

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO CORA CORALINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

IZAIAS DE SOUZA SILVA

**PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA
A PARTIR DO MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO:
estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e
Itumbiara**

IZAIAS DE SOUZA SILVA

**PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA
A PARTIR DO MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO:
estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e
Itumbiara**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Cora Coralina (PPGEO/UEG), como requisito para outorga do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental do Cerrado

Orientador: Prof. Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento.

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA
BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, CsA nº 1.087/2019 sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9.610/1998, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data¹. Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do(a) autor(a).

Dados do autor (a)

Nome completo IZAIAS DE SOUZA SILVA

Email izaiasdesouzasilvaa@gmail.com

Dados do trabalho

Título PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA A PARTIR DO MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO: estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara

Tipo:

Tese Dissertação

Curso/Programa: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Concorda com a liberação documento

SIM NÃO

¹Período de embargo é de até um ano a partir da data de defesa.

Goiás, 27 de maio de 2022



Izaias de Souza Silva



Diego Tarley Ferreira Nascimento

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA FONTE

Biblioteca Frei Simão Dorvi – UEG Câmpus Cora Coralina

S586p Silva, Izaias de Souza.

Proposta de mapeamento de cobertura e uso da terra a partir do método de detalhamento progressivo : estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara [manuscrito] / Izaias de Souza Silva. – Goiás, GO, 2022.

112f. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Câmpus Cora

Coralina, Universidade Estadual de Goiás, 2022.

Izaias de Souza Silva

PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA A PARTIR DO MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO: estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara

Dissertação apresentada e aprovada no dia 23 de maio de 2022 ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Cora Coralina (PPGEO/UEG), como requisito para outorga do título de mestre em Geografia.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás (PPGEO/UEG)
Orientador e Presidente da banca

Profa. Dra. Patrícia de Araújo Romão
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás (PPGEO/UEG)
Avaliadora Interna

Profa. Dra. Gladis de Fatima Nunes da Silva
Universidade Estadual de Roraima (UERR)
Avaliadora Externa

Aos meus avós e minha mãe, minhas raízes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, porque me criou e me deu benefícios para que pudesse superar os desafios e concluir este trabalho com êxito, e o mais importante, sem perder a esperança de dias melhores.

Agradeço à minha família, que apesar da distância, me acompanhou de perto, foi compreensiva e muito me apoiou nas tomadas de decisões, sobretudo aos meus avós e minha mãe, minhas raízes e fonte de motivação em tudo que faço nessa vida; por me ensinar a ter propósito e não abrir mão daquilo que se sonha.

Agradeço imensamente ao meu orientador, professor Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento e à professora Dra. Patrícia de Araújo Romão, aos quais eu tenho grande admiração, não apenas por serem os profissionais extremamente competentes que são, mas, sobretudo, por serem pessoas que me fazem acreditar em um mundo melhor. Agradeço a vocês pela oportunidade, pelo apoio, pelo incentivo, por acreditarem em mim, pela paciência, pela compreensão e pelo aprendizado. Estendo os agradecimentos ao corpo docente e discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Campus Cora Coralina, pelo apoio e convívio, especialmente à coordenação, sempre muito solícita.

Agradeço a Furnas, pelo apoio técnico e financeiro, no âmbito do projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico intitulado “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, com colaboração da Universidade Estadual de Goiás. Em especial, direciono meus agradecimentos ao professor Dr. Maurício Martines Sales e à professora Dra. Marta Pereira da Luz e destaco que sem a bolsa a mim fornecida, os desafios teriam sido ainda mais difíceis de serem superados. Muito obrigado pela oportunidade!

Agradeço ao Centro Integrado de Pesquisa em Planejamento Geográfico do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (CIPGEO/IESA/UFG) por ceder o espaço físico e a estrutura do laboratório.

“Não sou nem otimista, nem pessimista.
Os otimistas são ingênuos,
e os pessimistas amargos.
Sou um realista esperançoso.
Sou um homem da esperança [...]”

Ariano Suassuna

RESUMO

Mapeamentos da cobertura e uso da terra são indispensáveis à compreensão da forma de apropriação, alteração e dinâmica do espaço geográfico. Deste contexto, chama-se a atenção para as bacias hidrográficas situadas junto a reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs), que apresentam modificações intrínsecas na cobertura e uso da terra por conta da implantação de tal empreendimento. Assim, o escopo principal deste trabalho é o de prover uma proposta metodológica de mapeamento da cobertura e uso da terra, com detalhamento progressivo, no contexto do entorno de reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs), tendo como estudo de caso as UHEs Batalha e Itumbiara. A abordagem do mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo consistiu em três etapas, sucessivas e complementares, que atendem, distintos recortes espaciais e temporais, e diferentes escalas e dados. De maneira simplificada, a proposta do detalhamento progressivo se baseou em: uma primeira etapa, de reconhecimento (1:100.000), na qual foram utilizados dados cartográficos e censitários, secundários, referentes ao período de 1985 a 2020, contemplando as Áreas de Influência Direta (AID) das UHE Batalha e Itumbiara; uma segunda etapa, de semidetalhe (1:25.000), com o emprego de imagens Sentinel 2 do ano de 2021, índices espectrais e incorporação de arquivos vetorizados manualmente, para o recorte espacial dos Limites das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) e; uma terceira e última etapa, de detalhe (1:10.000), que se valeu de imagens do CBERS 4A fusionadas para alcançar a resolução espacial de 2 m e para o Limite das Bordas Imediatas (LBI) dos reservatórios. Os dados da etapa de reconhecimento demonstraram uma nítida dinâmica da cobertura e do uso das terras entre 1985 e 2020 no contexto da AID do reservatório da UHE Batalha, enquanto que no caso da AID do reservatório da UHE Itumbiara constata-se um uso das terras já consolidados no mesmo período. Na etapa de semidetalhe, o LBCD do reservatório da UHE Batalha mostrou-se relacionado, principalmente, ao uso agrícola e, em segundo momento, ao revestimento de vegetação savânicas, ao passo que em Itumbiara evidencia-se a prevalência de manejo da terra pela pastagem. A última etapa, de detalhe, retratou uma condição de maior proteção das bordas de ambas áreas em estudo por coberturas vegetais, o que pode ser explicado pela proximidade com os reservatórios dos dois empreendimentos hidrelétricos. Destaca-se a adequação da proposta, ao prover informações históricas, atualizadas, detalhadas e consistentes acerca da condição de ocupação do entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas, que pode ser aplicada a outros empreendimentos e contextos espaciais.

Palavras-chave: Cobertura e uso do Solo; Detalhamento progressivo; Usinas Hidrelétricas; Reservatório.

ABSTRACT

Mapping of land cover and use is essential to understanding the form of appropriation, alteration and dynamics of geographic space. In this context, attention is drawn to the hydrographic basins located next to the reservoirs of Hydroelectric Power Plants (UHEs), which present intrinsic changes in the coverage and use of the land due to the implementation of such projects. Thus, the main scope of this work is to provide a methodological proposal for mapping the land cover and use, with progressive detailing and for the context of the surroundings of reservoirs of Hydroelectric Power Plants (UHEs), having as a case study the UHEs Batalha and Itumbiara. The approach to mapping land cover and land use with progressive detailing consisted of three successive and complementary stages, which attend to different scales, spatial and temporal cuts and data. In a simplified way, the proposal of progressive detailing was based on: a first stage, recognition (1:100,000), in which cartographic and secondary census data were used for the period from 1985 to 2020, contemplating the Areas of Direct Influence (AID) of the HPP Batalha and Itumbiara; a second stage, semi-detail (1:25,000), with the use of Sentinel 2 images from the year 2021, spectral indexes and incorporation of manually vectorized files, for the spatial clipping of the Direct Contribution Basin Boundaries (LBCD) and; a third and final step, detail (1:10,000), which used merged CBERS 4A images to achieve a spatial resolution of 2 m and for the Immediate Border Limit (LBI) of the reservoirs. The data from the reconnaissance stage showed a clear dynamics of land cover and use between 1985 and 2020 in the context of the IDA of the HPP of Batalha, while in the case of the IDA of the HPP of Itumbiara, land use has already been consolidated in the same period. In the semi-detail stage, the LBCD of the Batalha HPP was mainly related to agricultural use and, secondly, to the covering of savanna vegetation, while in Itumbiara the prevalence of land management by pasture is evident. The last step, in detail, portrayed a condition of greater protection of the edges of both areas under study by vegetation cover, which can be explained by the proximity to the reservoirs of the two hydroelectric projects. The adequacy of the proposal is highlighted, as it provides historical, updated, detailed and consistent information about the occupation condition of the surroundings of hydroelectric power plant reservoirs, which can be applied to other projects and spatial contexts.

Key words: Land cover and use; Progressive detailing; Hydroelectric Power Plants; Reservoir.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	p. 11
REFERENCIAL TEÓRICO	p. 17
Fundamentos do Sensoriamento Remoto e características das imagens de satélite	p. 17
Mapeamentos da Cobertura e Uso da Terra	p. 28
O método do Detalhamento Progressivo	p. 44
MATERIAIS E MÉTODO	p. 50
Localização e caracterização socioeconômica e físico-ambiental das áreas em estudo	p. 50
Aporte metodológico para o mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo	p. 64
<u>Etapa 1 – mapeamento em nível de reconhecimento (1:100.000)</u>	p. 66
<u>Etapa 2 – mapeamento em nível de semidetalhe (1:25.000)</u>	p. 67
<u>Etapa 3 – mapeamento em nível de detalhe (1:10.000)</u>	p. 71
RESULTADOS E DISCUSSÕES	p. 73
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível e reconhecimento (1:100.000) da AID do reservatório da UHE Batalha	p. 73
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de reconhecimento (1:100.000) da AID do reservatório da UHE Itumbiara	p. 79
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de semidetalhe (1:25.000) para o LBCD do reservatório da UHE Batalha	p. 85
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de semidetalhe (1:25.000) para o LBCD do reservatório da UHE Itumbiara	p. 88
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de detalhe (1:10.000) para o LBI do reservatório da UHE Batalha	p. 91
Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de detalhe (1:10.000) para o LBI do reservatório da UHE Itumbiara	p. 96
CONSIDERAÇÕES FINAIS	p. 99
REFERÊNCIAS	p. 102

INTRODUÇÃO

As mudanças na cobertura e uso da terra são responsáveis por alterações funcionais e estruturais nas paisagens em todo o mundo, intervindo sobre os processos ambientais e serviços ecossistêmicos em diferentes intensidades e escalas (ELLIS e PONTIUS, 2007). Desta forma, analisá-las torna-se uma atividade crucial à compreensão de suas reais implicações, desde ambientais, às econômicas e sociais, demandando, assim, o levantamento de dados e informações cada vez mais confiáveis, detalhados e atuais (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007; MORAIN, 1998).

Sob esta perspectiva, a utilização de dados de Sensoriamento Remoto, sob o aporte de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de técnicas de Geoprocessamento, tem se destacado e contribuído de forma relevante na elucidação das intervenções humanas sobre o meio, subsidiando informações e produtos capazes de auxiliar no planejamento ambiental e na gestão e ordenamento territorial (MEDEIROS e SOUZA, 2015; SOUZA *et al.*, 2014). Consoante a Mather (1999), os dados de Sensoriamento Remoto têm se tornado essenciais ao mapeamento e à descrição das características da cobertura e uso da terra, considerando os diferentes recortes espaciais, temporais, e as distintas escalas de análise (NOVO, 2010).

Mapeamentos da cobertura e uso da terra descrevem o ambiente terrestre em termos de coberturas naturais e de usos relacionados às atividades humanas, respectivamente (CIHLAR e JANSEN, 2001). Nesse sentido, a expressão “cobertura da terra” refere-se mais diretamente ao revestimento da superfície, enquanto o termo uso da terra denota seu uso cultural, isto é, as atividades que nela são desenvolvidas (NOVO, 1989, ARAÚJO FILHO, 2007). De toda forma, por apresentar informações, por vezes detalhadas e atualizadas, sobre os elementos da paisagem, as potencialidades, as restrições ou ainda as incongruências quanto ao uso dos recursos naturais, tais mapeamentos são extremamente importantes, compreendendo um insumo base ao planejamento e ordenamento ambiental e/ou econômico (Nascimento *et al.*, 2017).

Desde o surgimento dos primeiros sistemas orbitais, uma grande quantidade de sensores e produtos de Sensoriamento Remoto, técnicas e metodologias de Processamento Digital de Imagens de satélite (PDI) foi desenvolvida, testada e aplicada nos mapeamentos de cobertura e uso da terra (LILLESAND e KIEFFER, 2000; LILLESAND *et al.*, 2008). A saber, citam-se os consagrados métodos de classificação supervisionada e não supervisionada – por amostragem ou segmentação; ou ainda as classificações por uso de modelos de mistura espectral, de redes neurais, orientadas a objetos, por ângulo espectral, dentre outras.

Os avanços tecnológicos associados ao Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e sistemas computacionais, contribuíram significativamente no nível de detalhe e consistência dos mapeamentos de cobertura e uso da terra, que podem ser providos a partir do processamento de imagens de satélite de média e alta resolução espacial, ou acessados a partir de produtos disponibilizados gratuitamente.

São fatores notadamente relevantes nos mapeamentos da cobertura e uso da terra a questão da escala de análise e a resolução espacial das imagens de satélite, sendo que o primeiro aspecto se associa tanto ao nível de detalhamento que se pretende alcançar, quanto à dimensão espacial do fenômeno em si (OLIVEIRA e ROMÃO, 2021); ao passo que o segundo atributo (resolução espacial) denota o tamanho individual do elemento de área imageada no terreno (MENEZES e ALMEIDA, 2012). Assim, a capacidade de identificação dos objetos da superfície na imagem de satélite (resolução espacial) deve ser coerente com a escala de representação do mapeamento (escala cartográfica).

Nessa perspectiva, as imagens multiespectrais dos sensores OLI do Landsat 8 e MSI do Sentinel-2, por exemplo, com resolução espacial de 30 e 10 metros, respectivamente, são mais coerentes para mapeamentos de semidetelhe (média escala), uma vez que atendem às escalas cartográficas de 1:150.000 e 1:50.000, respectivamente – isso considerando a acuidade visual de 0,0002 m. Por sua vez, as imagens da banda pancromática do CBERS 4A, com resolução espacial de 2 metros, por apresentarem detalhes dos alvos, são capazes de contemplarem mapeamentos de detalhe (grande escala), ao alcançarem escala de 1:10.000 – ou maiores. Todavia, vale destacar que algumas técnicas de processamento digital de imagens podem melhorar a acurácia, como é o caso da aplicação de filtros e contrastes, da complementação com índices espectrais e da fusão entre bandas.

Por ser um país de dimensões continentais, de grande diversidade paisagística e de distintos e complexos modos de apropriação e exploração de seus recursos naturais, observa-se que o Brasil apresenta o predomínio de iniciativas de mapeamentos da cobertura e uso da terra em nível de reconhecimento e semidetelhe, sendo os mais consagrados: o Projeto RadamBrasil, lançado em 1970; o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), implementado em 2004; o programa de Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra, realizado pelo IBGE (edição 2000, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2018); o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo no Brasil (*MapBiomas*), a partir de 2015; e mais recentemente, em 2019, o *Brazil Data Cube*, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Por outro lado, os mapeamentos de cobertura e uso da terra em nível de detalhe (grande escala), são geralmente aplicados a contextos/recortes espaciais específicos. Tais mapeamentos, anteriormente supridos por imagens de satélites privados (*Quickbird, RapidEye, SPOT, ALOS, Worldview*, entre outros), passaram a ser subsidiados também por imagens gratuitas, como aquelas disponibilizadas pelos programas CBERS 4A e Planet.

Além do refinamento da resolução espacial das imagens de satélite, convém frisar que metodologias mais atuais têm-se apoiado, principalmente, no uso e processamento de dados em nuvem, em classificadores automatizados e algoritmos de *Machine Learning* disponíveis, por exemplo, na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), que dispõe de ampla capacidade computacional para análise, desenvolvimento e processamento de dados satelitários (PHAN *et al.*, 2020). Diante deste contexto, destaca-se que as metodologias de classificação da cobertura e uso da terra têm-se mostrado extremamente diversas, voltadas a propósitos e contextos espaciais específicos.

Assim, considerando todos estes aspectos fundamentais inerentes às metodologias de mapeamentos da cobertura e uso da terra, seja no contexto do território brasileiro, de cada uma de suas regiões, unidades federativas ou municípios, e mesmo sob o recorte espacial de biomas e de bacias hidrográficas, percebe-se modificações intrínsecas na cobertura e uso da terra por conta da forma como o homem se apropria do espaço geográfico e explora os recursos naturais, conforme os meios técnicos-científicos e informacionais (SANTOS, 2004), comprometendo os processos ambientais em diferentes intensidades e escalas.

Deste contexto, chama-se a atenção para as bacias hidrográficas situadas junto à reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs), nas quais percebem-se modificações intrínsecas na cobertura e uso da terra por conta de tais empreendimentos (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.* 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2017). Tal dinâmica é evidenciada desde a implantação de tais empreendimentos – tendo em vista o enchimento do reservatório e a inundação da área à montante do barramento, assim como pela incorporação de atividades como a agropecuária e a construção de infraestrutura de estradas, casas, sítios e condomínios – neste último caso, considerando a utilização do reservatório para lazer e turismo, conforme apontado por Carvalho *et al.* (2006).

Uma das maiores preocupações referentes à dinâmica do entorno dos reservatórios de UHEs, diz respeito à geração, aporte e deposição de sedimentos no interior dos mesmos (DE JESUS *et al.*, 2017), que podem ocorrer como resposta às características e dinâmicas processuais dos componentes desses ambientes, mas que geralmente são intensificados e acelerados pelas atividades humanas que ocorrem em seu entorno.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999), o tipo de cobertura da terra e, de igual forma, o uso que se faz da mesma, exerce forte influência sobre a natureza, volume e intensidade do escoamento superficial e a conseguinte deflagração de processos erosivos e aporte de sedimentos aos reservatórios de UHEs, que comprometem a eficiência e vida útil dos sistemas de geração de energia elétrica.

Isto posto, torna-se evidente que mapeamentos da cobertura e uso da terra, detalhados, atualizados e consistentes, são indispensáveis à compreensão das diferentes alterações paisagísticas nas bordas e entornos dos reservatórios. Sobre esta perspectiva, a existência de mapeamentos de cobertura e uso da terra no Brasil, em área contígua e contemplando a escala de reconhecimento e semidetalhe; a disponibilização (gratuita) de imagens de satélite de média e alta resolução espacial e; o Processamento Digital de Imagens (PDI) realizado em nuvem, com uso de algoritmos e classificadores automatizados baseados em *Machine Learning*; têm corroborado para o desenvolvimento de diferentes abordagens metodológicas para o mapeamento da cobertura e uso da terra, que têm sido amplamente integradas às modelagens ambientais e empregadas no diagnóstico e prognóstico de possíveis condições, processos, fenômenos e consequências ambientais, constituindo assim, um importante insumo ao planejamento ambiental e à gestão territorial (CREPANI *et al.*, 2001; DE JESUS *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2018; MEDRADO *et al.*, 2019).

Dessa forma, o escopo principal desta pesquisa de mestrado é o de prover uma proposta metodológica de mapeamento da cobertura e uso da terra, com detalhamento progressivo no contexto do entorno de reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs), tendo como estudo de caso aqueles que abrangem as UHEs Batalha e Itumbiara.

Deste modo, esta dissertação se vincula a um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, intitulado “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, com coordenação técnica e financiamento da Eletrobras FURNAS, realizado pela Universidade Federal de Goiás, Universidade de Brasília, com colaboração da Universidade Estadual de Goiás.

Logo, na presente proposta, salienta-se a necessidade do referido mapeamento de cobertura e uso da terra em detalhamento progressivo, como insumo analítico a respeito da forma e dinâmica de ocupação e exploração da terra no entorno dos reservatórios das UHEs. Essa forma e dinâmica de ocupação pode proporcionar a proteção ou acentuar a desagregação, o transporte e a deposição de sedimentos em tais reservatórios, reduzindo a eficiência e a vida útil do empreendimento.

Destaca-se que a definição do contexto das duas UHEs como áreas em estudo tem sua justificativa na premissa de que o fator tempo, mais especificamente, a idade dos reservatórios, tem influenciado de forma distinta na dinâmica do entorno dos mesmos (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2015). Sendo assim, toma-se a especificidade do contraste temporal de funcionamento das UHEs selecionadas, com a UHE Batalha com pouco mais de seis (6), e a UHE Itumbiara com mais de quarenta (40) anos em atividade.

Considerando a abordagem do método de detalhamento progressivo (CERRI *et al.*, 1996; ZAINE, 2000), a proposta metodológica de mapeamento da cobertura e uso da terra foi implementada a partir de subsequentes etapas, que se complementam, considerando diferentes dados, escalas e recortes espaciais, indicadas na sequência à título de objetivos específicos:

- ✓ Prover o mapeamento e a caracterização dos aspectos físico-ambientais e socioeconômicos das áreas de influência direta (AID) dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara, a partir de dados de fontes secundárias;
- ✓ Realizar a avaliação da dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra das áreas de influência direta (AID) dos reservatórios das UHEs em estudo, entre 1985 e 2020, para a escala de semidetalhe (1:100.000) e sob o aporte de fontes secundárias de dados cartográficos do Projeto Mapbiomas e censitários que retratam os aspectos demográficos, econômicos e agropecuários provenientes do SIDRA/IBGE
- ✓ Empregar técnicas de processamento digital em nuvem para classificação das imagens do satélite Sentinel 2 e mapeamento da cobertura e uso da terra para o ano de 2021 em escala de detalhe (1:25.000), tendo como recorte espacial os limites das bacias de contribuição direta (LBCD) dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara, com referência ao ano de 2021;
- ✓ Complementar os mapas de cobertura e uso da terra elaborados para o ano de 2021 em escala de detalhe (1:25.000), com dados secundários do Cadastro Ambiental Rural (CAR), índices espectrais e outros dados cartográficos primários levantados a partir do processamento das imagens do Sentinel 2 e outras de maior resolução;
- ✓ Refinar os mapas de cobertura e uso da terra a partir do processamento digital para classificação das imagens do satélite CBERS 4A, para o ano de 2021 (fusionada com banda pancromática e resolução espacial de 2 m), para contemplar a escala de detalhe de 1:10.000 e tendo como novo recorte espacial o limite das bordas imediatas dos reservatórios das UHEs em estudo;

- ✓ Disponibilizar dados e informações históricas, atuais e detalhadas sobre as condições de cobertura e uso da terra no entorno e na borda, que servirão como insumo para diagnóstico, prognóstico e formulação de medidas de manejo e proteção do solo frente à geração e aporte de sedimentos para reservatórios das UHEs.

Após essa introdução e apresentação dos objetivos (geral e específicos), a dissertação foi estruturada em quatro tópicos, o primeiro consistindo no referencial teórico, o segundo retratando a caracterização das áreas em estudo e os procedimentos metodológicos, o terceiro e o quarto baseados nos resultados e discussões e nas considerações finais e, por último, as referências bibliográficas utilizadas no decorrer do texto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico representa a fundamentação teórica que embasa a presente pesquisa. Nesse sentido, primeiramente são abordados alguns pressupostos do Sensoriamento Remoto e as principais características das imagens de satélite. Em seguida, apresenta-se uma sucinta descrição das principais iniciativas de mapeamentos da cobertura e uso da terra no Brasil e no bioma Cerrado, em área contígua, contextualizando os seus respectivos aportes metodológicos, com ênfase nos dados empregados e as respectivas escalas. Na sequência, é detalhada a abordagem teórico-metodológica do detalhamento progressivo, apresentada inicialmente por Cerri, Silva e Augusto Filho (1996) e detalhada em Zaine (2000), no âmbito do mapeamento geológico-geotécnico, destacando a sua pertinência também aos mapeamentos da cobertura e uso da terra.

Fundamentos do Sensoriamento Remoto e características das imagens de satélite

O Sensoriamento Remoto é uma ciência ou tecnologia relativamente recente na história da humanidade, aparecendo pela primeira vez na literatura científica na década de 1960 (MENESES e ALMEIDA, 2012). Todavia, é notório o uso militar de fotografias aéreas para reconhecimento do território ainda no século XIX.

Consoante a Novo (2010), a história do Sensoriamento Remoto pode ser dividida em pelo menos duas fases: a primeira compreendendo o período de 1860 a 1960, quando estava pautado principalmente na utilização de fotografias aéreas, com fins essencialmente militares; e de 1960 até o presente momento, quando passa a se caracterizar com uma diversidade de sistemas sensores e aplicações, estas últimas, voltadas especialmente ao monitoramento dos ecossistemas terrestres, aquáticos e atmosféricos, de maneira sinóptica (de conjunto), com produtos cada vez mais detalhados, aprimorados e confiáveis (BORGES *et al.*, 2015). A partir de então, o Sensoriamento Remoto passou a integrar conhecimentos das mais diferentes áreas do conhecimento científico, como Física, Química, Engenharias, Cartografia, Ciência da Computação, Botânica, Geologia, Ecologia, dentre tantas outras.

No que diz respeito à definição do termo Sensoriamento Remoto, destaca-se que há na literatura científica uma diversidade de conceitos que o caracterizam. Embora isso, percebe-se que todas essas definições convergem para o ponto comum de considerá-lo como o processo de aquisição de informações de algo (entidade ou objeto), sem que haja contato direto com o mesmo (LILLESAND e KIEFER, 2000; ROSA, 2001; LUCHIARI *et al.*, 2005; LOCH, 2008;

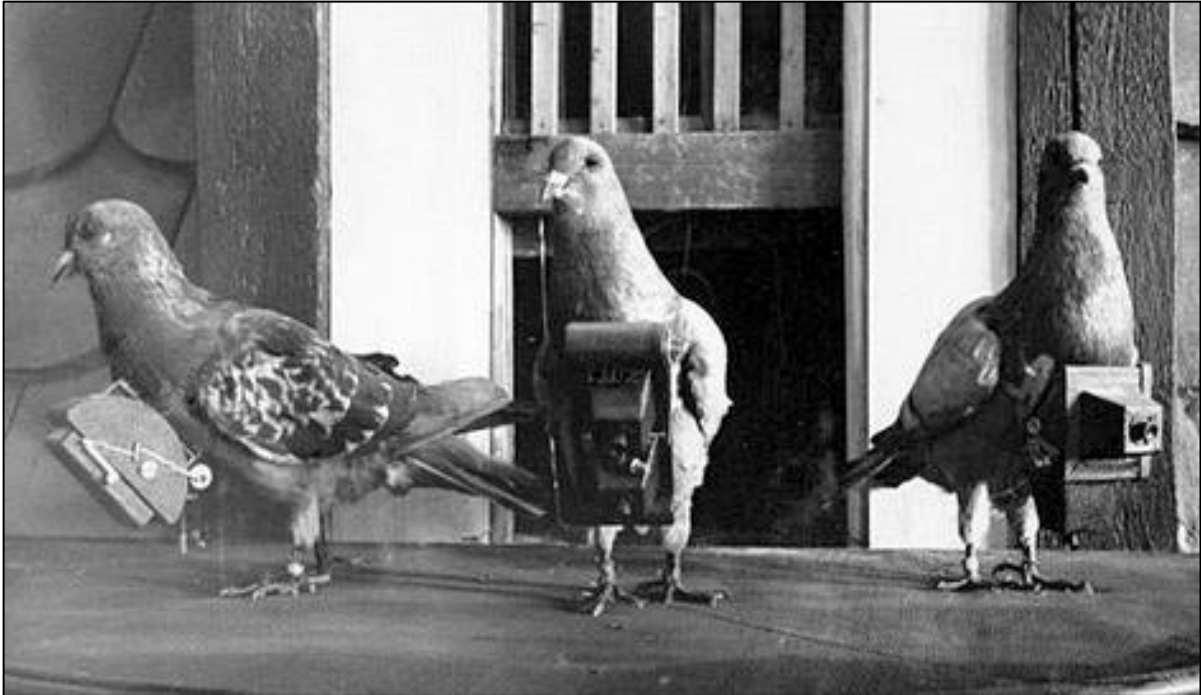
MORAIS, 2008). Em outros termos, denota a forma de aquisição de informações de forma remota, isto é, à distância.

Para Borges *et al.*, (2015), muitas definições são genéricas, enquanto outras são mais completas. Nesse sentido, Menezes e Almeida (2012, p. 3) definem o Sensoriamento Remoto como sendo “a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.” Nesta perspectiva, percebe-se que a evolução do Sensoriamento Remoto está diretamente relacionada aos sistemas sensores.

A estrutura de um sistema de Sensoriamento Remoto é constituída por quatro componentes básicos, sendo eles: a fonte de energia eletromagnética, que pode ser natural ou artificial; os sensores (passivos ou ativos), que respondem pelo registro da interação da energia eletromagnética com os objetos e elementos da superfície terrestre; a plataforma, onde o sensor é acoplado, sendo as orbitais as mais comuns; e a estação de recepção, que é a entidade responsável pelo recebimento dos dados e posterior distribuição para usuários, como instituições de pesquisas, órgão governamentais, entre outros.

Dessa forma, pode-se simplificar o processo de aquisição e registro de uma imagem de satélite ao pontuar que a radiação eletromagnética incidente do Sol ou de alguma fonte artificial, perpassa pela atmosfera, alcança a superfície terrestre e, conforme a composição e propriedade física, química e biológica dos objetos e elementos na superfície, uma parte da radiação é absorvida e outra é novamente refletida para a atmosfera e, então, registrada na forma de imagem pelo sensor presente na plataforma orbital (satélite). Obviamente, é necessário considerar que ao passar pela atmosfera, parte da radiação eletromagnética é refletida e absorvida pela mesma e pelos componentes presentes nela – além de outros aspectos que condicionam o balanço de radiação.

Tendo em vistas esses aspectos inerentes aos sistemas sensores, é bastante usual a expressão de que “a cada dia novos sensores e satélites orbitais são lançados, proporcionando diversas imagens e diferentes produtos do Sensoriamento Remoto”. Desde as fotografias aéreas registradas por equipamentos fixados em pombos (Figura 1), que ilustram as aplicações iniciais do Sensoriamento Remoto para fins militares, associadas às atividades de defesa e ao reconhecimento do território; perpassando pelo lançamento do *Sputnik 1*, em outubro de 1957, o primeiro satélite artificial de origem soviética a orbitar o planeta Terra, o que marcou o início da corrida espacial, onde o quantitativo de sistemas sensores passou a crescer exponencialmente, conseqüentemente, provendo dados históricos, sinóticos e de todo o globo terrestre, subsidiando assim as mais diversas aplicações.

Figura 1 – Pombos com câmeras acopladas ao peito para registro de fotografias aéreas

Fonte: ESTEIO, (2010).

Atualmente, há diversos sistemas sensores remotos acoplados a plataformas orbitais em operação para análise da superfície terrestre. Nesse sentido, destaca-se que: *Landsat*, *Rapideye*, *Worldview*, *GeoEye*, *Spot*, *Ikonos*, *Quickbird*, *Alos*, *Sentinel*, *CBERS* e *Planet*, estão na lista dos satélites multiespectrais mais reconhecidos por usuários de dados de Sensoriamento Remoto em todo o mundo. O Quadro 1 traz uma síntese sobre as principais características destes satélites, sendo que, de maneira geral, não apenas estes, mas também outros satélites de sistemas sensores multiespectrais, têm possibilitado uma grande diversidade de estudos com os mais diferentes enfoques (ABDON *et al.*, 1995; ANDERSON *et al.*, 2005; GAO *et al.*, 1996; PRIGENT, 2001; SANO *et al.*, 2010).

Quadro 1 – Síntese das características dos principais sistemas sensores imaginadores orbitais

Satélite	Instituição/ País	Lançamento	Sensor	Resolução Espacial	Resolução Temporal
LANDSAT 4	NASA/EUA	16/07/1982	MSS	30 m	16 dias
			TM	120 m	
LANDSAT 5	NASA/EUA	01/03/1984	MSS	30 m	16 dias
			TM	120 m	
LANDSAT 7	NASA/EUA	15/04/1999	ETM+	15 m 30 m 60 m	16 dias
LANDSAT 8	NASA/EUA	11/02/2013	OLI	15 m 30 m	16 dias
			TIRS	100 m	
LANDSAT 9		27/09/2021	OLI-2	15 m	16 dias

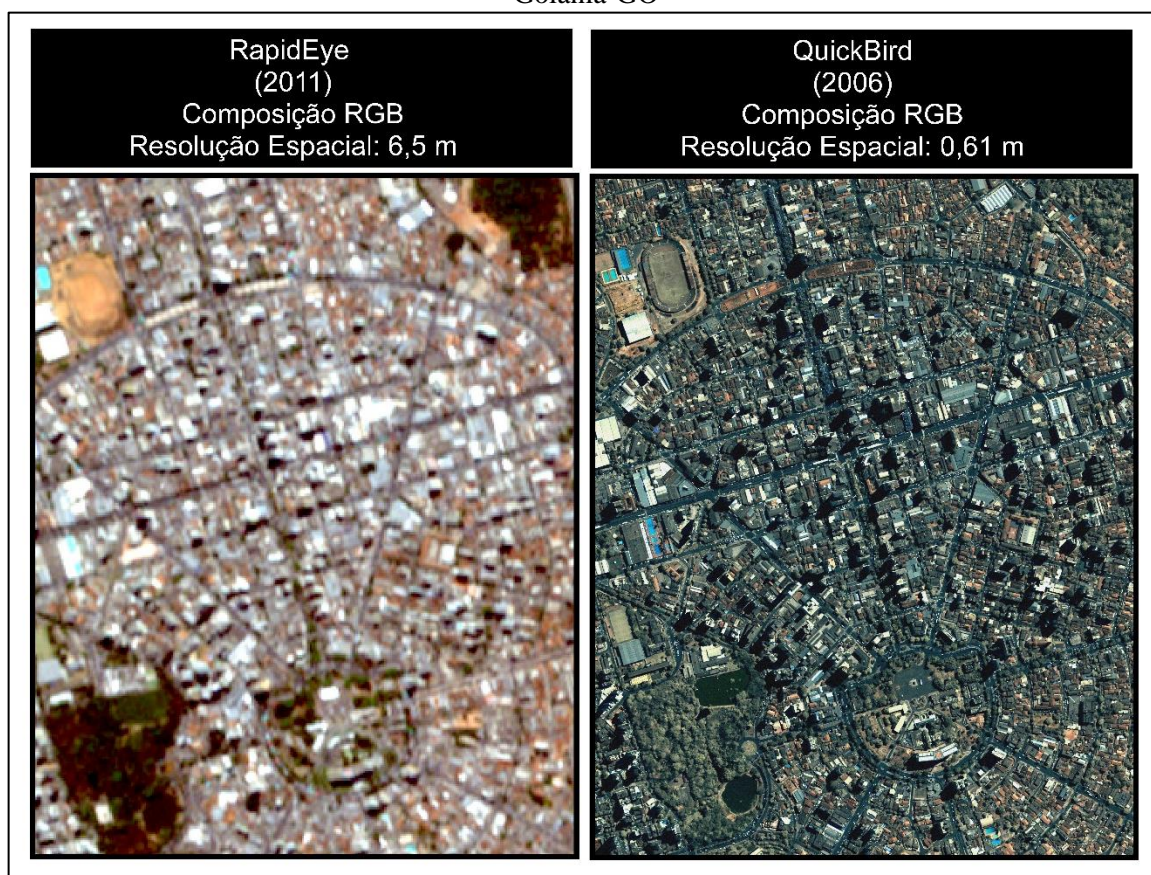
	NASA & USGS/EUA			30 m	
			TIRS-2	100 m	
<i>RapidEye</i>	<i>Planet e European Spacial Agency (ESA)</i>	29/09/2008	REIS	5 m 6,5 m	24 horas 5.5 dias
<i>Worldview 2</i>	<i>Digital Globe/EUA</i>	08/10/2009	MS	0,5 m 2 m	1 dia 3 dias
<i>GeoEye 1</i>	<i>Planet e European Spacial Agency (ESA)</i>	06/09/2008	MS	0,41 m 1,64 m	1,7 dias 4,6 dias
<i>Spot 7</i>	<i>Planet e European Spacial Agency (ESA)</i>	30/06/2014	NAOMI	1,5 m 6 m	26 dias
<i>Ikonos 2</i>	<i>Digital Globe/ (EUA)</i>	24/09/1999	MS	0,8 m 1 m 3,28 m 4 m	3 dias
<i>Quickbird</i>	<i>Digital Globe/ (EUA)</i>	18/10/2001	BGIS	65 cm 0,41 m 2,62 m	1-3,5 dias
<i>Advanced Land Observing Satellite (ALOS 2)</i>	<i>Japan Aerospace Exploration Agency/ (Japão)</i>	24/05/2014	PRISM;	2,5 m	46 dias
			AVNIR 2;	10 m	
<i>Sentinel 2</i>	<i>Global Monitoring for Environment and Security (GMES) e European Spacial Agency (ESA)</i>	23/06/2015	SAR		5 dias
			MSI	10 m 20 m 60 m	
<i>CBERS 4A</i>	<i>Agência Espacial Brasileira, China Academy of Space Technology/ Brasil, China</i>	20/12/2019	WPM; MUX;	2 m 8 m	31 dias
			WFI;	8 m	5 dias (WFI)
<i>Dove Constellation</i>	<i>Planet (EUA)</i>	12/02/2017	Dove Classic Dove-R SuperDove	3 m 3.9 m	1 dia

Fonte: INPE, (2021); NASA, (2021); SATELLITE IMAGING, (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Tendo em vista os avanços no campo da Engenharia, Ciência da Computação e áreas afins, observa-se que os sistemas sensores passaram a reconhecer novas possibilidades. Isto se deu, sobretudo, com o refinamento das resoluções (espectral, radiométrica, espacial e temporal) dos sensores (CLARCK, 1999), assim como pela disponibilização gratuita das imagens de satélite.

Dessa forma, na sequência são elencados e demonstrados alguns exemplos de imagens de satélites de iniciativa privada e pública que têm sido usualmente empregadas no contexto brasileiro, com vistas a atender diferentes propósitos de aplicação. Dentre as iniciativas privadas, vale destacar as imagens do Quickbird-2, RapidEye e Planet. O primeiro consiste em imagens de alta resolução (centimétricas – 0,61 m), adquiridas por diversas prefeituras para a produção e atualização de dados cadastrais multifinalitários, visando principalmente a atualização da base cartográfica com o intuito de melhorar a arrecadação de tributos (SANTOS *et al.*, 2011), tendo em vista a qualidade das imagens em termos de resolução espacial – Figura 2.

Figura 2 – Imagens dos satélites *RapidEye* (2011) e *QuickBird-2* (2006), retratando o Setor Central de Goiânia-GO



Fonte: MMA (2012) e COMDATA – Prefeitura de Goiânia (2006). Org.: SILVA, Izaías de Souza.

A missão comercial RapidEye foi lançada em agosto de 2008 e, em 2012, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) fez a aquisição da cobertura completa das imagens do *RapidEye* registradas ao longo de 2011 para todo o território brasileiro, com o objetivo de elaborar o Cadastro Ambiental Rural (CAR). A partir da assinatura de acordos e cooperação técnica com o MMA, órgãos públicos e instituições de ensino podem acessar e utilizar as imagens. A Figura 2 permite a comparação entre as imagens das missões *Quickbird-2* e *RapidEye*, em termos de resolução espacial.

