



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA - UFRR**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E**  
**REGULAÇÃO DE ÁGUAS - PROFÁGUA**



**FABRÍCIO NUNES DE FREITAS**

**PREVISÃO DOS NÍVEIS FREÁTICOS INDUZIDOS PELO RESERVATÓRIO DA**  
**USINA HIDRELÉTRICA BEM-QUERER, RR**

**BOA VISTA, RR**  
**2024**

**FABRÍCIO NUNES DE FREITAS**

**PREVISÃO DOS NÍVEIS FREÁTICOS INDUZIDOS PELO RESERVATÓRIO DA  
USINA HIDRELÉTRICA BEM-QUERER, RR**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

**Coorientador:** Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nobrega.

**BOA VISTA, RR**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

F866p Freitas, Fabrício Nunes de.

**Previsão dos níveis freáticos induzidos pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Bem-Querer, RR / Fabrício Nunes de Freitas. – Boa Vista, 2024.**

121 f. : il. Inclui Anexos.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Coorientador: Silvestre Lopes da Nobrega.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Roraima. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Águas - PROFÁGUA.

1. Impactos ambientais. 2. Modelagem hidrogeológica. 3. Nível freático. 4. UHE Bem Querer. I. Título. II. Silva, Adriano Frutuoso da (orientador). III. Nobrega, Silvestre Lopes da (coorientador).

CDU (2. ed.) 624.131.6(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:  
Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

**FABRÍCIO NUNES DE FREITAS**

**PREVISÃO DOS NÍVEIS FREÁTICOS INDUZIDOS PELO RESERVATÓRIO DA  
USINA HIDRELÉTRICA BEM-QUERER, RR**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Apresentada em 27 de outubro de 2023 e avaliada pela seguinte banca:



---

**Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva**  
**Orientador – ProfÁgua/UFRR**

Documento assinado digitalmente



SILVESTRE LOPES DA NOBREGA  
Data: 25/03/2024 09:11:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nobrega**  
**Coorientador – UFRR**



---

**Profa. Dra. Ofélia Lira Carneiro**  
**Membro Interno – ProfÁgua/UFRR**

Documento assinado digitalmente



RICARDO DE ARAGAO  
Data: 20/03/2024 21:27:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Ricardo de Aragão**  
**Membro Externo – UFCG**

**BOA VISTA, RR**

**2024**

**Dedicatória.**

*“Dedico este trabalho ao meu pai, Eusébio Freitas (in memoriam), minha mãe Diva Nunes, tia Zezé Nunes, que me ensinaram como se reerguer diante das adversidades da vida”.*

*“Quem chega primeiro, bebe água limpa”.*  
**(Porcina Rodrigues Nunes).**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, Deus, por proporcionar com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. Aos familiares, Lielma Tavares (esposa), a minha mãe e meus irmãos, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva, coorientador Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nobrega, aos amigos que muito contribuirão Prof. Dr. Jhon Eric Lemos, Dr. André Corado Guerra, aos Professores Dr. Carlos Eduardo (Guga), Prof. Dr. Vladimir de Souza, Eng. Florestal Valdemir Melo, fotografo Roberto Carlos Caleffi, nos trabalho de campo, Prof. Dr. Pedro Alves, Analista de Sistemas Anderson Almeida carta sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

A Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), na pessoa de Mariana Almeida, Chefe da Divisão de outorga e Recursos Hídricos, na pessoa de Mariana Almeida, Chefe da Divisão de outorga, Marta Mota Cabral, Diretora de Recursos Hídricos, Glicério Marcos Fernandes, Presidente da Femarh.

O apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos — ProfÁgua. Projeto CAPES/ANA AUXPE, nº.2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## RESUMO

O projeto da Usina Hidrelétrica Bem Querer (UHEBQ), no estado de Roraima, indica que o reservatório terá uma área inundada de aproximadamente 519 km<sup>2</sup>. Os impactos no meio físico, biótico e social pode ser significativos, os quais foram estimados em estudos prévios realizados pelos interessados nesse empreendimento. Entretanto, não foram contemplados nos estudos de inventário os impactos nas águas subterrâneas. Neste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados de modelagens dos possíveis impactos do reservatório da UHEBQ nos Níveis Estáticos (NE) dos aquíferos de seu entorno. Para isso, foram realizados mapeamentos 2D da profundidade média e da cota de topo de NE dos aquíferos no entorno do reservatório da UHEBQ, bem como simulações da variação espacial de carga hidráulica em 10 seções ao longo do eixo longitudinal do reservatório. Os resultados indicaram um potencial afogamento de áreas relativamente distantes do reservatório devido ao afloramento do freático ocasionado por um aumento de 8% do NE devido à recarga artificial dos aquíferos induzida pelo reservatório. Foi possível observar também a existência até então desconhecida de heterogeneidades espaciais na superfície de topo de aquífero, indicando a presença de distintas hidrofácies de porosidade e permeabilidade das camadas aquíferas. Devido à grande carência de dados acerca dos aquíferos roraimenses, os resultados aqui apresentados indicam a necessidade de mais estudos para um dimensionamento mais fidedigno dos possíveis impactos que o reservatório da UHBQ pode provocar nas águas subterrâneas de seu entorno.

**Palavras-chave:** Impactos Ambientais. Modelagem Hidrogeológica. Nível Freático. UHE Bem Querer.



## ABSTRACT

The project of the Bem Querer Hydroelectric Power Plant (UHEBQ), in the state of Roraima, indicates that the reservoir will have a flooded area of approximately 519 km<sup>2</sup>. The impacts on the physical, biotic, and social environment could be significant, which have been estimated in previous studies conducted by stakeholders in this venture. However, the impacts on groundwater were not addressed in the inventory studies. In this context, this study presents the results of modeling the potential impacts of the UHEBQ reservoir on the Static Levels (NE) of the aquifers in its surroundings. For this purpose, 2D mappings of the average depth and NE top elevation of the aquifers around the UHEBQ reservoir were conducted, as well as simulations of the spatial variation of hydraulic head in 10 sections along the longitudinal axis of the reservoir. The results indicated a potential flooding of relatively distant areas from the reservoir due to the water table rise caused by an 8% increase in NE due to artificial recharge of the aquifers induced by the reservoir. It was also possible to observe the previously unknown existence of spatial heterogeneities in the aquifer top surface, indicating the presence of different hydrofacies with varying porosity and permeability of the aquifer layers. Due to the significant lack of data regarding Roraima's aquifers, the results presented here indicate the need for further studies for a more accurate assessment of the potential impacts that the UHBQ reservoir may have on the groundwater in its surroundings.

**Keywords:** Environmental Impacts. Hydrogeological Modeling. Water Table Level. Bem Querer Hydroelectric Power Plant (UHE Bem Querer).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Modelo dos processos de variação induzidos nos níveis estáticos.....	24
Figura 2 -	Projeto do Eixo da Barragem da UHE Bem Querer.....	36
Figura 3 -	Mapa de localização da área de estudo.....	38
Figura 4 -	Padrões de Relevo de Roraima.....	40
Figura 5 -	Mapa geológico da área de estudo.....	43
Figura 6 -	Mapa de Domínios Hidrogeológicos da área de estudo.....	44
Figura 7 -	Bacias hidrográficas da BHRB na área de estudo.....	47
Figura 8 -	Mapa de solos da área de estudo.....	48
Figura 9 -	Mapa de vegetação da área estudada.....	49
Figura 10 -	Fluxograma dos procedimentos e etapas do trabalho desenvolvido.....	50
Figura 11 -	Malha de poços utilizada para cada estação do ano hidrológico....	54
Figura 12 -	Detalhe da zona urbana do município de Boa Vista, mostrando a distribuição dos poços utilizados no presente estudo.....	55
Figura 13 -	Mapa hipsométrico da região de inundação da UHEBQ com as seções utilizadas para os perfis modelados 2D de NE.....	57
Figura 14 -	Paisagens do entorno da região do médio rio Branco e dentro da área de inundação da UHEBQ. A. Floresta ombrófila densa aluvial com dossel uniforme. B. Savana, Parque sem floresta de galeria. C. Savana aberta com floresta de galeria. D. Formação campestre de área antropizada e floresta ombrófila densa aluvial à esquerda. E. Lavoura de soja. F. Floresta de galeria. Notar a correlação positiva entre formações gramíneas e áreas alagadiças e a ausência de afloramentos rochosos.....	60
Figura 15 -	Paisagens da porção sul e média da área de inundação da UHEBQ. A. Floresta estacional semidecidual submontanha próxima à Serra Grande. B. Ponte sobre o rio Quitauaú com floresta estacional semidecidual aluvial. C. Floresta ombrófila densa aluvial (“igapó”) bastante antropizada (visada para leste). D. Mesmo ponto anterior, com visada para plantações a oeste. E. Lagoa em zona de descarga de aquífero, com palmeiral ao fundo.....	61
Figura 16 -	Mapa de profundidade de topo de aquífero para a área de inundação da UHEBQ. Em A, estação chuvosa, B, estação seca.....	63
Figura 17 -	Mapa potenciométrico da área de inundação da UHEBQ. Em A, estação chuvosa, em B, estação seca.....	64

