

Magnitude e espacialização de terremotos intraplaca na Bacia do Rio Negro, Bacia Amazônica

Magnitude and spatialization of intraplate earthquakes in the Negro River basin, Amazon Basin

Matheus Silveira de Queiroz¹

Ednaldo Bras Severo²

Kenya Correa de Souza³

Lorena Sarmento Ferreira⁴

Resumo

Os terremotos que ocorrem fora dos limites das placas tectônicas são chamados de intraplacas. Esses terremotos tendem a ser menos frequentes e de magnitudes baixas. A atividade sísmica não é uniforme em regiões intraplaca e é difícil discernir o motivo causador desses terremotos. Na bacia Amazônica a atividade sísmica ainda é pouco conhecida devido à baixa concentração de estações sismográficas, o que não permite um levantamento confiável dos sismos históricos sentidos na região. Foram analisados 22 epicentros de terremotos detectados na bacia hidrográfica do rio Negro entre 1960 e 2021. Com base nos dados apresentados, a bacia do rio Negro possui uma baixa sismicidade com apenas 22 eventos detectados em 61 anos, ou seja, uma média 0,36 terremotos por ano. A predominância foi de terremotos leves, e apenas dois eventos moderados, que podem causar danos, foram detectados. O maior terremoto detectado teve uma magnitude de 5,5 no ano de 2021. A espacialização dos terremotos revelou áreas de maior risco na região nordeste da bacia, especialmente no alto curso do rio Branco, e na região sudeste, no baixo curso do rio Negro, próximo da cidade de Manaus. Contudo, estudos mais detalhados para compreender a interação entre a sismicidade e os processos geomorfológicos são necessários para a bacia.

Palavras-Chave: Abalos Sísmicos; Rio Negro; Bacia Amazônica; Terremotos.

Abstract

Earthquakes that occur outside the boundaries of tectonic plates are called intraplate. These earthquakes tend to be less frequent and have low magnitudes. Seismic activity is not uniform in

1 Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Geografia, E-mail: matheussilveiradequeiroz@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8722-7715>

2 Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Geografia, E-mail: edsevero.geo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9148-5570>

3 Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Geografia, E-mail: geo.kenyasouza@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8886-2550>

4 Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Geociências. E-mail: lorenna.sarmiento7@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3511-5807>.

intraplate regions, and it is difficult to discern the cause of these earthquakes. In the Amazon basin, seismic activity is still poorly known due to the low concentration of seismographic stations, which does not allow for a reliable survey of historical earthquakes felt in the region. We analyzed 22 earthquake epicenters detected in the Rio Negro basin between 1960 and 2021. Based on the data presented, the Rio Negro basin has a low seismicity with only 22 events detected in 61 years, an average of 0.36 earthquakes per year. Mild earthquakes predominated, and only two moderate events, which can cause damage, were detected. The largest earthquake detected had a magnitude of 5.5 in 2021. The spatialization of the earthquakes revealed areas of greater risk in the northeast of the basin, especially in the upper reaches of the Branco River, and in the southeast, in the lower reaches of the Negro River, near the city of Manaus. However, more detailed studies to understand the interaction between seismicity and geomorphological processes are needed for the basin.

Keywords: Seismic Activity; Rio Negro; Amazon Basin; Earthquakes.

Introdução

Os terremotos que ocorrem fora dos limites das placas tectônicas são chamados de intraplacas (SYKES e SBAR, 1973; LIU e STEIN, 2016; ASSUMPÇÃO et al., 2014). Esses terremotos tendem a ser menos frequentes e de magnitudes leves a moderadas, raramente ultrapassando 6 na escala Richter (ASSUMPÇÃO et al., 2014). Porém, em alguns casos esses terremotos podem ser catastróficos e causar danos socioeconômicos (GUPTA et al., 2001), como os observados em New Madrid, no inverno de 1811-1812 (NUTTLI, 1973; JOHNSTON e SCHWEIG, 1996; DUNN et al., 2013; PAGE e HOUGH, 2014), e na bacia Amazônica, em 1690 (VELOSO, 2014), com magnitudes estimadas superiores a 7.

As investigações sobre as causas físicas e estrutura sismogênica dos grandes terremotos intraplaca tiveram um aumento substancial a partir da segunda metade de século XX (CAMPBELL, 1978; JOHNSTON e SCHWEIG, 1996; TALWANI, 1988, 1999; IIO e KOBAYASHI, 2002; STEVENSON et al., 2006; DI et al., 2021). Diversos autores vinculam a ocorrência desses terremotos a rifts antigos orientados (KATO et al., 2009; ZOBACK e RICHARDSON, 1996), zona de enfraquecimento relacionada a fluidos (CRAIG et al., 2017; GARDONIO et al., 2018; LIN et al., 2022) e zonas fracas da crosta localizadas (DENTITH e FEATHERSTONE, 2003; GANGOPADHYAY et al., 2004; JOHNSTON e SCHWEIG, 1996; TALWANI, 1988, 1999). As zonas fracas tendem a criar contrastes de força que possibilitam o

acúmulo de estresse de forma que podem causar tremores (GANGOPADHYAY e TALWANI, 2003; MOONEY et al., 2012).

Essas concentrações de estresse tendem a surgir de intersecções de falhas (TALWANI, 1988, 1999; GANGOPADHYAY e TALWANI, 2003, 2007), contrastes de propriedades elásticas (CAMPBELL, 1978; Stevenson et al., 2006) e variações de densidade lateral (STEIN et al., 1989; ZOBACK e RICHARDSON, 1996). Todavia, por ser um processo multicausal, a maioria dos modelos de sismicidade intraplaca não consegue explicar com exatidão os motivos dos terremotos (ASSUMPÇÃO et al., 2014). A atividade sísmica não é uniforme em regiões intraplaca e é difícil discernir o motivo de uma área possuir uma grande atividade sísmica e outras áreas serem assísmicas (ASSUMPÇÃO et al., 2004).