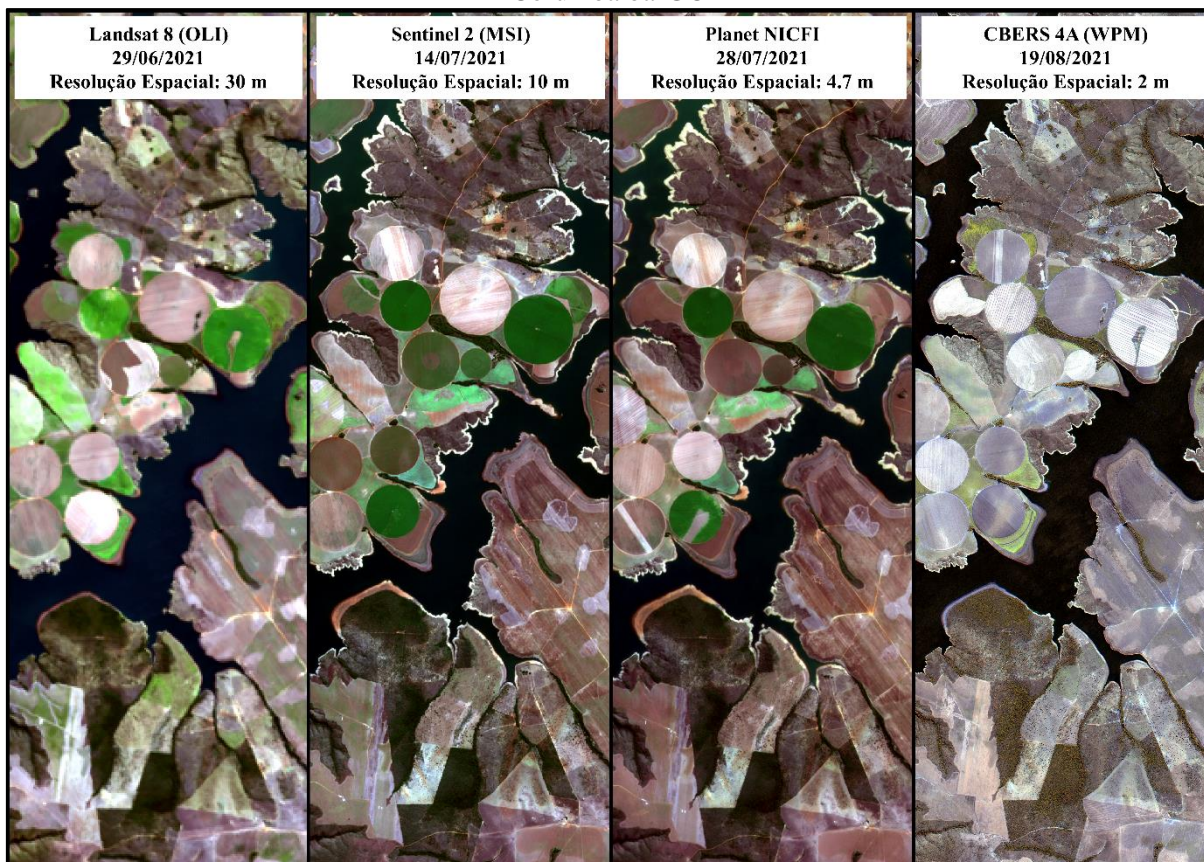
As imagens *Planet* são registradas pela constelação de satélites Dove, com resolução de 3 m. Todavia, assim como o caso das imagens *RapidEye*, trata-se de satélites da iniciativa privada, cujas as imagens estão sendo disponibilizadas gratuitamente para toda a região tropical do globo terrestre (contemplando a maior parte do território brasileiro), por conta de uma parceria firmada mais recentemente entre a *NICFI Satellite Data Program* e a *Planet*, objetivando o monitoramento das florestas tropicais em escala regional e global (PLANET, 2021).

No caso das imagens de satélite de acesso público, pode-se elencar diversas possibilidades quanto ao emprego de imagens de média e alta resolução espacial. A título de exemplo, cita-se as imagens dos satélites *Landsat* (4, 5, 7, 8, 9), *Sentinel* (1, 2, 3) e *CBERS* (2, 2B, 4, 4A), com resolução espacial de até 30 m, 10 m e 2 m, respectivamente. A título de demonstração das diferentes resoluções espaciais e as possibilidades de aplicação, a Figura 3 mostra imagens dos satélites *Landsat 9* (30 m), *Sentinel 2* (10 m), *Planet* (3 m) e *CBERS-4A* (2 m), representando um mesmo recorte espacial, na borda do reservatório da UHE Itumbiara.

Assim, graças aos supracitados avanços nos sistemas sensores, novas possibilidades de uso e aplicação das imagens de satélite de alta resolução espacial, gratuitas e comerciais, tendem a surgir com maior frequência.

Uma definição para sensores pode ser encontrada em Moreira (2007), que os define como sendo dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético. Nesse sentido, podem ser classificados quanto a fonte de energia que registram, sendo “passivos” quando capazes de detectar a radiação emitida pelo Sol e refletida pelos alvos da superfície terrestre; e “ativos” quando capazes de produzirem e emitirem sua própria radiação eletromagnética, que interagem e é refletida pelos alvos.

Figura 3 – Imagens dos satélites Landsat 9 (30 m), Sentinel 2 (10 m), Planet (3 m) e CBERS-4A (2 m), de 2021 retratando um trecho da borda do reservatório da UHE Itumbiara, no município de Corumbáiba-GO



Fonte: INPE, (2021); PLANET, (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Os sistemas sensores são classificados ainda segundo o tipo de dado que produzem, havendo assim, sensores imageadores e sensores não imageadores. Segundo Menezes e Almeida (2012), os sensores imageadores se caracterizam por gerarem imagens simultâneas em várias faixas do espectro eletromagnético, sendo a imagem uma representação digital dos valores de radiância. Por outro lado, sensores não imageadores fornecem medidas de intensidade da energia dos objetos da superfície imageada, com valores de saída registrados em dígitos ou gráficos, sendo muito eficientes para aquisição de informações sobre o comportamento espectral dos objetos.

No caso específico dos sensores imageadores, à exceção do radar, possuem quatro formas diferentes de medições descritas em termos de resolução, sendo elas: espacial, espectral, radiométrica e temporal. De acordo com Menezes e Almeida (2012), as resoluções não são excludentes entre si, como se costuma ou tem-se a tendência em pensar, mas são complementares. Isto é, elas se complementam atuando de maneira conjunta em um processo interativo, que especifica as propriedades, as características e mesmo as limitações quanto às aplicações das imagens de satélite a um determinado propósito.

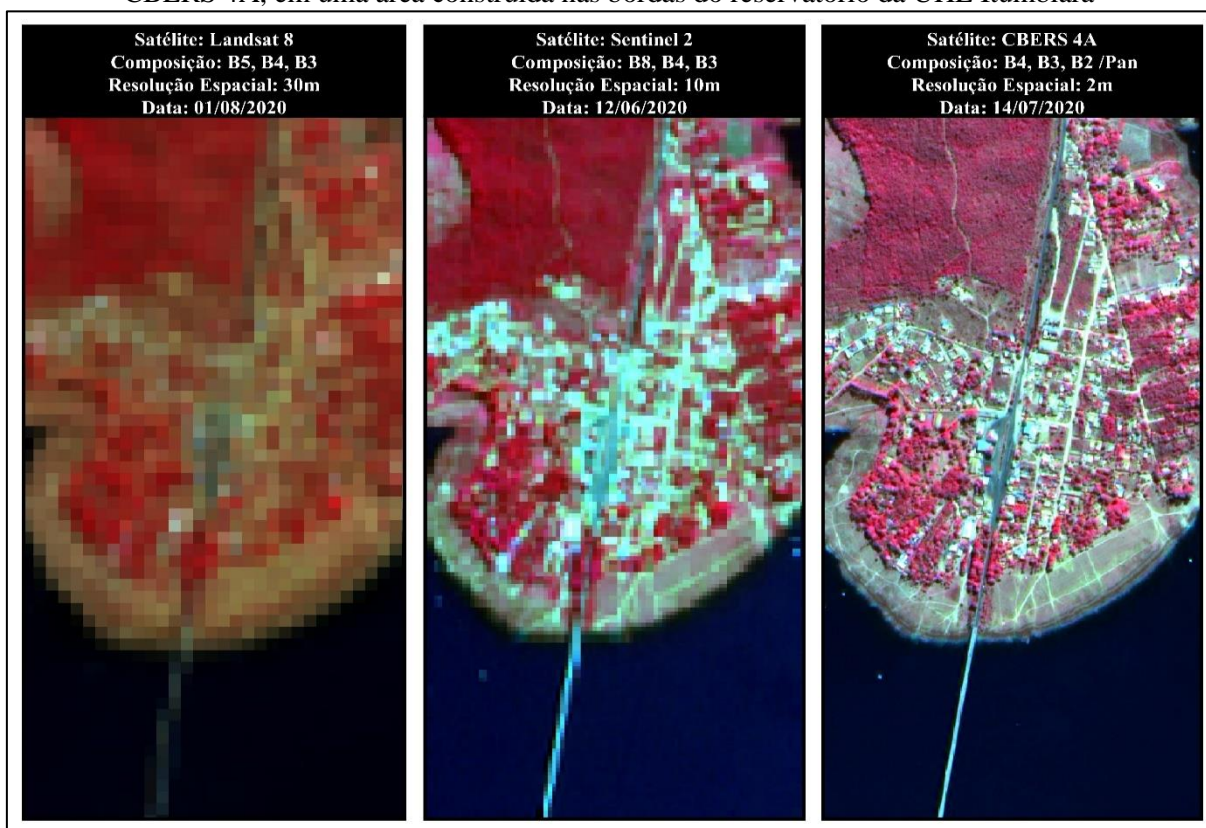
A resolução espacial, especificamente, diz respeito à propriedade de distinção do tamanho do menor objeto identificado na superfície, de maneira que, quanto mais maior for a resolução espacial do sistema sensor, mais detalhes podem ser identificados na imagem (BATISTA e DIAS, 2005). Assim, a resolução espacial depende diretamente do campo de visada instantânea do sensor (IFOV), isto é, seu ângulo sólido; e de igual forma da altura na qual se encontra a respectiva plataforma orbital. Compreende-se que:

Um pequeno IFOV é desejável quando há necessidade de se registrar altos detalhes espaciais. Dessa forma, quanto menor for o tamanho do IFOV maior será a capacidade de se detectar nas imagens os menores elementos que integram a cena. A resolução espacial deve ser entendida como uma medida geométrica, e, portanto, não deve ser considerada como sinônimo de pixel. Pixel representa uma taxa de amostragem no terreno, que mede no espaço geométrico do elemento de resolução no terreno, o valor da radiância do alvo, (MENESES e ALMEIDA, p. 25, 2012).

A Figura 4 mostra as diferenças de resolução espacial entre três imagens provenientes de sistemas sensores distintos a bordo de satélites amplamente conhecidos pela gratuidade dos dados, sendo eles: *Landsat 8* (com resolução espacial de 30 m), *Sentinel 2* (com resolução espacial de 10 m), e *CBERS 4A* (com resolução espacial de 2 m), neste último exemplo, após o procedimento de fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática do mesmo sistema sensor, a saber, sistema sensor WPM. A imagem retrata uma área próxima ao reservatório da UHE Itumbiara.

A resolução espectral, por sua vez, diz respeito a sensibilidade do sensor em relação às faixas ou bandas do espectro eletromagnético que ele opera (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, entre outras), e suas respectivas larguras em comprimento de onda (MENEZES e ALMEIDA, 2012). Nesse sentido, o quanto maior for o número de bandas, e mais estreitas forem suas larguras, em termos de intervalo de comprimento de onda, entende-se que melhor é a resolução espectral do sensor (BATISTA e DIAS, 2005). Isto é, maior será a capacidade de se discriminar as mudanças no comportamento espectral dos alvos em superfície, dadas as suas diferenças de reflectância.

Figura 4 – Diferença de Resolução Espacial entre as imagens dos satélites *Landsat 8*, *Sentinel 2* e *CBERS 4A*, em uma área construída nas bordas do reservatório da UHE Itumbiara



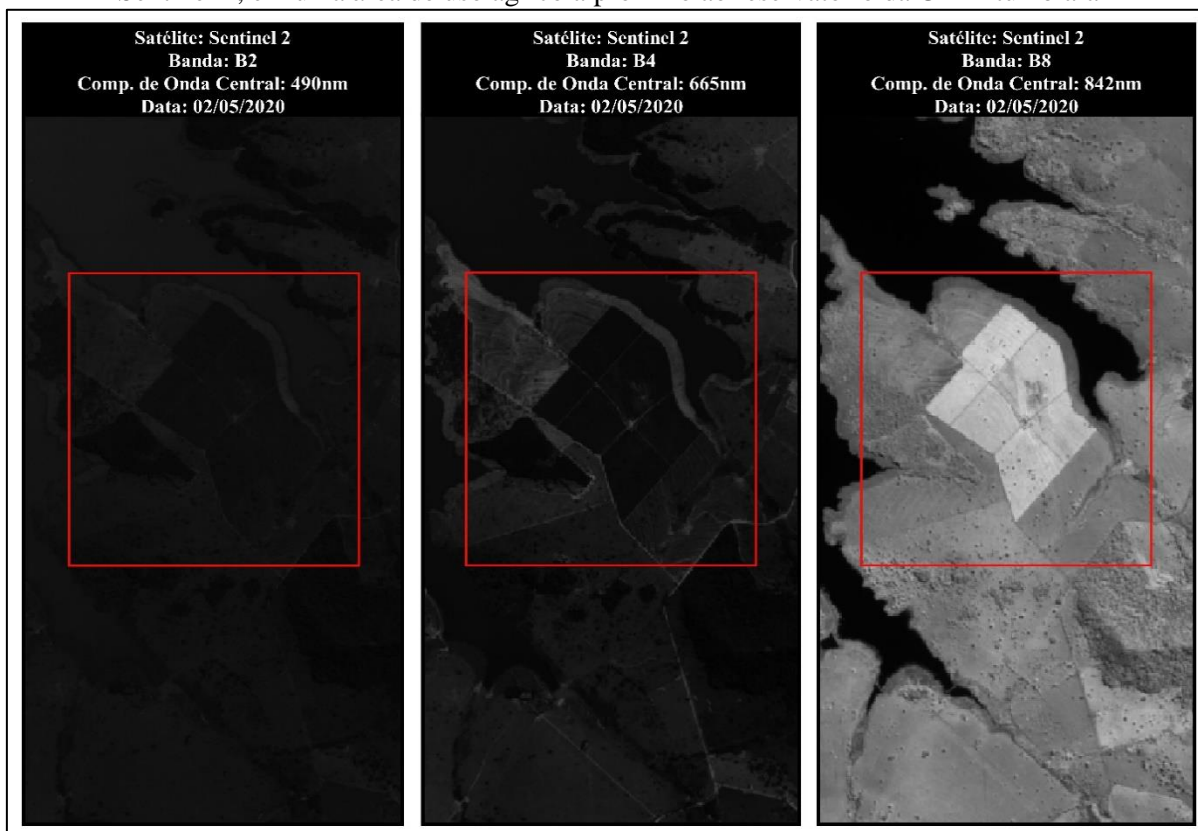
Fonte: INPE (2021); ESA (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

A Figura 5 exemplifica, a partir de imagens do satélite Sentinel 2, o efeito da resolução espectral na detecção dos alvos. Da esquerda para a direita, na primeira imagem (banda 2), observa-se que as reflectâncias dos alvos são muito semelhantes, dificultando distinguir, por exemplo, a vegetação dos corpos d'água. Na segunda imagem, pela banda 4 percebe-se maior contraste entre as áreas construídas (como é o caso das rodovias) e a vegetação. Por sua vez, na banda 8 nota-se que os corpos d'água são facilmente identificados, o que se explica pela alta capacidade de absorção de energia eletromagnética pela água neste comprimento de onda; e as áreas com maior vigor vegetacional apresentam forte contraste.

A resolução radiométrica, especificamente, compreende a intensidade de radiância registrada em cada pixel unitário, de maneira que, quanto maior for a capacidade de registro de diferentes intensidades de radiância pelo sensor, maior será a resolução radiométrica (MENEZES e ALMEIDA, 2012). A intensidade de radiância registrada pelo sensor é convertida em números de valores digitais (quantização), que por padrão são expressos em números de dígitos binários (*bits*). Como destaca Novo (2010), os sistemas sensores são os responsáveis pela conversão da energia eletromagnética proveniente dos objetos e elementos na superfície em um registro na forma de imagem, gráfico ou tabela numérica. A depender da

maior ou menor quantidade de *bits* de uma imagem, tem-se assim a sua qualidade visual expressa em termos de tons de cinza/brilho (BARBOSA *et al.*, 2012). Quanto maior o número de tons de cinza/brilho, maior é a resolução radiométrica da imagem.

Figura 5 – Diferença de Resolução Espectral entre as bandas 2, 4 e 8, nas imagens do sensor MSI, Sentinel 2, em uma área de uso agrícola próximo ao reservatório da UHE Itumbiara

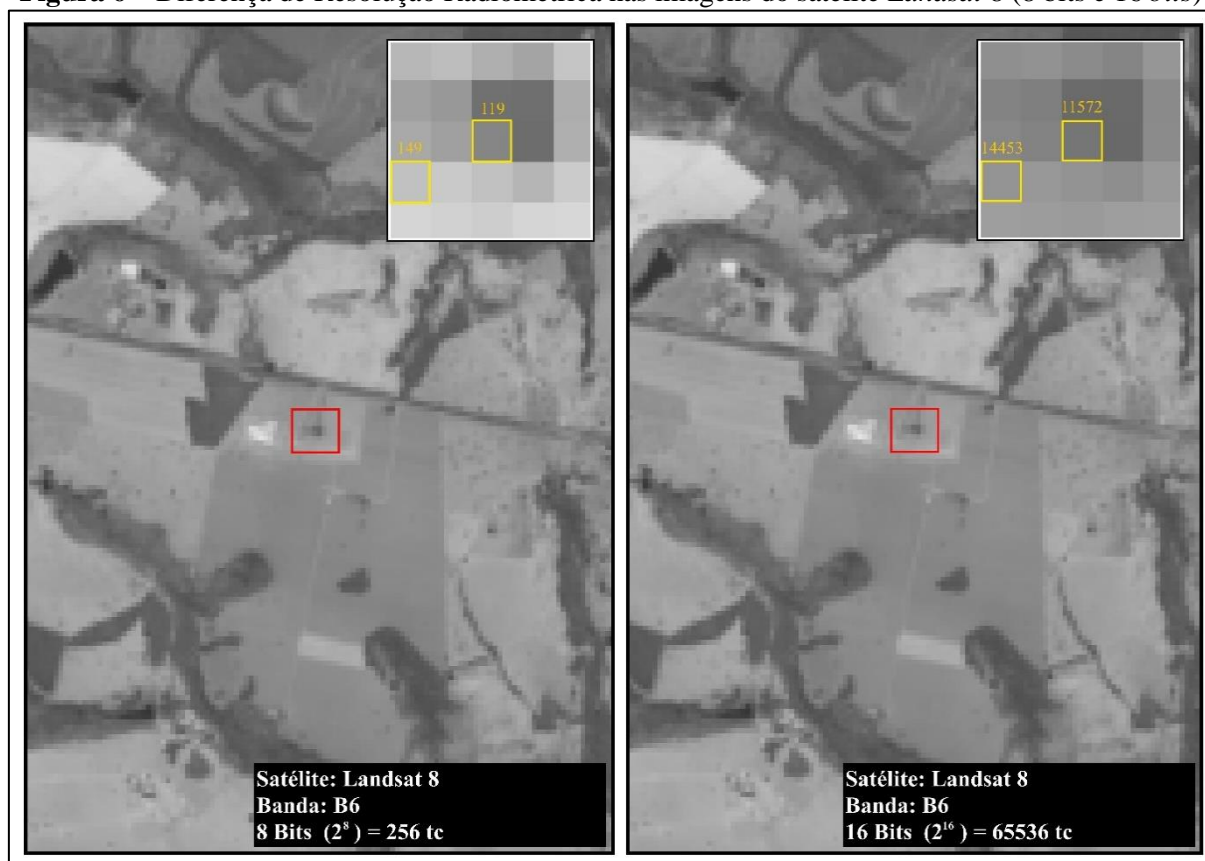


Fonte: ESA (2021). Org.: SILVA, Izaías de Souza.

A Figura 6 mostra duas imagens do Satélite *Landsat 8*, sendo a primeira (à esquerda) reamostrada para 8 *bits* e a segunda (à direita) com a sua resolução radiométrica original de 16 *bits*. Apesar do olho humano não perceber a sutil diferença visual em termos de tons de cinza entre as duas imagens, é possível notar que há uma grande diferença em termos matemáticos, isto é, uma grande diferença entre os valores dos pixels das duas imagens.

Por fim, em relação às resoluções, destaca-se a temporal, que, segundo Barbosa *et al.* (2019), é definida como sendo a frequência com que o sensor acoplado no satélite demora para obter duas imagens consecutivas de um mesmo ponto da superfície terrestre. Nesse sentido, destaca-se que a resolução temporal é de extrema importância em determinadas aplicações, por exemplo, no monitoramento ou detecção de mudanças na cobertura e uso da terra, vazão de um reservatório, queimadas, vigor vegetacional e produtividade de culturas em áreas plantadas, entre outras situações ou processos; haja vista a importância da periodicidade das observações.

Figura 6 – Diferença de Resolução Radiométrica nas imagens do satélite *Landsat 8* (8 bits e 16 bits)



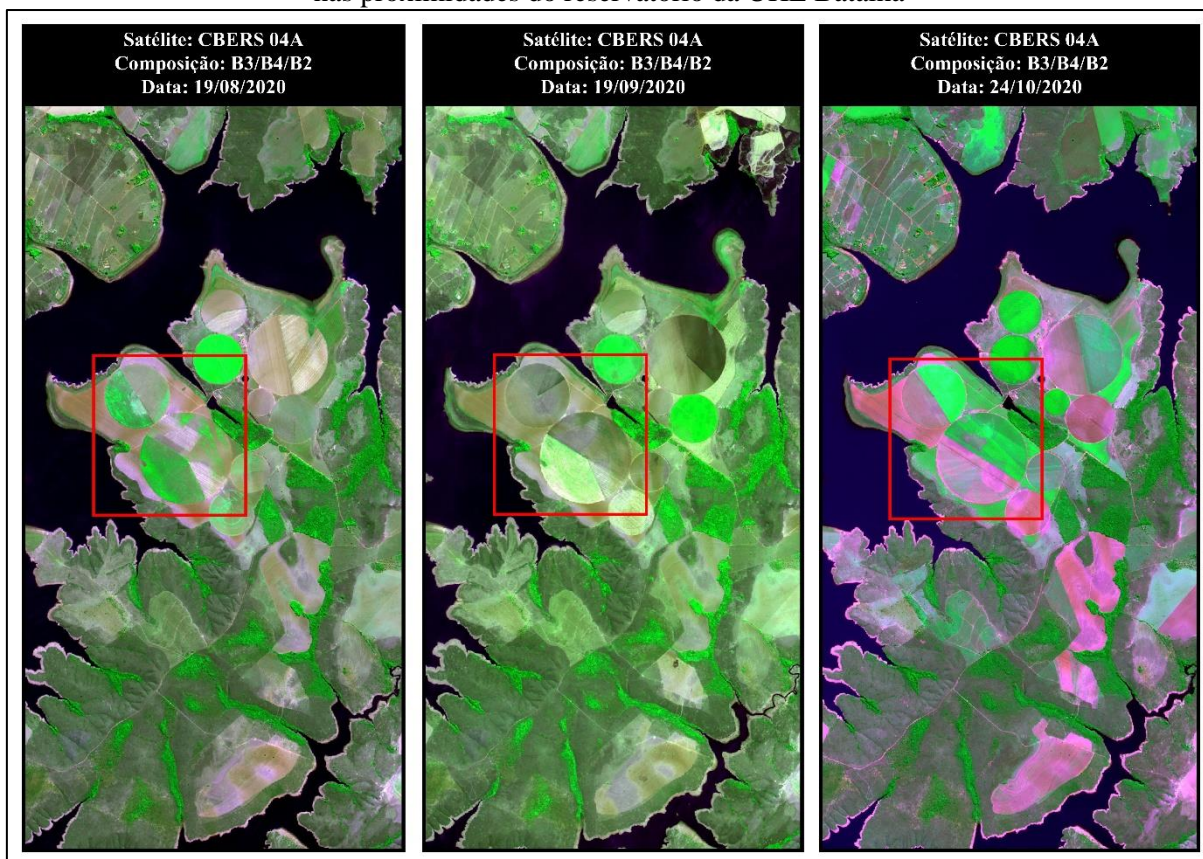
Fonte: INPE (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

A Figura 7 apresenta três imagens do satélite CBERS 4A, que possui resolução temporal de 31 dias, com destaque para uma área de uso agrícola nas proximidades do reservatório da UHE Batalha, onde há uma forte presença do uso de pivôs-centrais. Apesar de ser uma resolução temporal considerada longa (31 dias), uma vez comparada com a de outros sistemas sensores a bordo de outros satélites; é possível detectar facilmente nas imagens as mudanças na superfície ao longo dos meses de agosto, setembro e outubro, principalmente, as mudanças relacionadas à dinâmica fenológica da vegetação nativa e aquelas relacionadas às atividades agrícolas, estas últimas, sobretudo em função da rotatividade interanual das culturas.

Entender as propriedades dos dados de Sensoriamento Remoto, sobretudo em termos de resoluções, é de grande importância para compreender as possibilidades e limitações quanto as suas aplicações. A depender do objetivo pretendido no PDI, devem ser levadas em consideração as propriedades inerentes aos dados utilizados. Dito isso, especificamente no processamento de classificação da cobertura e uso da terra, e tendo como intuito contemplar uma proposta de mapeamento em detalhamento progressivo, a resolução espacial é um atributo importantíssimo, para ser coerente com a escala cartográfica almejada. Todavia, os demais aspectos das

resoluções espectral, radiométrica e temporal também são fundamentais, especialmente no que diz respeito aos índices espectrais e análise dos produtos.

Figura 7 – Imagens do satélite CBERS 4A, nos meses 8, 9 e 10 de 2020, em uma área de uso agrícola nas proximidades do reservatório da UHE Batalha



Fonte: INPE, (2021). Org.: SILVA, Izaías de Souza (2022).

Mapeamentos da Cobertura e Uso da Terra

A crescente especialização e diversificação da cartografia científica associada a novas tecnologias, tem repercutido diretamente na multiplicidade dos mapas temáticos (MARTINELLI, 2009). As ferramentas de Sensoriamento Remoto, subsidiadas por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), por exemplo, tem permitido cada vez mais o levantamento de informações importantes às demandas apresentadas pelos gestores e tomadores de decisão (HECHT *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2019).

No contexto das inovações e dos levantamentos de informações importantes à gestão territorial, os mapeamentos de cobertura e uso da terra têm se destacado, haja vista a sua real importância na compreensão dos fenômenos, ações e intervenções humanas no espaço geográfico (WRIGHT, 1982). Conhecidos também como *Land Use and Land Cover Maps* (LULC), estes mapeamentos apresentam uma estreita relação com os dados provenientes de

Sensoriamento Remoto, considerando que os avanços nos sistemas sensores repercutem diretamente nas possibilidades de extração das informações da superfície terrestre (SANO *et al.*, 2010).

Assim, iniciativas nacionais e internacionais de mapeamento da cobertura e uso da terra se caracterizam tanto pela utilização de dados (imagens) de diferentes fontes/sistemas sensores, quanto pela adoção de diferentes metodologias, escalas e Sistemas de Classificação. No que se refere especificamente a estes últimos, destaca-se que há na literatura científica uma série de propostas de sistemas de classificação, tanto nacionais quanto internacionais (ANDERSON *et al.*, 1976; EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 1995; IBGE, 2013).

No âmbito internacional, são comumente citados como referência os sistemas de classificação propostos pela Comissão Mista para Informação e Classificação do Uso da Terra dos Estados Unidos da América, inicialmente desenvolvida em 1971, revisada em 1976 e popularmente denominada como “*Anderson Classification System*” (ANDERSON *et al.* 1976) – Quadro 2 e 3, e o *Coordination of Information on the Environment Land Cover* (CORINE), elaborado pela Comissão Europeia na década de 1990, e atualizadas em vários e sucessivos anos.

Quadro 2 – Níveis I e II do sistema de classificação proposto por Anderson *et al.*, (1976)

NÍVEL I	NÍVEL II
1. Terra urbana ou construída	1.1 Residencial
	1.2 Comercial e serviços
	1.3 Industrial
	1.4 Transportes, comunicações e utilidades
	1.5 Complexos industriais e comerciais
	1.6 Terra urbana ou construída mista
	1.7 Outro tipo de terra urbana ou construída
2. Terra agrícola	2.1 Terra de cultivo e pastagem
	2.2 Pomares, bosques, vinhedos, viveiros e áreas de horticultura ornamental
	2.3 Atividades de alimentação confinada
	2.4 Outro tipo de terra agrícola
3. Pastagem	3.1 Pastagem herbácea
	3.2 Pastagem com arbusto e carrasco
	3.3 Pastagem mista
4. Terra de floresta	4.1 Terra de floresta decídua
	4.2 Terra de floresta sempre verde
	4.3 Terra de floresta mista
5. Água	5.1 Cursos d'água e canais
	5.2 Lagos

	5.3 Reservatórios
	5.4 Baías e estuários
6. Terra úmida	6.1 Terra úmida florestada
	6.2 Terra úmida não florestada
7. Terra árida	7.1 Planícies salgadas secas
	7.2 Praias
	7.3 Outras áreas de areia além de praias
	7.4 Rocha exposta
	7.5 Minas a céu aberto, pedreiras e minas de cascalho
	7.6 Áreas de transição
	7.7 Terra árida mista
8. Tundra	8.1 Tundra de arbusto e macega
	8.2 Tundra herbácea
	8.3 Tundra de solo nu
	8.4 Tundra úmida
	8.5 Tundra mista
9. Neve ou gelo perene	9.1 Campos de neve perene
	9.2 Geleiras

Fonte: Anderson *et al.*, (1976).

Conforme a necessidade em se atender às escalas regionais ou locais, os níveis I e II podem ser detalhados para os níveis III e IV, correspondentes a especificações e extensões lógicas das classes anteriores, conforme visto para o caso da classe “1.1 Residencial”, detalhada para os níveis III e IV no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3 – Detalhamento da classe 1.1 Residencial para os níveis III e IV

1.1.1 Residencial Unifamiliar	1.1.1.1 Casa, casa-barco, cabana, tenda
	1.1.1.2 Casa motorizada (trailer)
1.1.2 Residencial Multifamiliar	1.1.2.1 Duplex
	1.1.2.2 Triplex
	1.1.2.3 Prédios
	1.1.2.4 Parque de casas motorizadas (trailers)

Fonte: Anderson *et al.*, (1976).

O quadro 4 apresenta os níveis I, II e III referente ao sistema de classificação da *Coordination of Information on the Environment Land Cover (CORINE)*, como supracitado, implementado pela Comissão Europeia na década de 1990, passando por diversas atualizações a partir de então, sendo este também um dos sistemas de classificação mais amplamente utilizados nos mapeamentos de cobertura e uso da terra.

Quadro 4 – Níveis I, II e III do sistema de classificação Corine

NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III
1. Superfícies Artificiais	1.1 Estruturas urbanas	1.1.1 Estruturas urbanas contínuas
		1.1.2 Estruturas urbanas descontínuas
	1.2 Unidades industriais, comerciais e de transporte	1.2.1 Unidades industriais ou comerciais
		1.2.2 Rodovias e ferrovias e feições associadas
		1.2.3 Áreas portuárias
		1.2.4 Aeroportos
	1.3 Locais de minas, de depósitos e de construção	1.3.1 Locais de extração mineral
		1.3.2 Locais de depósitos de lixo
		1.3.3 Locais de construção
	1.4 Áreas vegetadas artificiais e não agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
		1.4.2 Instalações para esporte e lazer
	2. Áreas agrícolas	2.1 Terras aráveis
2.1.2 Terras permanentemente irrigadas		
2.1.3 Campos de arroz		
2.2 Culturas permanentes		2.2.1 Vinhedos
		2.2.2 Árvores frutíferas e plantações de fruto silvestre
		2.2.3 Bosques de oliveiras
2.3 Pastagens		2.3.1 Pastagens
2.4 Áreas agrícolas heterogêneas		2.4.1 Culturas anuais e permanentes
		2.4.2 Padrões de cultivo complexo
		2.4.3 Terras ocupadas principalmente por agricultura, com áreas significativas de vegetação natural
		2.4.4 Áreas agroflorestais
3. Florestas e áreas seminaturais		3.1 Florestas
	3.1.2 Florestas de coníferas	
	3.1.3 Florestas mistas	
	3.2 Associações de vegetação herbácea/arbustiva	3.2.1 Campos naturais
		3.2.2 Urzais e charnecas
		3.2.3 Vegetação mediterrânea de <i>Sclerophyllous</i>
		3.2.4 Transição arbusto/bosque
	3.3 Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.3.1 Praias, dunas e areais
		3.3.2 Afloramentos rochosos
		3.3.3 Áreas com vegetação esparsa
		3.3.4 Áreas queimadas
		3.3.5 Geleiras e neves perenes
4. Áreas úmidas	4.1 Áreas úmidas interiores	4.1.1 Pântanos interiores
		4.1.2 Turfeiras
	4.2 Áreas úmidas litorâneas	4.2.1 Pântanos salinos
		4.2.2 Salinas
		4.2.3 Planícies intermarés
	5. Corpos d'água	5.1 Águas interiores
5.1.2 Corpos d'água		
5.2 Águas marinhas		5.2.1 Lagunas costeiras

		5.2.2 Estuários
		5.2.3 Mares e oceanos

Fonte: *European Environmental Agency* (1995).

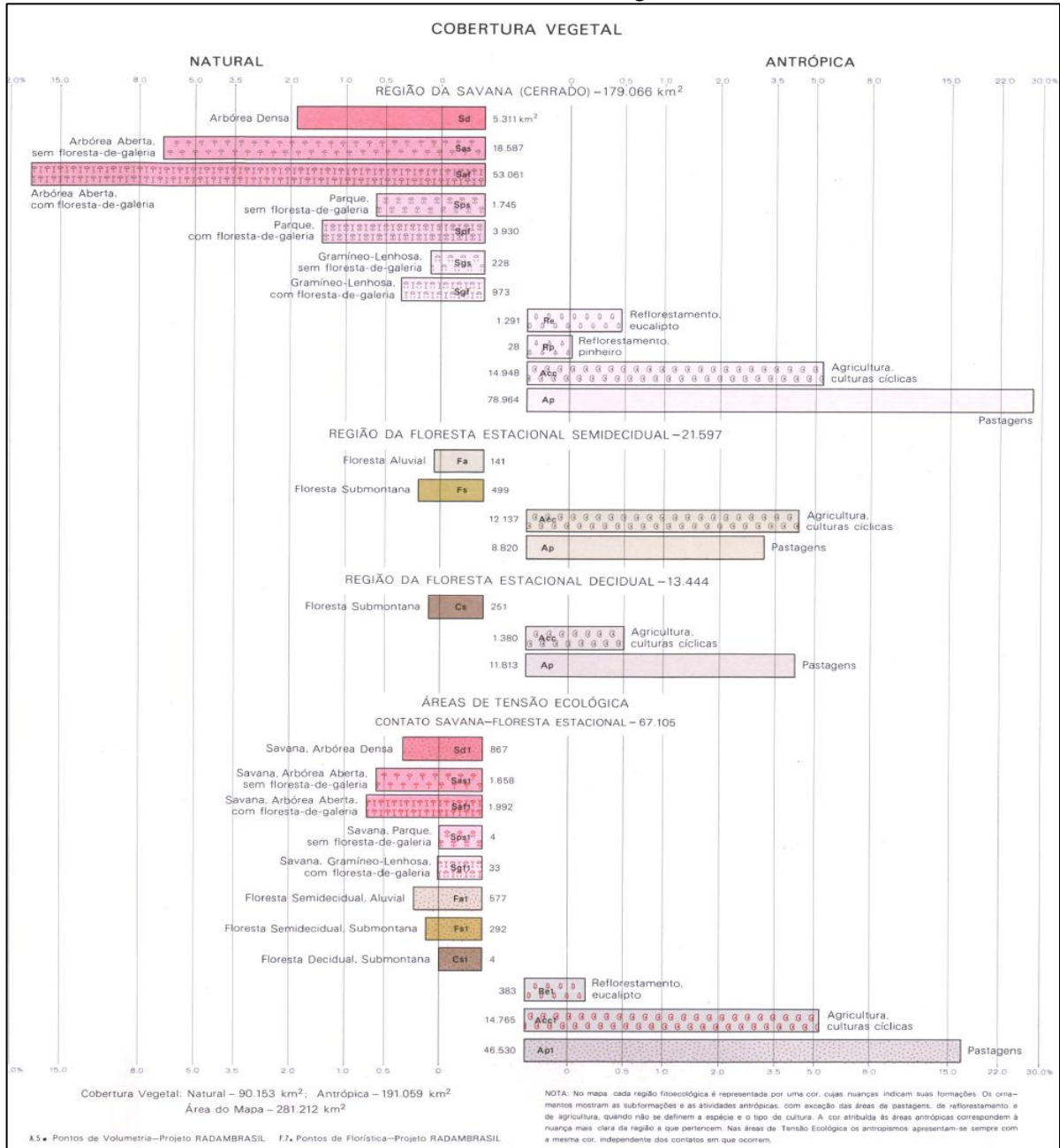
No Brasil, os primeiros esforços na realização de mapeamentos da vegetação e uso da terra a partir de dados provenientes de sensores remotos tem como referência o Projeto Radam e o Projeto RadamBrasil. Ambos iniciados na década de 1970, liderados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), tiveram como principal objetivo fazer o levantamento dos recursos naturais na Amazônia brasileira (Radam) e, posteriormente, de todo o território nacional (RadamBrasil), (BORGES e RAJÃO, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Os produtos associados aos mapeamentos de Geologia, Geomorfologia, Pedologia vegetação e uso potencial da terra, desenvolvidos no âmbito do Projeto RadamBrasil, podem ser acessados gratuitamente mediante acesso à biblioteca digital do IBGE, juntamente com o relatório que acompanha os mesmos, com o destaque aqui direcionado ao mapa de cobertura vegetal, responsável por representar as classes de cobertura vegetal natural e as antrópicas, conforme exemplificado pela Figura 8, para o contexto do município de Goiânia-GO.

Foi a partir destes projetos, Radam e RadamBrasil, que em 1982 criou-se o Sistema Fisionômico-Ecológico de Classificação da Vegetação Brasileira, abrindo possibilidades para que outras iniciativas passassem a ser desenvolvidas, acompanhando a disponibilização de novos dados e sistemas sensores de Sensoriamento Remoto.

Ainda no contexto brasileiro, o sistema de classificação de referência nacional foi apresentado em 1999 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no âmbito do “Manual técnico de uso da terra”, atualizado em 2006 e posteriormente em 2013 (MONTEIRO, 2008, IBGE, 2013). Conforme exposto por Nascimento *et al.*, (2017, p. 330), foi utilizada uma “hierarquia de três níveis, sugerindo o nível I para as principais classes de cobertura em nível global, o nível II a ser implementado em escala regional (1:250.000) e o nível III, que exige a incorporação de dados auxiliares para chegar à escala local (1:100.000)” – Quadro 5.

Figura 8 – Recorte da Folha SE 22 (Goiânia) do Projeto RadamBrasil, detalhando a legenda das classes de Cobertura Vegetal



Fonte: IBGE, (2003).