Figura 18 -	Seções 1 a 3 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um $\Delta h$ de 8%.....	69
Figura 19 -	Seções 4 a 6 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um $\Delta h$ de 8%.....	70
Figura 20 -	Seções 7 a 10 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um $\Delta h$ de 8%.....	71
Figura 21 -	Imagem remota (Planet) da área de inundação da UHEBQ. Os retângulos numerados correspondem às cenas das próximas figuras.....	72
Figura 22 -	Imagem remota (Planet) da Cena 1 da área de inundação da UHEBQ.....	73
Figura 23 -	Imagem remota (Planet) da Cena 2 da área de inundação da UHEBQ.....	74
Figura 24 -	Imagem remota (Planet) da Cena 3 da área de inundação da UHEBQ.....	75
Figura 25 -	Imagem remota (Planet) da Cena 4 da área de inundação da UHEBQ.....	76
Figura 26 -	Imagem remota (Planet) da Cena 5 da área de inundação da UHEBQ.....	77
Figura 27 -	Imagem remota (Planet) da Cena 6 da área de inundação da UHEBQ.....	78
Figura 28 -	Imagem remota (Planet) da Cena 7 da área de inundação da UHEBQ.....	79
Figura 29 -	Imagem remota (Planet) da Cena 8 da área de inundação da UHEBQ, com a foz do rio Mucajaí visível.....	80
Figura 30 -	Imagem remota (Planet) da Cena 9 da área de inundação da UHEBQ.....	81
Figura 31 -	Imagem remota (Planet) da Cena 10 da área de inundação da UHEBQ.....	82
Figura 32 -	Imagem remota (Planet) da Cena 11 da área de inundação da UHEBQ.....	83
Figura 33 -	Imagem remota (Planet) da Cena 12 da área de inundação da UHEBQ. Notar a foz do rio Cauamé no canto inferior esquerdo.....	84

## LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 1 -	Características dos impactos ambientais e análise comparativa para o caso de elevação no lençol freático induzida pela instalação de reservatórios.....	25
Tabela 1 -	Atualização das características da UHE Bem Querer no EVTE, em relação às do estudo de inventário.....	36
Tabela 2 -	Estrutura dos dados utilizados no presente estudo.....	52
Tabela 3 -	Parâmetros hidrodinâmicos arbitrados para as capas sedimentares da região do entorno da UHEBQ. Onde: K = condutividade hidráulica e T = Transmissividade.....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>15</b>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1	TIPOS DE HIDRELÉTRICAS E RESERVATÓRIOS.....	17
2.2	IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA INSTALAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....	18
2.3	IMPACTOS INDUZIDOS EM AQUÍFEROS PELOS RESERVATÓRIOS.....	23
2.4	MÉTODOS DE PREVISÃO DA ELEVAÇÃO NO NÍVEL FREÁTICO.....	26
2.5	MODELAGEM HIDROGEOLÓGICA.....	29
2.6	HIDRELÉTRICAS NO BRASIL E RORAIMA.....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1	USINA HIDRELÉTRICA BEM QUERER (UHEBQ).....	35
3.2	LOCALIZAÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA BEM QUERER (UHEBQ).....	36
3.3	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA UHEBQ.....	39
3.3.1	<b>Clima.....</b>	<b>39</b>
3.3.2	<b>Relevo.....</b>	<b>39</b>
3.3.3	<b>Geologia.....</b>	<b>41</b>
3.3.4	<b>Hidrogeologia.....</b>	<b>41</b>
3.3.5	<b>Hidrografia.....</b>	<b>45</b>
3.3.6	<b>Solos.....</b>	<b>46</b>
3.3.7	<b>Flora.....</b>	<b>46</b>
3.4	MÉTODOS.....	50
3.4.1	<b>Etapas de Dados Primários.....</b>	<b>51</b>
3.4.2	<b>Etapas de Dados Secundários.....</b>	<b>51</b>
3.4.3	<b>Estrutura de Dados.....</b>	<b>51</b>
3.4.4	<b>Fontes Primárias.....</b>	<b>52</b>

<b>3.4.5</b>	<b>Fontes Secundárias.....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Softwares.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>GEOPROCESSAMENTO APLICADO À HIDROGEOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Modelagens.....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA UHE BEM QUERER.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>TOPO DE AQUÍFEROS: PROFUNDIDADE DE NÍVEL D'ÁGUA E POTENCIOMETRIA.....</b>	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>MODELAGENS PELA ABORDAGEM CARTOGRÁFICA.....</b>	<b>65</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Albuquerque Filho e Leite (2002), a construção de uma usina hidrelétrica causa mais interferências no meio físico do que qualquer outra obra civil de grande porte, as quais regem as reações do meio ambiente, procurando se adaptar às novas condições impostas. As discussões sobre os impactos das barragens no desenvolvimento e gerenciamento de bacias hidrográficas baseiam-se principalmente no fato de que, antes do represamento das águas do rio, as áreas de inundação permanente (calha principal) e temporária (planícies de inundação) condicionavam o tipo de vegetação e padrões de ocupação humana estabelecidos a partir das margens do rio. Após o barramento do rio, o reservatório formado expande estas áreas de inundação, obrigando a um rearranjo da ocupação dos ecossistemas e populações humanas, o que, por sua vez, pode significar a não reposição dos ecossistemas perdidos e injustiças fundiárias (Solana *et al.*, 2021). São comuns também alterações na qualidade das águas subterrâneas, geralmente sua nitrificação e/ou salinização, bem como grande sedimentação no reservatório e pouca à jusante do barramento (Hut *et al.*, 2008; New; Xie, 2008; Seeboonruang, 2012).

No caso particular da UHE Bem Querer, cuja construção está prevista no Rio Branco, na altura do município de Caracaraí, estado de Roraima, um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o EIA/RIMA já foi apresentado, porém, entidades civis de proteção ao meio ambiente detectaram uma série de problemas e insuficiência de dados, o que resultou no embargo do empreendimento pelo Ministério Público Federal (MPF). Uma destas deficiências é justamente a ausência de estudos relativos aos impactos que o reservatório da UHE Bem Querer pode ocasionar nas águas subterrâneas. De fato, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), apenas foi finalizada em 10 de outubro de 2022 uma das etapas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Bem-Querer — o cadastro socioeconômico (realizado por meio de entrevistas com aplicação de questionários com a população que poderá ter sua moradia ou atividade econômica afetadas caso a hidrelétrica seja construída). Nada se sabe sobre os riscos que a UHE Bem Querer pode causar às águas subterrâneas da região afetada, pois tais fenômenos não foram devidamente abordados no estudo prévio em questão.

Neste contexto, nesta pesquisa se buscou fornecer um modelo preditivo das alterações nas cotas do NE dos aquíferos no entorno da UHE Bem-Querer, a serem provocadas pelo seu reservatório, quando do barramento previsto do curso do Rio Branco a montante na cidade de Caracará, bem como os possíveis impactos socioambientais daí decorrentes. O dimensionamento desses impactos passa pela criação de modelos capazes de lidar com a quantidade e diversidade dos dados envolvidos com a questão dos impactos do reservatório nas águas subterrâneas. Desse modo, se faz necessário a previsão DOS NÍVEIS freáticos induzidos pelo reservatório da UHE Bem Querere, a fim não apenas de se analisar as variações de nível possíveis, mas, também, os impactos daí decorrentes (Mousavizadeh; Moeini; Shanehsazzadeh, 2023).