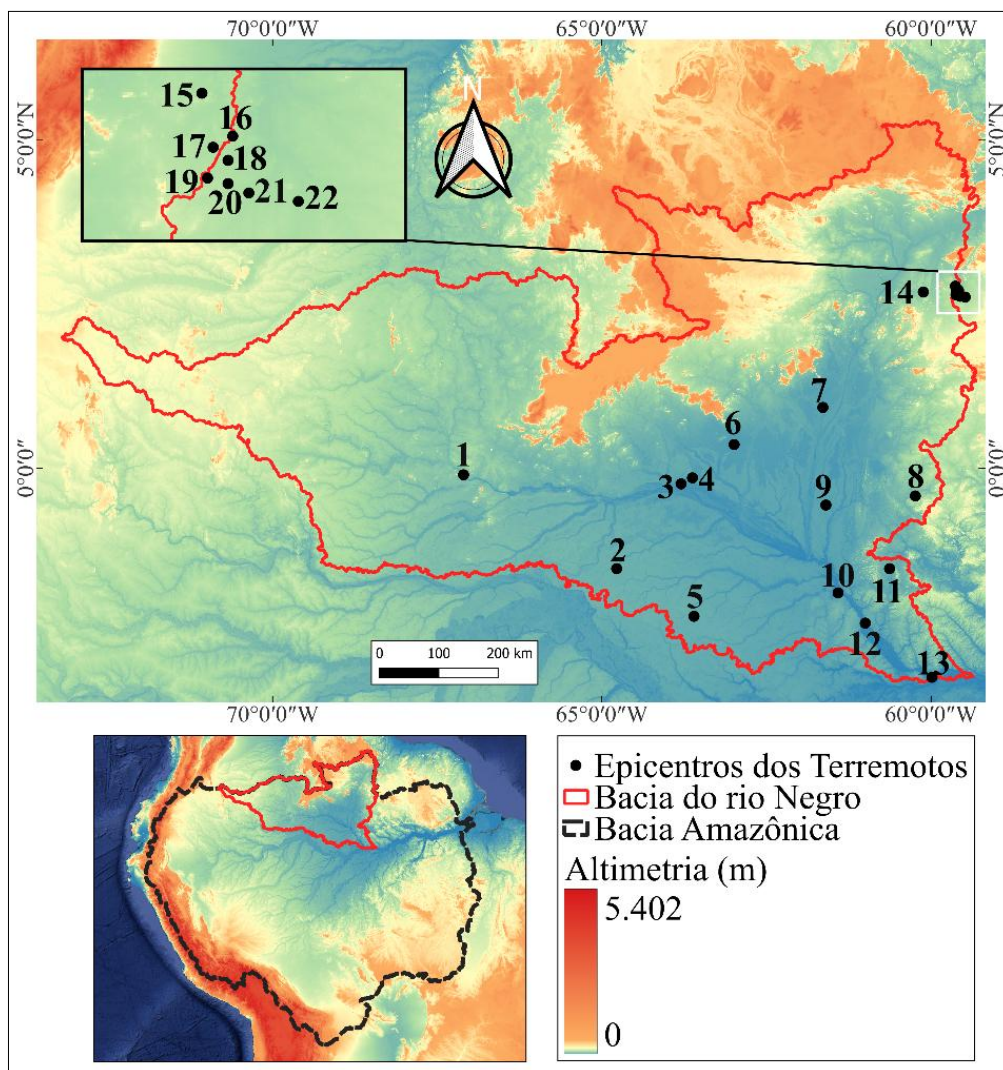
Na bacia Amazônica, a maior do mundo, com uma área superior a 7 milhões de km², o nível de atividade sísmica ainda é pouco conhecido devido à baixa concentração de estações sismográficas, o que não permite um levantamento confiável dos sismos históricos sentidos na região. Apenas nos últimos anos, estações vêm sendo instaladas em pontos estratégicos da bacia. O primeiro levantamento de sismos na Amazônia foi realizado apenas na década de 50 (STERNBERG, 1953), entretanto, esses dados não são confiáveis e tendem a relatar eventos com epicentro na cordilheira dos Andes (BERROCAL et al., 1984). O evento mais antigo registrado ocorreu em 1690 (VELOSO, 2014), porém esse trabalho utiliza dados secundários, como relatos de época, para estimar a magnitude do terremoto. Portanto, esse trabalho tem como objetivo entender a magnitude e espacialização dos terremotos na bacia do Rio Negro, segunda maior sub-bacia hidrográfica da bacia Amazônica.

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Negro abrange uma área aproximada de 700.000 km², englobando territórios da Colômbia, Venezuela e Brasil. Drena diversos ecossistemas, como florestas equatoriais, savanas (lavrado), campinaranas e florestas de igapó (Figura 1). O rio Negro, principal afluente da margem esquerda do rio Amazonas, é responsável por drenar mais de 10% da bacia Amazônica, é reconhecido como o sexto maior rio do mundo em descarga líquida (28.400 m³.s⁻¹) e o terceiro na bacia

Amazônica (atrás dos rios Madeira e Amazonas). O rio Negro abriga os dois maiores arquipélagos fluviais do planeta: Mariuá, no médio curso, e Anavilhanas, no baixo curso. Ambos são considerados impressionantes maravilhas geomorfológicas globais (LATRUBESSE; STEVAUX, 2015).

Figura 1 – Localização dos epicentros dos terremotos na bacia hidrográfica do rio Negro.



Fonte: Este Trabalho (2025).