Quadro 5 – Níveis I, II e III do Sistema de Classificação do IBGE (2013)

Nível I (classe)	Nível II (subclasse)	Nível III (unidades)
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 Áreas Urbanizadas	1.1.1 Vilas
		1.1.2 Cidades
		1.1.3 Complexos industriais
		1.1.4 Áreas urbano-industriais
		1.1.5 Outras áreas urbanizadas
	1.2 Áreas de Mineração	1.2.1 Minerais metálicos
		1.2.2 Minerais não metálicos

2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1 Culturas Temporárias	2.1.1 Graníferas e cerealíferas
		2.1.2 Bulbos, raízes e tubérculos
		2.1.3 Hortícolas e floríferas
		2.1.4 Espécies temporárias produtoras de fibras
		2.1.5 Oleaginosas temporárias
		2.1.6 Frutíferas temporárias
		2.1.7 Cana-de-açúcar
		2.1.8 Fumo
		2.1.9 Cultivos temporários diversificados
		2.1.10 Outros cultivos temporários (abóbora, trevo forrageiro etc.)
	2.2 Culturas Permanentes	2.2.1 Frutíferas permanentes
		2.2.2 Frutos secos permanentes
		2.2.3 Espécies permanentes produtoras de fibras
		2.2.4 Oleaginosas permanentes
		2.2.5 Cultivos permanentes diversificados
		2.2.6 Outros cultivos permanentes
	2.3 Pastagens	2.3.1 Pecuária de animais de grande porte
		2.3.2 Pecuária de animais de médio porte
		2.3.3 Pecuária de animais de pequeno porte
	2.4 Silvicultura	2.4.1 Reflorestamento
2.4.2 Cultivo agroflorestal		
2.5 Uso não Identificado	2.5.1 Uso não identificado	
3. Áreas de Vegetação Natural	3.1 Área Florestal	3.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em área florestal
		3.1.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área florestal
		3.1.3 Terra indígena em área florestal
		3.1.4 Outras áreas protegidas em área florestal
		3.1.5 Área militar em área florestal
		3.1.6 Extrativismo vegetal em área florestal
		3.1.7 Extrativismo animal em área florestal
		3.1.8 Uso não identificado em área florestal
	3.2 Área Campestre	3.2.1 Unidades de conservação de proteção integral em área campestre
		3.2.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área campestre
		3.2.3 Terra indígena em área campestre
		3.2.4 Outras áreas protegidas em área campestre
		3.2.5 Área militar em área campestre
		3.2.6 Extrativismo vegetal em área campestre
		3.2.7 Extrativismo animal em área campestre
		3.2.8 Uso não identificado em área campestre
		3.2.9 Pecuária de animais de grande porte em área campestre
		3.2.10 Pecuária de animais de médio porte em área campestre

		3.2.11 Pecuária de animais de pequeno porte em área campestre
4. Água	4.1 Águas Continentais	4.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em corpo d'água continental
		4.1.2 Unidades de conservação de uso sustentável em corpo d'água continental
		4.1.3 Terra indígena em corpo d'água continental
		4.1.4 Áreas militares em corpo d'água continental
		4.1.5 Outras áreas protegidas em corpo d'água continental
		4.1.6 Captação para abastecimento em corpo d'água continental
		4.1.7 Receptor de efluentes em corpo d'água continental
		4.1.8 Geração de energia em corpo d'água continental
		4.1.9 Transporte em corpo d'água continental
		4.1.10 Lazer e desporto em corpo d'água continental
		4.1.11 Pesca extrativa artesanal em corpo d'água continental
		4.1.12 Aquicultura em corpo d'água continental
		4.1.13 Uso não identificado em corpo d'água continental
		4.1.14 Uso diversificado em corpo d'água continental
	4.2 Águas Costeiras	4.2.1 Unidades de conservação de proteção integral em corpo d'água costeiro
		4.2.2 Unidades de conservação de uso sustentável em corpo d'água costeiro
		4.2.3 Terra indígena em corpo d'água costeiro
		4.2.4 Áreas militares em corpo d'água costeiro
		4.2.5 Outras áreas protegidas em corpo d'água costeiro
		4.2.6 Captação para abastecimento em corpo d'água costeiro
		4.2.7 Receptor de efluentes em corpo d'água costeiro
		4.2.8 Geração de energia em corpo d'água costeiro
		4.2.9 Transporte em corpo d'água costeiro
		4.2.10 Lazer e desporto em corpo d'água costeiro
		4.2.11 Pesca extrativa artesanal em corpo d'água costeiro
4.2.12 Pesca extrativa industrial em corpo d'água costeiro		
4.2.13 Aquicultura em corpo d'água costeiro		
4.2.14 Uso não identificado em corpo d'água costeiro		
4.2.15 Uso diversificado em corpo d'água costeiro		
5. Outras Áreas	5.1 Áreas Descobertas	5.1.1 Unidade de conservação de proteção integral em área descoberta
		5.1.2 Unidade de conservação de uso sustentável em área descoberta
		5.1.3 Terra indígena em área descoberta
		5.1.4 Outras áreas protegidas em área descoberta
		5.1.5 Áreas militares em área descoberta

	5.1.6 Extrativismo animal em área descoberta
	5.1.7 Uso não identificado em área descoberta
	5.1.8 Uso diversificado em área descoberta
	5.1.9 Pecuária de animais de médio porte em área descoberta
	5.1.10 Pecuária de animais de pequeno porte em área descoberta

Fonte: IBGE, (2013).

Conforme apontado anteriormente, em linhas gerais, observa-se que no Brasil os mapeamentos de cobertura e uso da terra têm sido realizados em escala de reconhecimento e semidetalhe, levando em consideração diferentes recortes temporais e níveis hierárquicos de classificação/detalhamento da legenda, atendendo à diversos propósitos e aplicações.

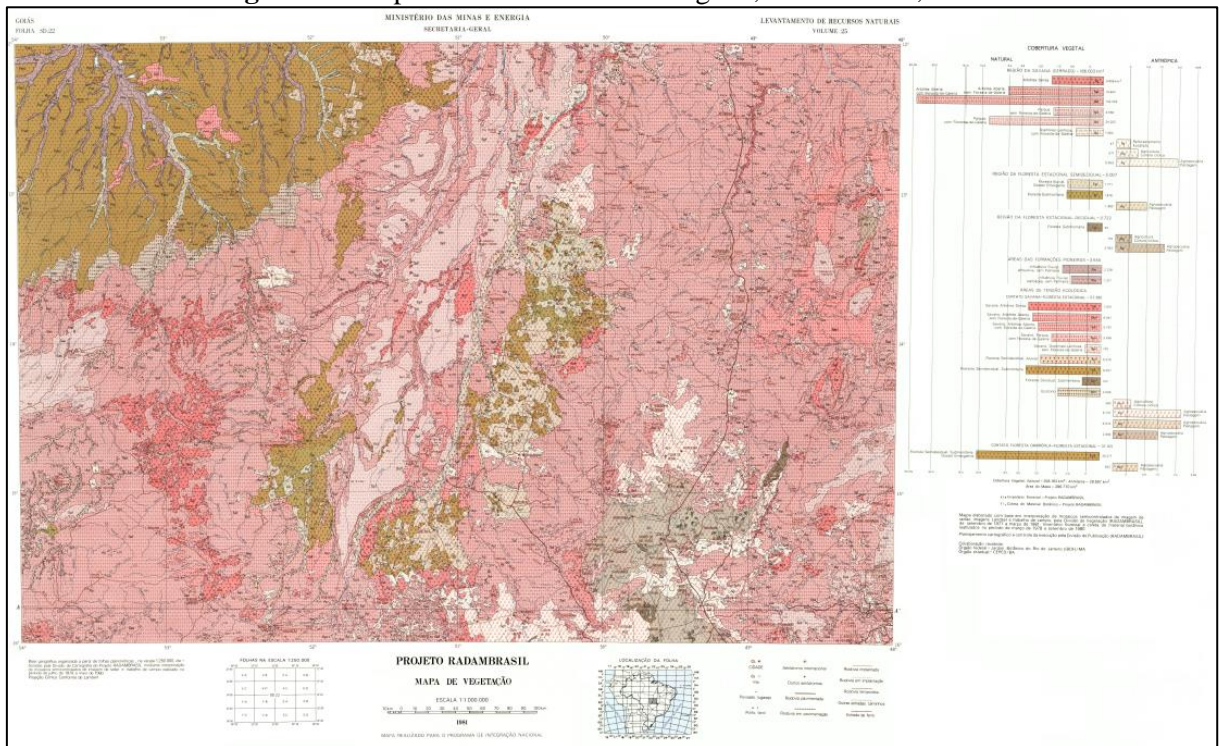
Nesse contexto, convém elencar novamente os mais consagrados projetos de mapeamento e monitoramento da cobertura e uso da terra para o território brasileiro, em área contígua: o Projeto RadamBrasil, lançado em 1975; o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), implementado em 2004; o programa de Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra, realizado pelo IBGE (edição 2000, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2018); o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), criado em 2015; e mais recentemente, em 2019, o *Brazil Data Cube*, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Como supracitado, o Projeto Radam (1970) e o Projeto RadamBrasil (1975) constituem as primeiras iniciativas de levantamentos de informações sobre os recursos naturais da Amazônia brasileira e de todo o território brasileiro, respectivamente. Nesse sentido, destaca-se que tais projetos tiveram como base dados (imagens) de Sensoriamento Remoto orbital de radar (SLAR – radar de visada lateral), com faixas de aproximadamente 37 Km de largura, na escala de 1:400.000; bem como imagens ópticas provenientes do sistema sensor MSS – *Multispectral Scanner System*, satélite *Landsat 2*, resolução espacial de 80 m.

No contexto do RadamBrasil, foram disponibilizados os primeiros relatórios e mapeamentos sobre a cobertura vegetal e o uso potencial da terra, tendo como base a escala de trabalho de 1:250.000, considerando o fato de que os mapas foram publicados atendendo à escala de 1:1.000.000 (IBGE, 2018). A partir da iniciativa do RadamBrasil, foi desenvolvido ainda o Sistema Fisionômico Ecológico da Classificação da Vegetação Brasileira (GÓES FILHO e VELOSO, 1982), também citado anteriormente, que posteriormente tornou-se a principal referência para a classificação da vegetação no âmbito nacional e para a elaboração

do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992). À título de exemplo, a Figura 9 retrata o mapeamento da vegetação para a folha SD.22, Goiás.

Figura 9 – Mapeamento da cobertura vegetal, Folha SD.22, Goiás



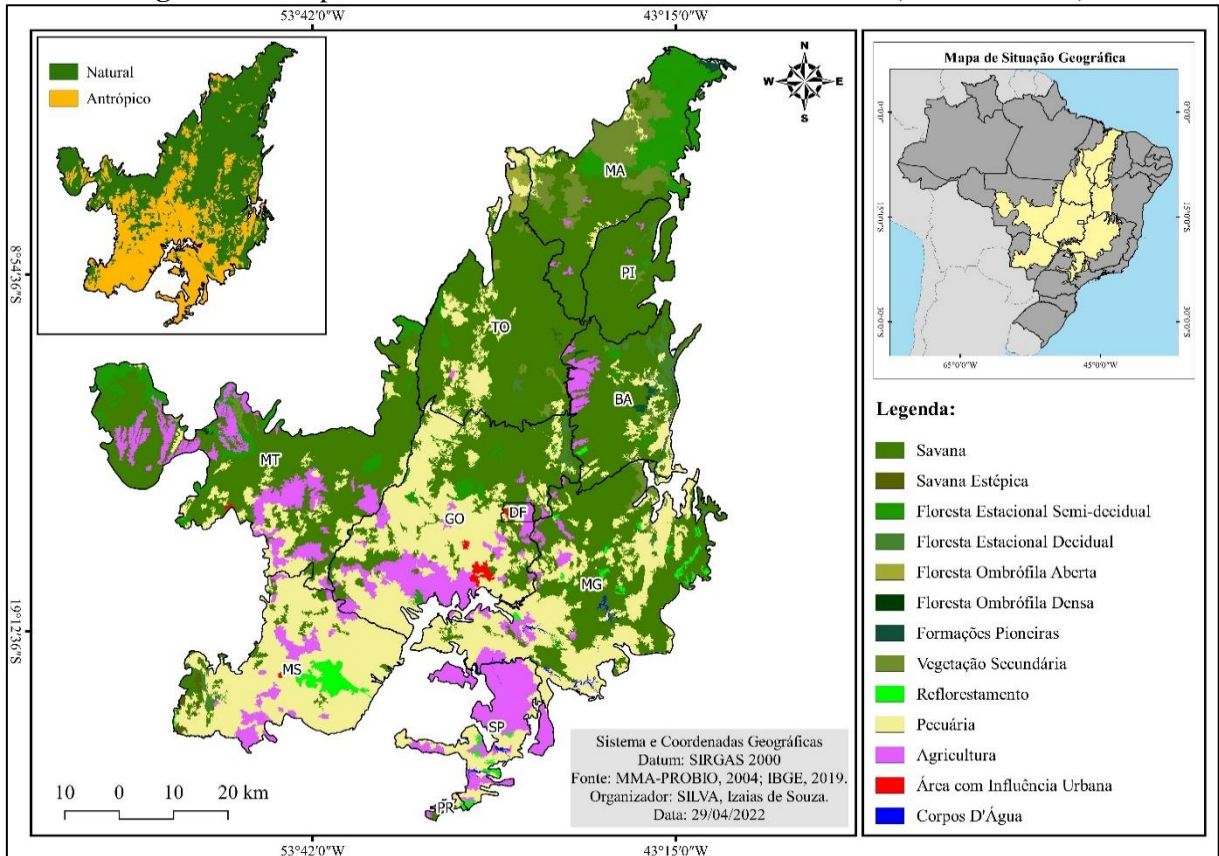
Fonte: IBGE, (1983).

Com o encerramento do RadamBrasil em 1985, outras iniciativas foram implementadas, inspiradas principalmente em Tradin *et al.* (1977) e Tradim *et al.* (1979), que demonstraram a importância dos dados orbitais dos programas *Landsat* na análise e monitoramento ambiental, tratando especificamente do desmatamento na Amazônia Legal brasileira. Por exemplo, no ano de 1988, no âmbito do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi criado o Programa de Cálculo de Desflorestamento da Amazônia (PRODES), tendo como base os dados provenientes dos programas *Landsat* e CBERS (INPE, 2019); posteriormente, implementado também no contexto do bioma Cerrado (INPE, 2022).

Em 2004, foi implementada outra importante iniciativa no âmbito nacional, o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) que, utilizando imagens provenientes do sistema sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), a bordo do satélite *Landsat 7*, com resolução espacial de 30 m; disponibilizou o mapeamento da cobertura e uso da terra para todos os seis biomas brasileiros, em escala de 1:250.000, tendo como referência para o recorte

temporal, o ano de 2004 (PROBIO, 2004). A Figura 10, retrata o referido mapeamento com o recorte espacial para o bioma Cerrado.

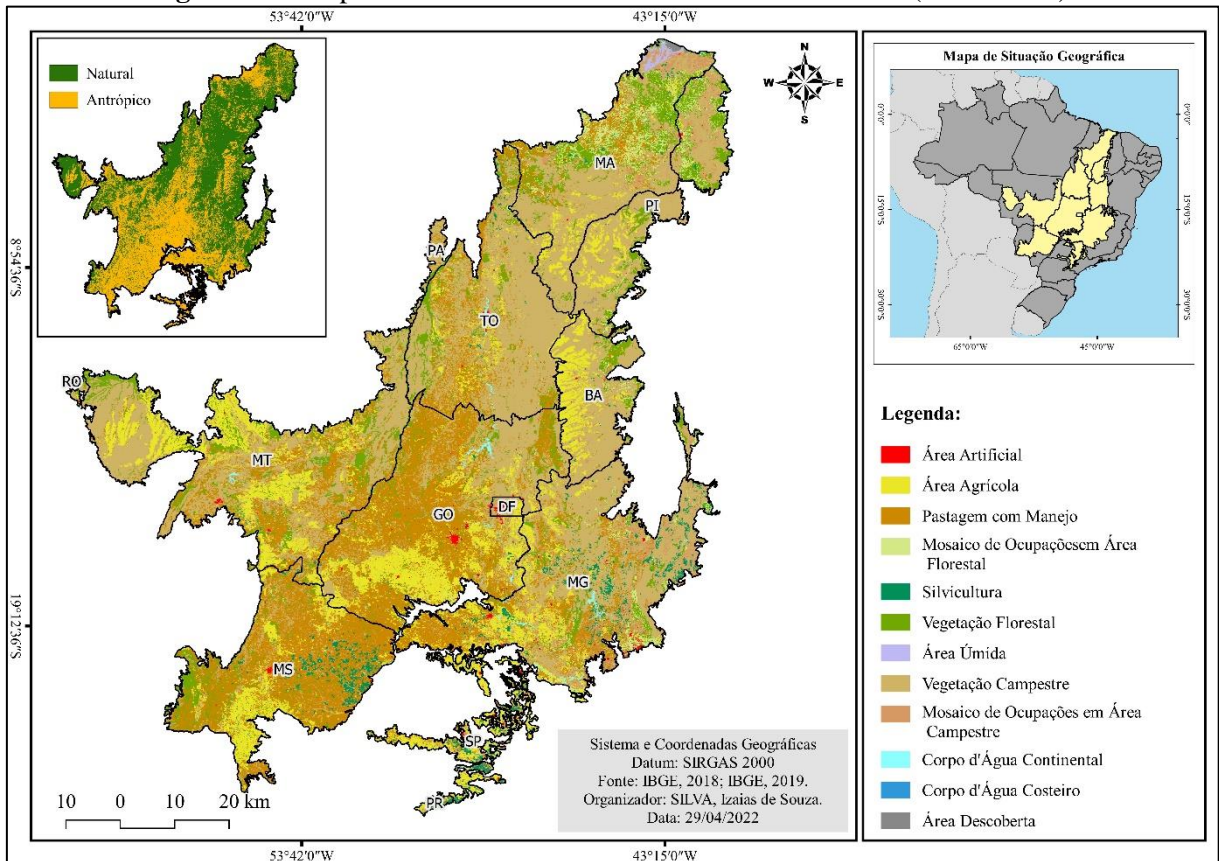
Figura 10 – Mapa da cobertura e uso da terra do bioma Cerrado (PROBIO-2004)



Fonte: MMA, (2002). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Nessa mesma perspectiva, que diz respeito às diferentes iniciativas de mapeamento da cobertura e uso da terra para o contexto do território brasileiro e seus respectivos biomas, a partir de dados (imagens) orbitais, convém elencar também outros três importantes projetos de mapeamento e monitoramento da cobertura e uso da terra. O primeiro, implementado especificamente pelo IBGE, contempla diferentes recortes temporais (2000, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2018) e se caracteriza pela classificação de imagens provenientes tanto do sistema sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), como também do sistema sensor *Operational Land Imager* (OLI), a bordo dos satélites *Landsat 7* e *Landsat 8*, respectivamente; com resolução espacial de 30 m, contemplando a escala de 1:250.000. A Figura 11 exemplifica o mapeamento em questão, considerando o recorte espacial do bioma Cerrado.

Figura 11 – Mapa da cobertura e uso da terra do bioma Cerrado (IBGE-2018)



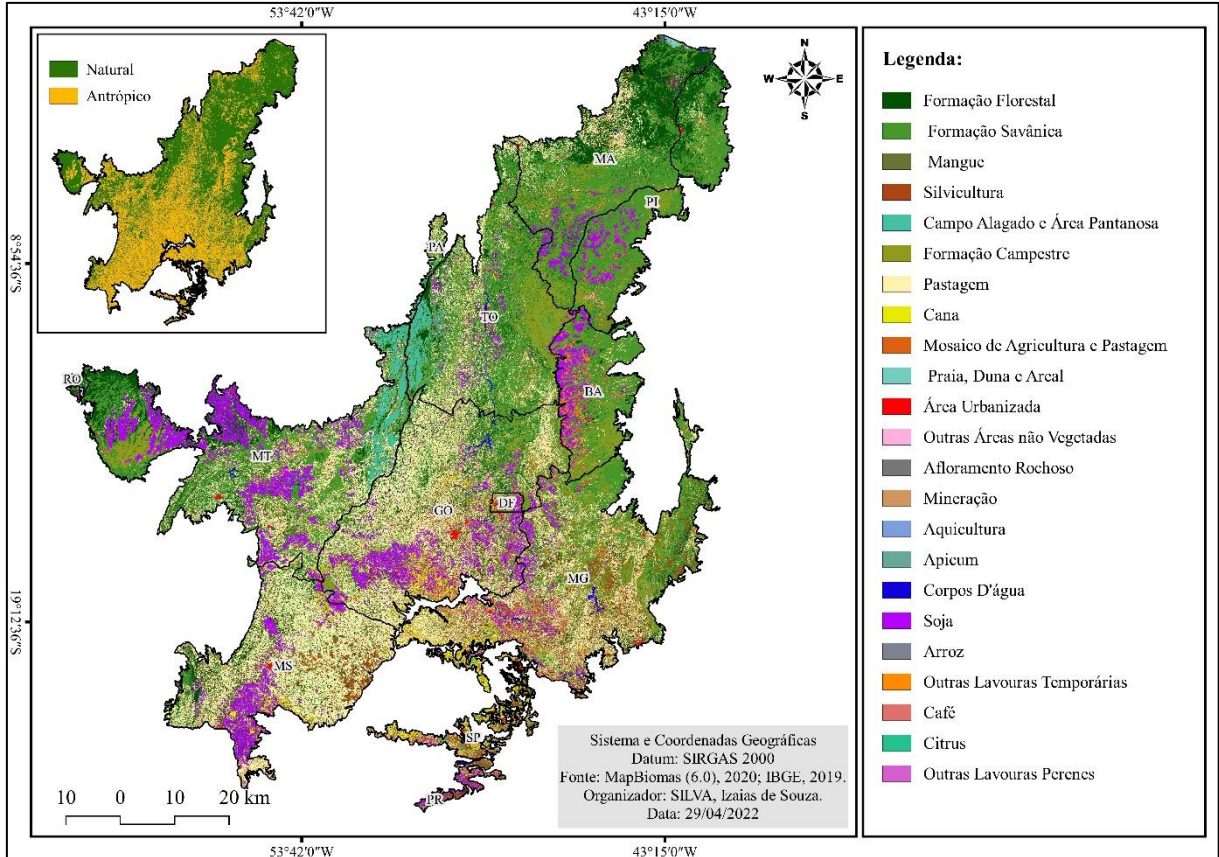
Fonte: IBGE, (2018). Org.: SILVA, Izaías de Souza (2022).

O segundo projeto, denominado de Projeto Brasileiro de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo (MapBiomias), se apresenta como sendo uma das principais iniciativas de mapeamento anual da cobertura e uso da terra de todos os biomas brasileiros, contemplando, atualmente, o período de 1985 a 2020. Os respectivos mapeamentos anuais realizados pelo MapBiomias são concebidos a partir da classificação digital das imagens provenientes dos sistemas sensores *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e *Operational Land Imager* (OLI), a bordo dos satélites *Landsat 5*, *7* e *8*, respectivamente, com resolução espacial de 30 m, possibilitando aplicações em escalas de até 1:100.000. A Figura 12 mostra o mapeamento implementado pelo MapBiomias, com o recorte espacial para o bioma Cerrado, ano de 2020.

Por sua vez, o terceiro projeto, desenvolvido pelo INPE, diz respeito ao *Brazil Data Cube*. A partir do emprego de dados satelitários provenientes de diferentes sistemas sensores, com destaque para aqueles acoplados aos satélites CBERS 4/4A (64 m), Sentinel-2 (10, 20 e 60 m) e *Landsat 8* (30 m), o *Brazil Data Cube* contempla uma infraestrutura composta por *software* e serviços *web* afim de permitir a visualização, a aquisição e o processamento de

grandes volumes de dados (cubos de dados multidimensionais), com cobertura para todo o território nacional e aplicações em escalas de 1:320.000 a 1:50.000.

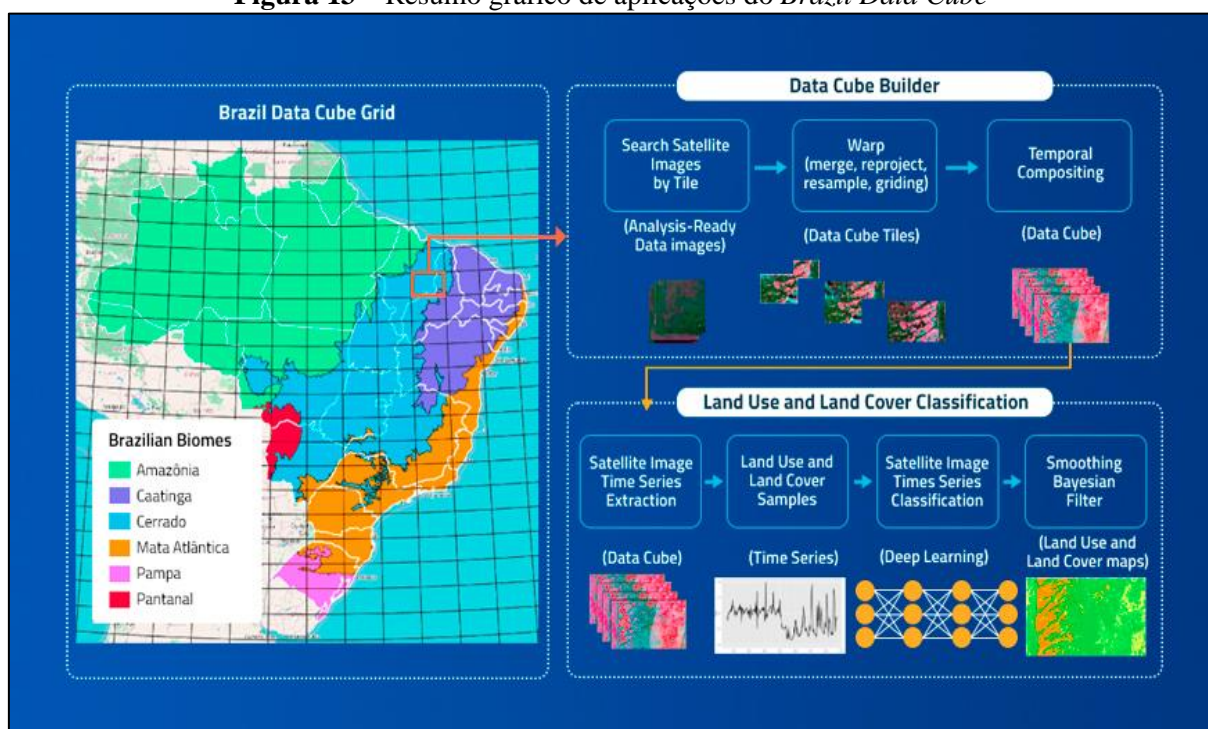
Figura 12 – Mapa da cobertura e uso da terra do bioma Cerrado (MapBiomias-2020)



Fonte: MapBiomias, (2020). Org.: SILVA, Izaias de Souza (2022).

Um aspecto significativamente promissor do *Brazil Data Cube* é que da forma como é proposto, com os dados de séries temporais dispostos em cubo multidimensionais, isto é, com os conjuntos de dados com *pixel* alinhados espacialmente, esses dados podem auxiliar não só análises temporais de imagens, como também dar suporte a análise de dados já processados. Além disso, podem ainda integrar metodologias de classificação digital a partir de métodos de *machine learning* e *deep learning*, e melhorar substancialmente os resultados de mapeamentos de cobertura e de mudança do uso da terra, conforme implementado por Ferreira, *et al.* (2020), metodologicamente sintetizado na Figura 13.

Figura 13 – Resumo gráfico de aplicações do *Brazil Data Cube*



Fonte: Ferreira, *et al.*, (2020).

Consoante a Oliveira *et al.* (2020), no contexto do bioma Cerrado, onde os entornos dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara estão total e parcialmente inseridos, respectivamente, a grande maioria das iniciativas de mapeamentos da cobertura e uso da terra indicadas pelos autores fizeram uso de dados orbitais de sensores ópticos de média resolução espacial, com destaque para os dados (imagens) provenientes dos sistemas sensores a bordo dos satélites *Landsat*, com 30 m de resolução espacial; e atendendo a escala de 1:250.000.

De acordo com Girolamo Neto *et al.* (2017), Girolamo Neto (2018) e Neves *et al.* (2020), a utilização de imagens de satélites de alta resolução espacial tem se destacado na bibliografia por apresentarem resultados detalhados quanto a discriminação das classes temáticas, ocasionando ganho de informações. Todavia, em sua grande maioria, os mapeamentos de cobertura e uso da terra baseados em imagens de satélites de alta resolução espacial, são voltados a contextos e escala locais, geralmente, considerando os limites municipais e de bacias pequenas e médias bacias hidrográficas, valendo-se principalmente dos dados multiespectrais da missão Sentinel-2 (MSI), com resolução espacial de 10 m, permitindo aplicações na escala de 1:25.000; e sobretudo por compreenderem dados (imagens) disponibilizadas de forma gratuita.

Mais recentemente, com os avanços no campo da programação e, especialmente, os estudos associados à aprendizagem de máquina (*Maching Learning*) e o processamento de

dados em nuvens (*Cloud Computing*), ampliaram-se as possibilidades no âmbito do PDI. Nesse sentido, plataformas como a do *Google Earth Engine (GEE)* tornaram-se um dos ambientes mais utilizados por usuários de produtos de Sensoriamento Remoto e de técnicas de processamento digital de imagens de satélite (GORELICK *et al.*, 2017).

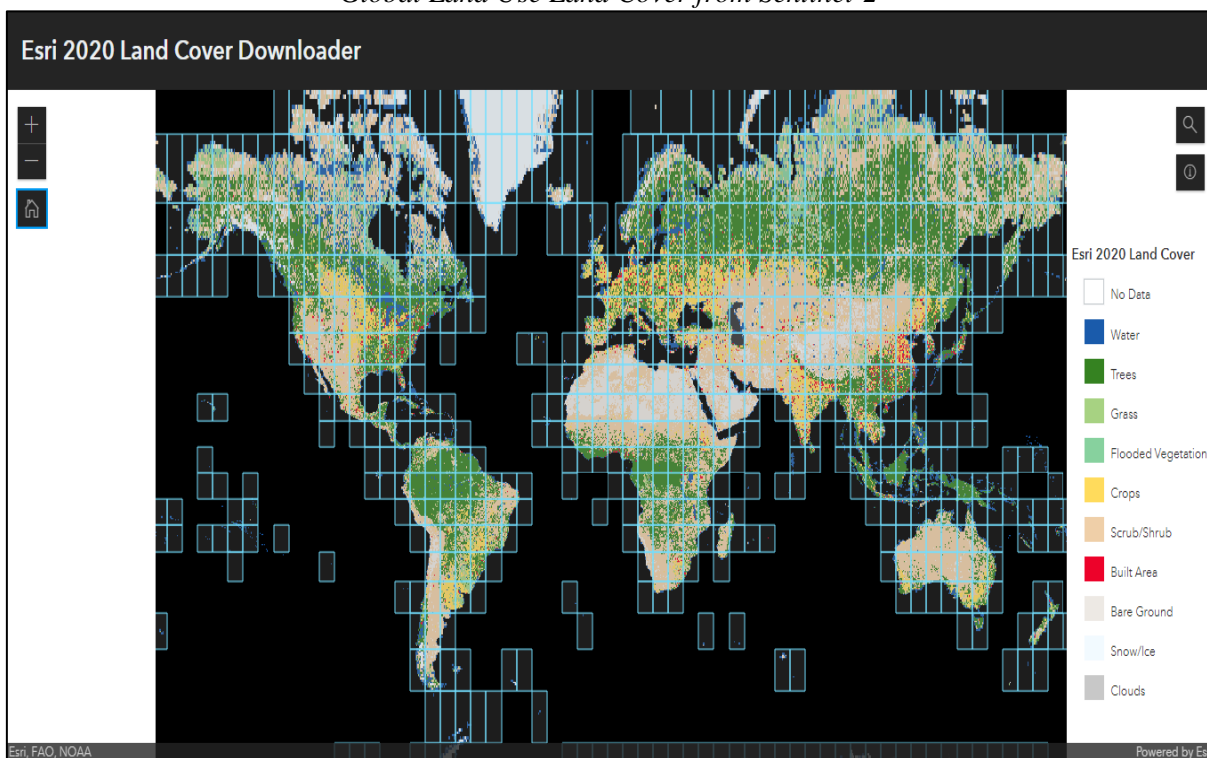
Além das possibilidades de processamento de grandes volumes de dados para áreas muito extensas, sem pressupor grandes investimentos em recursos computacionais de alto desempenho, há pelo menos outros dois pontos de grande relevância da plataforma *Google Earth Engine*: a disponibilidade de algoritmos computacionais, citando o exemplo do algoritmo classificador *Random Forest*, amplamente utilizado pela comunidade científica; e a possibilidade de integração de índices espectrais à classificação digital de imagens de satélites, o que por vezes, resulta em ganhos significativos na classificação (MAGIDI *et al.*, 2021; PARENTE *et al.*, 2018).

Frente a esse contexto, qual seja o de processamento de grandes volumes de dados em nuvem, é relevante destacar duas importantes e recentes iniciativas de mapeamento da cobertura e uso da terra em escala global, fundamentada no processamento de imagens de satélite de alta resolução espacial e algoritmos *machine learning*, sendo eles o projeto “*ESRI 2020 Global Land Use Land Cover from Sentinel-2*” e o projeto “*ESA World Cover*”.

O primeiro projeto, liderado pelo *Impact Observatory for ESRI*, em parceria com diversas instituições internacionais, entre elas a *Google* e o *World Resources Institute*, apresentou em julho de 2021 o mapeamento da cobertura e uso da terra em escala global, oriundo do processamento e classificação digital das imagens de alta resolução do proveniente dos sistemas sensores a bordo do satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 m (KARRA, 2021). A Figura 14 demonstra a interface gráfica da plataforma em que os dados dessa iniciativa estão disponíveis para visualização e *download*.

O projeto *ESA World Cover*, liderado pela *European Space Agency (ESA)*, também em parceria com diversas instituições internacionais, divulgou em outubro de 2021 os resultados do mapeamento da cobertura e uso da terra, também em escala global, a partir da combinação de imagens de alta resolução espacial proveniente de diferentes sistemas sensores (SAR e MSI) a bordo do satélite Sentinel, missão 1 e 2, resolução espacial de 10 m, com aplicações em escala de até 1:25.000 (ESA, 2021).

Figura 14 – Interface de visualização e *download* dos dados provenientes do projeto *ESRI 2020 Global Land Use Land Cover from Sentinel-2*



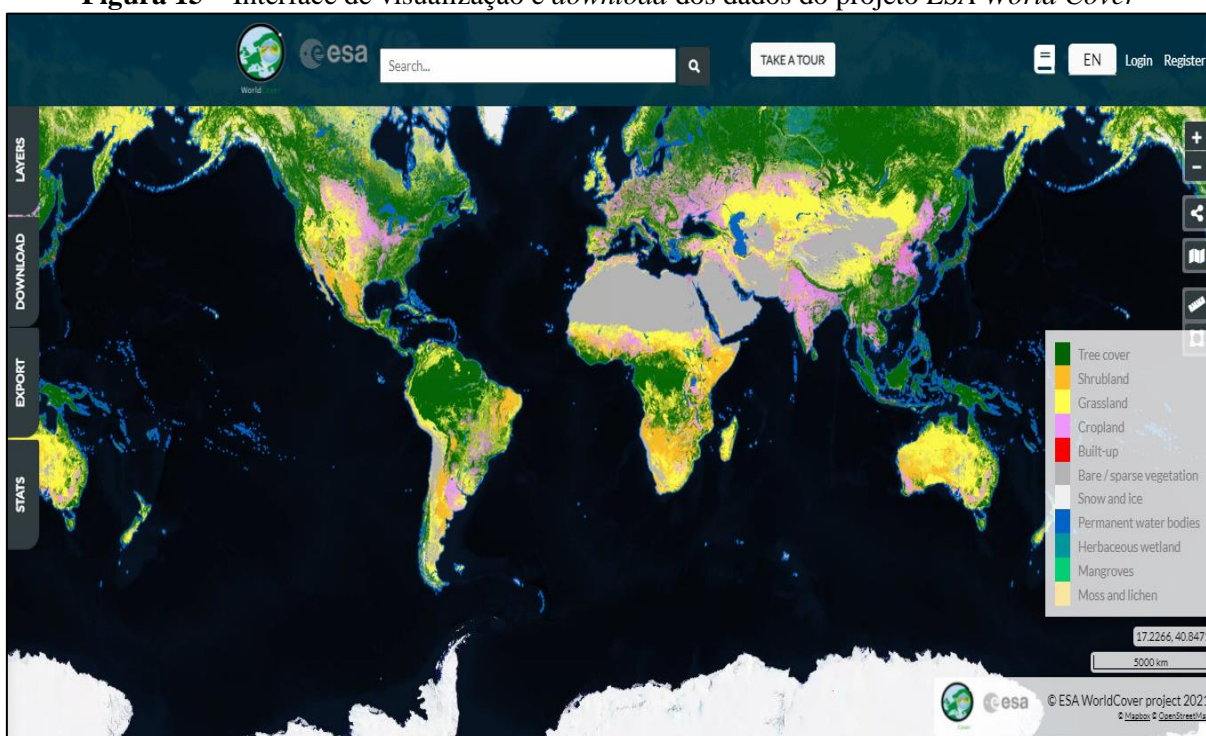
Fonte: *ESRI* (2021). *SILVA*, Izaias de Souza (2022).

Apesar de ambos os projetos supracitados apresentarem semelhanças metodológicas, nota-se que as principais diferenças dizem respeito ao detalhamento da legenda e aos produtos empregados. Nesse sentido, enquanto o *ESRI 2020 Global Land Use Land Cover from Sentinel-2* se baseia especificamente nos dados provenientes do Sentinel 2, o *ESA World Cover* integra dados de radar SAR, um sensor de abertura sintética, da missão Sentinel 1.

Nota-se ainda que, enquanto o projeto *ESRI 2020 Global Land Use Land Cover from Sentinel-2* apresenta uma legenda mais genérica em termos de detalhamento das classes mapeadas, e acurácia global de 0,6; o projeto *ESA World Cover* se destaca com uma legenda de maior detalhe em relação às classes mapeadas, e acurácia global mínima de 0,5, demonstrando assim que os produtos apresentados por ambas as iniciativas se apresentam como sendo complementares. A Figura 15 representa a interface gráfica da plataforma digital onde os dados do projeto *ESA World Cover* estão disponíveis para acesso e *download* por parte dos usuários.

Dessa forma, tais iniciativas se apresentam como sendo as mais atuais quanto a realização dos mapeamentos detalhados da cobertura e uso da terra em escala global, a partir do processamento de imagens de satélite de alta resolução espacial e algoritmos de *Machine Learning*.

Figura 15 – Interface de visualização e *download* dos dados do projeto *ESA World Cover*



Fonte: ESA (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza (2022).

O método do Detalhamento Progressivo

O método do detalhamento progressivo foi sugerido inicialmente por Cerri, Silva e Augusto Filho (1996), para a elaboração de cartas de risco geológico, um produto específico da cartografia geotécnica, que corresponde a um importante insumo ao planejamento e ordenamento do uso e ocupação do solo.

De maneira geral, o método do detalhamento progressivo consiste na condução de três etapas sucessivas de mapeamento, de maneira que, em cada etapa, sejam determinados os temas técnicos, o nível de aprofundamento e as áreas a serem detalhadas na etapa subsequente, atendendo, necessariamente, uma escala maior.

Conforme apontado pelos autores anteriormente citados, as cartas de risco potencial, que retratam a suscetibilidade natural à ocorrência de fenômenos ou processos geológicos, podem ser elaboradas em escalas menores, especialmente voltadas ao planejamento da ocupação antrópica. Em complementação, as cartas de risco atual, que representam o cadastramento de riscos identificados em maior detalhe, podem contemplar a área em estudo na escala de 1:10.000, com a possibilidade de apoiar ações de planejamento. Por último, os autores frisam que “a partir dos resultados deste levantamento, pode ser elaborada uma carta de detalhe (na escala 1:2.000, ou maior), envolvendo somente as áreas identificadas como mais críticas” (CERRI; SILVA; AUGUSTO FILHO, 1996, p. 47).

O método do detalhamento progressivo em mapeamentos geológicos-geotécnicos sugerida por Cerri, Silva e Augusto Filho (1996), foi resgatada e empregada posteriormente por Zaine (2000), com adaptações e complementações. Pode-se afirmar que Zaine (2000) corresponde à principal referência deste método, geralmente citado e utilizado como embasamento teórico-metodológico nas propostas de mapeamento geológico-geotécnico desenvolvido em detalhamento progressivo, conforme visto em Silveira e Souza (2012), Diniz, Zaine e Rodrigues (2016) e Silveira e Reis (2021), possivelmente pelo fato de Zaine (2000) descrever a abordagem detalhadamente, com as três etapas sucessivas, conforme segue:

- ❖ **1ª etapa (geral)**, compreende o “mapeamento geológico-geotécnico regional na escala 1:50.000 ou 1:25.000, a partir da integração de dados de levantamentos realizados em diferentes escalas, com eventuais complementações.” (ZAINE, 2000, p. 10);
- ❖ **2ª etapa (intermediária)**, em escala 1:25.000 ou 1:10.000 e voltada a áreas selecionadas a partir da etapa anterior, para maior detalhamento da caracterização do meio físico e identificação dos eventuais problemas de natureza geológico-geotécnica;
- ❖ **3ª etapa (detalhe)**, na escala 1:5.000 ou maior, com a seleção de locais na etapa anterior para realização de estudos e mapeamentos específicos, com concentração de informações correlacionadas a tópicos específicos.

Todavia, convém destacar que a compreensão da classificação das escalas e denominação do que Zaine (2000) indica como escala geral, intermediária e de detalhe não equivale à classificação das escalas cartográficas que é estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1985), ao indicar que escalas de reconhecimento são aquelas menores que 1:250.000 (escala pequena), escalas de semidetalhe variam de 1:250.000 a 1:25.000 (escala média) e as escalas de detalhe são aquelas maiores que 1:25.000 (escala grande).

Ao aplicar o método de detalhamento progressivo no mapeamento geológico-geotécnico na área urbana do município de Rio Claro-SP, Zaine (2000) detalha os mapas gerados, o material cartográfico utilizado e os ensaios e quantificações complementares sugeridos em cada uma das três etapas, conforme indicado pela Figura 16.

