

# O Evento de Tunguska de 1908 nos registos do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra

Fernando C. Lopes<sup>1a</sup>, Ana I. Gomes<sup>2a</sup>, Paulo Ribeiro<sup>2b</sup> & Eduardo I. Alves<sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, Polo II, Rua Sílvio Lima, P-3030 790 Coimbra, Portugal. E-mail: <sup>a</sup>fcarlos@dct.uc.pt; <sup>b</sup>livo@dct.uc.pt

<sup>2</sup> Universidade de Coimbra, CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, Observatório Geofísico e Astronómico, Almas de Freire - Santa Clara, P-3040 004 Coimbra, Portugal. E-mail: <sup>a</sup>ana.im.gomes78@gmail.com; <sup>b</sup>pribeiro@ci.uc.pt

**Resumo:** A explosão de Tunguska, que ocorreu na Sibéria Central na manhã do dia 30 de junho de 1908 (cerca das 0 h 13 min, hora GMT), devastou uma grande área de floresta e desencadeou importantes perturbações geofísicas, meteorológicas e biológicas. Em diversos locais da Eurásia setentrional e central foram registados abalos sísmicos, flutuações na pressão atmosférica e anomalias no campo geomagnético. Nesta época, faziam-se observações magnéticas, meteorológicas e sísmicas no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra (OMMUC). Neste trabalho, procedeu-se à análise dos registos sísmicos e magnéticos pertencentes ao espólio histórico do antigo OMMUC, com o objetivo de identificar qualquer perturbação que pudesse ser atribuída ao Evento de Tunguska. Foi possível concluir que a vibração sísmica provocada pela explosão de Tunguska foi registada, o mesmo não acontecendo com a perturbação geomagnética.

**Palavras-chave:** Evento de Tunguska de 1908, Observatório Meteorológico e Magnético, Registos magnéticos, Registos sísmicos, Universidade de Coimbra.

**Abstract:** *The Tunguska explosion, occurred in Central Siberia on the morning of June 30, 1908 (around 0 h 13 min, GMT), devastated a large area of forest and triggered major geophysical, meteorological and biological disturbances. Seismic shocks, fluctuations in atmospheric pressure and anomalies in the geomagnetic field have been recorded in several places in northern and central Eurasia. At that time, magnetic, meteorological and seismic observations were made at the Meteorological and Magnetic Observatory of the University of Coimbra*

*(Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra; OMMUC). In this work, we proceeded to the analysis of the seismic and magnetic records belonging to the documental heritage of the old OMMUC, in order to identify any disturbance that could be attributed to the Tunguska Event. It was possible to conclude that, while the seismic vibration caused by the Tunguska explosion was registered, the same did not happen with the geomagnetic disturbance.*

**Keywords:** *Magnetic records, Meteorological and Magnetic Observatory, Seismic records, Tunguska Event of 1908, University of Coimbra.*

## Introdução

Na manhã de 30 de junho de 1908, algo vindo do espaço exterior explodiu sobre a taiga da Sibéria Central com um clarão cegante e um impacto incrivelmente destruidor. Estima-se que esta poderosa explosão, acompanhada por uma radiação térmica ionizante e por precipitação moderadamente radioativa (e.g. Rubtsov, 2012; Johnston & Stern, 2019), foi equivalente à detonação de 30 a 50 milhões de toneladas de TNT (Pasechnik, 1976), arrasando cerca de 2150 km<sup>2</sup> de floresta, derrubando cerca de 30 milhões de árvores e ateando incêndios que duraram vários dias (Fig. 1). Árvores gigantescas com quase 1 m de diâmetro foram despedaçadas como se fossem paus de fósforos, dando origem a uma paisagem desoladora, única e fantástica (e.g. Rubtsov, 2009, 2012). A detonação foi tão violenta que os sismógrafos das estações sísmicas de Irkutsk (900 km a sul), São Petersburgo (3500 km a oeste) e Jena (Alemanha, 5200 km) registaram a vibração provocada por tal fenómeno (e.g. Krinov, 1949; Rubtsov, 2012). As ondas de choque quase fizeram descarrilar o comboio transiberiano, a 600 km do local da explosão. Flutuações da pressão atmosférica, num período de 20 min, foram detetadas nas estações meteorológicas da Rússia e da Grã-Bretanha (e.g. Zolotov, 1967, 1969; Rubtsov, 2012). Minutos após a explosão, perturbações do campo geomagnético foram também detetadas em território russo (Irkutsk) (Ivanov, 1961, 1964; Zhuravlev, 1998). Durante dois meses, por todo o hemisfério norte, as noites foram invulgarmente brilhantes (“noites luminosas”, Turco et al., 1982).

Em 1908, em Portugal, como em todo o mundo ocidental, ninguém ouviu falar da explosão devastadora que assolou a Sibéria Central e que desencadeou uma série de perturbações geofísicas, biológicas e químicas. A consulta de vários jornais nacionais (Diário de Notícias, o Século, Notícias de Coimbra, O Defeza) do ano de 1908, que faziam menção a vários acontecimentos a nível internacional, mostrou que nada foi escrito relativamente ao Evento de Tunguska.

Nessa altura, funcionava na Universidade de Coimbra o Observatório Meteorológico e Magnético, fundado em 1864 (e.g. Custódio et al., 2010; Ribeiro et al., 2011), e que desde 1903 efetuava também observações sismográficas de forma contínua (e.g. Custódio et al., 2012). Atualmente, continuam a efetuar-se observações meteorológicas, magnéticas e sismográficas, agora integradas no Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC). É também neste observatório que está guardado todo o espólio histórico documental e instrumental, ainda existente, do Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra (OMMUC), desde a sua fundação. O objetivo

deste trabalho é identificar, na coleção histórica existente, os registos sísmico e magnético do maior impacto cósmico dos tempos modernos, e proceder à sua caracterização.

## Enquadramento Histórico

### O acontecimento

No alvorecer do dia 30 de junho de 1908, uma gigantesca bola de fogo, vinda do espaço exterior, cruzou rapidamente os céus da Ásia Central, avançando vertiginosamente para norte. Subitamente, cerca das 7 h 17 min, hora local (cerca das 0 h 13 min GMT; Pasechnik, 1986), quando se encontrava por cima da remota região siberiana de Tunguska ( $60^{\circ} 55' N$ ,  $101^{\circ} 57' E$ ) (Fig. 1), explodiu na alta atmosfera num clarão cegante, produzindo um impacto incrivelmente destruidor e aterrorizando os poucos habitantes da região.