Considerando-se que os impactos possíveis da elevação do Nível Estático vão desde a questão do reordenamento territorial necessário para a adequação da ocupação humana às novas fronteiras impostas pelo contorno do reservatório e depressões potencialmente inundáveis, até questões relacionadas à contaminação do recurso hídrico pelo afogamento de fossas e áreas superficiais poluídas, o presente trabalho reveste-se de suma importância para resolver o problema da falta de informações e estudo sobre essa importante questão. Neste sentido, a presente pesquisa visa também a preencher lacunas no conhecimento dos impactos ambientais destas atividades, atendendo, assim, pré-requisitos previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e normatizados pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos induzidos pelas elevações do lençol freático do reservatório da UHE Bem-Querer.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar e mapear as profundidades médias do NE dos aquíferos no entorno do reservatório da UHEBQ através de modelagem hidrogeológica 2D;
- b) Determinar e mapear as cotas médias do NE dos aquíferos no entorno do reservatório da UHEBQ através de modelagem hidrogeológica 2D;
- c) Determinar e mapear os padrões de fluxo subterrâneo nas imediações do reservatório da UHEBQ através de modelagem hidrogeológica 2D;
- d) Modelar as mudanças nos níveis freáticos do entorno do reservatório da UHEBQ causadas pelo seu enchimento e discutir seus impactos na paisagem local.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Hidrelétricas são um dos empreendimentos humanos de maior impacto ambiental e social, uma vez que envolvem a modificação de vastas áreas do terreno, às quais serão impostas vultuosa supressão vegetal e deslocamento de populações animais e humanas. A fim de mitigar tais impactos, uma série de medidas são preconizadas, dentre as quais um amplo Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Na Amazônia estes impactos são ainda mais preocupantes, uma vez que se darão em ecossistemas que, apesar da pujança, são bastante sensíveis às perturbações antrópicas. Por isso, em território amazônico as exigências para o licenciamento ambiental de tais obras são mais trabalhosas quando comparadas a outras regiões do país (Sánchez, 2020).

Quanto mais impactos puderem ser corretamente previstos e caracterizados, mais poderão ser evitados. A despeito disso, no Brasil, os impactos destes empreendimentos nas águas subterrâneas costumam ser negligenciados, ou subestimados. Aliando-se a isso que o conhecimento dos sistemas aquíferos da região amazônica é ainda bastante insuficiente, principalmente no que tange as suas características hidrodinâmicas em regiões afastadas dos grandes centros urbanos, percebe-se, então, a importância de estudos hidrogeológicos nesta região.

O caso específico da UHEBQ não é diferente. Apesar de todos os estudos técnicos já feitos, pouco se sabe sobre os aquíferos do entorno de sua área de influência direta e indireta, e nada foi apresentado até o momento sobre os possíveis impactos de seu reservatório nestes aquíferos. Neste contexto, o presente trabalho não só é importante por seu pioneirismo no estado, como também para fornecer dados importantes para a gestão pública dos recursos hídricos roraimenses e para levantar questões importantes acerca dos possíveis impactos da UHEBQ nas águas subterrâneas do estado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TIPOS DE HIDRELÉTRICAS E RESERVATÓRIOS

Existem muitos tipos de aproveitamentos hidrelétricos e reservatórios, porém, em termos legais, no Brasil, essa diversidade é classificada conforme a sua capacidade e o tamanho do seu reservatório. Assim, conforme a Resolução Normativa n.º 875/2020 da ANEEL, os empreendimentos hidrelétricos podem ser:

- I. Central Geradora Hidrelétrica (CGH): aproveitamentos hidrelétricos cuja potência seja igual ou inferior a 5.000 kW;
- II. Pequena Central Hidrelétrica (PCH): aproveitamentos hidrelétricos com potência superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com reservatório cuja área seja de até 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio;
- III. Usina Hidrelétrica (UHE) — aproveitamentos que possuem as seguintes características, com os respectivos regimes de outorga:
- IV. Potência instalada de 5.000 até 50.000 kW, sem características de PCH, sujeitos à outorga de autorização;
- V. Potência instalada superior a 50.000 kW, sujeito à outorga de concessão;
- VI. Independente da potência instalada, que tenham sido objeto de outorga de concessão ou de autorização.

O reservatório tem a função de armazenar a água que escoar em um curso d'água, porém a finalidade deste armazenamento pode ter diversos objetivos. Os reservatórios de usinas hidrelétricas podem ser de dois tipos: de acumulação e a fio d'água (Aneel, 2011).

O reservatório de acumulação está normalmente localizado na cabeceira de rios, próximo de altas quedas d'água. O mesmo permite o acúmulo de excesso de água nos períodos úmidos, e funcionam como estoques para utilização em períodos de estiagem. Assim, localizados na montante de hidrelétricas, permitem a regulação da vazão do rio para regiões a jusante (Aneel, 2011).

Já os reservatórios a fio d'água ficam localizados próximos à superfície d'água, e geram energia sempre com a vazão disponível no rio naquele momento, aproveitando a velocidade de escoamento para gerar energia, ou seja, com o mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico, reduzindo as áreas de alagamento (Aneel, 2011).

## 2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA INSTALAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Os cursos d'água, ou drenagens naturais, podem ser considerados elementos-meio do ciclo hidrológico, haja vista que a água oriunda de chuvas em sua bacia de contribuição ou aflorante, ao longo do nível de descarga dos lençóis subterrâneos, neles permanece tempo relativamente curto, quando comparado com aquele observado em outros componentes desse mesmo ciclo (Hrachowitz *et al.*, 2016). É nesse contexto que os rios historicamente se constituíram vetores de maior interesse da ocupação humana, propiciando a água para os mais diferentes usos e atraindo, também, outras espécies de vida, além de desempenhar seu papel como agente geológico, pedológico, agrônômico, dentre muitas outras funções ambientais (Albuquerque Filho; Saad; Alvarenga, 2010).

Dessa forma, no que se refere à discussão e análise dos efeitos das hidrelétricas, não se espera anular a importância já consolidada dessas obras, o que incorreria em se questionar o próprio modelo de desenvolvimento do país, procura-se, entender de maneira crítica os impactos dessas obras, do ponto de vista da área que irá receber uma usina hidrelétrica independente de ser atingida ou não (Bortoleto, 2001).

Nesse sentido, Silva *et al.*, (2007) mencionam que a construção desses empreendimentos gera impactos significativos, dessa forma, devem ser realizados estudos e pesquisas de amenização desses impactos. Estes estudos envolvem grandes esforços em amplas campanhas de campo para aquisição de dados de múltiplas áreas do conhecimento a fim de identificar e diagnosticar a situação ambiental dos meios bióticos e antrópicos existentes antes da instalação das obras e, com base nisso, prever os riscos e impactos socioambientais advindos da sua instalação e operação a curto, médio e longo prazos (Sánchez, 2018).

De acordo com Tucci (2008), o insumo utilizado na produção de energia hidrelétrica é a água. Este é um insumo que pode variar no tempo e no espaço, e está sujeito à variabilidade climática, mas também ao efeito do uso do solo. Estes efeitos podem ser cumulativos ou episódicos, variando conforme o tipo de solo e do manejo empregado.

De acordo com Agostinho *et al*, (1992), quando são executados serviços de construção até sua efetivação final de uma barragem/barramento, há vários tipos de implicações. Uma delas é o fato de a barragem interromper o fluxo natural do rio. Outra é o fato de alagar áreas antes secas, ocasionando elevação do lençol freático e a modificação da carga sedimentar do rio. Destacam-se as mudanças no meio físico, no meio biótico e nas relações socioeconômicas. Já em relação ao sistema lótico, os fatores que mais são alterados são o comportamento térmico da coluna de água; os padrões de sedimentação, a circulação das massas de água, a dinâmica dos gases, a ciclagem de nutrientes e a estrutura das comunidades aquáticas (Junk; Mello, 1990).

