

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

DIAGNÓSTICO FÍSICO DO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS COMO INSUMO À MODELAGEM DO APORTE DE SEDIMENTOS

Arlisson Pereira Cunha, Universidade Federal de Goiás - arlisson.cunha@discente.ufg.br

Deurivan Natal Arruda Lima, Universidade Federal de Goiás - deurivanlima@discente.ufg.br

Diego Tarley Ferreira Nascimento, Universidade Federal de Goiás – diego_nascimento@ufg.br

Marta Pereira da Luz, Furnas Centrais Elétricas e Pontifícia Universidade Católica de Goiás - martaluz@furnas.com.br

Resumo

O aporte de sedimentos em corpos hídricos gera o acúmulo e, conseqüentemente, o assoreamento, afetando a estrutura e funções ecossistêmicas. Com vistas a prover insumos à modelagem do aporte de sedimentos aos reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHE), o estudo propõe um diagnóstico físico do entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara, situadas na divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais. Para tanto, a partir do aporte de sistemas de informações geográficas e técnicas de geoprocessamento, avalia-se as condições de proteção / exposição do terreno, a partir do mapeamento da cobertura e uso das terras, da erodibilidade (dos solos) e do relevo (altitude e declividade). Foram empregados o mapeamento anual de cobertura e uso das terras de 2021 proveniente do Projeto Mapbiomas, mapas de pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e imagens SRTM. Observa-se maior capacidade de geração e aporte de sedimentos em trechos específicos do entorno dos reservatórios, sobretudo, associados aos usos agropecuários, aos solos com maior capacidade de desagregação e transporte e relevos mais acentuados e íngremes.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Geoprocessamento; UHE.

1. Introdução

O geoprocessamento se configura como uma ferramenta de extrema relevância na modelagem, avaliação e monitoramento ambiental (XAVIER DA SILVA; CARVALHO FIHO, 1993), fornecendo um arcabouço metodológico para representação, análise, correlação e interpretação de dados e informações espaciais.

Frequentemente, o geoprocessamento é empregado em conjunto com produtos do sensoriamento remoto e aos recursos dos sistemas de posicionamento global por satélite, com



o auxílio de sistemas de informações geográficas, permitindo uma ampla variedade de aplicações em diagnósticos e prognósticos ambientais (XAVIER DA SILVA; ZAIDAN, 2004).

Nesse contexto, é crucial o potencial dessas tecnologias geoespaciais na modelagem, avaliação e monitoramento de fenômenos ambientais nas bacias hidrográficas (BOTELHO, 2010). Especificamente, aponta-se a capacidade de mapear erosões (SOUZA DIAS et al., 2022), avaliar a suscetibilidade erosiva (ROMÃO et al., 2022) ou monitorar o transporte de sedimentos (NUNES et al., 2022) em bacias hidrográficas que abrigam reservatórios de usinas hidrelétricas. Essas informações fornecem um valioso suporte para a gestão desses empreendimentos, uma vez que o acúmulo de sedimentos e o consequente assoreamento dos reservatórios resultam na redução da capacidade de geração de energia elétrica e na diminuição da vida útil da usina.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma proposta de diagnóstico físico das áreas circundantes aos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara, localizadas na divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais. O intuito primordial é contribuir com a modelagem do aporte de sedimentos nos reservatórios de usinas hidrelétricas, por meio do mapeamento e da avaliação das condições de proteção/exposição do terreno, sob o aporte de sistemas de informações geográficas e técnicas de geoprocessamento.

Vale ressaltar que o trabalho representa os resultados parciais de pesquisas conduzidas no âmbito dos Programas Institucionais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI). Além disso, essas pesquisas encontram-se vinculadas a um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico denominado “Modelagem em Diversas Escalas da Geração de Sedimentos em Erosões e o Aporte em Reservatórios de UHEs” - PD-0394-1705/2017, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desenvolvido pela Eletrobras FURNAS e pela Universidade Federal de Goiás.

2. Metodologia

As áreas em estudo compreendem os Limites das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) Batalha e Itumbiara, localizadas, respectivamente, na porção leste e sudeste do estado de Goiás, na divisa com o estado de Minas Gerais (Figura 1). O LBCD da UHE Batalha compreende três municípios, ao passo que o da UHE Itumbiara abrange 18, dos quais 13 estão situados em Goiás e 5 em Minas Gerais.

No que se refere à definição do recorte espacial dos Limites das Bacias de Contribuição Direta, Silva (2022, p. 67/68) explica que, como o próprio nome sugere, foram consideradas as bacias hidrográficas que contribuem diretamente ao reservatório. Isso também considerando

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

um buffer de 5 km de distância da cota máxima do reservatório, excluindo as subbacias com barramentos em seus cursos d'água.

