Lee Neri
Juraci Mario de Carvalho
Darlan Portela Fontenele

A large, detailed image of a nuclear mushroom cloud. The cloud has a thick, grey stem rising from a base of white clouds on the ground. The top of the cloud is a large, billowing, grey and white cloud. In the center of the stem, there are bright orange and yellow flames or fire. The background shows a landscape with fields and a town in the distance under a blue sky with some clouds.

A PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA
NA VERIFICAÇÃO DO TRATADO
DE PROIBIÇÃO TOTAL DE TESTES
NUCLEARES



OBSERVATÓRIO
SISMOLÓGICO



Universidade de Brasília

BRÁSILIA 2020

Copyright © 2020 by Observatório Sismológico - UnB

Todos os direitos reservados. Direitos desta edição reservados Observatório Sismológico - UnB. Este livro não pode ser armazenado em dispositivos particulares de armazenagem eletrônica, reproduzido por meio eletrônico e impresso para uso pessoal.

Editora:  **Copiaart**
GRÁFICA EDITORA

Revisão de Texto: **Eliane Coimbra Castelo Branco Vasconcelos Fontenele**

Arte de Capa: Design Divanir Junior

Designer Creative:

 **ONIXBRASIL**
CREATIVE DESIGN

Diagramação e Editoração - 61 99100-7465
Design Divanir Junior

P273 A Participação brasileira no sistema de verificação do tratado de proibição total de testes nucleares / Lucas Vieira Barros ...
[et al.]. – 1. ed. – Tubarão (SC) : Copiart, 2020.
152 p. ; il. , fots. , mapas; 22 cm.

Inclui referências e glossário
ISBN: 978-65-86387-20-9

1. Sismologia. 2. Infrassom. 3. Armas nucleares - Testes.
4. Desarmamento nuclear. I. Barros, Lucas Vieira.

CDU: 550.34:621.039(81)

Catálogo na publicação por: Onélia Silva Guimarães CRB-14/071



Lucas Vieira Barros
Brandow Lee Neri
Juraci Mario de Carvalho
Darlan Portela Fontenele

A PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NA VERIFICAÇÃO DO TRATADO DE PROIBIÇÃO TOTAL DE TESTES **NUCLEARES**



OBSERVATÓRIO
SISMOLÓGICO



Universidade de Brasília

BRASÍLIA 2020

SUMÁRIO

Agradecimentos	7
Prefácio	9
Discurso do Presidente Barack Obama sobre o CTBT	13
Resumo	15
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DO CTBT	17
1.1 Introdução	18
1.2 Início dos testes nucleares	18
1.3 Cronologia dos fatos anteriores ao CTBT	22
1.4 Criação da Comissão Preparatória da CTBTO	26
1.5 Resumo do CTBT	26
CAPÍTULO 2 REGIME DE VERIFICAÇÃO DO CTBT	29
2.1 Introdução	30
2.2 Sistema Internacional de Monitoramento - IMS	30
2.3 As quatro tecnologias do CTBT	31
2.3.1 Tecnologia sísmica	32
2.3.2 Tecnologia infrassônica	33
2.3.3 Tecnologia hidroacústica	34
2.3.4 Tecnologia de radionuclídeos	35
2.4 Sinergia entre as quatro tecnologias do IMS	36
CAPÍTULO 3 CENTRO INTERNACIONAL DE DADOS - IDC	41
3.1 Introdução	42
3.2 Produtos do IDC	43
3.3 Acesso aos dados do IMS e produtos do IDC	44
3.4 Infraestrutura de Comunicação Global - GCI	46
CAPÍTULO 4 INSPEÇÃO NO LOCAL - OSI	47
4.1 Introdução	47
4.2 Procedimentos de campo	48
CAPÍTULO 5 PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NO IMS	51
5.1 Introdução	52
5.2 Estação Sísmica Primária PS07	53
5.3 Estação Infrassônica I09BR	54
5.4 Estação Central de Recepção e Registro de Dados (PS07 e IS09)	55
5.5 Estações Sísmicas Auxiliares AS10 e AS11	59
5.6 Estações de Radionuclídeos e Laboratório de Radionuclídeos	60

CAPÍTULO 6 INSTITUIÇÕES QUE OPERAM ESTAÇÕES DO IMS NO BRASIL	63
6.1 Introdução.....	64
6.2 Observatório Sismológico da Universidade de Brasília.....	64
6.2.1 Operação de Estações do IMS	67
6.2.2 Análise de dados.....	68
6.2.3 Eventos infrassônicos detectados pelas Estações I09BR e I08BO	73
6.2.4 Contribuição do SIS-UnB para o Boletim Sísmico Brasileiro.....	78
6.2.5 Mostra Sismológica.....	83
6.3 Laboratório Sismológico da UFRN.....	85
CAPÍTULO 7 CENTRO NACIONAL DE DADOS: ESTABELECIMENTO E OPERAÇÃO	87
7.1 Introdução	88
7.2 Papel de um Centro Nacional de Dados - NDC.....	88
7.3 Artigos do Tratado relacionados ao NDC e à Autoridade Nacional.....	88
7.4 Transmissão de dados das estações da Rede IMS	89
7.5 O papel do NDC no sistema de verificação do CTBT.....	90
7.6 Estrutura de um NDC e organizações apropriadas para sediá-lo.....	91
7.7 Usuário de dados e produtos do IDC.....	92
7.8 Etapas para se tornar usuário de dados do IMS e de produtos do IDC	93
7.9 Estabelecimento de uma conta segura e classes de usuário do IDC	94
CAPÍTULO 8 ANÁLISE DE DADOS DE EXPLOSÕES NUCLEAR E QUÍMICA	97
8.1 Introdução.....	98
8.2 Último teste nuclear da Coreia do Norte.....	98
8.2.1 Fundamentos do monitoramento sísmico	100
8.2.2 Análise de sinais sísmicos.....	104
8.2.3 Fundamentos do monitoramento infrassônico	110
8.2.4 Análise dos sinais infrassônicos	111
8.3 Explosão química ocorrida em Beirute - Líbano, em 4/8/2020	115
CAPÍTULO 9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	123
CAPÍTULO 10 REFERÊNCIAS	129
Lista de sites	133
Glossário.....	135
Biografia dos autores.....	143
Lucas Vieira Barros.....	143
Brandow Lee Neri.....	145
Juraci Mário de Carvalho	147
Darlan Portela Fontenele	149

| AGRADECIMENTOS |

Os autores agradecem à Comissão Preparatória da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (PrepCom - CTBTO) pela oportunidade dos inúmeros treinamentos recebidos e pela disponibilidade dos dados e informações que subsidiaram a elaboração deste texto.

Ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, representado pelo seu chefe, Prof. Marcelo Peres Rocha, pelo apoio na impressão deste livro.

À Divisão de Desarmamento e Tecnologias Sensíveis - DDS, do Ministério das Relações Exteriores, pelo apoio ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília no estabelecimento de cooperação com a Comissão Preparatória da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (PrepCom - CTBTO).

À Missão Brasileira em Viena, onde, após reunião ocorrida na residência oficial do Senhor Embaixador, ministro Marcel Fortuna Biato, com a participação dos integrantes da delegação brasileira na IV Science and Technology Conference - SnT2019, surgiu a ideia de elaborar este texto.

À Administração Central da Universidade de Brasília pela disposição no rápido encaminhamento dos processos relacionados ao estabelecimento de cooperação com as Nações Unidas, na implantação das estações sísmica e infrassônica no interior do Parque Nacional de Brasília, a quem também agradecemos.

PREFÁCIO

A motivação para escrever este texto surgiu do desejo de contribuir com as discussões acerca da criação de um Centro Nacional de Dados (National Data Center - NDC) no Brasil, como forma de o país melhor cumprir suas obrigações junto ao Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT). Visa também dar maior divulgação ao CTBT, enfatizando sua importância no controle das armas nucleares e na construção de uma base de conhecimentos científicos sólida, por meio de aplicações científica e social dos dados gerados em função do Tratado.

Um Centro Nacional de Dados (NDC) é uma organização com conhecimento em tecnologias de verificação e funciona sob a orientação de uma Autoridade Nacional, que é o principal ponto de contato de um Estado Parte do CTBT com o Centro Internacional de Dados (International Data Center - IDC) e com os outros Estados Partes. Portanto, um NDC desempenha um papel fundamental na vigilância do cumprimento do CTBT.

O CTBT proíbe todas as explosões nucleares na Terra, seja para fins militares ou pacíficos. O Tratado é composto por 1 preâmbulo, 17 artigos, 2 anexos e 1 protocolo com 2 anexos. Também integra o Tratado o texto da Resolução adotada pelos Países Signatários ou Estados Partes do CTBT, estabelecendo a Comissão Preparatória para a Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization - PrepCom/CTBTO), com os objetivos

de: realizar os preparativos necessários à efetiva implementação do CTBT e garantir a operacionalização do regime de verificação do Tratado, quando da sua entrada em vigor, que está condicionada à ratificação pelos 44 países listados no Anexo 2 do CTBT. O Brasil assinou o Tratado em 26/09/1996, ratificou em 24/07/1998 e participa da sua verificação no âmbito de três tecnologias: sísmica, infrassônica e radionuclídeos.

Um tratado, quando em vigor, é um acordo entre Estados com as obrigações de cada Estado Parte regidas pelo direito internacional. A Convenção de Viena sobre o direito dos tratados estabelece que todos os Estados Signatários de um tratado devem contribuir para a realização de seus objetivos e propósitos.

São obrigações do Brasil junto ao CTBT (assim como as dos outros Estados Partes), além do compromisso de não realizar qualquer tipo de explosão nuclear, de proibir e de impedir qualquer teste nuclear em qualquer lugar sob a sua jurisdição ou controle, contribuir com a verificação do Tratado com os dados de suas estações e participar da investigação e identificação de eventos suspeitos. A identificação de eventos suspeitos de testes clandestinos dar-se-á mediante a análise e a interpretação de sinais detectados por sensores geofísicos de quatro tecnologias específicas, capazes de detectar qualquer teste nuclear com potência superior ou equivalente a 1 quiloton (kt) de TNT (trinitrotolueno). Após a detecção, localização e identificação de um evento suspeito, é feita uma inspeção no local para comprovar se houve ou não um teste nuclear.

Em junho de 2019, por ocasião da quarta Conferência de Ciência e Tecnologia (SnT4/2019) promovida pela CTBTO, em Viena - Áustria, os brasileiros participantes desse evento foram convidados pelo embaixador da Missão Permanente brasileira na ONU em Viena, ministro Marcel Fortuna Biato, para uma reunião, quando tivemos

a oportunidade de discutir a criação de um NDC no Brasil. Após este evento, tivemos a ideia de escrever este texto, fundamentados principalmente no documento do Tratado CTBT e em documentos distribuídos pela Comissão Preparatória da CTBTO nos inúmeros treinamentos que participamos junto à CTBTO. Portanto, esperamos que este texto apresente elementos de informações úteis na implementação do NDC brasileiro.

Aqui, apresentamos as partes mais relevantes do CTBT, enfatizando as obrigações de um Estado Parte na sua verificação, com ênfase na participação brasileira no regime de verificação do Tratado. São apresentadas e descritas as quatro tecnologias da rede mundial de sensores, bem como a sinergia existente entre elas, as possibilidades, as vantagens científicas e sociais da utilização dos dados dessa rede global por cientistas brasileiros.

Dedicamos um capítulo inteiro às discussões sobre um NDC: seu papel junto ao sistema de verificação; os artigos do Tratado relacionados com um NDC e a Autoridade Nacional; a estrutura de um NDC e as organizações apropriadas para sediá-lo; o estabelecimento de uma conta segura para a transmissão confiável dos dados e produtos do IDC; os procedimentos de registro de usuário de dados e produtos do IDC; a operação e possíveis funções de um NDC e as aplicações científicas e sociais dos dados do IMS e produtos do IDC.

Vários são os benefícios dos Países Membros com um NDC, como por exemplo: acesso irrestrito a dados brutos e/ou processados; acesso a treinamento e desenvolvimento de capacidades; acesso a software e suporte técnico; acesso a um site protegido que oferece uma plataforma para discussões e troca de informações confidenciais, etc. O uso dos dados do IMS e produtos do IDC não se restringe apenas às aplicações mencionadas neste texto.

Acessando os dados dessa rede mundial, cientistas brasileiros poderão desenvolver estudos e pesquisas em todas as áreas do conhecimento relacionadas com fenômenos naturais e antrópicos observáveis e medidos por esta rede mundial de sensores.

No Capítulo 8 é feito um estudo de dados reais, com o último teste nuclear, realizado pela República Popular Democrática da Coreia (Coreia do Norte), em 3 de setembro de 2017, que foi, dentre os seis testes realizados pela Coreia, o de maior carga, equivalente a 400 kt de TNT e a uma magnitude Richter de 6,2 m_b . O IDC usou dados de 125 estações sísmicas do IMS e de uma estação de infrassom. A localização resultante determinada pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, nesse estudo, é comparada com a do IDC (REB), onde verificou-se que as duas localizações são muito semelhantes, cerca de 4 km de diferença. E, finalmente, são apresentados estudos com as tecnologias sísmica e infrassônica sobre a explosão química, recente e acidental, ocorrida em Beirute - Líbano, em 4 de agosto. Esse evento, dada a sua semelhança com um teste nuclear, com carga equivalente a cerca de 1,1 kt de TNT, foi muito útil na calibração e verificação de desempenho da rede global de monitoramento de explosões nucleares.

Brasília, 24 de setembro de 2020.

Discurso do Presidente Barack Obama sobre o CTBT

Discurso proferido em Praga, República Tcheca, em 5 abril de 2009.

Transcrição das partes mais importantes

[...] Uma das questões que enfocarei hoje é fundamental para a segurança de nossas nações e para a paz do mundo, que é o futuro das armas nucleares no século 21. A existência de milhares de armas nucleares é o legado mais perigoso da Guerra Fria. Nenhuma guerra nuclear foi travada entre os Estados Unidos e a União Soviética, mas gerações viveram com o conhecimento de que seu mundo poderia ser apagado com um único flash de luz. Cidades como Praga, que existiram por séculos, que personificavam a beleza e o talento de grande parte da humanidade, teriam deixado de existir. Hoje, a Guerra Fria desapareceu, mas milhares dessas armas não. Em uma reviravolta estranha da história, a ameaça da guerra nuclear global diminuiu, mas o risco de um ataque nuclear aumentou. Mais nações adquiriram essas armas. Os testes continuaram. O mercado clandestino comercializa segredos e materiais nucleares. A tecnologia para construir uma bomba se espalhou. Os terroristas estão determinados a comprar, construir ou roubar uma. Nossos esforços para conter esses perigos estão centrados em um regime global de não proliferação, mas, à medida que mais pessoas e nações quebram as regras, podemos chegar ao ponto em que o centro não consegue aguentar [...]. Alguns argumentam que a disseminação dessas armas não pode ser parada - que estamos destinados a viver em um mundo onde mais nações e mais pessoas possuem as ferramentas definitivas de destruição. Esse fatalismo

é um adversário mortal. Pois, se acreditamos que a disseminação de armas nucleares é inevitável, então, estamos admitindo que o uso de armas nucleares é também inevitável. [...] Portanto, hoje, afirmo claramente e com convicção o compromisso da América de buscar a paz e a segurança de um mundo sem armas nucleares. [...] Para alcançar uma proibição global de testes nucleares, meu governo buscará imediata e agressivamente a ratificação pelos EUA do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares. [...] Depois de mais de cinco décadas de negociações, é hora de finalmente proibir o teste de armas nucleares [...] (<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-barack-obama-prague-delivered>).

RESUMO

O Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT) proíbe a realização de explosões nucleares em nível global. O CTBT, embora não esteja ainda em vigor, possui um Sistema de Monitoramento Internacional (International Monitoring System - IMS) baseado em sensores geofísicos, com capacidade para detectar globalmente qualquer teste nuclear com potência igual ou superior a 1 kt (quiloton) de TNT. Os sensores da rede mundial IMS usam quatro tecnologias: Sísmica; Infrassônica; Hidroacústica e Radionuclídeos. Os dados da rede IMS são transmitidos para o Centro Internacional de Dados (International Data Center - IDC), localizado na ONU em Viena - Áustria, onde são processados, analisados e interpretados para a identificação de possíveis sinais relacionados com explosões nucleares clandestinas, bem como para emissão de boletins e relatórios sobre quaisquer eventos de interesse ao cumprimento do Tratado. O Brasil, que já assinou e ratificou o CTBT, contribui com dados de três tecnologias: Sísmica, Infrassônica e Radionuclídeos. O Observatório Sismológico (SIS) da Universidade de Brasília (UnB) contribui com dados de duas estações, uma sísmica primária e uma infrassônica, ambas instaladas no interior do Parque Nacional de Brasília (PNB). Os dados dessas estações são transmitidos para o SIS - UnB, onde são gravados, analisados e retransmitidos para o IDC, em Viena.

As outras estações do IMS no Brasil são: duas estações sísmicas auxiliares, localizadas nos estados do Rio Grande do Norte e do Amazonas; duas estações de radionuclídeos, localizadas no Rio de

Janeiro e no Recife (planejada), e um laboratório de radionuclídeos, localizado no Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), também na cidade do Rio de Janeiro.

Neste texto, apresentamos, resumidamente, o tratado CTBT, o seu sistema de verificação e a participação brasileira no seu cumprimento e vigilância. E, para subsidiar as discussões que vêm sendo levadas a efeito sobre a implantação do NDC brasileiro, apresentamos também uma descrição de um NDC, com definição, atribuições e requisitos de montagem e operação. Por último, são apresentados os resultados das análises de sinais sísmicos e infrassônicos da última explosão nuclear realizada pela Coreia do Norte, em 3 de setembro de 2017, e da explosão acidental ocorrida em Beirute, em 4 de agosto de 2020.

Preâmbulo do CTBT

Convencidos de que o meio mais eficaz para obter o fim dos testes nucleares passava necessariamente pela assinatura de um tratado de banimento de testes nucleares universal, abrangente e internacional, foi aberto para assinatura em Nova Iorque, em 26 de setembro de 1996, o Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT). Isto há muito vinha sendo um dos objetivos da mais alta prioridade da comunidade internacional na área do desarmamento e não proliferação de armas nucleares.

CAPÍTULO 1 | ANTECEDENTES HISTÓRICOS DO CTBT

A bomba nuclear é o invento mais terrível já construído pelo homem. Seu poder de destruição pode devastar cidades inteiras em fração de minuto e deixar sequelas que podem perdurar por décadas. Mesmo assim, muitos países se orgulham de a possuírem e desenvolvem tecnologias cada vez mais mortais, capazes de dizimar grande parte da humanidade. Paradoxalmente, até então, neste poder letal, reside o medo de sua utilização e, conseqüentemente, uma paz induzida por essa constante ameaça.



Imagem da detonação atmosférica da bomba termonuclear Tsar, testada pela URSS em 30 de outubro de 1961, na remota e inabitada ilha de Nova Zembla, no Oceano Ártico, ao longo do litoral russo. Trata-se da maior e mais poderosa bomba termonuclear já testada. Foi lançada por um avião, que teve a sua fuselagem modificada para transportar essa bomba, de 25 toneladas e mais de 8 m de comprimento, detonada a 4 km acima do solo, com potência de 50 megatons, equivalente a 3,8 mil bombas de Hiroshima (<https://www.megacurioso.com.br/guerras/67241-as-10-armas-nucleares-mais-poderosas-ja-feitas.htm>).

1.1 INTRODUÇÃO

Para fazer cumprir o CTBT, foi criada a Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization - CTBTO), cuja atribuição precípua é verificar o seu cumprimento no âmbito de quatro tecnologias: Sísmica, Infrassônica, Hidroacústica e Radionuclídeos. Neste sentido, uma rede de alcance global, com essas quatro tecnologias, em fase final de montagem, é capaz de detectar qualquer teste (explosão) nuclear com potência maior ou igual a 1 kt (quiloton) de TNT, equivalente a uma explosão química com potência de 1000 toneladas de dinamite ou a um terremoto de magnitude 4 na Escala Richter (Bormann et al., 2013). Isto significa que a rede mundial de estações sísmicas do IMS foi projetada para detectar e localizar qualquer explosão nuclear subterrânea com liberação de energia equivalente a um terremoto de magnitude 4,0 na Escala Richter.

Após muitos anos de negociação, o texto final do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBT) foi adotado pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 10 de setembro de 1996 e aberto para assinatura em 24 de setembro do mesmo ano. O CTBT somente entrará em vigor 180 dias após a data de ratificação pelo último Estado dos 44 mencionados no Anexo 2 do Tratado. Para viabilizar a montagem da rede mundial de sensores, foi estabelecida a Comissão Preparatória da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares, cujo texto final foi adotado em 19 de novembro de 1996, em uma Reunião dos Estados Signatários, convocados pelo Secretário Geral das Nações Unidas, Senhor Boutros Boutros-Ghali.

1.2 INÍCIO DOS TESTES NUCLEARES

O primeiro teste nuclear foi realizado no deserto do Novo México em Alamogordo, no Estado do Novo México, pelos Estados Unidos (EUA), em 16 de julho de 1945, com uma potência de 20 quilotons (**Figura 1**). Este teste estabeleceu o marco inicial da era atômica. Três semanas depois, em 6 de agosto de 1945, os Estados Unidos explodiram sobre

a cidade japonesa de Hiroshima a primeira bomba atômica com fins bélicos. Morreram, em uma fração de minuto, cerca de 80 mil pessoas e, posteriormente, mais cerca de 65 mil por doenças relacionadas com a radiação. Como os americanos não obtiveram a rendição japonesa, três dias depois, em 9 de agosto, foi a vez da cidade de Nagasaki, quando foi lançada a segunda bomba atômica com potência 50% superior, mas que causou menos danos materiais e humanos, cerca de 40 mil mortos, devido à localização da cidade, entre morros. Dessa forma, iniciou-se uma nova era, a chamada era atômica. Esses dois fatos fizeram com que o Japão se rendesse em 14 de agosto de 1945, pondo fim à segunda Guerra Mundial (<https://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/world-overview/>).



Figura 1: Teste Trinity, primeiro teste nuclear da história, realizado pelos Estados Unidos em 16/07/1945, no deserto do Novo México. À esquerda, a bomba antes de ser detonada e, no centro, 25 ms após sua explosão (<http://www.nww2m.com/2015/03/scitech-tuesday-plans-for-the-gadget/>). À direita, o cogumelo de fumaça gerado após a detonação (<https://www.tribuneindia.com/news/schools/cold-war-nuclear-tests-changed-rainfall-pattern-87991>).

A partir de então, iniciou-se a corrida armamentista, culminando com um período de tensão geopolítica, armamentista, contrapondo os EUA e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas - URSS (e seus respectivos aliados), denominado Guerra Fria, que se iniciou em 1945 e finalizou em 1991, com a dissolução da URSS. As potências nucleares URSS e EUA buscavam desenvolver bombas de maior poder letal e alcance, de forma tal que a paz no mundo foi mantida pelo medo de um ou outro iniciar uma hecatombe nuclear. O desenvolvimento e a fabricação de tais artefatos exigem a realização de muitos testes nucleares.

Entre 1945, início dos testes atômicos, e 1996, quando o CTBT foi aberto para assinatura, mais de dois mil testes nucleares foram realizados na atmosfera (522), no subsolo e em massas aquáticas (1525), causando grandes danos à natureza e, conseqüentemente, à qualidade de vida na Terra (**Figura 2**). Após a assinatura do CTBT, Paquistão, Índia e Coreia do Norte realizaram mais dezessete testes nucleares, todos em subsuperfície (<https://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/world-overview/>).

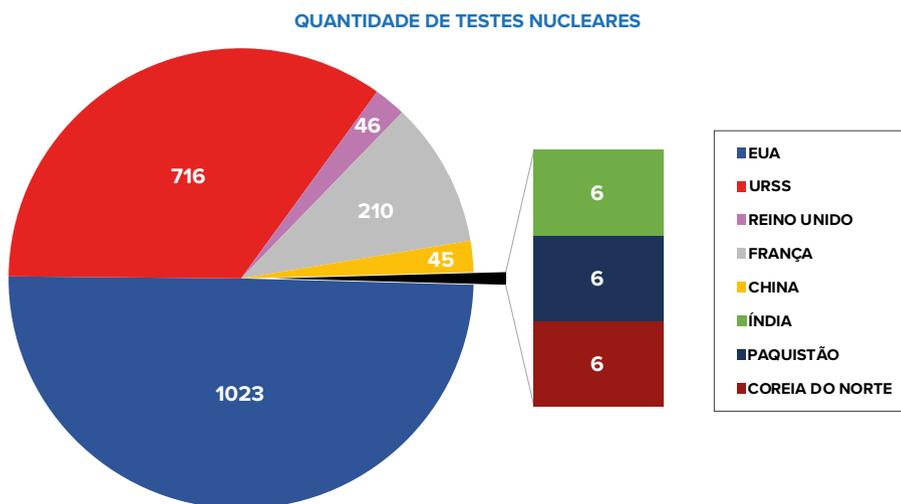


Figura 2: Distribuição da quantidade de testes nucleares realizados pelas potências nucleares entre 1945 e 2019 (adaptado de: <https://www.ctbto.org/map/#mode=nuclear>).

Até 1963, com a assinatura do Tratado de Proibição Parcial de Testes Nucleares (Partial Nuclear-Test-Ban Treaty - PTBT), em Moscou, proibindo todos os testes atmosféricos e subaquáticos, exceto os testes nucleares subterrâneos, a grande maioria dos testes nucleares foi feita na atmosfera (**Figura 3A**). Depois dessa data, até 1980 (excetuando-se o teste realizado pela Índia em 1974), apenas China e França continuaram realizando testes na atmosfera. Estados Unidos e URSS passaram a realizar todos os seus testes em subsuperfície, conforme **Figura 3A**. Entretanto, Índia e Paquistão, em 1998; Coreia do Norte, em 2006,

2009, 2013, 2016 (janeiro e setembro) e 2017 (3 de setembro), testaram armas nucleares após 1996 (**Figura 3B**). Depois do CTBT, em 1996, apenas esses três países realizaram testes nucleares. Embora o PTBT tenha reduzido os níveis de radioatividade na atmosfera, o número de testes nucleares em subsuperfície aumentou drasticamente (**Figura 3**).

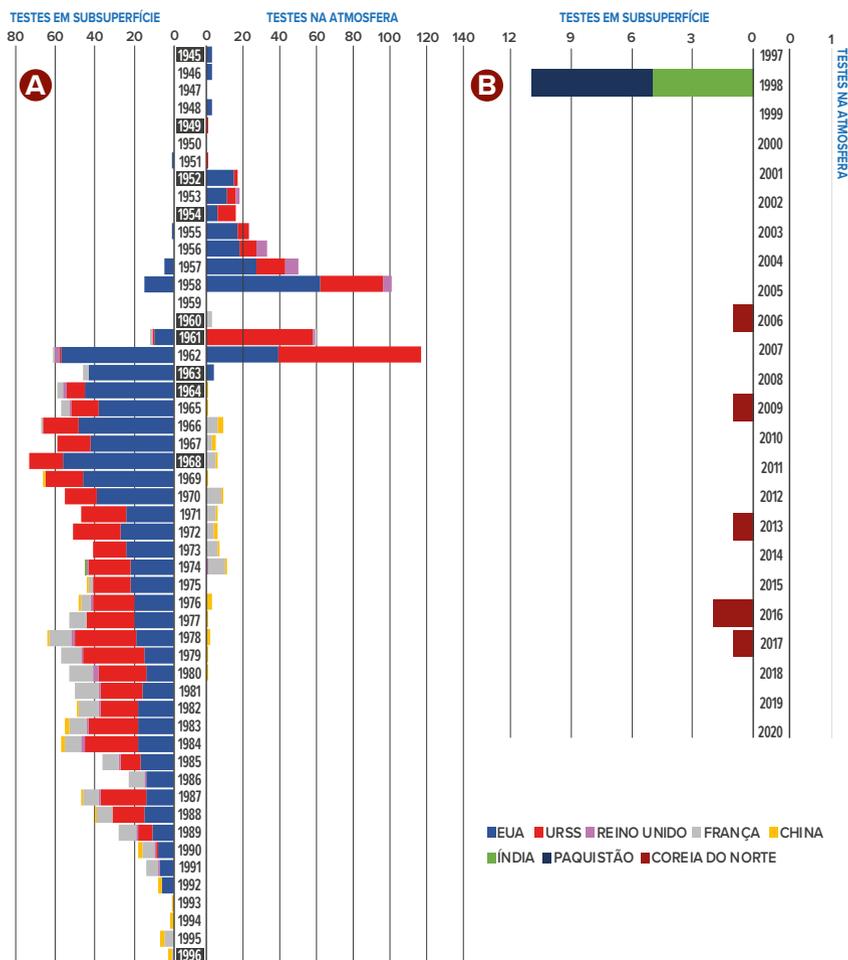


Figura 3: Distribuição temporal dos testes nucleares realizados pela URSS, EUA, França, Reino Unido, China (P5) e Índia entre 1945 e 1996 (A), e após 1996 pelo Paquistão, Índia e Coreia do Norte (B). Os anos em destaque estão de acordo com os fatos indicados na próxima seção (adaptado de <https://www.ctbto.org/map/#mode=nuclear>).

1.3 CRONOLOGIA DOS FATOS ANTERIORES AO CTBT

Durante a Guerra Fria, entre 1945 e 1991, muitas tentativas foram feitas para negociar uma proibição abrangente de testes nucleares. Entretanto, foi somente na década de 1990 que um Tratado mais efetivo se tornou realidade, após a realização de mais de 2000 testes nucleares e assinaturas de vários tratados parciais, limitando os testes nucleares. Nesta seção, são apresentados os antecedentes históricos que culminaram com a conclusão do CTBT.