Figura 16 – Fluxograma das etapas do método de detalhamento progressivo sugerido por Zaine (2000)

ETAPAS DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO	MAPAS GERADOS	MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO	ENSAIOS/ QUANTIFICAÇÃO
1ª ETAPA (GERAL)		Mapa topográfico 1: 10.000 Base 1: 25.000 Aerofotos 1: 25:000	
2ª ETAPA (SEMI-DETALHE)		Mapa topográfico 1: 10.000 Base 1: 10.000 Aerofotos 1: 5:000	Cálculos de declividades Sondagem elétrica vertical Dados de sub-superfície
3ª ETAPA (DETALHE)		Planta de detalhe (1:500) com a localização dos ensaios e futuras instalações	Ensaios geofísicos Granulometria Índices físicos Ensaio de adensamento Análises físico-químicas (solo e água) Análise mineralógica SPT - resistência à penetração

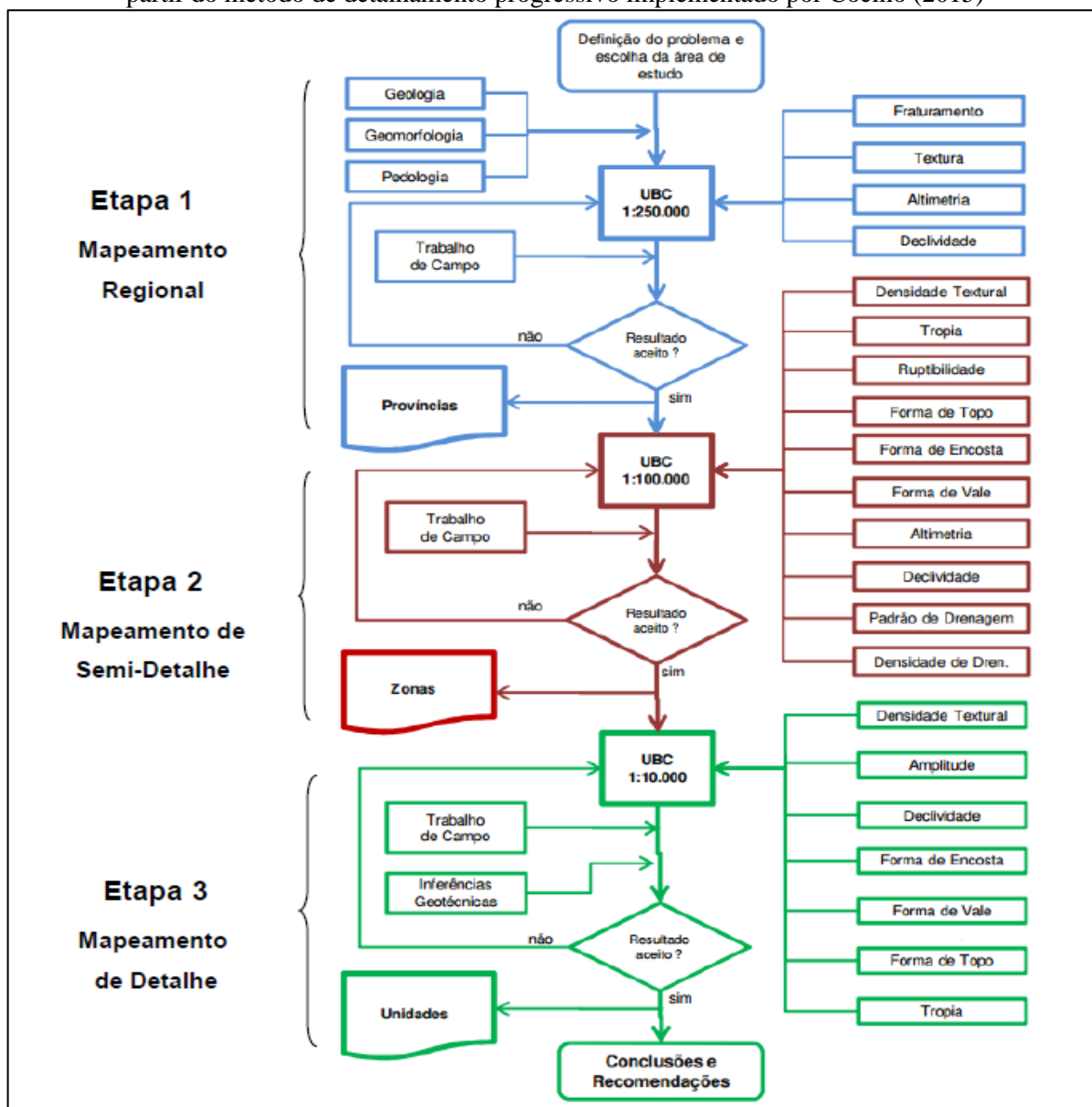
Fonte: Zaine (2000).

Mais recentemente, o método de detalhamento progressivo foi aplicado em mapeamentos geotécnicos específicos, conforme visto em Coelho (2015) e Silveira (2020), sendo que o primeiro empregou o método para o planejamento e gestão de obras rodoviárias e o segundo para a avaliação de risco geológico associado a solos colapsíveis em áreas urbanas.

Ao empregar o detalhamento progressivo no mapeamento geotécnico para obras rodoviárias, Coelho (2015) delimitou o que denominou como Unidades Básicas de

Compartimentação (UBS), a partir de mapeamento de províncias na escala 1:250.000 (Etapa 1 – mapeamento regional), de zonas na escala 1:100.000 (Etapa 2 – mapeamento de semi-detalle) e de unidades na escala 1: 10.000 (Etapa 3 – mapeamento de detalhe) – Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma da metodologia de mapeamento geotécnico aplicado obras rodoviárias a partir do método de detalhamento progressivo implementado por Coelho (2015)

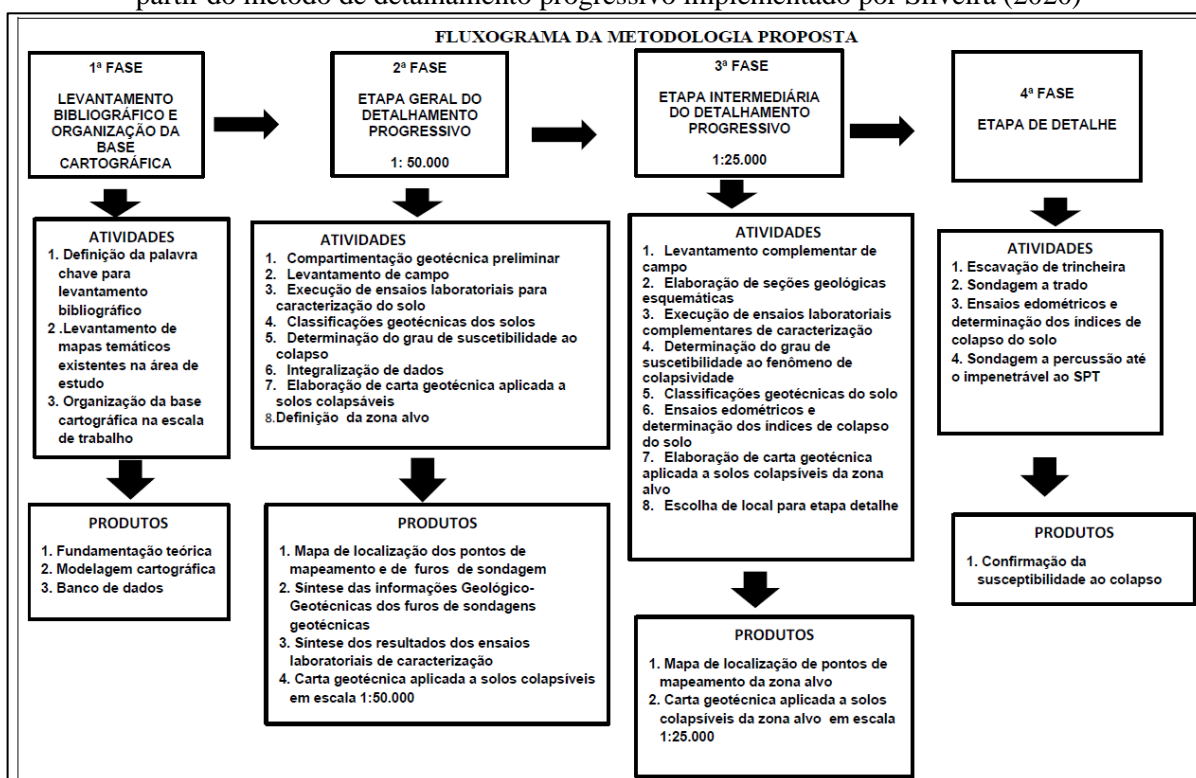


Fonte: Coelho (2015). Obs.: A sigla "UBC" representa "Unidades Básicas de Compartimentação".

Percebe-se na proposta de Coelho (2015) o não atendimento exato das escalas de mapeamento sugeridas por Zaine (2000) nas três etapas, o que não deve ser visto como algo negativo, mas sim como um aspecto que corrobora a possibilidade de adaptação e adequação metodológica conforme o aspecto analisado, a localidade considerada ou o objetivo almejado.

Este não cumprimento à risca das sugestões apresentadas em Zaine (2000) para o método de detalhamento progressivo também é constatado em Silveira (2020). Conforme vislumbrado no fluxograma da Figura 18, na adequação implementada por Silveira (2020), para o mapeamento geotécnico em detalhamento progressivo aplicado à suscetibilidade dos solos colapsíveis, em fato são empregadas apenas duas etapas de mapeamentos: a geral (escala 1:50.000) e outra intermediária (escala 1:25.000). A etapa considerada como de detalhe por Silveira (2020), não abarca um mapeamento, mas atividades de escavação, sondagens e ensaios realizados *in loco* para a confirmação da suscetibilidade ao colapso.

Figura 18 – Fluxograma da metodologia de mapeamento geotécnico aplicado a solos colapsíveis a partir do método de detalhamento progressivo implementado por Silveira (2020)



Fonte: Silveira (2020).

Ao verificar a eficácia da metodologia, mediante a implementação das três etapas sucessivas e complementares para o mapeamento geológico-geotécnico, Zaine (2000, p. 134) frisa que ela apresenta “boa compatibilidade entre o volume de dados, tipos de informações, tamanho da área e escala de trabalhos nas três etapas”, além de evitar “inferências e generalização de algumas informações quantificadas e de análises laboratoriais para uma escala geral”. Desta forma, o método do detalhamento progressivo mostra-se coerente e metodologicamente viável quanto à sua aplicação, quando se pretende gerar informações detalhadas.

Diniz, Zaine e Rodrigues (2016, p. 58) corroboram a pertinência do método do detalhamento progressivo, ao destacar a possibilidade de “maior compreensão de áreas mais críticas, além de otimizar os trabalhos e a alocação de recursos”. Nesse mesmo sentido, Coelho (2015) deixa claro que o método apresenta boa compatibilidade, em relação do detalhamento propiciado pelo aumento das escalas de representação e análise.

Dessa forma, a implementação do método de detalhamento progressivo se mostra como pertinente também ao mapeamento de cobertura e uso da terra no contexto da presente pesquisa, uma vez que, ao longo de três etapas que sucedem, almeja-se contemplar recortes espaciais de menor extensão, incrementar temas específicos e atender maiores escalas cartográficas com vistas a prover maior detalhamento das informações do mapeamento.

A proposta do detalhamento progressivo das informações referente à cobertura e uso da terra é especialmente oportuna e metodologicamente viável tendo em vista a existência de imagens de satélite gratuitas e com resoluções espaciais que possibilitam mapeamentos na escala de reconhecimento e em diferentes níveis de detalhe, como exemplo das imagens dos satélites Landsat (30 m), Sentinel 2 (10 m) e CBERS (2 m – banda pancromática).

MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção, inicialmente são situadas e descritas as duas áreas em estudo: as AID dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) Batalha e Itumbiara. Logo na sequência, são apresentados a sistemática e os procedimentos metodológicos empenhados para elaboração do mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo, sendo detalhadas as sucessivas etapas para o mapeamento em escala de reconhecimento, semidetalhe e detalhe.

Localização e caracterização socioeconômica e físico-ambiental das áreas em estudo

As áreas em estudo são representadas pelas Áreas de Influência Direta (AID) dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara, situadas, respectivamente, na porção leste e sudeste do estado de Goiás, na divisa com o estado de Minas Gerais, como se observa na Figura 19. Destaca-se que as referidas AIDs foram delimitadas a partir das bacias de contribuição de cada reservatório, desconsiderando as partes dessas bacias que estavam à montante de outros reservatórios, uma vez que estes são capazes de reterem a maior parte dos sedimentos finos e de conterem grande parte do fluxo superficial de água da chuva.

A AID do reservatório da UHE Batalha possui uma área de 5.156 km² e contempla três municípios, sendo eles Cristalina-GO, Paracatu-MG e Unaí-MG. Por sua vez, a AID do reservatório da UHE Itumbiara possui uma área de 7.296 km², compreendendo dezoito (18) municípios, sendo treze (13) municípios situados no estado de Goiás, e cinco (5) municípios situados no estado de Minas Gerais.

A UHE Batalha teve sua construção iniciada em meados do ano de 2008, passando a entrar em efetiva operação somente a partir do dia 17 de maio do ano de 2014, isto é, seis (6) anos depois, quando o seu reservatório, formado a partir do represamento do rio São Marcos (Figura 20-A), teve o seu enchimento finalizado (FURNAS, 2021).

Diferentemente da UHE Batalha, a UHE Itumbiara é significativamente mais antiga, tendo sido construída entre novembro de 1974 e início de 1980, com operação iniciada a partir do dia 24 de abril de 1980, portanto, há mais de 40 anos. Trata-se, assim, de uma Usina Hidrelétrica relativamente recente (Batalha) e outra antiga (Itumbiara). Localizado no rio Paranaíba, o reservatório da UHE Itumbiara tem importante contribuição dos rios Corumbá e São Marcos (Figura 20-B).

Figura 19 – Mapa de localização das áreas em estudo

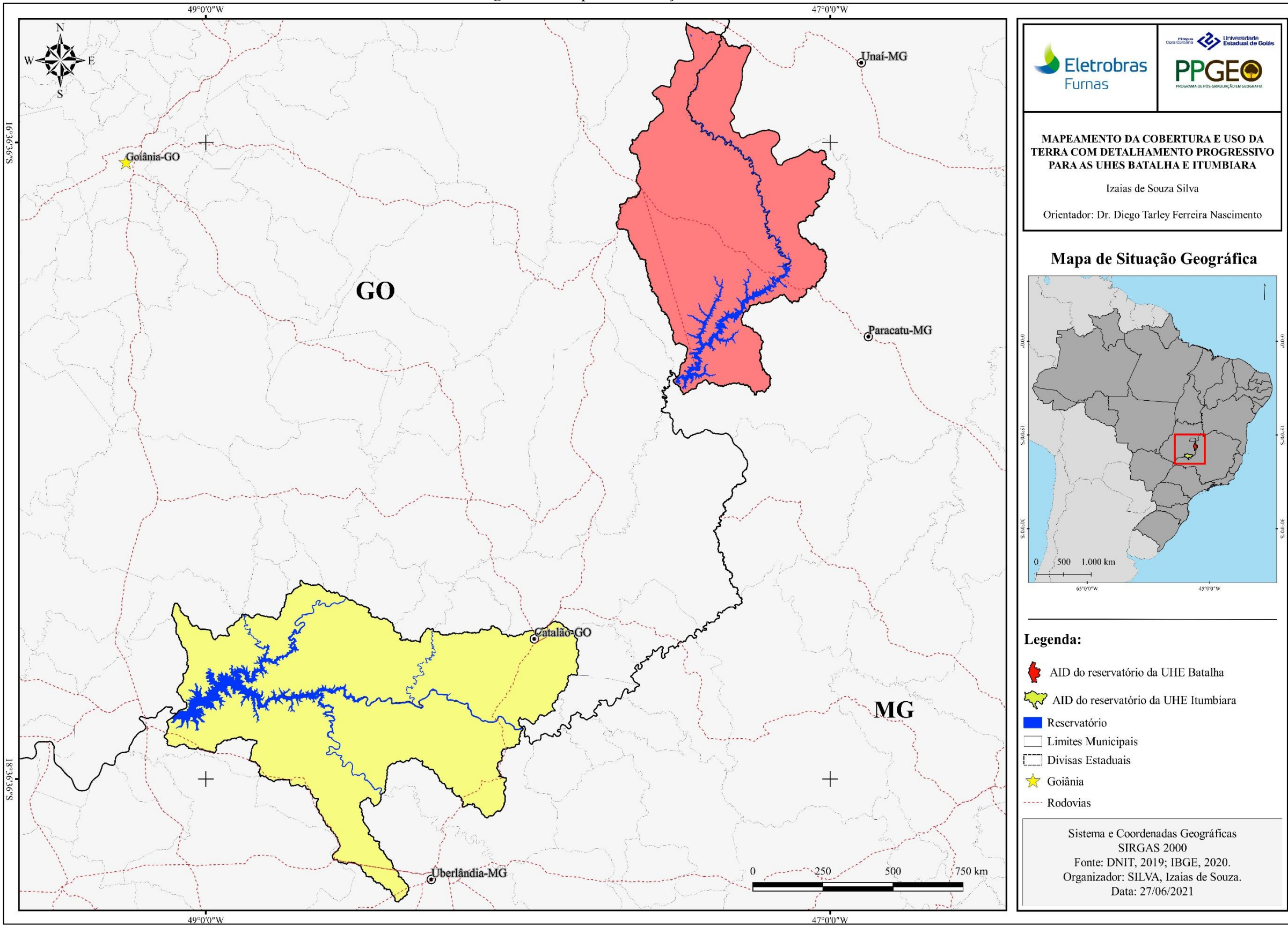


Figura 20 – Barragens das Usinas Hidrelétricas Batalha (A) e Itumbiara (B), no rio São Marcos e Paranaíba, respectivamente

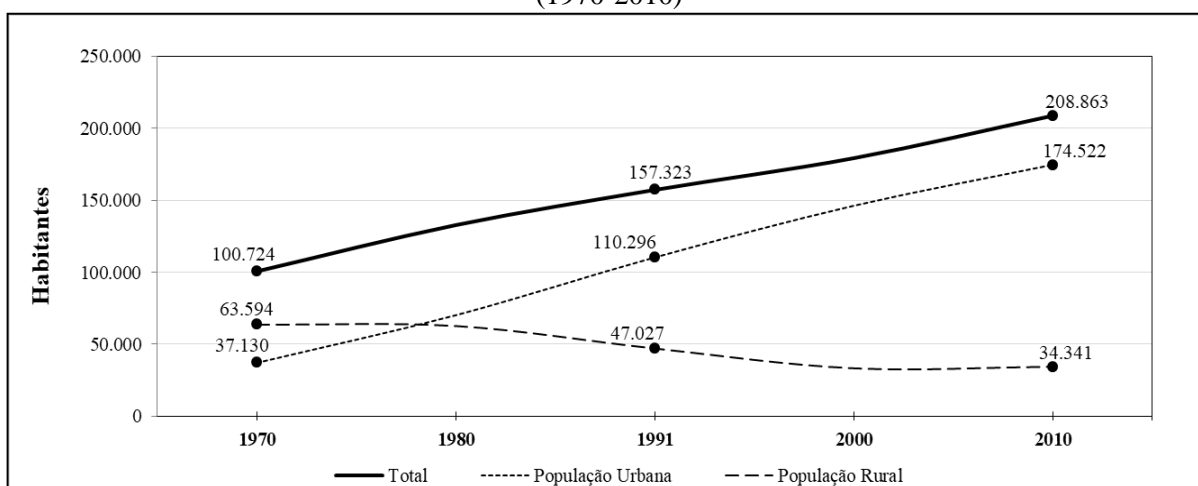


Fonte: José Lins e AC Júnior (créditos). Disponível em:
<https://www.furnas.com.br/subsecao/117/usina-de-batalha>;
<https://www.furnas.com.br/subsecao/121/usina-de-itumbiara>.

Conforme dados levantados do Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constata-se que a população dos municípios situados nas respectivas áreas de influência direta (AID) se encontrava em considerável crescimento entre as décadas de 1970 e 2010. Para o contexto AID do reservatório da UHE Batalha, observou-se com estes dados que a população dobrou, especificamente, um aumento de 100.724 para 208.863 habitantes; o que significa uma demanda crescente sobre os recursos naturais e a incorporação de novas áreas para ocupação e desenvolvimento de atividades humanas. De acordo com as estimativas do IBGE, atualmente (2021) a população estimada dos municípios situados na área de influência direta do reservatório da UHE Batalha é de 241.385 – o que indica um contínuo aumento demográfico.

Tendo em vista o Gráfico 1, que diz respeito à dinâmica da população total, urbana e rural dos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha entre 1970 e 2010, nota-se um acentuado incremento da população urbana (que quase quintuplica), e uma consequente diminuição da população rural (reduzida pela metade), com inversão do predomínio da população rural para urbana no final da década de 1970. De acordo com Lambi *et al.* (2001, 2003), esse comportamento não só pode ser identificado em muitos países tropicais a partir dos anos 2000, quando o processo de urbanização se intensificou; como também tem sido a causa dominante das mudanças na ocupação e uso das terras, especialmente no Brasil, onde o processo de modernização da agricultura contribuiu diretamente na apropriação dos recursos naturais, diminuição da população rural e consequente aumento da população urbana.

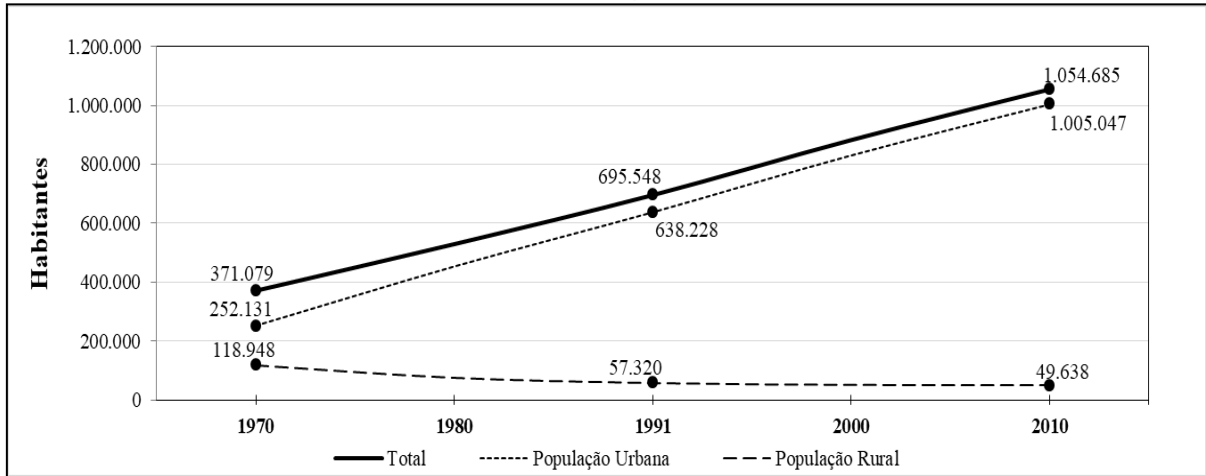
Gráfico 1 – População dos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha (1970-2010)



Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaías de Souza.

Assim como foi observado no contexto da AID do reservatório da UHE Batalha, entre as décadas de 1970 e 2010, a população dos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Itumbiara também registrou um aumento significativo, passando de 371.079 habitantes para 1.054.685 (Gráfico 2). Comparativamente, a população total estimada pelo IBGE referente ao ano de 2021, para os municípios situados na AID do reservatório da UHE Itumbiara, que corresponde a 1.239.085 habitantes; é bem superior àquela vista para o caso da AID Batalha, representando praticamente o quádruplo. Apesar das AID apresentarem extensão territorial relativamente semelhante, sendo 5.156 km² em Batalha e 7.296 km² referente à AID Itumbiara, esta última apresenta maior proporção de áreas urbanas, associadas às sedes municipais ou aos povoados e vilarejos, assegurando esse maior quantitativo.

Gráfico 2 – População dos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Itumbiara (1970-2010)

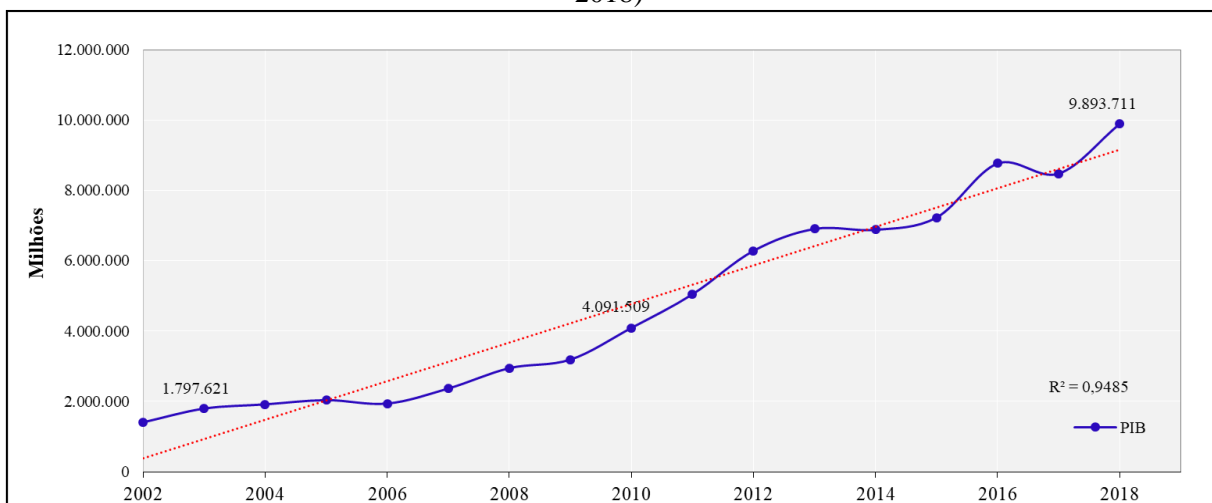


Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Outra diferença observada nos municípios da área de influência direta do reservatório da UHE Batalha em relação àqueles situados na AID do reservatório da UHE Itumbiara (Gráfico 2) é que, nesta última, desde a década de 1970, o predomínio é de população urbana em relação à rural, com esta última, apresentando sucessiva diminuição.

Nesse sentido, o Gráfico 3 mostra os valores e, principalmente, a tendência de aumento do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios situados na AID Batalha, partindo de R\$ 1.797.621, em 2003, e alcançando o montante de R\$ 9.893.711, em 2018 – o que denota um certo dinamismo econômico na área em apreço.

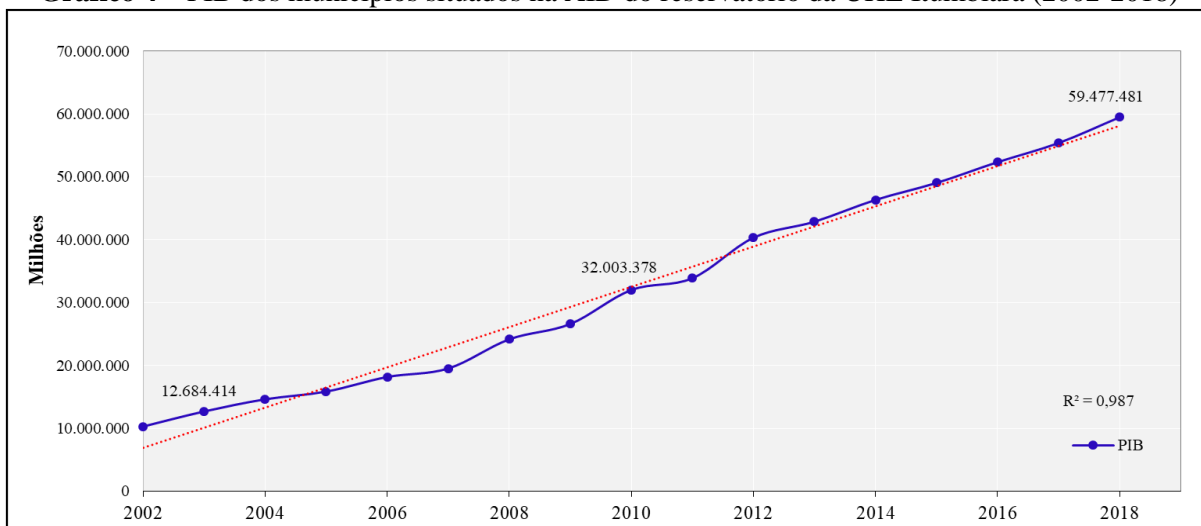
Gráfico 3 – PIB dos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha (2002-2018)



Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Certamente, como resposta da maior quantidade de municípios compreendidos pela AID do reservatório da UHE Itumbiara, o montante do Produto Interno Bruto (PIB), visto pelo Gráfico 4, é bastante superior se comparado a aquele observado para o contexto da AID Batalha. Todavia, em ambos casos, destaca-se que há uma tendência de elevação, haja vista o valor de R\$ 12.684.414 em 2003, que alcança o patamar de R\$ 59.477.481 em 2018.

Gráfico 4 – PIB dos municípios situados na AID do reservatório da UHE Itumbiara (2002-2018)



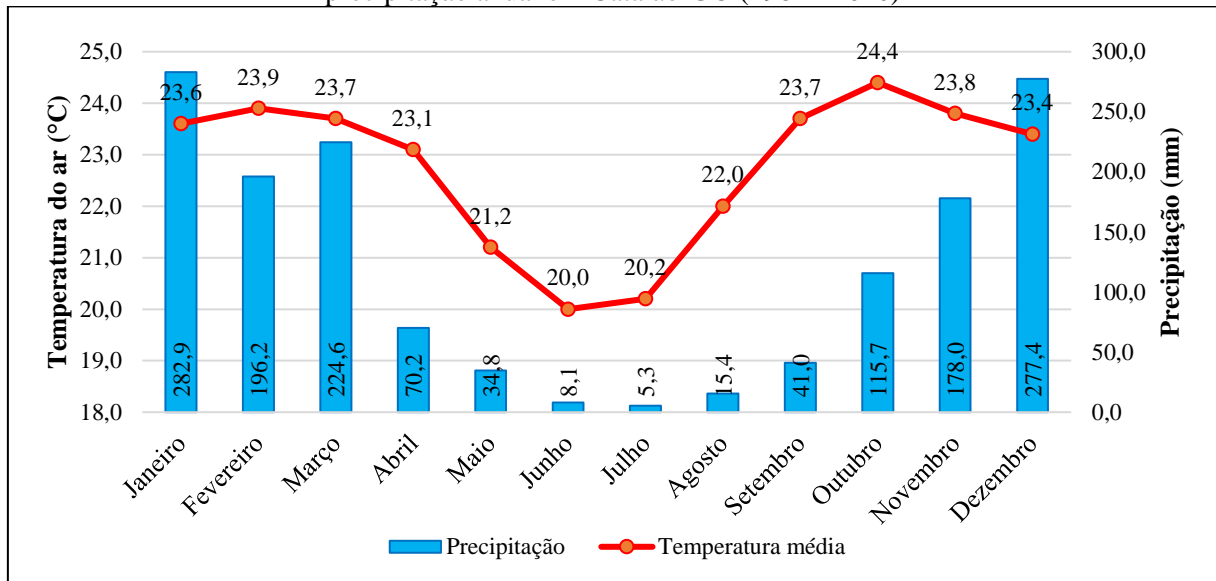
Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Considerando a classificação climática de Köppen-Geiger (1961), o clima predominante na região das duas áreas em apreço pertence à tipologia Aw, que retrata um clima tropical com chuvas de verão, concentradas principalmente entre os meses de outubro e março.

Considerando as normais climatológicas calculadas para o período de 1981 a 2010, referentes à estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada no município de Catalão-GO, especificamente, na porção nordeste da AID do reservatório da UHE Itumbiara, observa-se que os dados indicam temperatura média anual de 22,8° C e média de precipitação anual de 1.449,60 mm, com período de estiagem de cinco meses, entre maio e setembro (Figura 21).

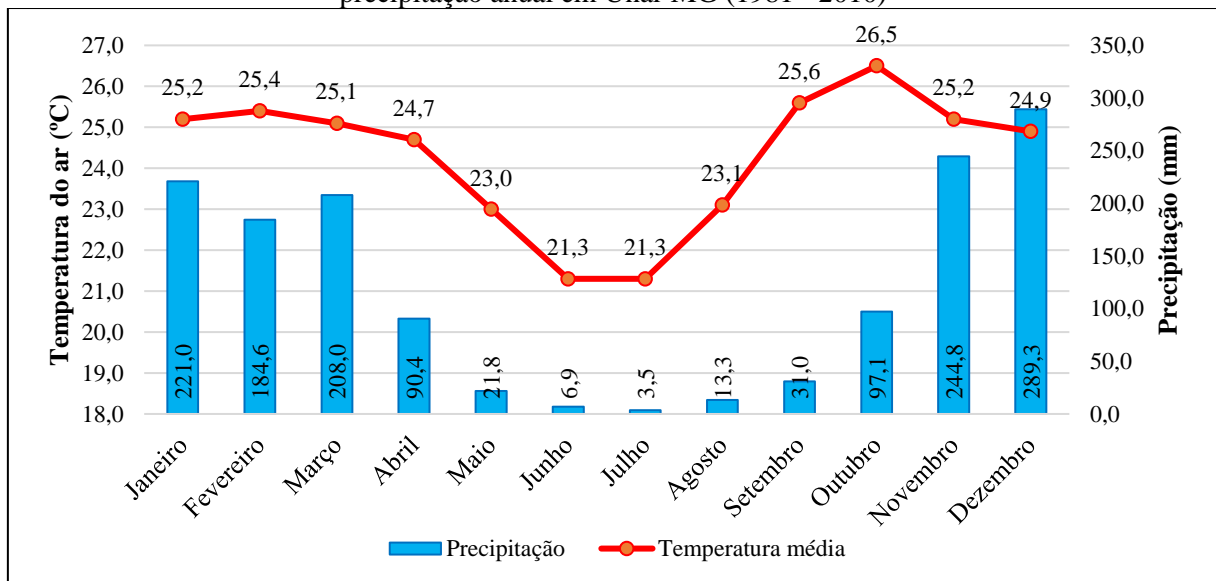
Tendo em vista também as normais climatológicas referentes à estação convencional do município de Uná-MG, que fica situada, especificamente, a noroeste da AID Batalha; os dados apontam para temperatura média anual de 24,3° C, e média de precipitação anual de 1.411,70 mm, com o mesmo período de estiagem que Catalão-GO (Figura 22). Assim, observa-se que em ambas estações, o mês mais quente do ano compreende o mês de outubro; sendo junho e julho os meses mais frios do ano no contexto de ambas as AID (Batalha e Itumbiara).

Figura 21 – Climograma das normais climatológicas de temperatura média anual e média de precipitação anual em Catalão-GO (1981 - 2010)



Fonte: INMET, (2022). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Figura 12 – Climograma das normais climatológicas de temperatura média anual e média de precipitação anual em Unai-MG (1981 - 2010)



Fonte: INMET, (2022). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Geomorfologicamente, as áreas em estudo estão situadas sobre planaltos formados a partir de cinturões orogênicos da Faixa Brasília, marcados pela ocorrência de relevos ondulados, com ocorrência de solos bem desenvolvidos. Nesse sentido, enquanto a região que abrange a UHE Batalha retrata domínio de fitofisionomias campestres e savânicas, típicas da vegetação do bioma Cerrado, na região que abrange a UHE Itumbiara percebe-se a presença de Formações Florestais relacionadas ao bioma da Mata Atlântica.

A AID do reservatório da UHE Batalha apresenta altitude média de 905 m (Figura 23), com amplitude altimétrica de 482 m, tendo em vista as menores cotas partindo de 771 m, próximo à planície do rio São Marcos e ao próprio reservatório, onde podem suceder inundações sazonais pelo aumento de seu nível, em decorrência de eventos pluviométricos mais intensos (MATAMOROS SEVILLA, 2016); e as maiores cotas alcançando os 1.253 m, na porção oeste da AID do reservatório, condizentes com o domo de Cristalina, onde se situam as nascentes de importantes afluentes do rio São Marcos, como aquelas associadas ao ribeirão Arrojado e ribeirão Embira.

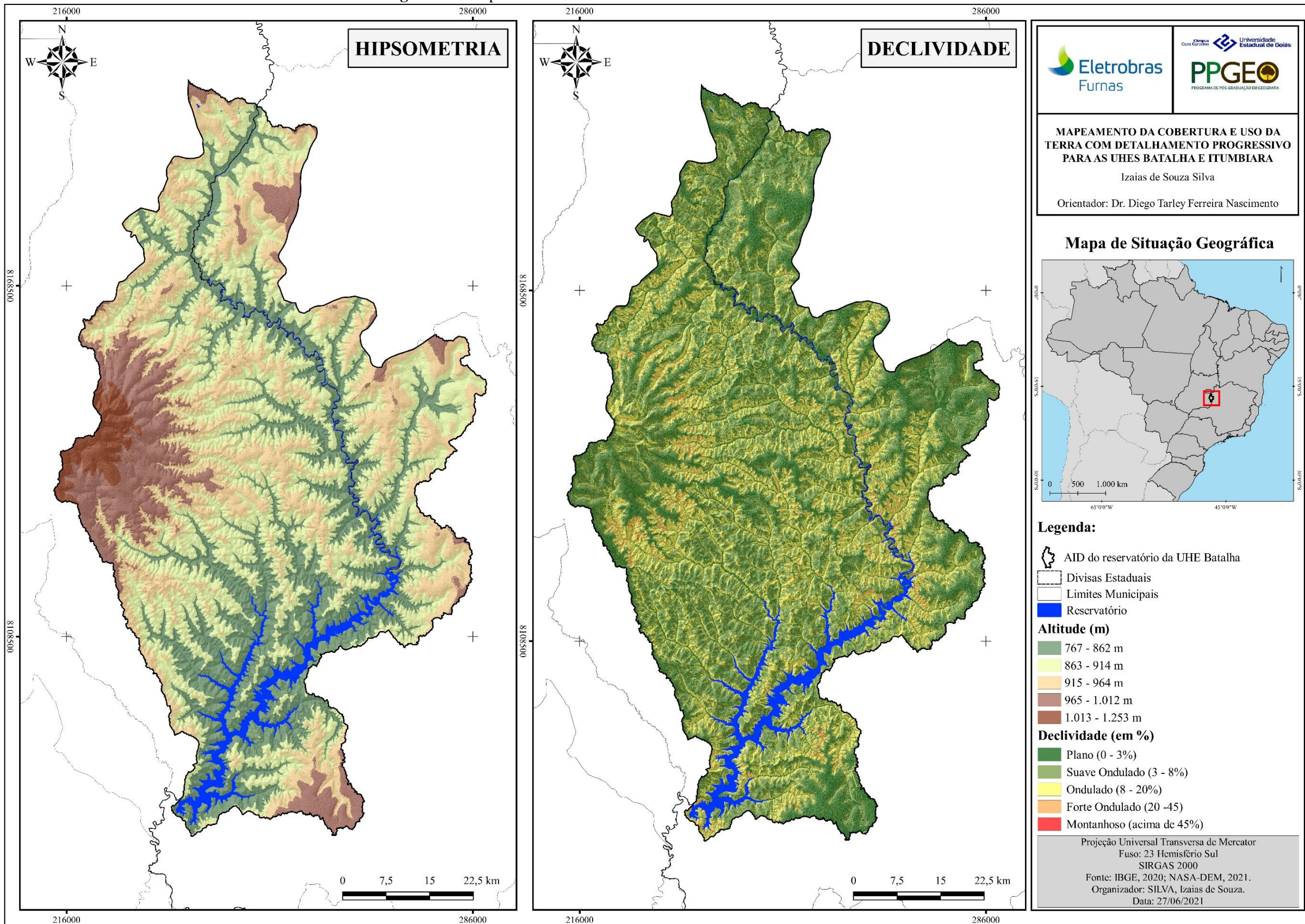
Com relação às classes de declividades, a média é de 6,4%, retratando o predomínio de relevo suave ondulado. Todavia, ainda são consideráveis as áreas de relevo plano (declividade inferior a 3%) – que correspondem às chapadas e planaltos; da mesma forma que também podem ser vislumbradas localidades com relevos ondulados e fortes ondulados – onde há o domínio de colinas, do domo de Cristalina, de degraus estruturais e de rebordos erosivos.

