

SISMOS INDUZIDOS PELO RESERVATÓRIO DA UHE TUCURUÍ/PA – PRIMEIRA APROXIMAÇÃO AO TEMA

EARTHQUAKES INDUCED BY THE TUCURUÍ/PA HPP RESERVOIR – FIRST APPROACH TO THE SUBJECT

TERREMOTOS INDUCIDOS POR LA UHE TUCURUÍ/PA EMBALSE – PRIMERA APROXIMACIÓN AL TEMA

Luciana de Oliveira Cruz

Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

E-mail: lucititania@gmail.com

Maria Madalena de Aguiar Cavalcante

Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

E-mail: mada.geoplan@gmail.com

Flávio Rodrigues do Nascimento

Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: flaviorn@yahoo.com.br

RESUMO

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHET), localizada no sudeste do estado do Pará, começou a ser construída em 1975, ainda no período de regime militar no Brasil, com o fito de atender interesses políticos e capitalistas, tendo sua finalização em 1984. Considerada a segunda maior usina hidrelétrica genuinamente brasileira e a sexta entre as maiores do mundo, sua massa d'água, a montante do barramento, está concentrada em 200 km de comprimento, e tem volume do reservatório aproximado a 50,8 milhões de m³ com de vazão de água de 110.000 m³, quando o reservatório atinge sua cota máxima a 74 metros. No entanto, a ausência de estudo sobre riscos de sismicidades ou mesmo de levantamentos geomorfológicos, em uma região com existência de falhas geológicas, torna-se uma questão preocupante. Essa preocupação reside no fato de que alguns sismos já foram registrados após o início das atividades de funcionamento da UHE, com maior ocorrência entre os anos de 1984 e 2021, caracterizando um fenômeno chamado Sismicidade Induzida por Reservatório (SIR). Este artigo tem como objetivo apontar elementos sobre possíveis fatores que causem fenômenos sísmicos induzidos pelo reservatório, da Usina Hidrelétrica de Tucuruí-PA, no município homônimo, advindos da inundação do lago artificial.

PALAVRAS-CHAVE: Usina Hidrelétrica; Sismicidades; Massa d'água; Pressão tectônica.

ABSTRACT

The Tucuruí Hydro-Power Complex (UHET), located in the southeast of Pará State, began to be built in 1975, during the military regime in Brazil, in order to meet political and capitalist interests, and was completed in 1984. Considered the second largest hydroelectric plant genuinely Brazilian and the sixth largest in the world, its water body, upstream of the dam, is concentrated in 200 km in length, and has a reservoir volume of approximately 50.8 million m³ with a water flow of 110,000 m³, when the reservoir reaches its maximum quota at 74 meters. However, the absence of studies on seismicity risks or even geomorphological surveys, in a region with the existence of geological faults, becomes a matter of concern. This concern lies in the fact that some earthquakes have already been registered after the beginning of the HPP operation activities, with a higher occurrence between the years 1984 and 2021, characterizing a phenomenon called Reservoir Induced Seismicity (SIR). This article aims to point out possible factors that cause seismic phenomena induced by the reservoir of the Tucuruí Hydroelectric Power Plant in the municipality of the same name, resulting from the flooding of the artificial lake.

KEYWORDS: Hydroelectric power plant; seismicities; water mass; tectonic pressure.

RESUMEN

El Complejo Hidroeléctrico de Tucuruí (UHET), situado en el sudeste del Estado de Pará, comenzó a construirse en 1975, durante el período del régimen militar en Brasil, para servir a intereses políticos y capitalistas, y se concluyó en 1984. Considerada la segunda mayor central hidroeléctrica de Brasil y la sexta del mundo, su masa de agua, aguas arriba de la presa, se concentra en una longitud de 200 km, con un volumen de embalse de unos 50,8 millones de m³ y una salida de agua de 110.000 m³, cuando el embalse alcanza su nivel máximo a 74 metros. Sin embargo, preocupa la ausencia de estudios sobre riesgos sísmicos o incluso de estudios geomorfológicos en una región donde existen fallas geológicas. Esta preocupación reside en el hecho de que ya se han registrado algunos terremotos después del inicio de las actividades de explotación de la CHE, con mayor ocurrencia entre los años 1984 y 2021, caracterizando un fenómeno denominado Sismicidad Inducida por el Embalse (SIR). Este trabajo tiene como objetivo destacar los posibles factores causantes de fenómenos sísmicos inducidos por embalse en la Central Hidroeléctrica Tucuruí, en el municipio del mismo nombre, originados por la inundación del lago artificial.

PALABRAS-CLAVE: Central hidroeléctrica; sismicidad; masa de agua; presión tectónica.

1. INTRODUÇÃO

A Região Amazônica, por ser dotada de grande quantidade e diversidade de recursos naturais, que são essenciais à vida e ao desenvolvimento da sociedade, tornou-se visivelmente alvo de exploração mais acentuada. Essa exploração advém de práticas capitalistas a partir da ideia de integração da região Norte à dinâmica econômica ao restante do Brasil, no período de Governo Juscelino Kubitschek (JK), entre os anos de 1956 a 1961, com maior evidência à abertura de rodovias para facilitação do acesso, como o caso da Rodovia Belém-Brasília (BR-010) e, por conseguinte, uma nova articulação de ocupação da região a partir da migração (SILVA; PENA; OLIVEIRA, 2015, p. 06).

O Plano de Meta de JK aflorou as percepções desenvolvimentistas político-econômicas do país, sendo um de seus pontos-chave a geração de energia através de usinas hidrelétricas. A título de exemplo, citamos as construções das Rodovias Transamazônica (BR-230), Belém-Brasília (BR-010), agropolos e projetos de reassentamento agrário, assim como hidrelétricas, que são os casos de Balbina e Tucuruí.

A propósito disto:

Frentes de ocupação e dinamização de atividades produtivas na Amazônia, vantagens locacionais e instalação de infraestruturas, são exemplos que vêm configurando e forjando novos territórios e desencadeando novos problemas ambientais e impactos territoriais emergentes (...) (HERRERA; NASCIMENTO, 2019. p. 1).

Nos governos seguintes, perpassando pelo período da ditadura militar (1964 – 1985), no Brasil, as concepções relativas à Região Amazônica e suas novas políticas de uso e de ocupação de

seu território seguiram os pensamentos governamentais da época. Desse modo, foram executados a construção de objetos técnicos e a implementação de atividades que capitalizavam os recursos naturais, tais como mineração, garimpo, usinas hidrelétricas etc. Becker (2005) endossa a narrativa acerca da mercantilização dos recursos amazônicos, nos seguintes aspectos:

A natureza foi então reavaliada e revalorizada a partir de duas lógicas muito diferentes, mas que convergem para o mesmo projeto de preservação da Amazônia. A primeira lógica é a civilizatória ou cultural, que possui uma preocupação legítima com a natureza pela questão da vida, o que dá origem aos movimentos ambientalistas. A outra lógica é a da acumulação, que vê a natureza como recurso escasso e como reserva de valor para a realização de capital futuro, fundamentalmente no que tange ao uso da biodiversidade condicionada ao avanço da tecnologia (BECKER, 2005, p. 74).