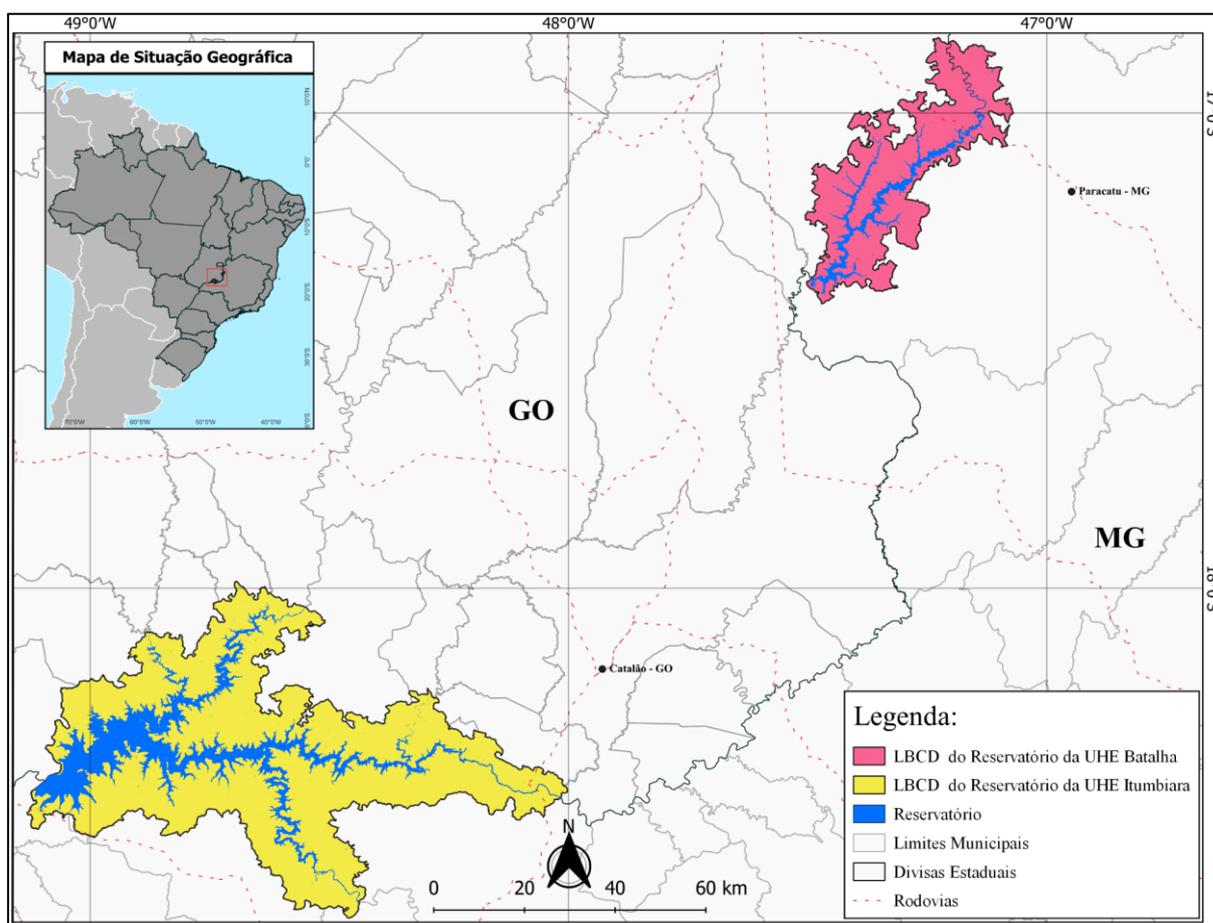


Figura 1 – Mapa de localização das UHEs Batalha e Itumbiara.

Fonte: próprios autores.

A metodologia utilizada compreendeu as seguintes etapas: revisão bibliográfica, aquisição e processamento de dados secundários e elaboração, análise, correlação e interpretação de mapas temáticos. Para tanto, foram empregados os *softwares* QGIS e ArcGIS.

A avaliação do potencial de geração e aporte de sedimentos aos reservatórios envolveu a análise da condição de proteção ou exposição do terreno. Para tanto, foram mapeadas e analisadas as condições de cobertura e uso do solo (que afetam a proteção da superfície), os tipos de solo (que retratam a erodibilidade) e a altitude e declividade do relevo (que influenciam o escoamento superficial e o transporte de sedimentos).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Para a elaboração do mapa de proteção da superfície do solo, foi adotada a metodologia de Ross (1994), com adaptações. Essa abordagem classifica as categorias de cobertura e uso da terra em termos de proteção da superfície, conforme indicado no Quadro 01. Para isso, foram empregados o mapeamento de cobertura e uso das terras realizado e disponibilizado pelo Projeto Mapbiomas, na escala de 1:100.000, com base no mapeamento de 2021.