Segundo Tundisi (2003), o reservatório oriundo do barramento do curso d'água, representa uma das grandes alterações do ciclo hidrológico e de impactos ambientais nas diferentes escalas do meio ambiente, sendo classificados quanto ao tipo como positivo (benéfico) e negativo (adverso), conforme lista abaixo:

➤ **Impactos Positivos (Benéficos):**

- 1) Produção de energia — hidroeletricidade;
- 2) Criação de purificadores de água com baixa energia;
- 3) Retenção de água no local;
- 4) Fonte de água potável e para sistemas de abastecimento;
- 5) Representativa diversidade biológica;
- 6) Maior prosperidade para setores das populações locais;
- 7) Criação de oportunidades de recreação e turismo;
- 8) Proteção contra cheias das áreas a jusante;
- 9) Aumento das possibilidades de pesca;
- 10) Armazenamento de água para períodos de seca;

- 11) Navegação;
- 12) Aumento do potencial para irrigação;
- 13) Geração de empregos;
- 14) Promoção de novas alternativas econômicas regionais;
- 15) Controle de enchentes;
- 16) Aumento de produção de peixes por aquicultura.

➤ **Impactos Negativos (adversos):**

- 17) Deslocamento das populações;
- 18) Emigração humana excessiva;
- 19) Deterioração das condições da população original;
- 20) Problemas de saúde pela propagação de doenças de transmissão hídrica;
- 21) Perda de espécies nativas de peixes de rios;
- 22) Perda de terras férteis e de madeira;
- 23) Perda de várzeas e ecótonos terra/água — estruturas naturais úteis. Perda de terrenos alagáveis e alterações em habitats de animais;
- 24) Perda de biodiversidade (espécies únicas);
- 25) deslocamento de animais selvagens;
- 26) Perda de terras agrícolas cultivadas por gerações, como arrozais;
- 27) Excessiva imigração humana para a região do reservatório, com os consequentes problemas sociais, econômicos e de saúde;
- 28) Necessidade de compensação pela perda de terras agrícolas, locais de pesca e habitações, bem como peixes, atividades de lazer e de subsistência;
- 29) Degradação da qualidade hídrica local;
- 30) Redução das vazões a jusante do reservatório e aumento em suas variações;
- 31) Redução da temperatura e do material em suspensão nas vazões liberadas para jusante;
- 32) Redução do oxigênio no fundo, e nas vazões liberadas (zero em alguns casos);

- 33) Aumento do H<sub>2</sub>S e do CO<sub>2</sub> no fundo, e nas vazões liberadas;
- 34) Barreira à migração de peixes;
- 35) Perda de valiosos recursos hídricos e culturais;
- 36) Perda de valores estéticos;
- 37) Perda da biodiversidade terrestre em represas da Amazônia;
- 38) Aumento da emissão de gases do efeito estufa, principalmente em represas onde a floresta nativa não foi desmatada.

Já de acordo com Silva (2014), os impactos ambientais do reservatório, compreendem:

#### **A. Impacto sobre a Sociedade**

- 1) Desativação da atividade agrícola;
- 2) Diminuição de empregos;
- 3) Aumento do valor da terra.

#### **B. Impacto sobre a Infraestrutura Rural e Urbana**

- 4) Rodovias;
- 5) Serviços;
- 6) Infraestrutura urbana.

#### **C. Impacto Sociocultural**

- 7) Diminuição do número de empregos;
- 8) Aumento de endemias;
- 9) Inundação de povoados;
- 10) Inundação de áreas de lazer;
- 11) Mudanças na paisagem;
- 12) Cultural.

#### **D. Impacto sobre o Meio Físico**

- 13) Sismicidade;
- 14) Erosão;
- 15) Deslizamento;
- 16) Microclima.

#### **E. Impacto no Meio Biológico**

- 17) Perda do ecossistema (inundação, perda da floresta etc.);
- 18) Alterações na qualidade d'água;
- 19) Plantas aquáticas;
- 20) Novos ambientes aquáticos;
- 21) Pesca.

No caso específico da UHE Bem Querer, o ICMBio (2013) pontua que os impactos esperados são perda de biodiversidade e a eliminação de ecossistemas aquáticos sensíveis pela inundação da área do seu reservatório. Afirmar também que haveria emissão de metano em abundante devido à decomposição da matéria orgânica (MO) afogada pelo reservatório, lembrando que tal fenômeno foi observado na UHE Balbina, em região de floresta similar, em Presidente Figueiredo, no estado do Amazonas. Associado à decomposição da MO, ocorreria a desoxigenação das águas, afetando diretamente a diversidade e quantidade de peixes e, conseqüentemente, a pesca e as populações ribeirinhas que dependem dela no baixo Rio Branco. O barramento propriamente dito funcionaria como um obstáculo ao fluxo natural de peixes migratórios e sedimentos, neste último caso, alterando o regime hidrológico e diminuindo a fertilização das águas à jusante da barragem, uma vez que os nutrientes são carregados ou associados aos próprios sedimentos. A diminuição de sedimentos à jusante intensificaria, diminuiria a formação de praias e bancos de areia, além dos terraços fluviais, pois a erosão não seria mais ultrapassada ou compensada pelo aporte sedimentar da montante. Ainda segundo o ICMBio (2013), estes impactos afetariam o Parque Nacional do Viruá, a Estação Ecológica de Niquiá e a Estação Ecológica de Caracaraí, além dos ecossistemas do arquipélago das Anavilhanas, no Amazonas.



### 2.3 IMPACTOS INDUZIDOS EM AQUÍFEROS PELOS RESERVATÓRIOS

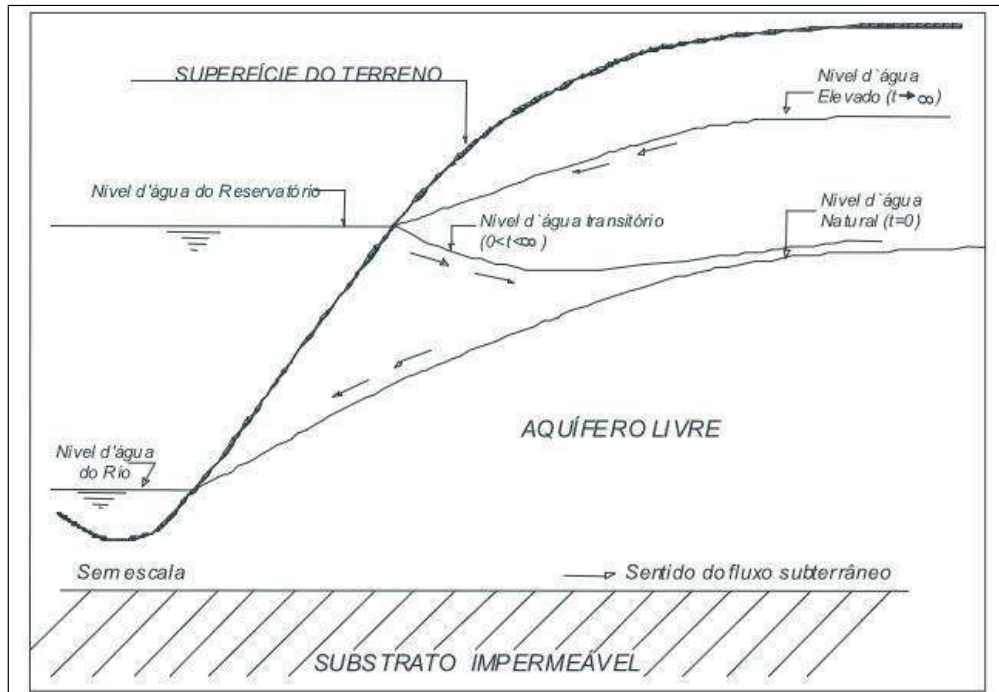
De acordo com Campos *et al.*, (2019) a elevação artificial dos níveis freáticos causa potencialmente os seguintes impactos diretos ou indiretos: risco de desenvolvimento de patologias geotécnicas em edificações, contaminação dos aquíferos, afogamento de sepulturas e fossas sépticas, geração de áreas úmidas ou de áreas permanentemente encharcadas, supressão de vegetação não adaptada a umidade elevada, desestabilização de encostas marginais (principalmente na região de remanso do reservatório) e afogamento de cavidades naturais na zona não saturada (cavernas vadasas).

A construção de barragens altera também o balanço de cargas hidráulicas, uma vez que provoca inicialmente a elevação dos níveis freáticos, o que, por sua vez, causa impactos na vegetação, algumas vezes com reflexo na subsistência das famílias que vivem nas áreas de rios e reservatórios (Sardo; Jalalkamali, 2022). O barramento faz com que as águas do rio se elevem de tal modo que, temporariamente, o rio passa a alimentar o aquífero livre adjacente. Esta condição impõe um processo de elevação continuada do lençol freático, até que o sistema seja equilibrado novamente (Figura 1), isto é, que o sentido do fluxo da água subterrânea volte a se desenvolver no sentido do reservatório para o rio (Carvalho, 2000).