Nesse contexto, em 1975, iniciou-se a construção de uma Usina Hidrelétrica, em Tucuruí; a princípio, um município pequeno com contingente populacional de aproximadamente 10 mil (dez mil) habitantes, localizado na região sudeste do Pará. Tucuruí apresentava base econômica pautada no extrativismo, em atividades de pesca e de exploração de madeira. Campos (2019) explica que, incrementada por investimentos de japoneses, a implementação da UHE Tucuruí surge como uma forma de suprir o fornecimento de energia para empresas que viram grande potencial em minérios como a bauxita, no estado do Pará, cujo manejo origina o alumínio e a alumina.

No ano de 1984, finaliza-se a construção e tem início a funcionabilidade da usina de Tucuruí, transformando toda a dinâmica de sua área de influência. Inúmeras e expressivas mudanças ocorreram na paisagem do seu entorno, especialmente com o remanejamento das populações devido à inundação de várias áreas pelo reservatório e barramento do rio Tocantins, o que afetou direta e consideravelmente as famílias que ali residiam (ACSERALD, 1991).

Na falta de transparência durante os estudos de viabilidade técnica, instalação e operação da UHE, ou mesmo de consulta popular, são desconhecidas anotações que tratem dos impactos correlatos ao empreendimento. Desse modo, a ausência dos procedimentos básicos adequados acabou desencadeando uma série de problemas ecológicos e sociais, os quais perduram até os dias atuais, assim como elucida Campos (2019).

O projeto da usina hidrelétrica de Tucuruí tem muito a revelar acerca da ditadura brasileira. De fato, entendemos que temos ali um microcosmo do regime, em diversas feições e dimensões do seu caráter autoritário e de sua própria composição social. Para além da falta de democracia na forma como o projeto foi

elaborado e conduzido, sem consulta às comunidades locais, ignorando os impactos sociais decorrentes da megasina e de seu reservatório, além de todos os danos ambientais causados pela barragem, a obra é reveladora da ditadura na medida em que ela expressa interesses empresariais que constituíram os seus beneficiários. A falta de transparência no uso dos recursos públicos e que se expressava na forma obscura como foi elaborado o projeto, o edital da obra, o contrato e seus aditivos serviram para favorecer certos interesses empresariais que atuaram no projeto. Assim, todo o sacrifício das milhares de famílias trabalhadoras afetadas serviu para favorecer e enriquecer certos grandes interesses econômicos privados (CAMPOS, 2019, p. 281).

Miranda (2019) explica que, juntamente às enormes consequências ecológicas, econômicas, ocorreram perda de vegetação da área alagada, alterações na fauna e na flora em escala local e regional, desterritorialização de populações tradicionais, sejam indígenas, quilombolas, agricultores, ribeirinhos, os quais têm seu vínculo econômico associado ao rio. Na ausência do uso desse recurso natural, as populações atingidas sofreram com alterações alimentares relacionadas à retirada do pescado cotidiano de sua alimentação, gerando também impactos diretos em suas rendas. Cavalcante (2012) argumenta que a atividade da pesca representa, muitas vezes, a principal fonte de renda e de alimento, sendo comprometida, portanto, com o desaparecimento de algumas espécies de peixe.

Diante dos problemas evidenciados pelo processo de implantação da hidrelétrica de Tucuruí, começaram a surgir movimentos sociais e de lutas de grupos organizados que foram atingidos pela UHE. Passaram a reivindicar seus direitos indenizatórios e compensatórios pelas perdas materiais, bem como pelos danos imateriais. Infelizmente, tais compensações monetárias não foram pagas conforme acordo entre as partes, o que continuou gerando incongruências sociais e disputas que seguem até os dias de hoje.

Nessa perspectiva, o presente artigo tem como objetivo apontar alguns possíveis elementos que causaram fenômenos sísmicos induzidos pelo reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí-PA, no município homônimo, decorrentes da inundação do lago artificial. Além das alterações trazidas pela mega infraestrutura da UHE em questão, também ocorreram novos fenômenos no município de Tucuruí, neste caso, pequenos abalos sísmicos, os quais foram percebidos pela população no período de 1984 a 2021. Esses abalos sísmicos foram notados e relatados por moradores. Também, houve registros em sites, mídias locais, regionais e nacionais sobre os tremores (G1, 2007; ESTADÃO, 2007; CORRÊA, 2016), chamando a atenção de dois ocorridos nos anos de 1998 e 2007.

2. PROBLEMÁTICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa problemática pode encontrar justificativa no questionamento sobre a obscuridade de informações oficiais por parte da Eletronorte, haja vista a dificuldade ou mesmo a impossibilidade de se encontrar boletins oficiais dos eventos sísmicos. Por esse contexto, compreendo quais fatores podem ser potencialmente apontados como causadores dos abalos sísmicos ocorridos na área do reservatório da UHE Tucuruí?

Diante disso, supõe-se que dois elementos possam, talvez, corroborar para explicar os eventos sísmicos ocorridos em Tucuruí: a) Sismicidade induzida pela massa hídrica criada pelo reservatório; b) Falhas geológicas identificadas na área da bacia sedimentar onde está situada a UHE Tucuruí. Para investigar a questão e embasar esta pesquisa, fez-se um levantamento com o fito de encontrar informações acerca do assunto, também, revisão bibliográfica e algumas pesquisas em sites jornalísticos e em mídia virtuais, além de realizar leituras de textos, de artigos, de dissertações e de teses sobre a temática.