Uma área superior a 70% da bacia do rio Negro drena o cráton das Guianas com rochas pré-cambrianas (4,54 Ga – 542 Ma), sendo a área drenada pelo alto curso do rio Negro composta por

rochas do pré-cambriano e do Paleogeno (66 – 23 Ma). As rochas do quaternário (mais recentes) (2,58 Ma – Presente) estão localizadas no alto curso do rio Branco e no médio rio Negro (Arquipélago de Mariuá). Observam-se também rochas do paleogeno e neogeno (23 – 2,58 Ma) na bacia (SCHENK et al., 1999).

Na bacia predomina a formação Içá, sendo uma unidade geológica de idade Cenozoica, do período Neógeno entre o Mioceno e o Plioceno com uma grande área de abrangência (CAMPBELL JR. et al., 2006), porém ainda é pouco estudada no âmbito regional e no cenário da evolução da bacia sedimentar do Solimões. No entanto, também é possível identificar as formações Alter do Chão, no baixo curso da bacia, Prosperança e o grupo Trombetas. Observa-se também o complexo do Jauaperi, no médio rio Negro e baixo rio Branco. No alto rio Negro predominam as Litofácies Santa Izabel do Rio Negro, Tarsira, Cumati e Querari. Na alta bacia do rio Branco predomina a formação Surumi, o complexo Uraricoera e as Fácies Igarapé do Cachorro (SGB, 2024).

Evidências de controle tectônico na Amazônia central são vastas na literatura acadêmica. Diversos autores descrevem paralelismo de rios (alinhamento), sistemas de falhas, estruturas em flor, capturas de rios, anomalias de drenagem, lineamentos estruturais, lineamentos magnéticos (STERNBERG, 1950; FRANZINELLI e IGREJA, 1990; 2002; COSTA et al., 1996; COSTA et al., 2001; LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2005; SILVA, 2005; ALMEIDA FILHO, 2007; ROSSETTI et al., 2019; Dentre Outros).

O rio Negro está encaixado em um vale tectônico que se relaciona com um half-graben (FRANZINELLI e IGREJA, 2002). A região do médio rio Negro está encaixada nesse sistema half-graben com desenvolvimento assimétrico das unidades fluviais (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2005). Bezerra (2003) analisou diversos afluentes do rio Negro do trecho entre São Gabriel da Cachoeira e o médio curso. Segundo o autor, o rio Negro, neste trecho, é controlado por lineamentos NW-SE e NE-SW que imprimem retilinearidade aos vales dos afluentes das duas margens.

Dados de sensoriamento remoto indicam que as áreas de igapó (floresta inundada periodicamente) no médio rio Negro apresentam um complexo histórico tectônico-sedimentar

(ROSSETI et al., 2019), e essas áreas foram possivelmente resultado de atividade tectônica (FRANZINELLI e IGREJA, 2002) durante o Pleistoceno-Holoceno (IRON, 1984; ROSSETI et al., 2019).

Comparando a morfoestrutura dessa área com as tendências estruturais regionais, revela-se uma estreita ligação com as falhas de tendência NW e NE reativadas no Pleistoceno-Holoceno. Segundo Tassinari (1999), a região do Alto rio Negro foi submetida a uma tectônica ruptural que determinou o estabelecimento de um padrão de faturamento e lineamentos com orientações preferenciais segundo NW-SE, NE-SW e, subordinadamente, E-W.

Rosseti et al. (2019) também identificaram diversas anomalias morfoestruturais (como cotovelos de drenagem, curvas anômalas) que formam ângulos ortogonais e quase ortogonais no rio Negro e em alguns afluentes. No baixo rio Negro Costa et al. (2001), propõem uma evolução tectônica na bacia sedimentar do Amazonas. Os autores indicam falhas normais que controlam o arquipélago de Anavilhanas durante o Quaternário, porém no Neógeno essas falhas ainda não haviam surgido.

Metodologia

Os dados sísmicos foram levantados do *Earthquake Hazards Program - EHP* do *United States Geological Survey* (<https://earthquake.usgs.gov/>) e do Catálogo Sísmico Brasileiro (<http://rsbr.gov.br/>) disponibilizado pela Rede Sismográfica Brasileira que compilou dados do *International Seismological Center - ISC*; das estações do Observatório Sismológico SIS/UnB; do centro de sismologia da Universidade de São Paulo (IAG/USO) e de Veloso e Mendiguren (1980).

A escala de magnitude sísmica utilizada pelo Catálogo Sísmico Brasileiro é a “ m_b telessísmica de onda P de 1 segundo (para eventos maiores que 5), e a magnitude regional (m_R) desenvolvida por Assumpção (1983) para terremotos registrados entre 200 km e 2000 km usando a velocidade máxima da partícula da onda P no intervalo de período de 0,1 a 1,0 s” (ASSUMPÇÃO et al., 2014, p. 52).

A magnitude do terremoto utilizada foi a magnitude local (M_L), originalmente proposta por Richter (1935), a qual é adimensional. Ressalta-se que a utilização da escala Richter, que não é mais comumente utilizada, se deu, pois os dados disponibilizados não possibilitaram o cálculo da escala

de momento (M_w), que é mais precisa e utilizada atualmente. Foram identificados 22 epicentros de terremotos na bacia hidrográfica do rio Negro para a série histórica de 1960-2021 (ver Figura 1).

A escala de magnitude utilizada foi adaptada de Britannica (2024) (Quadro 1). Essa escala rotula os terremotos em sete classes conforme a magnitude (micro, fraco, leve, moderado, forte, muito forte, catastrófico). Os efeitos que cada classe apresenta são qualitativos e variam conforme a magnitude.