Uma vez estabilizado, os aquíferos situados nas regiões próximas às áreas permanentemente inundadas sofrem um aumento do seu Nível Estático (NE), o que pode resultar em inundações das cotas que ficarem abaixo das de inundação (Fleischmann *et al.*, 2019). Segundo Albuquerque Filho, Saad e Alvarenga (2010), poucos trabalhos no Brasil têm se preocupado no seu escopo em caracterizar e detalhar o conhecimento desses efeitos aos níveis estáticos.

As modificações que ocorrem no regime hidrológico subterrâneo após a construção de uma barragem serão tanto mais significativas, quanto maior se constituir a obra, sua área de inundação e a espessura média da lâmina d'água resultante da formação do reservatório. A partir do sistema de análise proposta por Rohde, Albuquerque Filho e Leite (2002) e, posteriormente, Albuquerque Filho; Saad; Alvarenga (2010), propuseram uma matriz para a caracterização dos impactos no processo de elevação do lençol freático induzido pelo enchimento de reservatórios (Quadro 1).

Figura 1 – Modelo dos processos de variação induzidos nos níveis estáticos.



Fonte: Leite (2005).

Com menor recarga, pode haver diminuição do lençol freático nas imediações do reservatório (Huang *et al.*, 2022). Por outro lado, é possível também que ocorra o inverso, o aumento do lençol freático nesses locais, em função de um aumento da infiltração nos casos em que não ocorra significativo fluxo longitudinal nas margens do reservatório (Mousavizadeh; Moeini; Shanehsazzadeh, 2023).

Outro efeito que pode ser citado é a alteração dos padrões de interação entre as águas superficiais e as subterrâneas. Neste sentido, uma possível diminuição do fluxo fluvial à jusante da barragem poderia também diminuir a recarga dos aquíferos onde o rio fosse influente.

É possível também que a carga da coluna de água que se formaria acabar por exercer grande pressão sobre o solo subjacente e, por conseguinte, sua compactação. Com isso, a porosidade e permeabilidade do meio subterrâneo pode diminuir e, com isso, a capacidade de armazenamento do aquífero.

É importante salientar que os impactos específicos de reservatórios nas águas subterrâneas dependem de fatores como o volume do reservatório, as características geológicas da área, o regime hidrológico e os padrões de uso e ocupação do solo no seu entorno (Huang *et al.*, 2022; Mousavizadeh; Moeini; Shanehsazzadeh, 2023).

Quadro 1 - Características dos impactos ambientais e análise comparativa para o caso de elevação no lençol freático induzida pela instalação de reservatórios.

Proposta de ROHDE		Processo de elevação do lençol freático.
Elementos dos impactos	Possibilidades	
Desencadeamento	Imediato Diferenciado Escalonado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imediato, pois logo é represado o rio, mesmo nas etapas intermediárias, de desvio do rio para construção da barragem, inicia-se o processo de fluxo para aquífero.</li> </ul>
Frequência ou temporalidade	Continua Descontinua Época do ano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A frequência é contínua, desde que mantidas constantes as</li> <li>• condições impostas, pelo enchimento do reservatório, o processo de estabilização se persistirá até a estabilização final.</li> </ul>
Extensão	Pontual Areal-extensivo Linear espacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classifica a extensão como areal/extensiva, pois o processo de elevação do lençol freático corre ao longo de toda a borda do reservatório, propagando-se também para suas margens ou entono.</li> </ul>
Reversibilidade	Reversível/temporário Irreversível/ permanente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O processo é reversível se ocorrer oscilação no nível d'água do reservatório, após o enchimento que alcança a cota topográfica máxima ou, senão, que o reservatório venha ser totalmente esvaziado.</li> </ul>
Duração	1 ano ou mais 1 a 10 anos 10 a 50 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não se dispõe ainda de dados de reservatórios no Brasil, que tenha sido monitorado até a sua estabilização final. Acredita-se que se situe em intervalos de 10 a 50 anos.</li> </ul>
Magnitude (Escala)	Grande, Média, Pequena.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A magnitude é variada, apresentando grandes valores nas proximidades do eixo da barragem, diminuindo rumo montante e no sentido do interior da área de entorno, onde as magnitudes podem ser médias, a pequenas, dependendo de condicionantes locais. Albuquerque Fo. et al. (1994) citam amplitude de 20 m observada em Pereira Barreto, a cerca de 50 km a montante da barragem Três Irmãos, rio Tietê, NO de SP.</li> </ul>
Importância	Importante, Moderada, Fraca, Desprezível, Outros. (Significado Local)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A importância é variável, dependendo das suscetibilidades naturais do meio físico a modificações no processo de fluxos subterrâneos, assim como das possíveis repercussões no uso e ocupação do solo no entorno do lago. Portanto, o impacto pode ser muito importante em locais onde existem solos colapsáveis que sofrem adensamento no seu volume devido ao aumento da umidade e resultam em recalques de fundações nele assentes e, por outro lado, podem ser absolutamente desprezíveis em locais</li> <li>• de nível d'água profundos, que sofrem elevações milimétricas em sua posição original.</li> </ul>
Sentido	Positivo Negativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São positivos e negativos, cujo balanço dependerá das disponibilidades e demanda regional pela água subterrânea,</li> <li>• assim como das características naturais do meio físico e usos e ocupação do solo ali estabelecidos ou previstos.</li> </ul>

Origem.	Direta: efeitos 1ários Indireta: efeitos 2ários, 3ários etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origem direta está associada à reversão no sentido dos fluxos subterrâneos, diminuição de gradientes hidráulicos e aumento da espessura do aquífero. Origem indireta é o comportamento do meio físico ante as novas condições de umidade estabelecidas no subsolo (colapsividade, recalques, erosão, evapotranspiração, salinização, mineralizações, dentre outros) e repercussões no uso e ocupação do solo.</li> </ul>
Acumulação.	Linear. Quadrática Exponencial etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As formulações matemáticas utilizadas para cálculo das</li> <li>• elevações induzidas no lençol freático indicam comportamento exponencial.</li> </ul>
Sinergia.	Presente Ausente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É estabelecida sinergia com outros impactos de forma intensa, posto que a água é um elemento que permeia e interage com os demais componentes envolvidos no processo de alteração ambiental.</li> </ul>
Distribuição Ônus/ Benefícios.	Socializados Privatizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os prejuízos mais proeminentes e tradicionalmente inseridos no rol dos impactos previsíveis, constatados no EIA/RIMA, tendem a ser privatizados. Em termos dos benefícios, parte deles é socializada e parte é privatizada.</li> </ul>

Fonte: Albuquerque Filho; Saad; Alvarenga (2010).

## 2.4 MÉTODOS DE PREVISÃO DA ELEVAÇÃO NO NÍVEL FREÁTICO

Conforme Leite (2015), “na elaboração de estudos de impactos associados à formação de reservatórios, um dos parâmetros fundamentais a ser quantificado é a amplitude e extensão da elevação do nível freático nas margens do futuro reservatório”. A quantificação das elevações induzidas no aquífero freático pelo enchimento do reservatório pode ser efetuada utilizando diferentes métodos, que variam em complexidade e precisão, podendo ser agrupados, conforme a sua abordagem, em quatro categorias distintas, a saber:

- **Abordagem Analítica**

O método baseia-se na adaptação de equações que governam os fluxos d'água subterrânea no entorno de canais ou drenos, instalados em aquíferos livres, após mudanças ocorridas no nível d'água no seu interior (rebaixamentos ou elevações). As variáveis utilizadas em seus equacionamentos são:

$$\Delta h = \frac{1}{\pi} \left[ \left( H - \frac{Hy}{a} \right) \left( \arctan \frac{a-y}{x} + \arctan \frac{y}{x} \right) \frac{Hy}{2a} \left( \frac{x^2 + y^2}{x^2 + (a-y)^2} \right) \right]$$

Reservatório.

$\Delta h$  = variação de carga hidráulica.

H = Espessura da lâmina d'água no eixo da barragem (H) e na borda do reservatório (Hy)

a = Extensão do reservatório.

y = Distância longitudinal do eixo da barragem.

x = Distância perpendicular da borda do reservatório.