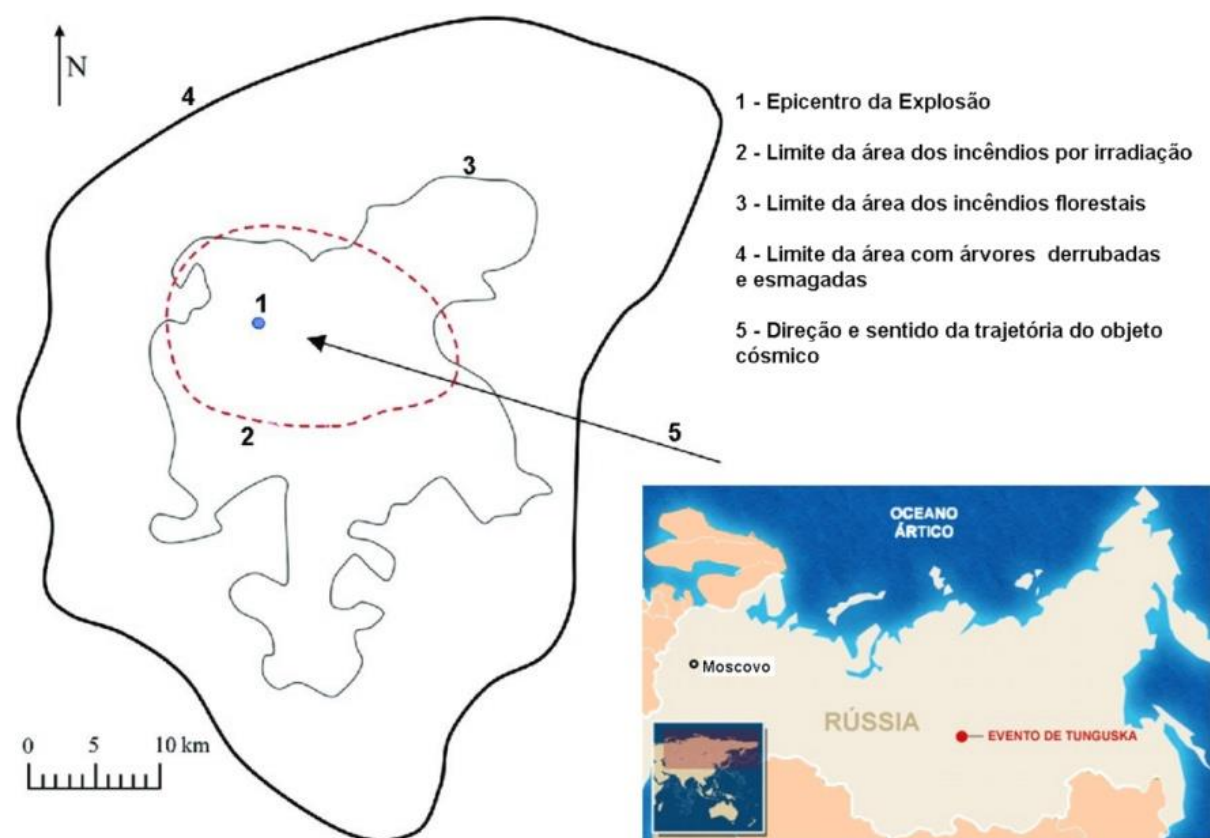


Figura 1 - Mapa simplificado com a área de floresta arrasada pela explosão de Tunguska e com a trajetória aproximada do objeto cósmico [Fonte: adaptado de Johnston & Stern, 2019].

Esta explosão, mais tarde equiparada à detonação de 30-50 mega toneladas de TNT (Pasechnik 1976), arrasou cerca de 2150 km<sup>2</sup> de floresta, carbonizando instantaneamente milhares de árvores num clarão de fogo. Gigantescas coníferas, com cerca de 1 m de diâmetro, foram rachadas como paus de

fósforos, dando origem a uma paisagem de desolação e morte, única e fantástica. O ruído da explosão foi ouvido a milhares de quilômetros de distância. Ao mesmo tempo que uma cegante coluna de fogo se elevava no céu, uma calcinante corrente térmica varreu a taiga provocando incêndios que duraram vários dias. A lufada de ar tórrido foi seguida por três ondas de choque atmosférico, que quase descarrilaram o comboio transiberiano, a 600 km de distância do “epicentro”, e que deram 2 vezes a volta à Terra. Variações na pressão atmosférica foram registadas nas estações meteorológicas da Rússia e da Grã-Bretanha (e.g. Zolotov, 1967, 1969; Rubtsov, 2012). Sismos foram registados em Irkutsk (900 km ao sul), São Petersburgo (3500 km a oeste) e em Jena, na Alemanha (5200 km a sudoeste). Minutos após a explosão ocorreu uma tempestade magnética regional, que durou cerca de cinco horas, e que foi detetada pelo Observatório Magnético e Meteorológico de Irkutsk (Ivanov, 1961, 1964; Zhuravlev, 1998; Rubtsov, 2012). A quantidade de poeira fina acumulada na estratosfera foi de tal ordem que, durante 2 dias, foi possível ler durante a noite, nas ruas de Londres, a 10 000 km dali, devido à dispersão da luz (e.g. Krinov, 1966; Turco et al., 1982).

## **As descobertas**

Durante muito tempo, o mundo ignorou este desastre, noticiado apenas em jornais locais. A situação geográfica da região atingida e os graves conflitos políticos e sociais em que a Rússia se encontrava mergulhada contribuíram para que este estranho fenómeno caísse no esquecimento. Só dez anos após a Revolução Bolchevique é que as primeiras expedições científicas, chefiadas pelo jovem mineralogista russo Leonid Kulik (1883-1942), penetraram na região para examinar o solo e recolher relatos das testemunhas. Na zona de impacto, e para sua surpresa, não encontraram cratera nem restos de meteoritos, mas apenas uma área, próximo do centro da explosão, onde as árvores, despidas de ramos, ainda se mantinham de pé, como postes telegráficos (Kulik, 1927). Em redor, e dispostas radialmente, milhares de outras árvores jaziam por terra, o que evidenciava que a explosão ocorrera não junto ao solo, mas no ar, imediatamente por cima da floresta, a uma altitude de 6 a 8 km (e.g. Rubtsov, 2012).