Proteção	Classe
1 - Alta	Formação florestal, Campo Alagado e Área Pantanosa.
2 - Média	Formação Savânica, Formação Campestre.
3 - Baixa	Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Soja, Outras lavouras temporárias, Áreas urbanizadas e Outras áreas não vegetadas.

Quadro 01 – Tabela para determinar o índice de proteção do solo.
Fonte: Adaptado de Ross (1994).

No que diz respeito à erodibilidade, foi empregada a proposta inicialmente apresentada por Salomão (2007) e adaptada por Salomão, Canil e Rodrigues (2012). Essa abordagem considera as propriedades dos diferentes tipos de solo em termos de alta, média e baixa erodibilidade, conforme ilustrado no Quadro 2. O mapeamento das categorias de solo do IBGE, na escala de 1:250.000, foi utilizado para essa análise.

Classes de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
1 - Muito Alta	Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico .
2 - Alta	Argissolo.
3 - Média	Nitossolo.
4 - Baixa	Latossolo Vermelho.

Quadro 02– Tabela para determinar o índice de erodibilidade do solo.
Fonte: Adaptado Salomão (2007) e Salomão, Canil e Rodrigues (2012).

Por fim, foram gerados mapas que indicam as condições favoráveis do relevo para o escoamento superficial de água e, conseqüentemente, o aporte de sedimentos. Para essa

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

finalidade, foram utilizadas imagens SRTM para mapear a altitude e a declividade do terreno, seguindo os critérios estabelecidos pela EMBRAPA (1979).

3. Resultados

A análise da cobertura e uso do solo no LBCD da UHE Batalha revela a predominância de atividades agrícolas, com destaque para o cultivo de soja, frequentemente irrigado, e áreas de pastagens significativas (Figura 2). Esse modelo agropecuário extensivo-intensivo, incluindo a prática de irrigação, pode contribuir para a erosão do solo e, conseqüentemente, para o aumento da turbidez nos afluentes do reservatório. Com base na metodologia de Ross (1994), a predominância da agricultura e pastagens resulta em uma condição de desproteção do solo e um maior potencial de desagregação e transporte de sedimentos para o reservatório em grande parte da área (Figura 2).

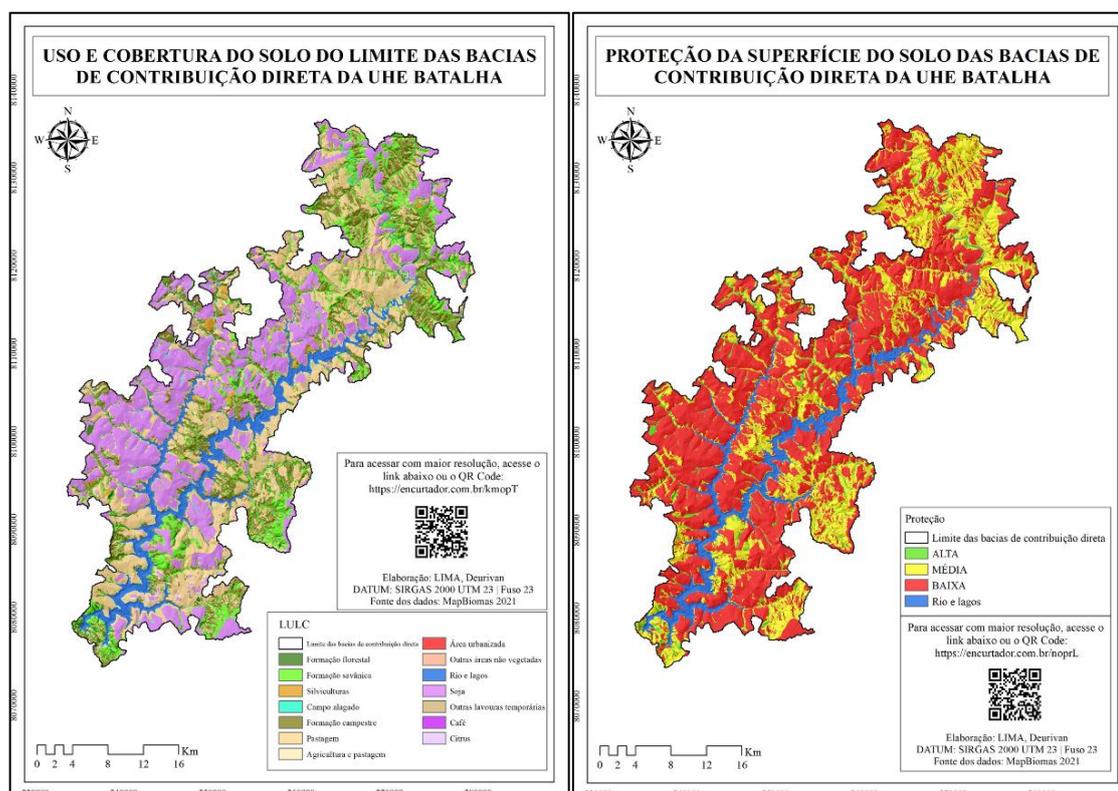


Figura 2: Mapa de Uso e Cobertura do solo (à esquerda) e de proteção da superfície do solo (à direita) do LBCD da UHE Batalha; Fonte: Mapbiomas. Org. próprios autores.