3. ELEMENTOS GEOLÓGICOS INDICATIVOS DE SISMICIDADES LIGADOS À UHE TUCURUÍ

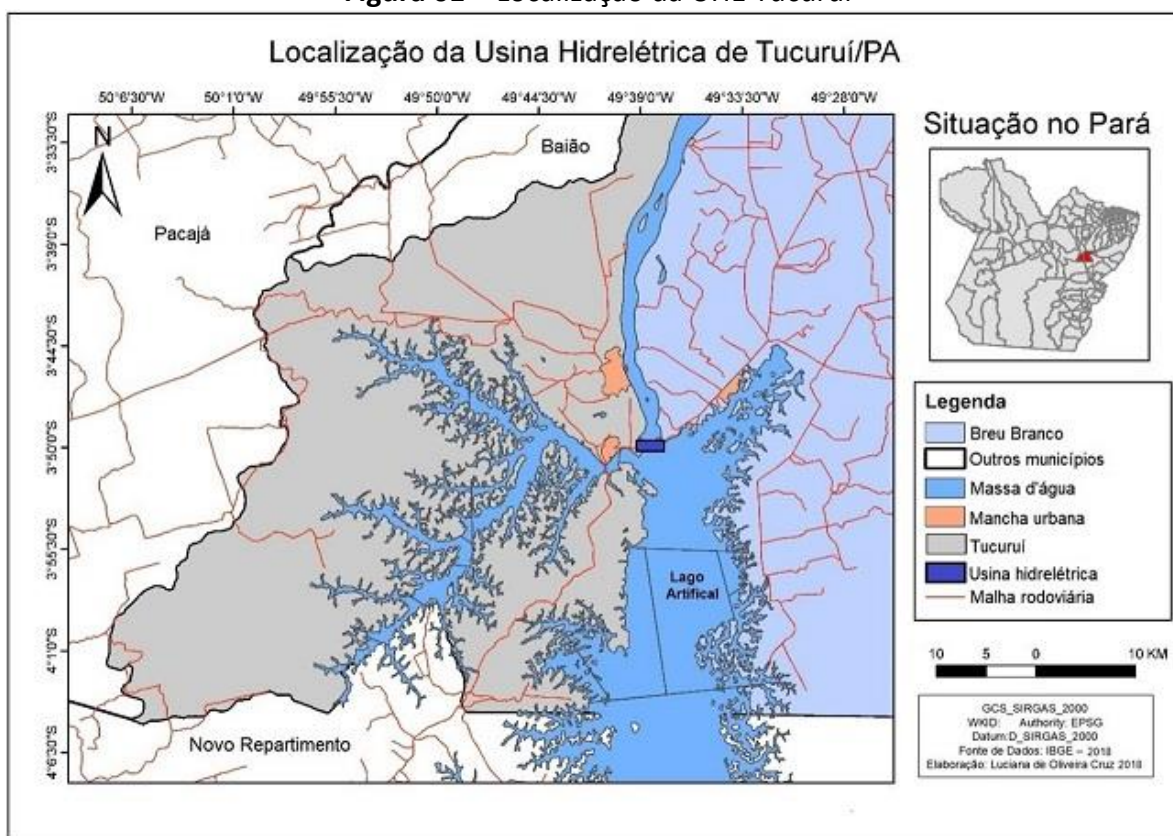
A Usina Hidrelétrica de Tucuruí, instalada na bacia do Rio Tocantins (Figura 01), sem dúvida, é uma construção de grandes proporções. Antes do surgimento da Usina de Belo Monte, também no estado do Pará, era considerada a maior usina genuinamente brasileira. Assim, dispõe de números e de feitos impressionantes, como sua capacidade de produção energética, tamanho do reservatório, profundidade e extensão. Além disso, seu vertedouro apresenta capacidade para 110.000 m³/s de vazão e é o segundo maior do mundo.

Essa construção foi iniciada em 21 de novembro de 1975, sendo inaugurada em 22 de novembro de 1984, pelo presidente João Figueiredo, com capacidade de 4000 Megawatts (MW), ampliados, em meados de 2010, para 8.370 MW. A barragem de Tucuruí possui 11 km de comprimento e 78 m de altura, o desnível da água varia com a estação do ano entre 58 e 72 m. O reservatório tem 200 km de comprimento e 2.850 km² de área quando cheio, ou seja, 0,341 km² por MW instalado. Quando o nível é mínimo (62 m), a área alagada diminui em cerca de 560 km². A vazão média do rio, ao longo do ano, nesse ponto, é de aproximadamente 11.000 m³/s; a máxima observada (março de 1980) foi de 68.400 m³/s (ELETRECIDADE, 2020).

Por certo, a implementação da usina hidrelétrica desencadeou uma série de impactos, os quais podem ser interpretados, desde a sua construção, como especulativos, imediatos (durante a construção) e processuais (pós construção). Desse modo, indicando que as consequências originadas deste grande projeto hidrelétrico ocorrem antes, durante e continuam mesmo depois de sua finalização (CAVALCANTE, 2012).

Na Figura 01, é possível visualizar toda a abrangência do lago artificial gerado pelo barramento da usina, o que, naturalmente, também, trouxe expressivas mudanças para toda a área atingida, em diversos aspectos, tanto de ordem física como social, climática, econômica, ambiental, cultural, política etc.

Figura 01 – Localização da UHE Tucuruí



Fonte: IBGE, 2018.

Assim, com o funcionamento da usina hidrelétrica de Tucuruí, as atividades e a dinâmica do meio natural sofreram grandes transformações, no caso, a floresta ficou completamente submersa, comprometendo a fauna e a flora do local, sem que houvesse planejamento ou mesmo transparência das práticas degradadoras de impactos ecológicos e socioeconômicos irreversíveis (GONÇALVES; SOARES; SILVA, 2012, p. 94). Desse modo, novas dinâmicas modeladoras da paisagem

foram impostas na região atingida pela funcionabilidade da UHE Tucuruí e trouxeram eventos desconhecidos, tais como registros de abalos sísmicos com epicentro no município de Tucuruí (LOUZADA, 2018).

Desse modo, nos locais em que são instaladas usinas hidrelétricas, há indicativos diretos sobre possibilidades de tremores de terra, incitados por um conjunto de atividades antrópicas que influenciam as ações naturais, como pressão causada pelo peso do reservatório de água, denominado Sismicidade Induzida por Reservatório (SIMPSON, 1976; CHIMPLIGANOND, 2002). A partir deste processo, Chimpliganond (2002) reforça que as atividades de sismicidades induzidas por reservatório são consequência de práticas humanas referentes aos grandes empreendimentos, com ênfase nos projetos hidrelétricos.

A maneira com que as tensões crustais, presentes em certa região, são liberadas na forma de sismos pode ser modificada pela ação humana, produzindo o que chamamos de sismicidade induzida. Esta influência antrópica pode se dar por meio de algumas atividades como: mineração subterrânea profunda ou a- céu aberto em grande escala;- injeção de fluido sob alta pressão em mineração de dissolução, disposição de resíduos tóxicos, geração de energia geotermal e prospecção secundária de petróleo; extração de fluidos; grandes explosões nucleares subterrâneas; e enchimento de reservatórios de água. Devido à sua correlação com estes grandes projetos de engenharia, a sismicidade induzida tem implicações socioeconômicas significantes. Dentre estas atividades, o enchimento de grandes reservatórios é a que concentra maior interesse. Isto é devido ao fato de grandes lagos serem produzidos em todo o mundo. Além disso, os sismos por eles induzidos apresentam magnitudes superiores às observadas para as demais formas de indução (CHIMPLIGANOND, 2002, p. 03).