Quadro 1 – Escala de Magnitude de terremotos

Magnitude	Classificação	Efeitos	Terremotos por ano
Menos de 1,0 a 2,9	Micro	Geralmente não sentido pelas pessoas, embora registrado em instrumentos locais	mais de 100.000
3,0–3,9	Fraco	Sentido por muitas pessoas; nenhum dano	12.000–100.000
4,0–4,9	Leve	Sentido por todos; pequena quebra de objetos	2.000–12.000
5,0–5,9	Moderado	Alguns danos em estruturas fracas	200–2.000
6,0–6,9	Forte	Danos moderados em áreas povoadas	20–200
7,0–7,9	Muito forte	Danos graves em grandes áreas; perda de vidas	3–20
8.0 e superior	Catastrófico	Destruição severa e perda de vidas em grandes áreas	menos de 3

Fonte: Adaptado de Britannica (2024).

Os epicentros detectados foram espacializados utilizando o método de interpolação por Splines Regulares com Tensão – RST, conforme descrito por Mitasova e Mitas (1993) (Completely Regularized Spline) e Mitasova et al. (1995) (formulação geral d -dimensional com aplicações para dados 2D, 3D e 4D).

Foram calculados parâmetros estatísticos (média, mediana, máximo, mínimo, amplitude, percentil, desvio padrão e coeficiente de variação) para entender as tendências dos terremotos na bacia. Além disso, os dados foram analisados de acordo com o ambiente geológico, conforme o mapa da geologia da América do Sul (SCHENK et al., 1999). Foram calculados também os

Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) e o Coeficiente de Determinação (R^2) entre os dados de magnitude e altitude. Para os dados de altitude, utilizou-se os dados da Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, com um tamanho de pixel de 30 metros.

Resultados e discussões

Foram identificados 22 terremotos na bacia hidrográfica do rio Negro para o período de 1960 a 2021. As magnitudes dos terremotos não ultrapassaram 5,5 e não foram inferiores a 3,0. A maioria dos terremotos (15) foram classificados como leve (entre 4,0 e 4,9), cinco foram classificados como fracos (entre 3,0-3,9) e dois como moderados (entre 5,0-5,9) (Tabela 1). Normalmente, em regiões intraplacas raramente ocorrem terremotos com magnitude superior a 6,0. No Brasil, a maior magnitude registrada foi de 6,6 e eventos superiores a 5,0 têm um tempo de retorno de quatro anos (ASSUMPÇÃO et al., 2014). Contudo, Veloso (2014) sugere um terremoto de magnitude estimada em aproximadamente 7 em 1690, na região da Amazônia Central.

Tabela 1 – Magnitude, Altitude e Ambiente Geológico dos terremotos na bacia do rio Negro

Ponto	Data	Magnitude (Escala Richter)	Altitude (m)	Idade Geológica
1	11/11/2013	3	89	Pré-Cambriano
2	06/06/1989	3,8	71	Paleogeno-Neogeno
3	15/03/1999	4	39	Quaternário
4	15/03/1999	4,2	61	Pré-Cambriano
5	08/02/2005	4,4	47	Paleogeno-Neogeno
6	03/10/1961	4	41	Pré-Cambriano
7	05/06/1988	3,8	56	Quaternário
8	28/12/2013	4	131	Pré-Cambriano
9	28/04/2021	4,7	47	Pré-Cambriano
10	09/09/2009	4,2	13	Cretáceo
11	27/05/2001	3,7	107	Paleogeno-Neogeno
12	14/12/1963	5,1	12	Pré-Cambriano
13	03/09/1980	3,4	19	Paleogeno-Neogeno
14	15/08/1965	4,9	121	Pré-Cambriano
15	19/02/2021	4,1	141	Pré-Cambriano
16	24/03/2021	4,1	138	Pré-Cambriano

17	26/03/2021	4,8	139	Pré-Cambriano
18	31/01/2021	5,5	134	Pré-Cambriano
19	19/06/1964	4,5	148	Pré-Cambriano
20	22/02/2021	4,4	141	Pré-Cambriano
21	07/02/2021	4,3	140	Pré-Cambriano
22	02/02/2021	4,1	136	Pré-Cambriano

Fonte: Este Trabalho (2024).

A magnitude média e mediana para a bacia do rio Negro foram de 4,2 com uma amplitude máxima de 2,5. O 25th e 75th percentis foram de 4,0 e 4,6, respectivamente. O desvio padrão foi de 0,5 e o coeficiente de variação de 13%. Os valores de média, mediana e percentis indicam uma tendência na bacia para terremotos considerados leves. O desvio padrão e coeficiente de variação também indicam uma baixa variância na bacia, indicando que existe um padrão nos terremotos da região. Esse mesmo padrão de terremotos leves é observado para outras regiões intraplacas no Brasil (ASSUMPÇÃO et al., 2014).

Correlacionando os terremotos (escala Richter) e a altitude da bacia observa-se que o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r) apresentou um valor de 0,2, indicando uma correlação diretamente proporcional fraca. O Coeficiente de Determinação (R^2) também foi fraco ($R^2 = 0,04$). Isso indica que não existe uma correlação direta entre os terremotos e a altitude. Porém, nota-se que nenhum epicentro de terremotos foi detectado nas regiões de maior altitude da bacia do rio Negro (regiões norte e noroeste da bacia).

Os terremotos intraplacas podem ocorrer devido à reativação de falhas geológicas associadas a zonas fracas na crosta terrestre. Na bacia do rio Negro os pontos 3 e 4 estão associados a falhas inferidas ou zonas de cisalhamento extensional (hachuras no bloco baixo) e o ponto 9 está localizado ao lineamento que controla estruturalmente o rio Branco (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2005), os pontos 10 e 12 estão situados em uma grande falha normal que controla a margem direita do rio Negro (MARINHO et al., 2022; QUEIROZ et al., 2025) e o ponto 13 está associado a uma zona de falha localizada (SILVA, 2005), essa região também é considerada uma zona sismogênica ativa

com epicentros localizados na região da confluência com o rio Amazonas (MIOTO, 1993; COSTA et al., 1996).