A maioria dos solos na região é do tipo Latossolo, refletindo a baixa erodibilidade devido à profundidade e propriedades estruturais e de porosidade (Figura 3). No entanto, também foram identificadas áreas de Cambissolo e Neossolo, que são mais suscetíveis à erosão.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Essas áreas de alta erodibilidade, de acordo com Salomão (2007) e Salomão, Canil e Rodrigues (2012), refletem maior potencial de deflagração de processos erosivos e aporte de sedimentos, especialmente nas porções nordeste, leste e sul da LBCD.

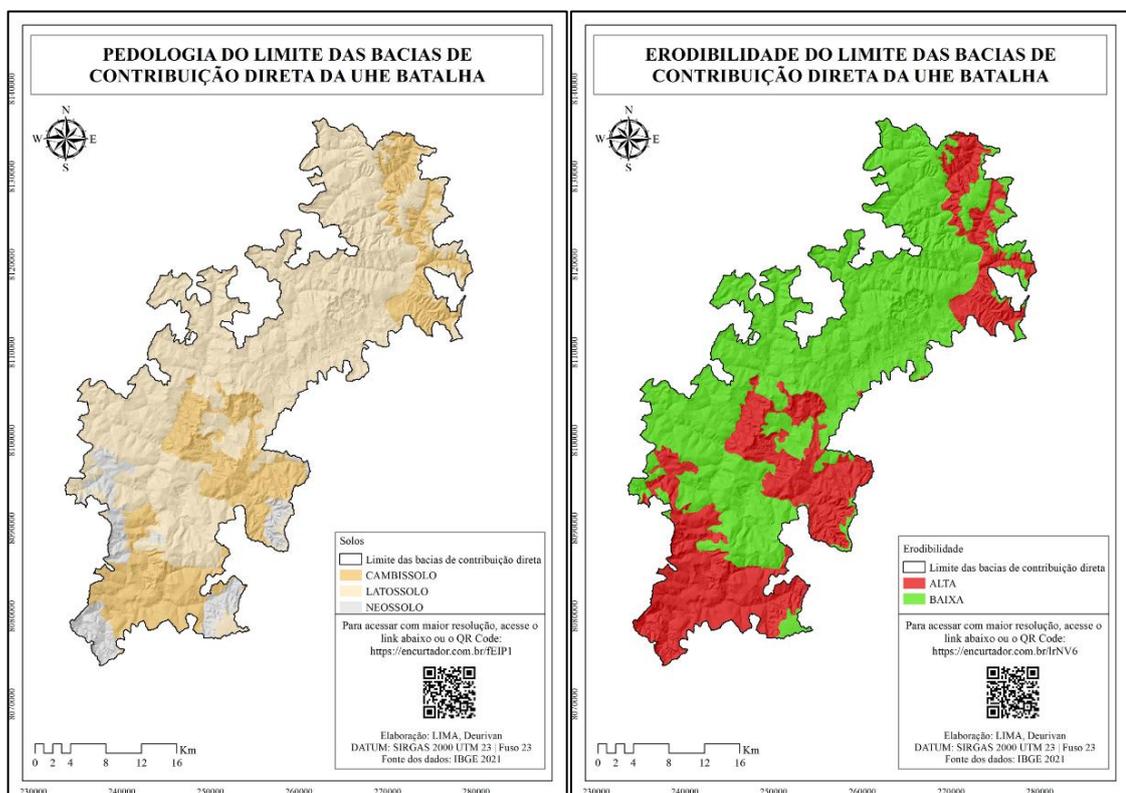


Figura 3: Mapa de Pedologia (à esquerda) e de erodibilidade (à direita) do LBCD da UHE Batalha. Fonte: IBGE. Org. próprios autores.