Estas pesquisas, embora não tenham conduzido a uma explicação plausível quanto à origem do cataclismo, conseguiram alertar a comunidade científica internacional para este misterioso acontecimento. Nos anos 50 e 60 do século XX, expedições ao local identificaram esférulas de níquel e magnetite nos solos e incrustadas nos troncos das árvores (Florenskiy et al., 1960). Também foram detetados níveis elevados de elementos químicos raros, nomeadamente irídio (Hou et al., 1998), e anomalias isotópicas de carbono e hidrogénio (Kolesnikov et al., 1999), o que confirmava a origem extraterrestre da explosão. Por outro lado, confirmou-se a ocorrência de uma fraca, mas perceptível, precipitação radioativa após a explosão de Tunguska, a partir da identificação de picos de radioatividade, datada de 1908, em árvores que morreram antes de 1945 (Mekhedov, 1967; Vasilyev & Andreev, 2006).

## **Explicações propostas**

Desde então, várias têm sido as hipóteses sugeridas para explicar a catástrofe: 1) explosão na atmosfera de um meteoro férrico ou pétreo (Kulik, 1927; Krinov, 1949); 2) explosão na atmosfera de um núcleo cometário (Grigoryan, 1976); 3) poderia ter sido causada por um pedaço de antimatéria (em teoria, a antimatéria é a imagem de espelho da matéria vulgar, mas com carga elétrica oposta), destruído ao entrar em contacto com a matéria terrestre e desaparecendo num jacto de raios gama (Cowan et al., 1965); 4) um miniburaco negro (teoricamente, um buraco negro é um corpo celeste que se forma quando estrelas envelhecidas, com massas muito superiores à do Sol, colapsam para dentro de si próprias, tornando-se tão densas que a sua força gravitacional bastaria para que nada escapasse, nem mesmo a luz), que teria atravessado a Terra na Sibéria e saído do outro lado (Jackson & Ryan, 1973); 5) explosão termonuclear natural de um núcleo cometário (D'Alessio & Harms, 1989); 6) explosão nuclear de uma nave espacial de qualquer civilização avançada (Kazantsev, 1946); e 7) a explicação mais concordante com os factos é a que admite que, em 1908, um pedaço de um cometa atingiu a Terra (e.g. Wipple, 1930; Wick & Isaacs, 1974; Brown & Hughes, 1977; Kresak, 1978; Kelley et al., 2009). O que se sabe, realmente, é que em Tunguska houve uma tremenda explosão, uma grande onda de choque e um enorme incêndio que devastou uma floresta, mas não existe cratera no local do impacto. Ora, um cometa é principalmente constituído por gelo: gelo de água ( $H_2O$ ), de metano ( $CH_4$ ) e de amoníaco ( $NH_3$ ). Ao atingir a atmosfera terrestre, um modesto fragmento cometário daria origem a uma gigantesca bola de fogo e a uma violenta explosão, que arrasaria florestas e seria ouvida em todo o mundo. Como os gelos se derreteriam ao entrar na atmosfera, não teria sobrado massa suficiente para abrir no solo uma grande cratera. Restariam apenas restos de grãos das partes não geladas do núcleo cometário. Segundo Kresak (1978), o Evento de Tunguska poderá ter sido provocado pelo impacto de um fragmento do cometa Encke, um pedaço substancialmente maior do que os fragmentos minúsculos que provocam as chuvas de meteoros brilhantes e inofensivas, as Táuridas.

Em 2007, cientistas da Universidade de Bolonha propuseram que o lago Cheko, um pequeno lago circular situado a cerca de 8 km a nor-noroeste do local da explosão, seria a cratera de impacto de um fragmento do bólido de Tunguska de 1908 (Gasperini et al., 2009). Contudo, em 2017, novas descobertas feitas por cientistas russos apontaram para que o lago Cheko seja, pelo menos, 280 a 390 anos mais antigo que o Evento de Tunguska, o que o exclui de ser um vestígio dessa explosão (Rogozin et al., 2017).

## **Nova explicação**

A 15 de fevereiro de 2013, um meteoro menor, mas ainda impressionante, explodiu na atmosfera perto de Chelyabinsk, na Rússia, proporcionando novas evidências para ajudar a resolver o mistério de Tunguska. Essa bola de fogo, altamente documentada, criou uma oportunidade para os cientistas

aplicarem técnicas modernas de modelação por computador para explicar o que foi visto, ouvido e sentido aquando o impacto de Tunguska (Heimann et al., 2013). Concluiu-se que o candidato mais provável para o Evento de Tunguska terá sido um corpo pétreo com 50 a 80 m de diâmetro, que entrou na atmosfera a aproximadamente 55 000 km/h, explodindo a uma altitude de 10 a 14 km e libertando uma energia explosiva equivalente a 10-30 megatoneladas de TNT.

Atualmente, celebra-se a 30 de junho o Dia do Asteroide, recordando aquilo que é agora conhecido como o “Evento de Tunguska”.

## **Metodologia**

Para a realização do presente trabalho, foram aplicadas as seguintes metodologias: i) pesquisa bibliográfica sobre o Evento de Tunguska; ii) pesquisa, identificação e caracterização dos registos sísmico e magnético do Evento de Tunguska, obtidos no antigo Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

## **Registo instrumental dos efeitos físicos do Evento de Tunguska no Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra**

### **Registo sísmico**

O OMMUC, fundado em 1864, atualmente denominado como Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra, após a sua fusão com o Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra em 2013, foi a primeira instituição nacional a possuir uma estação sísmica (estação COI) e a efetuar observações sísmicas em Portugal (Custódio et al., 2010). Apesar de tais registos se terem iniciado em 1892, com o sismógrafo de Angot, foi apenas com a aquisição e instalação do sismógrafo de Milne (Custódio et al., 2012) que, a partir de 11 de maio de 1903, as observações telúricas passaram a ser em regime contínuo (Fig. 2). Este sismógrafo, adquirido em 1901, era composto por um pêndulo com período natural de aproximadamente 20 s, com um fator de amplificação de 10 e registava a componente horizontal do movimento do solo na direção E-W em rolos de papel fotográfico com duração semanal. O papel tinha 4,9 cm de largura, sendo 3,4 cm de área de registo, e cada rolo possuía cerca de 10,5 m de comprimento total. O registo era feito através da entrada de luz, e apresentava a sinalização horária, em que cada intervalo de 1 h correspondia a 6 cm (Fig. 3). Cada rolo apresenta a inscrição exterior semelhante ao observado na figura 2, estando assinalado de forma sequencial o número do rolo, o ano, o mês e a semana a que respeita. Todavia, relativamente à anotação da hora a que o rolo era colocado e retirado, isso só acontecia caso o rolo possuísse um registo identificado como um evento sísmico. Na figura 4, encontra-se um exemplo da anotação horária de retirada de um rolo de registo.