Uma das principais implicações inerentes à dinâmica sazonal do nível do reservatório entre períodos secos e chuvosos, associada às mais elevadas altitudes e declividades, é a instabilidade dos taludes nas suas bordas imediatas, que podem contribuir na deflagração de processos erosivos e de movimentos de massa, gerando sedimentos que são transportados para o manancial (reservatório), podendo ocasionar seu assoreamento e, conseqüentemente, comprometer negativamente o sistema de geração de energia (DE JESUS *et al.* 2017).

Tendo em vista a Figura 24, o primeiro mapa retrata as unidades do relevo, na qual se evidencia o predomínio de colinas amplas e suaves, recortadas tanto por chapadas como também por platôs, além da presença do Domo de Cristalina. Conforme apontado por Romão e Souza (2017), a litologia no contexto da AID do reservatório da UHE Batalha consiste, principalmente, em rochas inconsolidadas correspondentes a depósitos aluvionares, coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e especialmente filitos da Formação Landim, que expostos comumente dão origem no local a fenômenos de empastilhamento, tornando parte expressiva da área muito suscetível aos processos erosivos.

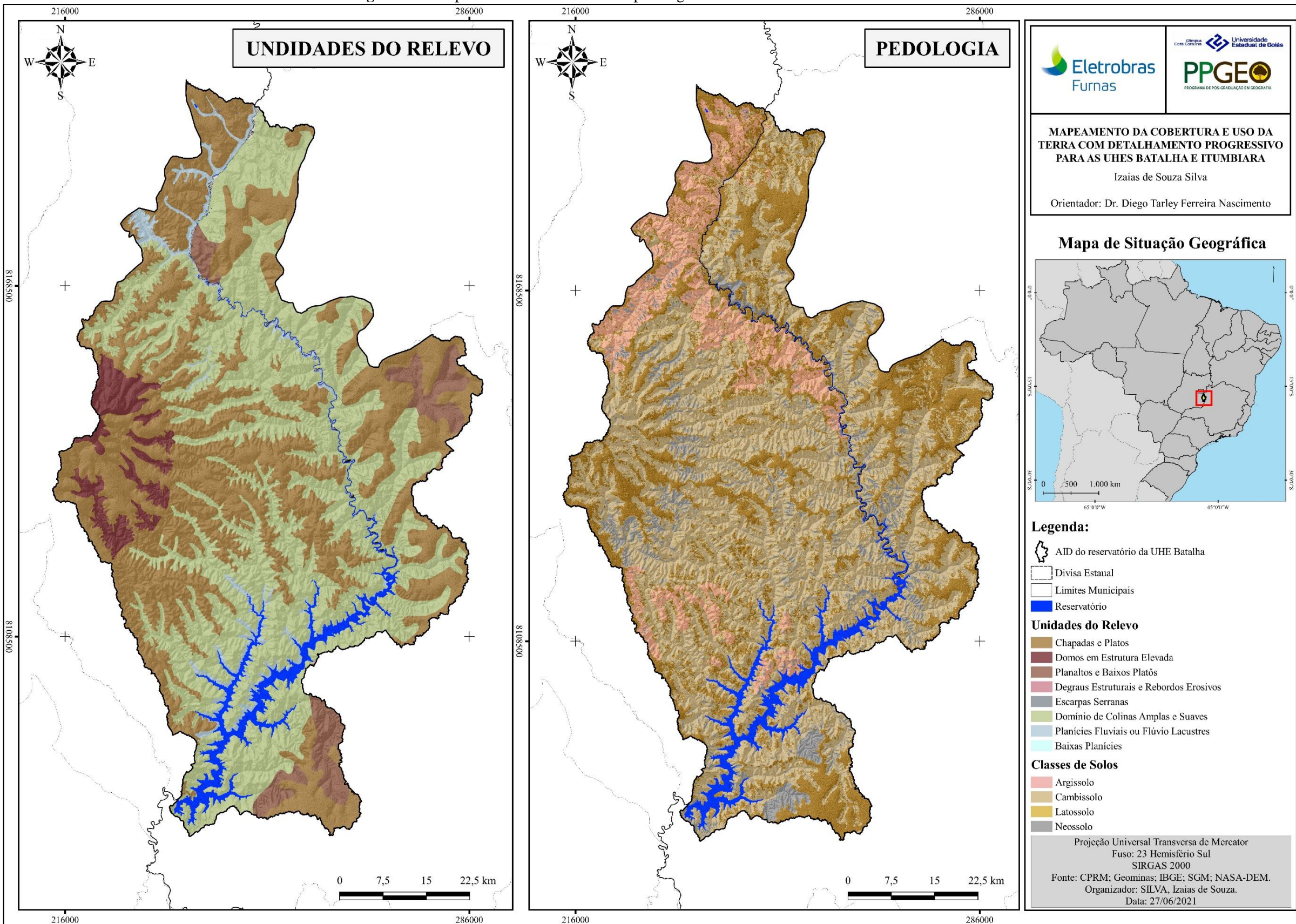
Neste sentido, convém o destaque para o fato de que as unidades do relevo e o substrato geológico representam importante fator que pode favorecer ou limitar a ocupação agropecuária, no sentido de apresentarem condições que facilitam ou dificultam a mecanização agrícola e o pastoreio com a prática de criação de animais.

Figura 23 – Mapas de altitude e declividade da AID do reservatório da UHE Batalha



Fonte: IBGE; NASA-DEM. Org.: SILVA, Izaias de Souza. Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/batalha-relevo>

Figura 24 – Mapas de unidades do relevo e pedologia da AID do reservatório da UHE Batalha



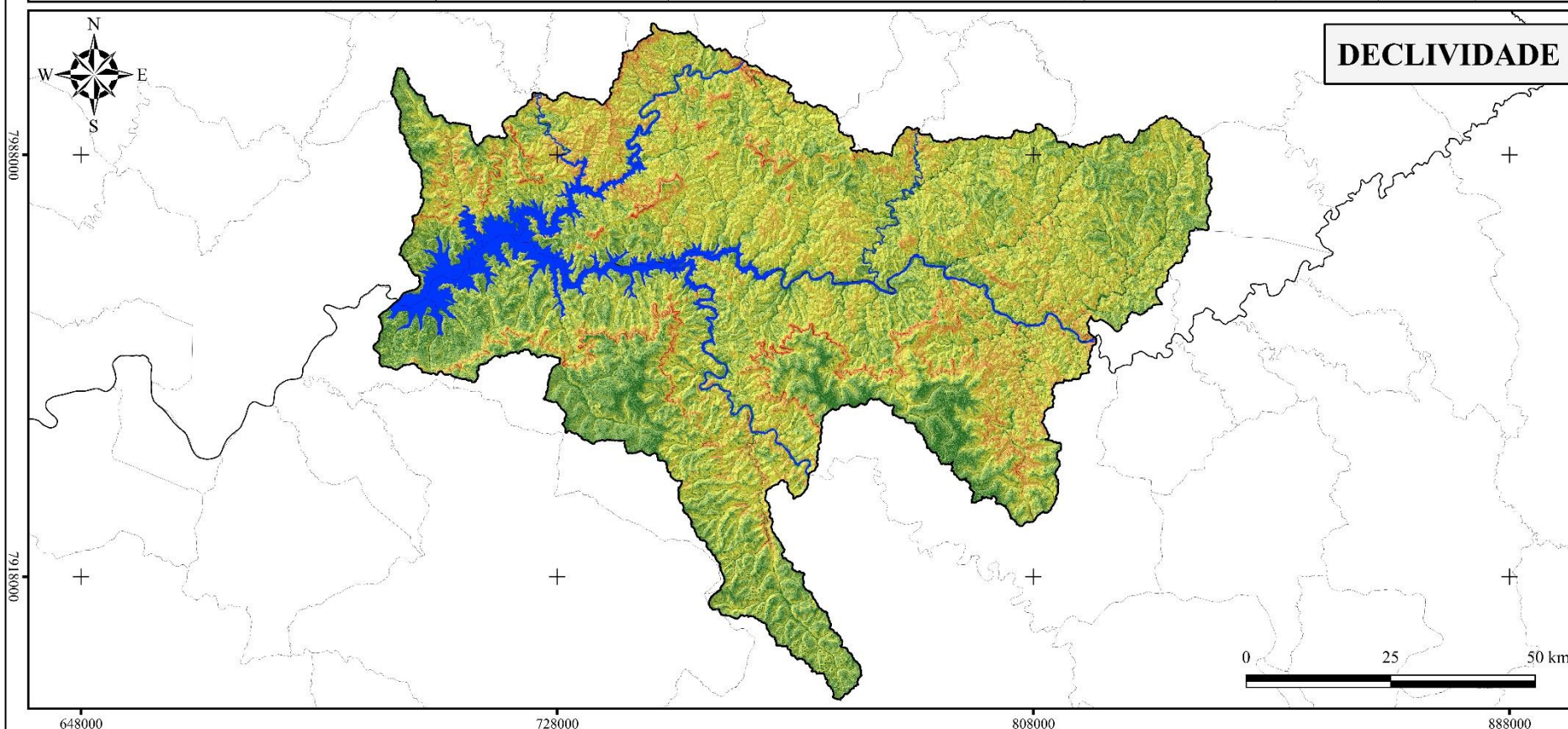
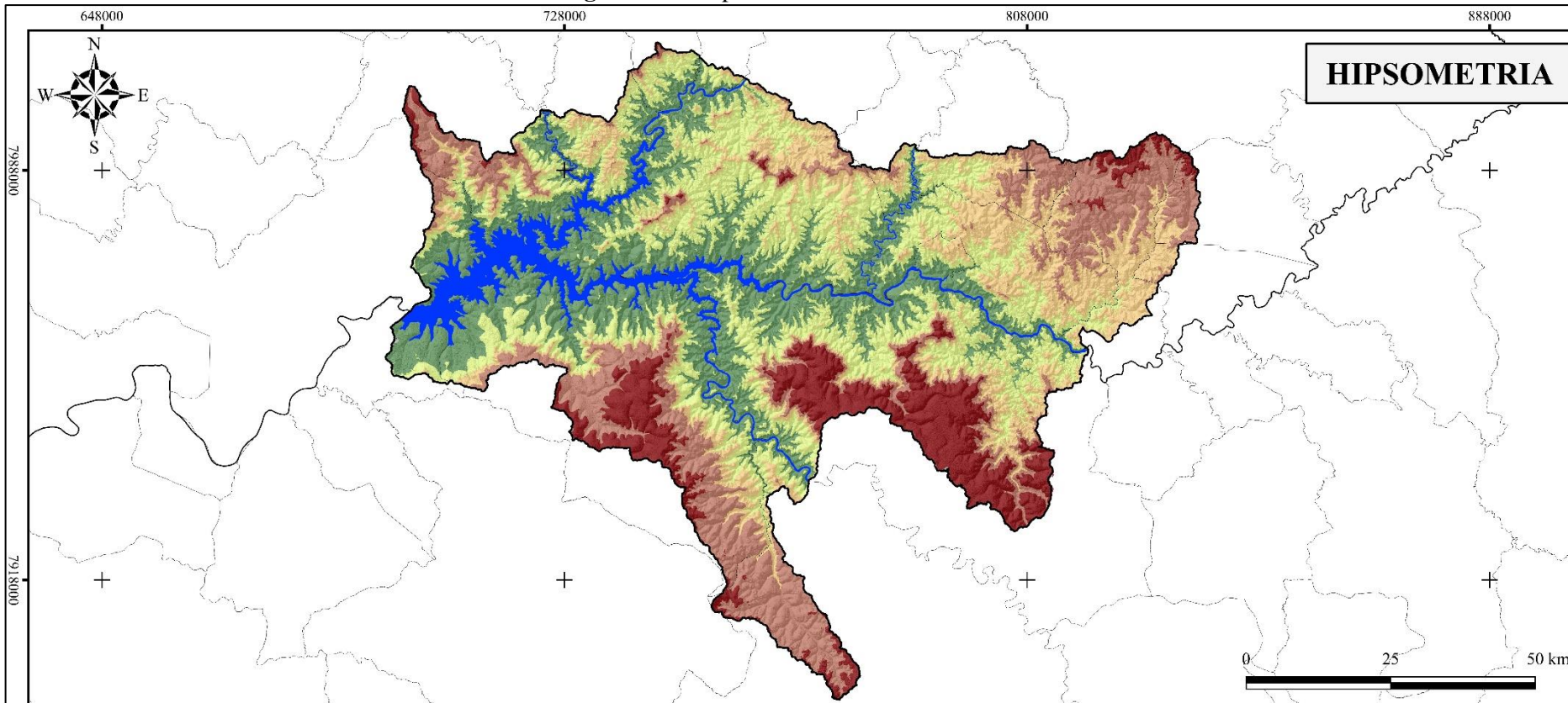
Pelo mapa da pedologia da AID da UHE Batalha (Figura 24), observa-se que associados às condições de relevos suave ondulados e ao domínio de colinas amplas e suaves, prevalecem solos do tipo Cambissolos, geralmente, constituídos por material mineral com horizonte B incipiente e pouco desenvolvido – condições que não favorecem o uso agrícola, por conta das limitações de pedregosidade e de profundidade. Em áreas com maiores altitudes, em relevos planos, de planaltos e chapadas, observa-se a ocorrência expressiva de Latossolos, usualmente utilizados para fins agrícolas, sobretudo por serem bem desenvolvidos, profundos e drenados. Na porção norte e centro-sul da AID do reservatório da UHE Batalha também são vistas manchas de Neossolos e, principalmente, Argissolos.

Assim, em sua maior parte, os solos que ocorrem no contexto da AID da UHE Batalha são classificados, em relação a sua resistência à degradação e transporte, mediante processos erosivos; como sendo de alta erodibilidade. Nesse sentido, convém ressaltar a importância do conhecimento das condições de cobertura e uso da terra para sua conservação, mediante o levantamento de informações detalhadas quanto ao seu uso nas atividades agropecuárias, bem como no subsídio de informações para implementação de distintas práticas de manejo, tendo em vista que a dinâmica na cobertura e uso da terra tende a potencializar processos erosivos com consequente perdas de solo, por causa da facilidade em desagregação, transporte e deposição de material de uma localidade para outra, no caso em questão, para o reservatório.

No contexto da AID do reservatório da UHE Itumbiara, conforme demonstrado pelo primeiro mapa da Figura 25, isto é, o mapa hipsométrico, a altitude média na AID é de 474 m, com amplitude altimétrica de 628 m, considerando a menor altitude de 503 m, próximo ao reservatório, e a cota máxima que alcança o valor de 977 m. Nota-se que as maiores altitudes ocorrem principalmente ao sul da AID, como também nos extremos noroeste e nordeste, em áreas onde o relevo se apresenta como sendo plano (declividade inferior a 3%), correspondendo, de maneira geral, aos planaltos.

Com relação à declividade da AID do reservatório da UHE Itumbiara (Figura 25), a média é de 9,4%, com predomínio de relevo suave ondulado a ondulado – ou seja, variando entre 3 e 20%. Contudo, também são vislumbradas localidades distribuídas por toda a AID, com o relevo classificado como forte ondulado (declividades de 20 a 45%), com ocorrência de alguns trechos com declividades características de relevo montanhoso ou escarpado (acima de 45%), estas últimas, ocorrendo sobretudo na porção sul da AID, nas bordas dos planaltos e baixos platôs. Consoante a Villela e Mattos (1975), destaca-se que a declividade do terreno apresenta forte relação com a ocorrência de processos erosivos, por ser um fator que exerce influência direta na velocidade de deslocamento da água em escoamento superficial.

Figura 25 – Mapas de altitudes e de declividades da AID do reservatório da UHE Itumbiara



MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA COM DETALHAMENTO PROGRESSIVO PARA AS UHES BATALHA E ITUMBIARA
 Izaías de Souza Silva
 Orientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento



Legenda:

- AID do reservatório da UHE Itumbiara
- Divisa Estadual
- Limites Municipais
- Reservatório

Altitude (m)

- 767 - 862 m
- 863 - 914 m
- 915 - 964 m
- 965 - 1.012 m
- 1.013 - 1.253 m

Declividade (em %)

- Plano (0 - 3%)
- Suave Ondulado (3 - 8%)
- Ondulado (8 - 20%)
- Forte Ondulado (20 - 45%)
- Montanhoso (acima de 45%)

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Fuso: 23 Hemisfério Sul
 SIRGAS 2000
 Fonte: IBGE, 2020; NASA-DEM, 2021.
 Organizador: SILVA, Izaías de Souza.
 Data: 27/06/2021

Fonte: IBGE; NASA-DEM. Org.: SILVA, Izaías de Souza (2021). Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/itumb-relevo>

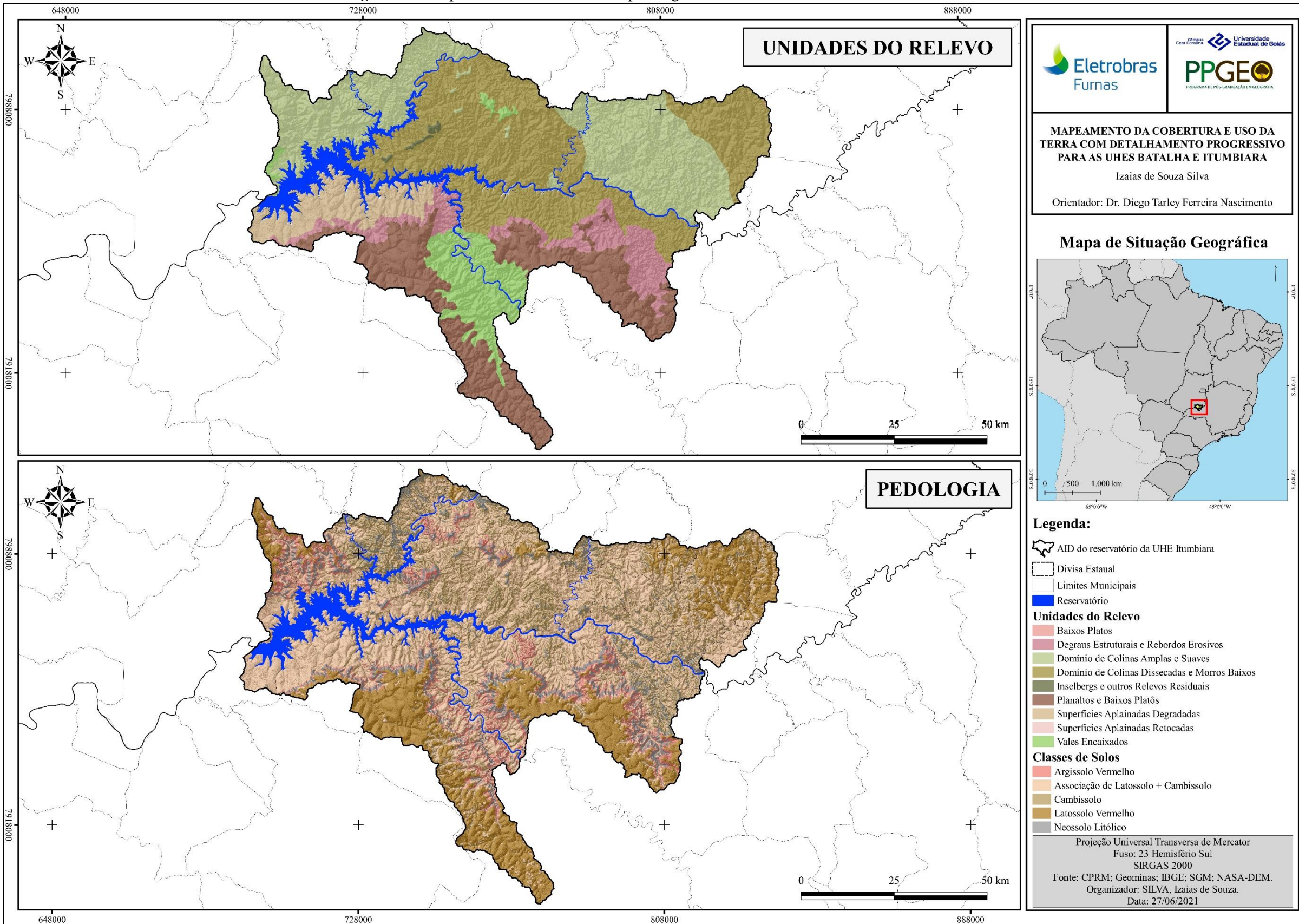
No que diz respeito às unidades do relevo, há ocorrência de planaltos e baixos platôs ao sul do reservatório da UHE Itumbiara, que coincidem com as áreas de maiores altitudes e com a ocorrência de Latossolos (Figura 26). São justamente nestas localidades que houve maior implantação do cultivo de soja, certamente associada às características de desenvolvimento, porosidade e permeabilidade destes solos, que favorecem o desenvolvimento das atividades agrícolas mediante mecanização e técnicas de aplicação de corretivos ao solo.

Todavia, o predomínio espacial é para domínio de colinas dissecadas e morros baixos e de colinas amplas e suaves, que podem ser notadas na porção central, leste e ao norte do reservatório, geralmente relacionadas aos Cambissolos e à associação de Latossolos e Cambissolos. Também vale destacar a presença de solos do tipo Neossolo Litólico e, em menor proporção, Argissolo Vermelho, na área em apreço, que não apresentam condições favoráveis, quanto à aptidão agrícola.

Ao final deste tópico, verifica-se que o levantamento e compreensão dos aspectos socioeconômicos e físico-ambientais são importantes insumos para o diagnóstico, prognóstico e ordenamento do uso e manejo do solo, tendo em vista que auxilia no entendimento das potencialidades e restrições de ocupação. No caso específico do entorno de reservatório de usinas hidrelétricas, o mapeamento e a descrição da dinâmica da cobertura e uso das terras, das categorias dos solos e dos atributos do relevo (altitude, declividade e unidades do relevo) permite o reconhecimento das características intrínsecas do ambiente e a dinâmica que se sucede por influência antrópica, especialmente com relação à ampliação de atividades agropecuárias.

Os dados apresentados nesta seção da pesquisa demonstram distintas características ambientais atreladas à condição do relevo e das categorias de solo, que sugerem maior ou menor aptidão agrícola, que podem servir para indicativo e compreensão da dinâmica da cobertura e uso das terras.

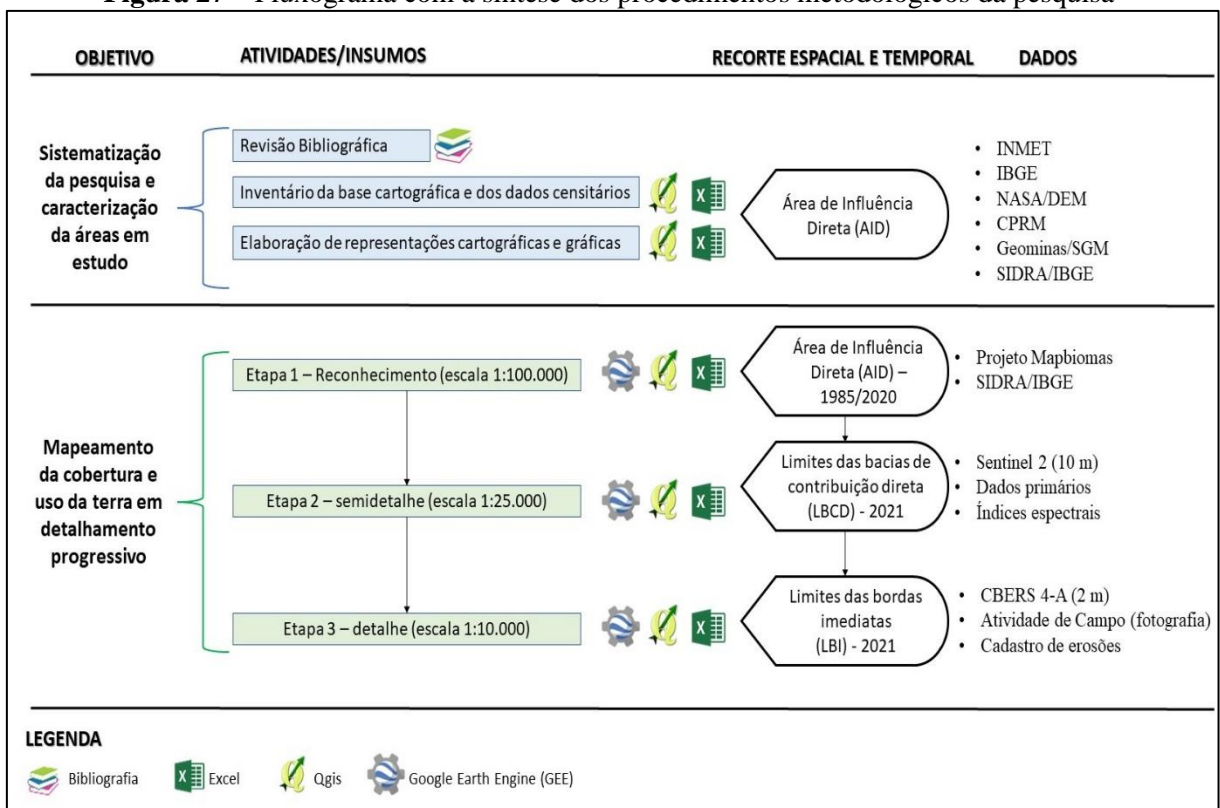
Figura 26 – Mapas de unidades do relevo e pedologia da AID do reservatório da UHE Itumbiara



Aporte metodológico para o mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo

O fluxograma da Figura 27 sintetiza as principais atividades implementadas na pesquisa, voltadas, inicialmente, à revisão bibliográfica e à caracterização da área em estudo, e, em segundo momento, ao mapeamento da cobertura e uso da terra em detalhamento progressivo. Por fim, aponta-se algumas diretrizes de manejo e proteção do solo para o contexto das Usinas Hidrelétricas Batalha e Itumbiara.

Figura 27 – Fluxograma com a síntese dos procedimentos metodológicos da pesquisa



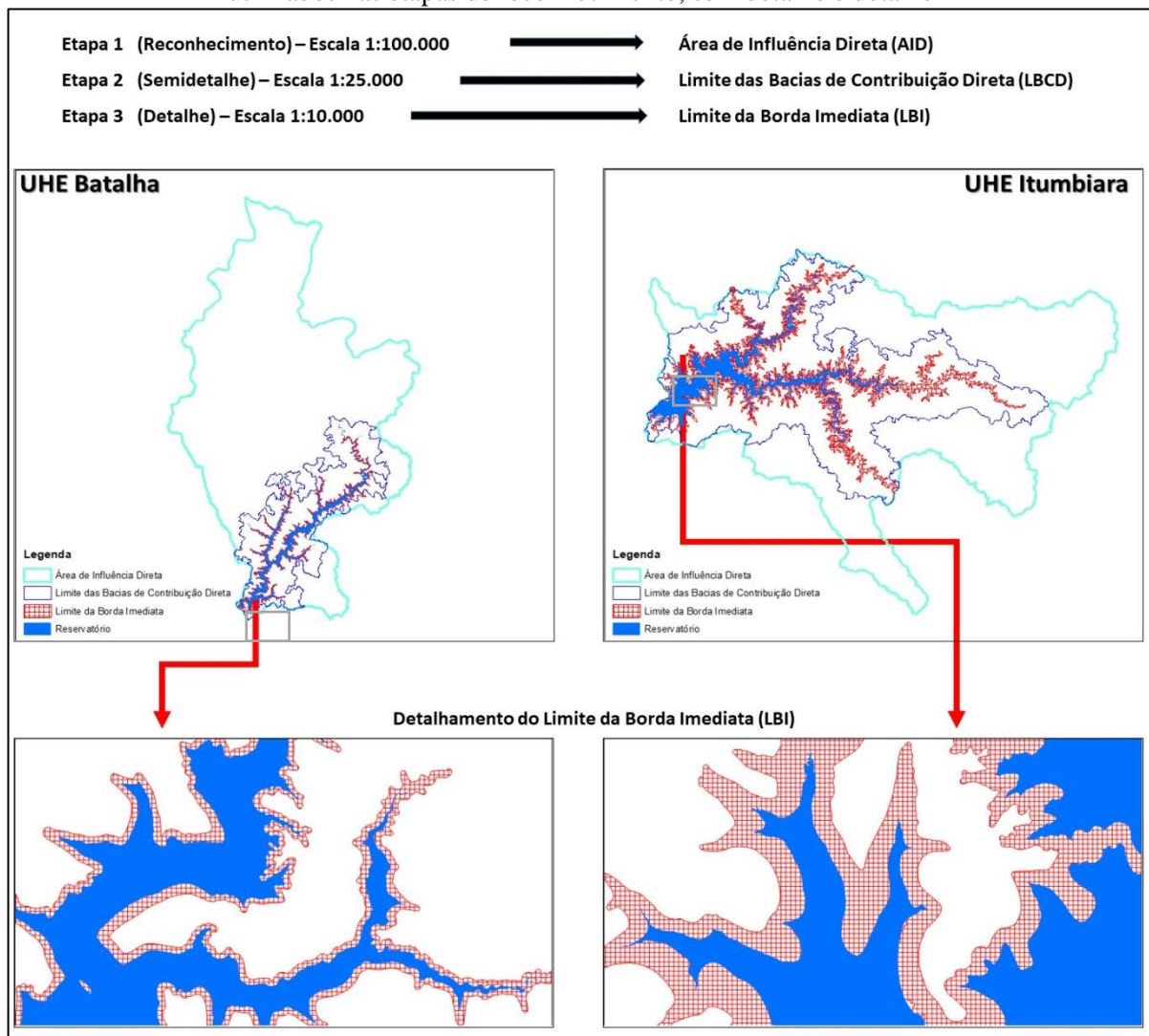
Fonte: NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; SILVA, Izaias de Souza. Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/uhe-fluxograma>

A revisão bibliográfica foi essencial para a fundamentação teórico-metodológica, especialmente com relação à contextualização dos pressupostos do Sensoriamento Remoto, dos sistemas de classificação e principais iniciativas de mapeamentos de cobertura e uso da terra e do método do detalhamento progressivo. De mesma forma, foi conduzido o inventário dos dados cartográficos e censitários provenientes de fontes secundárias disponibilizadas por órgãos oficiais diversos (INMET, IBGE, NASA, CPRM, entre outros), e a conseguinte elaboração das representações gráficas e cartográficas essenciais para a caracterização socioeconômica e físico-ambiental das áreas em estudo.

Conforme proposto por Zaine (2000), a proposta de mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo foi organizada, metodologicamente, em três etapas, sucessivas e complementares, que atendem a escalas, recortes espaciais e temporais e dados distintos, que serão descritas nos subtópicos na sequência.

Para melhor compreensão dos recortes espaciais utilizados nas etapas sucessivas do detalhamento progressivo, a Figura 28 a seguir representa a Área de Influência Direta (AID) utilizada na primeira etapa, de reconhecimento (1:100.000), da qual foram delimitados os Limites das Bacias de Contribuição Direta (LBCD), considerados na etapa de semidetalhe, na escala 1:25.000 e, por último, o Limite da Borda Imediata (LBI) dos reservatórios considerado na etapa de detalhe, na escala 1:10.000.

Figura 28 – Recortes da Área de Influência Direta (AID), dos Limites das Bacias de Contribuição Direta (BCD) e do Limite da Borda Imediata (BI) dos reservatórios das UHE Batalha e Itumbiara, utilizados nas etapas de reconhecimento, semidetalhe e detalhe



Fonte: NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; SILVA, Izaias de Souza. Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/uhe-recortes>

Etapa 1 – mapeamento em nível de reconhecimento (1:100.000)

A primeira etapa de mapeamento, dentro da proposta metodológica de mapeamento da cobertura e uso da terra com detalhamento progressivo, sugerida por Zaine (2000) e aplicada por Coelho (2015) e Silveira (2020) com adequações, compreende, nesta pesquisa, o mapeamento de reconhecimento da dinâmica de ocupação na Área de Influência Direta (AID) do reservatório das Usinas Hidrelétricas (UHE) Batalha e Itumbiara, na escala 1:100.000, valendo-se de dados secundários.

Conforme destacado anteriormente, a AID foi definida tendo como base a bacia hidrográfica à montante da barragem da UHE, sendo desconsideradas as bacias de contribuição à montante de outros reservatórios, por conta da retenção de sedimentos e da contenção fluxo superficial da água da chuva nesses locais.

Nesta etapa de mapeamento basicamente foram empregados dados cartográficos de cobertura e uso da terra e dados censitários agropecuários, sendo os primeiros provenientes do Projeto Brasileiro de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo (MapBiomas) – <https://mapbiomas.org>, e os segundos disponibilizados a partir do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA-IBGE) – <https://sidra.ibge.gov.br>.

Os mapeamentos anuais da cobertura e uso da terra disponibilizados pelo MapBiomas, são concebidos a partir da classificação digital pixel a pixel de imagens de satélite da missão *Landsat 5, 7 e 8*, com resolução espacial de 30 m, possibilitando aplicações em escalas de até 1:100.000. O processamento dos dados ocorre em nuvem por meio da plataforma de programação em nuvem *Google Earth Engine*, com aplicação de algoritmos de *Machine Learning*, valendo-se de um esquema de níveis hierárquicos de classificação, que leva em consideração e combina tanto o Sistema de Classificação proposto pelo Manual de Uso das Terras do IBGE (2013), quanto os Sistemas de Classificação propostos pela Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) (MACDICKEN, 2015).

Os mapeamentos anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas foram adquiridos mediante a plataforma *Google Earth Engine*, por meio da qual consultou-se a coleção mais atual (6.0) do repositório MapBiomas *User Toolkit* e efetuou-se o *download* no formato matricial (*raster*). De posse dos mesmos, criou-se um banco de dados georreferenciados em ambiente SIG, especificamente, fazendo uso do *software* livre e de código aberto QGIS, versão 3.16 (*Hannover*), pelo qual procedeu-se com rotinas de processamento dos dados (mudança/configuração do sistema de referência cartográfica, recorte, vetorização, extração das estatísticas das classes temáticas, entre outras), com a elaboração dos gráficos com a dinâmica anual da área ocupada por cada uma das classes de cobertura e uso da terra (para todo o período

de análise, isto é, 1985 a 2020) e das representações cartográficas – estas últimas, referentes apenas aos anos de 1985 e 2020. Os dados resultantes do cômputo de área ocupada por cada uma das classes dos mapeamentos anuais da cobertura e uso da terra foram exportados e inseridos no *software Excel* do pacote *Microsoft Office*, versão 2019, para cálculo de porcentagem e elaboração de gráfico que retratasse a dinâmica anual entre todo o período de análise – isto é, de 1985 a 2020.

Por sua vez, os dados censitários agropecuários, referente aos municípios situados nas áreas em estudo, isto é, nas AID dos reservatórios das respectivas UHEs, como supracitado, foram acessados e compilados a partir da plataforma SIDRA-IBGE. Em seguida, os dados foram organizados em planilhas do *software Excel*, para tratamento e elaboração de representações gráficas da variação anual, segundo os respectivos temas: “quantidade produzida das principais culturas agrícolas” e “quantidade de cabeças dos principais tipos de rebanhos”, ambos tendo como base o período de 1985 a 2019.

Etapa 2 – mapeamento em nível de semidetalhe (1:25.000)

Após a primeira etapa de mapeamento da cobertura e uso da terra, em nível de reconhecimento (1:100.000), prosseguiu-se com a segunda etapa do detalhamento progressivo, referente ao mapeamento da cobertura e uso da terra ao nível de semidetalhe, na escala de 1:25.000.

Nesta etapa, especificamente, utilizou-se a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para o processamento digital de imagens de satélite de alta resolução espacial, pela qual foram compiladas imagens provenientes do sistema sensor *Multispectral Instrument* (MSI) a bordo do satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 m, sendo essas imagens disponibilizadas gratuitamente pela *European Space Agency* (ESA).

Considerando que uma das premissas do método de detalhamento progressivo é a de que, a partir dos resultados da primeira etapa (geral ou de reconhecimento), possa ser concebido um novo recorte espacial a ser trabalhado no desenvolvimento da etapa subsequente (de semidetalhe), em maior escala e detalhamento, o recorte espacial empregado no mapeamento de semidetalhe (1:25.000) passou a compreender os Limites das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) dos reservatórios de ambas as UHEs.

Como o próprio nome sugere, o recorte espacial referente ao LBCD foi definido considerando-se as bacias hidrográficas que contribuem diretamente para cada reservatório. Tais bacias foram delimitadas seguindo os seguintes critérios: 1) inicialmente, um polígono delineado a partir do buffer de 5 km de distância da cota máxima do reservatório e 2) o

refinamento deste polígono considerado o limite das bacias hidrográficas que contribuem diretamente para o reservatório, delimitadas a partir da cota máxima do reservatório até o divisor de água ou até os barramentos dos cursos d'água existentes à montante.

O acesso e processamento digital das imagens do Sentinel-A se deu em nuvem, a partir da plataforma *Google Earth Engine*. O recorte temporal compreendeu o mês de julho de 2021, por ser um mês representativo do período de estiagem e, portanto, com pouca interferência pela presença de nuvens na área em estudo. Especificamente, para o contexto de ambas áreas em estudo, foram encontradas e utilizadas nove (9) imagens, que atenderam ao critério de cobertura de nuvem menor que 10%. Às imagens, foi aplicado o redutor de mediana a fim de compor uma única imagem (mosaico – *true color*) considerando o empilhamento das respectivas bandas espectrais, sobre o qual utilizou-se algoritmos que removem possíveis ruídos nas imagens, tais como presença de nuvens e pixels que representam sombras de encostas, possibilitando, assim, uma melhoria substancial na qualidade do mosaico.

No intuito de melhor discriminar os diferentes tipos de cobertura e uso da terra nesta etapa do mapeamento em detalhamento progressivo, além do mosaico proveniente das bandas multiespectrais, foram implementados seis índices espectrais, em que cada um passou a compor uma banda individual que, juntamente com os valores de reflectância das bandas multiespectrais (mosaico), também foram consideradas pelo algoritmo classificador no GEE. Os índices implementados foram: *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI-Gao), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI); propostos, respectivamente, por Liu e Huete (1995), Rouse *et. al.* (1974), McFeeters (1996), Gao (1996), Huete (1988) e Gitelson *et al.*, (1996). Os índices espectrais integrados à classificação digital das imagens são descritos a partir das seguintes equações:

$$\text{a) } EVI = G * \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + C1 + \rho_{RED} - C2 * \rho_{Blue} + L)} * (1 + L)$$

$$\text{b) } NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

$$\text{c) } NDWI = \frac{(\rho_{Green} - \rho_{NIR})}{(\rho_{Green} + \rho_{NIR})}$$

$$\text{c) } NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})}$$

$$\text{d) } SAVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})(1+L)}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L)}$$

$$\text{e) } GNDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Green})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Green})}$$

Em que:

$pNIR$ = Reflectância na Banda do Infravermelho Próximo;

$pRED$ = Reflectância na Banda do Vermelho;

$pBlue$ = Reflectância na Banda do Azul;

$pGreen$ = Reflectância na Banda do Verde;

G = Fator de ganho (2.5);

L = Fator de ajuste para componentes abaixo do dossel (no solo);

C1 e C2 = Coeficientes de ajuste para resistência dos efeitos da atmosfera.