Os registros de Sismicidades Induzidas por Reservatórios começaram a ser observados a partir da década de 1930. No entanto, na década de 1960, as pesquisas relacionadas à temática ganharam destaque no cenário mundial. No Brasil, os estudos acerca de eventos sísmicos relacionados a reservatórios de água iniciaram na década de 1970, em que houve registro de um tremor de magnitude 3,7, na Escala Richter, no Reservatório de Carmo do Cajuru (MG). Esse sismo registrado em Porto Colômbia (MG) foi o maior até então, enquanto Tucuruí teve seu maior registro confirmado em 2007, sismo registrado na categoria 3,8, como mostra a Tabela 01.

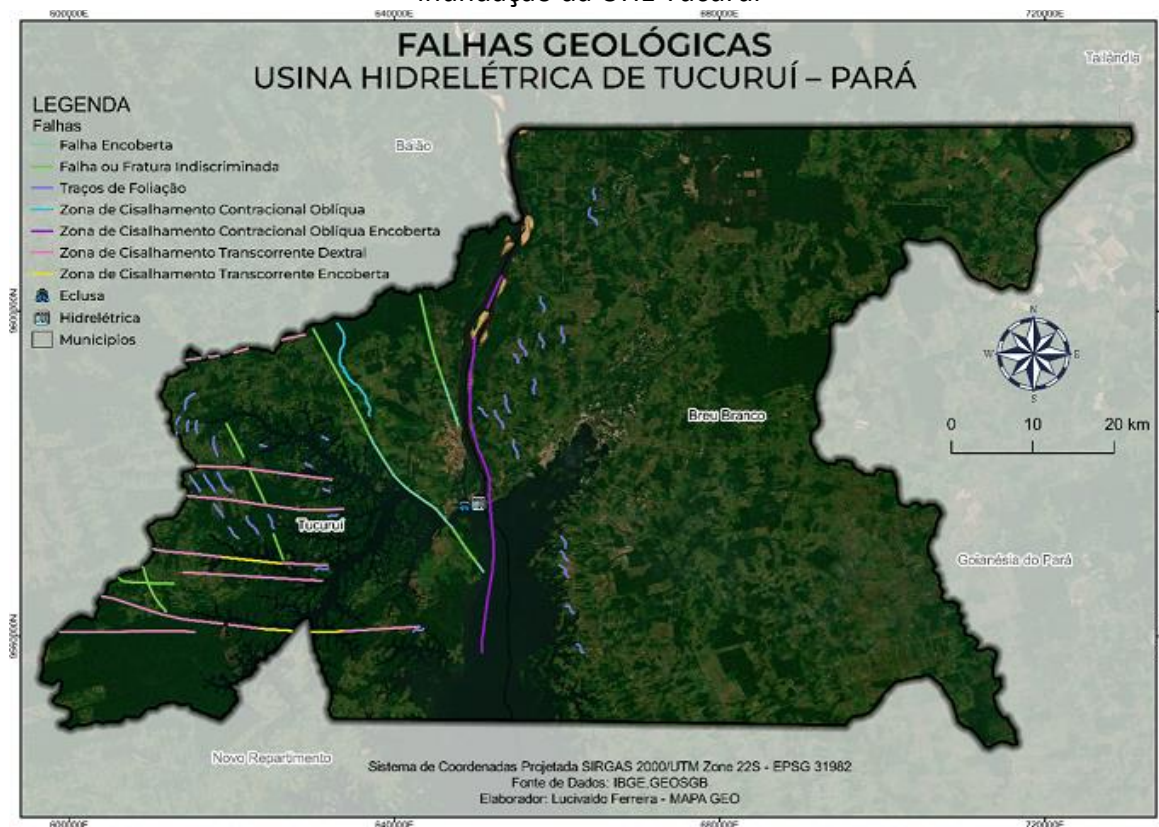
Tabela 01 – Alguns dos maiores abalos sísmicos induzidos por reservatórios já registrados no Brasil

Barragem	Altura (m)	Ano	Magnitude (mb)	Intensidade (MM)
Porto Colômbia, MG/SP	40	1974	4,2	VI-VII
Nova Ponte, MG	140	1998	4,0	VI
Cajuru, MG	22	1972	3,7	VI
Capivara, PR/SP	60	1979	3,7	VI
Tucuruí/PA	78	1998	3,6	IV-V
Tucuruí/PA	78	2007	3,8	V
Balbina, AM	35	1990	3,4	IV-V
Miranda, MG	85	2000	3,3	VI
Funil/RJ	85	2011	3,2	IV-V
Jirau/RO	63	2014	3,2	IV-V
Capivari-Cachoeira, PR	60	1971	3,0	VI

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Teixeira, W. *et al*, 2000 e HiQuaker, 2023

Destaca-se que os abalos sísmicos estão associados às características tectônicas e geológicas, de modo que há uma correlação direta entre tais fatores. Em relação ao reservatório de água da UHE Tucuruí, é possível identificar, na Figura 02, falhas geológicas existentes na área de influência da usina hidrelétrica. Observa-se que, nas características geológicas, assentadas no reservatório da UHE Tucuruí, existe uma zona de cisalhamento contracional oblíqua, bem como uma falha que varia de encoberta para fratura indiscriminada. A título de informação, uma zona de cisalhamento é uma zona tabular em que a deformação é notória, maior que a deformação nas rochas ao seu redor (MORA, 2020).

Figura 02 – Falhas geológicas e zonas de cisalhamentos existentes na área de inundação da UHE Tucuruí



Fonte: IBGE, GEOSGB 2023.

O cisalhamento tectônico em si é um fenômeno de deformação das rochas causado por pressão, desse modo, gerando forças que atuam em sentidos iguais ou opostos, entretanto, em direções semelhantes, ainda, frisa-se, que podem ser de ativação ou de reativação tectônica, portanto, de distintos períodos geológicos. Podem ser classificados como rúptil, rúptil-dúctil, dúctil-rúptil e dúctil, como é demonstrado na Figura 03.