Figura 2 - Primeiro rolo de registo do sismógrafo de Milne do antigo Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

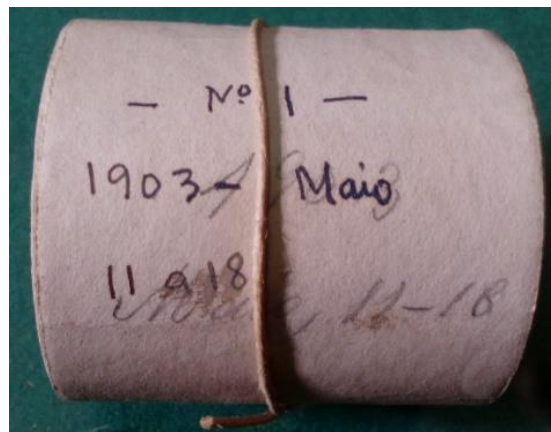
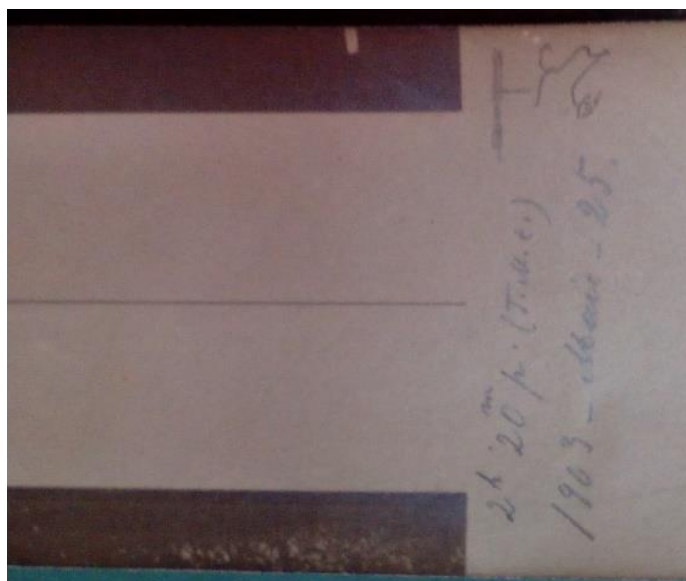


Figura 3 - Registo do sismógrafo de Milne com régua graduada para verificação da distância entre dois sinais horários consecutivos.



Figura 4 - Anotação da hora a que foi retirado o rolo de registo do sismógrafo de Milne no dia 25 de maio de 1903.



O OMMUC iniciou, a 31 de março de 1865, a publicação das observações meteorológicas efetuadas desde 1864 (Fig. 5).

Pese embora as observações sísmicas se tivessem iniciado em 1892, apenas no anuário do OMMUC referente ao ano de 1909 foram publicadas pela primeira vez as análises dos sinais sísmicos registados pela estação sísmica COI. Gomes e Lopes (2017), pela análise detalhada efetuada aos rolos de registo do sismógrafo de Milne ainda existentes no espólio do OMMUC relativos a esse ano, constataram que sinais sísmicos de menor amplitude não eram considerados como atividade telúrica, não sendo nem analisados e nem publicados.

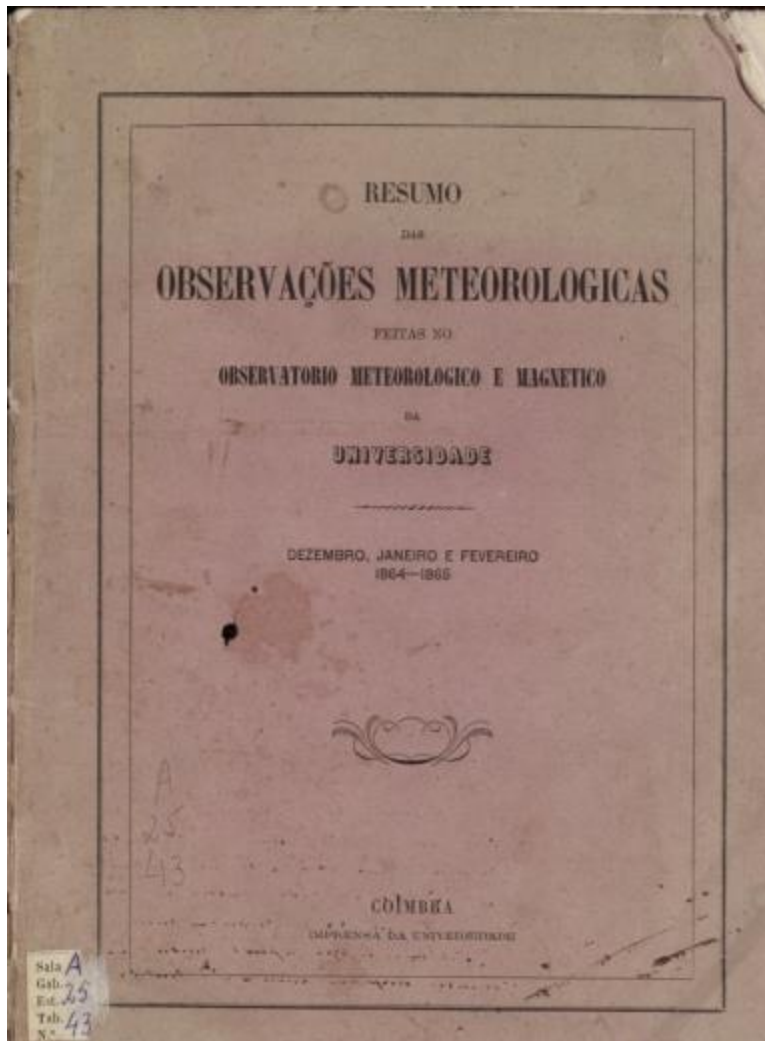


Figura 5 - Primeira publicação das observações meteorológicas efetuadas no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

No que respeita ao registo sísmico relativo à explosão do Evento de Tunguska, algumas das estações sísmicas existentes na altura registaram a oscilação do solo nos seus equipamentos (Rubtsov, 2012). É disso exemplo o registo sísmico obtido no Observatório Magnético e Meteorológico de Irkutsk (Fig. 6), o mais próximo do local da ocorrência. Pela análise da informação facultada na figura 6 é possível constatar que o registo sísmico no referido observatório teve uma duração de cerca de 1h 27 min.