O mapa de altimetria ilustra variações consideráveis de altitude na região, partindo de 764 metros, nos vales, e alcançando os 985 metros, nos extremos norte, nordeste e sudeste da LBCD (Figura 4). Da mesma forma, a declividade do terreno varia significativamente (Figura 4), com declividades mais acentuadas, especialmente na parte norte da bacia de contribuição direta, indicando um maior potencial para o escoamento hídrico superficial e transporte de sedimentos. Essas características topográficas podem influenciar a turbidez nos tributários do reservatório, pois áreas com declividades mais acentuadas tendem a apresentar maior erosão, como afirmado por Amorim et al. (2001).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

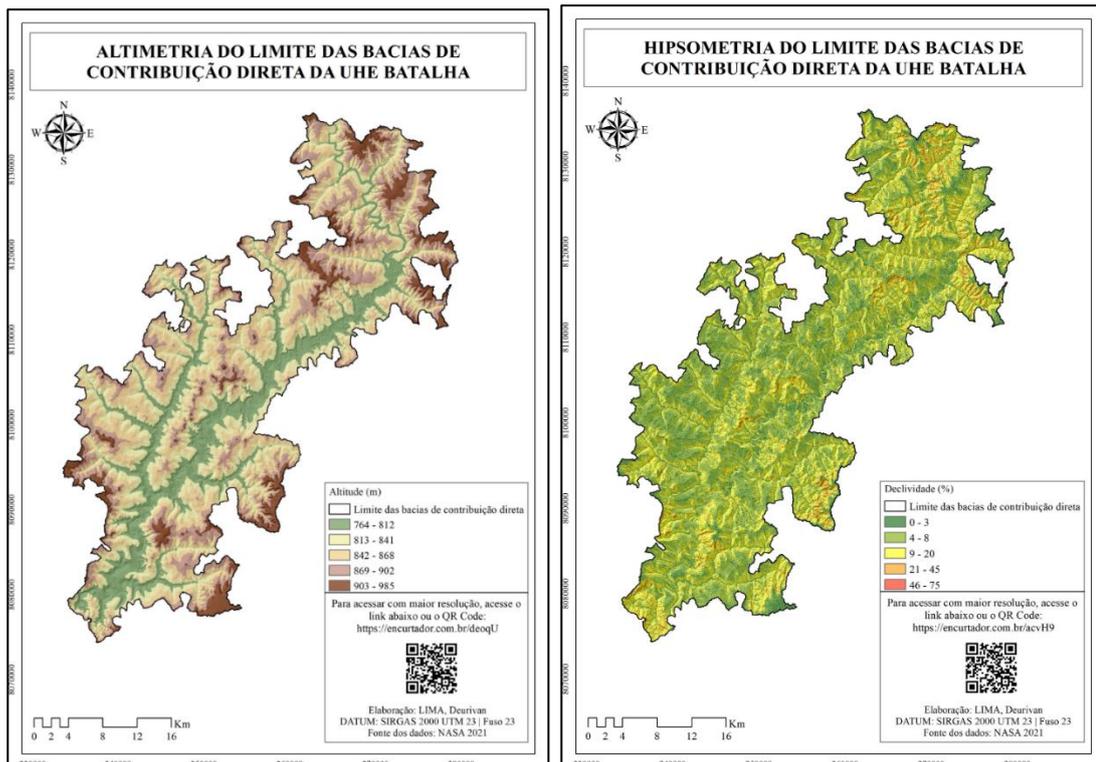


Figura 4: Mapa de altitude (à esquerda) e de declividade (à direita) do LBCD da UHE Batalha. Fonte: SRTM. Org. próprios autores.

Para o caso do LBCD da UHE Itumbiara, como indicado na Figura 5, o uso agropecuário é predominante, com cobertura vegetal natural em estado bastante fragmentado, refletindo no predomínio de baixa proteção da superfície na área em estudo (Figura 5).

Os tipos de solo no LBCD da UHE Itumbiara também desempenham um papel crucial no potencial de geração e aporte de sedimentos. Os Cambissolos e Neossolos, presentes nas porções norte e ao sul do reservatório, são mais suscetíveis à erosão, enquanto Argissolo e Latossolo, predominantes ao sul do reservatório, possuem erodibilidade média e baixa, respectivamente. É evidente o predomínio de solos de alta erodibilidade na porção norte do reservatório, refletindo em maior suscetibilidade dessa área (Figura 6).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