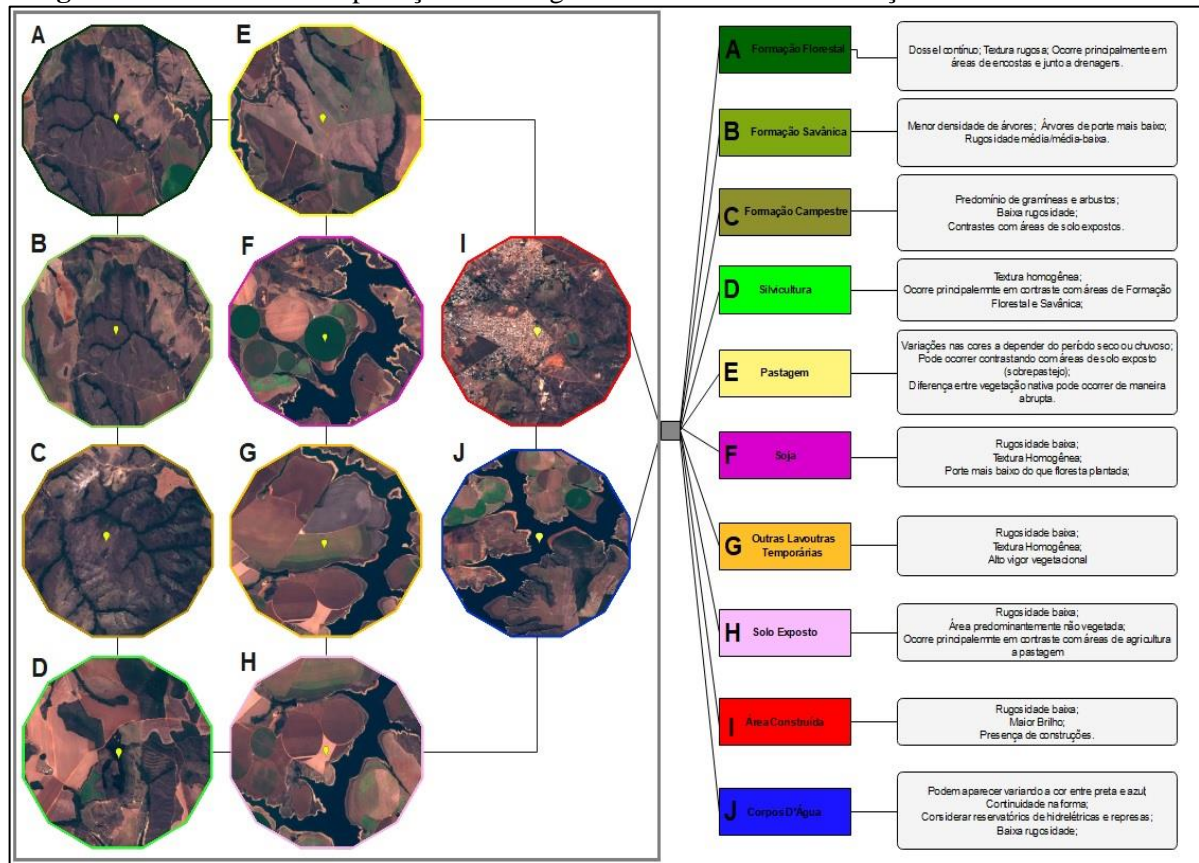
Enquanto o NDVI foi empregado basicamente para evidenciar áreas de cobertura vegetal, o EVI, por ser um índice de vegetação otimizado, pode melhorar significativamente a classificação das imagens para contextos e condições de elevada biomassa, além de contribuir na identificação e distinção de áreas onde a cobertura vegetal apresenta maior densidade. O SAVI, que também é um índice de vegetação, porém, otimizado em relação ao solo, foi empregado para evidenciar com maior precisão as áreas de solo exposto.

Por sua vez, o NDWI foi incorporado com vistas a destacar áreas onde a cobertura vegetal apresenta em maior ou menor abundância de água em sua estrutura, subsidiando a identificação de áreas com vegetação bem desenvolvida e de alta densidade, configurando no contexto do bioma Cerrado, por exemplo, de fitofisionomias de Formações Florestais, por estarem fortemente associadas a contexto de cursos d'água e, conseqüentemente, a vegetação manter-se quase que permanentemente durante o ano, com alto vigor e presença de água em suas folhas.

Assim, destaca-se que os índices espectrais supracitados incorporados à classificação puderam retratar informações específicas sobre os alvos da superfície e contribuir no detalhamento do mapeamento da cobertura e uso da terra nesta etapa de semidetalhe.

Com a incorporação dos índices espectrais ao mosaico multiespectral, o procedimento subsequente consistiu em coletar as amostras das classes temáticas de cobertura e uso da terra, conforme ilustrado pela Figura 29, e posteriormente, realizar o treinamento do algoritmo classificador, a saber: *Random Forest*. *Random Forest* consiste em um classificador de *machine learning* baseado em árvores de decisão individuais, que cria uma floresta aleatória, resultando, na maior parte dos casos, em uma performance de precisão significativamente maior em comparação a outros algoritmos classificadores similares (BREIMAN, 2001; MAGIDI *et al.*, 2021).

Figura 29 – Chave de interpretação das imagens de satélite e discriminação das classes temáticas



Fonte: SILVA, I. S. (2021). Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/uhe-interpretacao>

A partir da interpretação visual das imagens, foram coletadas 1.476 amostras para o contexto da LBCD do reservatório da UHE Batalha e 1.891 amostras para o contexto da BCD do reservatório da UHE Itumbiara. Deste quantitativo, o algoritmo classificador foi treinado considerando 1.184 amostras (LBCD do reservatório da UHE Batalha) e 1.331 amostras (contexto da LBCD do reservatório da UHE Itumbiara). Isso porque cerca de 20% (292) do total das amostras coletadas para a LBCD do reservatório da UHE Batalha e de 30% (560) do total das amostras coletadas na LBCD do reservatório da UHE Itumbiara foram reservadas (aleatoriamente) para a avaliação do desempenho do algoritmo classificador, isto é, da acurácia. Ressalta-se que a acurácia geral foi de 0,96 e 0,95, e os índices kappa foram 0,95 e 0,94, respectivamente, para o LBCD das UHEs Batalha e Itumbiara, o que significa um excelente desempenho.

Ao resultado da classificação, foram incorporados ao mapeamento arquivos de malha viária, manchas urbanas e drenagens, que foram vetorizados manualmente a partir da interpretação visual das próprias imagens Sentinel, mantendo-se a escala de visualização de 1:25.000.

Etapa 3 – mapeamento em nível de detalhe (1:10.000)

A terceira e última etapa de mapeamento da cobertura e uso da terra de detalhamento progressivo contemplou o nível de detalhe, na escala de 1:10.000. Para tanto, valeu-se de imagens provenientes do sistema sensor *Multispectral Camera and Panchromatic Wide – Scan* (WPM), a bordo do satélite CBERS 4A (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), com 2 m de resolução espacial, após a fusão da banda pancromática com as demais bandas multiespectrais. Nesta etapa, o recorte espacial do mapeamento compreendeu o que foi denominado como Limite da Borda Imediata (LBI) dos reservatórios das UHE Batalha e Itumbiara.

A definição do Limite da Borda Imediata (LBI) levou em consideração, essencialmente, dois limites espaciais: (1) o inferior à jusante, correspondente à cota mínima estimada para cada um dos reservatórios, sendo 799 m para Batalha e 503 m para o caso de Itumbiara, e; (2) o superior e à montante, referente a cota de desapropriação informada por Furnas para os reservatórios, sendo 805 m para a Batalha e 522 m para o caso de Itumbiara. Dessa forma, o LBI representa a parte exposta da vertente pela oscilação do nível do reservatório, tendo a extensão de 6 m para Batalha (mais plana) e de 19 m para Itumbiara (mais íngreme).

As imagens provenientes do sistema sensor *Multispectral Camera and Panchromatic Wide – Scan* (WPM), a bordo do satélite CBERS 4A (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), foram adquiridas junto a Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referente ao dia 9 do mês setembro de 2021, compreendendo um mês seco no contexto do bioma Cerrado, e, portanto, com baixa interferência de cobertura de nuvens para as áreas em estudo. Apesar do período propício à ausência de nuvens, foi definido na busca, o filtro de cobertura de nuvens menor que 10%.

Na plataforma do *Google Earth Engine*, foram incorporados os arquivos matriciais (*Raster*), referente ao conjunto de bandas multiespectrais e pancromática do CBERS 4-A, em seguida, configuradas para o sistema de referência utilizado na pesquisa e recortadas para os limites das Bordas Imediatas (LBI). Prosseguiu-se com o empilhamento das bandas multiespectrais a fim de obter o mosaico (8 m) em composição *true color*, e posteriormente realizar a união (fusão) do referido mosaico (8 m) com a banda pancromática (2 m), gerando assim uma única imagem compreendendo o mosaico em composição *true color* com 2 m de resolução espacial.

Destaca-se que foram consideradas as mesmas chaves de interpretação ilustradas na Figura 29, sendo que, a partir da interpretação visual do mosaico da imagem CBERS 4A com 2 m de resolução espacial, foi coletado o total de 747 pontos amostrais (490 para Itumbiara e 257 para Batalha). Do total das 490 amostras para Itumbiara, foram utilizadas 343 (70%) para

treinamento do algoritmo classificador (*Random Forest*), e 147 (30%) para análise da acurácia geral, que foi 0,97, e do índice Kappa, que foi 0,96. Para o caso de Batalha, do total de 257 amostras, foram empregadas na classificação, 180 (70%) delas e o restante para a avaliação da acurácia, que foi 0,91 para a global e 0,89 para o índice Kappa.

A esta etapa de mapeamento em nível de detalhe foram incorporados cadastros de processos erosivos, realizados a partir da inspeção visual das imagens históricas do Google Earth PRO, com ênfase nas mais atuais disponíveis, e, de forma concomitante, das imagens do satélite CBERS 4-A, utilizadas no mapeamento de cobertura e uso da terra nesta etapa de detalhe, mantendo-se a escala de visualização em 1:10.000. O cadastro de erosões serviu, sobretudo, para a verificação da presença destes processos em áreas antropizadas no limite das bordas imediatas dos reservatórios.

Estava prevista a realização de atividades de campo em cada um dos reservatórios das UHEs em estudo, para registro fotográfico e levantamento de imagens aéreas com o uso de DRONES, como complemento para esta etapa de detalhe. Todavia, o contexto de isolamento social imposto pela pandemia do novo coronavírus, a demora na imunização da população e as incertezas com relação às ondas de aumento de casos atrasaram e acabaram por inviabilizar a realização destas atividades de campo, que serviriam à validação do mapeamento de cobertura e uso da terra. Porém, foi possível incorporar ao mapeamento do LBI do reservatório da UHE Batalha alguns registros fotográficos, realizados em uma atividade de campo realizada em novembro de 2021 por outros integrantes do projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico ao qual se vincula esta pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico apresenta os resultados das três etapas de mapeamento da cobertura e uso da terra em detalhamento progressivo, para o contexto dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara. Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos a partir da primeira etapa do mapeamento da cobertura e uso da terra em detalhamento progressivo, contemplando a escala de reconhecimento (1:100.000) para o recorte espacial da AID dos reservatórios das respectivas UHEs, sob o aporte de dados cartográficos e agropecuários de fontes secundárias.

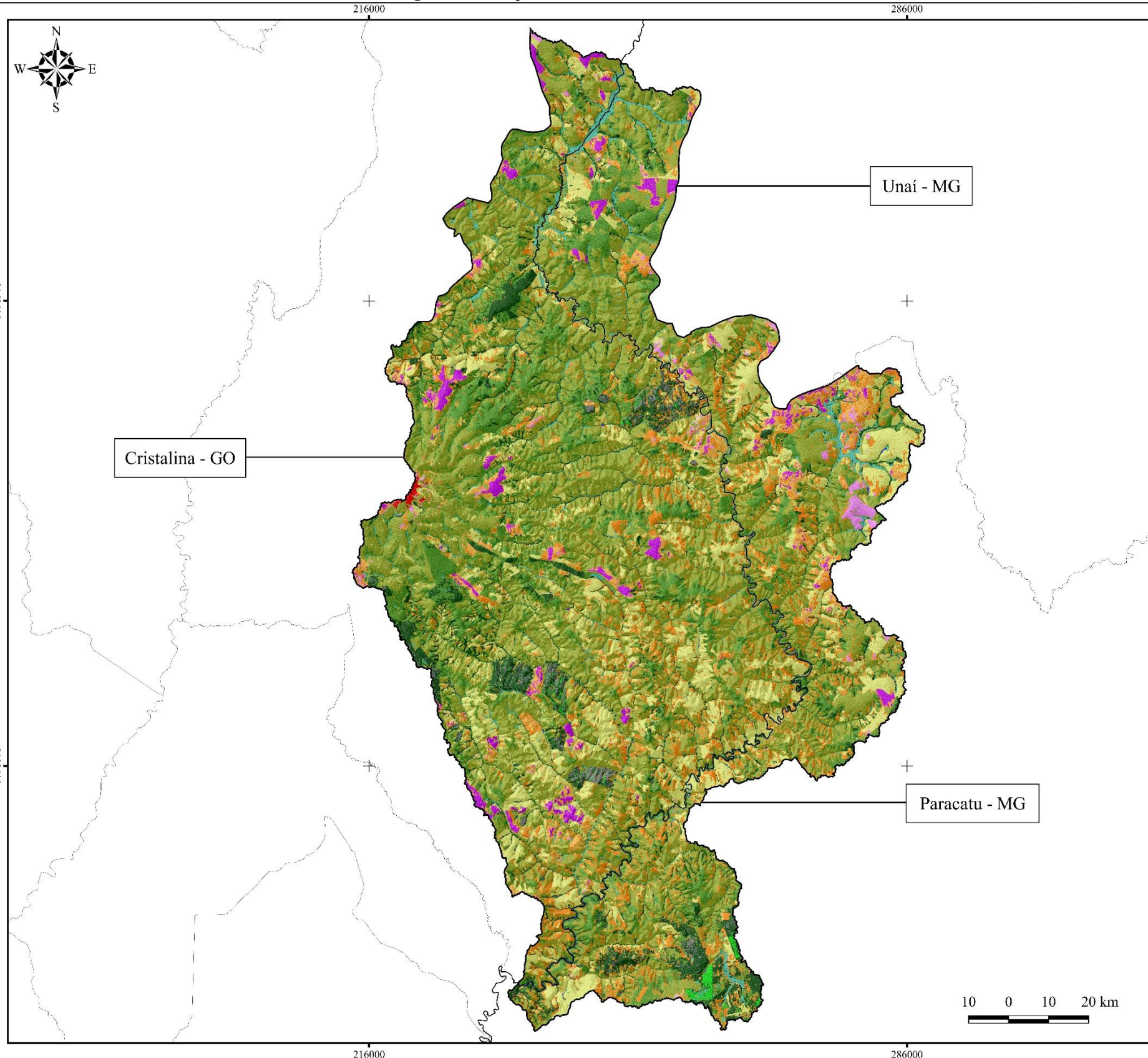
Na sequência, são demonstrados os resultados da etapa subsequente do mapeamento da cobertura e uso da terra em escala de semidetalhe (1:25.000), referente ao recorte espacial do LBCD dos reservatórios de ambas as UHEs, valendo-se do processamento digital das imagens Sentinel 2 (10 m de resolução espacial), além da incorporação de índices espectrais e de dados primários (vetorizados manualmente).

Por fim, são indicados os resultados da terceira e última etapa do mapeamento da cobertura e uso da terra, em escala de detalhe (1:10.000) e para o contexto do limite das bordas imediatas (LBD) dos reservatórios das respectivas UHEs, baseado no processamento digital de imagens provenientes do sistema sensor *Multispectral Camera and Panchromatic Wide – Scan* (WPM), a bordo do satélite CBERS-4A, com 2 m de resolução espacial.

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de reconhecimento (1:100.000) da AID do reservatório da UHE Batalha

De acordo com o que foi descrito, a partir dos dados do MapBiomias, elaborou-se mapas de cobertura e uso da terra da área de influência direta do reservatório da UHE de Batalha para os anos de 1985 e 2020. Considerando o mapa de cobertura e uso da terra referente ao ano de 1985 (Figura 30), especificamente, percebe-se que as áreas recobertas por coberturas vegetais naturais estão associadas, sobretudo, às Formações Campestres (37,9%) e Formações Savânicas (18,9%), respectivamente, com pouca presença de Formações Florestais (6,8%); enquanto o uso da terra se associa, principalmente, às pastagens (15,6%), com presença também significativa de áreas com mosaico de agricultura e pastagem (12,5%), e pouca proporção de atividades agrícolas (5,2% - considerando a soja, o café e as outras lavouras temporárias). Nesse sentido, evidenciando que parte significativa da AID (66%) se encontrava associada a coberturas vegetais naturais típicas do bioma Cerrado.

Figura 30 – Mapa da cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Batalha (1985)









PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA COM DETALHAMENTO PROGRESSIVO PARA AS UHES BATALHA E ITUMBIARA

Izaías de Souza Silva

Orientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento

Mapa de Situação Geográfica



Legenda:

-  AID do reservatório da UHE Batalha
-  Divisas Estaduais
-  Limites Municipais
-  Formação Florestal
-  Formação Savânica
-  Floresta Plantada
-  Campo Alagado e Área Pantanosa
-  Formação Campestre
-  Pastagem
-  Cana
-  Mosaico de Agricultura e Pastagem
-  Infraestrutura Urbana
-  Outra Área não Vegetada
-  Soja
-  Outras Lavouras Temporárias
-  Cafê
-  Corpos D'Água

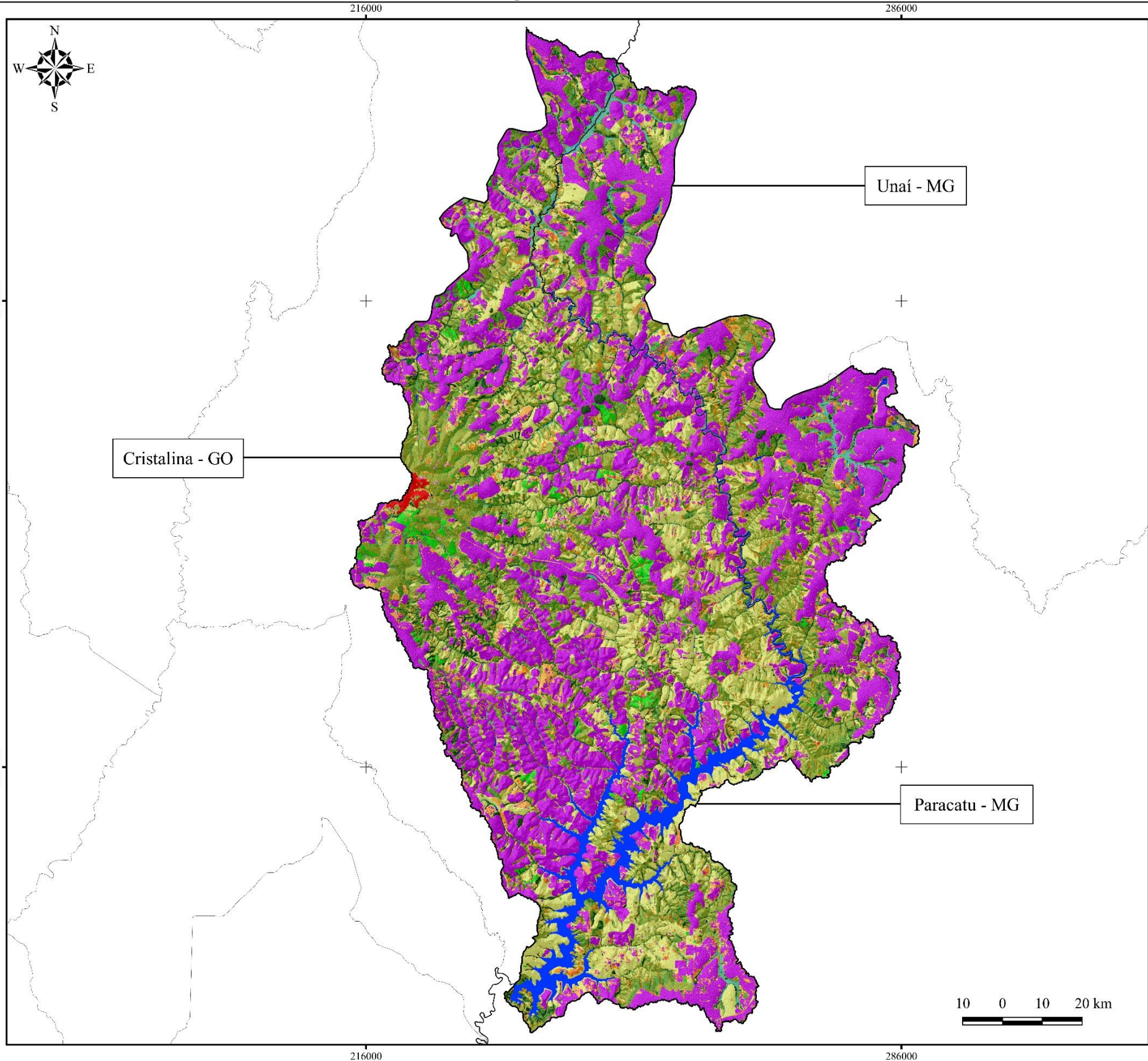
Projeção Universal Transversa de Mercator
Fuso: 23 Hemisfério Sul
SIRGAS 2000
Fonte: IBGE, 2020; MapBiomias 6.0 (2021).
Organizador: SILVA, Izaías de Souza.
Data: 27/06/2021

As atividades antrópicas na AID do reservatório da UHE de Batalha neste ano (1985) eram pouco expressivas, representando aproximadamente 34% da sua área. Nesse sentido, as áreas de pastagem, representadas por manchas relativamente bem distribuídas pela região, possuíam atividades agrícolas, especialmente destinadas ao cultivo da soja, relacionadas a pequenas e esparsas localidades onde a disposição do relevo apresenta poucos desníveis e inclinações relativamente baixas, com destaque para o município de Cristalina-GO. As áreas de mosaicos de agricultura e pastagem podem ser observadas em pequenos fragmentos em toda a área de influência direta, mas também sob a forma de manchas de dimensões consideráveis, a leste da região. Observa-se ainda que, no referido ano (1985), as áreas agrícolas contrastam sobretudo com áreas ocupadas por pastagem e mosaico de agricultura e pastagem, evidenciando um cenário de expansão por parte dessas atividades.

Por sua vez, a Figura 31 retrata o mapa da cobertura e uso da terra da área de influência direta do reservatório da UHE de Batalha para o ano de 2020, isto é, 36 anos após o primeiro período de observação (1985), e seis anos após o enchimento do reservatório (2014). Neste referido ano (2020), se observa que o uso da terra se voltou para as atividades antrópicas, passando a representar 65,7% da área em estudo – principalmente relacionada ao cultivo de soja (38,5%), com a pastagem representando apenas 18,4% da região. Por sua vez, as coberturas vegetais naturais representam apenas 34,3% da AID do reservatório da UHE Batalha em 2020, especialmente representadas pelas Formações Campestres (14,4%) e Savânicas (10,8%). Esse cenário evidencia um contexto da expansão das áreas destinadas às atividades agropecuárias, com ênfase na substituição da cobertura vegetal para a incorporação de áreas destinadas ao cultivo de soja e criação de rebanho bovino.

Em 2020, as áreas agrícolas, especialmente relacionada ao plantio de soja, ocorrem, na sua maior parte, sobre áreas de chapadas, com relevo plano favorável ao uso de maquinários e outras tecnologias; ao passo que as áreas ocupadas pastagens mostram-se relacionadas, principalmente, às áreas onde as condições geomorfológicas limitam a implantação das atividades agrícolas. Uma característica importante da agricultura desenvolvida mais recentemente na região onde está situada a área de influência direta do reservatório da UHE Batalha é o modelo extensivo-intensivo, sendo intensivo não só em relação ao uso da terra, mas também da água, com a prática de irrigação por pivôs centrais (PEREIRA JÚNIOR; FERREIRA; MIZIARRA, 2015).

Figura 31 – Mapa da cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Batalha (2020)



MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA COM DETALHAMENTO PROGRESSIVO PARA AS UHES BATALHA E ITUMBIARA

Izaías de Souza Silva

Orientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento

Mapa de Situação Geográfica

Legenda:

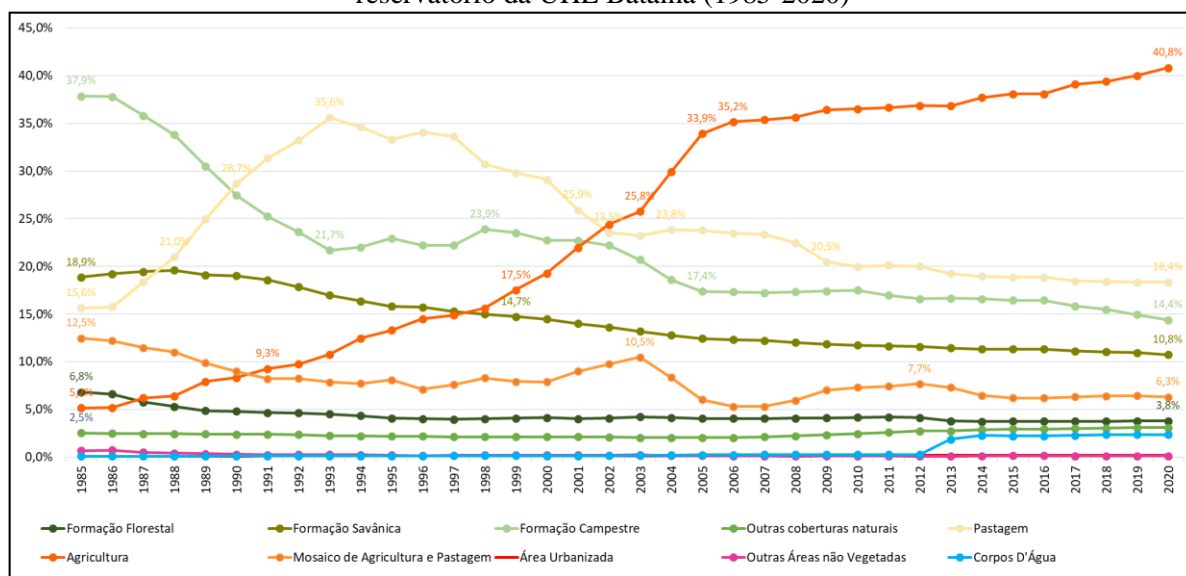
- AID do reservatório da UHE Batalha
- Divisas Estaduais
- Limites Municipais
- Formação Florestal
- Formação Savânica
- Floresta Plantada
- Campo Alagado e Área Pantanosa
- Formação Campestre
- Pastagem
- Cana
- Mosaico de Agricultura e Pastagem
- Infraestrutura Urbana
- Outra Área não Vegetada
- Soja
- Outras Lavouras Temporárias
- Café
- Corpos D'Água

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Fuso: 23 Hemisfério Sul
 SIRGAS 2000
 Fonte: IBGE, 2020; MapBiomias 6.0 (2021).
 Organizador: SILVA, Izaías de Souza.
 Data: 27/06/2021

As Formações Campestres, por sua vez, no ano de 2020, passam a ser observadas concentradas sobre a porção oeste, sobre a feição de relevo elevado e plano, localizado na área conhecida como Domo de Cristalina, e também em manchas dispersas entre-se nas porções sudeste e sul da AID, principalmente no contexto do município de Paracatu-MG (Figura 31).

O Gráfico 5 mostra a dinâmica espaço-temporal das classes de cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Batalha entre 1985 e 2020, sendo possível notar o contínuo aumento da agricultura (sendo incorporadas as classes de soja, cana, outras lavouras temporárias e café) que, em 1985, representava apenas 5,2%, e passa a representar 40,8% da região em 2020 – esse incremento é incisivo, principalmente, até o ano de 2004, posteriormente apresentando um crescimento mais moderado, apesar de contínuo. Ao longo dos 36 anos analisados, observa-se a redução e fragmentação da vegetação campestre e savânica, sendo que a primeira respondia por 37,9% da área de influência direta do reservatório da UHE Batalha em 1985 e foi reduzida a apenas 14,4% da área, em 2020, e a segunda demonstrou uma redução mais tímida, de 18,9% para 10,8% entre os 36 anos.

Gráfico 5 – Porcentagem ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Batalha (1985-2020)



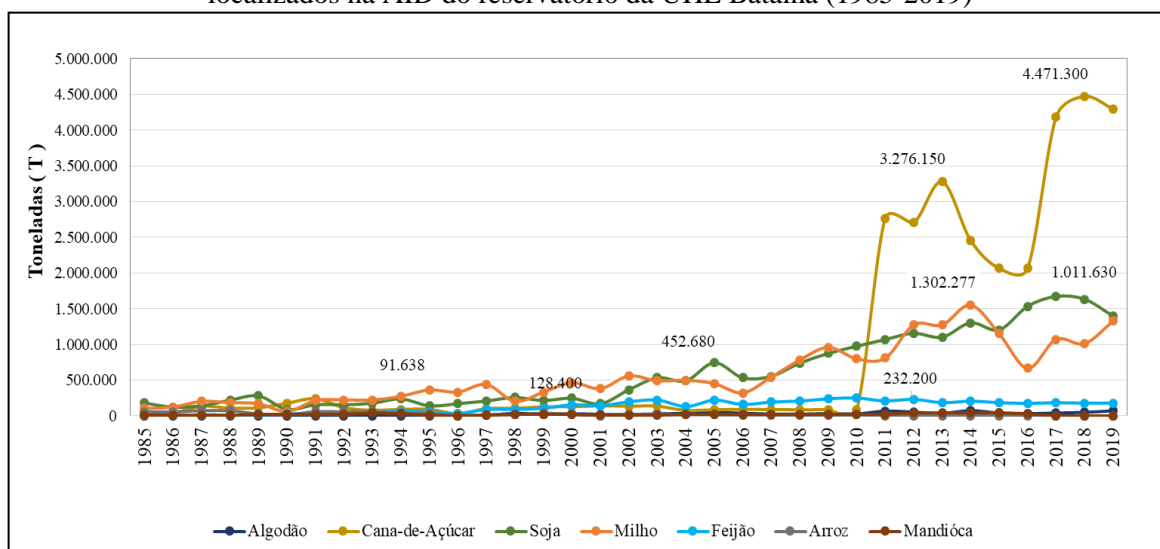
Fonte: MapBiomias 6.0 (2021). Org.: SILVA, Izaías de Souza.

Importante observar a dinâmica das pastagens na área em apreço, uma vez que essa atividade representava 15,6% em 1985, apresentou um vertiginoso incremento até 1993, quando respondeu a 35,6% da área, e, desde então, demonstrou um contínuo decréscimo, alcançando os 18,4% da área em 2020. Até o ano de 2002, essa atividade predominava entre os usos antrópicos, quando passou a dar margem para as atividades agrícolas. Dessa forma, pode-

se supor que até o ano de 1993, as áreas de formação campestre foram convertidas para áreas de pastagem, principalmente, mas também para áreas agrícolas. Depois deste período, possivelmente, as áreas ocupadas por pastagens paulatinamente deram espaço ou foram incorporadas pelas atividades agrícolas, especialmente pelo cultivo de soja.

Destaque também deve ser dado ao incremento da classe de corpo hídrico entre 2012 e 2013, período em que houve o barramento do rio São Marco e enchimento do reservatório da UHE Batalha. Nesse sentido, os dados da quantidade produzida das principais culturas agrícolas nos municípios da área de influência direta do reservatório da UHE de Batalha, indicados pelo Gráfico 6, também evidenciam que no ano de 1985 a produção de soja era de 122.820 toneladas ao ano, um valor relativamente baixo quando comparado com aquele registrado em 2019, compreendendo um total de 1.397.300 toneladas. Um incremento relativamente semelhante é observado para o milho. Todavia, a maior dinâmica é da produção de cana-de-açúcar, especialmente entre os anos de 2010 e 2011, haja vista o incremento da produção de 88.450 para 2.763.460 toneladas.

Gráfico 6 – Quantidade produzida das principais culturas agrícolas desenvolvidas nos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha (1985-2019)



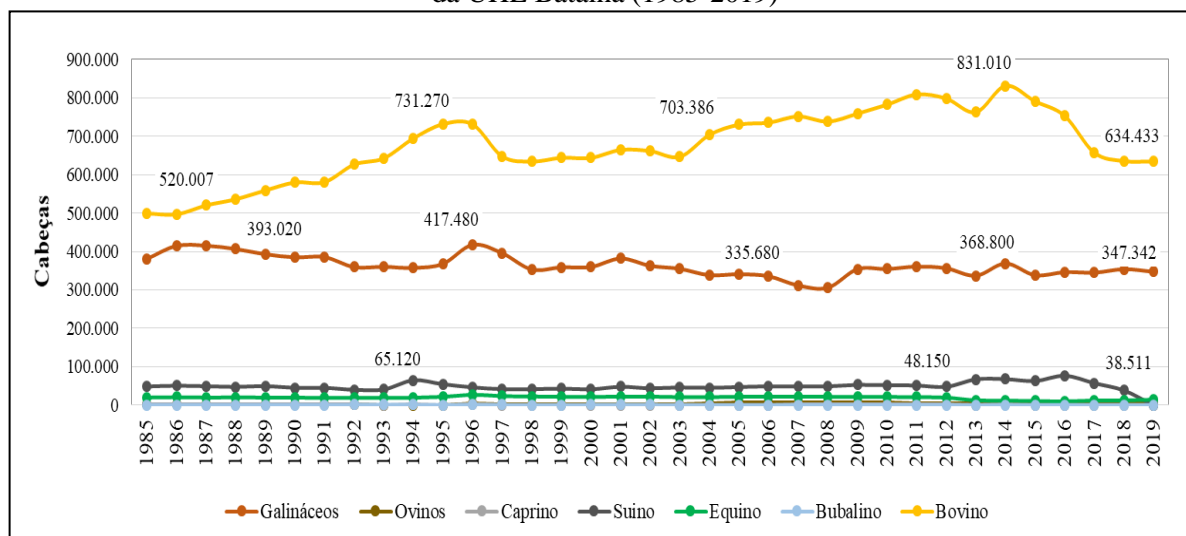
Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaías de Souza.

Observou-se, a partir dos anos de 2013 e 2014, após o enchimento do reservatório da UHE Batalha, que há uma tendência de diminuição da produção da cana-de-açúcar e de milho, respectivamente. Entretanto, após 2016 ambas culturas agrícolas demonstram novo incremento da produção, sobretudo a cana-de-açúcar. Importante destacar uma discrepância entre os dados cartográficos do Mapbiomas e os censitários do SIDRA/IBGE, especialmente no tocante ao primeiro indicar o predomínio da soja na área de influência direta do reservatório da UHE

Batalha, ao passo que os dados do IBGE apontam para o predomínio, em termos de quantidade produzida, de cana-de-açúcar. Todavia, entende-se que o aumento da produção não deve ser diretamente relacionado ao aumento da área plantada, mas pela maior produtividade do cultivar, tendo em vista o uso de tecnologias e da irrigação mecanizada, por exemplo. Da mesma forma, também deve-se considerar que a AID de cada reservatório não compreendeu a toda extensão territorial dos municípios, assim, possivelmente, as áreas de plantio de cana-de-açúcar devem estar situadas fora da área considerada no estudo, ao passo que a parte do município compreendida pela área de influência direta deve concentrar a maior proporção das áreas destinadas ao cultivo de soja.

No tocante à dinâmica da quantidade de cabeça dos principais tipos de rebanhos existentes nos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha, o Gráfico 7 demarca a maior presença dos rebanhos bovino e de galináceos, com o primeiro apresentando um ligeiro aumento de 1985 a 2014, seguindo um decréscimo nos anos seguintes.

Gráfico 7 – Total dos tipos de rebanhos existentes nos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Batalha (1985-2019)



Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: Os autores.

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de reconhecimento (1:100.000) da AID do reservatório da UHE Itumbiara

A Figura 32 representa o mapa da cobertura e uso da terra na área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara referente ao ano de 1985, pela qual nota-se o predomínio de atividades antrópicas, perfazendo 66% da área em apreço, especialmente relacionadas às pastagens (56,1%). As coberturas vegetais e corpos hídricos representam 34% da área associado à Formação Florestal (18,8%), Corpos D'Água (10%) e Formação Savânica (4,5%). Dessa

forma, a área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara, desde o primeiro período de observação, encontrava-se bastante antropizada, diferentemente do que foi observado no contexto da AID Batalha, que em 1985 apresentava 66% da área revestida por coberturas vegetais naturais.

Neste ano de 1985, a agricultura, representada por outras lavouras temporárias ou pelo mosaico de agricultura e pastagem, perfaz cerca de 9,1% da área, estando a primeira classe situada principalmente na porção sudoeste da região, junto aos municípios de Araporã-MG e Tupaciguara-MG, e a segunda classe vislumbrada no contexto dos municípios de Uberlândia-MG e Araguari-MG, a sudeste. Por sua vez, as áreas de remanescentes da cobertura vegetal natural encontram-se esparsamente distribuídas na área em estudo, configurando fragmentos da cobertura vegetal natural.

A partir do mapa da cobertura e uso da terra da área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara para o ano de 2020 (Figura 33), percebe-se a manutenção do predomínio do uso da terra por pastagem, apesar de um pequeno decréscimo, para 44,6% do total da área em estudo. Por sua vez, as áreas ocupadas por agricultura triplicam na região, passando a representar 26,3% da área, com relação aos 9% em 1985 – isso ao serem consideradas as classes de cana, soja, café, outras lavouras temporárias e mosaico de agricultura e pastagem.

No que diz respeito às áreas agrícolas, o maior incremento é da classe de soja, que em 1985 representava apenas 0,1% da área, e, em 2020, passa a corresponder a 7,6%, sendo tais áreas vislumbradas em manchas situadas especialmente na porção sul da região, nos municípios de Araporã-MG, Tupaciguara-MG, Uberlândia-MG e Araguari-MG, mas também nos municípios de Buriti Alegre-GO, a noroeste, além de Catalão-GO e Ouidor-GO, a nordeste.

Assim, diferentemente do que ocorre no contexto da UHE Batalha, na qual observa-se uma acentuada dinâmica da paisagem, com destituição das coberturas vegetais naturais para implementação das atividades agrícolas, principalmente para o cultivo de soja, na área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara percebe-se um uso já consolidado das terras desde o período inicial de análise (1985), com predomínio de pastagens extensivas voltadas principalmente à manutenção do rebanho bovino, sendo esse um dos principais rebanhos nos municípios situados na referida AID.