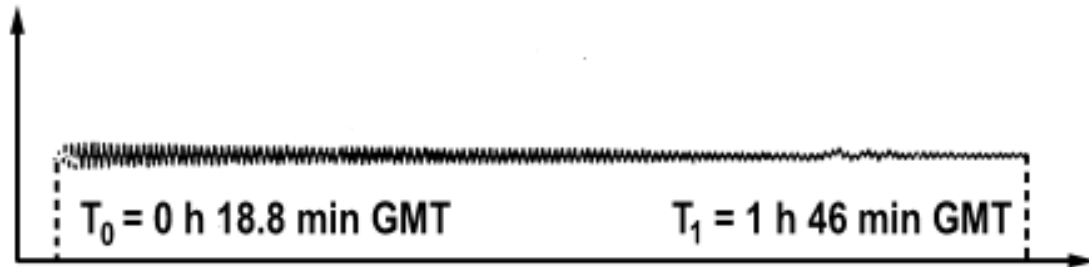


Figura 6 - Registo sísmico obtido no Observatório Magnético e Meteorológico de Irkutsk [Fonte: Rubtsov, 2012].

Por forma a verificar se a estação COI, equipada em 1908 com o sismógrafo de Milne, teria também registado a vibração telúrica produzida pelo Evento de Tunguska, foi analisado o rolo de registo número 267, referente à semana de 29 de junho a 6 de julho de 1908 (Fig. 7).

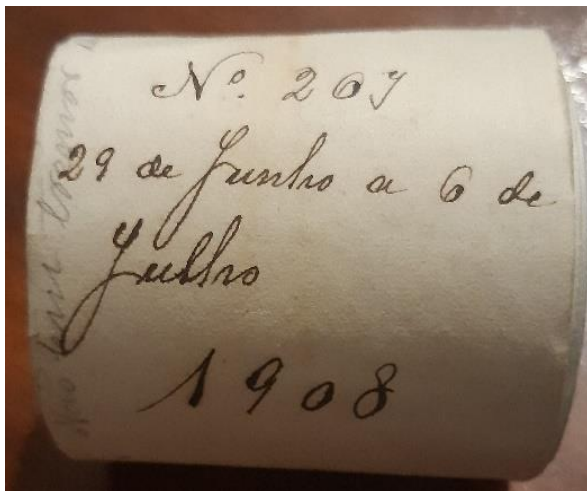


Figura 7 - Rolo de registo sísmico n.º 267, obtido no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

Na figura 7 é possível observar na lateral do lado esquerdo do rolo n.º 267 uma anotação a lápis que diz: “*Não tem tremor isolado*”. A análise do referido rolo de registo permitiu constatar, como seria expectável para estas situações, que não foi assinalada a hora de mudança do rolo. Por tal, foi necessário aferir a hora de mudança para o rolo n.º 267. Numa primeira análise, procurou-se verificar se na semana de 29 de junho a 6 de julho de 1908 teria ocorrido algum evento sísmico tectónico internacional de relevo que pudesse ter sido registado pelo sismógrafo de Milne da COI, para que desta forma pudesse ser feita a aferição da hora. Após tal verificação, constatou-se que não houve nenhum evento sísmico de relevo nesse período. Sendo assim, foi necessário verificar se o rolo de registo n.º 266 teria a anotação da hora de mudança do rolo. Apesar de ter a inscrição idêntica à referida para o rolo n.º 267, o rolo n.º 266 apresenta a hora a que foi colocado (mudança de rolo ocorrida no dia 22 de junho de 1908 às 13 h 35 min). Fazendo a contagem das marcações horárias do rolo n.º 266 foi possível verificar que este foi retirado no dia 29 de junho de 1909 por volta das 13 h 10 min. Considerando, por comparação com a análise de outros rolos, que a mudança de rolo durava entre 10 a 20 min, fez-se a aferição da hora de colocação do rolo n.º 267. Com esta informação, embora não seja possível comprovar com exatidão a hora a que o rolo n.º 267 iniciou o registo, pode fazer-se uma aproximação

grosseira. Tendo em consideração esta referência, procedeu-se à análise detalhada do registo de todo o rolo nº 267. Foi possível identificar, na posição correspondente à noite de 29 para 30 de junho de 1908, mais concretamente no início do dia 30, uma oscilação no registo do sismógrafo de Milne (Fig. 8) que tinha passado despercebida à análise dos técnicos da época.

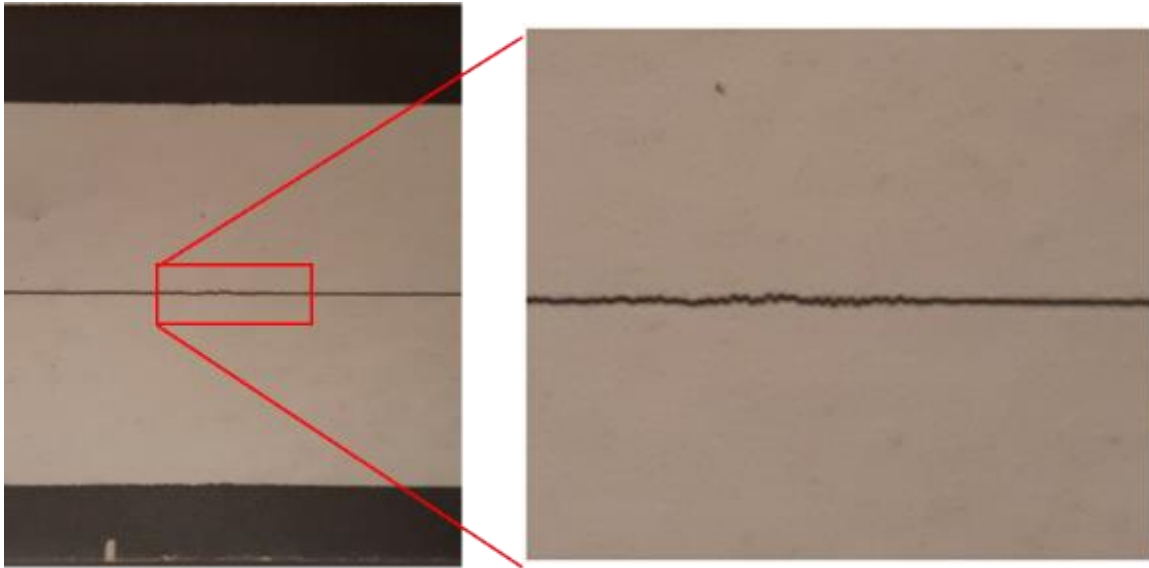


Figura 8 - Oscilação registada no início do dia 30 de junho de 1908, obtida no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra, com detalhe da mesma.