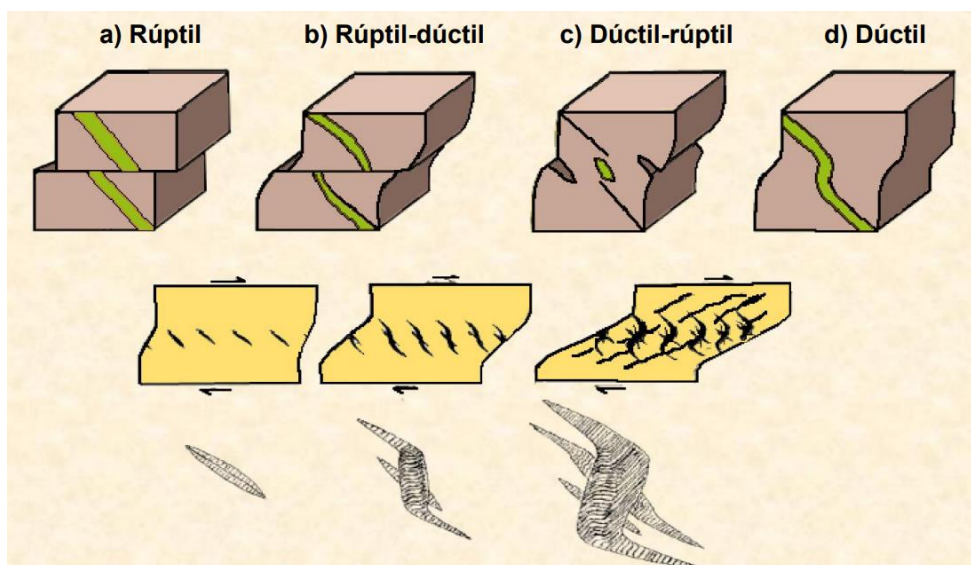
Na área do reservatório da hidrelétrica de Tucuruí, há possibilidade de que o peso e a pressão da água, também da massa d'água em ambiente lântico, sejam agentes potencializadores de pressão sobre a zona de cisalhamento oblíquo. Assim, provavelmente, esses agentes potencializadores existem ali desde período Neoproterozoico, onde formou-se a estrutura sedimentar da área de Tucuruí, como afirma (DUTRA; GORAYEB; NOGUEIRA, 2014). Neste contexto, Silva (2020) explica que a água tem forte influência na cinemática das zonas de cisalhamento.

Para zonas de cisalhamento, o endurecimento pode ser relacionado ao crescimento de minerais metamórficos mais fortes, acúmulo de deslocamentos, ou desidratação ou mudanças no mecanismo de deformação. Além disso, as paredes podem

amolecer através de fluidos infiltrados na zona de cisalhamento, fazendo com que a rocha encaixante enfraqueça através da transformação metamórfica e consequentemente gerando espessamento da zona de cisalhamento (Tipo 1 ou 4). Uma alta pressão relativamente dentro das zonas de cisalhamento pode efetivamente direcionar a água para a rocha encaixante, secando e, assim, endurecendo o núcleo da zona de cisalhamento. A fonte de tais fluidos pode ser externa, mas os fluidos também podem ser liberados de minerais hidratados ou durante a recristalização de quartzo e feldspato no núcleo da zona de cisalhamento (SILVA, 2020, p. 110).

No caso da zona de cisalhamento observada, na área em que está localizada a UHE Tucuruí, esta é caracterizada como dúctil, contracional e oblíqua, isto é, possui baixo ângulo de mergulho e não segue uma linha reta, demonstrando obliquidade. Já as falhas geológicas são rupturas, fendas ou mesmo fraturas nas rochas, apresentando relação direta com a morfoestrutura, temperatura e pressão sofridas em seu entorno (SILVA; VAZ, 2012, p. 15).

Figura 03 – Tipos de zona de cisalhamento



Fonte: Ramsay; Huber; Lisle, 1983

Ressalta-se que há confirmação dos abalos sísmicos com epicentro no interior do lago artificial da UHE Tucuruí, na década de 1980. Desse modo, marcando o período do início das atividades de funcionamento e evidenciando a existência das falhas geológicas na região (VELOSO; ASSUMPÇÃO, 1989 *apud* CAMARÃO; JUNIOR, 2001). Portanto, a estrutura geológica e a própria geomorfologia da região na qual foi implantada a usina hidrelétrica sofreram consequências e alterações.

4. SISMICIDADE INDUZIDA POR RESERVATÓRIO (SIR): INDÍCIOS NA UHE TUCURÚ

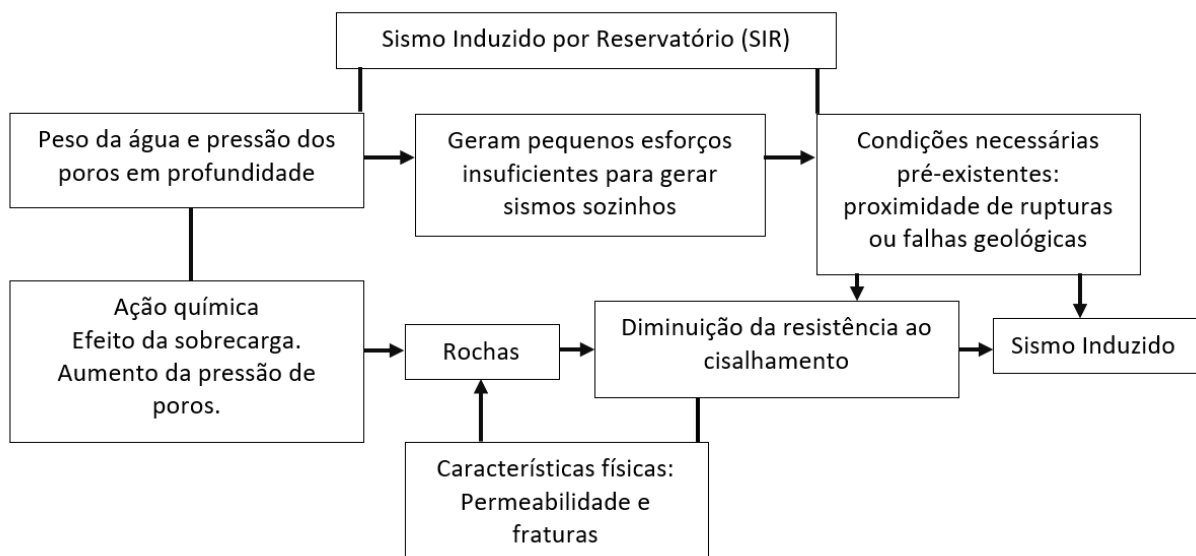
Sabe-se que as grandes intervenções antrópicas, tais como as que ocorrem nas regiões de usinas hidrelétricas, bem como em indústrias ligadas à mineração, em atividades de garimpos, entre outras, também podem provocar abalos sísmicos, visto que existem registros de sismicidade provocadas por reservatórios em vários países (FOULGER *et al.* 2018). A título de exemplo, pode-se citar do abalo sísmico em Koyna, na Índia, em que um tremor de magnitude 6,3, ocorrido em 1967, provocou a morte de 200 pessoas e danos à estrutura do barramento (RIBEIRO, 2006, p. 12).

Na China, também, há registros de SIR, tendo em vista que o país abriga várias hidrelétricas (CHEN *et al.* 2023). Já Ferreira (2017) reforça a questão sobre as práticas humanas que interferem diretamente na dialética dos elementos naturais, visto que estes já podem apresentar características preexistentes que propiciem os sismos.