Na **Figura 3**, as datas em destaque estão relacionadas com fatos importantes ocorridos na era atômica:

1945: Em 16 de julho, foi realizado o primeiro teste nuclear da história. O Experimento Trinity foi realizado pelos EUA e teve potência equivalente a 20 kt de TNT. Nesse mesmo ano, foram lançadas duas bombas nucleares sobre o Japão: em Hiroshima, 6 de agosto, com potência de 15 kt, e em Nagasaki, 9 de agosto, com potência de 21 kt;

1949: No dia 29 de agosto, foi feito pela União Soviética seu primeiro teste nuclear, denominado RDS-1, com potência de 22 kt, dando início à corrida armamentista nuclear;

1952: Em 3 de outubro, o Reino Unido realizou, nas ilhas Monte Bello no noroeste da Austrália, o seu primeiro teste nuclear. Essa detonação teve 25 kt de potência e foi denominada de Operação Hurricane. Nesse mesmo ano, no dia primeiro de novembro, os Estados Unidos detonaram a primeira bomba de hidrogênio, com 10,4 megaton. Esse teste foi realizado no Atol de Enewetak, Oceano Pacífico, e foi denominado de teste de Ivy Mike;

1954: No dia primeiro de maio, foi realizado pelos EUA o teste nuclear de maior potência, com carga equivalente a 15 megatons de TNT. Foi nomeado teste Castle Bravo e realizado no Atol de Bikine - Ilhas Marshall, no oceano Pacífico;

1960: Em 13 fevereiro, a França realiza o seu primeiro teste nuclear na parte argelina do deserto do Saara - uma bomba de fissão nuclear à base de plutônio, chamada de Gerboise Bleue. A detonação teve 60 kt de potência;

1961: No dia 30 de outubro, a URSS detonou a Bomba Tsar, com potência de 50 megatons, que é considerada a maior explosão nuclear já realizada pelo homem;

1963: Tratado de Proibição Parcial de Testes Nucleares (Partial Nuclear-Test-Ban Treaty - PTBT), assinado em Moscou em 5 de agosto, proibindo todos os testes atmosféricos e subaquáticos;

1964: Em 16 de outubro, a China realiza seu primeiro teste nuclear. Com o codinome de 596, esse teste nuclear atmosférico teve potência de 22 kt;

1968: Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares - TNP (Treaty on the Non - Proliferation of Nuclear Weapons - NPT). Aberto para assinatura em 1 de julho de 1968, entrou em vigor em 5 de março de 1970. Assinado por 189 países, 5 dos quais detentores de armas nucleares (Estados Unidos, Rússia, França, Reino Unido e China), que tem como objetivo: impedir a disseminação de armas nucleares e suas tecnologias; promover a cooperação no uso pacífico da energia nuclear e promover o desarmamento nuclear geral e completo;

1996: No dia 24 de setembro, após 3 anos de negociações em Genebra - Suíça, o CTBT foi aberto para assinatura, pondo fim a uma longa história de negociações para banir por completo os testes nucleares.

A **Figura 4** mostra os principais testes nucleares realizados entre 1945 e 1964.

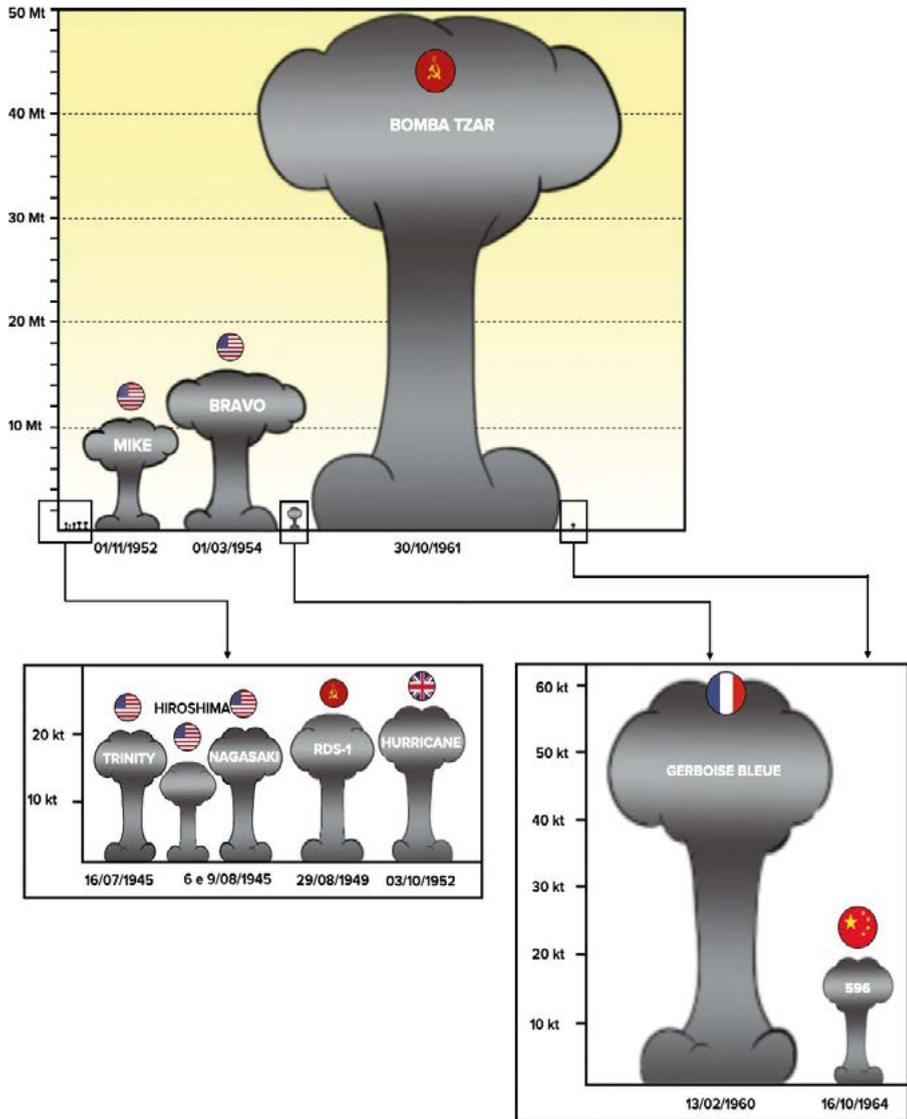


Figura 4: Cargas dos principais testes de bombas nucleares detonadas pelos Estados Unidos, União Soviética, Reino Unido, França e China. (adaptado de: <https://www.megacurioso.com.br/guerras/67241-as-10-armas-nucleares-mais-poderosas-ja-feitas.htm>).

O CTBT foi negociado em Genebra entre 1994 e 1996, onde foram definidos os termos do Tratado e os meios para a sua verificação. Após esses três anos de negociações, o Tratado foi aberto para assinatura na sede da ONU, em Nova Iorque, em 24 de setembro de 1996. O professor José Alberto Veloso, à época chefe do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, participou como assessor científico nas discussões sobre a criação de um sistema de monitoramento global de explosões nucleares (Veloso, 2016).

Até o ano de 2020, dos 193 países com assento na ONU, 184 assinaram o Tratado, dos quais 168 também o ratificaram, incluindo três dos países membros permanentes do Conselho de Segurança das Nações Unidas (grupo P5): França, Federação Russa e Reino Unido. Porém, os 44 países detentores de tecnologia nuclear, listados no Anexo 2 do CTBT, devem assinar e ratificar o Tratado para que este entre em vigor. Destes, cinco ainda não ratificaram: China, Egito, Irã, Israel e EUA, sendo que Índia, Coreia do Norte e Paquistão ainda não assinaram o CTBT (Figura 5). Até 2020, o último Estado a assinar o Tratado foi Tuvalu, em 25 de setembro de 2018, e o último a ratificar foi Zimbábue, em 13 de fevereiro de 2019 (<https://www.ctbto.org/the-treaty/status-of-signature-and-ratification/>).

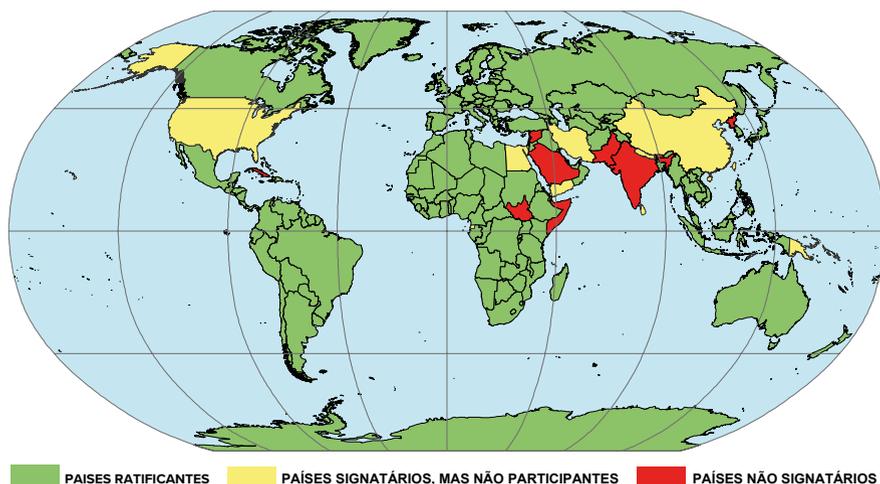


Figura 5: Mapa com a distribuição dos países que assinaram e ratificaram (verde), assinaram, mas não ratificaram (amarelo) e não assinaram e não ratificaram o CTBT (vermelho).

1.4 CRIAÇÃO DA COMISSÃO PREPARATÓRIA DA CTBTO

Logo após o Tratado ter sido aberto para assinatura em Nova Iorque, foi criada, por meio da Resolução CTBT/MSS/RES/1, adotada em 19 de novembro de 1996, a Comissão Preparatória (Preparatory Commission - PrepCom) da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization - CTBTO) para realizar os preparativos necessários à efetiva implementação do CTBT e garantir a operacionalização do regime de verificação do Tratado, quando da sua entrada em vigor. A Comissão Preparatória é formada por: um órgão plenário, composto por todos os Estados Signatários; dois Grupos de Trabalho - Grupo A (Working Group A - WGA) e Grupo B (Working Group B - WGB); um Grupo Consultor e um Secretariado Técnico Provisório (Provisional Technical Secretariat - PTS). Na sequência, será feito um resumo do Tratado CTBT.

1.5 RESUMO DO CTBT

O CTBT proíbe todas as explosões nucleares na Terra, seja para fins militares ou pacíficos. O Tratado é composto por 1 preâmbulo, 17 artigos, 2 anexos e 1 protocolo com 2 anexos. Também faz parte do Tratado a Resolução CTBT/MSS/RES/1, adotada pelos Estados Signatários do CTBT em 19 de novembro de 1996, estabelecendo a Comissão Preparatória para a Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares.

O Preâmbulo apresenta o Tratado como uma medida muito importante à não proliferação e ao desarmamento nuclear.

O Artigo I estabelece as obrigações básicas do Tratado: proíbe os Estados Partes de realizarem qualquer teste nuclear (ou qualquer outra explosão nuclear) e de incentivarem a participação na realização de qualquer explosão nuclear.

O Artigo II prevê a criação da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBTO), com sede em Viena - Áustria, para garantir a implementação do Tratado, além de proporcionar um fórum para consulta e cooperação. Os membros são todos os Estados Partes. Dispõe de três órgãos: Conferência dos Estados Partes; Conselho Executivo e Secretariado Técnico.

O Artigo III enfoca as medidas nacionais de implementação do Tratado.

O Artigo IV detalha o regime de verificação global para monitorar o cumprimento das disposições do Tratado. O regime de verificação deve incluir uma rede global de estações de monitoramento (IMS), um Centro Internacional de Dados (IDC), uma unidade para Inspeções no Local (OSI) e medidas de fortalecimento da confiança (compliance), com o fornecimento de informações adicionais e a checagem de resultados.

O Artigo V descreve medidas para corrigir uma situação que viole as disposições do CTBT e para garantir o cumprimento do Tratado.

O Artigo VI trata da solução de controvérsias que possam surgir sobre a aplicação ou a interpretação do Tratado.

O Artigo VII refere-se a alterações ao Tratado.

O Artigo VIII determina quando será realizada uma revisão do Tratado após a sua entrada em vigor.

O Artigo IX declara que o Tratado tem duração ilimitada.

O Artigo X trata da condição do protocolo e dos anexos ao Tratado, ou seja, os anexos do Tratado, o Protocolo e os anexos ao Protocolo são partes integrantes do CTBT.

O Artigo XI diz respeito à assinatura do Tratado.

O Artigo XII trata da ratificação do Tratado.

O Artigo XIII trata da adesão ao Tratado.

O Artigo XIV trata da entrada em vigor do Tratado, que ocorrerá 180 dias após a ratificação por todos os 44 Estados listados no Anexo 2.

O Artigo XV especifica que o CTBT não estará sujeito a reservas incompatíveis com a finalidade do Tratado.

O Artigo XVI refere-se ao depositário do Tratado, no caso, o Secretário Geral das Nações Unidas.

O Artigo XVII trata da autenticidade dos textos do Tratado em árabe, chinês, inglês, francês, russo e espanhol.

O Anexo 1 do Tratado lista os Estados por regiões geográficas para fins de eleição para o Conselho Executivo.

O Anexo 2 do Tratado lista os 44 Estados que devem ratificar o Tratado para que ele entre em vigor.

A Parte I do Protocolo descreve as funções do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS) e do Centro Internacional de Dados (IDC).

A Parte II do Protocolo estabelece os procedimentos para Inspeções no Local (OSI).

A Parte III do Protocolo trata de medidas de fortalecimento da confiança.

O Anexo 1 do Protocolo lista as instalações que compõem a Rede IMS.

O Anexo 2 do Protocolo lista os parâmetros de caracterização para a triagem de eventos padrão do IDC.

CAPÍTULO 2 | REGIME DE VERIFICAÇÃO DO CTBT

O regime de verificação deve incluir uma rede global de estações de monitoramento (IMS), um centro internacional de dados (IDC), uma unidade para Inspeções no Local (OSI) e medidas de fortalecimento da confiança.



Sala de reunião na sede da ONU em Viena - Áustria, onde funcionam, dentre outras organizações, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Comissão Preparatória (Preparatory Commission - PrepCom) da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization - CTBTO) (<https://www.unido.org/news/g77s-vienna-chapter-chairmanship-handover-ceremony>).

2.1 INTRODUÇÃO

O Tratado possui um regime de verificação único, abrangente e universal, para garantir que nenhuma explosão nuclear clandestina seja realizada. Este regime consiste nos três pilares fundamentais da organização CTBTO: O Sistema Internacional de Monitoramento (IMS); O Centro Internacional de Dados (IDC) e a Inspeção no Local (OSI) (**Figura 6**).



Figura 6: Representação do Sistema de Verificação do CTBT, composto pelo Sistema Internacional de Monitoramento (IMS), Centro Internacional de Dados (IDC), Inspeção no Local (OSI) e pela Infraestrutura de Comunicação Global (GCI) (adaptado de: <https://swp.ctbto.org/web/swp/tsunami>).

2.2 SISTEMA INTERNACIONAL DE MONITORAMENTO - IMS

O IMS é um sistema de vigilância de testes nucleares de alcance global. Dispõe de 337 instalações com quatro tecnologias (**Figura 7**): 50 estações sísmicas primárias e 120 estações sísmicas auxiliares (**Figura 8**); 60 estações infrassônicas (**Figura 9**); 11 estações

hidroacústicas (Figura 10); 80 estações de radionuclídeos e 16 laboratórios de radionuclídeos (Figura 11), distribuídos de modo a garantir uma cobertura global capaz de detectar qualquer explosão nuclear com potência igual ou superior a 1 kt de TNT. Mais de 90% das instalações da Rede IMS já estão em funcionamento.

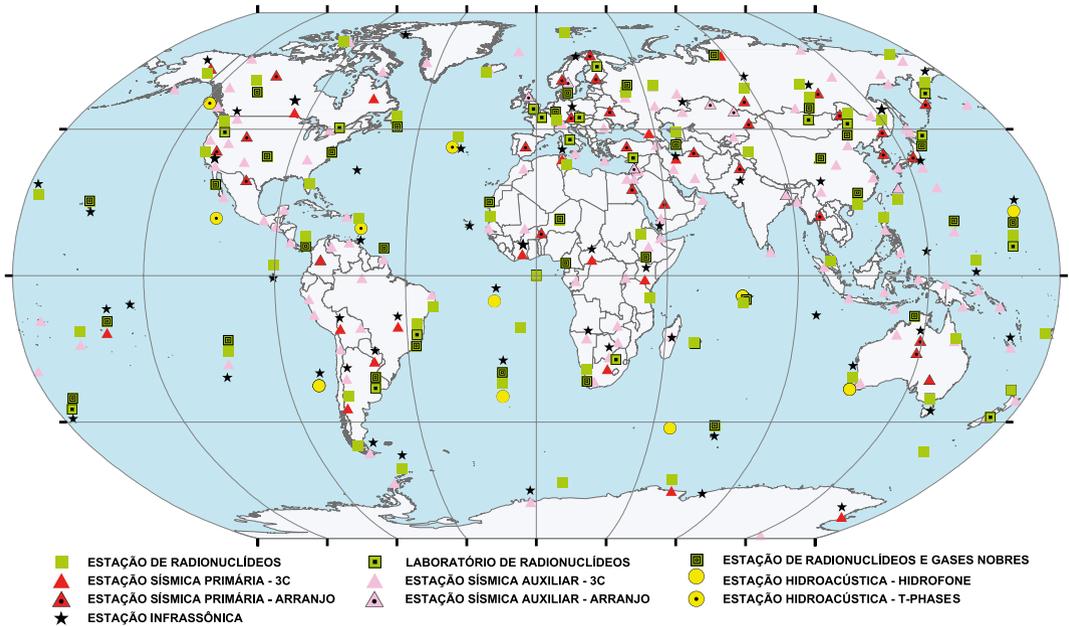


Figura 7: Rede de estações do IMS: Sísmicas primárias (50); Sísmicas auxiliares (120); Radionuclídeos (80); Hidroacústicas (11); Infrassônicas (60) e 16 Laboratórios de Radionuclídeos.

2.3 AS QUATRO TECNOLOGIAS DO CTBT

Um teste nuclear pode gerar energia capaz de se espalhar por todo o planeta, na forma de perturbações detectáveis por um determinado tipo de sensor geofísico. Dessa forma, foi projetada a Rede Internacional de Monitoramento de explosões nucleares, composta por sensores de quatro tecnologias, cada uma adequada para a detecção em um dos três possíveis ambientes: atmosfera, subsolo e massas subaquáticas, de modo a não passar despercebida a realização de qualquer teste nuclear com carga a partir de 1 kt.

2.3.1 Tecnologia sísmica

Uma explosão em subsuperfície gera, da mesma forma que um terremoto, ondas sísmicas que podem ser detectadas por estações sismográficas a longas distâncias. A rede de estações sísmicas foi projetada para detectar principalmente explosões nucleares em subsuperfície. É composta por 170 estações: 50 estações primárias (com transmissão para o IDC em tempo real) e 120 estações auxiliares (com transmissão para o IDC quando solicitado) (**Figura 8**).

Existem dois tipos de estações sísmicas: estações do tipo arranjo, conjunto de sensores sísmicos espacialmente distribuídos com uma dada geometria, geralmente na forma de anéis concêntricos, e estações de três componentes (3C), estações que detectam o movimento do chão causado pela passagem das ondas sísmicas em três direções tri-ortogonais (uma vertical e duas horizontais). Os sensores dessas estações são geralmente instalados em poços profundos, de 100 metros ou mais de profundidade. Os arranjos sismográficos têm a vantagem de, a depender do número de elementos (sensores), detectarem pequenos sinais, pois os sinais dos elementos podem ser somados, melhorando a relação sinal-ruído.

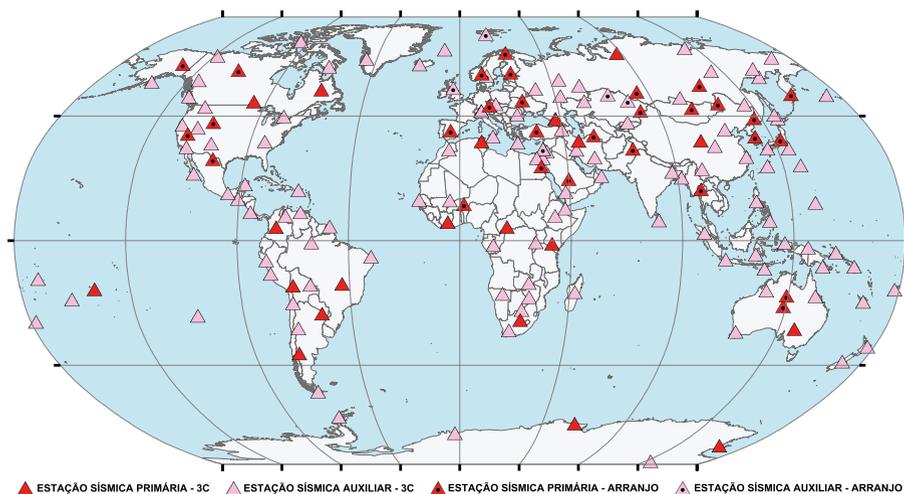


Figura 8: Rede de estações sísmicas do IMS. Estações sísmicas primárias (50) e auxiliares (120).

2.3.2 Tecnologia infrassônica

Ondas sonoras são variações de pressão do ar ou perturbações acústicas, que podem ser detectadas por microbarômetros. Explosões nucleares na atmosfera geram variações na pressão do ar (infrassom) que, a depender da temperatura e da velocidade do vento, viajam longas distâncias. As estações de infrassom, instaladas para o monitoramento do planeta, são capazes de detectar ondas sonoras de frequências muito baixas, não audíveis, na faixa de 0,001 Hz a 16 Hz, emitidas por fontes naturais ou artificiais, como por exemplo: erupções vulcânicas, tempestades, explosões nucleares, aviões supersônicos, entre outros. Devido à sua baixa frequência, as ondas infrassônicas se propagam pela atmosfera por longas distâncias, pois sofrem baixa atenuação. Dessa maneira, a tecnologia infrassônica é adequada para detectar testes nucleares na atmosfera (Le Pichon et al., 2010).

Uma estação de infrassom é composta por um arranjo de microbarógrafos instalados, geralmente, nos vértices de um triângulo equilátero, com um sensor instalado no centro. Existem outras configurações possíveis, com relação ao número e à disposição espacial dos elementos. A determinação do azimute, ou direção da frente de ondas, é feita com base na diferença de tempos de chegadas da onda de infrassom em cada elemento do arranjo (Le Pichon et al., 2010). A rede de estações infrassônicas do IMS é composta de 60 estações (**Figura 9**).

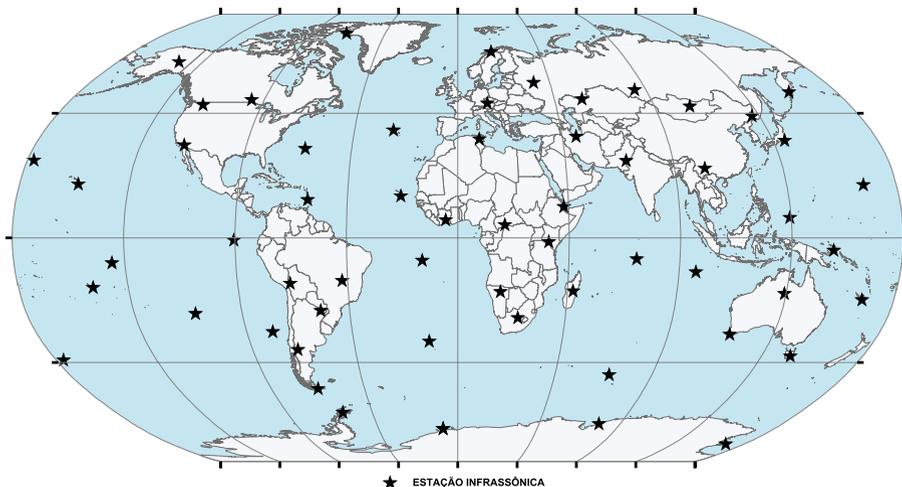


Figura 9: Rede de estações infrassônicas do IMS (60 estações).

2.3.3 Tecnologia hidroacústica

A tecnologia hidroacústica foi desenvolvida para a detecção de sinais resultantes de mudanças na pressão da água geradas por ondas sonoras nos mares e/ou oceanos. Essas ondas podem ser causadas por uma variedade de fontes naturais ou provocadas pelo homem, como por exemplo: explosões de pesquisa sísmica marinha, pesca com rajadas e explosões nucleares (fontes artificiais); ruídos causados por Icebergs, ruídos de baleias e terremotos (fontes naturais). Essa tecnologia de monitoramento é usada para detectar explosões nucleares subaquáticas ou explosões nucleares próximas à superfície ou na costa dos oceanos e mares. Dada a sua eficácia, apenas 11 estações são suficientes para monitorar a realização de explosões nucleares clandestinas em ambientes aquáticos em todo o planeta (Figura 10) (https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/public_information/2015/CSA_final_2015_web.pdf).

Dois tipos de sensores são empregados na detecção de sinais hidroacústicos. Um dos sensores é do tipo hidrofone (seis estações), instalados no mar, próximos a pequenas ilhas, a profundidades de

600 m a 1000 m e a uma distância de até 100 km da costa. O outro tipo utiliza sismômetros instalados em dois lados opostos (inclinados) de pequenas ilhas (cinco estações do tipo T). As estações de hidrofones cobrem grandes áreas oceânicas, mas são muito mais complexas e caras. As estações do tipo T, embora menos eficientes, são consideravelmente mais simples e menos dispendiosas (Lawrence, 2004).

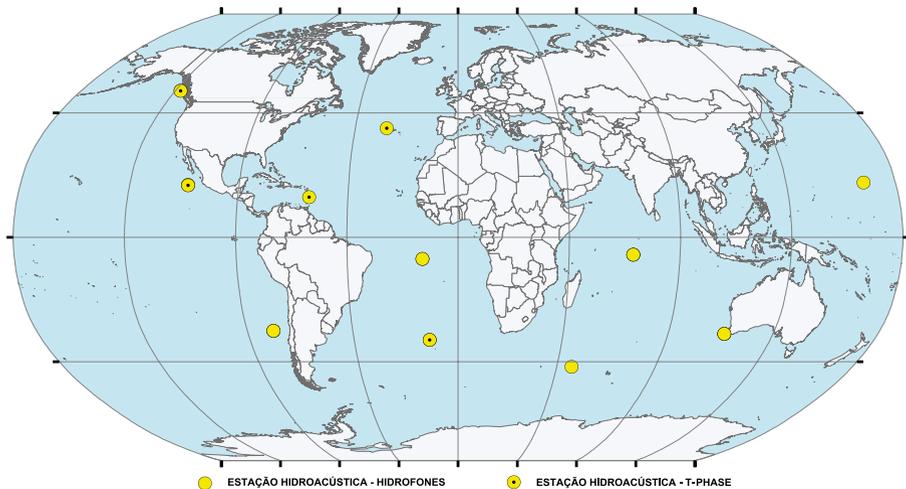


Figura 10: Rede de estações hidroacústicas do IMS, onze estações: seis com hidrofones e cinco com sismômetros (estação tipo T).

2.3.4 Tecnologia de radionuclídeos

Esta tecnologia possui uma rede de 80 estações de monitoramento distribuídas globalmente (**Figura 11**). As estações permitem uma observação mundial contínua de amostras de aerossóis de radionuclídeos ou partículas de radionuclídeos. Para aumentar a eficiência do monitoramento de radionuclídeos, metade dessas estações está equipada com tecnologia de monitoramento de gases nobres gerados por explosões nucleares. Dezesesseis laboratórios de radionuclídeos complementam essa rede global. Na cidade do Rio de Janeiro há uma estação de radionuclídeos e um dos 16 laboratórios de radionuclídeos do IMS, operados pelo Instituto de

Radiometria e Dosimetria - IRD (https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/public_information/2015/CSA_final_2015_web.pdf).

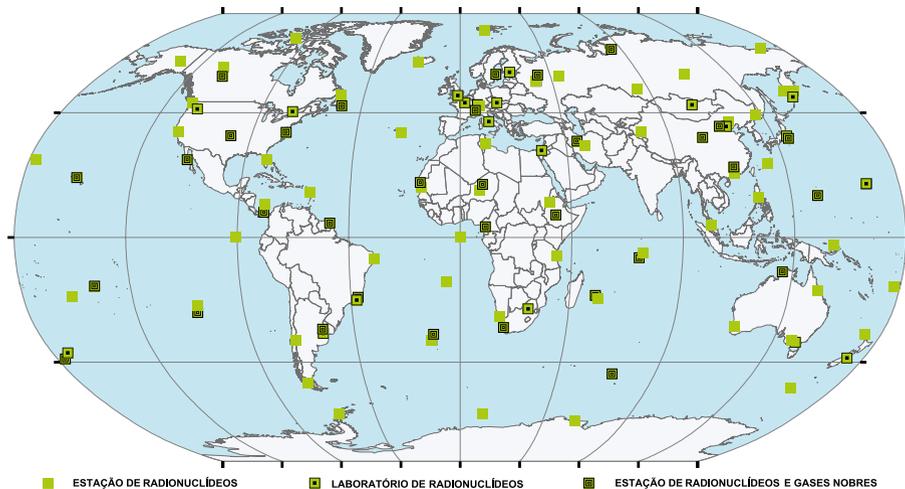


Figura 11: Rede de estações de radionuclídeos do IMS (80 estações e 16 laboratórios).

2.4 SINERGIA ENTRE AS QUATRO TECNOLOGIAS DO IMS

Cada tecnologia de verificação do CTBT é apropriada à detecção de explosões nucleares em um dos três ambientes possíveis: atmosfera, subsolo e massas subaquáticas. Entretanto, é possível haver sinergia entre as quatro tecnologias, ou seja, mais de uma tecnologia pode contribuir para validação de um teste nuclear. Por exemplo, testes nucleares subterrâneos podem ser detectados pelas tecnologias sísmica, infrassônica e de radionuclídeos, sendo a sísmica a tecnologia principal. Testes atmosféricos também podem ser detectados pelas tecnologias infrassônica, sísmica e de radionuclídeos, sendo o infrassom a tecnologia mais apropriada. A sinergia se dá pelo fato de um mesmo evento ser detectado por sensores de diferentes tecnologias e, dessa forma, os resultados das análises são complementares (https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/public_information/2015/CSA_final_2015_web.pdf).

Testes nucleares atmosféricos



Capazes de gerar ondas de infrassom, sísmicas e hidroacústicas. A tecnologia principal de monitoramento é a infrassônica. Além disso, testes nucleares na atmosfera também liberam radioisótopos que são detectados pelas estações de radionuclídeos (<https://www.tribuneindia.com/news/schools/cold-war-nuclear-tests-changed-rainfall-pattern-87991>).

Testes nucleares subaquáticos



Capazes de gerar ondas hidroacústicas, mas sinais sísmicos e infrassônicos também podem estar presentes. Os sinais de radionuclídeos, quando não são barrados pela coluna d'água, são detectados pelas estações de radionuclídeos. Neste caso, a tecnologia hidroacústica é a mais apropriada (<https://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Hardtack1.html>).

Testes nucleares subterrâneos



Geram principalmente ondas sísmicas. Entretanto, sinais infrasônicos e hidroacústicos podem estar acoplados (podem estar presentes). Esse tipo de detonação libera também radioisótopos, que podem ser registrados nas estações radionuclídicas (<https://sibnarkomat.livejournal.com/28817546.html>).

CAPÍTULO 3 | CENTRO INTERNACIONAL DE DADOS - IDC

O Tratado CTBT - Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares - exige que um centro internacional de dados funcione para coletar, processar, analisar e arquivar os dados das 337 instalações do IMS, bem como fornecer esses dados e produtos derivados aos Estados Membros. O IDC funciona neste conjunto de prédios (seis), sede da ONU em Viena - Áustria.