No entanto, ressalta-se que na sismicidade na plataforma central e sudeste brasileira não há nenhuma correlação clara com características geológicas de superfície (ASSUMPÇÃO et al., 2004). Além disso, não existe também uma boa correlação com falhas geológicas recentes (SEEBER e ARMBRUSTER, 1988; TALWANI, 1989; FERREIRA et al., 1998), ou seja, as zonas fracas podem não estar relacionado apenas a características geológicas mapeadas na superfície, mas pode incluir todo o perfil reológico da litosfera (ASSUMPÇÃO et al., 2004).

Observa-se que 15 dos 22 epicentros detectados estão em ambientes de rochas pré-cambrianas que correspondem à região do escudo cristalino das Guianas (Cráton). Esses pontos apresentam uma média de 4,4 e uma amplitude de 2,5. Nota-se também que os pontos com a menor e maior magnitude estão nesses ambientes. Segundo Rocha et al. (2014), as regiões cratônicas do Brasil Central apresentam uma baixa sismicidade devido à alta concentração da maior parte da tensão regional difusiva no manto superior. Isso difere dos dados apresentados neste trabalho que indicam a maior concentração de terremotos no cráton (Escudo das Guianas). Na região sudeste e nordeste do Brasil (placa Sul-Americana), o afinamento da litosfera induzido se correlaciona com as áreas de maior sismicidade (ASSUMPÇÃO et al., 2004; ROCHA et al., 2004). Porém, ainda é necessário investigar se essa dinâmica também ocorre na bacia do rio Negro.

Os pontos em ambientes mais recentes do quaternário indicam uma média de 3,9 e no paleogeno e neogeno, a média foi de 3,8. Logo, os terremotos nesses ambientes foram em média cerca de 11% e 13%, respectivamente, menores que a média para os terremotos no escudo das Guianas. O desvio padrão e coeficiente de variação foram maiores para os pontos em rochas do pré-cambriano e do paleogeno e neogeno (Tabela 2). É possível afirmar que existe um risco maior de terremotos no escudo das guianas (rochas mais antigas) do que em terrenos mais recentes.

Tabela 2 – Variáveis estatísticas dos terremotos em diferentes ambientes geológicos

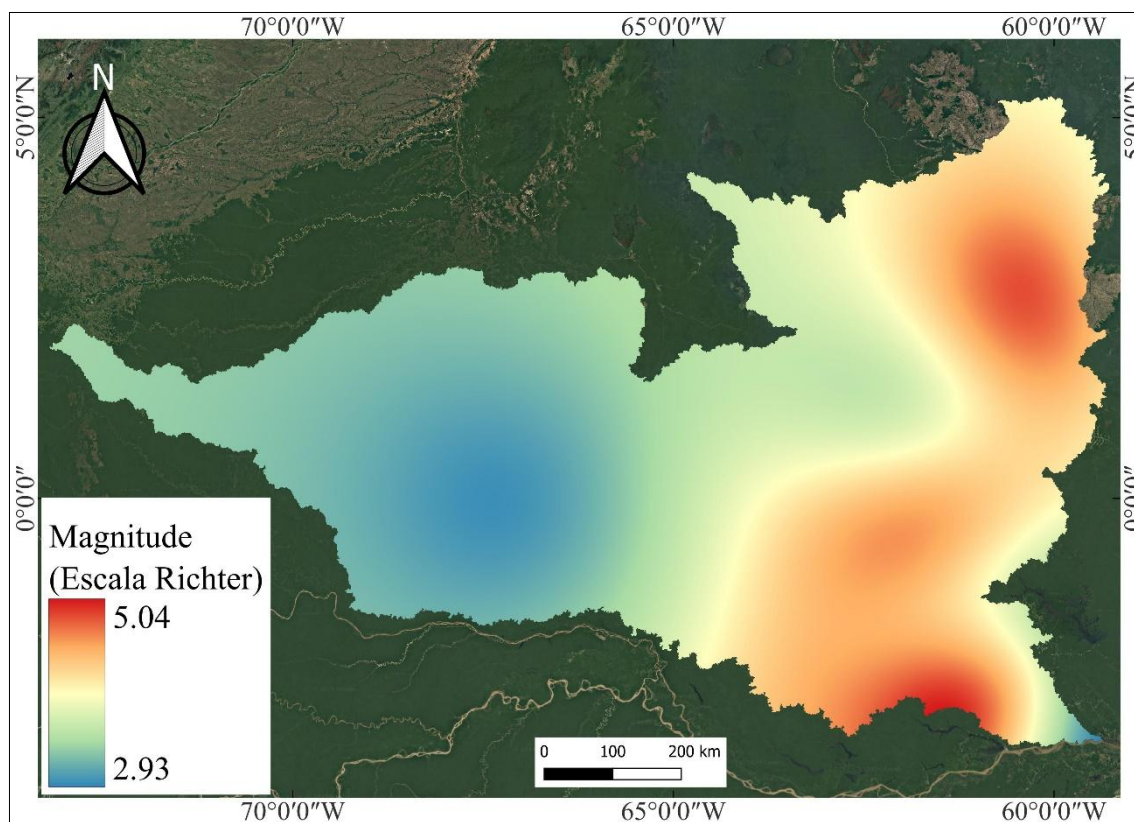
Variáveis	Pré-Cambriano	Quaternário	Paleogeno-Neogeno
Média	4,4	3,9	3,8
Mediana	4,3	3,9	3,8
Máximo	5,5	4	4,4
Mínimo	3	3,8	3,4
Amplitude	2,5	0,2	1
Desvio Padrão	0,6	0,1	0,4
Coefficiente de Variação (%)	13%	3%	9%

Fonte: Este Trabalho (2024).