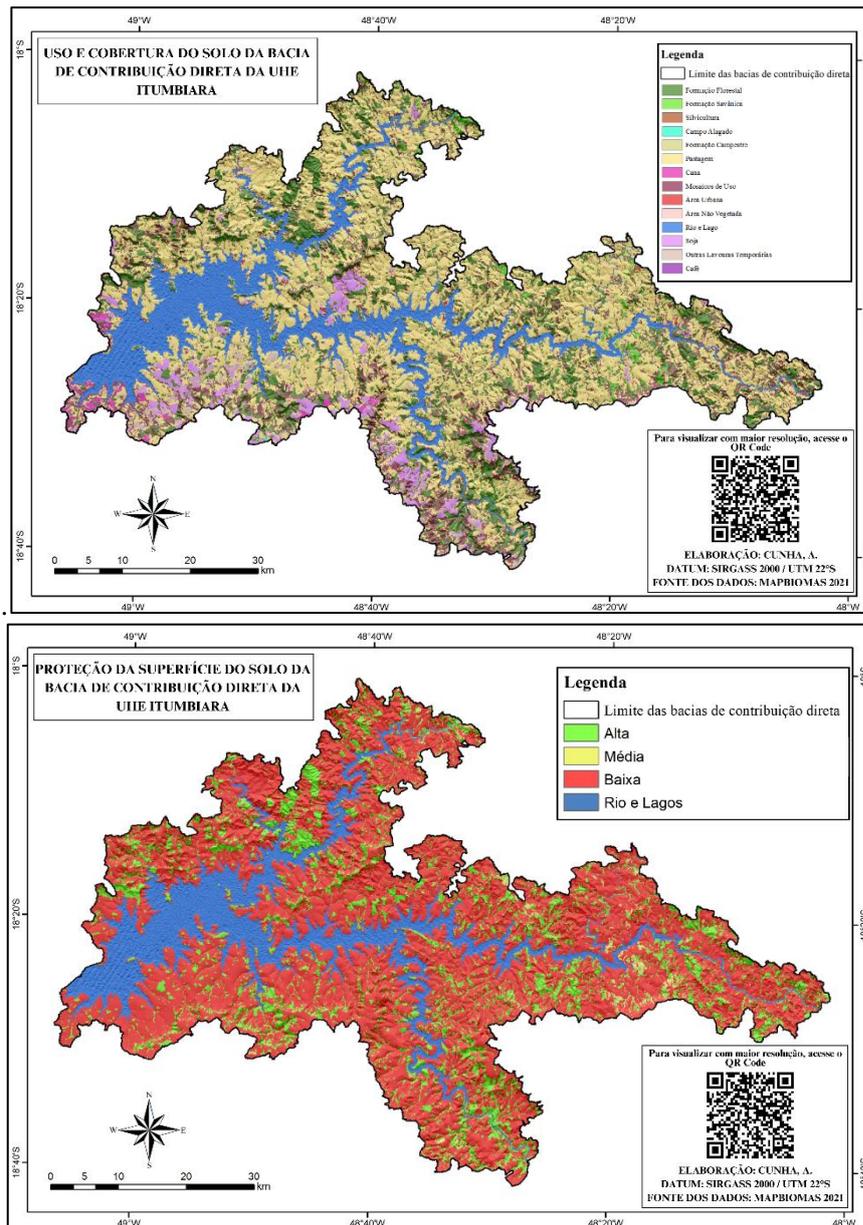


Figura 5: Mapa de Uso e Cobertura do solo (à cima) e de proteção da superfície do solo (à abaixo) do LBCD da UHE Batalha; Fonte: Mapbiomas. Org. próprios autores.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