Sede das Nações Unidas em Viena - Áustria, onde funciona a Comissão Preparatória (Preparatory Commission - PrepCom) da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization - CTBTO). Aqui também funciona a sede da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que tem como objetivo a promoção do uso pacífico da energia nuclear e o desencorajamento do uso para fins militares de armas nucleares.

3.1 INTRODUÇÃO

O Centro Internacional de Dados (IDC) está localizado na sede da Comissão Preparatória da CTBTO em Viena - Áustria (**Figura 12**). Seu objetivo é apoiar a verificação do CTBT, fornecendo dados, produtos e os serviços estabelecidos no Tratado para um monitoramento global eficaz. Esses produtos são desenvolvidos a partir dos dados coletados pela Rede IMS, que o IDC usa para detectar, analisar, localizar e classificar eventos. Os dados e os produtos são transmitidos, por meio do Sistema de Infraestrutura de Comunicação Global (GCI), aos Estados Signatários, para o aval ou concordância sobre a natureza e origem do evento.

O IDC está comprometido com:

- O monitoramento contínuo do status operacional das instalações do IMS;
- O acompanhamento da disponibilidade dos links de comunicação GCI;
- O processamento dos dados;
- A prestação de assistência técnica aos NDCs dos Estados Membros, aprimorando suas capacidades técnicas.

A assistência técnica é prestada aos NDCs dos Estados Membros por meio de treinamentos e transferência de conhecimentos.

Os métodos científicos e softwares são atualizados continuamente para garantir que o Secretariado Técnico Provisório (Provisional Technical Secretariat - PTS) e os Estados Membros tenham as ferramentas necessárias para coletar, receber, analisar e processar dados, conforme necessário.



Figura 12: Sala de monitoramento do Centro Internacional de Dados (IDC- International Data Center), em Viena - Áustria.

Além de contribuir para o domínio técnico, a CTBTO também auxilia com o treinamento necessário para que um Estado Membro assumas suas responsabilidades nos termos do Tratado. Os cursos de treinamentos projetados para integrantes dos NDCs e operadores de estações do IMS são abrangentes e extensos, com a finalidade de familiarizar os participantes com o regime de verificação do CTBT e seu funcionamento. Os cursos também fornecem informações sobre a operação de um NDC, o manuseio de softwares relevantes, a análise de dados e treinamentos em equipamentos para operar e manter as estações do IMS.

3.2 PRODUTOS DO IDC

O IDC produz, a partir das análises dos dados das estações do IMS, relatórios e boletins com diferentes níveis de informações acerca de eventos de interesse dos Estados Partes. Esses produtos somente podem ser acessados pelos Estados Partes. A **Tabela 1** sumariza os principais produtos do IDC.

Tabela 1: Principais produtos gerados pelo IDC.

Produtos do IDC	
EXECSUM	SUMÁRIO EXECUTIVO: contém resumos das estatísticas do número de eventos do Boletim de Eventos Padrão (SEB) e métricas do status da rede IMS.
SLSD	LISTA PADRÃO DE DETECÇÕES DE SINAL: lista de parâmetros e erros do sinal para estações sísmicas, hidroacústicas ou infrassônicas que contém todos os sinais detectados durante algum tempo.
SLSD ASSOCIADO	Fornecer as chegadas que foram determinadas por meio de um programa de localização e estão associadas a um evento.
SLSD AUTOMÁTICO	Fornecer o resultado do processo de detecção automática executado em formas de onda.
SLSD AGRUPADO	Fornecer chegadas às quais foram atribuídos nomes de fase e que também foram agrupados com a suposição de que eles pertencem ao mesmo evento.
SLSD NÃO ASSOCIADO	Fornecer chegadas que foram detectadas, mas não associadas a nenhum evento.
SEL1	LISTA DE EVENTOS PADRÃO 1: Contém informações dos eventos detectados pelas estações sísmica primária e hidroacústica (2 horas).
SEL2	LISTA DE EVENTOS PADRÃO 2: Produzido a partir do SEL1 adicionando informações das estações sísmica auxiliares, hidroacústicas e de infrassom (6 horas).
SEL3	LISTA DE EVENTOS PADRÃO 3: Contém a SEL2 refinado com quaisquer outros dados de chegada tardia (12 horas).
REB	BOLETIM DE EVENTOS REVISADO: Obtido por meio da análise por especialistas dos resultados do SEL3 e dos dados brutos da rede IMS.
SEB	BOLETIM DE EVENTOS PADRÃO: Criado a partir da classificação de eventos do REB.
SSEB	BOLETIM DE EVENTOS TRIAGEM PADRÃO: Parte do SEB destacando eventos sísmicos, hidroacústicos e de infrassom que não são rastreados.

3.3 ACESSO AOS DADOS DO IMS E PRODUTOS DO IDC

As estações do IMS monitoram todo o planeta 24 horas por dia e 365 dias por ano, captando sinais de fontes naturais e artificiais das mais diferentes origens. Esses dados são considerados uma fonte de conhecimento para uma ampla gama de aplicações civis e científicas.

Inicialmente, os dados do IMS e os produtos do IDC eram confidenciais, restritos apenas aos países signatários do Tratado por intermédio de pessoas credenciadas, envolvidas com a análise de dados e operação das estações do IMS. Entretanto, após o devastador tsunami do Oceano Índico em 26 de dezembro de 2004, os Estados Membros decidiram (27ª reunião do WGB) disponibilizar os dados do IMS para fins humanitários e científicos. Cientistas e instituições em todos os Estados Membros da CTBTO podem usar os dados para alerta sobre desastres e estudos científicos, inclusive no campo das mudanças climáticas.

Os dados adquiridos podem ser utilizados em aplicações civis e científicas com potencial para contribuir de forma significativa para o desenvolvimento sustentável, para a expansão do conhecimento e para o bem-estar humano, incluindo:

- Adquirir e disseminar rapidamente dados sobre terremotos, em especial os potencialmente geradores de tsunamis, ajudando, assim, na gestão de desastres e nos esforços de resposta;
- Contribuir para a investigação sobre a estrutura terrestre, mudanças climáticas e melhorias na previsão do tempo;
- Apoiar a investigação sobre os processos oceânicos e a vida marinha, notadamente o acompanhamento das populações de baleias e seus padrões migratórios;
- Detectar explosões vulcânicas e uma série de outros fenômenos naturais ou antrópicos ocorridos na superfície terrestre, entre os quais explosões nucleares e químicas, entrada de meteoros na atmosfera, sistemas de tempestades severas e auroras;
- Prover informação relevante sobre acidentes nucleares e auxiliar no fornecimento de medições dos níveis de radioatividade, de modo a permitir o mapeamento da dispersão de material radioativo;
- Contribuir com o estabelecimento de modelos atmosféricos.

3.4 INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO GLOBAL - GCI

A Infraestrutura de Comunicação Global (Global Communication Infrastructure - GCI) é um sistema de comunicação global para transmissão confiável, precisa e segura de todos os dados das estações do IMS para o IDC, bem como de boletins, relatórios, dados e de qualquer comunicação de interesse entre o IDC e os Estados Membros do CTBT (Figura 13).

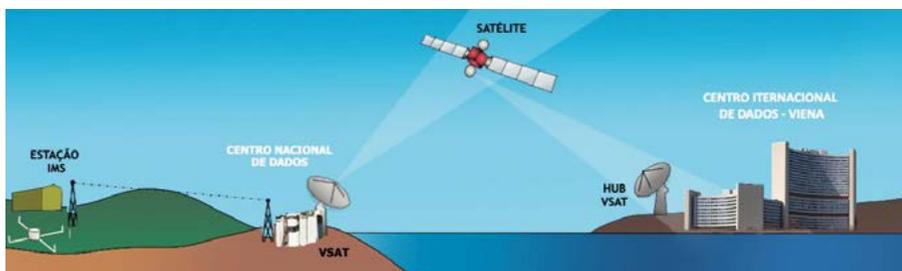


Figura 13: Esquema da transmissão de dados de uma estação típica do IMS, por meio da Infraestrutura de Comunicação Global (Global Communication Infrastructure - GCI), ao IDC-CTBTO em Viena - Áustria.

A rede mundial de comunicações, responsável pela transmissão segura de todos os dados do IMS e produtos do IDC, é servida por uma constelação de seis satélites geoestacionários que permitem uma cobertura global, (Figura 14). O Brasil é servido por dois satélites: SatMex5@2433 e NSS7@338E.

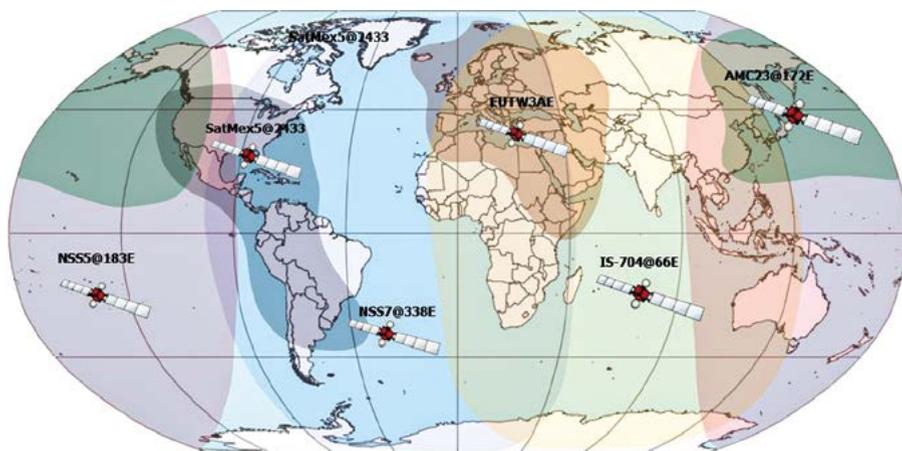


Figura 14: Distribuição da constelação de seis satélites do sistema de comunicação Global.

CAPÍTULO 4 | INSPEÇÃO NO LOCAL - OSI

4.1 INTRODUÇÃO

Uma inspeção no local (OSI) é feita para certificar se foi realizado ou não um teste nuclear em uma dada área suspeita. Inspetores coletarão evidências diretamente no local por meio de observações e medidas geofísicas. São realizadas observações em um período de no máximo 70 dias em uma área contínua de até 1000 km². No entanto, esta área de pesquisa, delimitada inicialmente, é reduzida sucessivamente pelos inspetores, de forma a identificar o local do alegado teste nuclear e recolher possíveis provas que esclareçam a ocorrência ou não de uma explosão nuclear em desrespeito ao Tratado.



Acampamento de inspetores em uma área suspeita de realização de um teste nuclear clandestino. Neste caso, trata-se de um exercício com fins de treinamento na execução de uma inspeção no local.

4.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Uma OSI deve começar o mais rápido possível depois de um evento suspeito ter ocorrido, de modo a possibilitar o melhor uso das tecnologias empregadas na inspeção e reunir evidências necessárias para determinar se um teste nuclear foi realizado ou não. Uma OSI requer a utilização de uma gama de técnicas, dentre as quais podemos citar (**Figura 15**):

- Observação visual (incluindo sobrevoos);
- Vídeo e fotografia de cena;
- Obtenção de imagem multiespectral;
- Medição dos níveis de radioatividade;
- Levantamentos de amostras diversas no local sob inspeção;
- Vigilância sismológica passiva;
- Pesquisas sísmicas ativas;
- Levantamentos magnetométricos;
- Levantamentos gravimétricos;
- Medições no subsolo com georadar (GPR);
- Medições da condutividade elétrica.

Uma OSI somente pode ser solicitada e aprovada pelos Estados Membros e, além disso, após a entrada em vigor do CTBT. É realizada por inspetores dos Estados Partes e da CTBTO.



Figura 15: Inspeção no local utilizando métodos geofísicos: (A) métodos geoeletricos, (B) sísmica de refração/reflexão, (C) levantamento com georadar (GPR) e (D) preparativos para medidas de eletrorresistividade e radioatividade.

CAPÍTULO 5 | PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NO IMS

O Brasil, ao assinar em 26/09/1996 e ratificar em 24/07/1998 o CTBT, além de comprometer-se com a não realização de testes nucleares, também assumiu responsabilidades com a sua verificação no âmbito de três tecnologias: sísmica, infrassônica e de radionuclídeos.



Sede das Nações Unidas em Viena - Áustria, onde funciona a Comissão Preparatória da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares e também a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil contribui com dados das seguintes estações pertencentes ao IMS:

- Uma estação sísmica primária (PS07) e duas estações sísmicas auxiliares (AS10 e AS11);
- Uma estação de infrassom (IS09);
- Duas estações de radionuclídeos (RN11 e RN12).

Além disso, contribui com as análises realizadas em um laboratório de radionuclídeos.

Os dados das estações do IMS instaladas no Brasil são transmitidos para o IDC em intervalos de tempo diferentes, de acordo com cada tecnologia (**Figura 16**).

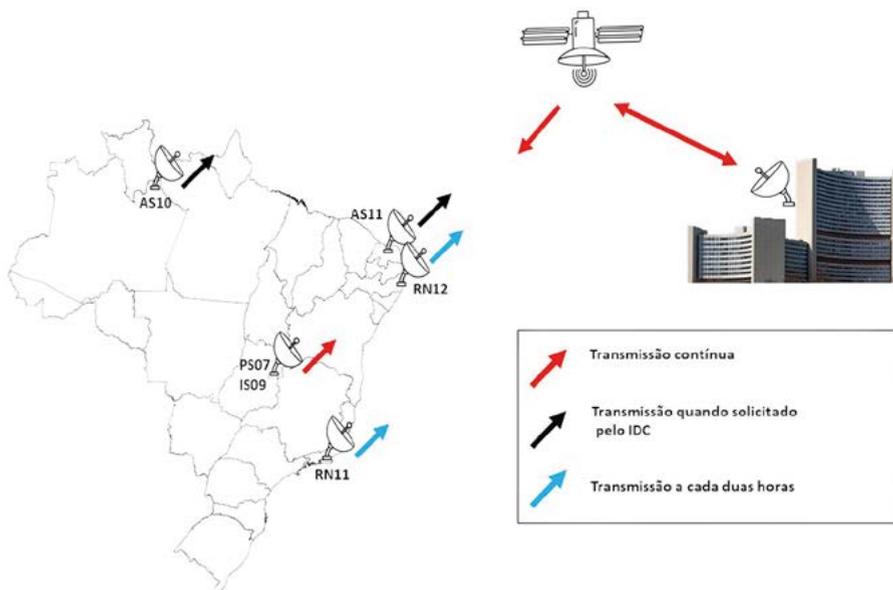


Figura 16: Localizações das estações brasileiras do IMS e forma de transmissão de dados para o IDC em Viena - Áustria.

5.2 ESTAÇÃO SÍSMICA PRIMÁRIA PS07

A estação sísmica primária PS07 resultou de uma atualização dos instrumentos da Estação BDFB, que foi instalada em 1993 pelo projeto da Rede Sismográfica Telemétrica Global (Global Telemetered Seismographic Network - GTSN), uma parceria do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS). Esse projeto teve como objetivo melhorar o monitoramento sísmológico no hemisfério sul, com a instalação de oito estações com transmissão de dados em tempo real e, conseqüentemente, estabelecer uma cobertura mais eficiente no monitoramento sísmológico de todo planeta (Veloso e Carvalho, 1993; Barros e Fontenele, 2004).

Devido à sua localização e sensibilidade, foi escolhida para ser a estação sísmica primária PS07 do IMS e, por isso, teve os seus equipamentos substituídos para uma padronização com a Rede IMS. O sismômetro da estação, de banda larga (120 s - 100 Hz) de três componentes, está instalado em um poço de 100 m de profundidade no interior do Parque Nacional de Brasília (PNB) (**Figura 17**) (Veloso, 2016).



Figura 17: Estação sísmica primária PS07. À esquerda: sistema de alimentação com painéis solares; poço do sismômetro e abrigo dos instrumentos. À direita, torre de transmissão de dados para a Estação Central no SIS - UnB (Barros e Fontenele, 2004).

5.3 ESTAÇÃO INFRASSÔNICA I09BR

A estação infrassônica I09BR (cujo código dentro do Tratado é IS09) foi instalada por meio de parceria entre o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília e a Comissão Preparatória da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares. A estação entrou em operação rotineira em julho de 2001 e também está instalada no interior do PNB (**Figura 18**). É constituída por um arranjo de quatro elementos, um no centro e os outros três nos vértices de um triângulo (A). Cada elemento é composto por um microbarômetro,

um digitalizador (B), um sistema redutor de ruído (C), um sistema de transmissão via rádio e um sistema ininterrupto de alimentação à base de painéis solares e baterias (D) (Barros e Fontenele, 2002).

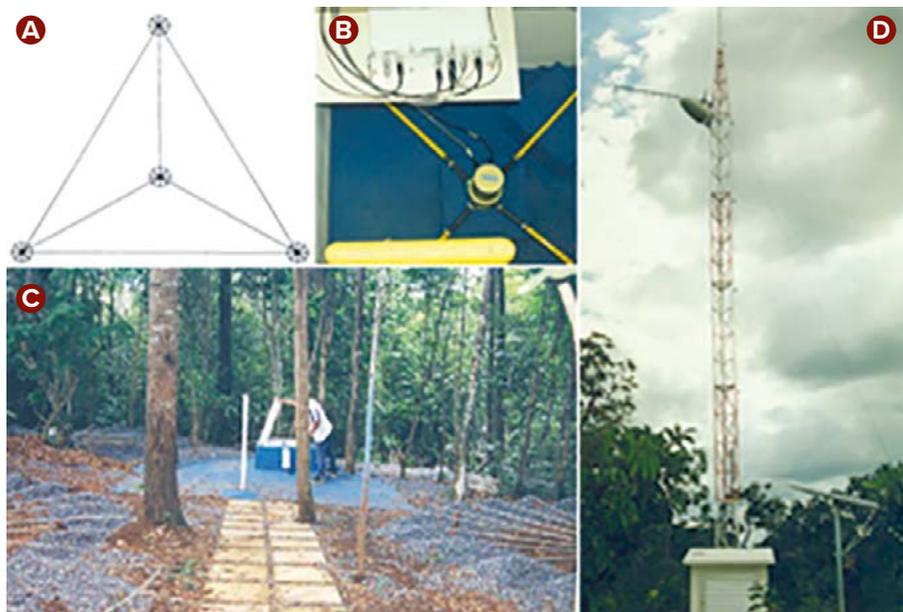


Figura 18: Um elemento da estação infrassônica I09BR. (A) geometria do arranjo, (B) abrigo do microbarômetro e digitalizador, (C) sistema redutor de ruídos (filtro mecânico) e (D) sistema de alimentação (painéis solares e baterias) e sistema de transmissão de dados para o SIS - UnB.

5.4 ESTAÇÃO CENTRAL DE RECEPÇÃO E REGISTRO DE DADOS (PS07 E IS09)

Funciona na sede do Observatório Sismológico, no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, onde existem todas as facilidades para recepção, processamento, análise, armazenamento e retransmissão dos dados das estações do IMS, operadas pelo SIS - UnB, para o IDC em Viena (**Figura 19**).



Figura 19: Equipamentos do IMS - CTBTO na Estação Central do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília.

A Estação Central dispõe de uma torre autoportante de 42 metros, onde está instalado o sistema irradiante da central (**Figura 20A**): uma antena de alto ganho para recepção dos dados dos quatro elementos da Estação IS09 e da Estação PS07 (**B**). Dispõe também de uma antena parabólica para retransmissão de dados para o IDC via satélite (**C**). Todos os instrumentos são alimentados por sistema nobreak de energia, composto por um gerador de energia elétrica de 54 KVA (**Figura 21**), baterias, unidades UPS e chave de transferência automática de carga.



Figura 20: Estação Central de recepção, registro e análise de dados das estações do IMS operadas pelo Observatório Sismológico. (A) Vista do prédio e torre de recepção de dados, (B) Antena de alto ganho para recepção dos sinais das estações IS09 e PS07 e (C) Antena parabólica para retransmissão dos dados via satélite para o IDC em Viena.



Figura 21: Grupo motor-gerador com potência de 54 KVA, que serve aos equipamentos da Estação Central.

5.5 ESTAÇÕES SÍSMICAS AUXILIARES AS10 E AS11

As duas estações sísmicas auxiliares do IMS no Brasil foram instaladas pelo IRIS (Incorporate Research institution for Seismology) em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (AS10 - **Figura 22** - Estação de Riachuelo - RN, código de identificação RCBR) e Universidade de Brasília (AS11 - Estação de Pitinga - AM, código de identificação - PTGA), sob a coordenação do Professor João Willy Correia Rosa. Ambas são estações de banda larga (120 s - 100 Hz) de três componentes (3C), com sensores instalados em poços profundos. A Estação de Pitinga - AM (AS11) tem apresentado, ao longo dos anos, muitos problemas operacionais.



Figura 22: Estação sísmica auxiliar (AS10) de Riachuelo - Rio Grande do Norte (foto de Eduardo Menezes).

5.6 ESTAÇÕES DE RADIONUCLÍDEOS E LABORATÓRIO DE RADIONUCLÍDEOS

No Brasil estão previstas duas estações de Radionuclídeos (RN11 e RN12), entretanto, apenas a Estação RN11 do Rio de Janeiro está em operação, a Estação RN12 do Recife está apenas planejada. A operação da Estação RN11 é de responsabilidade do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), que também opera um dos 16 Laboratórios de Radionuclídeos da rede IMS (**Figura 23**). A Estação RN11 foi certificada em 2003. Uma estação de monitoramento de radionuclídeos contém um amostrador de ar, onde o ar é forçado através de um filtro, que retém a maioria das partículas sólidas que o alcançam. Os filtros usados são processados e os espectros de radiação gama resultantes podem indicar anomalias na radiação.

As amostras com radionuclídeos específicos, provenientes das estações de radionuclídeos, que podem apontar para uma explosão nuclear, são enviadas aos laboratórios de radionuclídeos para repetir as medições, que são feitas de forma independente.

Os laboratórios de radionuclídeos também realizam análises regulares de controle de qualidade de amostras de rotina de todas as estações de monitoramento de radionuclídeos. A tecnologia de radionuclídeos é a única do IMS capaz de confirmar que um evento registrado nas tecnologias de formas de ondas (sísmica, infrassônica e hidroacústica) foi um evento nuclear. A Estação RN11 e o laboratório de radionuclídeos, localizados na cidade do Rio de Janeiro, foram montados com recursos da CTBTO.

Fonte: <http://www.ird.gov.br/index.php/component/content/article?id=191>



Figura 23: Estação de Radionuclídeos e gases nobres (RN11), localizada no Instituto de Radioproteção e Dosimetria na cidade do Rio de Janeiro. Na parte superior, analisador automático de amostras de radionuclídeos e, na inferior, analisador automático de amostras de gases nobres (<http://www.ird.gov.br/index.php/component/content/article/59-ird/laboratorios/101-estacao-de-radionuclideos-do-ctbto>).

CAPÍTULO 6 | INSTITUIÇÕES QUE OPERAM ESTAÇÕES DO IMS NO BRASIL

As estações brasileiras do IMS que reportam os seus dados para o IDC são operadas por três instituições: Observatório Sismológico (SIS) da Universidade de Brasília (UnB); Laboratório Sismológico (LabSis) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD).



A) Prédio do Observatório Sismológico da UnB.

B) Acesso às instalações do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD.

C) Laboratório Sismológico (LabSis) da UFRN.

6.1 INTRODUÇÃO

O Observatório Sismológico (SIS) da Universidade de Brasília (UnB) opera a Estação Infrassônica IS09 e a Estação Sísmica Primária PS07, ambas localizadas em Brasília. O LabSis opera a Estação Sísmica Auxiliar AS10, localizada em Riachuelo, no Rio Grande do Norte. O IRD opera a Estação de Radionuclídeos RN11 e o Laboratório de Radionuclídeos, ambos localizados na cidade do Rio de Janeiro. A Estação AS11 é operada sob a coordenação do professor do Instituto de Geociências da UnB João Willy Correia Rosa.

Faremos aqui uma breve apresentação de cada uma dessas instituições, com o objetivo de informar suas habilidades e competências no contexto da verificação do CTBT.

6.2 OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

O Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (SIS - UnB) nasceu de uma recomendação da UNESCO para que fosse implantado um Arranjo Sismográfico na América do Sul. O Arranjo SAAS (South America Array System) foi instalado em 1968 em Brasília e foi o embrião que originou o SIS - UnB. Hoje, o Observatório Sismológico é um centro de referência em sismologia nas áreas de pesquisa, ensino e extensão universitária. É um centro ligado ao Instituto de Geociências (IGD) da Universidade de Brasília (UnB). Seu quadro de professores (7), todos com doutorado nas áreas de geofísica e afins (sismologia, geodésia e análise de sinais sísmicos) e geologia (geomecânica/geodinâmica e modelamento numérico), participa dos ensinamentos de graduação e pós-graduação nos cursos de Geofísica e Geologia do IGD - UnB. O seu quadro técnico (10): com graduação (3), especialização (3), mestrado (2) e doutorado (2), além de alunos (21): estagiários e

bolsistas de graduação (15), mestrado (3) e doutorado (3), desenvolvem pesquisas em diversas áreas e realizam a análise diária de sinais sísmicos e infrassônicos para a geração de boletins.

Seu quadro de pessoal realiza estudos e pesquisas nas áreas de sismicidade (natural e desencadeada), de estrutura interna da Terra (tomografia sísmica, função do receptor e sísmica de refração e de reflexão), de localização de terremotos, de fontes sísmicas (modelamento de forma de ondas e mecanismo focal), de métodos potenciais e eletromagnéticos, de deformação e geodésia. Recentemente, um grupo formado pelos autores deste texto e por alunos de graduação vêm se dedicando à investigações com sinais infrassônicos. Pesquisadores do SIS - UnB coordenam projetos de pesquisa em parceria com a PETROBRAS, Fundação de Apoio a Pesquisa do DF (FAPDF), CNPq e com o Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (CDT), com recursos captados junto às companhias energéticas nacionais, resultantes de parcerias no estudo de Sismicidade Desencadeada por Reservatórios (SDR).

O Observatório Sismológico funciona em um prédio próprio com cerca de 1600 m² de área, onde abriga salas de aulas, biblioteca, laboratórios, museu, salas de pesquisadores e de técnicos-administrativos, espaço para teste de equipamentos e garagem. Opera uma rede de estações sismográficas em parceria com companhias energéticas nacionais, no estudo da Sismicidade Desencadeada por Reservatórios (SRD) no Brasil. Também é responsável pela operação das estações da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), localizadas nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil (**Figura 24**).

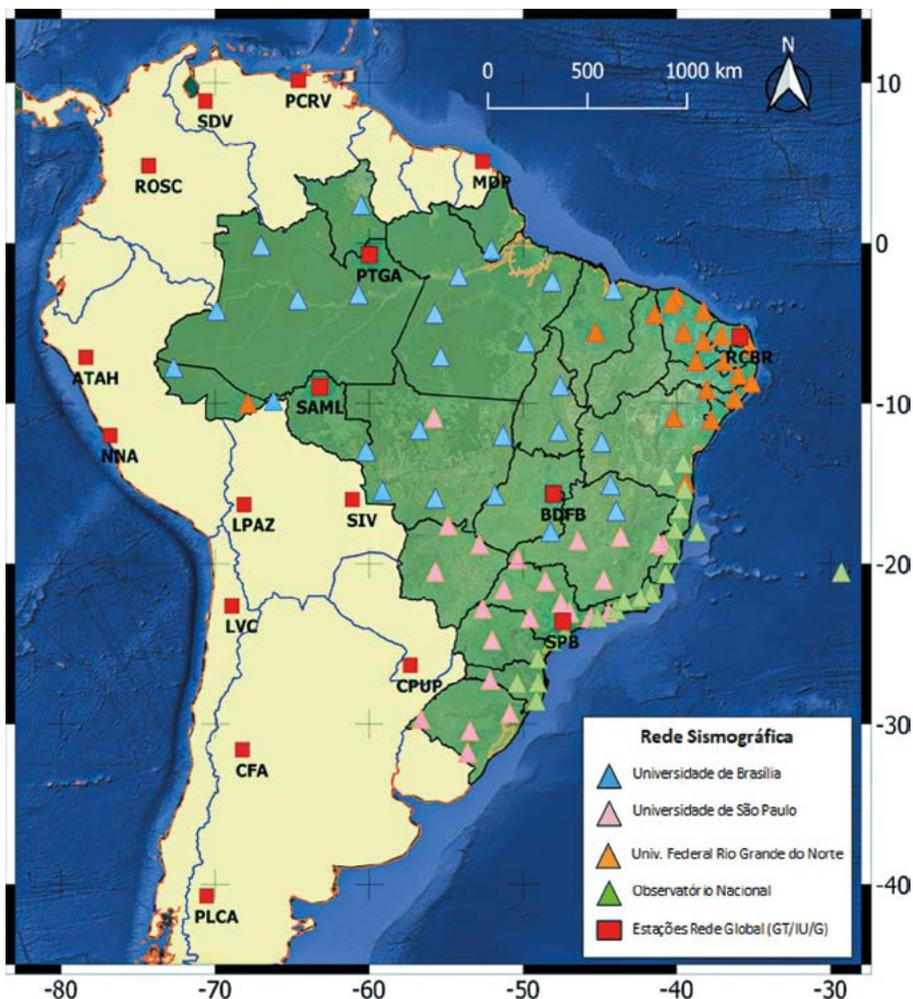


Figura 24: Estações da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) e da Rede Global, cujos dados são analisados diariamente para elaboração de boletins sísmicos do SIS - UnB. As Estações GT pertencem à Rede IMS.

O SIS - UnB dispõe de Laboratório de Eletrônica para projetos, adaptações e conserto de instrumentos sismográficos; Laboratório de Geofísica, com instrumental de medidas de campos potenciais, deformações geodésicas e métodos eletromagnéticos; Laboratório de Análise de Sinais, onde são feitas investigações sobre o sinal

sísmico. O SIS - UnB também dispõe de uma rede aftershock com dez sismógrafos portáteis prontos para estudos de campo sobre atividades de réplicas. Dispõe de infraestrutura de informática completa, cerca de 90 PCs, para análise, armazenamento e backup de dados, com capacidade de dezenas de Terabytes (**Figura 25**). Dispõe ainda de uma frota de veículos para trabalhos de campo.