A espacialização dos terremotos para a bacia do rio Negro indica que na região noroeste e oeste existem baixos riscos de terremotos e os detectados na região são classificados como fracos, o que indica baixo dano socioeconômico. Na região nordeste, especificamente no alto curso da bacia do rio Branco, existe o maior risco de terremotos, além disso, essa região também apresenta as maiores magnitudes registradas. Na região sudeste, próximo ao arquipélago fluvial de Anavilhanas, também é possível observar outra área com risco de terremotos moderados, o que pode influenciar diretamente nos processos de terras caídas no rio Negro (Figura 2).

Os terremotos na região Amazônica são considerados um dos fatores condicionantes das terras caídas (CARVALHO, 2012; BANDEIRA et al., 2018; QUEIROZ e ALVES, 2021). Esse fenômeno é único dos grandes rios da bacia Amazônica e caracterizado por erosão fluvial e movimentos gravitacionais de massa de pequena e média escala (BANDEIRA et al., 2018) e é composto por múltiplos condicionantes (hidrodinâmica, hidrostática, fatores climáticos, geologia, fatores antrópicos) (CARVALHO, 2012). No rio Negro, os terremotos dos pontos 4, 10 e 12 podem, devido à sua magnitude, ter influenciado no processo de erosão do rio Negro, principalmente das ilhas dos arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá e nas falésias fluviais.

Figura 2 – Espacialização do risco de terremotos na bacia do rio Negro



Fonte: Este Trabalho (2024).

Isso se torna relevante, pois atualmente o rio Negro não possui energia suficiente para o processo fluvial de erosão e transporta uma baixa concentração de sedimentos suspensos (MARINHO et al., 2020), o que permite a estabilidade dos ambientes fluviais do canal (pouca erosão e deposição) (ALVES, 2013; BARBOSA, 2015; QUEIROZ e MARINHO, 2026). Portanto, é necessário investigar com maior detalhamento o impacto dos terremotos leves e moderados na bacia do rio Negro para entender os impactos nos processos de terras caídas no canal.

Em regiões de baixa topografia, um pequeno grau de deformação e falhamento parece ser suficiente para influenciar na dinâmica de grandes rios, podendo alterar o seu curso e controlar o vale fluvial (ROSSETTI et al., 2022). Ou seja, o controle estrutural ao qual o rio Negro e seus afluentes estão submetidos (QUEIROZ et al., 2024) pode influenciar diretamente nos processos geomorfológicos que ocorrem no canal.

Considerações finais

Com base nos dados apresentados, a bacia do rio Negro possui uma baixa sismicidade, com apenas 22 eventos detectados em 61 anos, ou seja, cerca de 0,36 terremotos por ano. A predominância foi de terremotos leves, e apenas dois eventos moderados, que podem causar danos, foram detectados. A maioria dos eventos está associada a áreas de rochas pré-cambrianas do escudo das Guianas, indicando um risco sísmológico mais elevado nessas regiões.

A espacialização dos terremotos revelou áreas de maior risco na região nordeste da bacia, especialmente no alto curso do rio Branco, e na região sudeste, próxima ao arquipélago fluvial de Anavilhanas, próximo à cidade de Manaus. Além disso, os terremotos podem influenciar nos processos geomorfológicos do rio Negro, como as terras caídas, fenômeno característico dos grandes rios da bacia Amazônica. Porém, estudos mais detalhados para compreender a interação entre a sismicidade e os processos geomorfológicos são necessários para a bacia. Além de um melhor monitoramento dos sismos através de uma rede mais detalhada de sismógrafos. Dessa forma, será possível entender melhor a distribuição temporal dos terremotos e analisar suas causas na bacia.

Referências

ALMEIDA-FILHO, R.; MIRANDA, F.P. Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model. **Remote Sens. Environ.**,110, p. 387–392, 2007.

ALVES, N.S. **Mapeamento Hidromorfodinâmico do Complexo Fluvial de Anavilhanas**: Contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de Rios Amazônicos. 2013. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 232p.

ASSUMPÇÃO M, FERREIRA J, BARROS L, et al. Intraplate seismicity in Brazil. In: TALWANI P. (Org.). **Intraplate Earthquakes**. Cambridge University Press; 2014, pp. 50-71.

ASSUMPÇÃO, M. A regional magnitude scale for Brazil. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 73, 237–246, 1983.

ASSUMPÇÃO, M.; SCHIMMEL, M.; ESCALANTE, C.; BARBOSA, J.R.; ROCHA, M.; BARROS, L.V. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. **Geophys. J. Int.**, V. 159, 390–399, 2004.

BANDEIRA, I.C.N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E.R.; CONCEIÇÃO, R.A.C.; ANDRADE, M.M.N. Terras Caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 222, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7>

BARBOSA, R.O. **Estudos Sedimentológicos e Estratigráficos dos Depósitos Sedimentares Quaternários do Arquipélago de Anavilhanas, Município de Novo Airão (Amazônia Central)**. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Amazonas-UFAM) Manaus, Brasil, 2015.

BERROCAL, J., ASSUMPÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M., ORTEGA, R. FRANÇA, H.; VELOSO, J.A.V. **Sismicidade do Brasil**. IAG-USP, 1984.

BEZERRA, P.E.L. 2003. **Compartimentação Morfotectônica Do Interflúvio Solimões – Negro**. Tese De Doutorado (Curso De Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro De Ciências, UFPA), Belém, 2003.

BRITANNICA. **The nature of earthquakes**. *Earth Sciences*, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology#ref59550>. Acesso em: 16/01/2024.