Figura 32 – Mapa da cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Itumbiara (1985)

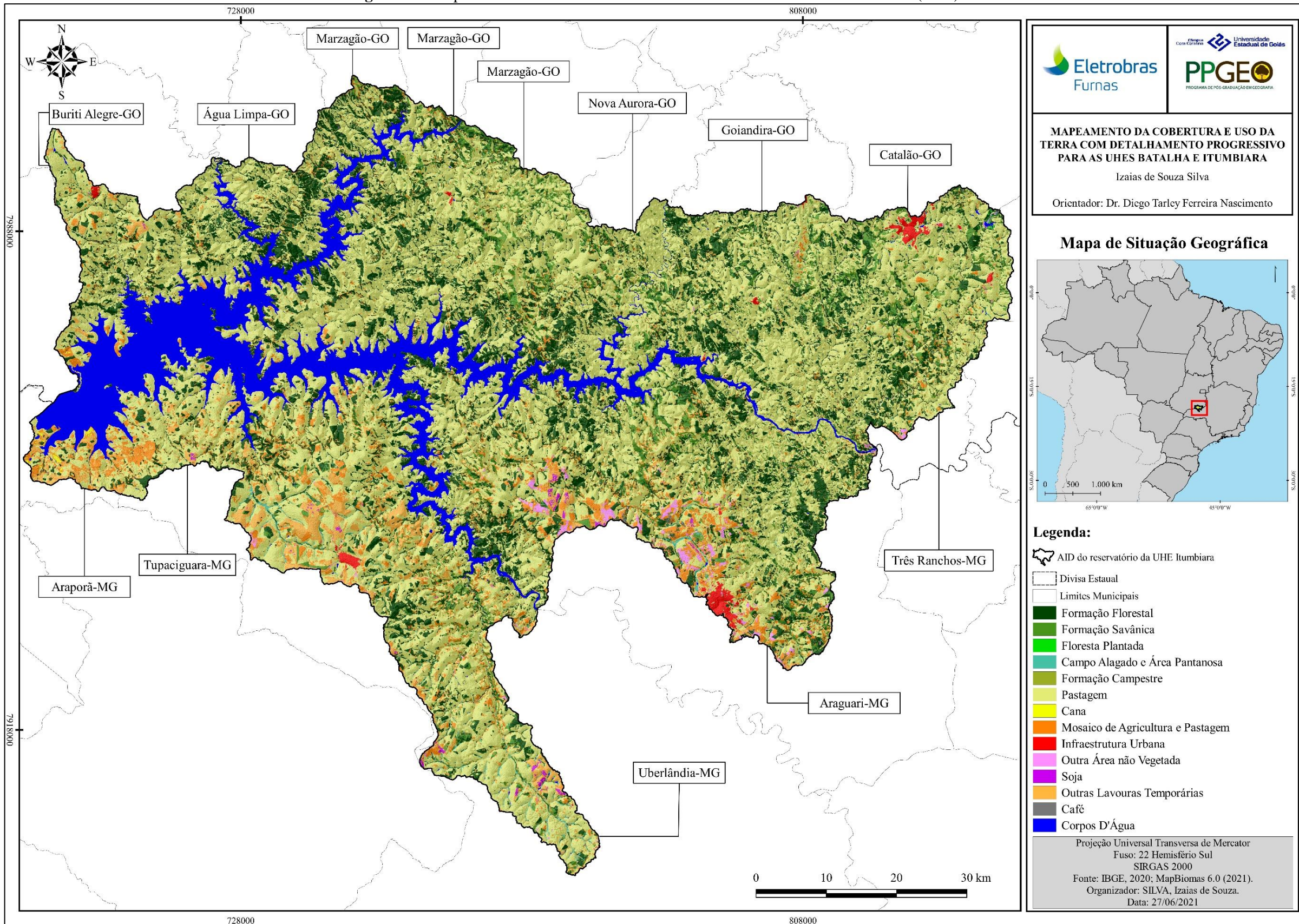
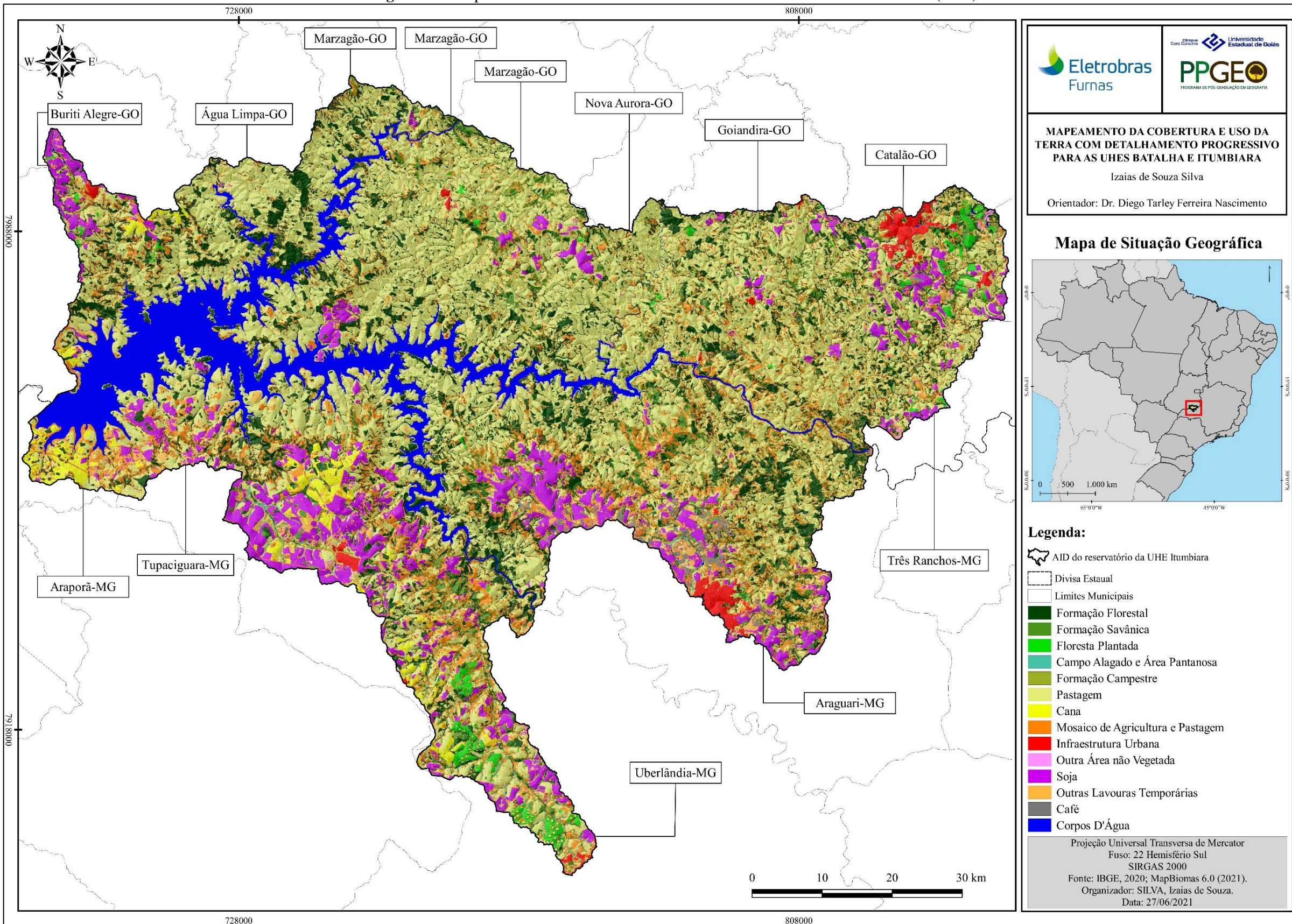


Figura 33 – Mapa da cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Itumbiara (2020)

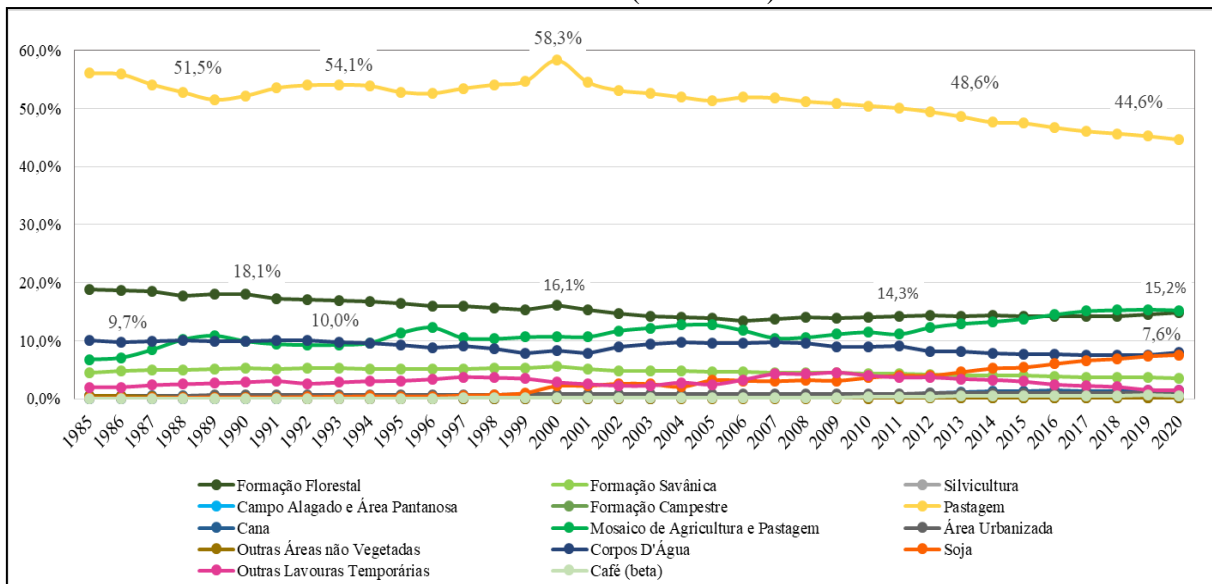


Fonte: MapBiomias 6.0 (2021); SRTM. Org.: SLVA, Izaías de Souza. Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/itumb-uso-2020>

Como reflexo desse aspecto, percebe-se uma sutil diminuição das coberturas vegetais, uma vez que, por exemplo, as Formações Florestais diminuem de 18,8% para 14,8% da área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara – Gráfico 8. Dessa forma, apesar da maior ocorrência da Formação Florestal em Itumbiara, com relação à Batalha; de igual modo, há também a redução e descaracterização dessa fitofisionomia, tornando-se fragmentos em áreas esparsamente descontínuas, sendo oportuno destacar a importância de uma avaliação/monitoramento das mesmas, considerando a problemática de sua fragmentação e serviço ecossistêmico.

Apesar da irrisória mudança, e considerando também a oscilação ao longo dos anos, convém também destacar a diminuição da proporção ocupada pela classe de corpos hídricos na área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara, de 10,1%, em 1985, para 8,1%, em 2020 – o que pode apontar para redução da área que compreende o reservatório da UHE Itumbiara, uma vez que o mapeamento foi realizado aproximadamente no mesmo período do ano, diante de um contexto nacional de diminuição dos níveis de água dos reservatórios de Usinas Hidrelétricas, associado pela redução das chuvas nos últimos anos, conforme apontado por Gomes (2020). Nesse sentido, destaca-se a importância de um monitoramento.

Gráfico 8 – Porcentagem ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra na AID do reservatório da UHE Itumbiara (1985-2020)



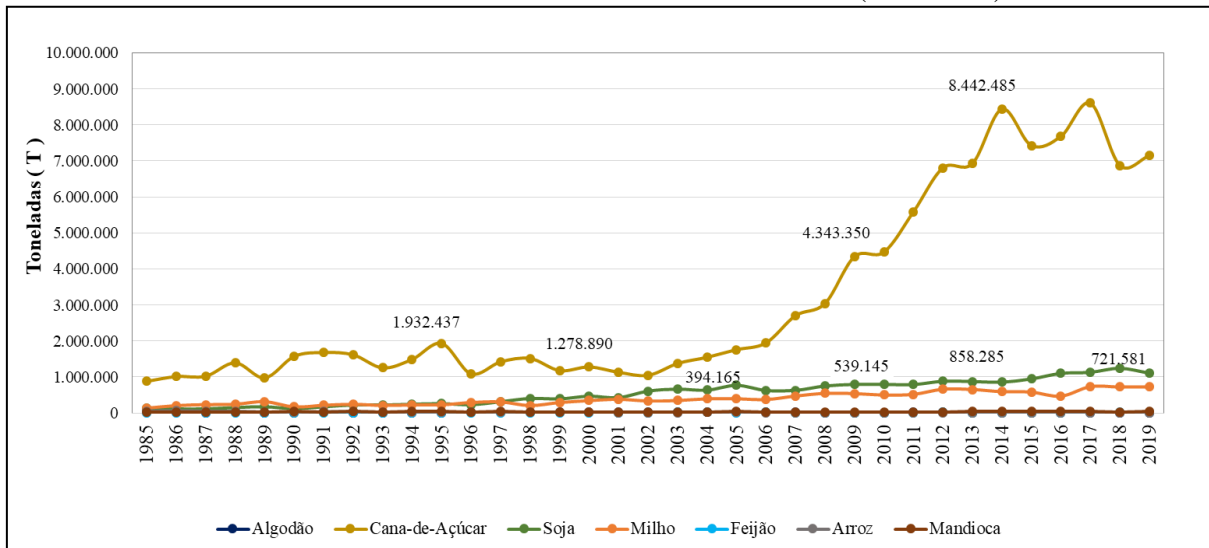
Fonte: MapBiomias 6.0 (2021). Org.: SILVA, Izaias de Souza.

A partir do Gráfico 9 observa-se que, das principais culturas agrícolas produzidas nos municípios localizados na área de influência direta do reservatório da UHE Itumbiara, destacam-se a cana-de-açúcar, a soja e o milho. A cana-de-açúcar é produzida em maior escala,

com sucessiva elevação, especialmente após o ano de 2004, sendo cultivada de maneira intensiva e numa menor área que as demais culturas temporárias. Por este motivo, especificamente, essa classe não é tão representativa nos mapeamentos de cobertura e uso das terras.

De acordo com os dados do SIDRA-IBGE (Gráfico 10), no que diz respeito aos rebanhos dos municípios situados na AID Itumbiara, o predomínio é de efetivo rebanho bovino, em consonância com a maior proporção e manutenção das áreas de pastagens. Todavia, há um nítido incremento do efetivo de rebanho suíno, especialmente entre 1998 e 2010, com sucessivo decréscimo nos anos seguintes. A criação de galináceos também é bastante expressiva nesses municípios, com sucessivo aumento no período analisado.

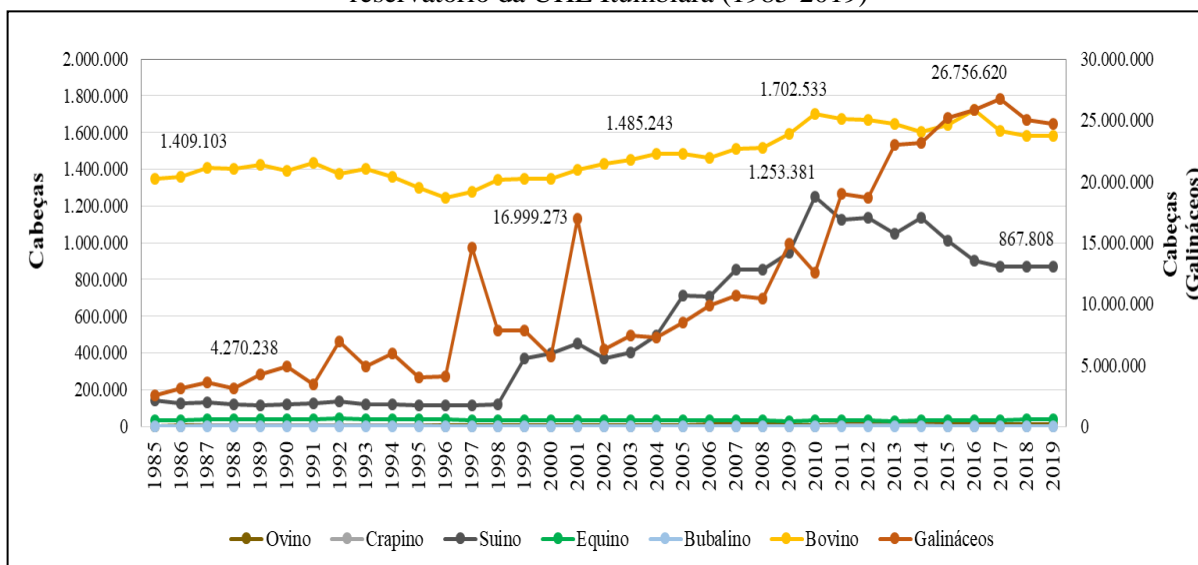
Gráfico 9 – Quantidade produzida das principais culturas agrícolas desenvolvidas nos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Itumbiara (1985-2019)



Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Como supracitado, o Gráfico 10 mostra a dinâmica dos rebanhos existentes nos municípios total e parcialmente situados na AID do reservatório da UHE Itumbiara, sendo o predomínio do efetivo rebanho bovino, seguido de galináceos e suíno. Importante destacar a relação entre o uso da terra e esses rebanhos, não só pela relação do rebanho bovino com as áreas de pastagens, uso predominante; como também de galináceos e suínos com as culturas de grãos, evidenciada pela produção de soja, milho, sorgo, entre outras.

Gráfico 10 – Total dos tipos de rebanhos existentes nos municípios localizados na AID do reservatório da UHE Itumbiara (1985-2019)



Fonte: SIDRA-IBGE. Org.: SILVA, Izaías de Souza.

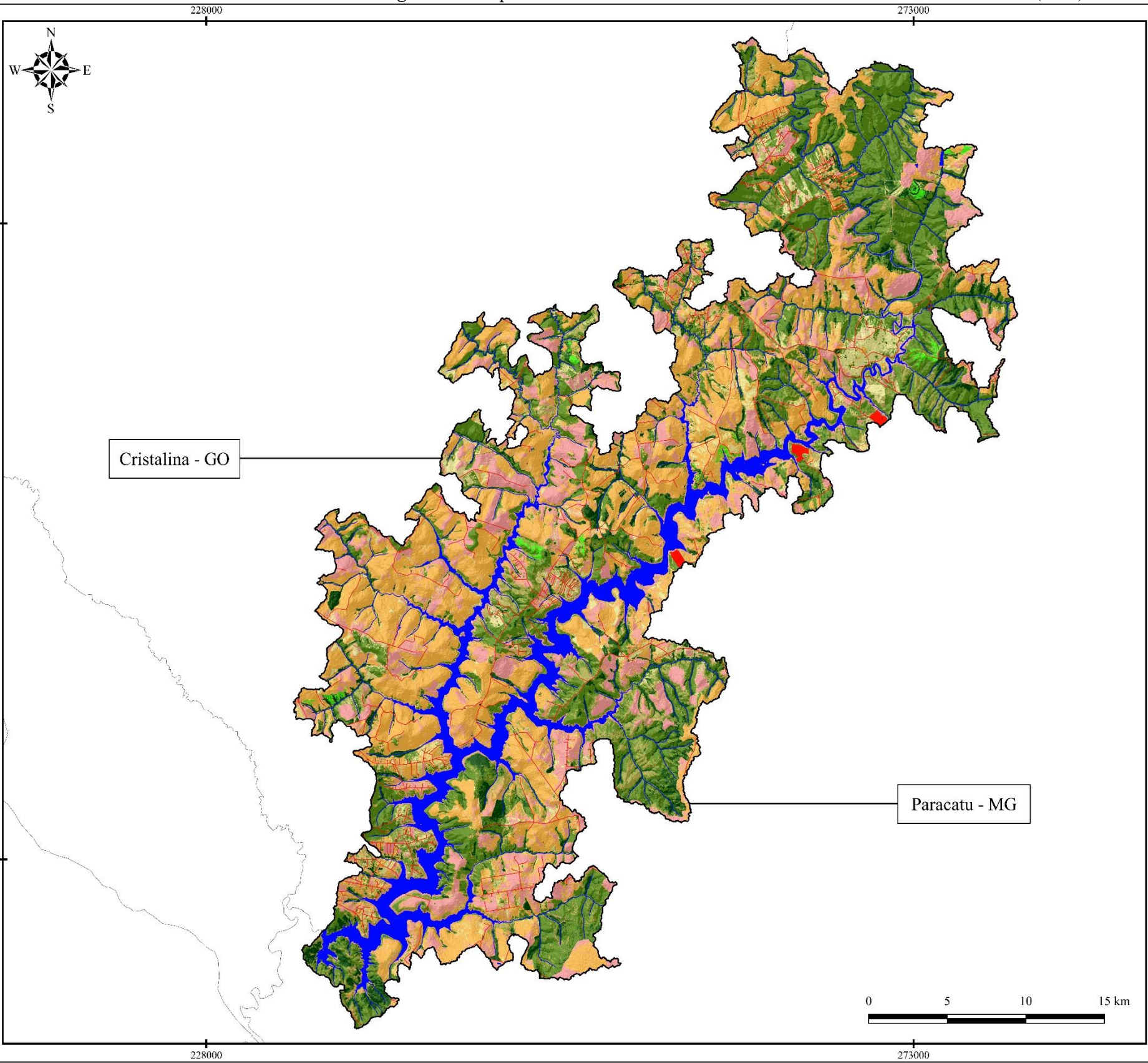
OBS.: os dados do quantitativo de Galináceos foram representados no segundo eixo do Gráfico, devido a discrepâncias em relação aos demais tipos de rebanhos.

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de semidetalhe (1:25.000) para o LBCD do reservatório da UHE Batalha

Conforme descrito anteriormente, a partir do processamento das imagens registradas pelo sensor *Multispectral Instrument* (MSI) a bordo do satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 m, implementou-se o mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de semidetalhe (1:25.000) para os Limites das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) do reservatório da UHE Batalha (Figura 34). Pela própria plataforma *Google Earth Engine*, extraiu-se a acurácia global da classificação, como supracitado, compreendendo o valor de 0,96, ao passo que o coeficiente *Kappa* foi de 0,95, evidenciando um excelente desempenho por parte do algoritmo classificador (COHEN, 1960).

A Tabela 1 demonstra a matriz de confusão oriunda da classificação, que retrata que, de 292 pixels amostrais de validação, 279 (valores da diagonal) mostraram concordância entre o que foi classificado e o que foi observado do conjunto de dados de referência.

Figura 34 – Mapa da cobertura e uso da terra do LBCD do reservatório da UHE Batalha (2021)



MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA COM DETALHAMENTO PROGRESSIVO PARA AS UHES BATALHA E ITUMBIARA
 Izaías de Souza Silva
 Orientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento



- Legenda:**
- BCD do reservatório da UHE Batalha
 - Divisas Estaduais
 - Limites Municipais
 - Malha Viária
 - Rede Hidrográfica
- Classes de Cobertura e uso da terra**
- Formações Florestais
 - Formações Savânicas
 - Formações Campestres
 - Silvicultura
 - Agricultura
 - Pastagem
 - Solo Exposto
 - Corpos D'Água
 - Área Construída

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Fuso: 23 Hemisfério Sul
 SIRGAS 2000
 Fonte: IBGE, 2020; Sentinel 2 (2021).
 Organizador: SILVA, Izaías de Souza.
 Data: 31/12/2021

Tabela 1 – Matriz de Confusão oriunda da classificação da cobertura e uso a terra no LBCD do reservatório da UHE Batalha

	FF	FS	FC	AG	ÁG	SE	SI	PA	
FF	80	0	0	0	0	0	1	0	81
FS	3	36	0	1	0	0	0	0	40
FC	0	0	7	0	0	0	0	0	7
AG	0	1	0	61	0	0	0	0	62
ÁG	0	0	0	0	4	0	0	0	4
SE	0	0	0	0	0	41	0	0	41
SI	5	0	0	1	0	0	45	0	51
PA	0	0	1	0	0	0	0	5	6
Total	88	37	8	63	4	41	46	5	292

Obs. FF = Formações Florestais, FS = Formações Savânicas, FC = Formações Campestres, AG = Agricultura, ÁG = Corpos D'Água, SE = Solo Exposto, SI = Silvicultura e PA = Pastagem. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

A Tabela 2 aponta para o predomínio de usos antrópicos (53,3%), com significativa presença de atividade agrícola (30,3%) e de solo exposto (15,9%) na LBCD do reservatório da UHE Batalha. As áreas de solo exposto, em sua maioria, configuram áreas em pousio, isto é, áreas onde a colheita das culturas já foi efetivada e as terras estão sendo preparadas para novo plantio, compreendendo, assim, áreas de uso agrícola, com mudanças interanuais. Nesse mesmo sentido, parte significativa das áreas agrícolas compreendem áreas onde a agricultura ocorre por irrigação, mediante a técnica de irrigação por pivô central.

Tabela 2 – Quantitativo das classes temáticas do mapeamento da cobertura e uso da terra no LBCD do reservatório da UHE Batalha (2021)

Classes	Área (Km ²)	Área (%)
Formações Florestas	89,2	8,0
Formações Savânicas	286,5	25,9
Formações Campestres	59,1	5,3
Agricultura	336,0	30,3
Corpos D'Água	82,9	7,5
Solo Exposto	176,7	15,9
Silvicultura	4,6	0,5
Pastagem	70,6	6,4
Área Construída	1,85	0,2
Total	1.108,0	100

Org.: SILVA, Izaias de Sozua.

A cobertura vegetal representa 46,7% dos LBCD do reservatório da UHE Batalha, associada principalmente às Formações Savânicas (25,9%), vislumbradas sob a forma de manchas a sudeste e norte, com presença irrisória de fragmentos de Formações Florestais (8%)

e Campestres (5,3%) – o que demanda atenção com relação à condição de proteção no entorno do reservatório de Batalha.

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de semidetalhe (1:25.000) para o LBCD do reservatório da UHE Itumbiara

Para o contexto do Limite das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) do reservatório da UHE Itumbiara, a acurácia geral da classificação foi de 0,95 e o coeficiente *Kappa* foi de 0,94, retratando um bom desempenho do algoritmo classificador (COHEN, 1960), assim como visto para o mapeamento da LBCD Batalha.

A partir da Tabela 3 pode-se observar a matriz de confusão resultante da classificação da LBCD Itumbiara, a qual indica que, do total de 560 pixels inspecionados para validação, 531 mostraram coerência.

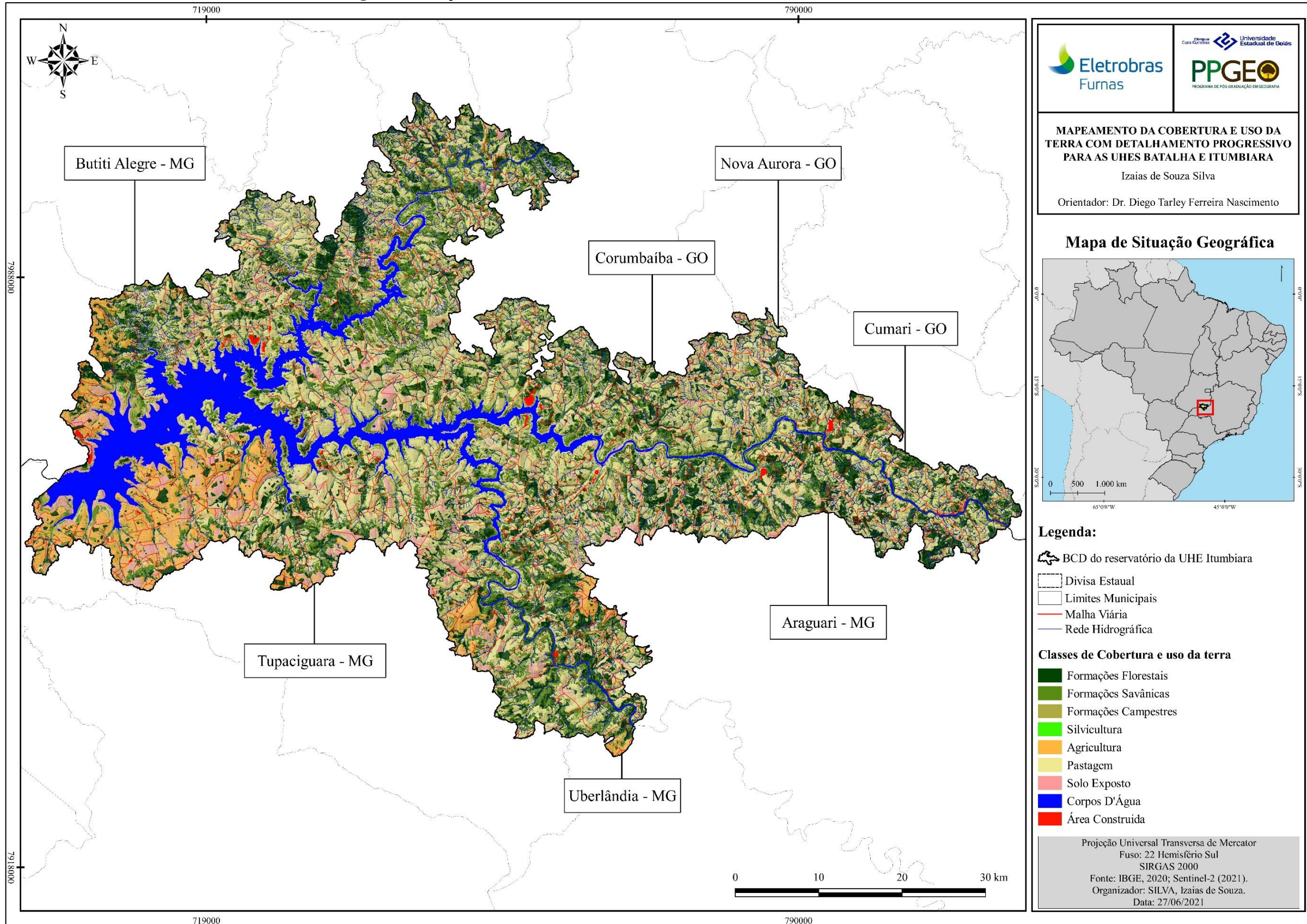
Enquanto há uma homogeneidade na condição de ocupação e apropriação da LBCD do reservatório da UHE Batalha (Figura 34), com predomínio de agricultura, solo exposto e formação savânica, que juntas representam 72,1% da área em apreço, no caso da LBCD Itumbiara constata-se maior heterogeneidade (Figura 35), com manchas de áreas agrícolas concentradas na porção oeste, sudoeste e sul da região, fragmentos de cobertura vegetal distribuídas por praticamente toda a área, intercaladas com pequenas áreas revestidas por pastagem e solo exposto.

Tabela 3 – Matriz de Confusão oriunda da classificação da cobertura e uso a terra no LBCD do reservatório da UHE Itumbiara

	FF	FS	FC	AG	ÁG	SE	SI	PA	
FF	140	1	0	5	0	0	0	1	147
FS	2	27	1	1	0	0	0	4	35
FC	0	1	1	0	0	0	0	1	3
AG	3	0	0	137	0	0	0	2	142
ÁG	0	0	0	0	15	0	0	0	15
SE	0	0	0	0	0	99	0	0	99
SI	1	0	0	0	0	0	23	0	24
PA	3	1	0	2	0	0	0	89	95
Total	149	30	2	145	15	99	23	97	560

Obs. FF = Formações Florestais, FS = Formações Savânicas, FC = Formações Campestres, AG = Agricultura, ÁG = Corpos D'Água, SE = Solo Exposto, SI = Silvicultura e PA = Pastagem. Org.: SILVA, Izaias de Souza.

Figura 35 – Mapa da cobertura e uso da terra do LBCD do reservatório da UHE Itumbiara (2021)



No que diz respeito à proporção das classes de cobertura e uso da terra no LBCD Itumbiara, a Tabela 4 indica predomínio de usos e atividades antrópicos (51,8%), especialmente pela pastagem (39,3%), com presença também de áreas com solo exposto (6,7%) e agrícolas (5,6%).

Tabela 4 – Quantitativo das classes temáticas do mapeamento da cobertura e uso da terra no LBCD do reservatório da UHE Itumbiara (2021)

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Formações Florestas	645,1	17,4
Formações Savânicas	723,3	19,5
Formações Campestres	74,0	2,0
Agricultura	208,4	5,6
Corpos D'Água	342,1	9,2
Solo Exposto	247,8	6,7
Silvicultura	0,1	0,003
Pastagem	1455,1	39,3
Área Construída	9,2	0,2
Total	3.705,0	100

Org.: SILVA, Izaias de Sozua.

Pouco menos da metade do LBCD Itumbiara é protegido por cobertura vegetal (48,2%), com maior presença de Formações Savânicas (19,5%) e Florestais (17,4%), e menor proporção de Formações Campestres (2%) – Tabela 4. É significativa também a proporção de área classificada com corpos d'água (9,2%), verificado também em Batalha, o que pode ser explicado pela oscilação que há do nível do reservatório entre as estações do ano e mesmo entre anos chuvosos e secos.

Assim como observa-se no contexto do LBCD do reservatório da UHE Batalha, as áreas de solo exposto em Itumbiara estão geralmente associadas a áreas agrícolas, especificamente, em estágio de preparo para novo plantio – ocorrendo também associadas a áreas de pastagens nas bordas do reservatório, onde há oscilação do nível do espelho d'água e, conseqüentemente, a exposição dos taludes.

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de detalhe (1:10.000) para o LBI do reservatório da UHE Batalha

A acurácia geral da classificação da cobertura e uso da terra no LBI do reservatório da UHE Batalha foi de 0,97 e o índice *Kappa* foi de 0,96, o que retrata desempenho adequado e bastante semelhante ao verificado na etapa anterior do mapeamento em detalhamento progressivo (nível de semidetalhe). Da mesma forma, a matriz de confusão representada pela Tabela 5, expressa que dos 77 pixels amostrais de validação, 75 mostraram concordância.

Tabela 5 – Matriz de Confusão oriunda da classificação da cobertura e uso a terra no LBI do reservatório da UHE Batalha

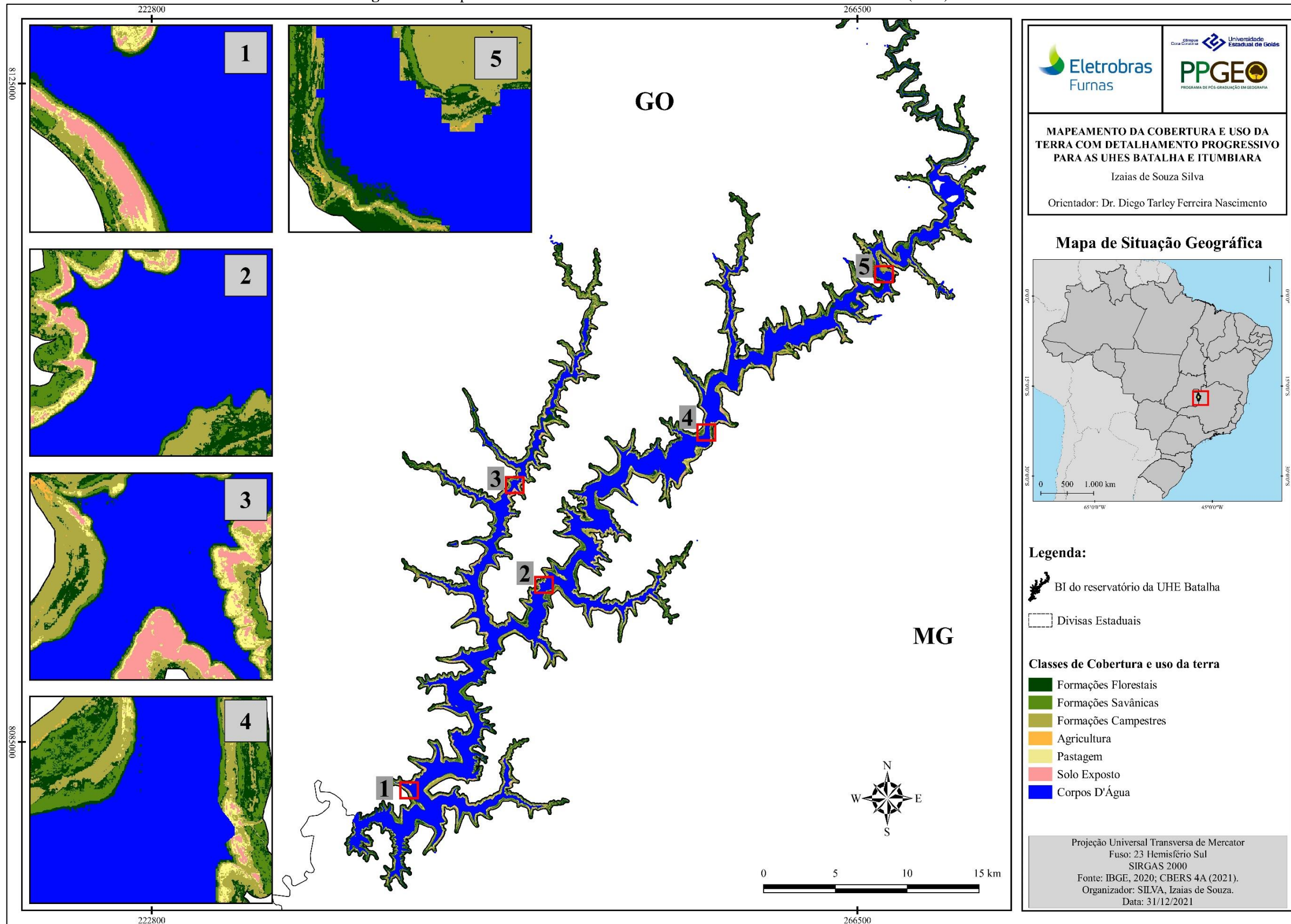
	FF	FS	FC	AG	ÁG	SE	PA	
FF	22	0	0	0	0	0	0	22
FS	0	8	0	0	0	0	0	8
FC	0	0	4	0	0	0	1	5
AG	0	0	1	10	0	0	0	11
ÁG	0	0	0	0	11	0	0	11
SE	0	0	0	0	0	14	0	14
PA	0	0	0	0	0	0	6	6
Total	22	8	5	10	11	14	7	77

Obs. FF = Formações Florestais, FS = Formações Savânicas, FC = Formações Campestres, AG = Agricultura, ÁG = Corpos D'Água, SE = Solo Exposto, SI = Silvicultura e PA = Pastagem. Org.: SILVA, Izaias de Souza

Para o recorte espacial do Limite da Borda Imediata (LBI), é importante observar o predomínio majoritário de coberturas naturais (Figura 36), representando 94,1% do LBI do reservatório da UHE Batalha (Tabela 6) – uma condição bem diferente do recorte espacial anterior, que contemplava o Limite das Bacias de Contribuição Direta (LBCD). Isso pode ser explicado pelo fato de que o LBI está associado uma faixa próxima ao reservatório, correspondente à Área de Preservação Permanente (APP), que legamente deve apresentar cobertura vegetal, inclusive, podendo sazonalmente ser ocupada por água - por conta da oscilação do nível do reservatório.

Dentre as coberturas vegetais, ao invés do predomínio de Formações Savânicas verificado na etapa anterior, nesta, referente ao LBI do reservatório da UHE Batalha, é constatada a maior presença de Formações Florestais (25,5%) e Campestres (24,8%) – o que também pode ser indicativo de este recorte espacial retratar o entorno imediato dos reservatórios.

Figura 36 – Mapa da cobertura e uso da terra do LBI do reservatório da UHE Batalha (2021)



Fonte: IBGE; NASADEM; CBERS 4-A. Org.: SILVA, Izaías de Souza. Obs.: para visualização e download com melhor resolução, acessar o link <https://abre.ai/batalha-lbi-2021>

Tabela 6 – Quantitativo das classes temáticas do mapeamento da cobertura e uso da terra no LBI do reservatório da UHE Batalha (2021)

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Formações Florestais	26,8	25,5
Formações Savânicas	18,2	15,3
Formações Campestres	29,5	24,8
Agricultura	0,9	0,8
Corpos D'Água	33,9	28,5
Solo Exposto	3,6	3,0
Pastagem	6,1	5,1
Total	119,0	100

Org.: SILVA, Izaias de Sozua.

A Figura 37 ilustra uma área revestida com vegetação campestre na LBI do reservatório da UHE Batalha (coordenadas planas X 271.452 m e Y 8.112.582 m, Fuso 23, Hemisfério Sul) que coincide com o que foi indicado pela classificação da imagem de satélite CBERS 4A, podendo servir como validação e verificação da exatidão da classificação.

Figura 37 – Área revestida com vegetação campestre na LBI do reservatório da UHE Batalha



Fonte: Monique Souza e Elizon Dias Nunes (2021)

No que diz respeito aos usos antrópicos, a Figura 37 retrata uma área agrícola, situada dentre as coordenadas planas X 262.247 m e Y 8.116.944 m, Fuso 23, Hemisfério Sul, que coincide com a classe de solo exposto identificada na classificação da imagem de satélite CBERS 4A. Como foi abordado anteriormente, as áreas mapeadas como solo exposto dizem

respeito a áreas de agricultura que estão preparadas para novo plantio. Portanto, também pode representar a qualidade do resultado da classificação nesta etapa de mapeamento em detalhe.

Figura 38 – Área agrícola na LBI do reservatório da UHE Batalha



Fonte: Monique Souza e Elizon Dias Nunes (2021)

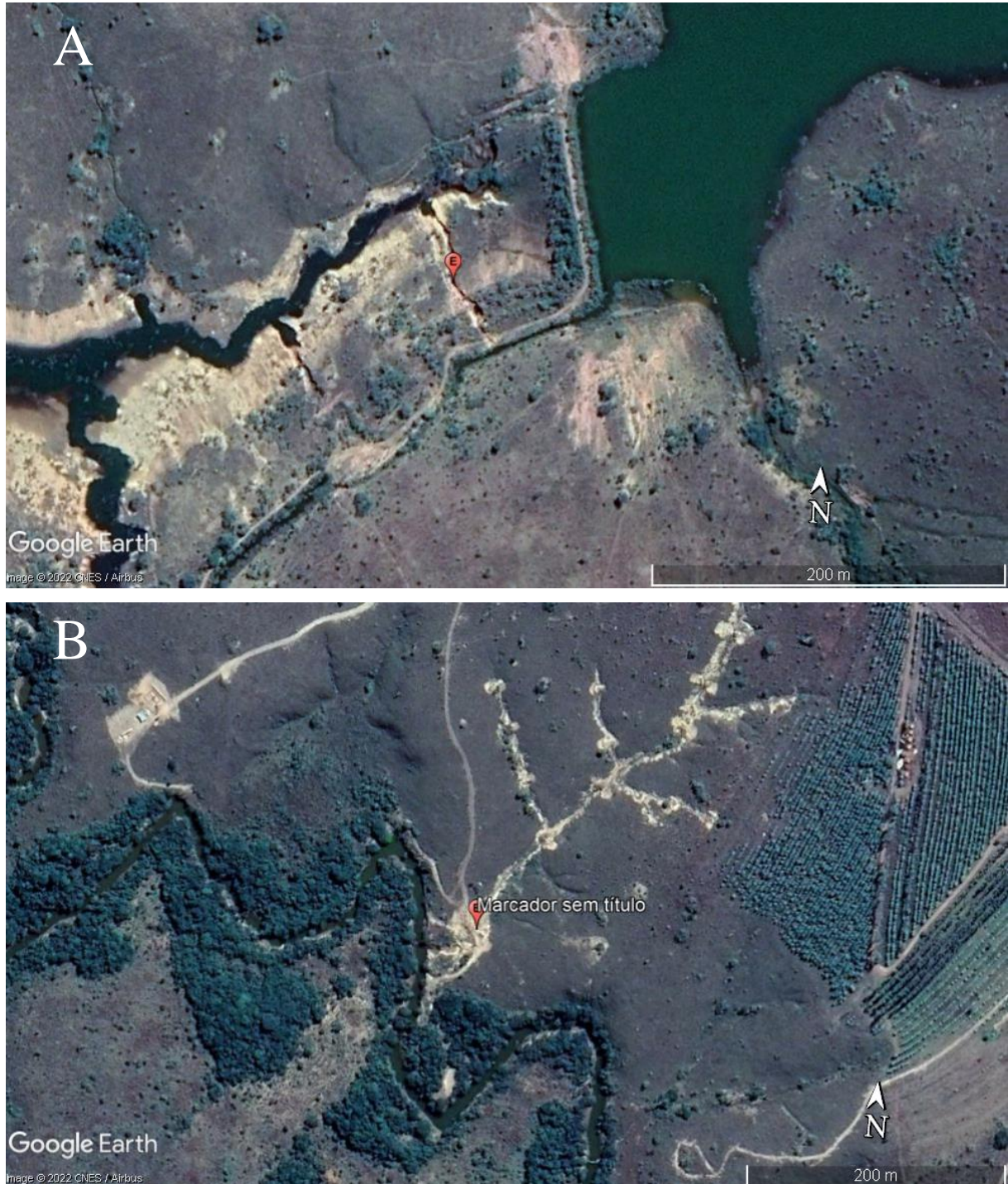
Assim como verificado também na etapa anterior, nessa faixa relativa ao LBI Batalha há uma considerável proporção de corpos d'água (28,5%), que se refere ao recorte espacial desta etapa, incluindo o espelho d'água do reservatório, ocupando expressiva área, em relação à faixa da borda imediata exposta sazonalmente.