As equações analíticas são válidas para rebaixamentos/elevações pequenas em relação à espessura saturada do aquífero. Além disso, os métodos pressupõem a presença de um canal ou dreno totalmente penetrante num aquífero de espessura constante e extensão finita, homogêneo, isotrópico, com fluxo livre e horizontal e em condição estacionária (Leite, 2005).

- **Abordagem cartográfica**

De acordo com Leite (2005), o método cartográfico permite definir as variações de carga hidráulica no aquífero adjacente ao reservatório, após o barramento e a montante do corpo da barragem, a partir da superposição de mapas hidrogeológicos temáticos. Ainda de acordo com este autor, costuma-se usar mapas potenciométricos em base planialtimétrica com as altitudes dos Níveis Estáticos anterior e posteriormente ao barramento, onde a diferença entre as isolinhas deve-se à amplitude da elevação do nível causada pela água acumulada no reservatório, conforme a seguinte equação:

$$\text{CNEf} = \text{CNEi} + \Delta h$$

Onde,

CNEf = Cota final do Nível Estático.

CNEi = Cota inicial do Nível Estático.

$\Delta h$  = Variação de carga/altura da cota.

O produto, denominado “Mapa de Potencial de Influência do Enchimento do Reservatório Sobre o Sistema Aquífero Livre”, pode ser definido como o instrumento cartográfico que propicia o zoneamento previsional da distribuição das profundidades do nível d’água subterrânea e corresponde, portanto, a situações finais de amplitude e extensividade dos efeitos induzidos pelo enchimento (Leite, 2005).

Albuquerque Filho e Leite (2002) propuseram a utilização deste método no processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), a partir da etapa de diagnóstico ambiental. Os autores destacaram que o método não requer o uso de parâmetros hidráulicos do aquífero, assim como a utilização de equipamentos sofisticados ou equações matemáticas complexas. Além disso, não existem limitações para o tamanho do reservatório estudado.

- **Abordagem Numérica**

O método numérico envolve a utilização de diferenças finitas por meio de cálculos diferenciais aplicados a fluxos bi ou tridimensionais e transitórios em meio elástico, homogêneo ou heterogêneo, podendo ou não ser feito mediante análise modular (Leite, 2005).

- **Abordagem Geoestatística e Estocástica**

Esta abordagem considera as propriedades hidrogeológicas fundamentais de um meio aquífero poroso, amostrado a partir de um Volume Elementar Representativo, para representar as variações de um meio a outro por funções matemáticas contínuas, como, por exemplo, derivadas parciais sobre a porosidade, a condutividade hidráulica, a transmissividade, o coeficiente de armazenamento, níveis potenciométricos etc. (Leite, 2005). Este método se diferencia da abordagem numérica pela determinação espaço-temporal dos dados a serem analisados em uma grade de coordenadas geográficas ou planas, geralmente empregando métodos estatísticos multivariados como a krigagem, a inferência bayesiana ou o método das diferenças finitas (Yamamoto; Landim, 2013).

## 2.5 MODELAGEM HIDROGEOLÓGICA

Na aplicação de uma ou outra dessas abordagens, é necessário a determinação de importantes parâmetros ambientais e hidrodinâmicos, tais como a porosidade, a permeabilidade, a condutividade hidráulica, a transmissividade, o armazenamento, a difusidade hidráulica, os níveis d'água, padrões espaço — temporais de fluxo, vazões de poços e cursos d'água. Nesse sentido, além dos estudos técnicos de engenharia, para a determinação das influências de reservatórios de barragens em aquíferos são necessárias as seguintes práticas (Graham *et al.*, 2015):

- **Análise de Dados Prévios**

Análises de dados prévios permitem expandir os modelos para períodos além daqueles envolvidos nos levantamentos de campo, complementando-os e fornecendo bases mais sólidas para simulações da evolução das condições hidrogeológicas. Ajudam também a calibrar os modelos.

- **Estudos Geotécnicos**

O correto dimensionamento da área e volume do reservatório e das cargas aplicadas no material geológico e a resistência deste permitem uma determinação segura da estabilidade do sistema e as taxas de infiltração, o que, por sua vez, permite a definição do grau e taxa de recarga do aquífero.

- **Estudos Climatológicos**

Estudo dos padrões espaço-temporais de precipitação, temperatura, umidade, evaporação, evapotranspiração, considerando longas séries temporais são imprescindíveis para a determinação do balanço hídrico local e, com isso, do aporte de água disponível para a recarga dos aquíferos.

- **Estudos Hidrogeológicos**

Investigações hidrogeológicas no entorno do reservatório a fim de se melhor caracterizar e descrever as propriedades hidrodinâmicas e hidrogeoquímicas dos aquíferos envolvidos. Os testes de produção, de aquífero, slug e bail down permitem a obtenção dos principais parâmetros hidrodinâmicos, como a condutividade hidráulica, a transmissividade e difusividade, o armazenamento e a retenção específica. A aplicação destes testes e ensaios hidrogeológicos deve ser planejada de modo a formar uma malha no entorno do reservatório que seja suficiente para captar e representar as principais alterações esperadas no aquífero. A instalação de poços nas imediações dos reservatórios permite acompanhar as variações dos níveis e da qualidade das águas subterrâneas ao longo de intervalos determinados antes, durante e depois da construção da barragem.

- **Modelagens Numéricas**

Modelos numéricos são especialmente indicados para simular o comportamento dos aquíferos em escalas maiores do que aquelas permitidas em levantamentos de campo e de dados pré-existentes. Envolvem fatores como o cronograma de funcionamento da hidrelétrica, as taxas de enchimento do reservatório, as propriedades dos aquíferos, as condições climatológicas, hidrológicas e hidrogeológicas iniciais etc.

- **Sensoriamento Remoto**

Permitem abranger áreas muito maiores e mesmo inacessíveis ao levantamento presencial em campo. É imprescindível para toda e qualquer cartografia hidrogeológica.

- **Levantamentos de Campo**

Levantamentos de campo são imprescindíveis para se obter dados socioambientais concretos sobre o terreno e o subsolo, ajudando a calibrar as interpretações e mapeamentos feitos a partir de sensoriamento remoto.



- **Análise de Riscos**

Prevê os possíveis impactos do preenchimento do reservatório nos ecossistemas naturais e antrópicos, permitindo, assim, um combate mais eficiente e otimizado aos problemas que eles representam para a fauna, flora e populações humanas a serem afetadas pela obra.

A diversidade e complexidade destas práticas e métodos requerem técnicas sofisticadas de tratamento de dados. Na era da informação, novos métodos e técnicas de análise de dados são cada vez mais necessários para se extrair o máximo deles. A quantidade de informações disponíveis aos usuários fez com que naturalmente o interesse sobre essa temática fosse crescendo entre a comunidade científica e usuários de tecnologia da informação, de modo que diversos ramos da análise estatística e da modelagem matemática de dados fossem popularizados (Zhou *et al.*, 2014).

De acordo com Santarosa e Manzione (2018), a modelagem hidrogeológica possibilita responder várias questões capazes de descrever a variabilidade espacial e temporal do comportamento dos aquíferos, como as variações nos níveis, a direção e velocidade dos fluxos, a origem da água e volume disponível. A gestão das águas subterrâneas pode ser beneficiada pelas informações geradas pela construção de um Modelo Hidrogeológico Conceitual (MHC), buscando maximizar os dados e experiências, utilizando ambos de forma sistemática para obtenção de respostas e conhecimentos sobre a dinâmica das águas subterrâneas.

A modelagem hidrogeológica tem sido abordada por meio de vários métodos e recursos, podendo ser desde medidas diretas destas interações via hidrógrafas, de traçadores de calor, medições de níveis, de fluxo, passando aplicações da lei de Darcy e os conceitos de gradiente hidráulico e condutividade hidráulica e balanço de massas, até o uso de inteligência artificial, via aprendizagem de máquina por redes neurais, decisões de multicritérios, processos analíticos hierárquicos, estatística multivariada, etc. (Mousavizadeh; Moeini; Shanehsazzadeh, 2023).