CAMPBELL, D. L. Investigation of the stress-concentration mechanism for intraplate earthquakes. **Geophysical Research Letters**, 5(6), 477–479, 1978. <https://doi.org/10.1029/gl005i006p00477>

CAMPBELL, K.E. JR.; FRAILEY, C.D.; ROMERO-PITTMAN, L. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n.239, 2006, p.166-219. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.020>

CARVALHO, J. A. L. **Erosão Nas Margens do Rio Amazonas: o Fenômeno das Terras Caídas e suas Implicações na vida dos moradores**. Tese - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Niterói/RJ: Universidade Federal Fluminense, 2012.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y. ; BORGES, M. S ; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P. ;BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica Da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 23- 44, 1996. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S. Tectonics and paleogeography along the Amazon River. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 14, pp. 335-347, 2001.

CRAIG, T. J. ; CHANARD, K.; CALAIS, E. Hydrologically-driven crustal stresses and seismicity in the New Madrid Seismic Zone. **Nature Communications**, 8(1), 2143, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01696-w>

DENTITH, M. C.; FEATHERSTONE, W. E. Controls on intra-plate seismicity in southwestern Australia. **Tectonophysics**, 376(3–4), 167–184, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.10.002>

DI, Q. Y. ; FEI, T. ; YANHUI, S. ; RUI, G. ; SANZHONG, L. ; CHANGMIN, F., et al. (2021). Linkage of deep lithospheric structures to intraplate earthquakes: A perspective from multisource and multi-scale geophysical data in the South China Block. **Earth-Science Reviews**, 214, 103504. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103504>

DUNN, M.; DESHON, H. R.; POWELL, C. A.. Imaging the New Madrid seismic zone using double-difference tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(10), 5404–5416, 2013. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50384>

FERREIRA, J.; OLIVEIRA, R.T.; TAKEYA, M.K.; ASSUMPÇÃO, M.. Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin, **GEOPHYS. J. INT.**, 134, 341–355, 1998.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Modern sedimentation in the Lower Negro river, Amazonas State, Brazil. **Geomorphology**, 44, 259 – 271, 2002.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Utilização de sensoriamento remoto na investigação da área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. VI **Simp. Bras. Sens. Rem.** An. 3, p. 641 – 648, 1990.

GANGOPADHYAY, A.; DICKERSON, J.; TALWANI, P. A two-dimensional numerical model for current seismicity in the New Madrid seismic zone. **Seismological Research Letters**, 75(3), 406–418, 2004. <https://doi.org/10.1785/gssrl.75.3.406>

GANGOPADHYAY, A.; TALWANI, P Two-dimensional numerical modeling suggests that there is a preferred geometry of intersecting faults that favors intraplate earthquakes. In **Continental Intraplate Earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues**, ed. S. Stein, and S. Mazzotti. Geological Society of America Special Paper 425, pp. 87–99, 2007.

GANGOPADHYAY, A.; TALWANI, P. Symptomatic features of intraplate earthquakes. **Seismological Research Letters**, 74(6), 863–883, 2003. <https://doi.org/10.1785/gssrl.74.6.863>

GARDONIO, B. ; JOLIVET, R. ; CALAIS, E. ; LECLERE, H. The April 2017 Mw6.5 Botswana earthquake: An intraplate event triggered by deep fluids. **Geophysical Research Letters**, 45(17), 8886–8896, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018gl078297>

GUPTA, H. K.; RAO, N. P.; RASTOGI, B. K.; SARKAR, D. The deadliest intraplate earthquake. **Science**, 291(5511), 2101–2102, 2001. <https://doi.org/10.1126/science.1060197>

IIO, Y.; KOBAYASHI, Y. A physical understanding of large intraplate earthquakes. **Earth Planets and Space**, 54(11), 1001–1004, 2002. <https://doi.org/10.1186/bf03353292>

IRON, G. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene times. In: SIOLI, H. (Ed). **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**. Dr. W. Junk Publ., Dordrecht, Netherlands, p. 167-200, 1984.

JOHNSTON, A. C.; SCHWEIG, E. S. (1996). The enigma of the New Madrid earthquakes of 1811–1812. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 24(1), 339–384, 1996. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.24.1.339>

KATO, A.; KURASHIMO, E.; IGARASHI, T.; SAKAI, S.; IIDAKA, T.; SHINOHARA, M., et al.. Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes. **Geophysical Research Letters**, 36(5), 2009. <https://doi.org/10.1029/2008gl036450>

LATRUBESSE, E.M., FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology** 70, p. 372–397, 2005.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from the Negro River, Amazon Basin. In: VIEIRA, B.C.; SALGADO, A.A.R.; SANTOS, L.J.C. (Orgs.), **Landscapes and Landforms of Brazil**, Springer, Dordrecht, p.157–169, 2015.

LIN, J.; XIA, S.; WANG, X.; ZHAO, D.; WANG, D. Seismogenic crustal structure affected by the Hainan mantle plume. **Gondwana Research**, 103, 23–36, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.10.029>

LIU, M.; STEIN, S. Mid-continental earthquakes: Spatiotemporal occurrences, causes, and hazards. **Earth-Science Reviews**, 162, 364–386, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.016>

MARINHO, R.R., FILIZOLA JUNIOR, N.P., CREMON, É.H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. **Water**, 12, 1073, 2020.

MARINHO, R.R.; FURTADO, A. R.; SANTOS, V. C.; ZUMAK, A.; [FILIZOLA, N.P.](#) . Riverbed morphology and hydrodynamics in the confluence of complex mega rivers - A study in the Branco and Negro rivers, Amazon basin. **JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES**, v. 118, p. 103969, 2022.

MIOTO, J.A. **Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil**. Tese (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP). Rio Claro, 1993.

MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized spline with tension: I, Theory and implementation. In: **Mathematical Geology**, v.25, p. 641-655, 1993.

MITASOVA, H.; MITAS, L.; BROWN, B. M.; GERDES, D. P.; KOSINOVSKY, I. Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS. In: **International Journal of Geographical Information Systems** v. 9, p. 433-446, 1995.