Dentre os usos antrópicos, neste recorte do LBI, percebe-se presença, mesmo que irrisória, de áreas de pastagens (5,1%), solo exposto (3%) e agricultura (0,8%). Conforme retratado anteriormente, esta área representa a borda imediata do reservatório que, legamente, deveria ser revestida por vegetação. Todavia, a presença do reservatório induz a implantação de atividades antrópicas, sejam agropecuárias, e mesmo de infraestrutura de casas, chacaras e estradas.

Como resposta pelo desmatamento e incorporação de usos antrópicos, em tais classes pode ser constatada a presença de processos erosivos, conforme ilustrado pela Figura 39, que retratam erosões lineares no LBI do reservatório da UHE Batalha. Tanto a primeira erosão (Figura 39-A), registrada no município de Paracatu-MG (nas coordenadas planas X 267.430 m e Y 8.110.698 m, Fuso 23, Hemisfério Sul), quanto a segunda (Figura 39-B), verificada em Cristalina-GO (nas coordenadas planas 259.162 m e 8.118.013 m, Fuso 23, Hemisfério Sul),

encontram-se associadas a áreas classificadas como solo exposto, com presença de cobertura vegetal campestre no entorno.

Figura 39 - Erosões lineares verificadas no LBI do reservatório da UHE Batalha



Fonte: Google Earth (2021)

Mapeamento da cobertura e uso da terra em nível de detalhe (1:10.000) para o LBI do reservatório da UHE Itumbiara

O mapa de cobertura e uso da terra em nível de detalhamento para o LBI do reservatório da UHE Itumbiara é representado pela Figura 40. A classificação apresentou acurácia global de 0,91 e o índice *Kappa* de 0,89, expressando um ótimo desempenho. A matriz de confusão (Tabela 7) também comprova a qualidade da classificação, tendo em vista que, dos 147 pixel amostrais, 133 indicaram concordância.

Tabela 7 – Matriz de Confusão oriunda da classificação da cobertura e uso a terra no LBI do reservatório da UHE Itumbiara

	FF	FS	FC	AG	ÁG	SE	PA	
FF	31	2	0	1	0	0	0	34
FS	7	3	0	0	0	0	0	10
FC	0	1	4	0	0	0	1	6
AG	0	0	2	15	0	0	0	17
ÁG	0	0	0	0	34	0	0	34
SE	0	0	0	0	0	37	0	37
PA	0	0	0	0	0	0	9	9
Total	38	6	6	18	34	37	10	147

Obs. FF = Formações Florestais, FS = Formações Savânicas, FC = Formações Campestres, AG = Agricultura, ÁG = Corpos D'Água, SE = Solo Exposto, SI = Silvicultura e PA = Pastagem. Org.: SILVA, Izaias de Souza

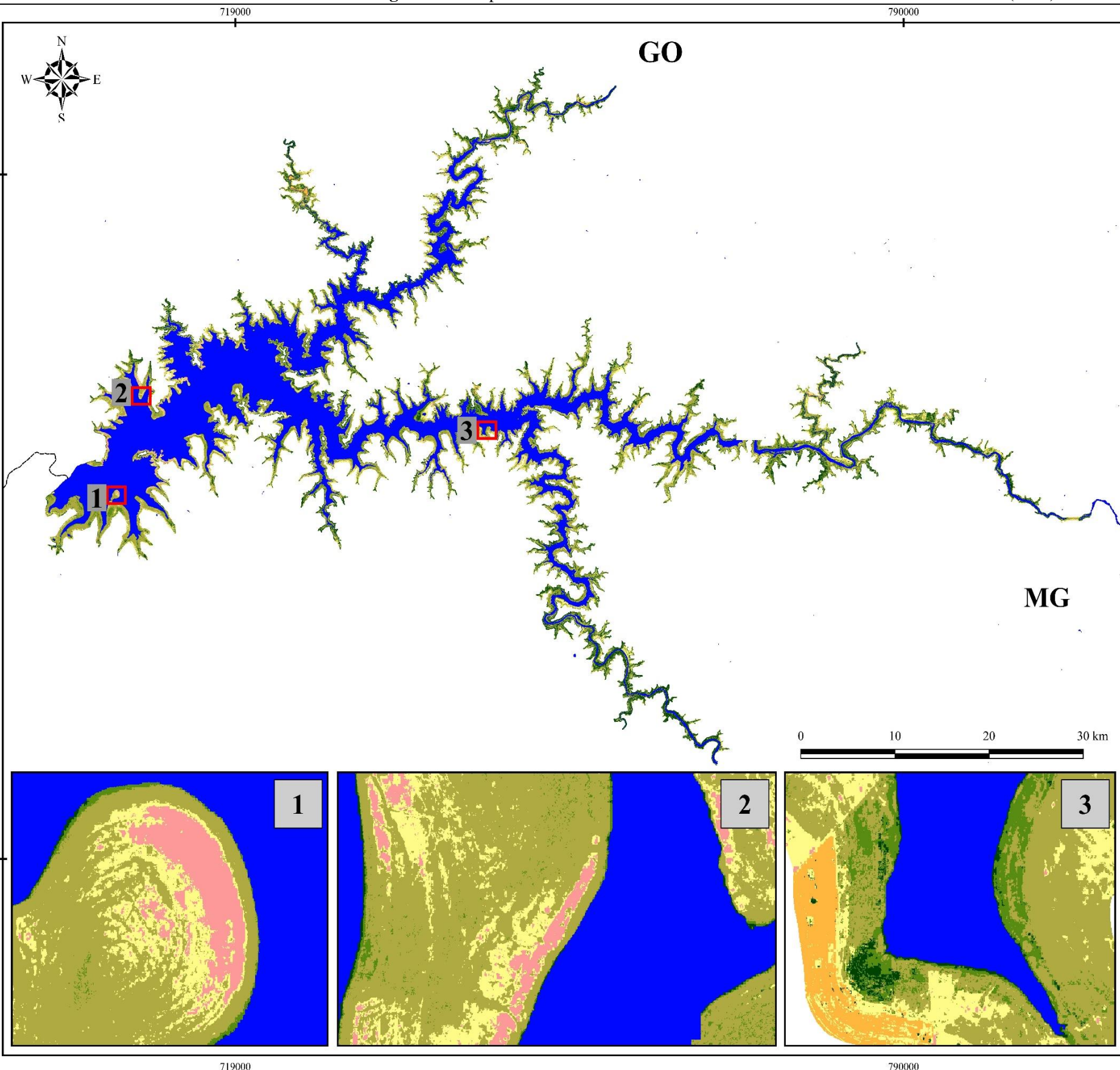
Da mesma forma que em Batalha, o LBI do reservatório da UHE Itumbiara passou a retratar maior proporção de coberturas vegetais (80,4%), condição diferente do recorte espacial utilizado na etapa anterior (LBCD) – vide Tabela 8. Este aspecto é, conforme explicado anteriormente, reflexo do recorte espacial utilizado nesta etapa, por estar associado ao entorno imediato nos reservatórios, conseqüentemente, à Área de Preservação Permanente (APP).

Tabela 8 – Quantitativo das classes temáticas do mapeamento da cobertura e uso da terra no LBI do reservatório da UHE Itumbiara (2021)

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Formações Florestais	93,3	16,6
Formações Savânicas	84,7	15,0
Formações Campestres	171,6	30,5
Agricultura	8,4	1,5
Corpos D'Água	103,1	18,3
Solo Exposto	11,5	2,0
Pastagem	90,5	16,1
Total	563,0	100

Org.: SILVA, Izaias de Sozua.

Figura 40 – Mapa da cobertura e uso da terra do LBI do reservatório da UHE Itumbiara (2021)



Eletrobras Furnas
Universidade Estadual de Goiás
PPGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA COM DETALHAMENTO PROGRESSIVO PARA AS UHES BATALHA E ITUMBIARA
Izaias de Souza Silva
Orientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento



Legenda:
BI do reservatório da UHE Itumbiara
Divisa Estadual

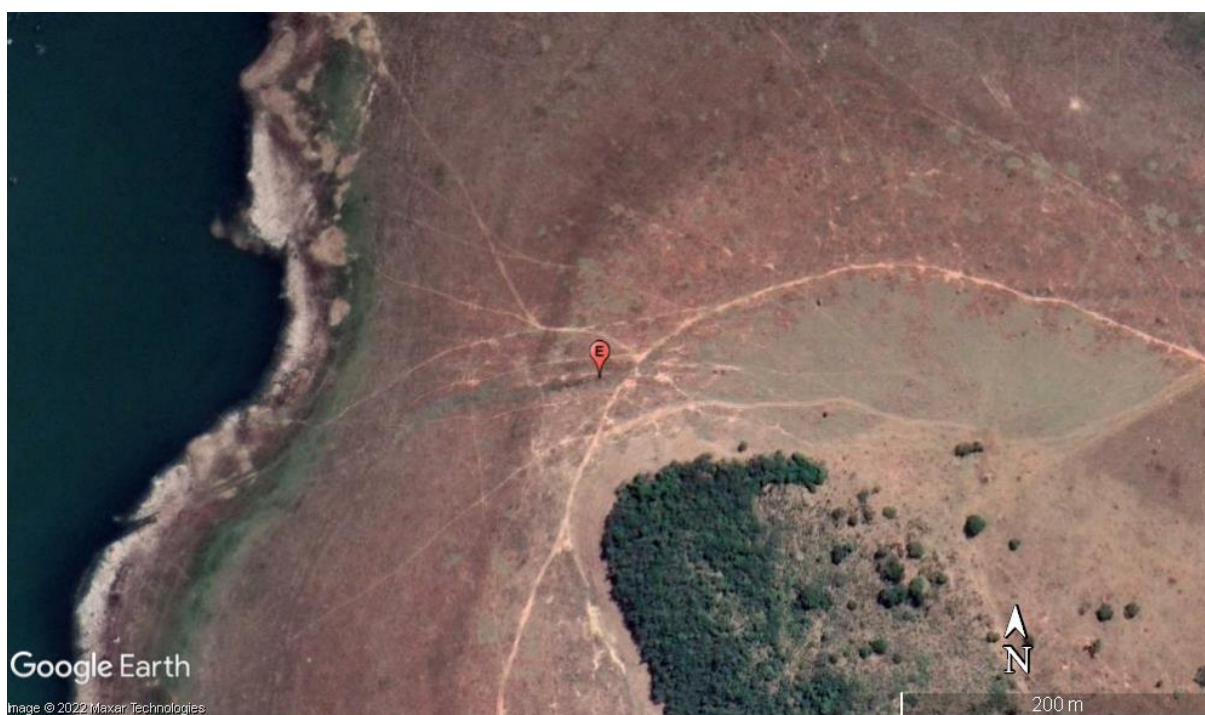
- Classes de Cobertura e uso da terra
- Formações Florestais
 - Formações Savânicas
 - Formações Campestres
 - Agricultura
 - Pastagem
 - Solo Exposto
 - Corpos D'Água

Projeção Universal Transversa de Mercator
Fuso: 22 Hemisfério Sul
SIRGAS 2000
Fonte: IBGE, 2020; CBERS 4A.
Organizador: SILVA, Izaias de Souza.
Data: 31/12/2021

Assim como também ocorrido para Batalha, no LBI do reservatório da UHE Itumbiara houve maior proporção de Formações Campestres (30,5%) e Florestais (16,6%), enquanto que na etapa anterior o predomínio era de Formações Savânicas. De mesma forma que em Batalha, constata-se também uma considerável proporção de corpos d'água (18,3%).

Todavia, as áreas ocupadas por pastagens têm uma maior ocorrência na LBI do reservatório da UHE Itumbiara (16,1%), em comparação à de Batalha (5,1%) – expressando uma maior conversão das Áreas de Preservação Permanente para usos antrópicos, o que merece a devida atenção. Essa questão pode ser demonstrada pela presença de processos erosivos em áreas mapeadas como solo exposto, com presença tanto de áreas de agricultura quanto de pastagem no entorno, exemplificados pela erosão linear indicada pela Figura 41, a seguir.

Figura 41 - Erosão linear verificada no LBI do reservatório da UHE Itumbiara



Fonte: Google Earth (2021)

A presença de processos erosivos, tanto no caso da LBI da UHE Batalha, quanto da LBI da UHE Itumbiara, geralmente esteve associada às classes de solo exposto, agricultura ou pastagem, retratando que tais áreas representam uma grande preocupação, não apenas por serem áreas que deveriam apresentar cobertura vegetal natural, mas, especialmente, por demonstrarem processos de degradação ambiental nocivos para os empreendimentos hidrelétricos – tendo em vista o aporte de sedimentos e o assoreamento dos reservatórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o ensejo de prover insumos analíticos para o reconhecimento da dinâmica de ocupação e da condição atual de apropriação do entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas (UHE), no presente trabalho foi implementada uma proposta de mapeamento em detalhamento progressivo, com etapas sucessivas e complementares, que retratam escalas e recortes espaciais e temporais distintos, sob o aporte de dados cartográficos, censitários e satelitários de fontes secundárias e primárias.

Inicialmente, vale destacar não ser uma abordagem inédita, tendo sido o método de detalhamento progressivo apresentado inicialmente por Cerri, Silva e Augusto Filho (1996) e detalhado por Zaine (2000), no âmbito de mapeamentos geológico-geotécnicos. Todavia, ao escopo do presente trabalho foi adequada a abordagem para a aplicação em mapeamento de cobertura e uso da terra e para o contexto dos reservatórios de UHE, tendo como estudo de caso, o entorno das UHEs Batalha e Itumbiara. Esta aplicação em abordagem distinta mostrou-se exequível, tendo em vista os procedimentos metodológicos realizados nesta pesquisa.

Dessa forma, na primeira etapa, em nível de reconhecimento e escala 1:100.000, tendo como base o recorte espacial das Áreas de Influência Direta (AID) do reservatório das UHE, foram utilizados dados cartográficos e censitários de fontes secundários para reconhecimento da situação pretérita e mais atual da apropriação do espaço, tendo como base os mapeamentos anuais de cobertura e uso das terras do Projeto Mapbiomas e os dados socioeconômicos e agropecuários da Plataforma SIDRA/IBGE, para o recorte temporal de 1985 a 2020.

Os dados apresentados nesta etapa evidenciaram uma nítida dinâmica da cobertura e do uso das terras na AID Batalha, com sucessiva supressão da cobertura vegetal para implantação de atividades agropastoris e, num segundo momento, especificamente após o ano de 1993, redução das áreas de pastagem para incorporação e maior incremento de áreas agrícolas. Essa dinâmica é corroborada pelos dados censitários agropecuários, que apontam para manutenção do efetivo de rebanhos bovino e suíno, e incremento da produção de culturas agrícolas, do milho, soja e, principalmente, cana-de-açúcar. Para o caso da AID Itumbiara, o que se percebe é o uso das terras já consolidados, com predomínio de pastagens, com tendência de aumento do efetivo de rebanho bovino e, principalmente, suíno e de galináceos.

A segunda etapa, em nível de semidetalhe e escala 1:25.000, contemplou o recorte espacial do Limite das Bacias de Contribuição Direta (LBCD) dos reservatórios das UHE em estudo, e compreendeu o processamento digital de imagens do satélite Sentinel-2 de junho de 2021, com resolução espacial de 10 m, com a incorporação de índices espectrais e de arquivos vetorizados manualmente, para maior detalhamento.

No LBCD do reservatório da UHE Batalha, o predomínio ainda foi de áreas de agricultura (30,3%), todavia, percebe-se neste recorte espacial uma maior presença de Formações Savânicas (25,9%) e também de solo exposto (15,9%). No caso do LBCD do reservatório da UHE Itumbiara, constata-se a manutenção do predomínio de pastagens (39,3%), entretanto, com maior presença de Formações Savânicas (19,5%) e Florestais (17,4%) neste recorte espacial, enquanto que na etapa anterior a segunda classe mais expressiva era a agricultura. Tais mudanças com relação à etapa anterior de mapeamento em nível de reconhecimento são lógicas e eram esperadas, tendo em vista a alteração do recorte espacial considerado nesta etapa de mapeamento em nível de semidetalhe.

Na terceira e última etapa do mapeamento em detalhamento progressivo, em nível de detalhe e escala 1:10.000, foi considerado o recorte dos Limites da Borda Imediata (LBI) dos reservatórios das UHEs. Para tanto, foram processadas imagens do satélite CBERS 4A, com a fusão da banda pancromática para alcançar a resolução espacial de 2 m e o nível de detalhamento almejado nesta etapa.

Uma mudança substancial e significativa foi verificada nesta etapa do mapeamento, com relação à anterior, tendo em vista o predomínio majoritário de coberturas vegetais nos LBI dos reservatórios da UHE Batalha e Itumbiara, em termos de 94,1 e 80,4%, respectivamente. Essa condição pode ser explicada pelo fato do recorte do LBI retratar a faixa próxima ao próprio reservatório dos empreendimentos hidrelétricos, tendo vista constituírem Áreas de Preservação Permanente (APP), sazonalmente ocupadas por água, por conta da oscilação do nível do reservatório, que legalmente deve ser preservada, uma vez que isso auxilia na estabilidade do talude, na proteção do solo, na manutenção da própria vegetação e conseqüentemente da biodiversidade.

Dessa forma, por fazer uso de dados cartográficos, censitários e satelitários disponibilizados gratuitamente e ter empregado basicamente ambientes de processamento que são gratuitos (Qgis e *Google Earth Engine*), a referida proposta de mapeamento da cobertura e uso da terra em detalhamento progressivo se coloca como uma promissora metodologia de reconhecimento da dinâmica e de diagnóstico atual e detalhado da condição da ocupação e apropriação do entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas, com possibilidades para aplicações em outros empreendimentos hidrelétricos e mesmo para outros contextos espaciais e aplicações, com possibilidades de adequações e complementações diversas.

Todavia, é importante frisar que algumas atividades da pesquisa foram prejudicadas pelo contexto de distanciamento social imposto pela pandemia do novo coronavírus, sobretudo a pretensão de realização de atividades de campo para registro fotográfico e levantamento de

imagens aéreas, que serviriam à validação dos mapeamentos na terceira e última etapa, isto é, em nível de detalha. Dessa forma, como complementação à proposta, caso venha a ser aplicada ou adequada para outra localidade e/ou aplicação, recomenda-se a relevância da realização de atividades de campo, com registros de imagens e coleta de dados *in situ*.

Ainda, vale destacar que, mesmo com o processamento em nuvem, o resultado do processamento e classificação da imagem fusionada do satélite CBERS-4A, com 2 m de resolução espacial, gerou um arquivo extremamente grande e pesado, com cerca de 4 GB, o que dificultou a manipulação, análise, cálculo de área e elaboração do *layout*. Sobre este aspecto, recomenda-se que o recorte espacial para o nível de detalhamento seja menor, ou setorizado.

Por fim, destaca-se que os produtos analíticos derivados de mapeamentos da cobertura e uso da terra se destacam como importante insumo ao planejamento regional e ambiental. Doravante, uma proposta de detalhamento progressivo mostrou-se capaz de suprir com informações detalhadas e atuais, prognósticos e formulações de medidas de manejo e proteção do solo frente à desagregação e transporte de solo, com conseqüente deposição de sedimentos nos reservatórios das UHEs, processos esses que tendem a causar impactos negativos na vida útil dos sistemas e na geração de energia hidrelétrica.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.

ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; FERNANDES, A. E. Detecção de queimadas do Alto Paraguai através de dados do NOAA/AVHRR. In: **Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal**, Corumbá-MS, p. 117-132, 1995. Anais.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **Geological Survey Professional Paper**, n. 964. Washington: USGS, 1976.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. Assessment of Deforestation in Near Real Time Over Brazilian Amazon Using Temporal Fraction Images Derived From Terra MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 3, p. 315-318, 2005. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1468089>. Acesso em: 24 Dez. 2019.

ARAÚJO FILHO, M. da C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2007.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**. 1ª Edição. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 158p.

BATISTA, G. T. D.; DIAS, N. W. **Introdução ao Sensoriamento Remoto e Procoessamento de Imagens**, 2005. Disponível em: https://www.academia.edu/2497913/Apostila_INPE. Acesso em: Abr. 2021.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BORGES, Gustavo Marques; PACHÊCO, Admilson da Penha; SANTOS, Francisco Kennedy Silva dos. Sensoriamento Remoto: avanços e perspectivas. **Revista de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 267-292, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1468089>. Acesso em: 28 Dez. 2020.

BORGES, Guilherme de Freitas; RAJÃO, Raoni Guerra Lucas. Projeto Radam: (Re) Descobrir o Projeto de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento da Amazônia. **Revista FSA**, Teresina, v. 13, n. 6, art. 1, p. 03-17, 2016. Disponível em: <http://www.lagesa.org/wp-content/uploads/documents/Borges%20Rajao%202016%20RADAM.pdf>. Acesso em: 19 Mai. 2019.

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.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324#citeas>. Acesso em: 11 Mar. 2021.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; LELIS, A. C.; SALES, M. M.; MASCARENHA, M. M. D. A.; ANGELIM, R. R.; PEREIRA, L. M. **Erosão de borda de reservatório: cartilha do projeto de pesquisa “Monitoramento e estudo de técnicas alternativas na estabilização de processos erosivos em reservatórios de UEHs”**. GECOM/UFG, Goiânia-GO, vol. 1, 2015, 53p.

CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.) **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. 1ª ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2006. 499p.

CASTRO, I. E. O problema da escala. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Org.). **Geografia: conceitos e temas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E. (1996). Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e a proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., Rio de Janeiro, 1996. **Anais...**Rio de Janeiro, ABGE, v.2, p. 537-548.

CIHLAR, J; JANSEN, L. J. M. From Land Cover to Land Use: A Methodology for Efficient Land Use Mapping over Large Areas. **Professional Geographer**, v. 53, n. 2, p. 275-289, 2001. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/0033-0124.00285>. Acesso em: 01 Jan. 2020.

CLARCK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. **Remote Sensing for the Earth sciences**. New York: John Wiley e Sons. v.3, n.1, p. 3-59, 1999.

COELHO, J. O. M. **Mapeamento geológico-geotécnico pelo método de detalhamento progressivo: aplicação no planejamento e gestão de obras rodoviárias**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

COELHO, J. O. M. **Mapeamento geológico-geotécnico pelo método de detalhamento progressivo: aplicação no planejamento e gestão de obras rodoviárias**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C.; **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 101p.

DE JESUS, A. S.; SOUZA, M. S.; NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; DE CARVALHO, J. C. A influência de aspectos geomorfológicos, de cobertura do solo e climáticos no surgimento e evolução de processos erosivos no entorno de reservatório. In:

SALES, M. M.; CARVALHO, J. C.; MASCARENHA, M. M. A. (org.). **Erosão em Borda de Reservatório**. 1ª ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. 584p.

DE OLIVEIRA, Ivanilton José; ROMÃO, Patrícia de Araújo. As escalas da Geografia: pontes entre os conceitos de escala cartográfica e escala geográfica. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 41, p. 1-23, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/65735>. Acesso em: 30 de Ago. 2021.

DINIZ, T. de D.; ZAINE, J. E.; RODRIGUES, F. H. Compartimentação fisiográfica aplicada ao mapeamento em detalhamento progressivo do núcleo urbano central de Ilhabela-SP. **GEOLOGIA USP**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 57-70, 2016.

ELLIS, E.; PONTIUS, R. Land-use and land-cover change. In: **Encyclopedia of Earth**. Cutler J. Cleveland (Washington, D. C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment), 2007.

EHLERS, M. **Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications and geology**. Proceedings of SPIE, v. 4545, Bellingham, 2002. 320p.

ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS (ESTEIO). **ESTEIO**. Disponível em: <http://www.esteio.com.br/blog/blogs/media/geral/2010/Junho/camara-pombo.jpg>. Acesso em: 18 Jul. 2021.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). **Corine Land Cover**. Brussels: EEA, 1995. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover#additional-files>. Acesso em: 01 Fev. 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Sentinel 2**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>. Acesso em: 17 Out. 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **World Cover: ESA World Cover**, 2021. Disponível em: <https://esa-worldcover.org/en>. Acesso em: 24 Out. 2021.

ESRI (Impact Observatory for ESRI). **Esri 2020 Land Cover**. Esri 2020 Land Cover, 2021. Disponível em: <https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>. Acesso em: 24 Ago. 2021.

FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L.; MARUJO, R. F. B.; SIMÕES, R. R. O.; PICOLI, M. C. A.; CÂMARA, G.; CARTAXO, R.; SANTOS, L. A.; SANCHES, A. H.; ARCANJO, J. S. FRONZA, J. G.; NORONHA, C. A.; COSTA, R. W.; ZAGILA, M. C.; ZIOTI, F.; KORTING, T. S.; SOARES, A. R.; CHAVES, M. E. D.; FONSECA, L. M. G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 1-19, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/24/4033/html>. Acesso em: 6 Mai. 2022.

FLOREZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS (FURNAS). **Linha do tempo**, 2021. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/253/linha-do-tempo?culture=pt>. Acesso em: 14 Ago. 2021.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

GARCÍA, M. L.; BRONDO, J. A.; PÉREZ, M. A. **Satélites para detecção remota aplicada à Gestão Territorial**. Tradução: Artur Gil. Universidade dos Açores – Portugal, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262215037_Satelites_para_Deteccao_Remota_aplicada_a_Gestao_Territorial_versao_em_portugues/citation/download. Acesso em: 20 Dez. 2020.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000727?via%3Dihub>. Acesso em: 11 Jan. 2017.

GIROLAMO NETO, C.; FONSECA, L. M. G.; KÖRTING, T. S. Assessment of texture features for Brazilian Savana Classification: A case study in Brasilia national park. In: Proceeding of the Brazilian Symposium on GeoInformatics, 2017, Salvador, Bahia. **Anais...** Salvador, Bahia: 2017. Disponível em: <https://dblp.org/db/conf/geoinfo/index.html>. Acesso em: 22 Jan. 2021.

GIROLAMO NETO, C. **Identificação de fitofisionomias de Cerrado no Parque Nacional de Brasília utilizando Random Forest aplicado a imagens de alta e média resoluções espaciais**. 2018. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, 2018.

GÓES FILHO, L.; VELOSO, H. P. **Fitogeografia Brasileira – Classificação Fisionômico-Ecológica da Vegetação Neotropical**. 1982.

GOMES, L.; SIMÕES, S. J. C.; DALLA NORA, E. L.; DE SOUSA-NETO, E. R.; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. B. Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity. **Land**, v. 8, n. 12, p. 1-26, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/8/1/12>. Acessado em: 12 Fev. 2020.

GORELICK, Noel; HANCHER, Matt; DIXON, Mike; ILYUSHCHENKO, Simon; THAU, David; MOORE, Rebecca. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing for Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 14 Jan. 2021.

GYSSSELS, G.; POESEN, J.; BOCHET, E.; LI, Y. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. **Progress in Physical Geography**, v. 29, n. 2, p. 189-217, 2005. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1191/0309133305pp443ra>. Acesso em: 10 Dez. 2019.

HECHT, S. B.; KANDEL, S.; GOMEZ, I.; CUELLAR, N.; ROSA, H. Globalization, forest resurgence, and environmental politics in El Salvador. **World Development**, v. 34, n. 2, p. 308-323, 2006. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v34y2006i2p308-323.html>. Acesso em: 11 Mar. 2017.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n.3, p. 295-309, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442578890106X>. Acesso em: 11 Mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Desbravar, conhecer, mapear: memórias do Projeto Radam/RadamBrasil**. Rio de Janeiro, IBGE, n. 1, 2018. 364p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101614>. Acesso em: 13 Abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. Ed. Manuais Técnicos em Geociências, Rio de Janeiro, IBGE, n. 7, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 30 Jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Catálogo de dados sobre os recursos naturais: Projeto RadamBrasil**. Acervo, n. 81. 1983. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=217157>. Acesso em: 12 Abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Catálogo de dados sobre os recursos naturais: Projeto RadamBrasil**. Acervo, n. 81. 2003. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=23604>. Acesso em: 12 Abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 11 Abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Noções cartográficas para base operacional geográfica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1985. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281663>. Acesso em: 14 Mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Metodologia utilizada nos projetos PRODES e DETER**. Acervo, n. 1. 2019. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf. Acesso em: 16 Abr. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERS**. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/>. Acesso em: 10 Jul. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES – Incremento anual de área desmatada no Cerrado Brasileiro**. Disponível em: <http://cerrado.obt.inpe.br/>. Acesso em: 25 Abr. 2022.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: the physical science basis**. Working Group I contribution to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>. Acesso em: 10 Jan. 2021.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 59, n.4, p. 611-622, 1999. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1999journal/may/1999_may_611-622.pdf. Acesso em: 14 Jan. 2021.

KARRA, K.; KONTGIS, C. STATMAN-WEIL, Z.; MAZZARIELLO, J. C.; MATHIS, M.; BRUMBY, S. P. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS**, v. 6, n.1, p. 4704-4707, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9553499>. Acesso em: 12 Out. 2021.

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO (LAPIG). **Chave de Interpretação**. Disponível em: <https://chave.lapig.iesa.ufg.br/pt/>. Acesso em: 28 Jul. 2021.

LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, H. J.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, P. S.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G. D.; SVEDIN, U.; VALDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XU, J. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, **Global Environmental Change**, v. 11, p. 261-269, 2001.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions, **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 205-248, 2003.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. ANÁLISE DO USO, OCUPAÇÃO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMIGA, TOCANTINS. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012. Disponível em: <http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n12/05.pdf>. Acesso em: 16 Jan. 2017.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2ª Edition. New York. John Wiley & Sons. 2000. 721p. Forestry, Lake Buena Vista, Florida. 2000.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 6th ed. Hoboken NJ: John Wiley e Sons, 2008. 756p.

LIU, H. Q.; HUETE, A. A feedback based modification of NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 457-465, 1995. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8746027/>. Acesso em: 13 Nov. 2019.

LOCH, C. **A Interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5ª Edição. Editora da UFSC, 2008.

LUCHIARI, A; KAWAKUBO, F. S; MORATO, R. G. Aplicações do Sensoriamento Remoto na Geografia. In: VENTURI, L. A. B (org.) **Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 33-54, 2005.

MACDICKEN, K. Global Forest Resources Assessment 2015: What, why and how?. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 3-8, 2015.

MAGIDI, J.; NHAMO, L.; MPANDELI, S.; MABHAUDHI, T. Application of Random Forest Classifier to Map Irrigated Areas Using Google Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/5/876/htm>. Acesso em: 18 Jan. 2021.

MARTINELLI, M. **Mapas da geografia e cartografia temática**. 5 ed. São Paulo: Contexto, 2009.

MATAMOROS SEVILLA, T. M. Estudo de Processos Erosivos: Análise Geotécnica de Áreas Degradadas no Entorno do Reservatório de Batalha GO/MG. 2016. 151p. **Dissertação (Mestrado)** – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/84601029-Universidade-de-brasilia-faculdade-de-tecnologia-departamento-de-engenharia-civil-e-ambiental.html>. Acesso em: 05 Fev. 2021.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2ª ed. Great Britain: John Wiley e Sons, 1999. 352p.

McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 17, p.1425-1432, 1996. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/01431169608948714?scroll=top>. Acesso em: 27 Jun. 2021.

MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. Mapeamento dos sistemas ambientais do município de Caucaia (CE) utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG): subsídios para o planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 30-45, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233209>. Acesso em: 19 Mar. 2019.

MEDRADO, L. C.; ROMÃO, P. A. NASCIMENTO, D. T. F.; SALES, M. M. Vulnerabilidade ambiental à perda de solo nas bordas do reservatório da UHE de Itumbiara-GO. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org.). **GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**. 1ª ed.

Fortaleza: Editora UFC, 2019. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais>. Acesso em: 21 Nov. 2020.

MENEZES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (org.). **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. Ed. Brasília: CNPQ, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332292728_INTRODUCAO_AO_PROCESSAMENTO_DE_IMAGENS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO. Acesso em: 25 Dez. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mapeamento da Cobertura Vegetal do Cerrado**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado/mapa-de-cobertura-vegetal.html>. Acesso em: 26 Abr. 2022.

MONTEIRO, C. L. S. Proposta de classificação do uso e da cobertura da terra e sua representação cartográfica na escala 1: 10.000. 2008. 114p. **Dissertação** (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/91679/257948.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 Fev. 2021.

MORAIN, S. A. A Brief History of Remote Sensing Applications, with Emphases on Landsat. In: **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. LIVERMAN, D; MORAN E. F; RINDFUSS, R. R; STERN, P. C. National Academy Press, Washington, D.C. p. 70-93, 1998.

MORAIS, E. C. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto** – Formação continuada de professores: curso astronáutica e ciências do Espaço. INPE. São José dos Campos. 2008.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007.

MYINT, S. W.; GOBER, P.; BRAZEL, A.; CLARKE, S. G.; WENG, Q. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. **Remote Sensing Environment**, v. 115, p. 1145-1161, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711000034>. Acesso em: 15 Jan. 2021.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M. M.; ALMEIDA, F. de P. Mapeamento da cobertura do solo em bordas de reservatório e processos erosivos associados. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C.; MASCARENHA, M. M. A. (org.). **Erosão em Borda de Reservatório**. 1ª ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. 584 p.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M. M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. **Ataliê Geográfico**, v. 12, n.1, p. 97-117, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/atelie/article/view/46152>. Acesso em: 30 Jun. 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Active and Passive Remote Sensing Diagram**. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/education/images/active-and-passive-remote-sensing-diagram>. Acesso em: 21 Jul. 2021.

NEVES, A. K.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; GIROLAMO NETO, C. D.; WITTICH, D.; COSTA, G. A. O. P.; HEIPKE, C. Semantic segmentation of brazilian savanna vegetation using high spatial resolution satellite data and u-net. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 3-2020, p. 505-511, 3 ago. 2020. Disponível em: <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/V-3-2020/505/2020/>. Acesso em: 10 Fev. 2021.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1989. 308p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2010. 388p.

OLIVEIRA, M. T. de; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; PRIETO, J. D.; ARAI, E.; SHIMABUJURO, Y. E. Mapeamento da Vegetação do Cerrado – Uma Revisão das iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 1250-1274, 2020

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1110.pdf>. Acesso em Jun. 2018. Acesso em: 25 Jan. 2020.

PARENTE, Leonardo; FERREIRA, Laerte. Assessing the Spatial and Occupation Dynamics of the Brazilian Pasturelands Based on the Automated Classification of MODES Images from 2000 to 2016. **Remote Sensing**, v.10, n. 6, p. 1-14, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/606/htm>. Acesso em: 20 Jan. 2021.

PEREIRA JÚNIOR, L. C.; FERREIRA, N. C.; MIZIARA, F. A expansão da irrigação por pivôs centrais no estado de Goiás (1984-2015). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 2, p. 323-341, 2015.

PHAN, T. N.; KUCH, V.; LEHNERT, L. W. Land Cover Classification using Google Earth Engine e Random Forest Classifier – The Role of image Composition. **Remote Sensing**, v. 12, n. 15, p. 2-22, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/15/2411/htm>. Acesso em: 09 Jan. 2021.

PLANET (PLANET). **PLANET**. Disponível em: <https://www.planet.com/pulse/nicfi-tropical-forest-basemaps-now-available-in-google-earth-engine/>. Acesso em: 13 Nov. 2021.

PRIGENT, C. Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 24, p. 4631-4634, 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228877669 Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets](https://www.researchgate.net/publication/228877669_Remote_sensing_of_global_wetland_dynamics_with_multiple_satellite_data_sets). Acesso em: 11 Out. 2019.

PROJETO DE CONSERVAÇÃO E UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA BRASILEIRA (PROBIO). **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. Acervo, n. 1. 2004. Disponível em:

http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/documentos/relatorio_final.pdf. Acesso em: 13 Abr. 2022.

PROJETO BRASILEIRO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DO SOLO (MapBiomias). **Collection (6.0)**, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/en>. Acesso em: 10 Nov. 2021.

ROMÃO, P. de A.; SOUZA, N. M. de. Aspectos geológicos e hidrogeológicos na deflagração e evolução da erosão hídrica em margens de reservatórios. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C.; MASCARENHA, M. M. A. (org.). **Erosão em Borda de Reservatório**. 1ª ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. 584p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4ª Edição. Uberlândia: Editora Da Universidade Federal de Uberlândia. 2001. 210p.

ROUSE J. R. W.; HASS R. H.; SCHELL, J. A. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Deering DW**, 1974.

SANO, Edson E.; ROSA, Roberto; BRITO, Jorge L. S.; FERREIRA, Laerte G. Land Cover mapping of the tropical savana region in Brasil. **Environ Monit Assess**, nº 116, p. 113-124, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-009-0988-4#citeas>. Acesso em: 19 Jun. 2020.

SANTOS, C. S.; CASTRO, C. M. S.; RIBEIRO, T. R. Aplicações de imagens de satélite de alta resolução no planejamento urbano: o caso do cadastro técnico multifinalitário de Mata de São João, Bahia. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2019, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2011. p. 3843-3850.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**. 4ª ed. São Paulo: Edusp, 2004.

SANTOS, T. G. P.; DA SILVA, R. M. D.; BOGGIONE, G. de A.; DA SILVA, A. M. S. Mapeamento de pivôs centrais de irrigação em Cristalina – GO utilizando séries temporais. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2019, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2019. p. 2937-2940.

SATELLITE IMAGING CORPORATION (SATIMGINCROP). **SATIMGINCROP**. Disponível em: <https://www.satimagingcorp.com/>. Acesso em: 10 Abr. 2022.

SILVEIRA, P. E. M. da. **Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em áreas urbanas utilizando o método do detalhamento progressivo**. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2020.

SOUZA, Silvo Braz de; FERREIRA, Laerte Guimarães. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 66, n. 2, p. 321-336, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43915>. Acesso em: 11 Dez. 2020.

TRADIN, A. T.; SANTOS, A. P.; NOVO, E. M. L. M. **Uso de dados do LANDSAT no estudo do impacto da implantação de projetos agropecuários da Amazônia**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 1977. 18p.

TRADIN, A. T.; SANTOS, A. P. DOS; LEE, D. C. L.; MAIA, F. C. S.; MENDONÇA, F. J.; ASSUNÇÃO, G. V.; RODRIGUES, J. E.; ABDON, M. DE M.; NOVAES, R. A.; CHEN, S. C.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. **Levantamento de áreas de desmatamento na Amazônia Legal através de imagens do satélite LANDSAT**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 1979. 10p.

TRICART, J. A geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro: IBGE, v. 34, n. 251, p. 15-42, 1976. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/19/bg_1976_v34_n251_nov_dez.pdf. Acesso em: 11 Dez. 2020.

TURNER, W.; SPECTOR, S.; GARDINER, E.; FLANDELAND, M.; STERLING, E.; STEININGER, M. Remote sensing for biodiversity science and conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 6, p. 306-314, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222668911_Remote_sensing_for_biodiversity_science_and_conservation. Acesso em: 01 Jan. 2021.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WRIGHT, J. **Pesquisa terrestre e aérea para cientistas de campo**. Oxford: Clearendom Press, 1982. 327p.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaios de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.