Atualmente, existem muitos *softwares* e códigos especializados onde tais análises podem ser efetuadas, como, por exemplo, MODFLOW (MODSIM), FEFLOW, HEC-HMS, GMS, GSFLOW, SEAWAT, VS2DH, SUTRA, MT3DMS, R, MIKE SHE e muitos outros. Mais recentemente, linguagens computacionais mais dinâmicas e amigáveis vêm sendo utilizadas para modelagens, como, por exemplo, a linguagem

PYTHON, que tem se revelado uma poderosa ferramenta de análise e modelagem de dados (Petrelli, 2021).

## 2.6 HIDRELÉTRICAS NO BRASIL E RORAIMA

A geração de energia no Brasil advém de variadas fontes, sendo a hidrelétrica, a termelétrica e a eólica as de maior porte e importância. Estas fontes são todas integradas formando o Sistema Interligado Nacional (SIN), subdividido nos seguintes subsistemas: subsistema sul (20.459,242 MW/mês), subsistema sudeste/Centro-Oeste (204.615,328 MW/mês), subsistema nordeste (551.691,227 MW/mês) e Subsistema Norte (15.302,397 MW/mês). A administração do SIN é efetuada por empresas privadas e públicas e sua coordenação cabe ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), formando, assim, o Sistema Elétrico Brasileiro (Lorenzo, 2002).

A geração de energia elétrica a partir dos rios no Brasil data do final do século XIX e início do XX, no início da república, mas foi apenas a partir do último governo de Getúlio Vargas, na década de 1950, que o país experimentou um expressivo incremento no número de hidrelétricas. A exemplo do que acontecia no restante do mundo, as novas demandas energéticas mundiais ocasionadas pelos rearranjos geopolíticos do pós-guerra e a terceira revolução industrial provocaram uma corrida à energia hidrelétrica (Oliveira, 2018). Esta corrida foi acelerada na década de 1970, quando então, a ditadura militar buscou a eficiência energética brasileira mediante grandes empreendimentos hidrelétricos. Neste contexto, grandes usinas hidrelétricas foram construídas, sendo a mais notável a UHE Itaipu, durante muito tempo a maior do mundo (Mello; Piasentin, 2011). Após períodos de crescimento constante na construção de barragens, houve uma expressiva queda na década de 1990, quando então registrou-se pouco mais de 30, em contraposição às quase 70 registradas no período de 1964 a 1989 (Oliveira, 2018).

Como resultado, a hidroeletricidade tem sido a principal fonte de geração do Sistema Elétrico Brasileiro por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético nacionalmente. Segundo a EPE (2022), o Brasil dispõe de um sistema gerador com capacidade instalada de mais de 150 GW, com predominância hidrelétrica. Essa predominância

decorre da extensa superfície territorial do país, com muitos planaltos e rios. O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram aproveitados. Aproximadamente 70% do potencial ainda não aproveitado está localizado nas bacias hidrográficas Amazônica e Tocantins — Araguaia (EPE, 2022).

Roraima é o único estado da nação ainda não conectado ao SIN, sendo sua matriz energética composta basicamente por Usinas Termelétricas (UTE), predominantemente ao óleo diesel. Mais recentemente, surgiram UTE a gás e à biomassa, mas surgiram também alternativas energéticas menos danosas ao meio ambiente, como biodiesel da palma de dendê, energia solar e eólica. A interligação com o SIN está em via de conclusão através do “Linhão do Tucuruí”, que levará energia elétrica da UHE Tucuruí, no Pará, até Boa Vista, em Roraima, passando por Manaus, no Amazonas, cobrindo vastas distâncias na floresta amazônica, atravessando reservas indígenas inclusive, como a dos Waimiri-Atroari, no norte do Amazonas e sul de Roraima. Desde 2001 o Brasil importava energia elétrica do complexo hidrelétrico Guri-Macáguas, da Venezuela, para abastecer Roraima, porém, em 2019 rompeu o contrato (que iria até 2021), o que obrigou à construção acelerada de novas alternativas de geração elétrica, basicamente UTE (Zambonin; Cavalcante, 2023).

Devido à expansão populacional experimentada pelo estado de Roraima nos últimos anos, devida principalmente ao êxodo venezuelano e, mais recentemente, à expansão da fronteira agrícola e do garimpo ilegal, as demandas energéticas aumentaram de maneira significativa, o que renovou os esforços de construção de hidrelétricas locais para o abastecimento da população roraimense. Embora existam muitos projetos de construção de UHE em Roraima, a Pequena Central Hidrelétrica de Jatapu, que atualmente atinge 10 MW/mês de potência instalada, é, por enquanto, o único empreendimento hidrelétrico do estado. Iniciada na década de 1990, esta UHE tinha 5 MW/mês de capacidade e passou por uma série de reformas até chegar à referida potência observada atualmente (Zambonin; Cavalcante, 2023).

Projetos de UHE em Roraima datam da década de 1970, com o da UHE Cottingo, que acabou sendo abandonado por deficiências em seus estudos e relatórios ambientais (Silva; Joaquim, 2011). Estão projetados também ao menos mais quatro UHE, a saber, paredão M1 (69,93 MW/mês), paredão A (199,33 MW/mês), fé e esperança (71,72 MW/mês) e Bem Querer (650 MW/mês), sendo os três primeiros no rio Mucajá e o último no rio Branco (EPE, 2022).

O consumo de energia em Roraima no pico é de aproximadamente 240 MWh. O custo de geração de energia termelétrica no estado é de mais de um bilhão/ano, principalmente porque 87% da geração depende da compra de diesel vindo do Amazonas. Assim, por exemplo, no ano de 2020 foram gerados aproximadamente 1,25 GWh a partir da queima de 345 milhões de litros de óleo diesel, ao custo de pouco mais de 1,1 bilhões (Moraes, 2021).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 USINA HIDRELÉTRICA BEM QUERER (UHEBQ)

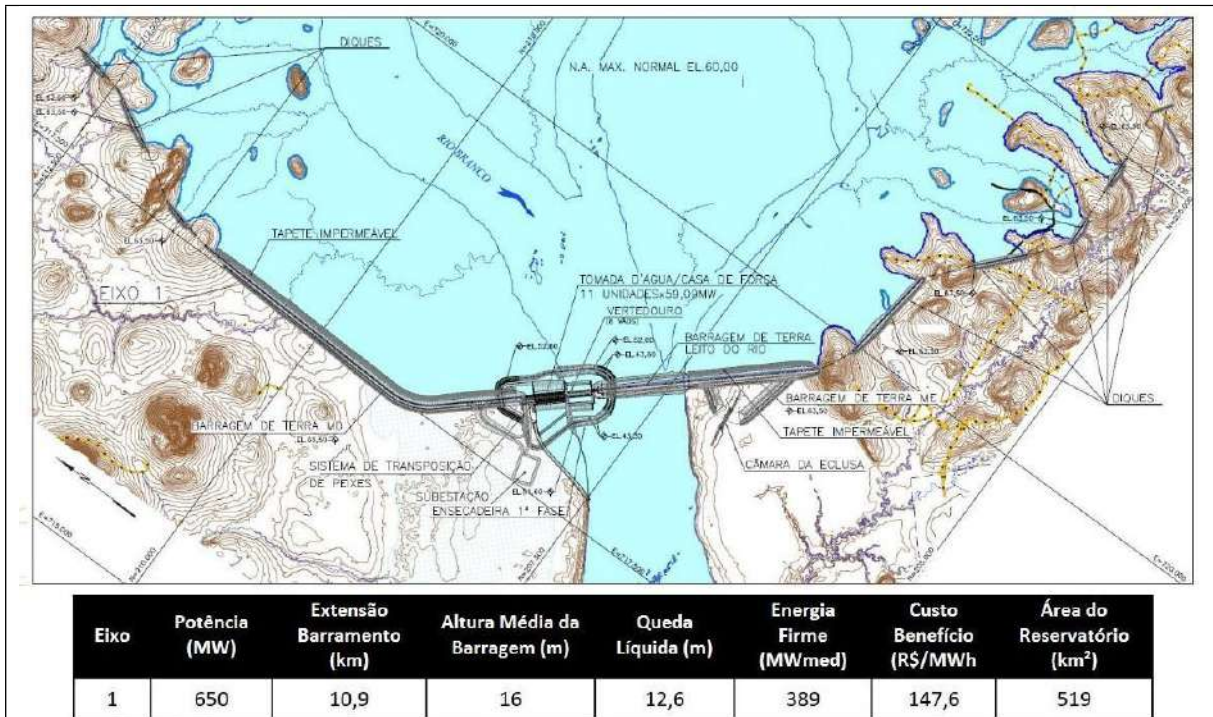
Segundo a EPE (2022), foram concebidas, ao todo, 40 (quarenta) alternativas de partição de queda na fase de Estudos Preliminares de Inventário, contemplando 2 (dois) locais de barramento no curso d'água principal, ou seja, no rio Branco, e 5 (cinco) locais de barramento no importante contribuinte da margem direita, o rio Mucajaí. Os locais de barramento, quando factíveis, contemplaram variações de cota de coroamento dos barramentos. Na fase de Estudos Finais de Inventário foram realizados os trabalhos de consolidação dos dados e investigações complementares cartográficos, topobatimétricos, geológico-geotécnicos, hidrométricos e socioambientais, bem como estudos energéticos, trabalhos de dimensionamento, de orçamentação e de avaliações energético-econômicas e socioambientais das alternativas de partição de queda selecionadas na fase anterior.