Comprovadamente a ação do homem sobre o ambiente natural pode desencadear o aparecimento localizado dessa categoria de sismicidade induzida ou sismicidade desencadeada pelo homem. Grandes obras de engenharia podem afetar o estado dos esforços tectônicos em suas áreas de influência e disparar, por exemplo, um sismo que poderia acontecer naturalmente em algum tempo futuro. Entretanto, é necessária a existência de condições favoráveis na área de localização destas obras de engenharia, ou seja, as rochas devem estar submetidas a esforços quase críticos, próximas do limite de ruptura (FERREIRA, 2017, p. 01).

Acerca das grandes UHEs, observa-se que há muitas chances de ocorrer um fenômeno denominado Sismicidade Induzida por Reservatório (SIR), que deriva da construção de barragens ou, mais precisamente, dos reservatórios que podem gerar movimentos de blocos rochosos, causando, assim, sismos com consequências na sociedade (SILVA, 2018). A mecânica que acarreta uma sismicidade induzida por reservatório pode ser observada na figura 05, em que se verifica no esquema a nítida influência do peso da massa hídrica produzindo esforços, interagindo ações mecânicas e químicas, bem como fraturas e permeabilidades. Ressalta-se que os fatores físico-geológicos são muito importantes em todo o processo que envolve sismicidade.

Figura 05 – Esquema das causas que geram sismos induzidos



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Ribotta, 2013

5. RESULTADOS

No caso da UHE Tucuuruí, assim como em outras usinas que abrigam grandes reservatórios, a possibilidade de sismicidade induzida resulta em grande risco à população que habita na área de influência. Isso ocorre porque os sismos, dependendo da sua magnitude, podem causar grandes danos às estruturas externas e internas da hidrelétrica, oferecendo altos riscos de rompimento, desse modo, possivelmente, atingiria inúmeras comunidades e municípios do Baixo Tocantins, inundando em pouco tempo vários locais e afligindo centenas de milhares de pessoas (LOUZADA, 2018; ELETROBRÁS, 2011).

O abalo sísmico registrado em março de 1998, com magnitude de 3,6, ocorreu em Tucuuruí no período conhecido como inverno amazônico, em que são registrados altos índices pluviométricos por ser a estação de chuva na região amazônica, que acontece entre meados de dezembro e início de junho. Ainda, pode ser um indicativo de que o reservatório estava próximo ou mesmo em sua cota máxima de 74 metros, isto é, o peso da massa d'água estava muito maior do que no período do verão amazônico (entre os meses de junho e novembro), quando as águas do reservatório baixam de nível.

Frisa-se que, no dia 21 de junho de 2007, ocorreu um abalo sísmico em Tucuuruí de 3,8 pontos na escala Richter, com duração aproximada de 10 segundos. Embora não se tenha notificação acerca de feridos ou de mortos, apenas rupturas superficiais em casas e em construções, tal episódio

assustou consideravelmente a população. Não há boletins oficiais sobre o caso, tendo em vista que os sismógrafos de monitoramento, que estavam localizados em pontos estratégicos da área de influência da UHE, estavam em manutenção (IMPACTO, 2022).

O Observatório Sismológico da Universidade Nacional de Brasília, que é responsável pela supervisão de eventos sísmicos na UHE Tucuruí, desde 1979, declarou que sismos de 3,0 pontos são difíceis de serem registrados, pois são considerados sismos de baixa magnitude. Não obstante, esse abalo sísmico foi detectado pelo sismógrafo do Parque Nacional de Brasília (G1, 2007; BRASIL, 2007). Na Tabela 02, apresenta-se descrição dos sismos ocorridos no município de Tucuruí.

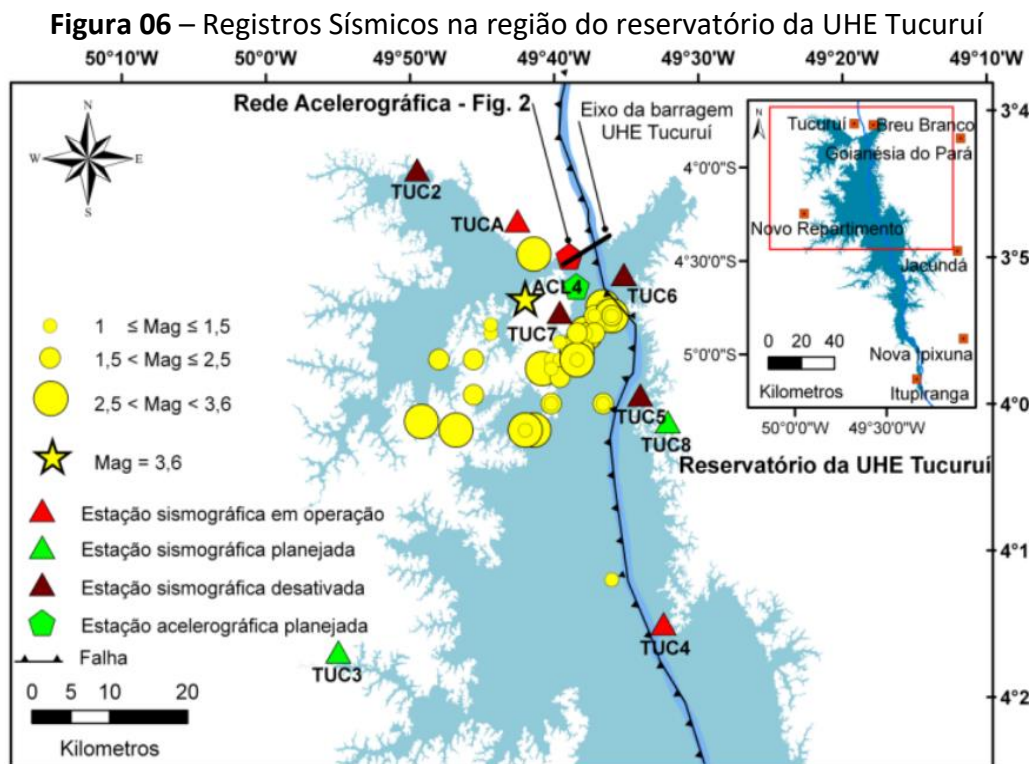
Tabela 02 – Abalos sísmicos registrados em Tucuruí – PA

Altura do reservatório	Mês/ano	Magnitude (mb)	Intensidade (MM)
78 m	novembro de 1985	3,2	II-III
	maio de 1987	3,4	I-II
	março de 1998	3,6	IV-V
	junho de 2007	3,8	V

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Barros *et al.* 2011

No dia 30 de dezembro de 2021, foi noticiado em mídias virtuais e em páginas informacionais o último tremor em Tucuruí. No entanto, este não foi registrado pelo sismógrafo do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília existente na área da UHE Tucuruí. Decorreu que sua magnitude foi considerada baixa, portanto, imperceptível (TUCURUÍ, 2022; DOL, 2021).