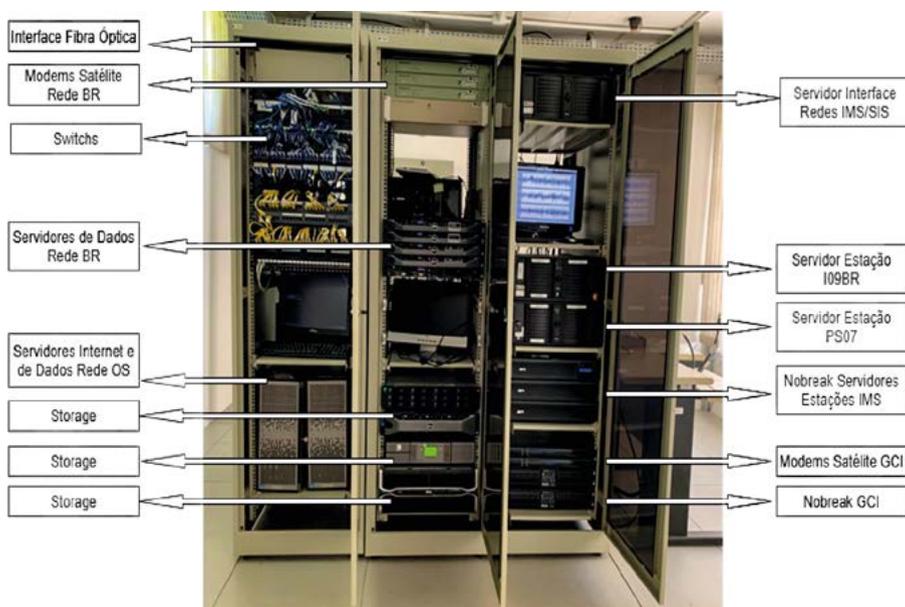


Figura 25: Infraestrutura de comunicação, análise e armazenamento de dados na Estação Central.

6.2.1 Operação de Estações do IMS

O Observatório Sismológico tem responsabilidades com a operação, manutenção, análise e o armazenamento dos dados das estações sísmica primária (PS07) e infrassônica (IS09), ambas localizadas no interior do Parque Nacional de Brasília. Os dados dessas duas estações são transmitidos via rádio digital para a Estação Central, localizada no prédio do Observatório Sismológico no campus central da UnB, onde são gravados e retransmitidos para o IDC em Viena.

6.2.2 Análise de dados

6.2.2.1 Sísmicos

O Observatório Sismológico, nos seus mais de 50 anos de existência (Veloso, 2016), vem se dedicando ao estudo e à divulgação da sismicidade brasileira, seus efeitos e à forma de mitigação de danos causados à população e às estruturas construídas, por meio do estudo de ameaça sísmica (Assumpção et al., 2016).

Diariamente são feitas análises de dados produzidos por mais de 100 estações sismográficas instaladas no Brasil e em países vizinhos (**Figura 24**) - em sua grande maioria com recepção em tempo real -, pertencentes à RSB, à rede internacional e à rede própria do SIS-UnB. O último caso trata de estações instaladas em parceria com companhias energéticas, em áreas de reservatórios hidrelétricos para o estudo da Sismicidade Desencadeada por Reservatórios (SDR). Neste caso, juntamente com a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e o Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), foram identificados e estudados 26 casos de SDR no Brasil (Barros et al., 2018). Os resultados dessas análises, focados especialmente no estudo da sismicidade intraplaca brasileira, são disponibilizados no site do SIS-UnB (obsis.unb.br).

Na aquisição e análise rotineira de dados, o SIS-UnB usa o sistema SeisComp3 (SeisComp3.org 2011) (**Figura 26**), que produz, como resultado final, um boletim sísmico, disponibilizado na forma de tabela e mapa de sismicidade, atualizado automaticamente após cada evento detectado (**Figura 27**).

O processo de detecção é automático, mas nem sempre funciona, devido às baixas magnitudes dos sismos brasileiros. Entretanto, o SIS-UnB dispõe de uma equipe de analistas para revisão manual

dos eventos detectados automaticamente, bem como para busca de eventos não detectados.

O programa de localização hipocentral é o LocSat (Bratt e Nagy, 1991), rodando com o modelo de velocidades (NewBr) desenvolvido para o Brasil por Assumpção et. al. (2010).



Figura 26: Tela do SeisComp3: visualização da recepção dos dados (direita) e tela de detecções de eventos (esquerda).

Últimos eventos naturais



#	Data	Hora (Brasília)	Hora (UTC)	Lat. (°)	Lon. (°)	Magnitude	Prof. (km)	Local	Tipo	Info
1	07/09/2020	08:03:31	11:03:31	6.9913	-37.90	4.6 mb	50.1	Central Mid Atlantic Ridge	N	i
2	06/09/2020	03:51:19	06:51:19	7.6215	-37.33	6.3 Mw(mb)	10.0	Central Mid Atlantic Ridge	N	i
3	06/09/2020	02:23:44	05:23:44	-18.77	-47.21	2.6 mR	0.0	Patrocínio - MG	N	i
4	06/09/2020	22:16:59	01:16:59	-30.35	-71.30	6.3 Mw(Mwp)	31.0	Near Coast of Central Chile	N	i
5	06/09/2020	21:33:20	00:33:20	-10.09	-36.91	2.3 mR	0.0	São Brás - AL	N	i
6	04/09/2020	14:45:21	17:45:21	8.3358	-82.89	5.3 Mw(mb)	9.0	Panama-Costa Rica Border Region	N	i
7	04/09/2020	14:03:00	17:03:00	-22.05	-47.87	2.6 mR	0.0	São Carlos - SP	N	i
8	02/09/2020	13:36:40	16:36:40	-13.00	-39.63	1.7 mR	0.0	Amargosa - BA	N	i
9	01/09/2020	18:09:19	21:09:19	-27.83	-71.21	6.4 Mw(mb)	14.0	Near Coast of Northern Chile	N	i
10	01/09/2020	08:32:46	11:32:46	-10.19	-36.88	2.3 mR	0.0	Telha - SE	N	i
11	01/09/2020	07:56:22	10:56:22	-62.42	-58.45	5 mb	10.0	South Shetland Islands	N	i
12	01/09/2020	07:31:54	10:31:54	-27.75	-71.08	5.2 mb	12.0	Near Coast of Northern Chile	N	i
13	01/09/2020	06:36:30	09:36:30	-12.98	-39.56	2.5 mR	0.0	Amargosa - BA	N	i
14	01/09/2020	04:01:28	07:01:28	-27.77	-71.02	5.2 mb	21.0	Near Coast of Northern Chile	N	i
15	01/09/2020	03:31:40	06:31:40	-13.03	-39.56	1.7 mR	0.0	Amargosa - BA	N	i
16	01/09/2020	02:29:39	05:29:39	-27.91	-71.17	5.5 Mw(mb)	16.0	Near Coast of Northern Chile	N	i
17	01/09/2020	01:30:04	04:30:04	-28.02	-71.07	6 mb	19.0	Near Coast of Central Chile	N	i
18	01/09/2020	01:09:30	04:09:30	-27.92	-70.90	6.9 Mw(Mwp)	23.0	Near Coast of Northern Chile	N	i

Figura 27: Boletim sísmico gerado entre os dias 1 e 7 de setembro de 2020. Os eventos da tabela são plotados no mapa. A coluna “Tipo” indica a natureza do evento, se natural (N) ou artificial (A). Clicando no “i” da coluna “Info”, obtêm-se maiores informações acerca do evento.

O SIS - UnB vem acompanhando a realização de testes nucleares há muito tempo, antes mesmo da abertura do CTBT para assinatura. Em 01/10/1995, foi registrado, pela Estação BDFB de Brasília do Sistema GTSN, um teste nuclear realizado pela França, com potência equivalente a 110 kt de TNT (**Figura 28A**). Recentemente, a Estação BDFB registrou o último teste nuclear da Coreia do Norte (**Figura 28B**).

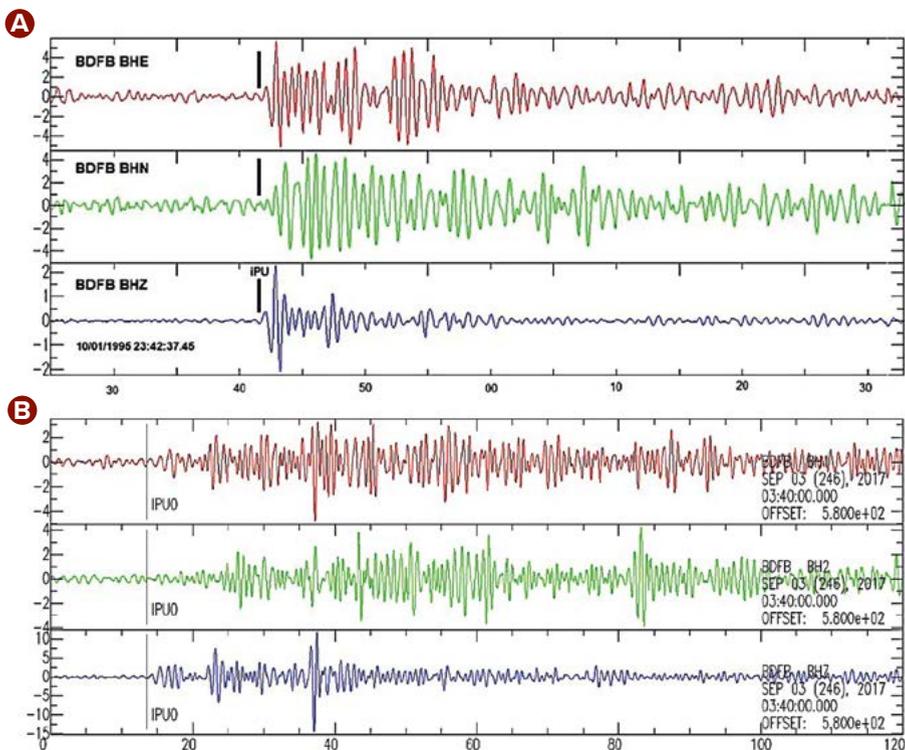


Figura 28: Registros em Brasília (Estação BDFB) de dois testes nucleares subterrâneos, realizados pela França, em 01/10/1995, e pela Coreia do Norte, em 3/09/2017. O primeiro teste (A) foi realizado no atol de Fangataufa, na Polinésia francesa, a cerca de 9500 km de distância da Estação BDFB (potência equivalente a 110 kt). O segundo teste (B) foi o último teste nuclear realizado pela Coreia do Norte, no sítio de testes Punggye-ri, a NE do país (potência de 410 kt) e a uma distância de cerca de 17000 km da Estação BDFB.

6.2.2.2 Análise de sinais infrassônicos

Recentemente, o SIS - UnB iniciou pesquisa sobre fontes de infrassom na América do Sul, com resultados na identificação e caracterização de explosões em mineradoras, erupções vulcânicas, bólidos, terremotos, aviões supersônicos, entre outros. Neste estudo, utilizamos dados da estação brasileira de Infrassom (I09BR - IS09) e de outras estações do IMS na América do Sul. Também

existe um projeto interno no SIS - UnB para expandir o número de estações no Brasil, de modo a melhorar a capacidade de detecção de eventos infrassônicos no país (Figura 29).

As análises são feitas usando ferramentas do pacote de programas disponibilizado pela CTBTO denominado NDC-in-a-Box (DTK GPMCC e Diva) (Figura 30).

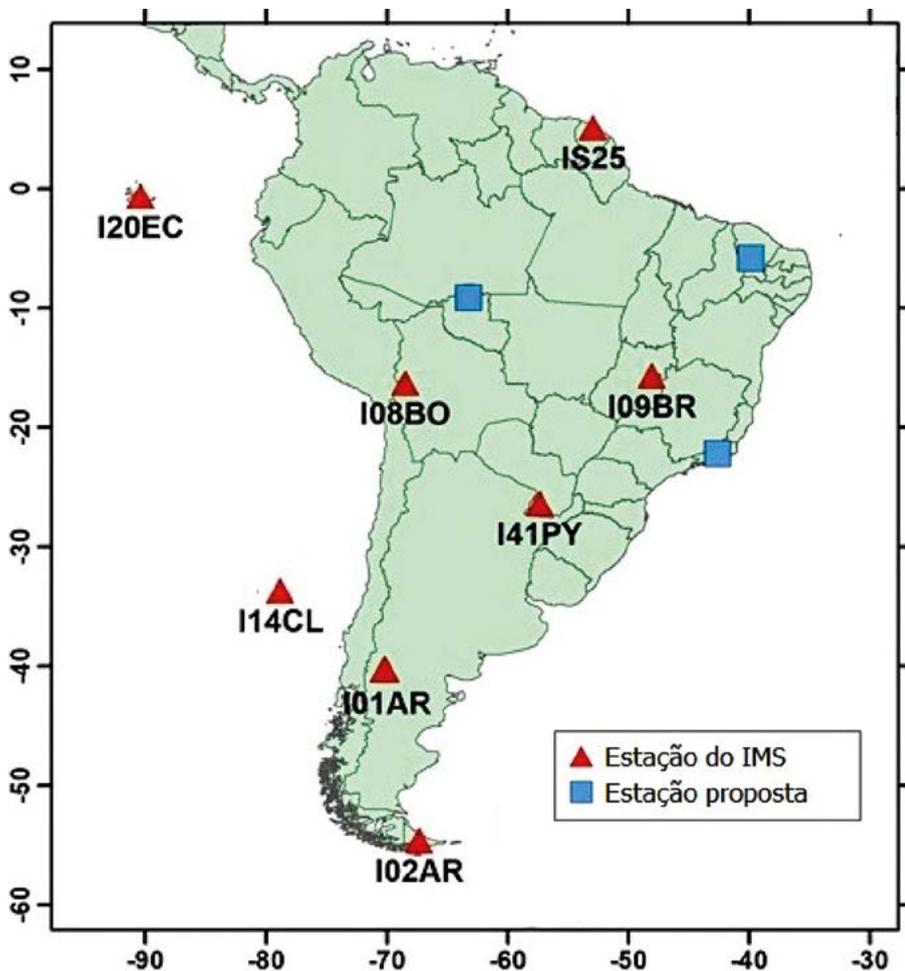


Figura 29: Estações infrassônicas do IMS na América do Sul e estações propostas (3) para uma melhor cobertura no monitoramento infrassônico no Brasil.

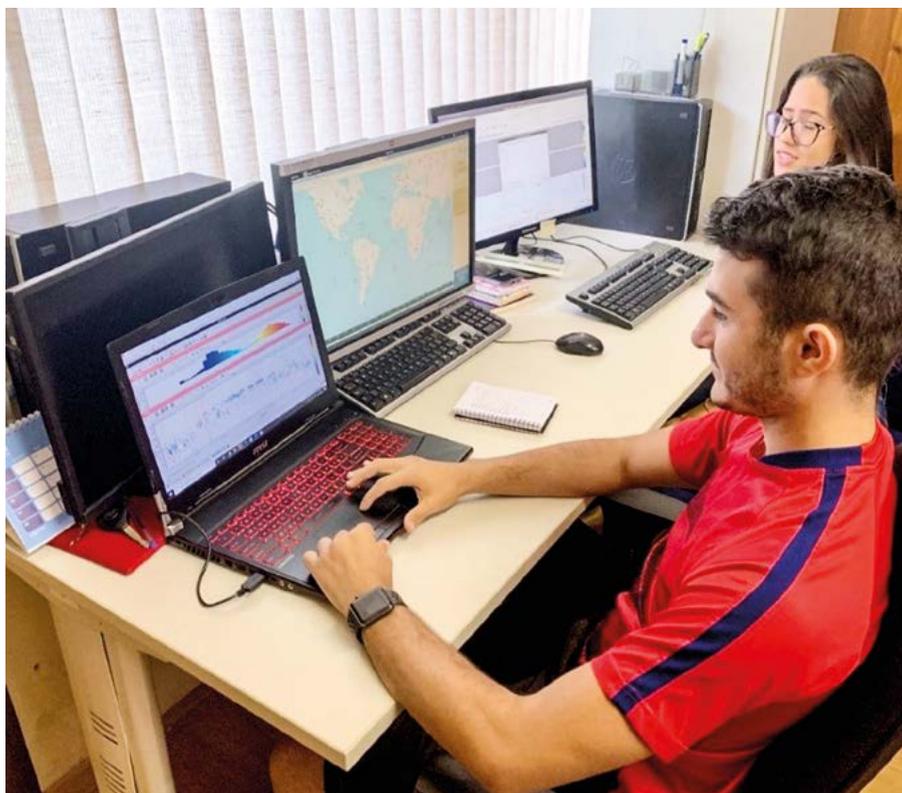


Figura 30: Análise de sinais infrassônicos gerados por fontes na América do Sul.

Estações infrassônicas na América do Sul detectam, sistematicamente, explosões químicas em mineradoras, terremotos, bólidos cósmicos, rompimento da barreira do som por aeronaves, abertura e fechamento de vertedouros em usinas hidrelétricas, erupções vulcânicas nos Andes, fenômenos meteorológicos (tempestades magnéticas e chuvas severas), por exemplo.

6.2.3 Eventos infrassônicos detectados pelas Estações I09BR e I08BO

Na sequência, apresentamos quatro exemplos de detecções de sinais infrassônicos pelas estações de Brasília (I09BR) e da Bolívia (I08BO).

6.2.3.1 Explosões químicas

Grande parte dos sinais registrados por arranjos infrassônicos provém de fontes localizadas próximas à superfície da Terra. As detonações em mineradoras ou pedreiras são exemplos típicos de fontes rasas, cujos sinais podem ser registrados tanto na tecnologia sísmica quanto na tecnologia infrassônica.

Sinais de detonações em minas ou pedreiras próximas a estações infrassônicas são, geralmente, compostos por chegadas impulsivas, alta razão sinal ruído, com formas de ondas de curta duração (entre 5 e 15 segundos) e família PMCC com duração de aproximadamente 40-50 segundos. Possuem ainda conteúdo de altas frequências e valor de azimute bem estável em relação à mineradora ou pedreira (Hagerty et al., 2001).

Existem duas mineradoras de exploração de calcário operadas pela Votorantim Cimentos a cerca de 15 quilômetros do arranjo infrassônico de Brasília. As detonações realizadas nestas mineradoras são as fontes mais frequentes de sinais infra-acústicos detectados pela Estação I09BR. Em 16 de fevereiro de 2018, foi realizada uma sequência de duas explosões que foram registradas pela Estação I09BR, às 13:46:51 e 13:47:37, respectivamente. A **Figura 31** mostra o resultado do processamento interativo dos sinais dessas duas explosões no domínio do tempo, utilizando o software GPMCC (Mialle et al., 2019). No eixo x, está o tempo (UTC) e, no eixo y, a frequência em Hz. São mostrados o azimute da frente de ondas das duas explosões (**Figura 31 A**), a velocidade com que a frente de onda atinge a estação (**Figura 31 B**) e os sinais infrassônicos nos quatro elementos da Estação (**Figura 31 C**). No elemento H4, os sinais têm baixas amplitudes.

Na parte **D** da **Figura 31**, são mostrados os registros dos sinais sísmicos das duas detonações na Estação BDFB, localizada a 450 metros do elemento H1, ocorridos, respectivamente, às 13:45:59 e às 13:46:45, ambas com magnitude 2,2 mR. As localizações, feitas pela tecnologia sísmica, estão indicadas na **Figura 31 E**. Dessa for-

ma, a tecnologia sísmica confirma a origem dos sinais infrassônicos. Neste intervalo de tempo, foram detectadas duas famílias com as seguintes características: velocidade $0,470 \pm 0,02$ km/s, azimute $64,45 \pm 0,01$ graus e frequência $1,89 \pm 0,07$ Hz.

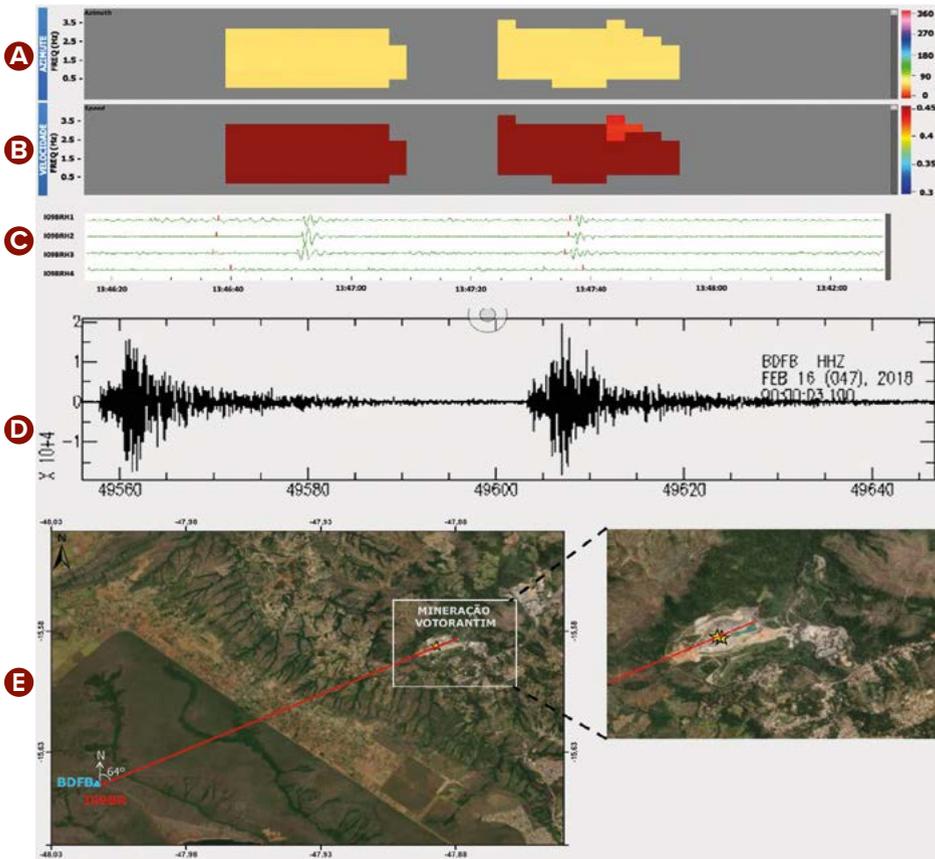


Figura 31: Registros infrassônico e sísmico de duas detonações em uma pedreira próxima a Brasília: em (A), informações do backazimute da frente de ondas (infrassônica da Estação para fonte); em (B), informações da velocidade do infrassom; em (C), formas de ondas dos sinais infrassônicos detectados em cada um dos quatro elementos da Estação; em (D), registro sísmico das duas explosões na Estação BDFB e em (E), mapa indicando as localizações das estações infrassônicas (triângulo vermelho) e sísmica (triângulo azul) e da fonte (estrela amarela).

6.2.3.2 Bólido detectado no céu do DF no dia 07/05/2014

No dia 7 de maio de 2014, foi registrado pelas câmeras da Rede Brasileira de Monitoramento de Meteoros (BRAMON), por volta das 05:26 (hora local), um objeto luminoso vindo do espaço (**Figura 32**). Por ter caído próximo a Brasília, esse evento gerou ondas infrassônicas que foram detectadas pelos microbarógrafos do arranjo infrassônico de Brasília (I09BR).

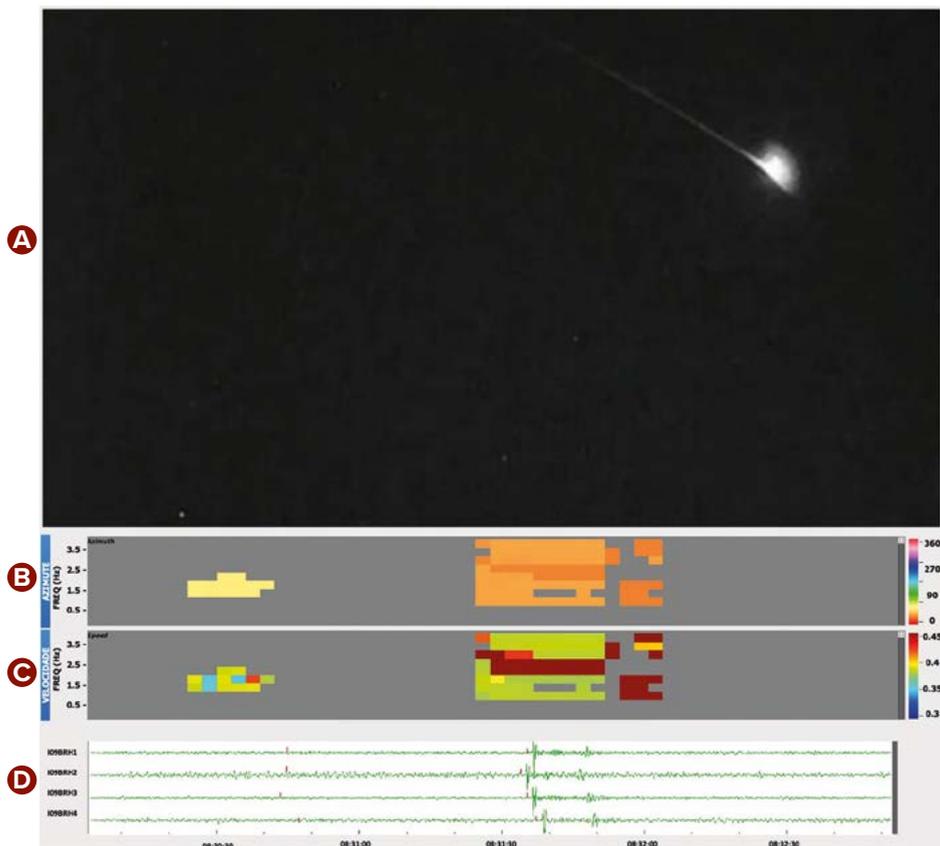


Figura 32: Registro infrassônico do bólido observado na região do DF no dia 7 de maio de 2014, às 05:26 (hora de Brasília): em (A), imagem do bólido feita pela BRAMON; em (B), informações do backazimute da frente de ondas infrassônicas da Estação para fonte; em (C), informações da velocidade do infrassom e em (D), formas de ondas dos sinais infrassônicos detectados em cada um dos quatro elementos da estação.

6.2.3.3 Rompimento da barreira do som por caças supersônicos

No dia 7 de setembro de 2016, por ocasião das comemorações da Independência do Brasil, foram gerados sinais infrassônicos durante a demonstração de caças F-5E Tiger em Brasília. Esses sinais, devido ao rápido deslocamento da fonte, são caracterizados por uma variação azimutal de alto ângulo (Balashandran et al., 1977).

Nesse dia, um elemento do arranjo (I09H4) não operou, mas nos demais elementos os sinais estão bem claros. Foi aplicada a técnica PMCC (Cansi, 1995) para a criação de famílias infrassônicas (**Figura 33 A e B**). Como mostrado em (A) e (B) da figura, a maior família possui pouco mais de um minuto e meio de duração. A velocidade de traço do infrassom aumenta quando o avião se aproxima da estação e diminui quando se afasta. A velocidade variou entre 0,347 km/s (pixels azuis) e 0,369 km/s (pixels verdes) (**Figura 33 B**).

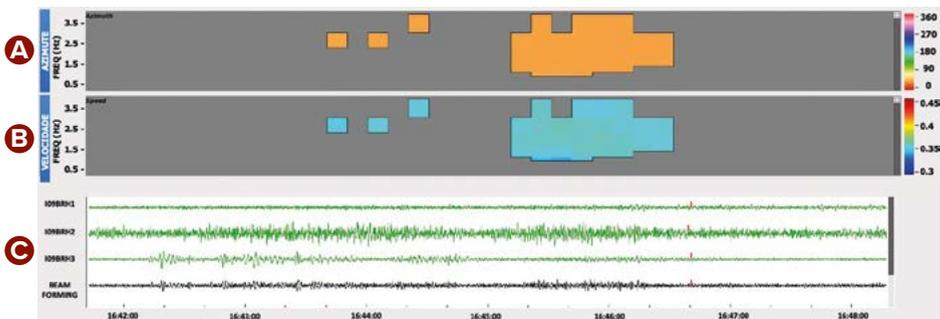


Figura 33: Registro, em três elementos da Estação IS09, do rompimento da barreira do som no céu de Brasília por caças F5-E Tiger, em 7 de setembro de 2016: em (A), informações do backazimute da frente de ondas infrassônicas da Estação para fonte; em (B), informações da velocidade do infrassom; em (C), traços verdes, sinais infrassônicos detectados em três elementos do arranjo infrassônico. O último traço é o correspondente beamforming.

6.2.3.4 Grande terremoto distante

No dia primeiro de março de 2019, todas as estações da Rede Sismográfica Brasileira registraram um forte terremoto de magnitude 7,0, localizado no Peru Central, a 254 km do arranjo infrassônico

da Bolívia (I08BO) e 2390 km da estação brasileira de infrassom (I09BR). Devido à distância e às condições de propagação atmosféricas, esse terremoto não foi detectado pela estação infrassônica de Brasília, mas a detecção foi efetiva na Estação I08BO, estação do IMS mais próxima do epicentro (**Figura 34**). A Estação I08BO possui um arranjo semelhante ao da estação brasileira. As formas de ondas dos sinais infrassônicos, nos primeiros cinco minutos de sinal em cada elemento (**Figura 34 C**), se assemelham às formas de ondas dos sinais sísmicos do terremoto, pois trata-se da detecção dos sinais sísmicos pelos microbarômetros. A primeira família PMCC, referente às primeiras chegadas (sinal sísmico), possui duração de 39 segundos e backazimute médio de 308° . A segunda família (referente ao infrassom) chegou 856 segundos após o tempo de origem do terremoto. Isso é explicado pela diferença de velocidades de propagação entre as ondas sísmicas e as infrassônicas.

6.2.4 Contribuição do SIS-UnB para o Boletim Sísmico Brasileiro

O Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, o Centro Sismológico da Universidade de São Paulo, o Laboratório Sismológico da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e o Observatório Nacional são as principais instituições brasileiras que contribuem com dados para a elaboração do Boletim Sísmico Brasileiro. O Boletim resulta da integração e da revisão feitas de todos os dados fornecidos por essas instituições. A **Figura 35** mostra o mapa da sismicidade brasileira para o período de 1724 a 2019, que resultou da compilação de dados históricos e instrumentais. Até 1981, os dados provêm da compilação de Berrocal et al. (1984) e, a partir dessa data, resultam das atualizações feitas anualmente no Boletim Sísmico Brasileiro.