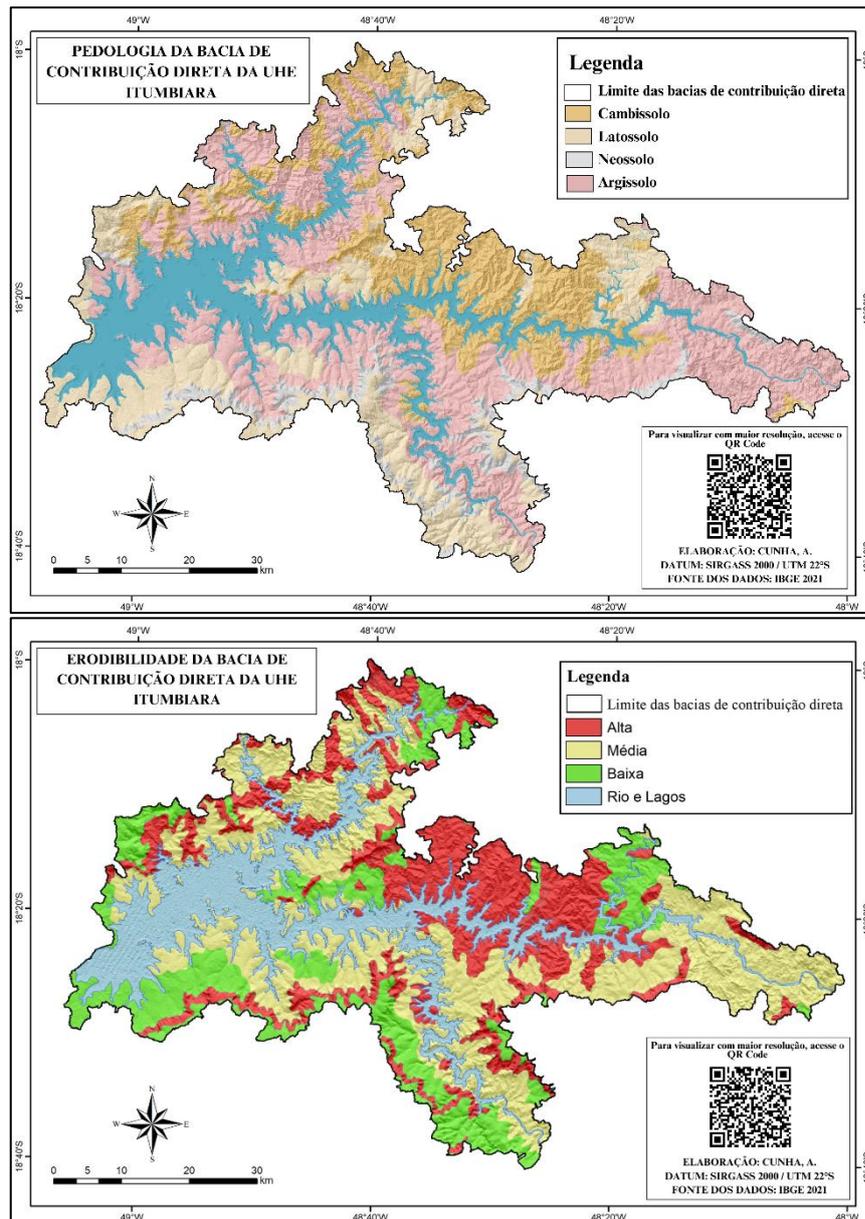


Figura 6: Mapa de Pedologia (à cima) e de erodibilidade (à baixo) do LBCD da UHE Itumbiara. Fonte: IBGE. Org. próprios autores.

Áreas com declividades mais acentuadas e maior gradiente altimétrico tendem a refletir em um maior e mais acelerado fluxo de escoamento superficial de água. Essa condição é propícia à deflagração de processos erosivos e geração de sedimentos. Nesse sentido, no contexto do LBCD da UHE Itumbiara, a maior preocupação se concentra no gradiente

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

altimétrico, que chega a 445 metros entre o divisor de águas e o reservatório, com predominância de relevo suave ondulado (Figura 7).