Segundo as matérias, sites e informações pesquisadas, não há notas oficiais emitidas pela Eletronorte que atestem e comprovem a conexão entre os abalos sísmicos e o reservatório, desse modo, causando preocupações, tendo em vista a obscuridade de informações dadas à sociedade. Assumpção *et al.* (2002) atestam que houve, de fato, fenômeno de sismicidade induzida no reservatório da UHE Tucuruí, assim como as informações que endossam os apontamentos de registros dos sismos na área do reservatório na hidrelétrica supracitada, ilustrados na Figura 06.



Fonte: Barros *et al.* 2011

Embora os tremores considerados de baixa magnitude não sejam percebidos ou registrados pelos sismógrafos com boletins oficiais, não quer dizer que sejam insignificantes e que não ofereçam riscos à população. Tais abalos sísmicos podem provocar danos materiais ou mesmo vitimizar seres humanos, ainda que sem gravidade. Nesse sentido, a ausência de estudos no período da construção e na área em que foi implantada a UHE Tucuruí aponta uma preocupação em relação aos abalos sísmicos, visto que informações precisas sobre o nível do reservatório no momento de ocorrência das sismicidades, por exemplo, não foram encontradas durante o levantamento deste estudo, comprometendo apontamentos mais claros sobre SIR e demonstração de dados. Assim sendo, qualquer movimento tectônico deve ser tratado com determinada seriedade, uma vez que há elemento de imprevisibilidade referente às dinâmicas naturais de sismos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Grandes Projetos de infraestrutura foram implementados na Amazônia, no período da ditadura militar, com claros interesses políticos e capitalistas, trazendo efeitos desastrosos à dinâmica local. Desse modo, geraram intensas transformações nas áreas de implantação e do seu entorno, trazendo novos ordenamentos e configurações em micro e macroescalas, nos âmbitos

sociais, ecológicos, econômicos, culturais, entre outros. Por certo, o ocorrido deu-se não somente em relação às consequências materializadas nas paisagens e nos territórios, mas também ocasionaram mudanças na geomorfologia fluvial do rio Tocantins e nos principais tributários na região. Além disso, não se pode esquecer o principal problema destacado aqui, ou seja, o desencadeamento de Sismicidade Induzida por Reservatório.

O reservatório de água da UHE Tucuruí produz consideráveis alterações no ambiente, em razão do peso da massa d'água em ambiente lântico, antes lótico – em função do barramento do rio Tocantins. Isso aumenta o peso, a densidade e o volume de água no local, chegando a afetar as condições geológicas em seu contexto morfoestrutural. Sendo assim, fazendo com que haja influência direta nas características tectônicas. Diante disso, podem decorrer abalos sísmicos com epicentro na região do lago artificial.

Desde a década de 70, a Eletronorte, subsidiária da Eletrobrás e responsável pela administração da UHT Tucuruí, tem feito parcerias e associações com instituições (como o Observatório Sismológico de Brasília) para que haja monitoramento sísmico na AID da UHE Tucuruí, dando mais segurança aos moradores das proximidades. No entanto, vale ressaltar que os sismos em Tucuruí só começaram a ser percebidos na década de 80.

Assim, abalos sísmicos são imprevisíveis, nesse sentido, o funcionamento dos sismógrafos para detectar movimentações subterrâneas diferentes das cotidianas pode alertar todos sobre prevenção e sobre medidas que mitiguem possíveis impactos. Ainda, frise-se, que, mesmo com toda a tecnologia de ponta usada pela Eletronorte, é fundamental trabalhar a questão de segurança e de planos de contingência de risco de sismicidade, diante das imprevisibilidades potencialmente decorrentes das atividades ligadas à barragem de Tucuruí. Desse modo, faz-se essencial melhor compreender a questão sísmica envolvendo a UHE de Tucuruí, para tanto, deve-se apontar elementos mais precisos que concorram para elucidação da situação, sobretudo com a finalidade de gestão e de monitoramento de riscos geológicos.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri. Planejamento autoritário e desordem socioambiental na Amazônia: crônica do deslocamento de populações em Tucuruí. **Revista de Administração Pública**, v. 25, n. 4, p. 53-68, 1991.

ALVES, Marlene Cristina; SUZUKI, Luis Gustavo Akihiro Sanches; SUZUKI, Luiz Eduardo Akiyoshi Sanches. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/zZHYHLzJnn5vfgYqrtsB8Hj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ASSUMPÇÃO, Marcelo et al. Reservoir-induced seismicity in Brazil. **The Mechanism of Induced Seismicity**, p. 597-617, 2002.

BARROS, Lucas Vieira et al. Tucuruí reservoir new seismic network. *In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2011. p. cp-264-00261.

BECKER, Bertha K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos avançados**, v. 19, p. 71-86, 2005.

BRASIL, Jornal do. **Tremor de terra atinge hidrelétrica de Tucuruí**. 21 de junho de 2007, 16h 21. Disponível em: <<https://www.ib.com.br/pais/noticias/2007/06/21/tremor-de-terra-atinge-hidreletrica-de-tucuruui.html>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CAMARÃO, Luciano. JÚNIOR, Formiga. **Tectônica rúptil e sismicidade na área de inundação do açude do Castanhão (CE): implicações para o risco sísmico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001.

CAMPOS, Pedro Henrique Pedreira. Ditadura, interesses empresariais e desenvolvimentismo: a obra da usina hidrelétrica de Tucuruí. **Revista Tempo e Argumento**, v. 11, n. 26, p. 255-286, 2019.

CAVALCANTE, M. M. de A. **Hidrelétricas do rio Madeira-RO: território, tecnificação e meio ambiente**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG, Curitiba, 2012.

CHEN, Ruixue et al. Characteristics and mechanisms of human-induced earthquakes in China from the QuakeQuake database. **Geological Journal**, v. 58, n. 5, p. 2099-2131, 2023.

CHIMPLIGANOND, Cristiano Naibert. **Caracterização da sismicidade induzida no reservatório de nova ponte**. Minas Gerais, Brasil. Universidade de Brasília - UNB. 2002. Disponível em: [file:///C:/Users/lucit/Downloads/2002_CristianoNaibertChimpliganond%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/lucit/Downloads/2002_CristianoNaibertChimpliganond%20(1).pdf). Acesso em: 07 jan. 2023.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. Terremotos no Brasil. Museu de Topografia prof. **Laureano Ibrahim Chaffe Departamento de Geodésia–UFRGS**. 2016. Disponível em: <http://igeo.ufrgs.br/museudetopografia/images/acervo/artigos/Terremotos_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2023.