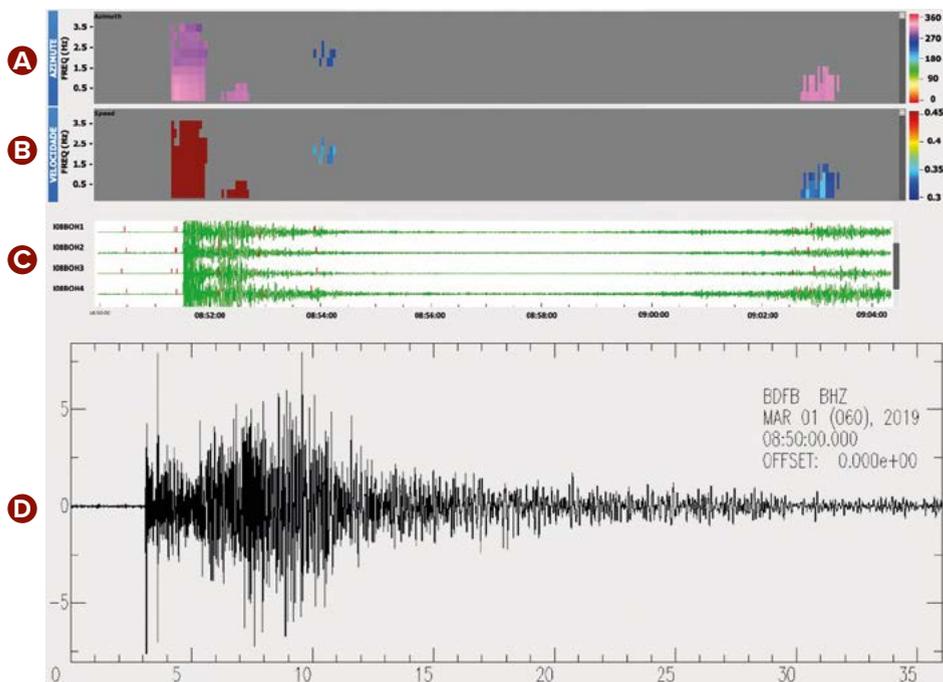


Figura 34: Registro infrassônico e sísmico do terremoto de magnitude 7,0, com epicentro no Peru, ocorrido em 01/03/2019, às 08:50:40 (UTC): em (A), informações do backazimute da frente de ondas infrassônicas da Estação para fonte; em (B), informações da velocidade do infrassom; em (C), traços verdes, sinais infrassônicos detectados em cada um dos quatro elementos da Estação I08B0 e em (D), registro do evento na componente vertical da Estação PS07 do IMS (Estação BDFB de Brasília). Observe que as escalas de tempo para o infrassom e para a sísmica são diferentes.

A sismicidade do Brasil, apesar de menos expressiva em relação a outras regiões continentais estáveis semelhantes, como América do Norte, Índia e Austrália, onde magnitudes maiores que 7 foram observadas, como na região de Nova Madri, EUA (Johnston, 1989; Johnston e Kanter, 1990; Schulte e Mooney, 2005), tem a grande particularidade de que sismos de baixas magnitudes (3,5 - 4,5) causam intensidades expressivas (VI a VII na Escala de Mercalli Modificada - MM), já tendo causado danos significativos a construções próximas às suas áreas epicentrais. No Brasil, apenas dois

terremotos de magnitudes superiores a 6 foram observados. Um deles, sendo o maior de todo o Interior Continental Estável (ICE) da placa Sul Americana (Barros et al., 2009).

Em relação às causas da sismicidade em ICEs, embora ainda em debate, já é mais ou menos consenso que a concentração de esforços na crosta superior é um dos principais fatores responsáveis pela sismicidade nessas regiões (Assumpção et al., 2014; Talwani, 2014, Assumpção et al., 2004). Essa concentração de tensões seria causada pelo afinamento da litosfera decorrente do levantamento da astenosfera, o que acarreta anomalias negativas de velocidades (detectadas pela tomografia sísmica) e deformação flexural de cargas litosféricas devido a uma crosta fina (Assumpção & Sacek, 2013; Rocha et al., 2016; Assumpção et al., 2004).

No Brasil, tivemos apenas uma vítima fatal decorrente de terremoto, uma criança de cinco anos. O seu epicentro está indicado pela estrela laranja na **Figura 35**, magnitude de 4,9, em 9 de dezembro de 2007, na Vila de Caraíbas/Itacarambi - MG (Chimpliganond et al., 2010). Por isso, a avaliação de risco sísmico no Brasil é uma questão importante em projetos de instalações críticas, como por exemplo: instalações nucleares; grandes barragens para geração de energia elétrica e contenção de rejeitos tóxicos; hospitais; escolas; etc. A elaboração de mapas de ameaça sísmica (seismic hazard) tem como base um bom conhecimento da sismicidade, tanto histórica quanto instrumental da região. A sismicidade do Brasil, apesar de pouco conhecida, possibilitou a elaboração do mapa preliminar da ameaça sísmica para o Brasil (**Figura 36**) (Assumpção et al., 2016).

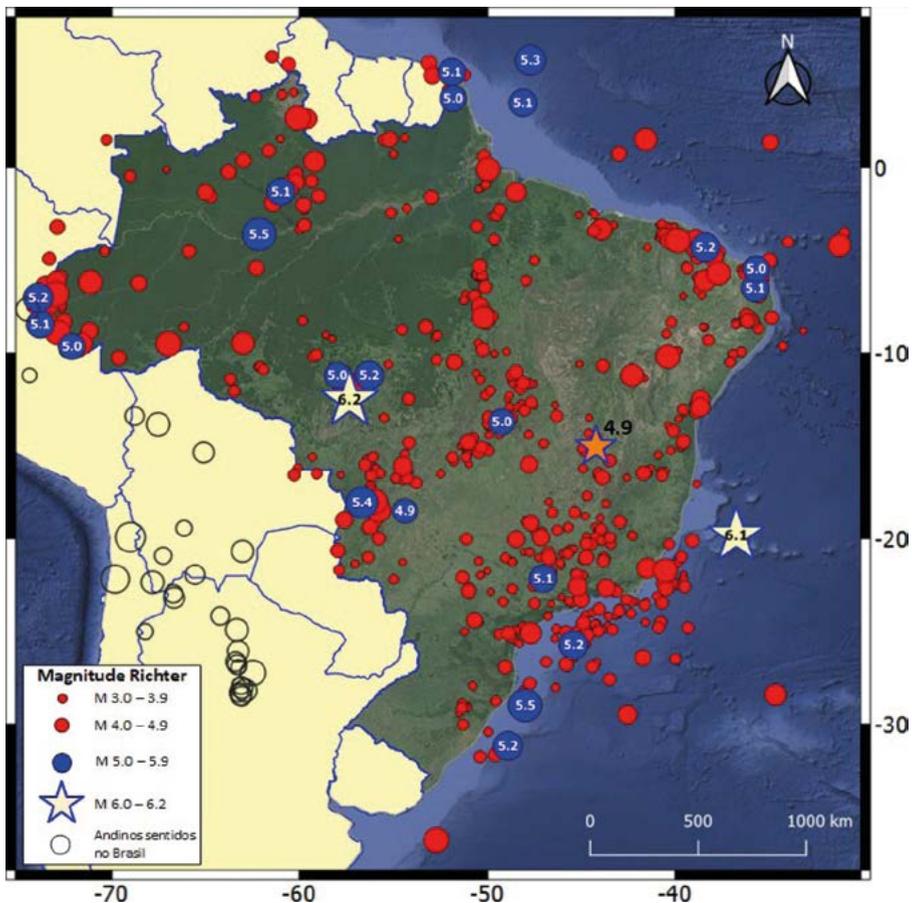


Figura 35: Mapa da sismicidade brasileira para o período de 1724 a 2019, com magnitudes maiores ou iguais a 3,0. Os círculos azuis denotam magnitudes acima de 4,9 e os números são os valores correspondentes de magnitudes. As duas estrelas amarelas indicam os dois terremotos brasileiros com magnitudes acima de 6,0. A estrela vermelha indica a localização do único terremoto brasileiro com vítima fatal (uma). Os círculos vazios se referem aos terremotos com epicentros nos Andes, mas sentidos no Brasil (França e Assumpção, 2007).

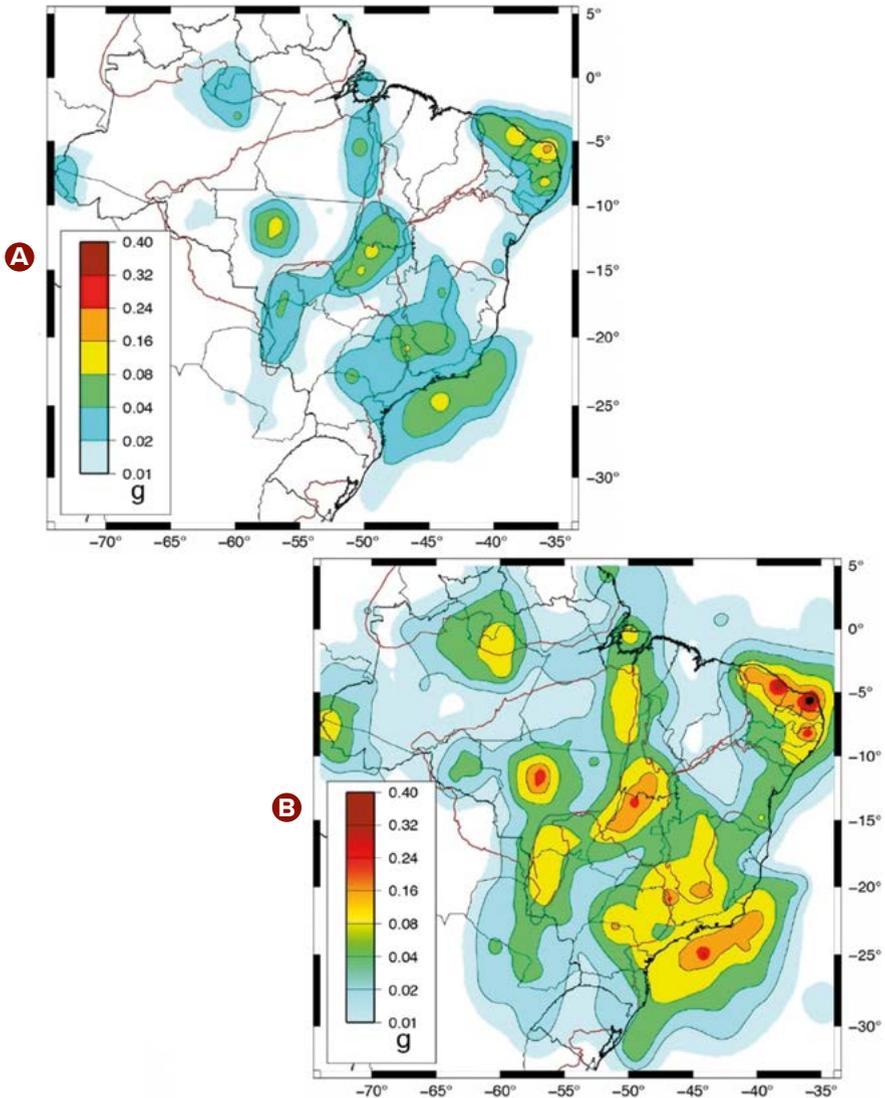


Figura 36: Mapas preliminares de Ameaça Sísmica (*Seismic Hazard Maps*) para aceleração de pico (PGA) em rocha, para probabilidades de 10% (A) e 2% (B) de excedência em 50 anos, correspondendo a períodos de retorno de 475 e 1475 anos, respectivamente. Cores são PGA em frações de g. Áreas verdes correspondem a PGA entre 4% e 8% de g (equivalente a intensidades ~VI na escala Mercalli Modificada, podendo causar trincas e rachaduras em paredes), áreas amarelas entre 8% e 16% g (intensidades ~VII MM, podendo causar trincas em construções normais e desabamento de casas fracas) (Assumpção et al., 2016).

6.2.5 Mostra Sismológica

O SIS - UnB dispõe de uma Mostra de Sismologia que visa passar aos visitantes ensinamentos audiovisuais claros, objetivos e precisos sobre os fundamentos da ciência dos terremotos: o que são terremotos e como são causados; as ondas sísmicas e seus efeitos sobre as pessoas, sobre as estruturas e a natureza; como essas ondas se diferenciam, se propagam, são detectadas, registradas e analisadas para extração da informação sísmica.

Nesse pequeno museu audiovisual, são expostas maquetes do interior da Terra, de placas tectônicas, de falhas geológicas e vulcões, enfatizando os efeitos da tectônica global na geração dos terremotos; são expostos instrumentos sismográficos, mostrando como os terremotos são detectados e registrados (**Figura 37**); são exibidos programas computacionais, que mostram a propagação de ondas sísmicas de diferentes tipos e com diferentes velocidades pelo interior da Terra; são mostradas as formas de ondas sísmicas na tela do monitor geradas pelas vibrações do chão causadas pelos visitantes, que são convertidas em sinais elétricos digitais e registradas no computador (sismograma); é exibido, também, um software, que torna audíveis os sons das ondas geradas pelos terremotos, por meio da translação de suas frequências, pois, geralmente, a maioria desses sinais tem frequência inferior a 20 Hz, portanto não são audíveis pelo ser humano. No SIS-UnB, as frequências dessas ondas são aumentadas de um fator de 64 vezes, i.é, cada componente de frequência é multiplicada por 64. Dessa forma, o que se escuta é a reprodução dos sinais sísmicos transladados (ondas sísmicas convertidas em sinais elétricos) e não o barulho original do terremoto em si no interior da Terra. Assim, podem ser ouvidos os barulhos de sismos próximos (locais), distantes (regionais) e muito distantes (telessismos).



Figura 37: Visitação à Mostra Sismológica.

A Mostra, idealizada e montada pelo então chefe do SIS - UnB, Professor J. Alberto Veloso, foi inaugurada em 1º de julho de 1997 e, desde então, vem recebendo inúmeros visitantes, especialmente turmas de alunos do Ensino Fundamental e do Ensino Médio (Veloso, 1997).

Em agosto de 2008, na gestão do Prof. Lucas Vieira Barros, a Mostra Sismológica foi reformada, com o aumento do seu espaço físico em cerca de 20m² e a expansão do seu acervo audiovisual.

Naquela oportunidade, foi inaugurada uma expansão de 600 m² do prédio do SIS - UnB, entregue completamente equipada, com computadores e mobiliário.

Em 2008, o Prof. George Sand França assumiu a coordenação da Mostra, criou um projeto de extensão para vincular à Mostra, expandiu o seu acervo, com o desenvolvimento de maquetes, que envolviam alunos estagiários, e promoveu uma maior inserção da Mostra no programa de museus do Distrito Federal.

Mais recentemente, em 2019, com recurso da FAPDF, o Prof. George Sand adquiriu novos equipamentos e remodelou a forma de apresentação da Mostra, introduzindo a tecnologia digital, mais interativa na apresentação de quadros e painéis audiovisuais.

6.3 LABORATÓRIO SISMOLÓGICO DA UFRN

O Laboratório Sismológico (LabSis) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) iniciou suas atividades como um grupo de professores do Departamento de Física Teórica e Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O Laboratório Sismológico (LabSis) atualmente está vinculado ao Departamento de Geofísica da UFRN.

Desde a década de 1970, o Laboratório tem trabalhado em conjunto com várias instituições, públicas e privadas, no Brasil e no mundo, a fim de informar e auxiliar as populações locais sobre eventos sísmicos. Em particular, a relevância desse trabalho pode ser exemplificada por meio de casos como o de João Câmara/RN, em 1986. O município foi acometido por uma série de tremores de terra, o maior, com magnitude 5.1 na Escala Richter, atingiu intensidade VII na Escala Mercalli Modificada. Este evento causou sérios danos às construções do municí-

pio e um verdadeiro êxodo da população afetada. Na época, o acontecimento foi extensamente relatado pela mídia nacional, que destacou o papel do Laboratório em situações como essa. O papel do LabSis foi importante no sentido de assessorar as autoridades públicas nas tomadas de decisões.

O LabSis também faz uso da sismologia para entender a estrutura e evolução da Terra, bem como atua na formação de recursos humanos de alto nível. Conta, atualmente, com estações de monitoramento sísmico em todos os estados do Nordeste para detectar vibrações dos terremotos que ocorrem na região. O LabSis está localizado dentro do campus universitário central da UFRN em Natal, ao lado da sede administrativa do Departamento de Geofísica. O LabSis mantém o site www.labsis.ufrn.br, que tem por finalidade divulgar notícias sobre os tremores de terra que ocorrem no nordeste brasileiro e assuntos correlatos. Está ligado ao Departamento de Geofísica do Centro de Ciências Exatas e da Terra. O LabSis/UFRN participa na formação de alunos de graduação e de pós-graduação em Geofísica e recebe os seguintes financiamentos: Petrobras, CNPq, CPRM, USGS, Marinha do Brasil, DNOCS, entre outros (www.labsis.ufrn.br).

CAPÍTULO 7 | CENTRO NACIONAL DE DADOS: ESTABELECIMENTO E OPERAÇÃO

Além de ministrarem disciplinas dos cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geofísica e Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, os professores do SIS - UnB ministram também cursos de extensão universitária na área de Sismologia, Análise de Sinais e Sismologia Instrumental.



Sala de aula no Observatório Sismológico por ocasião da realização do III Curso de Inverno de Análise de Sinais Sísmicos do SIS - UnB.

7.1 INTRODUÇÃO

O Centro Nacional de Dados (NDC) do Brasil ainda não foi estabelecido formalmente, embora, segundo o CTBT, NDCs possam ser criados em qualquer Estado Parte. Um NDC é uma organização com conhecimento em tecnologias de verificação, que funciona como parte (ou sob a orientação) de uma Autoridade Nacional.

7.2 PAPEL DE UM CENTRO NACIONAL DE DADOS - NDC

De acordo com o Tratado, os dados do IMS são analisados no IDC em Viena e em Centros Nacionais de Dados (NDCs), que podem ser criados em todos os Estados Partes, sendo que um país pode ter mais de um NDC, localizados em estabelecimentos separados e lidando com uma ou mais das tecnologias do IMS. Um Estado Parte, além de comprometer-se em não realizar testes nucleares, é também partícipe na sua verificação. Um NDC é, portanto, operado e mantido por um Estado Parte. Suas funções podem incluir o envio de dados das estações do IMS para o IDC, bem como receber dados e produtos do IDC. No NDC devem ser feitas as análises rotineiras dos dados adquiridos pelas estações, localizadas no respectivo Estado Parte, e gerados boletins, reportando-os ao IDC. Para tanto, são usadas ferramentas computacionais desenvolvidas pela CTBTO, todas integradas ao pacote de software denominado NDC-in-a-Box.

7.3 ARTIGOS DO TRATADO RELACIONADOS AO NDC E À AUTORIDADE NACIONAL

O Artigo III, Parágrafo 4, estabelece que, para cumprir suas obrigações nos termos do Tratado, cada Estado Parte designará ou estabelecerá uma Autoridade Nacional e informará à Organização (CTBTO) assim que o Tratado entrar em vigor. A Autoridade

Nacional servirá como ponto focal nacional com a Organização e outros Estados Membros. O Artigo IV, Parágrafo 18, diz que cada Estado Parte deve cooperar com o Centro Internacional de Dados por meio de sua Autoridade Nacional. O Artigo IV, Parágrafo A3, estabelece que cada Estado Parte compromete-se [...] a cooperar, por meio de sua Autoridade Nacional [...] com a Organização e com outros Estados Partes:

- (A) Estabelecendo as instalações e os meios de comunicação necessários para participar da verificação do Tratado;
- (B) Fornecendo dados obtidos das estações nacionais que são parte do IMS;
- (C) Participando, conforme apropriado, de processos de consultas e esclarecimentos;
- (D) Participando, conforme apropriado, de medidas de fortalecimento da confiança.

7.4 TRANSMISSÃO DE DADOS DAS ESTAÇÕES DA REDE IMS

Os dados brutos ou processados do IMS são transmitidos para o IDC a partir de um NDC ou diretamente das estações de monitoramento, laboratórios ou instalações de análise em intervalos diferentes (**Figura 16**):

- Ininterruptamente - estações sísmicas primárias, infrassom e hidroacústicas;
- De duas em duas horas - estações de radionuclídeos;
- Quando solicitado - estações sísmicas auxiliares.

O Centro Internacional de Dados deve, quando necessário, fornecer assistência técnica a cada Estado Parte, ajudando a desenvolver a capacidade de receber, processar e analisar dados do IMS.

7.5 O PAPEL DO NDC NO SISTEMA DE VERIFICAÇÃO DO CTBT

O papel dos NDCs consiste em (**Figura 38**):

- Aconselhar a Autoridade Nacional:
 - Verificando a natureza dos eventos, em conformidade com o Tratado;
 - Revisando mudanças técnicas propostas para a verificação do sistema;
 - Prestando consultoria técnica aos representantes no Conselho Executivo.
- Usar dados do IMS e produtos do IDC, conforme necessário, para auxiliar nos esforços da verificação;
- Fornecer conhecimento científico para os órgãos subsidiários técnicos (Conselho Científico, grupos de trabalho de especialistas científicos);
- Atuar como uma interface para organizações científicas nacionais e para aplicações civis das tecnologias de verificação;
- Ser o responsável pelo uso adequado de dados do IMS e produtos do IDC.

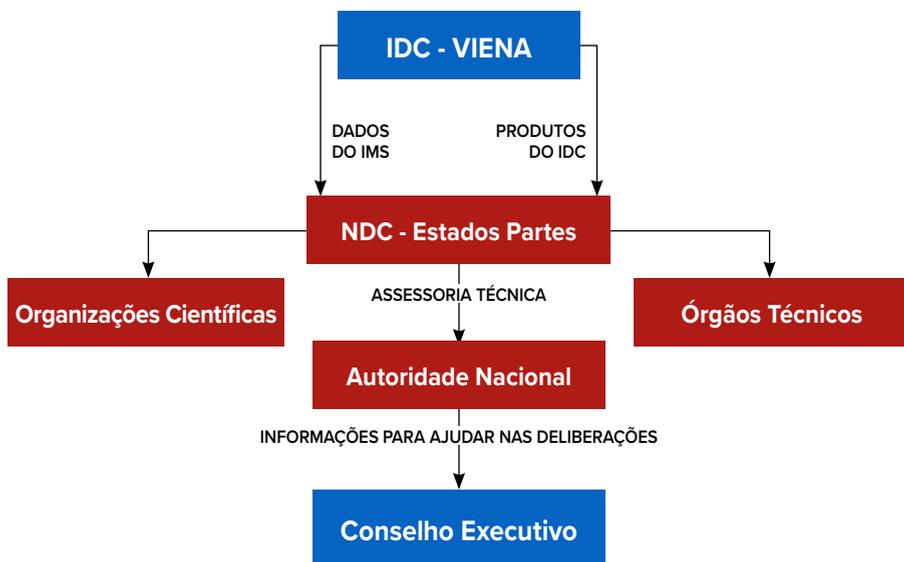


Figura 38: Diagrama de fluxo de dados e informações entre o IDC e os Estados Partes.

7.6 ESTRUTURA DE UM NDC E ORGANIZAÇÕES APROPRIADAS PARA SEDIÁ-LO

O estabelecimento e a operação de um NDC são feitos por regulamentação nacional. Ele pode ser sediado em instituição(ões) especializada(s) na verificação e no monitoramento de tecnologias relacionadas ao Tratado. Vários tipos de organizações podem sediá-lo, como por exemplo: Ministério de Relações Exteriores (Belize e Tailândia); Departamentos de Geofísica/Geologia (Austrália); Instituto e Observatório de Geofísica (Madagascar); Serviço Geológico (Canadá, Colômbia, Dinamarca); Autoridade Regulatória Nuclear (Argentina); Instituto de Pesquisa Nuclear (Filipinas); Autoridade de Radiação e Segurança Nuclear (Finlândia); Comissão Nacional de Segurança Nuclear e Salvaguardas (México); Universidades (Albânia, Costa Rica, República Tcheca, Turquia, Brasil), Agência de Energia Atômica (Japão, Malásia, Polônia, Suécia, etc.), Serviço Sismológico (Brasil, Jordânia, Geórgia, Malta).

7.7 USUÁRIO DE DADOS E PRODUTOS DO IDC

Para se obter acesso aos dados e produtos do IDC é necessária uma Conta Segura de Usuário, autorizada pelo respectivo Estado Parte, para permitir acesso ao portal protegido do IDC. Para o registro de uma conta segura, deve-se preencher o formulário de registro disponibilizado pelo PTS e ser designado como usuário pelo Ponto de Contato Principal.

Os dados e produtos do IDC podem ser acessados:

1. Pela Autoridade Nacional provisória e NDCs dos Estados Signatários. Os NDCs podem ser subdivididos, com cada subdivisão localizada em um estabelecimento separado e lidando com uma ou mais das tecnologias do IMS;
2. Por Organizações Científicas de Alerta de Desastres, por meio de acordos feitos e discutidos no âmbito do Grupo de Trabalho B (Work Group B - WGB).

Os dados não estão disponíveis ao público, exceto para as seguintes instituições:

1. Centro Sismológico Internacional (ISC - International Seismological Center), Newbury - Reino Unido, limitado ao boletim REB;
2. Organização Mundial de Meteorologia (WMO - World Meteorology Organization), Viena - Áustria, limitado a dados de observação meteorológica das estações de Radionuclídeos;
3. Projeto Internacional de Estudos Científicos (ISS - International Scientific Studies Project), cujo objetivo é realizar, em um esforço internacional coordenado, estudos e avaliações científicas independentes para acerrar-se da agilidade e da capacidade do sistema de verificação do CTBT. O novo material científico

resultante auxiliará os Estados Partes na avaliação da verificabilidade do Tratado;

4. Centros de tsunamis - a 27ª Sessão do Secretariado Técnico Provisório (PTS- Provisional Technical Secretariat) da CTBTO, realizada entre os dias 13 e 17 de novembro de 2006, decidiu que dados sísmicos primários, sísmicos auxiliares e hidroacústicos podem ser fornecidos às organizações de alerta de tsunamis aprovadas pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural).

Os dados distribuídos incluem mais de 100 estações das tecnologias sísmica e hidroacústica da Rede IMS, localizadas principalmente em áreas de alto risco de tsunami. Atualmente, os seguintes países têm acesso a dados do IMS: Madagascar, Austrália, França, Grécia, Indonésia, Japão, República da Coreia, Malásia, Mianmar, Filipinas, Portugal, Tailândia, Turquia, Rússia e Estados Unidos.

7.8 ETAPAS PARA SE TORNAR USUÁRIO DE DADOS DO IMS E DE PRODUTOS DO IDC

1. Tornar-se um Usuário Autorizado e informar ao IDC. Somente usuários autorizados podem acessar os produtos e serviços do IDC. Um Formulário de Registro preenchido permite ao PTS ativar uma conta segura única de signatário para cada Estado Parte. O primeiro Formulário de Registro preenchido é enviado pelos canais oficiais (sua Missão Permanente).
2. Receber informações do IDC. Os usuários autorizados recebem informações do IDC sobre contas e senhas de usuários.

3. Estabelecer conexão com o IDC. Os links de comunicação entre os NDCs e o IDC são fornecidos pela conexão VPN (por meio da Internet) e/ou pelo GCI (gerenciado pelo IDC).

7.9 ESTABELECIMENTO DE UMA CONTA SEGURA E CLASSES DE USUÁRIO DO IDC

O Estado Membro que deseje usar seu direito de acesso aos dados de monitoramento e relatórios de análise deve estabelecer uma Conta Segura de Signatário no Security Web Portal na CTBTO. Esse é o mecanismo pelo qual usuários autorizados podem se comunicar com o IDC e transferir dados com segurança. O Estado Signatário designará uma pessoa, denominada Ponto de Contato Principal, que será o responsável geral pela Conta Segura de Signatário do Estado, para fins de testes iniciais junto ao IDC. Quaisquer alterações no status da conta ou dos usuários deverão ser comunicadas ao PTS pelo Ponto de Contato Principal.

Três classes de usuários, nomeados pelo Ponto de Contato Principal e autorizados pelo Estado Signatário, podem acessar dados do IMS e produtos do IDC, por meio da Conta Segura Única de Signatário, estabelecida por cada Estado Parte:

Usuários principais (limite: 18 usuários de até 6 estabelecimentos)
- Acesso a todos os dados do IMS e produtos do IDC, por meio do site seguro do IDC ou e-mail (AutoDRM). Podem solicitar assinaturas de dados, estabelecer filtros de dados de eventos e solicitar assistência técnica especializada.

Usuários regulares (limite: normalmente até 10) - Acesso restrito ao site seguro do IDC.

Operadores de estação e técnicos de manutenção da estação (sem limite definido) - Acesso restrito às informações de status da

estação e dados de forma de onda de suas estações que já estão armazenados no IDC.

Modos possíveis para receber dados do IDC:

- Dados contínuos das estações sísmicas primárias, hidroacústicas e de infrassom;
- Por solicitações via AutoDRM.

O acesso diário a dados está limitado a: 150 MB/dia via GCI; 500 MB/dia através de link VPN, por meio da Internet. A limitação não está na quantidade de dados distribuídos, mas nos custos de comunicação. As solicitações de AutoDRM são limitadas a 600MB/dia por usuário.

CAPÍTULO 8 | ANÁLISE DE DADOS DE EXPLOSÕES NUCLEAR E QUÍMICA

A República Popular Democrática da Coreia do Norte foi o último país a testar armas nucleares. Deu ampla divulgação a todos os testes realizados (seis). O último, e com maior carga, foi realizado no dia 3 de setembro de 2017, com potência equivalente de 400 kt de TNT e magnitude estimada em 6,2 m_b .

Recentemente, uma mega explosão química acidental ocorreu em Beirute, capital do Líbano, causando grande destruição e, pelo menos, 200 mortos, 6.500 feridos e 300 mil desabrigados. Teve potência de 1,1 kt de TNT e magnitude estimada em 3,3 - 4,5.



Como parte de seu programa nuclear, o líder Supremo da República Popular Democrática da Coreia do Norte assiste ao teste de lançamento de um míssil balístico intercontinental em 16 de setembro de 2017 (agência Reuters). Da esquerda para a direita, imagens da sequência da detonação de 2750 toneladas de nitrato de amônio (fertilizante), ocorrida em Beirute, às 18:08 (hora local) do dia 4/8/2020. Essa detonação foi causada por um incêndio em um depósito vizinho ao depósito de nitrato de amônia.

8.1 INTRODUÇÃO

Após a abertura do CTBT para assinatura, em 24 de setembro de 1996, ao que se sabe, apenas três países realizaram testes nucleares, todos em subsuperfície. São eles: Paquistão (6), Índia (5) e Coreia do Norte (6) (**Figura 3B e Tabela 2**). A Índia realizou o seu primeiro teste nuclear em 1974. A Coreia do Norte, oficialmente República Popular Democrática da Coreia (RPDC), foi o último país a testar bomba nuclear, em 3 de setembro de 2017, que foi o teste de maior carga dentre todos os outros realizados pela RPDC, equivalente a 400 kt de TNT e magnitude Richter estimada em 6,2 m_b (Gaebler, et al., 2019).

A explosão química de 4/8/2020 em Beirute, provavelmente uma das de maior carga não nuclear já detonada em todos os tempos, gerou sinais sísmicos, infrassônicos e hidroacústicos, semelhantes a uma explosão nuclear atmosférica. Os sinais infrassônicos foram registrados por estações localizadas a até cerca de 9.000 km da fonte e os sísmicos até 2.450 km. Como a explosão aconteceu próximo ao mar, gerou também ondas hidroacústicas registradas por estações sísmicas instaladas no fundo do mar mediterrâneo. Por esta razão, é apropriada para testar o desempenho do Sistema Internacional de Monitoramento (IMS - International Monitoring System).

Aqui usaremos as tecnologias de formas de ondas (sísmica e infrassônica) para estudar o último teste da Coreia do Norte e a explosão química ocorrida no porto da capital do Líbano.

8.2 ÚLTIMO TESTE NUCLEAR DA COREIA DO NORTE

Após a abertura do CTBT para assinatura, em 24 de setembro de 1996, 17 testes nucleares foram feitos por Índia, Paquistão e Coreia do Norte (**Tabela 2**).