MOONEY, W. D.; RITSEMA, J.; HWANG, Y. K. Crustal seismicity and the earthquake catalog maximum moment magnitude (M_{\max}) in stable continental regions (SCRs): Correlation with the seismic velocity of the lithosphere. **Earth and Planetary Science Letters**, 357–358, 78–83, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.08.032>

NUTTLI, O. W. The Mississippi Valley earthquakes of 1811 and 1812: Intensities, ground motion and magnitudes. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 63(1), 227–248, 1973. <https://doi.org/10.1785/bssa0630010227>

PAGE, M. T.; HOUGH, S. E. The New Madrid seismic zone: Not dead yet. **Science**, 343(6172), 762–764, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1248215>

QUEIROZ, M. S.; MARINHO, R. R. Suspended sediment transport in the Mariuá archipelago: A megacomplex anabranching system in the Negro River (Amazon Basin). **Earth Surface Processes and Landforms**, 51(2), e70254, 2026. <https://doi.org/10.1002/esp.70254>

QUEIROZ, M. S.; MARINHO, R. R.; DE CARVALHO, J. A. L.; SILVA, C. F. The geomorphological landscape of the Mariuá Archipelago: An anabranching megacomplex system in the Negro River, Amazon Basin (Brazil). **Geomorphology**, 490, 110023, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.110023>

QUEIROZ, M.S.; ALVES, N.S. Conditioning Factors of “Terras Caídas” in Lower Solimões River – Brazil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, pp. 220-233, 2021.

QUEIROZ, M.S.; MARINHO, R. R.; ALVES, N.S.; RODRIGUES, C. Arquipélago De Anavilhanas: Uma Revisão De Suas Formas, Processos E Origem. **REVISTA GEONORTE**, [S. l.], v. 15, n. 48, 2024. DOI: 10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.166.198

RICHTER, C.F. An instrumental earthquake magnitude scale. **Bulletin of the seismological society of America**, v. 25, 1935.

ROCHA, M.P.; AZEVEDO, P.A.; SCHIMMEL, M.; FUCK, R. Causes of intraplate seismicity in Central Brazil from travel time seismic tomography. VI **Simpósio Brasileiro de Geofísica**, 2014.

ROSSETI, D.F.; TOLEDO, P.M.; VALERIANO, M.M. Neotectonics and tree mortality in a forest ecosystem of the Negro basin: Geomorphic evidence of contemporary seismicity in the intracratonic Brazilian Amazonia. **Geomorphology**, v. 329, pp. 138–151, 2019.

ROSSETTI, D.F.; VASCONCELOS, D.L.; BEZERRA, F.H.R.; VALERIANO, M.M.; ALVES, F.C.; MOLINA, E.C. A large-scale domal relief due to intraplate neotectonic compression in central Amazonia. **Geomorphology**, v. 407, p. 108218, 2022.

SCHENK, C.J.; VIGER, R.; ANDERSON, C.P. South America Geologic Map (geo6ag): U.S. Geological Survey data release, 1999. <https://doi.org/10.5066/P9A3OJ9B>.

SEEBER, L.; ARMBRUSTER, J.G.. Seismicity along the Atlantic seaboard of the U.S.: intraplate neotectonics and earthquake hazard. In: **The Geology of North America, The Atlantic Continental Margin**: U.S., Vols 1–2, pp. 565–582, eds Sheridan, R.E. & Grow, J.A., Geol. Soc. Am, 1988.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. **Mapa geológico do Brasil**. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=084eb25de8e14eaa95bddb1d505e1ab6>. Acesso em: 18/01/2025.

SILVA, C.L. **Análise da Tectônica Cenozóica da Região de Manaus e Adjacências**. Ph.D. Thesis, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2005.

STERNBERG, H.O. Sismicidade e morfologia na Amazônia brasileira. **Ann. Acad. Bras. Cienc.**, v. 25, pp. 595-600, 1953.

STERNBERG, H.O. Vales Tectônicos na Planície Amazônica?. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 4, 1950.

STEVENSON, D.; GANGOPADHYAY, A.; TALWANI, P. Booming plutons: Source of microearthquakes in South Carolina. **Geophysical Research Letters**, 33(3), 2006. <https://doi.org/10.1029/2005gl024679>

SYKES, L. R.; SBAR, M. L. Intraplate earthquakes, lithospheric stresses and the driving mechanism of plate tectonics. **Nature**, 245(5424), 298–302, 1973. <https://doi.org/10.1038/245298a0>

TALWANI, P. Characteristic features of intraplate earthquakes and the models proposed to explain them. In **Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound**, pp. 231–259, eds Gregersen, S. & Basham, P.W., Kluwer, Dordrecht, 1989.

TALWANI, P. Fault geometry and earthquakes in continental interiors. **Tectonophysics**, 305(1–3), 371–379, 1999. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(99\)00024-4](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(99)00024-4)

TALWANI, P. The intersection model for intraplate earthquakes. **Seismological Research Letters**, 59(4), 305–310, 1988. <https://doi.org/10.1785/gssrl.59.4.305>

TASSINARI, C.G.; MACAMBIRA, J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, Vol. 22, no. 3, 1999.

VELOSO, A. On the footprints of a major Brazilian Amazon earthquake. **An. Acad. Bras. Ciências**, vol.86, no.3, Rio de Janeiro, 2014. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130340>

VELOSO, J.A.V.; MENDIGUREN, J.A. Sismicidade da Amazônia e parte do Centro-Oeste Brasileiro. **Simpósio Caract. Geolog. Geotectônicas da região Amazônica**. ABGE, 1980, p. 43-57.

ZOBACK, M. L.; RICHARDSON, R. M. Stress perturbation associated with the Amazonas and other ancient continental rifts. **Journal of Geophysical Research**, 101(B3), 5459–5475, 1996. <https://doi.org/10.1029/95jb03256>