DOL, Diário On-line. **Tremor de terra é relatado em cidade do sudeste paraense**. 31 de dezembro de 2021. 17h, 50. Autor: DOL Carajás com informações de Dênis Aragão. Disponível em: <<https://dol.com.br/carajas/cidades/tucurui/689994/tremor-de-terra-e-relatado-em-cidade-do-sudeste-paraense>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

DUTRA, Alessandra de Cássia dos Santos; GORAYEB, Paulo Sergio de Sousa; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. **Depósitos sedimentares neoproterozoicos do Grupo Tucuruí - Cinturão Araguaia, Nordeste do Pará**. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 21-36, mar. 2014.

ELETRECIDADE, Memória da. **Banco de Usinas – Usina Hidrelétrica de Tucuruí**. 2020. Disponível em: <<https://www.memoriadaeletricidade.com.br/acervo/4420/usina-hidreletrica-tucurui>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Hidrelétrica ganha prevenção contra terremoto**. 2011. Disponível em: <http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/modulos/noticia/noticia_0532.html?uri=/modulos/home_noticias.html>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ESTADÃO. **Tremor de terra assusta moradores da cidade do Pará**. Estadão. 21 de junho de 2007, 13h 04, Autor - Estadão. Disponível em: <<http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,tremor-de-terra-assusta-moradores-da-cidade-do-para,12605>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

FERREIRA, Vinicius Martins. **A sismicidade induzida em Ijaci, sul de Minas Gerais e suas prováveis causas**. Universidade Nacional de Brasília – UNB. Dissertação de Mestrado. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/23919/1/2017_ViniciusMartinsFerreira.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2023.

FILHO, B.C et al. Caracterização dos solos da área de entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Tombos, MG. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1091714/1/CNPSBPD802006.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

FOULGER, Gillian R. *et al.* Global review of human-induced earthquakes. **Earth-Science Reviews**, v. 178, p. 438-514, 2018.

G1, Portal Globo de Notícias. **Área próxima de represa pode sofrer abalo, diz especialista**. 22 de junho de 2007, 18h 05. Autora – ROSSETTO, Luciana. Disponível em: <<https://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL57085-5598,00-AREA+PROXIMA+A+REPRESA+PODE+SOFRER+ABALO+DIZ+ESPECIALISTA.html>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

GONÇALVES, Luiz Claudio; SOARES, Paula Meyer; SILVA, Orlando Roque da. A relevância da participação pública nos processos de avaliação socioambiental: estudo de caso Hidroelétrica Tucuruí/The relevance of public participation in social environmental assessment procedures: a

case study-Hydroelectric Tucuruí. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 2, n. 1, p. 80-96, 2012. Disponível em: http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/38/pdf_1>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HERRERA, José A.; NASCIMENTO, Flávio R. do. **Rodovia Transamazônica (BR-230): corolário de novas realidades e problemas territoriais**. Revista da Casa da Geografia de sobral, Ceará. v. 21, p. 59-78, 2019.

HIQUAKE. The Human-Induced Earthquake Database. Banco de Dados. Durham University. 2023. Disponível em: <http://inducedearthquakes.org/>>. Acesso em: 20 maio 2023.

IMPACTO, O. Tremor de terra é relatado em cidade do sudeste paraense. 01 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://oimpacto.com.br/2022/01/01/tremor-de-terra-e-relatado-em-cidade-do-sudeste-paraense/>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

LOUZADA, Aline Furtado et al. **Segurança de barragens e governança de risco em hidrelétricas na Amazônia**. Universidade Federal do Pará, 2018.

MACAMBIRA, Edésio Maria Buenano; RICCI, Paulo dos Santos Freire. **Geologia e recursos minerais da folha Tucuruí-SA. 22-ZC, estado do Pará**. SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL-CPRM, 2014.

MIRANDA, Ramôn Wylken Pantoja de. **Saberes e estratégias pedagógicas inscritas nas memórias de lutas dos atingidos pela Usina hidrelétrica (UHE) de Tucuruí pós 1985**. Dissertação (Mestrado em Educação) Universidade do Estado do Pará, Belém, 2019. Disponível em: https://ccse.uepa.br/ppged/wp-content/uploads/2020/01/ramon_wylken_pantoja_de_miranda.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2023.

MORA. Cláudio Salazar. Zona de Cisalhamento 1. **Geociências-USP**. 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5711821/mod_resource/content/1/Aula%206%20-%20Zonas%20de%20cisalhamento%201.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.

RAMSAY, John G.; HUBER, Martin I.; LISLE, Richard J. **As técnicas da geologia estrutural moderna: dobras e fraturas**. Imprensa acadêmica, Londres, 1983.

RIBEIRO, Paulo Marcelo Vieira. **Uma metodologia para a avaliação do campo de tensões em barragens de concreto durante terremotos**. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

RIBOTTA, Luis Carlos. **Sismicidade Induzida por Reservatórios: histórico, características básicas e alguns casos monitorados pelo IPT**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Outubro, 2013. Disponível em: <https://www.moho.iag.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=seminario:palestra-sir-iag.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

SILVA, Antonio Soares da; VAZ, Alexssandra Juliane. **Geologia aplicada à Geografia**. Rio de Janeiro: Cederj. 2012. Disponível em: <<https://canal.cecierj.edu.br/082018/b6ef5750db2eb7e5df29a12386d627f3.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SILVA, Fabiano. **Aplicação de métodos geofísicos, geológicos e detecção remota, na investigação da sismicidade induzida na barragem do Castanhão, região nordeste do Brasil**. Universidade de Lisboa. Tese de doutorado. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ul.pt/handle/10451/35922>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

SILVA, F. L. D.; PENA, Heriberto Wagner Amanajás; OLIVEIRA, Francisco de Assis. A dinâmica da ocupação da Amazônia brasileira: do interesse político e econômico aos conflitos socioambientais. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, n. 2015_01, 2015. Disponível em: <<https://www.eumed.net/rev/caribe/2015/01/conflitos-socioambientais.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2023.

SILVA, Luiz Eduardo Corrêa da et al. **Zona de Cisalhamento de Rio Preto: caracterização geométrica e cinemática**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. UERJ. 2020. Disponível em: <<https://www.btd.uerj.br:8443/bitstream/1/16856/2/Disserta%3%a7%3%a3o%20-%20Luiz%20Eduardo%20Corr%3%aaa%20da%20Silva%20-%202020%20-%20Completa.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SIMPSON, D. W. 1976. **Seismicity changes associated with reservoir loading**. Eng. Geol. Amsterdã, Holanda, 10: 123- 150.

TEXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

TUCURUÍ, Portal da Cidade. **Sismógrafo não registra tremor de terra em Tucuruí no último de 30 de dez**. 12 de janeiro de 2022, 11h 52. Disponível em: <<https://tucurui.portaldacidade.com/noticias/cidade/sismografo-nao-registra-tremor-de-terra-em-tucurui-no-dia-ultimo-dia-30-de-dez-5248>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

*Artigo recebido em: 08/02/2023.
Aceito para publicação em: 24/07/2023.*