Tabela 2: Últimos testes nucleares realizados por Índia, Paquistão e Coreia do Norte após a abertura para assinatura do CTBT, em 24 de setembro de 1996.

N	PAÍS	DATA	LOCAL	CARGA	MAG.	Referência
1	Índia	11/05/1998	Odisha	43 - 45 kt	5,0	A
2	Índia	11/05/1998	Odisha	12 kt	-	A
3	Índia	11/05/1998	Odisha	0,3 kt	-	A
4	Índia	13/05/1998	Odisha	0,5 kt	-	A
5	Índia	13/05/1998	Odisha	0,2 kt	-	A
6	Paquistão	28/05/1998	Baluchistão	32 kt	-	B
7	Paquistão	28/05/1998	Baluchistão	1 kt	-	B
8	Paquistão	28/05/1998	Baluchistão	1 kt	-	B
9	Paquistão	28/05/1998	Baluchistão	1 kt	-	B
10	Paquistão	28/05/1998	Baluchistão	1 kt	-	B
11	Paquistão	30/05/1998	Baluchistão	15 kt	5,0	B
12	Coreia do Norte	09/01/2006	Punggye-ri	-	4,1	C
13	Coreia do Norte	25/05/2009	Punggye-ri	-	4,5	C
14	Coreia do Norte	12/02/2013	Punggye-ri	-	4,9	C
15	Coreia do Norte	06/01/2016	Punggye-ri	-	4,8	C
16	Coreia do Norte	09/09/2016	Punggye-ri	-	5,1	C
17	Coreia do Norte	03/09/2017	Punggye-ri	400 kT	6,1	C

A) <http://nuclearweaponarchive.org/India/IndiaShakti.html>;

B) http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclear-weapons/history/post-cold-war/india-pakistan/background_information/pakistan_nuclear_weapons.htm;

C) Revised Event Bulletin - REB.

Explosões nucleares subterrâneas, como é o caso dos seis testes realizados pela Coreia do Norte, são monitoradas, principalmente, pela tecnologia sísmica, pois, da mesma forma que terremotos, geram ondas que, a depender da potência, podem viajar longas distâncias. Um teste nuclear com uma potência equivalente a 1/2 megaton de TNT gera ondas sísmicas que podem ser registradas em qualquer ponto da superfície da Terra.

Adicionalmente à tecnologia sísmica, explosões subterrâneas rasas podem também ser detectadas por estações infrassônicas, hidroacústicas e de radionuclídeos.

Aqui iremos abordar as tecnologias sísmica e infrassônica na detecção, no registro e na localização do último teste nuclear realizado pela Coreia do Norte.

8.2.1 Fundamentos do monitoramento sísmico

O monitoramento sísmico tem três principais objetivos: detectar; localizar (ou associar) e discriminar eventos sísmicos. Na detecção, sinais de diferentes origens são detectados e observados. Na localização ou associação, os eventos são localizados buscando-se identificar a sua origem. Na discriminação, é determinado se a fonte do evento é um terremoto ou uma explosão, ou seja, se tem origem natural ou antropogênica.

Detecção - é feita por técnicas de processamento de sinais razoavelmente automatizadas, como, por exemplo, pelo processamento adaptativo de sinais digitais usando o computador ou hardware específico, técnicas cujos parâmetros do filtro se adaptam a mudanças na estatística do sinal. As séries temporais são geralmente filtradas para melhorar a relação sinal-ruído (SNR) e, portanto, a detecção em uma ou mais bandas de frequências. Uma vez detectado o sinal, deve ser dada uma identificação preliminar associada a uma fase sísmica, baseada em suas características intrínsecas, tais como: conteúdo de frequências, duração, polarização ou vagarosidade, no caso de observações feitas com arranjo sísmico (PrepCom, 1996).

Associação ou localização - O próximo passo será associar o evento detectado à causa que o produziu. Esse problema é particularmente desafiador, porque fases de dois ou mais eventos podem, ocasionalmente, chegar ao mesmo tempo à estação de registro.

Identificação - Uma vez que um evento sísmico foi detectado e localizado, a fonte deve ser identificada como um terremoto ou como uma explosão. De acordo com o CTBT, a responsabilidade final pela identificação de potenciais testes nucleares recai sobre os Estados Partes, sendo que o IDC pode indicar eventos, devido à observância de parâmetros com padrões característicos, que podem estar associados a explosões nucleares. Os parâmetros característicos que podem ser usados como critério de identificação pelo IDC estão listados no Anexo 2 do Protocolo do CTBT e apresentados a seguir (PrepCom, 1996):

- Localização do evento (latitude, longitude, profundidade e tempo de origem);
- Relação de magnitudes (M_s/m_b);
- Conteúdo de frequência do sinal;
- Relação espectral de fases;
- Primeiro movimento da onda P;
- Mecanismo focal;
- Medidas comparativas com outros eventos ou com grupos de eventos;
- Discriminantes regionais, onde for aplicável.

A **Figura 39** mostra as diferenças nas características de sinais de explosão e de terremoto. Em (A), observe as diferenças nos conteúdos de frequências e nas amplitudes das ondas de superfície em relação à onda P nos registros das duas explosões (registros superiores) e de um terremoto (registro inferior). Na parte (B) da figura, observe que explosões nucleares têm valores mais altos de magnitude de onda de corpo (m_b), em relação à correspondente magnitude de ondas de superfície (M_s) para os terremotos. Isto é evidente observando-se as amplitudes dos sinais das ondas de corpo e das ondas de superfície. As ondas de corpo são mais pronunciadas no caso das explosões do que no caso do terremoto. Já as amplitudes das ondas de superfície são maiores no caso do terremoto (A).

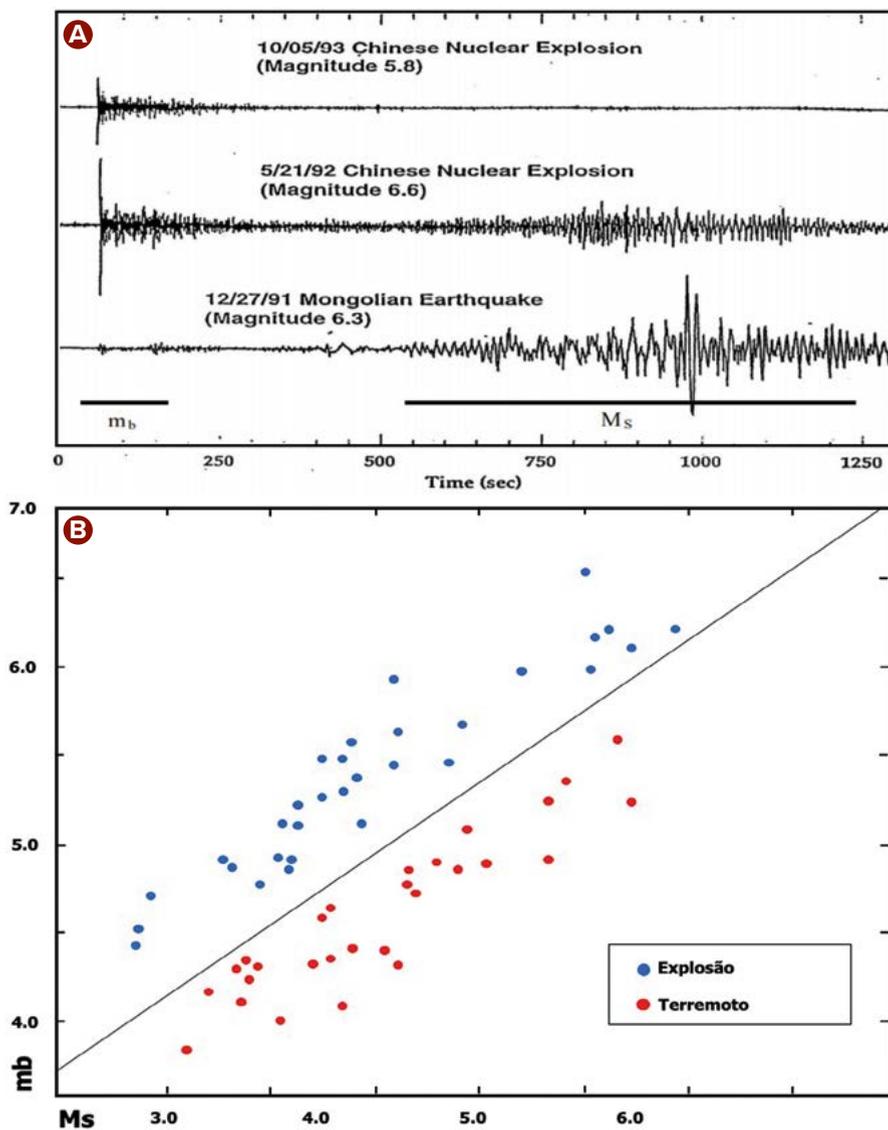


Figura 39: (A) Registros de duas explosões nucleares realizadas pela China em 05/10/1993 (magnitude 5,8) e em 21/05/1992 (magnitude 6,6), respectivamente. Registro inferior, terremoto com epicentro na Mongólia ocorrido em 27/12/1991. (B) Relação magnitude de onda de corpo (m_b) versus magnitude de onda de superfície (M_s). Como se observa, os valores de magnitudes m_b de explosões nucleares são superiores aos de magnitudes M_s correspondentes. Já as magnitudes M_s para terremotos são superiores às correspondentes magnitudes m_b .

Com relação à polaridade do primeiro movimento da onda P, para explosão é sempre para cima, por se tratar de uma fonte compressiva.

Essa fonte, comumente chamada de fonte “isotrópica”, tem o primeiro movimento da onda P para cima (**Figura 40**) por se tratar de uma fonte compressiva, cujo modelo físico básico é representado por um sistema de forças pontuais distribuídas igualmente em todas as direções. Em princípio, a liberação de energia em uma explosão ocorre bem mais rápido do que em um terremoto. Muitos dos métodos (ou “discriminantes”) propostos para distinguir sinais de um terremoto de sinais e de uma explosão exploram a geometria da fonte ou as diferenças entre o deslocamento cisalhante (terremoto) e o deslocamento de uma fonte isotrópica (explosão) (Bormann et al, 2013).

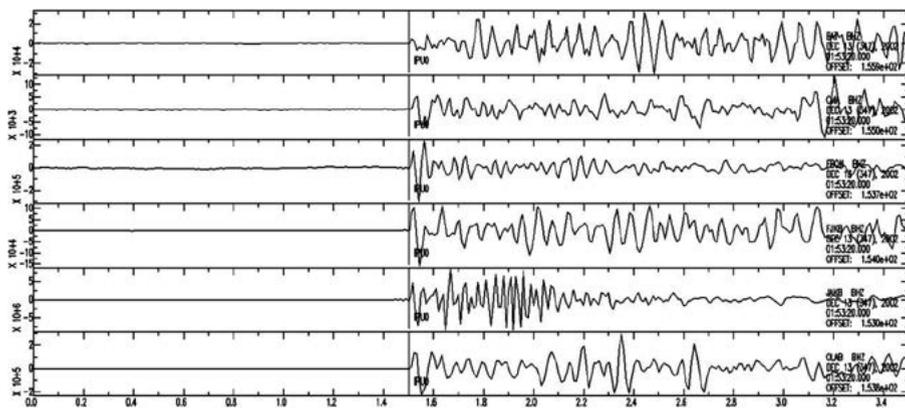


Figura 40: Registro de uma explosão química em Porto dos Gaúchos/MT nas componentes verticais de seis estações 3C. Nota-se claramente que a primeira chegada da onda P é compressional em todas as estações, primeiro movimento para cima.

Os testes nucleares da Coreia do Norte foram realizados no mesmo campo de prova, Punggye-ri, localizado numa região montanhosa do nordeste do país, e não foram nada clandestinos, até porque a Coreia do Norte fez questão de mostrar ao mundo que é detentora da tecnologia nuclear.

Considerando que a Rede IMS foi instalada a partir de 1997, com a criação da Comissão Preparatória da CTBTO, faremos um estudo do último teste nuclear, realizado em 3 de setembro de 2017, por ter sido detectado por um número maior de estações do IMS.

8.2.2 Análise de sinais sísmicos

O SIS - UnB realiza diariamente a análise de dados de cerca de 100 estações sismográficas brasileiras e de estações infrassônicas localizadas na América do Sul (**Figura 24**). Nas análises de sinais sísmicos são utilizados dois softwares: SeisComp3 e Geotool. O primeiro é usado nas análises diárias da sismicidade brasileira e o segundo, para análise de eventos de interesse do CTBT. Apresentamos, a seguir, os resultados da análise dos dados da última explosão norte coreana de 3 de setembro de 2017, usando essas duas ferramentas, e, por último, a análise dos sinais infrassônicos.

8.2.2.1 Localização com o SeisComp3

Na localização do último teste nuclear norte coreano, o IDC usou dados de 125 estações sísmicas do IMS, localizadas a distâncias que variam entre 400 e 18 000 km. Este teste foi também registrado por todas as estações sismográficas brasileiras, em um total de 120 estações. A análise com o SeisComp3 usando, além dos dados das estações brasileiras, mais 24 pertencentes à Rede Global, com 144 fases (**Tabela 3**), com a profundidade fixada na superfície, apresentou os seguintes resultados: Latitude = 41,3699°N, Longitude = 129,1062°E e tempo de origem = 03:29:59 (**Tabela 4**).

A **Figura 41** apresenta o mapa de localização das 144 estações, e respectivos raios sísmicos, utilizadas na determinação do epicentro do teste nuclear da Coreia do Norte. Neste caso, a grande maioria das estações está localizada na América do Sul, porque o objetivo principal do Observatório Sismológico é estudar eventos com epicentro no Brasil e em países vizinhos. Entretanto, em se tratando de eventos de interesse do Tratado CTBT, como é o caso do teste nuclear norte-coreano, utilizamos as estações da Rede IMS, que foi projetada com esse objetivo, com cobertura global e adequada à localização de quaisquer eventos relacionados com testes nucleares. Na **Figura 42** está o sumário da localização hipocentral com o SeisComp3.

Tabela 3: Estações sísmicas utilizadas na localização hipocentral com o SeisComp3. As subredes BL (IAG-USP), BR (SIS - UnB), NB (LabSis - UFRN), ON (Observatório Nacional) pertencem à Rede Sismográfica Brasileira (RSBR). A Rede Sismográfica XC é temporária e pertence ao IAG - USP. As redes GT (IMS), II (IRIS/IDA) e IU (IRIS/USGS) fazem parte da Rede Global.

SIS-UnB SeisComp3			
Local	Rede	Nsta	Total
Brasil	BL	23	120
	BR	23	
	NB	13	
	ON	13	
	OS	16	
	XC	32	
Global	GT	5	24
	II	6	
	IU	13	

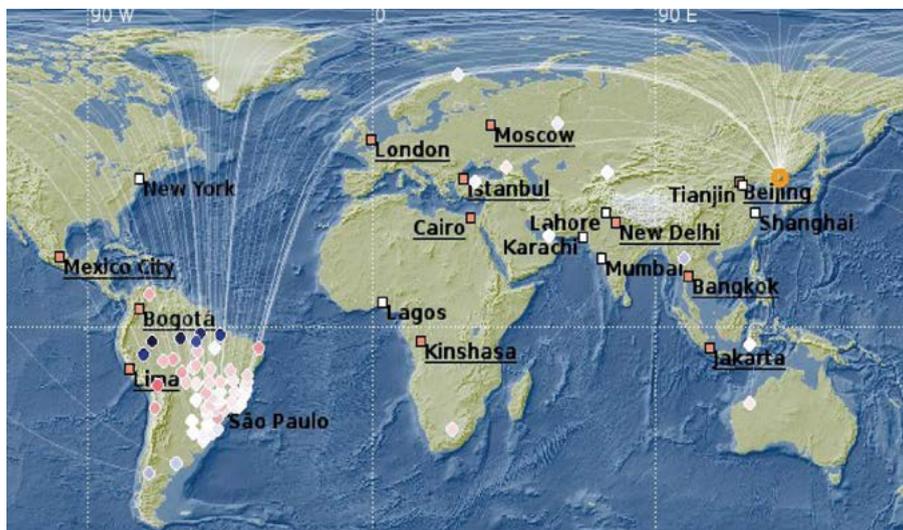


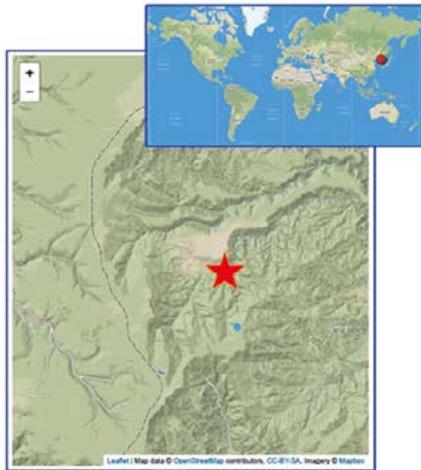
Figura 41: Estações sismográficas utilizadas na localização epicentral com o SeisComp3 e respectivos raios sísmicos. A grande maioria das estações está localizada na América do Sul. Na figura seguinte, são mostrados detalhes da localização hipocentral.

Observatório Sismológico UnB Boletim Sísmico: Evento Coreia do Norte

Explosão Nuclear

Localidade: Coreia do Norte
Tipo: natural (terremoto/earthquake)
Data e Hora (UTC): 03/09/2017 - 03:29:59
Data e Hora (Brasília): 03/09/2017 - 00:29:59
Latitude (°): 41.36991119
Longitude (°): 129.1061554
Profundidade (km): 0.0
Magnitude: 6.3 +/- 0.24 mB
Gap Azimutal: 68.577°
nº de estações que detectaram o evento: 144
nº de fases utilizadas: 144
Analista Revisor: juraci@unb.br
Máx. Dist.: ~18963 km / **Min. Dist.:** ~950.9 km
Modo: Manual
QuakeML: <none>

Leituras:



#	Rede	Estação	Dist(km)	Canal	#	Rede	Estação	Dist(km)	Canal	#	Rede	Estação	Dist(km)	Canal	#	Rede	Estação	Dist(km)	Canal
1	II	AAK	4440.4	BHZ	37	IU	LVC	17308.	BHZ	73	IU	CHTO	3791.7	BHZ	109	OS	DAT5	17296.	HHZ
2	II	ARU	5175.7	BHZ	38	BL	SUMB	17308.	HHZ	74	IU	OIAV	14612.	BHZ	110	BL	PP1B	17323.	HHZ
3	II	KAP1	5211.0	BHZ	39	ON	RID01	17344.	HHZ	75	OS	CN01	15306.	HHZ	111	XC	BBLB	17358.	HHZ
4	IU	COLA	5619.5	BHZ	40	BR	IPMB	17380.	HHZ	76	OS	BAL3	15537.	HHZ	112	OS	SFA1	17373.	EHZ
5	IU	KEV	6191.9	BHZ	41	BR	DOAV	15048.	HHZ	77	BR	ROSB	15675.	HHZ	113	OS	ITL3	17411.	HHZ
6	II	KIV	6737.9	BHZ	42	RR	TRTG	15455.	HHZ	78	NR	NRC1	15687.	HHZ	114	RL	PMNR	17418.	HHZ
7	II	UOGS	6827.3	BHZ	43	DR	MALD	15600.	HHZ	79	OS	DMC2	15776.	HHZ	115	XC	PANT	17445.	HHZ
8	IU	MRWA	6972.4	BHZ	44	IU	SAM	16197.	BHZ	80	NR	NRPS	15786.	HHZ	116	XC	MAPP	17534.	HHZ
9	IU	ANTO	7670.4	BHZ	45	BR	ARAG	17140.	HHZ	81	OS	TUC9	15850.	HHZ	117	XC	BDGN	17600.	HHZ
10	IU	SFJD	7987.9	BHZ	46	BL	DIAM	17336.	HHZ	82	NB	NBPP	15864.	HHZ	118	XC	RPRD	17653.	HHZ
11	GT	BOSA	13116.	BHZ	47	BL	C2SB	17472.	HHZ	83	OS	TUC4	15875.	HHZ	119	OS	SIM2	17697.	EHZ
12	IU	SDV	14074.	BHZ	48	RL	ITRR	17587.	HHZ	84	OS	TUC3	15885.	HHZ	120	XC	FDPY	17703.	HHZ
13	DR	SOGB	15142.	HHZ	49	DL	AQDD	17623.	HHZ	85	ND	NBLV	15975.	HHZ	121	XC	MURT	17709.	HHZ
14	BR	MOPR	15447.	HHZ	50	RL	RSCB	17653.	HHZ	86	NR	NRBC	15979.	HHZ	122	XC	ANTJ	17783.	HHZ
15	BR	MACA	15645.	HHZ	51	BL	BB19B	17722.	HHZ	87	NB	NBCA	16033.	HHZ	123	ON	MAN01	17802.	HHZ
16	BR	TMAB	15661.	HHZ	52	ON	CAM01	17650.	HHZ	88	NB	NBMA	16035.	HHZ	124	BL	ESAR	17861.	HHZ
17	BR	C2SB	15684.	HHZ	53	ON	DUB01	17701.	HHZ	89	NB	NBRF	16047.	HHZ	125	XC	AMBA	17903.	HHZ
18	IU	RCOR	15779.	BHZ	54	ON	VAS01	17755.	HHZ	90	OS	PAL1	16127.	HHZ	126	ON	SILP01	17912.	HHZ
19	BR	ITTB	15862.	HHZ	55	BL	PCMB	17792.	HHZ	91	NB	NBAN	16193.	HHZ	127	BL	PARB	17925.	HHZ
20	BR	PRPB	16088.	HHZ	56	BL	RCLB	17859.	HHZ	92	NB	NBTA	16199.	HHZ	128	XC	PAPP	17949.	HHZ
21	BR	NPGB	16160.	HHZ	57	BL	TROB	17917.	HHZ	93	NB	NBLA	16385.	HHZ	129	XC	ESFA	18032.	HHZ
22	BR	ETMB	16182.	HHZ	58	BL	VABB	17914.	HHZ	94	NB	NBRN	16447.	HHZ	130	ON	PET01	18059.	HHZ
23	BL	CLDB	16574.	HHZ	59	BL	FRTB	17960.	HHZ	95	OS	LAJE	16500.	EHZ	131	XC	MCR1	18085.	HHZ
24	BR	PDRB	16640.	HHZ	60	BL	PTGB	18134.	HHZ	96	OS	SNP1	16628.	HHZ	132	XC	SJPY	18104.	HHZ
25	BR	VLB	16710.	HHZ	61	ON	TJ01	18195.	HHZ	97	OS	CANG	16841.	EHZ	133	XC	TICA	18106.	HHZ
26	BR	SDBA	16724.	HHZ	62	GT	CUP1	18213.	BHZ	98	NB	NBIT	16854.	HHZ	134	XC	VACA	18216.	HHZ
27	BR	SND8	16729.	HHZ	63	GT	PLCA	18331.	BHZ	99	XC	VBST	16884.	HHZ	135	XC	FRBT	18263.	HHZ
28	ON	GU01	16732.	HHZ	64	BL	ITAB	18410.	HHZ	100	XC	NBR5	16951.	HHZ	136	XC	EDMB	18287.	HHZ
29	GT	LPAZ	16751.	BHZ	65	ON	TER01	18549.	HHZ	101	OS	MAN1	17012.	HHZ	137	XC	SCCA	18296.	HHZ
30	ON	CAC01	16902.	HHZ	66	BL	ITCB	18584.	HHZ	102	XC	PTET	17042.	HHZ	138	XC	CRSM	18416.	HHZ
31	BR	JANB	17001.	HHZ	67	BL	CNLB	18644.	HHZ	103	XC	BBS0	17148.	HHZ	139	XC	AZCA	18437.	HHZ
32	BR	PTLB	17005.	HHZ	68	BL	CP5B	18744.	HHZ	104	OS	MC08	17168.	HHZ	140	XC	MECA	18489.	HHZ
33	ON	GUJ01	17039.	HHZ	69	BL	FLTB	18888.	HHZ	105	BR	MC01	17171.	HHZ	141	XC	UNIS	18566.	HHZ
34	GT	BOFV	17120.	HHZ	70	IU	TRQA	18963.	BHZ	106	XC	POCN	17185.	HHZ	142	XC	ALGR	18574.	HHZ
35	BR	SALV	17125.	HHZ	71	IU	MAJQ	950.93	BHZ	107	XC	DVLD	17241.	HHZ	143	XC	ROUS	18699.	HHZ
36	ON	NAN01	17182.	HHZ	72	II	ERM	1168.9	BHZ	108	XC	BBRB	17288.	HHZ	144	XC	TBOT	18816.	HHZ

Figura 42: Sumário da localização hipocentral com o SeisComp3. A estrela indica a localização epicentral do evento.

8.2.2.2 Localização com o Geotool

O Geotool é uma ferramenta de análise completa de sinais de formas de ondas (sísmicos, infrassônicos e hidroacústicos) que compõe o pacote de software NDC-in-a-Box, fornecido pela CTBTO e de uso exclusivo da organização e seus países membros, por meio dos respectivos NDCs. O Geotool é um sistema de software que permite ao usuário exibir e processar interativamente dados sismoacústicos das estações do IMS. O software pode ser personalizado e estendido.

Na localização com o Geotool, foram utilizadas 130 estações do IMS melhor distribuídas globalmente, com 132 fases (**Figura 43**).

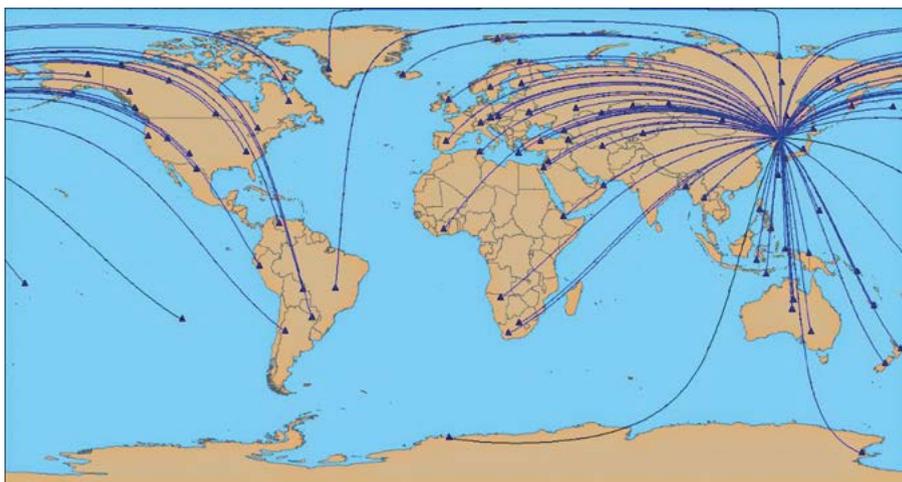


Figura 43: Estações sismográficas utilizadas na análise com o Geotool e respectivos raios sísmicos. Os triângulos denotam estações sismográficas. O epicentro está melhor indicado na figura seguinte.

Na Tabela 4 (linha 8), são apresentados os parâmetros de localização com o Geotool, usando 130 estações e 132 fases, com um gap de 35 graus. O epicentro encontrado (círculo azul) está a 5 km (ESE) do epicentro do IDC (estrela azul na **Figura 44**), localizado no interior de uma elipse com diagonal principal de 11,2 km e diagonal secundária de 7,3 km. A magnitude média de 108 estações é de 6,0 m_b \pm 0,04.

A localização feita com o Geotool apresenta melhor resultado que o SeisComp3, devido à qualidade dos dados: estações melhor distribuídas (gap de 35 graus), cobertura global e estações mais próximas. Com relação à magnitude, neste trabalho foi obtido 6,0 m_b (média de 108 estações) $\pm 0,04$ (desvio padrão) no Geotool e, no SeisComp3, 6,3 m_b (média de 144 estações) $\pm 0,24$ (desvio padrão).

Tabela 4: Parâmetros de localização hipocentral dos seis testes nucleares norte-coreanos extraídos do IDC-REB (evento de 1 a 6). As duas últimas linhas da tabela se referem às localizações feitas com o SeisComp3 (#7) e Geotool (#8), onde: RMS é o resíduo do ajuste global; SMAJ = máxima diagonal da elipse de erro; SMIN = mínima diagonal da elipse de erro; AZ = azimute de SMAJ; NDEF = número de fases; NSTA = número de estações; GAP = máximo ângulo (azimute) sem cobertura de estações; mDIST = distância da estação mais próxima ao epicentro; MDISD = distância da estação mais afastada do epicentro.

N	DATA	HORA	LAT	LON	RMS	SMAJ	SMIN	AZ	MAG	NDEF	NSTA	GAP	mDIST	MDIST	AUTOR
1	09/10/2006	01:35:28	41.311	129.018	0,63	20,6	13,6	67	m_b 4,1	22	22	112	8,31	153,30	IDC_REB
2	25/05/2009	00:54:43	41.311	129.046	0,81	9,6	8,8	104	m_b 4,5	72	59	53	3,61	165,19	IDC_REB
3	12/02/2013	02:57:50	41.300	129.065	0,73	8,1	7,1	107	m_b 4,9	110	88	51	3,61	164,16	IDC_REB
4	06/01/2016	01:30:00	41.303	129.048	0,72	8,4	7,3	104	m_b 4,8	102	83	45	3,61	165,19	IDC_REB
5	09/09/2016	00:30:00	41.299	129.049	0,71	7,6	6,4	92	m_b 5,1	120	97	26	3,62	165,19	IDC_REB
6	03/09/2017	03:30:01	41.320	129.034	0,86	6,7	5,2	88	m_b 6,1	189	125	30	3,61	165,20	IDC_REB
7	03/09/2017	03:29:59	41.369	129.106	2,15	5,8	4,5	0	m_b 6,3	144	138	69	8,57	170,84	SIS-UnB SC3
8	03/09/2017	03:30:00	41.298	129.089	1,05	11,2	7,3	79	m_b 6,0	132	130	35	3,61	165,20	SIS-UnB GEO

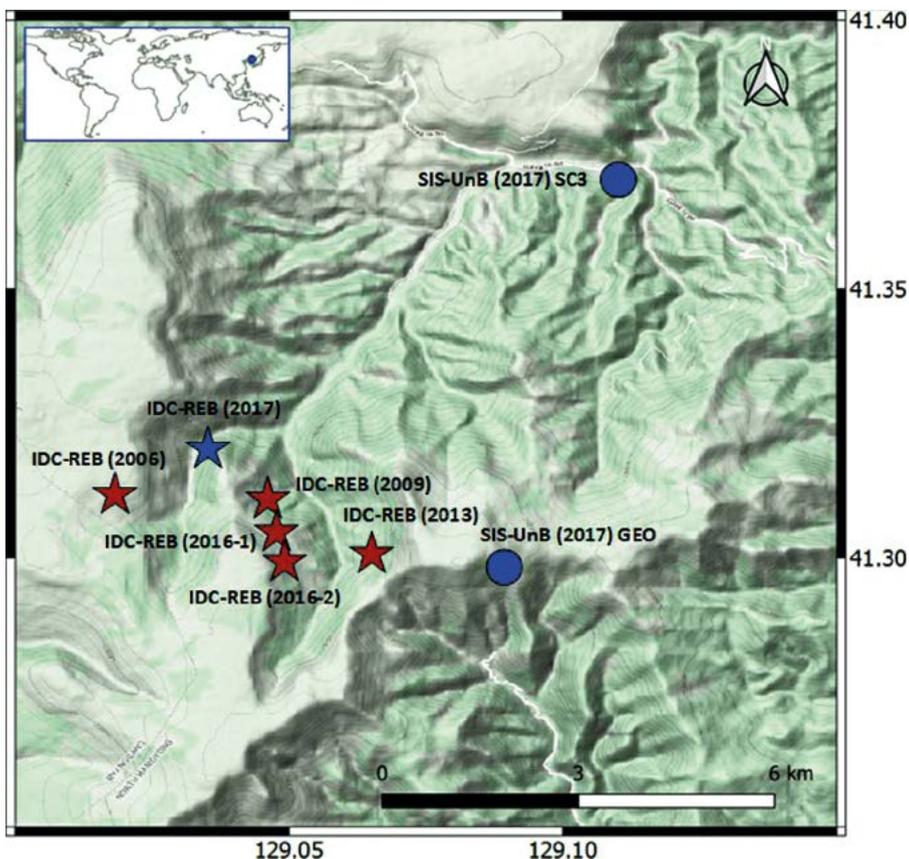


Figura 44: Mapa epicentral dos seis testes nucleares realizados pela Coreia do Norte (estrelas). A estrela azul indica a localização do último teste feito pelo IDC. Os dois círculos azuis se referem às localizações feitas neste trabalho: SIS-UnB (2017) SC3, localização feita com o SeisComp3, e SIS-UnB (2017) GEO, localização feita com o Geotool.