Apesar de não ser possível referir com exatidão a hora desta oscilação, é possível constatar que a vibração sísmica registada teve uma duração de cerca de 13 min, com uma amplitude máxima de cerca de 0,05 cm. Não tendo ocorrido nenhum evento tectónico conhecido neste período temporal, e sabendo que, em 1908, a estação COI se localizava fora da cidade de Coimbra, em local isolado e sossegado a esta hora da madrugada, pode concluir-se que esta oscilação no registo sísmico da COI se deve à vibração do solo desencadeada pela explosão de Tunguska ocorrida na Sibéria, a mais de 9000 km de distância.

## Registos magnéticos

Na literatura que descreve a ocorrência de efeitos magnéticos, associados à explosão de Tunguska em 30 de junho de 1908, é referido que horas antes da explosão o campo geomagnético apresentava-se bastante calmo (Rubtsov, 2012). Alguns autores mencionam a ocorrência de variações do campo magnético da Terra cerca de 80 min antes da própria explosão (Rakhmatulin, 2019). Esta foi seguida, minutos depois, por uma importante perturbação que se prolongou por cerca de seis horas com uma evolução semelhante a uma subtempestade magnética (Rubtsov, 2012; German, 2009), de acordo com os magnetogramas do Observatório Magnético e Meteorológico de Irkutsk (localizado a cerca de 900 km a SSE de Tunguska) (Fig. 9).

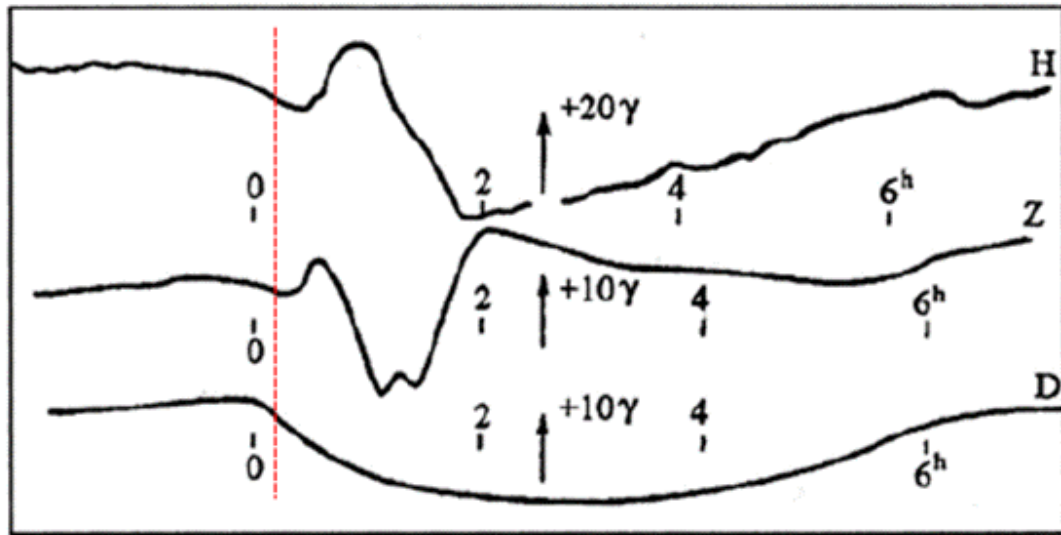


Figura 9 - Magnetogramas da perturbação geomagnética regional de 30 de junho de 1908 (Evento Tunguska), registados pelos magnetógrafos do Observatório de Irkutsk [Fonte: adaptado de Rubtsov, 2012; depois de Ivanov, 1961]. De acordo com Pasechnick (1986, in Rubtsov, 2012), a explosão ocorreu aproximadamente às 00 h13 min (GMT) (linha vermelha).

Com base na curva de variação da componente H registada no observatório de Irkutsk (Fig. 9), cerca de 30 min antes da explosão observa-se uma diminuição gradual da intensidade de H. A explosão, que ocorreu por volta das 0 h 13 min (GMT), não parece alterar imediatamente este comportamento do campo, cuja diminuição se mantém nos 15 min seguintes. Por volta das 0 h 30 min verifica-se uma inversão desta tendência, com um aumento relativamente rápido de H em cerca de 20 nT num período de 30 min. Na hora seguinte assiste-se a uma fase de diminuição igualmente rápida e consistente do campo em cerca de 40 nT. Atingida a máxima depressão, o valor de H entra numa fase de recuperação mais ou menos lenta até atingir o nível inicial ou não perturbado cerca de 6 h depois. Tanto quanto se conhece, nenhuma outra estação magnética russa ou internacional registou (ou detetou) esta perturbação (Rubtsov, 2012), sugerindo, por conseguinte, tratar-se de um efeito magnético essencialmente regional.

Na figura 10 são mostrados os magnetogramas do OMMUC obtidos aproximadamente entre o meio-dia (12 h) de 27 e o meio-dia de 30 de Junho de 1908. Em nenhuma das curvas (H, D, Z) é possível assinalar com segurança qualquer perturbação significativa relacionada com a explosão de Tunguska (período assinalado, compreendendo aproximadamente as últimas 3 h do dia 29 e as primeiras do dia 30 de Junho de 1908).

Segundo German (2009), durante o Evento de Tunguska, L. Weber, da Universidade de Kiel, relatou oscilações magnéticas regulares com uma amplitude de 2' e um período de 3 min de 27 a 30 de junho de 1908. Essas oscilações ocorreram especificamente nos seguintes períodos: 18 h 00 min até 1 h 30 min da manhã, nos dias 27/28 e 28/29 de junho; 20 h 30 min até 1 h 30 min da manhã nos dias 29/30

de junho. Para German (2009), existem vários aspetos intrigantes nos registos de Kiel: as pulsações foram detetadas apenas no período da tarde/noite e terminaram em 30 de junho de 1908 às 0 h 30 min, ou seja, praticamente sobre o momento da explosão na Sibéria. No entanto, também neste caso, a análise atenta dos magnetogramas de Coimbra (Fig. 10) não permite identificar as pulsações observadas em Kiel por Weber.