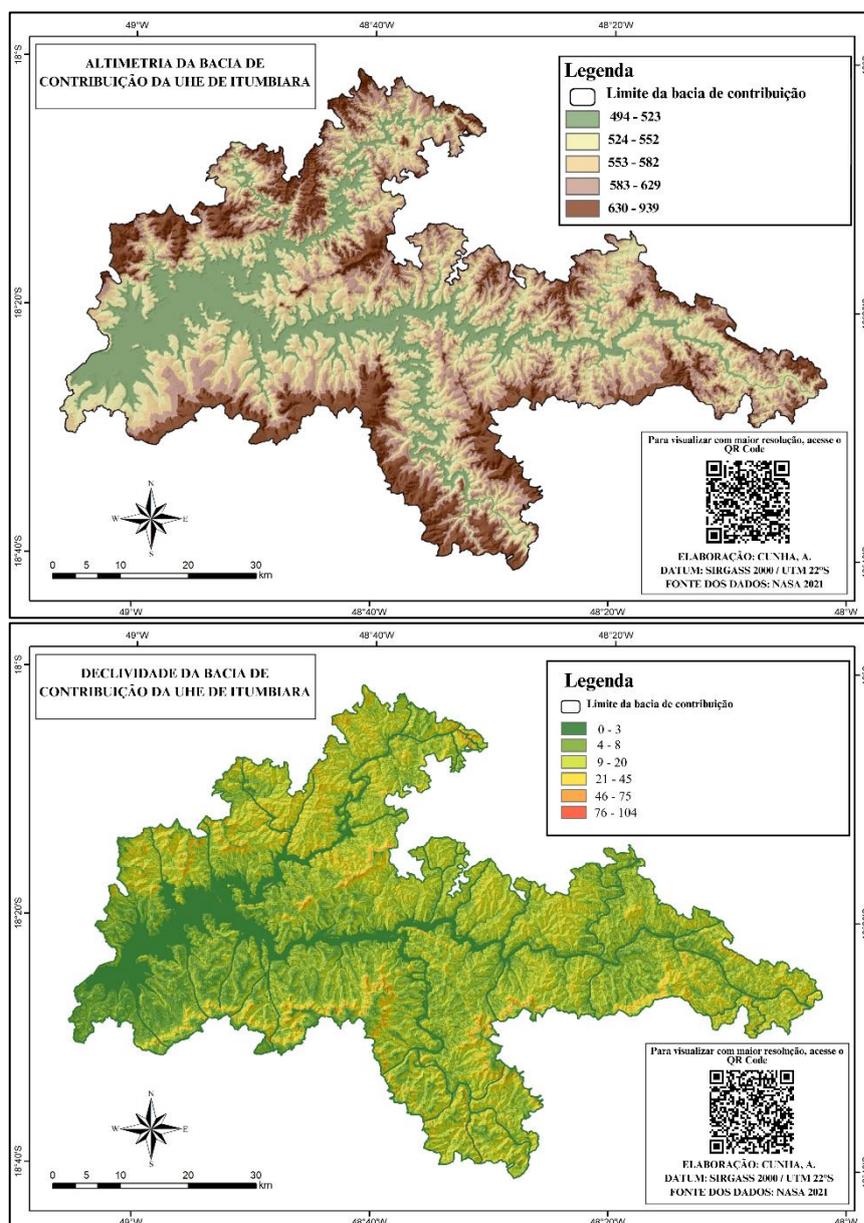


Figura 7: Mapa de altitude (à cima) e de declividade (à baixo) do LBCD da UHE Itumbiara. Fonte: SRTM. Org. próprios autores.



Em resumo, os resultados destacam a influência e a complexa interação de fatores, como cobertura do solo, tipo de solo e topografia na proteção ou exposição dos terrenos à erosão e à geração de sedimentos. Portanto, os resultados e análise apresentados neste estudo representam um importante subsídio para a modelagem do aporte de sedimentos em reservatórios de usinas hidrelétricas.

4. Conclusões

Este estudo teve como objetivo demonstrar uma proposta de diagnóstico físico das áreas circundantes aos reservatórios de usinas hidrelétricas, empregando técnicas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas. Foi possível perceber o potencial de avaliação das áreas mais suscetíveis à geração e subsequente aporte de sedimentos nos reservatórios, que podem causar impactos indesejáveis.

Nesse sentido, as geotecnologias oferecem a disponibilidade de dados consistentes para a avaliação e monitoramento das condições nas proximidades dos reservatórios, incluindo a identificação das áreas sujeitas a processos erosivos e transporte de sedimentos. No entanto, é fundamental reconhecer as limitações inerentes a essa abordagem, particularmente em relação à necessidade de validar os dados obtidos com informações coletadas no local.

Todavia, este estudo representa um passo inicial e valioso na identificação de áreas no entorno de reservatórios que requerem atenção especial. Isso tem o potencial de otimizar as operações e reduzir custos relacionados à gestão dos reservatórios.

Por fim, é crucial enfatizar que as avaliações e diagnósticos ambientais sobre o aporte de sedimentos em reservatórios de usinas hidrelétricas, mesmo em estágios preliminares, desempenham um papel fundamental na proteção desses recursos hídricos. A identificação de áreas geradoras de sedimentos, que em circunstâncias extremas podem levar ao assoreamento dos reservatórios, contribui para a preservação da capacidade de geração de energia e para a extensão da vida útil das Usinas Hidrelétricas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI), ao primeiro e segundo autor, respectivamente, e de Produtividade em Pesquisa (PQ-2), ao terceiro e quarto autor. De mesma forma, os autores agradecem à Eletrobras Furnas e a ANEEL (Agência Nacional de Energia

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Elétrica) pela coordenação técnica e financiamento, no âmbito do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Modelagem em Diversas Escalas da Geração de Sedimentos em Erosões e o Aporte em Reservatórios de UHEs”, P&D ANEEL Sedimentos, código ANEEL PD.0394-1705/2017”.

6. Referências bibliográficas

AMORIM, R. S.S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. de. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 124-130, Campina Grande, PE, 2001.

BOTELHO, R.G.M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

NUNES, E. D.; ROMÃO, P. A.; SALES, M. M.; SOUSA, N. M.; DE LUZ, M. P. (2022). Methodological Contribution to the Assessment of Generation and Sediment Transport in Tropical Hydrographic Systems. **Water**, 14, 4091. <https://doi.org/10.3390/w14244091>

ROMÃO, P. DE A.; NASCIMENTO, D. T. F.; SALES, M. M.; DA LUZ, M. P. (2022). Modelagem da suscetibilidade erosiva laminar e linear no entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), 23, 34-56. <http://doi.org/10.14393/RCG238959906>

SOUZA DIAS, V.; DE FARIA, K. M. S.; DA LUZ, M. P.; FORMIGA, K. T. M. (2022). Investigation and Quantification of Erosions in the Margins of Water Bodies: A Systematic Review. **Water**, 14. <https://doi.org/10.3390/w14111693>

XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise Ambiental**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004.

XAVIER DA SILVA, Jorge. CARVALHO-FILHO, Luiz Mendez. Sistema de Informação geográfica: uma proposta metodológica. IV CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA e II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo: EDUSP, 1993. p.609-628.