8.2.3 Fundamentos do monitoramento infrassônico

Pequenas variações de pressão do ar ou perturbações acústicas podem ser detectadas por microbarômetros, sensores de uma estação infrassônica. Explosões nucleares atmosféricas geram variações na pressão do ar (infrassom) que, a depender da temperatura e da velocidade do vento, podem viajar longas distâncias. Os dados brutos adquiridos por cada elemento de uma estação

infrassônica (sensor) do IMS são transmitidos e armazenados no banco de dados do IDC. Primeiramente é aplicada uma cadeia de processamentos automáticos para detectar, medir, identificar sinais e compilar uma Lista Padrão de Detecções de Sinal (Standard List of Signal Detection - SLSD) (**Tabela 1**, Seção 3.2). Uma detecção é caracterizada por parâmetros do sinal e incertezas associadas, que podem incluir: tempo de chegada, período, azimute, conteúdo de frequência e duração do sinal. Na sequência, o analista realiza o processamento interativo, para revisar as detecções automáticas feitas previamente e determinar, com maior precisão, a localização e as características dos eventos infrassônicos.

Os dados infrassônicos são processados usando-se a técnica de Correlação Progressiva Multicanal (Progressive Multi-Channel Correlation - PMCC) (Cansi, 1995; Cansi e Klinger, 1997). O processo de categorização, ou seja, separar os eventos pela sua natureza, examina as detecções medindo parâmetros geofísicos de sinais selecionados para determinar a localização e as características dos eventos infrassônicos. Os sinais infrassônicos são classificados em “fase” e “ruído” (fase: sinais de interesse; ruído: sinais indesejáveis). A classificação tem o objetivo de separar eventos infrassônicos de interesse de detecções categorizadas como ruídos ou detecções não correlacionáveis com um fenômeno acontecido.

8.2.4 Análise dos sinais infrassônicos

Como apresentado na Seção 2.2, a tecnologia infrassônica é apropriada para detecção de eventos atmosféricos. Entretanto, como visto na Seção 2.3, explosões subterrâneas também podem gerar sinais infrassônicos, somente detectados por estações próximas, como é o caso da Estação Infrassônica I45RU, localizada na Rússia, a cerca de 400 km do campo de testes da Coreia do Norte. Neste caso, a explosão foi detectada unicamente por esta estação da rede infrassônica do IMS.

Com dados de uma única estação infrassônica é possível determinar o azimute da frente de ondas, a velocidade com que elas se propagam, o conteúdo de frequências, entre outros. No caso do teste nuclear da Coreia do Norte, a localização da fonte foi obtida com dados da tecnologia sísmica, como visto na Seção anterior, e o infrassom contribuiu com essas novas informações. A **Figura 45** mostra o resultado do processamento dos dados dos quatro elementos da Estação I45RU com o software DTK-GPMCC (Mialle et al., 2019). Em (A), famílias PMCC referentes ao backazimute da detonação. A primeira família (03h30) se refere às chegadas dos sinais sísmicos à estação e as subsequentes famílias (após 03h42) se referem às chegadas dos sinais infrassônicos à estação.

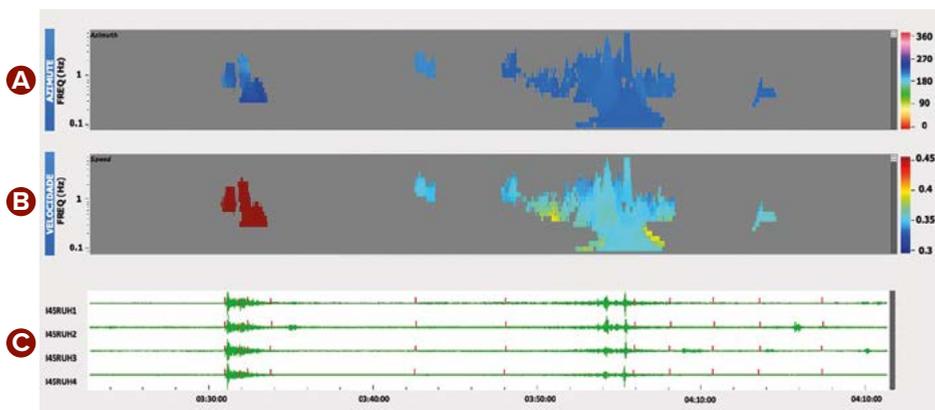
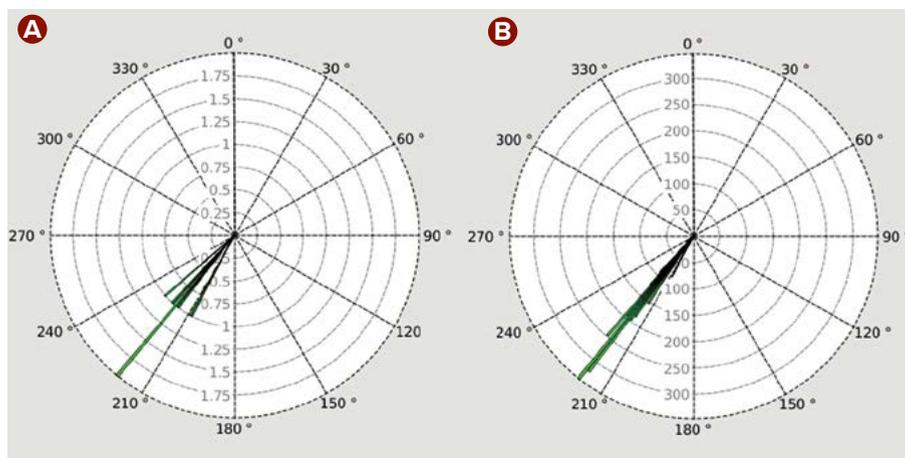


Figura 45: Registro da explosão norte-coreana de 3 de setembro de 2017 na Estação I45RU. No eixo horizontal está representado o tempo e, no vertical, a frequência. Em (A e B), famílias PMCC com informações do backazimute e velocidade da frente de ondas infrassônicas; em (C), traços verdes, sinais infrassônicos detectados em cada um dos quatro elementos do arranjo da Estação I45RU.

Na **Figura 46** é mostrado o gráfico polar para a detonação norte-coreana de 3 de setembro de 2017. Em (A), os números indicados na vertical representam a quantidade de pixels associados a um determinado azimute. No caso, a maioria dos pixels aponta para um azimute de 217 graus. Em (B), os números indicados na vertical

representam o número de famílias associadas ao respectivo azimute. O gráfico é composto por oito famílias que, em média, apontam para 217 graus. Na tabela inferior à figura, estão indicados valores estatísticos relativos às medições para o caso: média, mediana, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo para o azimute, a velocidade e a frequência.



	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
Azimute	217.533	217.992	4.844	201.823	240.204
Velocidade (Km/s)	0.353	0.353	0.007	0.336	0.393
Frequência (Hz)	1.278	1.007	1.007	0.101	6.351

Figura 46: Gráfico polar com a orientação dos pixels (A) e das famílias (B) PMCC geradas a partir do processamento dos sinais infrassônicos da detonação norte-coreana de 3 de setembro de 2017. A orientação das barras verdes representa o backazimute da frente de ondas detectadas pela estação, i.é., o ângulo entre a vertical e cada barra verde. Na tabela, estão indicados valores estatísticos do azimute, velocidade e frequência.

Na **Figura 47** é mostrada a localização resultante do processamento dos sinais sísmicos e infrassônicos. A linha vermelha indica o backazimute da Estação I45RU, localizada na Rússia, em relação à fonte, que é de 217 graus. O epicentro, determinado pela tecnologia sísmica, está indicado pela estrela na extremidade do raio azimutal.

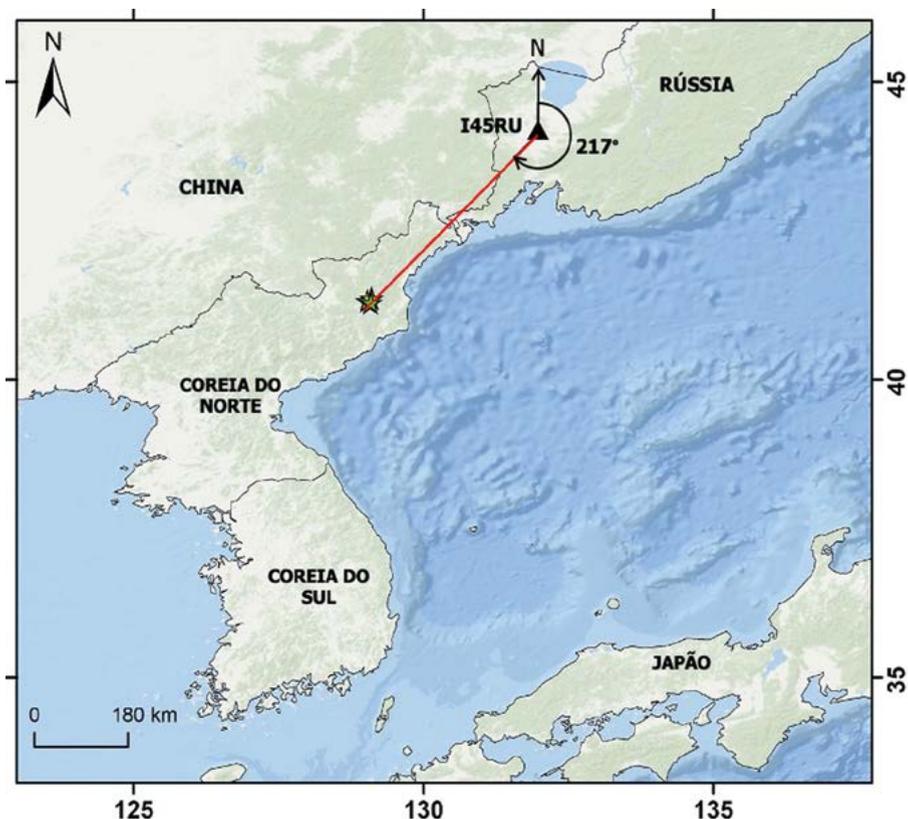


Figura 47: Mapa de localização do teste nuclear da Coreia do Norte de 3 de setembro de 2017. A linha vermelha indica o backazimute da Estação I45RU para a fonte. A estrela indica o epicentro da explosão.

As localizações feitas pelo IDC (REB), linha 6 Tabela 4, e pelo SIS - UnB com o Geotool, linha 8 Tabela 4 (SIS - UnB 2017 GEO), Figura 44, diferem em apenas 5 km, sendo que no REB foram usadas 125 estações e 189 fases, com 30 graus de gap, e, no Geotool, 130 estações, 132 fases e gap de 35 graus. Os tempos de origem diferem em apenas um segundo.

8.3 EXPLOSÃO QUÍMICA OCORRIDA EM BEIRUTE - LÍBANO, EM 4/8/2020

O Observatório Sismológico da Universidade de Brasília estudou também a explosão química ocorrida, acidentalmente, em Beirute, em 4/8/2020, às 15:10:42 (UTC) e 18:10:42 (hora local), usando dados de quatro estações de infrassom da Rede IMS. Essas estações estão localizadas na Tunísia (I48TN), na Alemanha (I26DE), na Costa do Marfim (I17CI) e nos Açores - Portugal (I42PT), distantes de Beirute 2400 km, 2500 km, 5000 km e 5612 km, respectivamente. Os registros desse evento são mostrados nas **figuras 48, 49, 50 e 51**, respectivamente. Esses dados foram analisados com o software NDC-in-a-Box.

A estrela amarela na **Figura 52** indica a localização epicentral da explosão. Os raios azimutais de cada estação apontam para a fonte de ondas infrassônicas. Apesar das distâncias das estações, a orientação calculada no processamento interativo dos dados obteve resultado satisfatório. Essa análise, feita com apenas quatro estações de infrassom, pode ser melhorada usando também dados de estações sísmicas e hidroacústicas.

Essa explosão foi registrada por estações infrassônicas assim tão distantes devido à carga do explosivo (o USGS - United States Geological Survey - estimou uma magnitude 3,3 na Escala Richter) e à direção dos ventos, que ajudam na propagação das ondas infrassônicas para grandes distâncias. Observou-se que estações no lado leste não registraram esse evento.

Entretanto, a energia liberada pela explosão foi muito maior que a equivalente a um terremoto de magnitude 3,3, pois, enquanto um terremoto (por ser subterrâneo) tem a maior parte de sua energia convertida em ondas sísmicas, essa explosão foi superficial e, por

isso, pouca energia foi transformada em ondas sísmicas, cuja amplitude dá uma medida de sua magnitude.

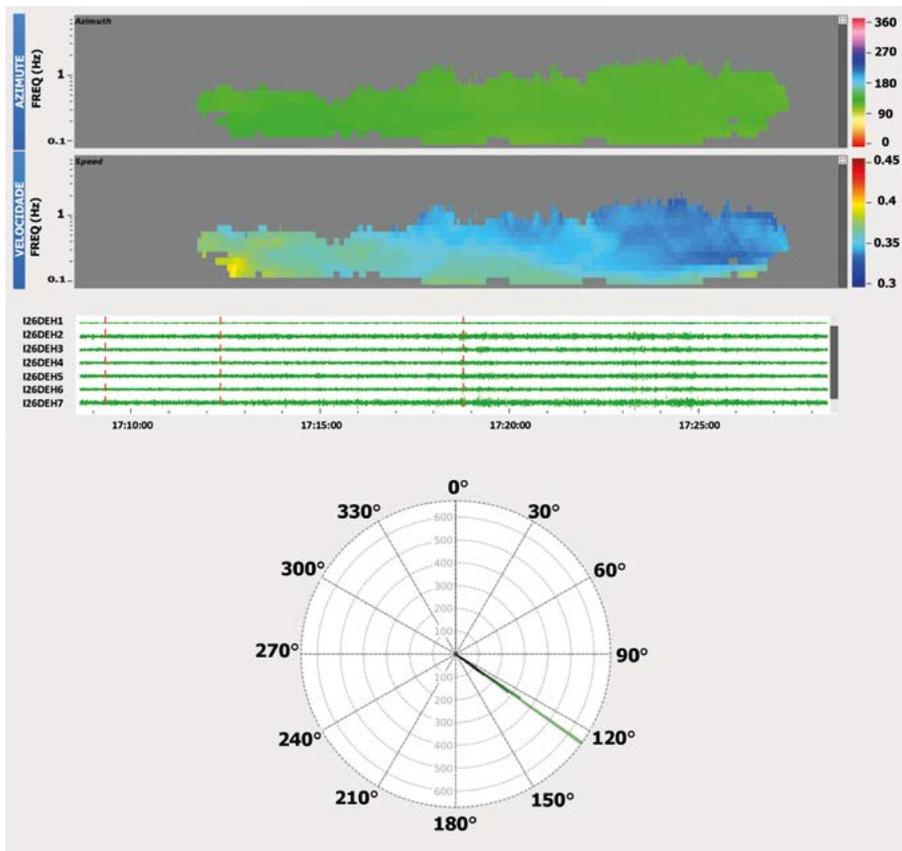


Figura 48: Registro da explosão na estação infrassônica localizada na Alemanha, a cerca de 2500 km de Beirute. Na parte superior, indicação do azimuth da frente de ondas infrassônicas que chega à estação (azimute médio = 125 graus). No centro, indicação da velocidade de propagação do infrassom (velocidade média = 346 m/s). Na parte inferior, registro dos sinais infrassônicos nos 8 elementos da Estação I26DE. Por último, diagrama de roseta, com a indicação da direção da frente de ondas que chega à estação (125 graus).

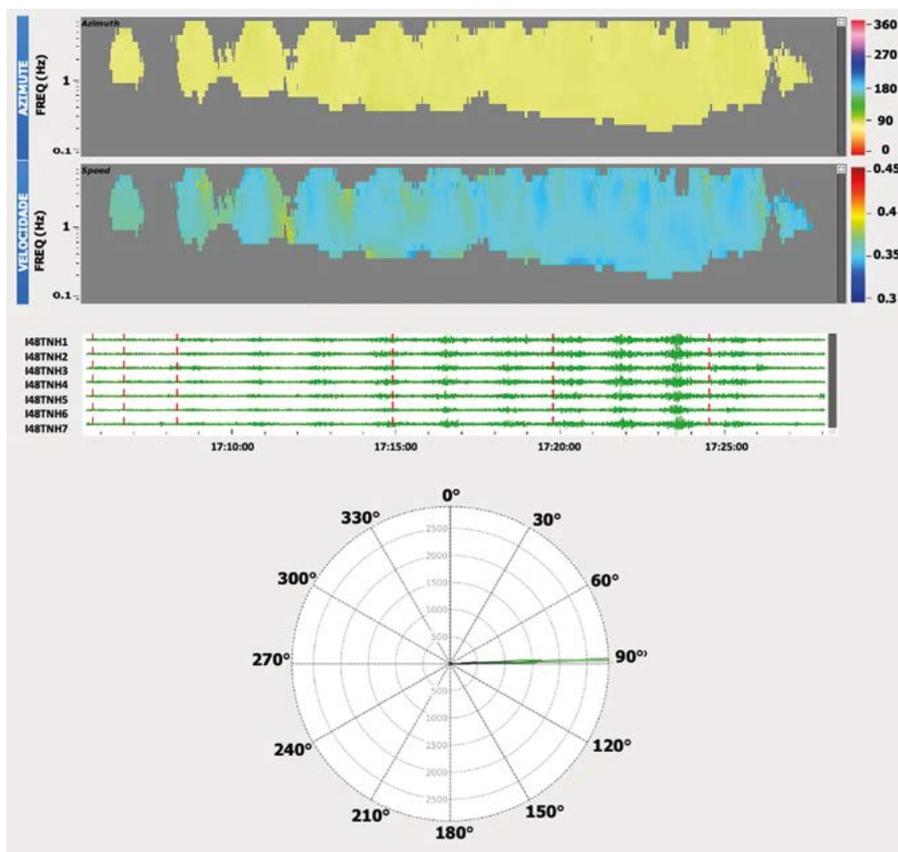


Figura 49: Registro da explosão na estação infrassônica localizada na Tunísia, a cerca de 2400 km de Beirute. Na parte superior, indicação do azimute da frente de ondas infrassônicas que chega à estação (azimute médio = 88,6 graus). No centro, indicação da velocidade de propagação do infrassom (velocidade média = 348 m/s). Na parte inferior, registro dos sinais infrassônicos nos 7 elementos da Estação I48TN. Por último, diagrama de roseta, com a indicação da direção da frente de ondas que chega à estação (88,6 graus).

A PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NA VERIFICAÇÃO DO
TRATADO DE PROIBIÇÃO TOTAL DE TESTES NUCLEARES

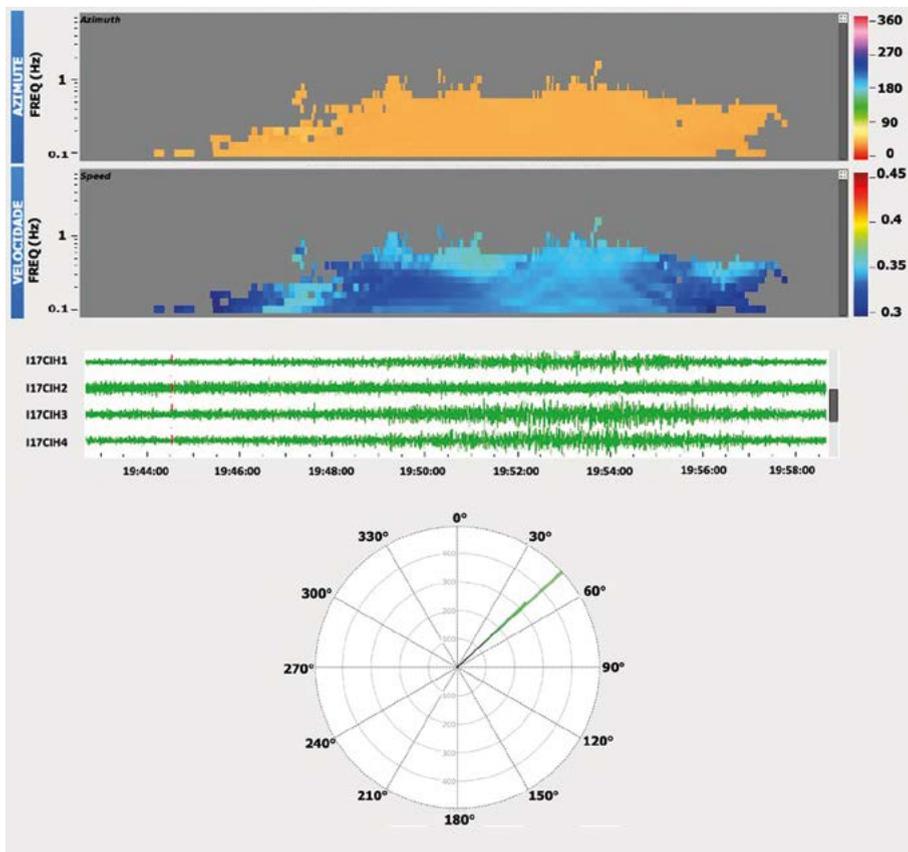


Figura 50: Registro da explosão na estação infrassônica localizada na Costa do Marfim, a cerca de 5000 km de Beirute. Na parte superior, indicação do azimute da frente de ondas infrassônicas que chega à estação (azimute médio = 47,2 graus). No centro, indicação da velocidade de propagação do infrassom (velocidade média = 341 m/s). Na parte inferior, registro dos sinais infrassônicos nos 4 elementos da Estação I17CI. Por último, diagrama de roseta, com a indicação da direção da frente de ondas que chega à estação (47,2 graus).

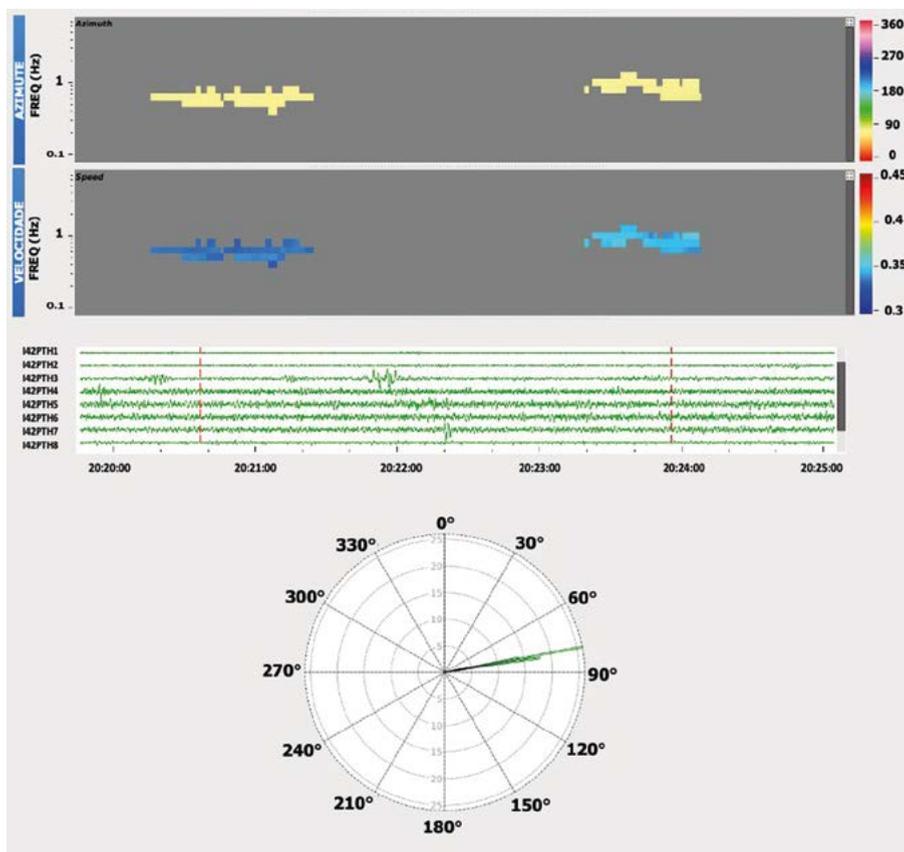


Figura 51: Registro da explosão na estação infrassônica localizada nos Açores - Portugal, a cerca de 5612 km de Beirute. Na parte superior, indicação do azimute da frente de ondas infrassônicas que chega à estação (azimute médio = 80,10 graus). No centro, indicação da velocidade de propagação do infrassom (velocidade média = 343 m/s). Na parte inferior, registro dos sinais infrassônicos nos 8 elementos da Estação I42PT. Por último, diagrama de roseta, com a indicação da direção da frente de ondas que chega à estação (80,10 graus).

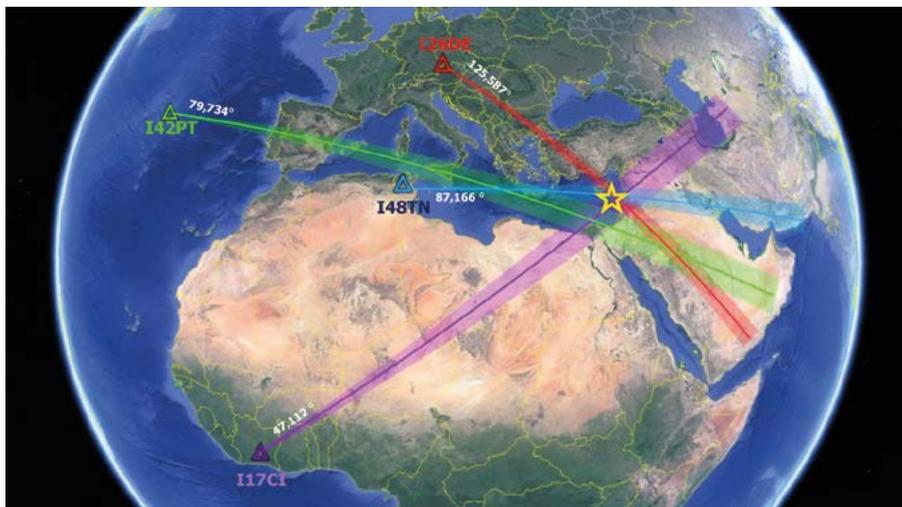


Figura 52: Localização da explosão em Beirute, de 4/8/2020, às 15:10:42 (hora de Brasília) e 18:10:42 (hora local). Os triângulos indicam as estações infrassônicas e a estrela amarela indica a localização da fonte (Beirute). Os raios azimutais da Estação I26DE (localizada na Alemanha), da Estação I48TN (localizada na Tunísia), da Estação I17CI (localizada na Costa do Marfim) e da Estação I42PT (localizada nos Açores), apontam na direção da fonte. A dispersão em torno do raio azimutal representa o desvio em relação ao valor médio do azimute estimado, ou seja, quanto maior a distância, maior o erro na localização.

Se uma explosão nuclear subterrânea, com potência de 1kt (15 vezes menor do que a bomba atômica detonada sobre Hiroshima), libera energia equivalente à de um terremoto de magnitude 3,8 - 4, então, essa explosão em Beirute pode ter liberado uma energia de cerca de 0,5 - 0,8 quiloton, considerando uma magnitude de 3,3. Entretanto, estimativas de sua magnitude feitas por outras instituições sismológicas indicam valores bem superiores, por exemplo: o Observatório Sismológico da Jordânia estimou uma magnitude de 4,5, muito superior, portanto, ao valor calculado pelo USGS. Esse valor nos parece superestimado, pois, grande parte da energia explosiva foi convertida em ondas de choques, que se propagaram por longas distâncias, mais de 240 km, atingindo inclusive Nicóssia, capital de Chipre. O GFZ, Alemanha, estimou uma magnitude

Richter de 3,5. Por outro lado, a explosão foi causada por 2.750 toneladas de nitrato de amônio, o que equivale aproximadamente a 1.100 toneladas de TNT, ou seja 1,1 quiloton (<https://www.bbc.com/news/world-middle-east-53656220>).

Essa explosão em Beirute, considerando que é um evento GT (Ground Truth event - evento de referência) para as tecnologias sísmica e infrassônica, é muito importante para calibrar a rede internacional de monitoramento de explosões nucleares, testar novos modelos de velocidades sísmicas (Bondar et al., 2001), validar modelos de propagação na atmosfera e, conseqüentemente, melhorar a precisão na localização de eventos sísmicos e infrassônicos (Blanc e Lars, 2015). Eventos GTX, ou eventos de referência, são eventos localizados com precisão de X km. Por exemplo, eventos GT1, GT2 e GT5 são eventos de referência localizados com precisão de 1, 2 e 5 km, respectivamente.

CAPÍTULO 9 | DISCUSSÃO E CONCLUSÕES



Visita de sua Excelência, o Secretário Executivo do Secretariado Técnico Provisório da Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares, Embaixador Wolfgang Hoffman, ao Observatório Sismológico em 2003. Da esquerda para direita, professor Lucas Vieira Barros, então chefe do SIS - UnB, Embaixador Wolfgang Hoffman e professor Valise Marza.