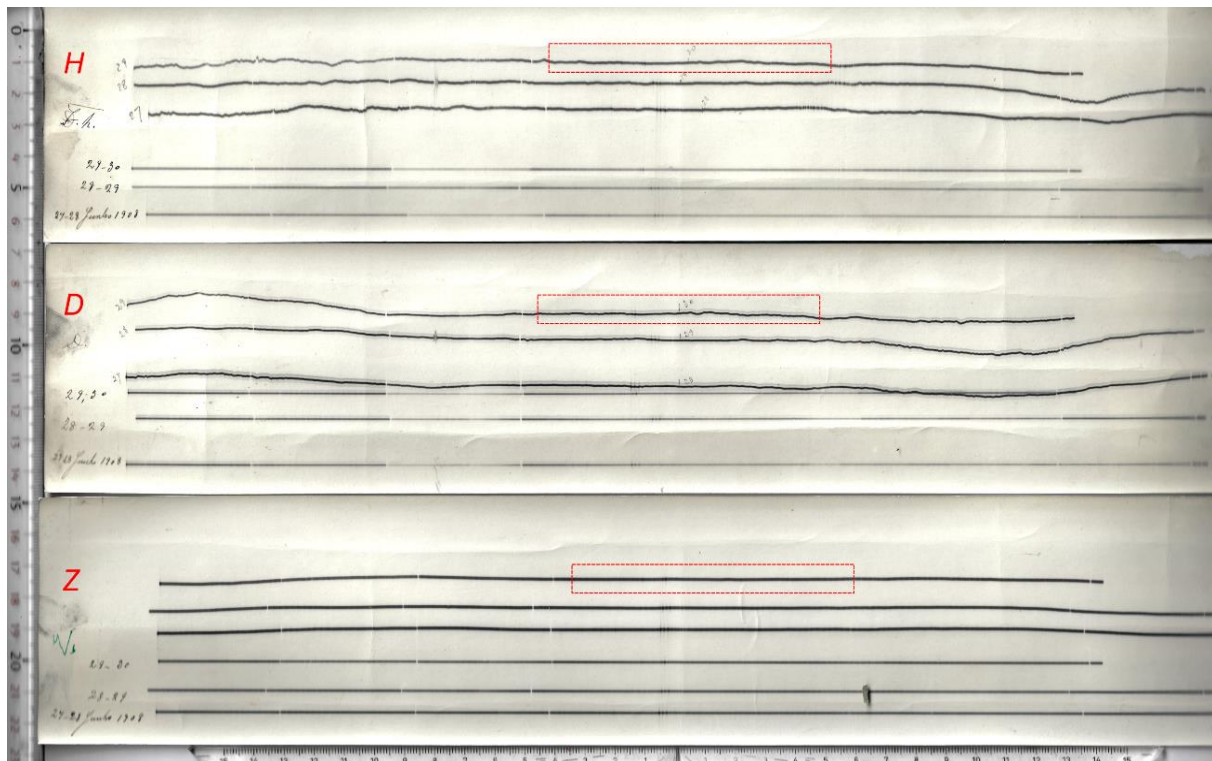


Figura 10 - Magnetogramas do Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra dos dias 27 a 30 de Junho de 1908. Registos obtidos com os magnetógrafos de Adie (modelo de Kew) em papel fotográfico e uma velocidade de registo de ~15,5 mm/h. Valores de escala: H ~ 8 nT/mm; D = 1,13 min/mm; Z ~ 7 nT/mm.

## Considerações finais

O Evento de Tunguska de 1908 foi excepcional, dentro do seu género, e teve consequências à escala global. A taiga siberiana foi esmagada numa área de cerca de 2150 km<sup>2</sup> e incendiada por radiação térmica numa área de 200 km<sup>2</sup>. Ondas sísmicas e perturbações meteorológicas foram registadas em muitos locais da Terra. Houve perturbações magnéticas registadas regionalmente. A investigação do Evento de Tunguska é de grande interesse científico porque é o único exemplo, em termos civilizacionais, em que um objeto cósmico de grandes dimensões colide com o nosso Planeta.

A estação sísmica COI, localizada no antigo OMMUC, em 1908, equipada com um sismógrafo de Milne, a mais de 9 000 km de distância do local da explosão do Evento de Tunguska, registou a vibração sísmica provocada por tal fenómeno. Por outro lado, os registos magnéticos do OMMUC não

evidenciam qualquer perturbação, o que parece confirmar que o efeito magnético da explosão de Tunguska tenha sido essencialmente regional.

A identificação nos registos da estação COI da vibração sísmica provocada pelo Evento de Tunguska, à semelhança do já constatado por Gomes e Lopes (2017) para o evento sísmico de 8 de outubro de 1909, conhecido como o sismo que permitiu a Andrija Mohorovicic postular a existência de uma descontinuidade entre a crosta terrestre e o manto (designada por “Descontinuidade de Mohorovicic” ou “Moho”, extensivamente reconhecida a partir dos anos 1950s) só foi possível pela reanálise dos rolos de registo sísmico do início do século XX. Tal facto vem reforçar a importância da reavaliação e reanálise de registos antigos da estação COI.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através do projeto estratégico UID/Multi/00611/2020 atribuído ao CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra e do FEDER - Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu através do COMPETE 2020 - Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (projeto POCI-01-0145-FEDER-006922) e do projeto HISTIGUC (projeto PTDC\FER-HFC\30666\2017). Os autores agradecem ao Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra a cedência dos dados sísmicos e magnéticos utilizados neste trabalho.

## Referências bibliográficas

- Brown, J. C., & Hughes, D. W. (1977). Tunguska's comet and non-thermal  $^{14}\text{C}$  production in the atmosphere. *Nature*, 268, 512-514.
- Cowan, C., Atluri, C. R., & Libby, W. F. (1965). Possible anti-matter content of the-Tunguska meteor of 1908. *Nature*, 206, 861-865.
- Custódio, S., Ribeiro, P., Martins, D. R., Narciso, J., Battló, J., Lopes, F. C., & Gomes, C. R. (2010). The historical collections of the Geophysical Institute of the University of Coimbra, and their use for modern science. In J. M. Brandão, P. M. Callapez, O. Mateus, & P. Castro (Eds.), *Collections and Museums of Geology: Mission and management* (pp. 167-178). Coimbra: Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência.
- Custódio, S., Battló, J., Martins, D., Antunes, F., Narciso, J., Carvalho, ... Gomes, C. R. (2012). Station COI: dusting off an Old Seismic Station. *Seismological Research Letters*, 83(5), 863-869.
- D'Alessio, S. J. D., & Harms, A.A. (1989). The nuclear and aerial dynamics of the Tunguska event. *Planetary and Space Sciences*, 37(3), 329-340.
- Florenskiy, K. P., Vronskiy, B. I., Yemel'yanov, Yu. M., Zotkin, I. T., & Kirova, O. A. (1960). Preliminary results from the 1958 Tunguska meteorite expedition. *Meteoritika*, 19, 103–134.