Neste texto, discutimos a participação brasileira no sistema de verificação do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBT); as obrigações do Brasil como Estado Signatário do CTBT e as ações necessárias à implementação do Tratado, bem como ao estabelecimento dos meios e condições pelas quais o Tratado pode entrar em vigor, ser cumprido e verificado. As quatro tecnologias empregadas pela rede mundial de sensores foram descritas e apresentadas no contexto da participação brasileira no CTBT. A cada um dos três pilares do sistema de verificação do CTBT foi dedicado um capítulo: IMS, IDC e OSI, e cada tecnologia, exceto a hidroacústica, teve sua abordagem melhorada na apresentação das estações brasileiras do IMS. A utilização dos dados do IMS e produtos do IDC para fins científicos e sociais foi destacada como uma vantagem a ser conseguida a partir do estabelecimento do NDC brasileiro, pois um NDC facilita a interação técnica entre um Estado Membro e a CTBTO.

Por se tratar de uma questão nacional, a CTBTO não pode exigir que um Estado Membro possua um NDC, entretanto, incentiva fortemente o seu estabelecimento, a sua capacitação e o seu uso. Atualmente, cerca de 130 Estados Membros possuem NDCs. Um NDC ajuda um Estado Membro a assumir o seu papel nos termos do Tratado, dando assistência na análise de dados e interpretação de relatórios fornecidos pelo IDC. Nos Estados Membros com estações do IMS, como é o caso do Brasil, o NDC pode desempenhar um papel fundamental na operação dessas estações e na transmissão de dados de monitoramento para o IDC em Viena. Após a entrada em vigor do Tratado, um NDC pode assumir responsabilidades adicionais em relação a outras medidas de verificação, tais como: fornecer informações sobre explosões químicas (localização de áreas de exploração mineral) ao IDC, de forma voluntária (medidas de fortalecimento da confiança); disponibilizar informações

obtidas a partir de instalações nacionais cooperantes, como, por exemplo, dados das estações da Rede Sismográfica Brasileira; fornecer informações sobre eventos de referência, contribuindo para o estabelecimento de modelos de velocidades mais precisos; participar em projetos de calibração, fornecendo conhecimento adicional específico da região ou do sítio.

A CTBTO fornece assistência técnica que permite aos Estados Membros trabalhar com dados de monitoramento e produtos do IDC. Esta assistência inclui a distribuição e a ajuda na instalação de um pacote de software: NDC-in-a-Box, utilizado para processar os dados do IMS. Além disso, a CTBTO contribui para estabelecer os links de comunicação para acesso aos dados do IDC e auxilia no treinamento do pessoal necessário para que um Estado Membro assuma suas responsabilidades e goze de seus direitos nos termos do Tratado.

Neste trabalho, foi mostrado que o SIS - UnB possui capacidade para fazer análises confiáveis de dados do IMS. Os resultados obtidos para o teste nuclear da Coreia do Norte com Geotool, usando dados das estações sísmicas do IMS, são similares aos obtidos pelo IDC, todos com margens de erros dos parâmetros de localização dentro do limite de tolerância. O teste nuclear coreano foi também registrado por todas as estações da Rede Sismográfica Brasileira (120 estações), que, somado a mais 24 estações da Rede Global, resultou em uma localização similar, com uma diferença epicentral da ordem de 6-7 km em relação à localização do IDC. Nas análises acima, a profundidade foi fixada na superfície.

A contribuição dos dados infrassônicos da Estação IS45RU (na localização do teste nuclear coreano), a mais próxima, localizada na Rússia, a cerca de 400 km da fonte, se deu apenas na determinação do azimute da frente de ondas e apresentou concordância com a localização epicentral feita com a tecnologia sísmica.

A explosão química em Beirute, que é um evento GT, é muito importante para calibrar a rede IMS, testar novos modelos de velocidades sísmicas, validar modelos de propagação na atmosfera e, conseqüentemente, melhorar a precisão na localização de eventos sísmicos e infrassônicos.

Conclusivamente, podemos afirmar que:

- O estabelecimento de um NDC no Brasil mostra que o país está disposto a participar mais efetivamente na verificação do CTBT;
- O NDC pode funcionar como um centro irradiador de conhecimentos no Brasil sobre aplicações civis e científicas das tecnologias de verificação do CTBT;
- O NDC pode servir de interface entre o IDC, organizações científicas dos Estados Parte e os diversos centros de pesquisa ligados, principalmente, às universidades brasileiras para a difusão de conhecimentos. Estas ações dar-se-ão por meio da promoção de cursos de treinamentos, workshops e reuniões técnico-científicas, com a participação de pesquisadores convidados de outras instituições no exterior que lidam com as tecnologias do IMS e aplicações civis e científicas dos dados da Rede Global;
- O NDC vai promover discussões e prestar ajuda técnico-científica na implementação de centros e núcleos de pesquisa voltados para o processamento e a análise de sinais de formas de ondas das três tecnologias do IMS e, também, agregar pesquisadores brasileiros na área de radionuclídeos;
- O NDC vai possibilitar a criação de núcleos de pesquisa na área de sismologia, infrassom, hidroacústica e radionuclídeos nas universidades brasileiras, por meio da utilização dos dados do IMS e da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR);

- O NDC vai propiciar eventos nacionais que visem à interação entre os diversos centros e núcleos de pesquisa nacionais sobre aplicações científicas das tecnologias da CTBTO.

A recente explosão ocorrida em Beirute, considerando que é um evento GT para as tecnologias sísmica e infrassônica, mostrou-se muito importante para calibrar a rede internacional de monitoramento de explosões nucleares e testar novos modelos de velocidades e atmosféricos.

Finalmente, um NDC tem como papel principal dar suporte ao Estado Parte na verificação do Tratado, conforme foi apresentado aqui, por exemplo, nas localizações do teste nuclear da Coreia do Norte e da explosão química acidental no Líbano, apresentadas no capítulo anterior.

CAPÍTULO 10 | REFERÊNCIAS

- Assumpção, M., Dias, F. L., Zevallos, I., & Naliboff, J. B. (2016). Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms. *SC. Journal of South American Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.07.005>
- Assumpção, M., Pirchiner, M., Dourado, J. C., & Barros, L. V. (2016). Terremotos no Brasil: preparando-se para eventos raros. *Boletim SBGf*, (96), 25-29. Recuperado de http://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf
- Assumpção, M., Ferreira, J. M., Barros, L., Bezerra, F.H.R., França, G. ; Barbosa, J., Menezes, E. A. S., Ribotta, L. C., Pirchiner, M., Do Nascimento, A. F., Dourado, J. C. (2014) Intraplate Seismicity In Brazil. In: Pradeep Talwani. (Org.). *Intraplate Earthquakes*. 1ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, v. , p. 50-71.
- Assumpção, M., & Sacek, V. (2013). Intra-plate seismicity and flexural stresses in central Brazil. *Geophysical Research Letters*, 40(3), 487-491. <https://doi.org/10.1002/grl.50142>
- Assumpção, M., de Ardito, J., & Barbosa, J. R. (2010). An improved velocity model for regional epicentre determination in Brazil. In *IV SimBGf*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica.
- Assumpção, M., Schimmel, M., Escalante, C., Roberto Barbosa, J., Rocha, M., & Barros, L. v. (2004). Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical Journal International*, 159(1), 390-399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02357.x>
- Balachandran, N. K., Donn, W. L., & Rind, D. H. (1977). Concorde Sonic Booms as an Atmospheric Probe. *Science*, 197(4298), 47- 49. <https://doi.org/10.1126/science.197.4298.47>

- Barros, L. V., Assumpção, M., Ribotta, L. C., Ferreira, V., Carvalho, J. M., Bowen, B. M. D., & Albuquerque, D. (2018). Reservoir-triggered seismicity in Brazil: Statistical characteristics in a midplate environment. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108 (5B), 3046-3061. <https://doi.org/10.1785/0120170364>
- Barros, L. V., Assumpção, M., Quintero, R., & Caixeta, D. (2009). The intraplate Porto dos Gaúchos seismic zone in the Amazon craton — Brazil. *Tectonophysics*, 469, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.01.006>
- Barros, L. V. & Fontenele, D. P. (2004). PS07 Seismic Station - International Monitoring System - FINAL REPORT, Seismological Observatory of the University of Brasilia, July 2004, 184 p.
- Barros, L. V., & Fontenele, D.P. (2002). IS09 Infrasound Station - International Monitoring System, FINAL REPORT Site Preparation, Construction and Installation, Seismological Observatory of the University of Brasília, September 2002, 254 p.
- Bondár, I., Yang, X., North, R. G. & Romney C. (2001). Location Calibration Data for CTBT Monitoring at the Prototype International Data Center. *Pure appl. geophysics*. 158, 19-34. <https://doi.org/10.1007/PL00001155>
- Berrocal, J., Assumpção, M., Antezana, R., Dias Neto, C., Ortega, R., França, H., & Veloso, J. A. V. (1984). *Sismicidade do Brasil*. Published by IAG/USP and Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brazil, 320p.
- Bormann, P., Wendt, S., & DiGiacomo, D. (2013): Seismic Sources and Source Parameters. - In: Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP2)*, Potsdam : Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 1-259. https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch3
- Bratt, S. R., & Nagy W. (1991), *The LocSAT program*, Science Applications International Corporation, San Diego.

- Cansi, Y., & Klinger, Y. (1997). An automated data processing method for mini-arrays. *News Lett*, 11.
- Cansi, Y. (1995). An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. Method. *Geophysical Research Letters*, 22(9), 1021-1024. <https://doi.org/10.1029/95GL00468>
- Chimpliganond, C., Assumpção, M., von Huelsen, M., & França, G. S. (2010). The Intracratonic Caraíbas-Itacarambi earthquake of December 09, 2007 (4.9 mb), Minas Gerais State, Brazil. *Tectonophysics*, 480(1), 48-56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.016>
- Departamento de estado dos EUA - Bureau de informações internacionais: Um mundo livre de armas nucleares (2010). vol. 15 n. 2.
- Donn WL (1978). Exploring the atmosphere with sonic booms. Or how I learned to love Concorde. *Am Sci* 66:724-733
- França, G. S. & Assumpção, M. (2008). Reflexos no Brasil de terremotos distantes. *Ciência Hoje*, v. 42, p. 20-25.
- Gaebler, P., Ceranna, L., Nooshiri, N., Barth, A., Cesca, S., Frei, M., Grünberg, I., Hartmann, G., Koch, K., Pilger, C., Ross, J. O., & Dahm, T. (2019). A multi-technology analysis of the 2017 North Korean nuclear test. *Solid Earth*, 10(1), 59-78. <https://doi.org/10.5194/se-10-59-2019>
- Hagerty, M., Kim, W. Y., & Martysevich, P. (2001). Infrasonic detection of large mining blasts in Kazakstan. *Pure and Applied Geophysics*, 159. <https://doi.org/10.1007/s00024-002-8673-3>
- Johnston, A., & Kanter, L. (1990). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 262(3), 68-75. <http://www.jstor.org/stable/24996786>
- Johnston, A. C. (1989). The seismicity of 'stable continental interiors. In S. Gregersen & P. W. Basham (Eds.), *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and postglacial rebound* (pp. 299-327). NATO Science Series C: Mathematical and Physical Sciences,

266. Dordrecht, Netherlands: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-2311-9>
- Lawrence, M. W. (2004). Acoustic monitoring of the global ocean for the CTBT. *Proceedings of Acoustics, 2004*, 455 - 461p.
- le Pichon, A., Blanc, E., & Hauchecorne, A. (2010). *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*.
- Preparatory Commission of the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty - PrepCom - CTBTO (1998). *Seismic Technology in the verification of the CTBT*.
- Rocha, M. P., Azevedo, P. A., Marotta, G. S., Schimmel, M., & Fuck, R. (2016). Causes of intraplate seismicity in central Brazil from travel time seismic tomography. *Tectonophysics*, 680, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.005>
- Sampaio, M. F. N. O. (2012). *O Tratado de Proibição Total dos Testes Nucleares (CTBT): Perspectivas para sua entrada em vigor e para a atuação diplomática brasileira*. Brasília - DF: Editora Ideal, 460 p.
- Schulte, S. M., & Mooney, W. D. (2005). An updated global earthquake catalogue for stable continental regions: reassessing the correlation with ancient rifts. *Geophysical Journal International*, 161(3), 707-721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02554.x>
- Talwani, P. (Ed.). (2014). *Intraplate Earthquakes*. In *Intraplate Earthquakes* (pp. i-ii). Cambridge University Press. ISBN-13 : 978-1107040380
- Veloso, J. A. V. (2016). *A Sismologia na Universidade de Brasília, a história de uma área do saber com tradição e pioneirismo, criatividade e inovação*. 1 Edição. Brasília - DF: Editora Universidade de Brasília, 340 p
- Veloso, J. A. V. (1997). *O Observatório Sismológico da Universidade de Brasília - realizações e projetos*, UnB, 47p.
- Veloso, J. A. V. & Carvalho J. M. (1993). Um novo sistema sismográfico para o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, *Anais do 3º Congresso Internacional da SBGf*, Vol.1 572-574, Rio de Janeiro, 1993.

| **Lista de sites** |

<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-barack-obama-prague-delivered>

<https://www.megacurioso.com.br/guerras/67241-as-10-armas-nucleares-mais-poderosas-ja-feitas.htm>

<https://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/world-overview/>

<http://www.nww2m.com/2015/03/scitech-tuesday-plans-for-the-gadget/>

<https://www.tribuneindia.com/news/schools/cold-war-nuclear-tests-changed-rainfall-pattern-87991>

<https://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/world-overview/>

<https://www.ctbto.org/map/#mode=nuclear>

<https://www.megacurioso.com.br/guerras/67241-as-10-armas-nucleares-mais-poderosas-ja-feitas.htm>).

<https://www.ctbto.org/the-treaty/status-of-signature-and-ratification/>).

<https://www.unido.org/news/g77s-vienna-chapter-chairmanship-handover-ceremony>

<https://swp.ctbto.org/web/swp/tsunami>

https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/public_information/2015/CSA_final_2015_web.pdf

<https://www.tribuneindia.com/news/schools/cold-war-nuclear-tests-changed-rainfall-pattern-87991>

<https://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Hardtack1.html>

<https://sibnarkomat.livejournal.com/28817546.html>

<http://www.ird.gov.br/index.php/component/content/article/59-ird/laboratorios/101-estacao-de-radionuclideos-do-ctbto>

SeisComp3.org 2011

<http://nuclearweaponarchive.org/India/IndiaShakti.html>

http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclear-weapons/history/post-cold-war/india-pakistan/background_information/pakistan_nuclear_weapons.htm

AIEA: Agência Internacional de Energia Atômica: Organização das Nações Unidas estabelecida em 29 de julho de 1957, com sede em Viena - Áustria. Tem como objetivo a promoção do uso pacífico da energia nuclear e o desencorajamento do uso para fins militares de armas nucleares. Constitui um fórum intergovernamental para a cooperação científica e técnica do uso pacífico da tecnologia nuclear. A partir 1990, a AIEA passou a fazer inspeções e investigações de suspeitas violações do Tratado de Não-Proliferação Nuclear. Contudo, caso encontre indícios de uso militar em programas que inspeciona, apenas poderá reportá-los ao Conselho de Segurança das Nações Unidas, que detém o poder exclusivo de realizar medidas coercitivas.

Beamforming: Técnica de melhoramento na relação sinal-ruído por meio da soma de vários sinais de um mesmo evento registrado em vários elementos de um arranjo. É a principal vantagem de uma estação do tipo arranjo, pois permite detectar sinais fracos de pequenos eventos próximos ou de eventos grandes distantes.

Autoridade Nacional: Principal ponto de contato de um Estado Parte, serve como ponto central de ligação da Organização com outros Estados Partes.

Bomba de fissão ou bomba atômica: O termo fissão significa quebra. Então, na bomba de fissão, o núcleo de um átomo se rompe. O isótopo de urânio 235, por ter três nêutrons a menos, captura nêutrons livres que se tornam altamente instáveis. Esta instabilidade é tamanha que ele se quebra em dois outros elementos

(bário e criptônio) e libera três nêutrons, gerando uma quantidade enorme de energia. Esses três nêutrons tendem a romper outros três núcleos, os quais liberarão nove nêutrons, que liberarão 27 e, assim, sucessiva e exponencialmente. Se essa reação for muito rápida, ocorre uma grande explosão.

Bomba de fusão ou bomba H: A fusão significa a união de dois ou mais núcleos, resultando em um novo elemento mais pesado. Quando isso acontece, o novo elemento formado é mais estável, daí a grande liberação de energia. Quando dois isótopos de hidrogênio se fundem, formam um átomo de hélio. Esta reação é a responsável pela energia do sol e da maioria das estrelas. Para o início de uma reação como essa, necessita-se de altas pressões e altas temperaturas. No Sol, isso é conseguido pela enorme massa dele mesmo, que provoca altíssimas pressões, e pela continuidade das reações de fusão. Na bomba H, essas pressões e temperaturas são obtidas com a detonação de uma bomba de fissão, que é o detonador. A bomba de hidrogênio é cerca de mil vezes mais potente que a de urânio.

Conselho Executivo da CTBTO: Instância principal decisória da Organização responsável pela supervisão das atividades do Secretariado Técnico.

Corrida armamentista: Processo pelo qual um país procura armar-se com o intuito de proteger-se de outro país. Este, por sua vez, ao sentir-se ameaçado pelo aumento do poder militar do outro, responde investindo em armamentos cada vez mais poderosos (https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrida_armamentista).

CTBT: Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty). Proíbe a realização de quaisquer testes nucleares em quaisquer ambientes.

CTBTO: Organização do Tratado de Proibição Total dos Testes Nucleares (Comprehensive Nuclear Test-Ban-Treaty Organization). Tem o objetivo de realizar os preparativos necessários à efetiva implementação do CTBT e garantir a operacionalização do regime de verificação do Tratado, quando da sua entrada em vigor.

Era atômica ou era nuclear: Período da história posterior à realização da primeira explosão nuclear pelos Estados Unidos, em 16 de julho de 1945. Nesse período, a fabricação e utilização de armas atômicas ou nucleares difundiu-se amplamente. Entre o início da era atômica até 2017, mais de 2000 bombas nucleares foram detonadas com fins bélicos ou pacíficos, a maioria relacionada com a realização de testes nucleares.

Escala Richter: Mede o tamanho de um terremoto e está relacionada com a quantidade de energia liberada no foco sísmico. Como explosões químicas e nucleares geram ondas sísmicas que podem ser detectadas por sismógrafos, a medida das amplitudes dessas ondas é também uma medida da energia explosiva convertida em ondas sísmicas.

Estados Partes: Estados signatários do Tratado - países que assinaram o Tratado antes de sua entrada em vigor e países que assinaram e ratificaram o CTBT após a sua entrada em vigor.

Ground-Thru (GT) event: Evento localizado com boa precisão, por exemplo de 5 km (evento GT5), com um nível de confiança de 95% na localização, juntamente com os tempos de percurso associados a estações regionais (100-2000 km).

Guerra Fria: Período entre 1945 (explosão da primeira bomba nuclear) e 1991 (fim da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas - URSS), no qual USA e URSS disputavam poder tanto em armas quanto em tecnologia aeroespacial, por exemplo. A guerra fria, responsável

pela corrida armamentista, implicava também uma estratégia de dominação, em que as alianças regionais e a instalação de bases militares eram de extrema importância. Os exércitos de ambos os lados possuíam centenas de soldados, armas convencionais, armas mortais, mísseis de todos os tipos e alcances, inclusive nucleares, que estavam permanentemente apontados para o inimigo.

GTA: Grupo de Trabalho A da Organização CTBTO, instância deliberativa responsável por questões políticas, administrativas e orçamentárias (Working Group A - WGA).

GTB: Grupo de Trabalho B da Organização CTBTO, instância deliberativa responsável por questões técnicas e científicas (Working Group B - WGB).

IDC: Centro Internacional de Dados (International Data Center). Responsável pela recepção, armazenamento, análise dos dados do IMS, bem como pela sua divulgação junto aos países signatários do Tratado CTBT.

IMS: Sistema Internacional de Monitoramento (International Monitoring System). Rede mundial de sensores de quatro tecnologias: sísmica, hidroacústica, infrassônica e de radionuclídeos para monitorar o cumprimento do CTBT.

IRD: Instituto de Radioproteção e Dosimetria, localizado na cidade do Rio de Janeiro, responsável pela operação e manutenção da estação de radionuclídeos RN11 e pelo único laboratório de Radionuclídeos do IMS no Brasil.

Hidrofone: Sensor que funciona à base de um microfone subaquático, que detecta ondas hidroacústicas ou ondas sonoras na água.

Magnitude: É uma medida quantitativa da energia liberada por um terremoto, pois usa medida instrumental de parâmetros da onda sísmica.

mica, que reflete a quantidade de energia associada a cada terremoto. Neste sentido, podemos usar as amplitudes das ondas de superfície (magnitude M_s) ou das ondas de corpo (body waves - magnitude m_b).

Magnitude de ondas de superfície (M_s): Magnitude na qual são usadas medidas das amplitudes das ondas de superfície.

Magnitude de ondas de corpo (m_b): Magnitude na qual são usadas medidas das amplitudes das ondas de corpo, no caso a onda P.

Magnitude Regional (mR): Escala de magnitude desenvolvida por Assumpção (1983) para expressar o tamanho dos sismos com epicentro no Brasil. É equivalente à escala de magnitude de ondas de corpo (m_b).

Megaton (Mt): Unidade de medida de potência de uma bomba nuclear, usada para quantificar a liberação de energia e, portanto, o poder destrutivo de uma arma nuclear. 1 Mt equivale a 1 milhão de toneladas de TNT.

Microbarômetro: Sensor capaz de medir pequenas variações de pressão na atmosfera causadas por ondas infrassônicas (frequências inaudíveis pelo ouvido humano, abaixo de 20Hz). O modelo mais comum de sensor utiliza uma cápsula barométrica sob vácuo com uma ferrite anexada à parte superior. Essa cápsula sofre microdeformações devido a mudanças de pressão, que induzem uma variação na posição da ferrite, envolta por um Transformador LVDT (Linear Variable Differential Transformer - Transformador Diferencial Variável Linear) de alta resolução, que converte os nanodeslocamentos (dezenas de nm/Pa) da ferrite em sinais elétricos, que são filtrados e amplificados.

Missão Permanente em Viena: Representação diplomática brasileira junto à ONU para CTBTO e AIEA.

NDC: Centro Nacional de Dados (National Data Center). Organização com conhecimento técnico em tecnologias de verificação que funciona como parte ou sob a orientação de uma autoridade nacional, que é o principal ponto de contato de um Estado Parte.

Ondas sísmicas: Vibrações mecânicas do solo produzidas por terremotos e explosões. A energia liberada por um terremoto ou por uma explosão química/nuclear é convertida em vibrações mecânicas, que se propagam pelo interior da Terra em todas as direções. As ondas sísmicas podem ser de dois tipos: ondas de corpo (ondas P e S) e ondas de superfície (ondas Rayleigh e Love), que se propagam pela superfície da Terra. Sua classificação depende da forma com que o chão se movimenta ou vibra em resposta à passagem das ondas sísmicas.

Ondas P: Também chamadas de ondas primárias, porque se propagam mais rápido do que os outros tipos de ondas. São ondas com movimentos longitudinais, as partículas que constituem o meio são deslocadas na mesma direção em que as ondas se propagam e o material é estendido e comprimido. As ondas P são análogas às ondas sonoras, que se propagam pelo ar.

Ondas S: Chamadas também de ondas secundárias, porque se propagam mais lentamente do que as ondas P. As partículas são deslocadas em uma direção perpendicular à direção de propagação, são também conhecidas como ondas transversais.

Ondas de Superfície: Como as ondas de corpo, existem dois tipos de ondas de superfície, ondas Love e ondas Rayleigh, que se diferenciam entre si pelo tipo de movimento de partículas que elas impõem ao meio. São ondas que se propagam ao longo da superfície. Sua amplitude na superfície da Terra pode ser muito grande e se atenuam mais lentamente do que as ondas de corpo, mas

decrecem exponencialmente com a profundidade. Propagam-se a velocidades mais lentas do que as ondas P e S.

UN: United Nations (Nações Unidas - ONU) - Organização intergovernamental, criada em 24 de outubro de 1945, após o término da II Guerra Mundial, para promover a cooperação internacional com a intenção de impedir um conflito semelhante.

OSI: Inspeção In Situ ou inspeção no local (On-Site Inspection) da CTBTO.

P5: Estados nuclearmente armados reconhecidos pelo TNP: Estados Unidos, Rússia, Reino Unido, França e China. Também são membros permanentes do Conselho de Segurança das Nações Unidas.

PrepCom: Comissão Preparatória (Preparatory Commission) da CTBTO - Instância deliberativa política máxima da CTBTO, enquanto o Tratado não entrar em vigor.

PTS: Secretariado Técnico Provisório da CTBTO (Provisional Technical Secretariat - PTS). O PTS auxilia a CTBTO na execução das atividades de seu mandato, incluindo o estabelecimento do regime de verificação e a promoção do Tratado em todos os seus aspectos.

Quiloton (kt): Unidade de medida de potência de uma bomba nuclear, usada para quantificar a liberação de energia e, portanto, o poder destrutivo de uma arma nuclear. 1 kt equivale a 1000 toneladas de TNT (trinitrotolueno).

Security Web Portal: Site por meio do qual os Estados Partes têm acesso aos dados do IMS e produtos do IDC.

Sismômetro: Dispositivo que sente ou detecta as ondas sísmicas. É um transdutor de energia que converte as vibrações mecânicas do chão, dependente do tempo, provocadas pela passagem das

ondas sísmicas, em uma corrente elétrica, também função do tempo, de baixas amplitude e frequência.

TNP: Tratado de não Proliferação de Armas Nucleares (Treaty on Non - Proliferation of Nuclear Weapon - TNP). Assinado por 189 países, 5 dos quais são detentores de armas nucleares (Estados Unidos, Rússia, França, Reino Unido e China). Tem como objetivo: impedir a disseminação de armas nucleares e suas tecnologias; promover a cooperação no uso pacífico da energia nuclear e promover o desarmamento nuclear geral e completo.

TNT: Trinitrotolueno - material explosivo composto de um anel tolueno, associado a três átomos de dióxido de nitrogênio (NO₂). É uma substância sólida amarela cristalina com um alto poder explosivo. Devido à sua alta instabilidade, detona a temperaturas relativamente baixas, por volta de 80°C, ou com a presença de uma faísca elétrica. A combustão se deve à presença de átomos de oxigênio na sua estrutura molecular. Este composto foi inventado devido às necessidades de guerra, por volta da Primeira Guerra Mundial, mas também é utilizado para fins pacíficos em implosões/explosões de prédios, edificações e abertura de túneis.

Teste nuclear: Teste experimental que envolve a detonação de uma arma nuclear, normalmente para verificar o seu funcionamento e estudar os seus efeitos, i.é, como a arma se comporta sob condições diversas e como as estruturas se comportam quando submetidas à arma. No entanto, testes nucleares têm sido também usados como demonstração da força militar e científica do país que o realiza.

VSAT: Estação terrestre de comunicação via satélite com antena parabólica (Very Small Aperture Terminal).

Biografia dos autores



Lucas Vieira Barros

Professor associado da Universidade de Brasília. Possui graduação em Engenharia Eletrônica, mestrado em Engenharia de Telecomunicações e doutorado em Geociências (Sismologia). Tem experiência na área de Geofísica, com ênfase em Sismologia, atuando, principalmente, nos seguintes temas: sismicidade brasileira - natural e induzida por reservatórios; estrutura crustal, fontes sísmicas e atenuação de ondas sísmicas. Participou de vários treinamentos sobre as tecnologias sísmicas e infrassônicas em diferentes países. Trabalha no Observatório Sismológico da Universidade de Brasília há 39 anos, dos quais 18 como chefe, quando foi responsável pelos programas de monitoramento sismológico da maioria dos grandes reservatórios hidrelétricos brasileiros e pelo estabelecimento de cooperação com a ONU na verificação do Tratado de Proibição Completa de Testes Nucleares. Coordenou a implantação da única estação brasileira de infrassom e da estação sísmica primária PS07 do Sistema Internacional de Monitoramento de explosões nucleares. Atualmente, participa dos ensinos de graduação e pós-graduação dos cursos de Geologia e Geofísica do Instituto de Geociências, orienta alunos de mestrado e doutorado do programa de pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.



Brandow Lee Neri

Graduado em Geofísica pela Universidade de Brasília, com projeto de conclusão de curso na área de Infrassom, uma das quatro tecnologias de verificação do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares. Atualmente, é aluno de mestrado no Programa de Geociências Aplicadas e Geodinâmica do Instituto de Geociências da UnB, com bolsa do Observatório Sismológico, onde atua como analista de sinais infrassônicos desde 2016. Tem treinamento na ONU sobre as tecnologias de verificação do CTBT e apresentou vários trabalhos em congressos nacionais e internacionais sobre a tecnologia infrassônica.



Juraci Mário de Carvalho

Pesquisador do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, servidor do quadro permanente, onde trabalha há mais de 35 anos. Tem mestrado e doutorado em Geofísica (Sismologia) pela Universidade de Brasília. Participou de treinamento em sismologia no Japão, Estados Unidos e Áustria. Com experiência no monitoramento sismológico de reservatórios. Trabalhou doze anos em um organismo das Nações Unidas (ONU) com as tecnologias sísmica e infrassônica, na implantação da Rede IMS para verificação do CTBT. Atua como subcoordenador em projetos de pesquisa em Sismologia e de monitoramento sismológico de reservatórios hidrelétricos, junto ao Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília.



Darlan Portela Fontenele

Servidor do quadro permanente do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília há mais de trinta anos, onde tem forte atuação na área técnica como coordenador de operação da Rede Sismográfica Brasileira, regiões Norte e Centro-Oeste. Foi responsável técnico pela implantação das estações sísmica primária (PS07) e infrassônica (IS09) do Sistema Internacional de Monitoramento de explosões nucleares. E, nos últimos vinte anos, vem sendo o operador local dessas duas estações junto à Organização do Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBTO). Foi responsável pela implantação de inúmeras estações sismográficas em áreas de barragens de hidrelétricas e pela implantação da primeira estação sismográfica brasileira com comunicação via satélite. Tem diversos treinamentos na Europa e nos Estados Unidos nas áreas das tecnologias sísmica e infrassônica. Tem graduação em redes de computadores e especialização na mesma área. Atualmente integra o grupo de estudos infrassônicos do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília.



Universidade de Brasília



**OBSERVATÓRIO
SISMOLÓGICO**



IG | Instituto de Geociências



Impresso no Brasil: Grafica e Editora Copiart



Projeto Gráfico, Design, Editoração e produção:



Recursos utilizados:



Projeto gráfico:

Formato: 155x220mm - Capa: CARTÃO SUPREMO 300g
impresso a 4/0 cor + laminação BOPP fosca + verniz UV localizado;

Miolo: 152 páginas em Off Set 90g com 4/4 cor;

Acabamento: Lombada quadrada, vinco reto, costurar, intercalar/alcear,
dobrar, prensar/colar, cola hot melt.