- Gasperini, L., Bonatti, E., Albertazzi, S., Forlani, L., Accorsi, C. A., Longo, G., ... Sacchetti, F. (2009). Sediments from Lake Cheko (Siberia), a possible impact crater for the 1908 Tunguska Event. *Terra Nova*, 21, 489-494.
- German, B. (2009). Geomagnetic pulsations and Tunguska-1908 phenomenon. In *Proceedings of ESA's Second Swarm International Scientific Meeting* (pp. 34-42). Potsdam, Germany: ESA.
- Grigoryan, S. S. (1976). About the nature of the Tunguska meteorite. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 231, 57-60 (em Russo).
- Gomes, A., & Lopes, F. (2017). A relevância da re-análise de sismogramas antigos para o conhecimento científico. O caso da estação COI (Coimbra, Portugal). In *Riscos associados a fenómenos meteorológicos e geofísicos: geofísica, meteorologia/10º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, XVIII Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia* (pp. 33-36). Lisboa: Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica.
- Heimann, S., González, A., Wang, R., Cesca, S., & Dahm, T. (2013). Seismic characterization of the Chelyabinsk meteor's terminal explosion. *Seismological Research Letters*, 84, 1021-1025.
- Hou, Q. L., Ma, P. X., & Kolesnikov, E. M. (1998). Discovery of iridium and other element anomalies near the 1908 Tunguska explosion site. *Planetary and Space Science*, 46, 179-188.
- Ivanov, K. G. (1961). Geomagnetic effects that were observed at the Irkutsk Magnetographic Observatory after the explosion of the Tunguska meteorite. *Meteoritika*, 21, 46-48.
- Ivanov, K. G. (1964). The geomagnetic effect of the Tunguska fall. *Meteoritika*, 24, 141-15.
- Jackson, A. A., & Ryan, M. P. (1973). Was the Tunguska Event due to a blackhole? *Nature*, 245, 88-89.
- Johnston, C. O., & Stern, E. C. (2019). A model for thermal radiation from the Tunguska airburst. *Icarus*, 327, 48-59.
- Kazantsev, A. (1946). The explosion. *Vokrug Sveta*, 1, 39-46 (em Russo).
- Kelley, M. C., Seyler, C. E., & Larsen, M. F. (2009). Two-dimensional turbulence, space shuttle plume transport in the thermosphere, and a possible relation to the Great Siberian impact event. *Geophysical Research Letters*, 36, L14103, 1-5.
- Kresak, L. (1978). The Tunguska object - A fragment of Comet Encke. *Astronomical Institutes of Czechoslovakia Bulletin*, 29, 129.
- Kolesnikov, E. M., Boettger, & Kolesnikova, N. V. (1999). Finding of probable Tunguska Cosmic Body material: isotopic anomalies of carbon and hydrogen in peat. *Planetary and Space Science*, 47, 905-916.
- Kulik, L. A. (1927). *In search of the Tunguska miracle*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsky Rabochoy (em Russo).
- Krinov, E. L. (1949). *The Tunguska meteorite*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR (em Russo).
- Krinov, E. L. (1966). *Giant meteorites*. Oxford: Pergamon Press.
- Mekhedov, V. N. (1967). *On the radioactivity of the ash of trees in the region of the Tunguska catastrophe*. Preprint 6-3311. Dubna: Joint Institute for Nuclear Research (em Russo).

- Pasechnik, I. P. (1976). Estimation of parameters of the Tunguska meteorite explosion from seismic and microbarographic data. In *Cosmic matter on the Earth* (pp. 24-54). Novosibirsk: Nauka.
- Pasechnik, I. P. (1986). Refinement of the moment of explosion of the Tunguska meteorite from the seismic data. In *Cosmic matter and the Earth* (pp. 62-69). Novosibirsk: Nauka (em Russo).
- Ribeiro, P., Martins, D., Batlló, J., Narciso, J., Custódio, S., Lopes, F.C., & Gomes, C.R. (2011). Jacinto de Sousa e a Criação do Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra. In C. Fiolhais, C. Simões, & D. Martins (Coords.), *Congresso Luso-Brasileiro de História das Ciências - Livro de Actas* (pp. 1259-1273). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Rakhmatulin, R. A. (2019). Similar features of the Earth's magnetic field components during fall of the Tunguska and Chelyabinsk bolides. *Geodynamics & Tectonophysics*, 10(3), 687-696.
- Rogozin, D. Y., Darin, A. V., Kalugin, I. A., Melgunov, M. S., Meydus, A. V., & Degermendzhi, A. G. (2017). Sedimentation rate in Cheko Lake (Evenkia, Siberia): New evidence on the problem of the 1908 Tunguska Event. *Doklady Earth Sciences*, 476(2), 1226-1228.
- Rubtsov, V. (2009). *The Tunguska mystery*. New York: Springer.
- Rubtsov, V. (2012). Reconstruction of the Tunguska Event of 1908: neither an asteroid, nor a comet core. *arXiv preprint*. arXiv: 1302.6273.
- Turco, R. P., Toon, O. B., Park, C., Whitten, R. C., Pollack, J. B., & Noerdlinger, P. (1982). An analysis of the physical, chemical, optical, and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall. *Icarus*, 50, 1-52.
- Vasilyev, N. V., & Andreev, G. V. (2006). Radioactivity at Tunguska. *RIAP Bulletin*, 10, 14-16.
- Wick, G. L., & Isaacs, J. D. (1974). Tungus Event revisited. *Nature*, 247, 139-140.
- Wipple, F. J. W. (1930). The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 56, 287-304.
- Zolotov, A. V. (1967). On energy concentration of the explosion of the Tunguska space body. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki*, 37(11), 2089-2094 (em Russo).
- Zolotov, A. V. (1969). *The problem of the Tunguska catastrophe of 1908*. Minsk: Nauka i Tekhnika (em Russo).
- Zhuravlev, V. K. (1998). The geomagnetic effect of the Tunguska explosion and the technogeneous hypothesis of the TSB origin. *RIAP Bulletin*, 4, 3-10.