A alternativa final selecionada para a instalação da barragem da hidrelétrica foi a jusante das corredeiras do Bem Querer, município de Caracaraí (Figura 2), com implicação estratégica à navegação, uma vez que as rochas das corredeiras aflorantes no leito do rio Branco serão cobertas com o aumento do nível d'água, podendo facilitar o acesso de Manaus até Boa Vista (EPE, 2020).

Inicialmente, no Estudo de Inventário, a potência prevista era de 708,4 MW, mas o projeto foi revisto e a potência reduzida para 650 MW no Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental (EVTE) da UHE (Tabela 1).

O EVTE, bem como o EIA/Rima ainda não foram publicados, a previsão de publicação é até o fim do ano de 2023. No Estudo de Inventário, a área de espelho d'água do reservatório era de 559,1 km<sup>2</sup>, sendo 28% correspondente ao leito do rio Branco e volume total de 2.530 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, no EVTE a área do reservatório reduziu para 519 km<sup>2</sup>. No projeto, a cota de inundação é de 60 m, com o eixo do barramento localizado pouco a montante da área urbana da cidade de Caracaraí e o reservatório alcançando o limite da área urbana de Boa Vista (Figura 2).

Figura 2 – Projeto do Eixo da Barragem da UHE Bem Querer.



Fonte: EPE (2022).

Tabela 1 – Atualização das características da UHE Bem Querer no EVTE, em relação às do estudo de inventário.

Características	Estudos do inventário	EVTE
Potência (MW)	708,4	650
Área de Reservatório (km <sup>2</sup> )	559	519
Relação Área do Reservatório / Potência (km <sup>2</sup> /MW)	0,79	0,80
Energia Firme (MWmed)	389,6	389,1
Queda Bruta	15,7	15,00
Nível d'água do Reservatório.	60	60
Número de Máquinas	13	11
Custo Total com JDC (R\$ x 10 <sup>6</sup> ) — Dez/19	7.131	6.684

Fonte: EPE (2022).

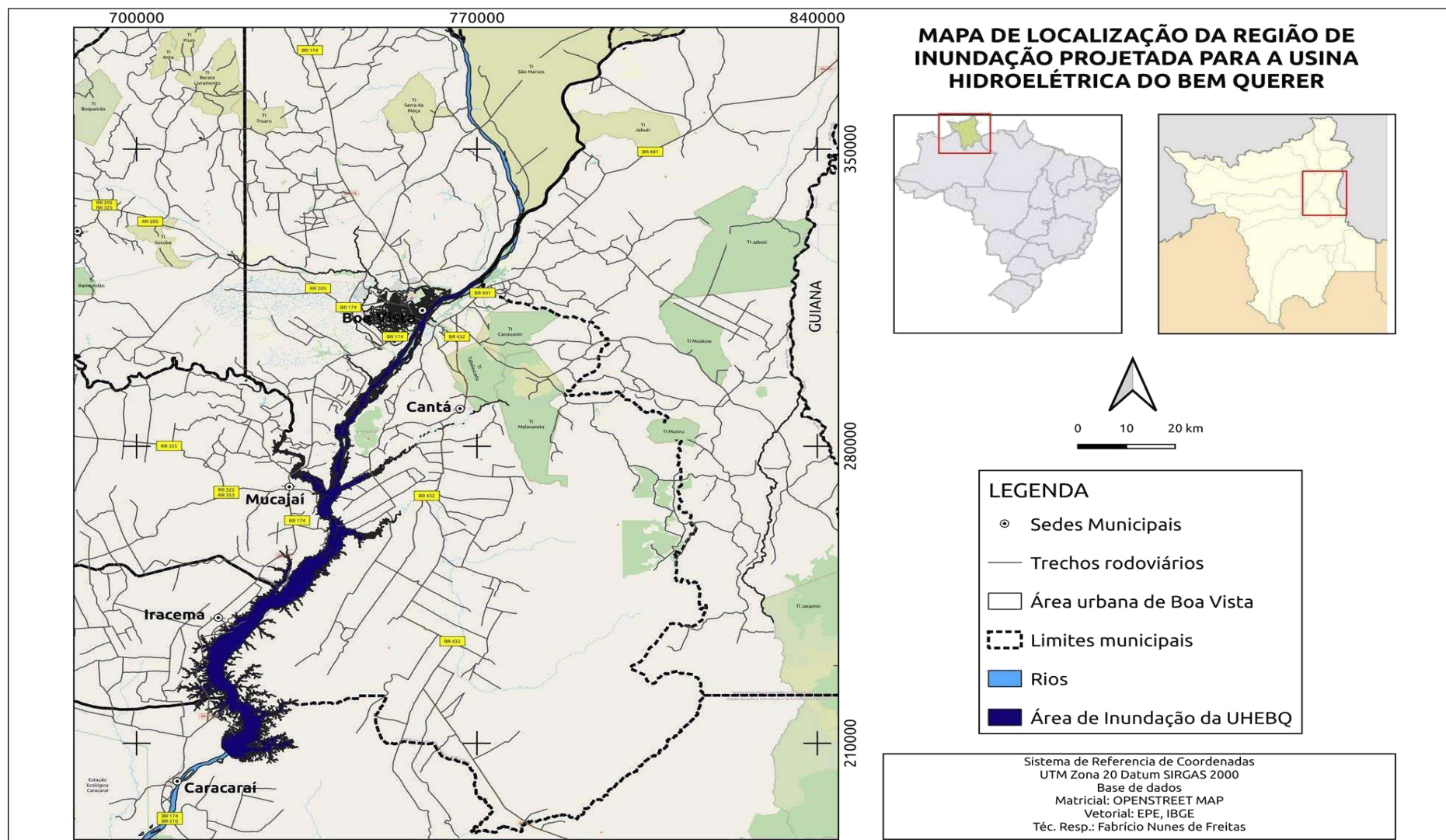
### 3.2 LOCALIZAÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA BEM QUERER (UHEBQ)

A área de estudo engloba os municípios de Boa Vista, Bonfim, Cantá, Caracaraí, Mucajaí e Iracema, abarcando as porções Alta e Média da Bacia Hidrográfica do Rio Branco (BHRB), em Roraima. A bacia hidráulica da UHE Bem-Querer formará um eixo NE-SO de aproximadamente 120 x 32 km, perfazendo uma área de 559,1 km<sup>2</sup>, que se estenderá desde o primeiro terço do Médio Rio Branco, até

o final do segundo terço do Alto Rio Branco onde seu limite norte coincide com o limite leste, nas coordenadas 2°52'58.58"N/60°34'2.92"O (WGS84) próximo ao igarapé Água Boa de Cima em Boa Vista, o seu limite sul localiza-se na barragem, nas coordenadas 1°52'48,35"N/61°2'6,24"O, em Caracaraí, a 404 km da foz do rio Branco e seu limite a bacia hidráulica da UHE Bem-Querer oeste localiza-se nas coordenadas 2°01'0,20"N/61°07'39,04"O, em Iracema (Figura 4).

O acesso a sua área pode ser feito a partir de importantes estradas e vicinais. Assim, a margem direita pode ser acessada inicialmente pela BR-174 e posteriormente pelas vicinais que partem dela para leste, enquanto sua margem oeste pode ser acessada pelas BR-401 e BR-432 e vicinais que partem para oeste (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Produção autoral (2023).



### 3.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA UHEBQ

#### 3.3.1 Clima

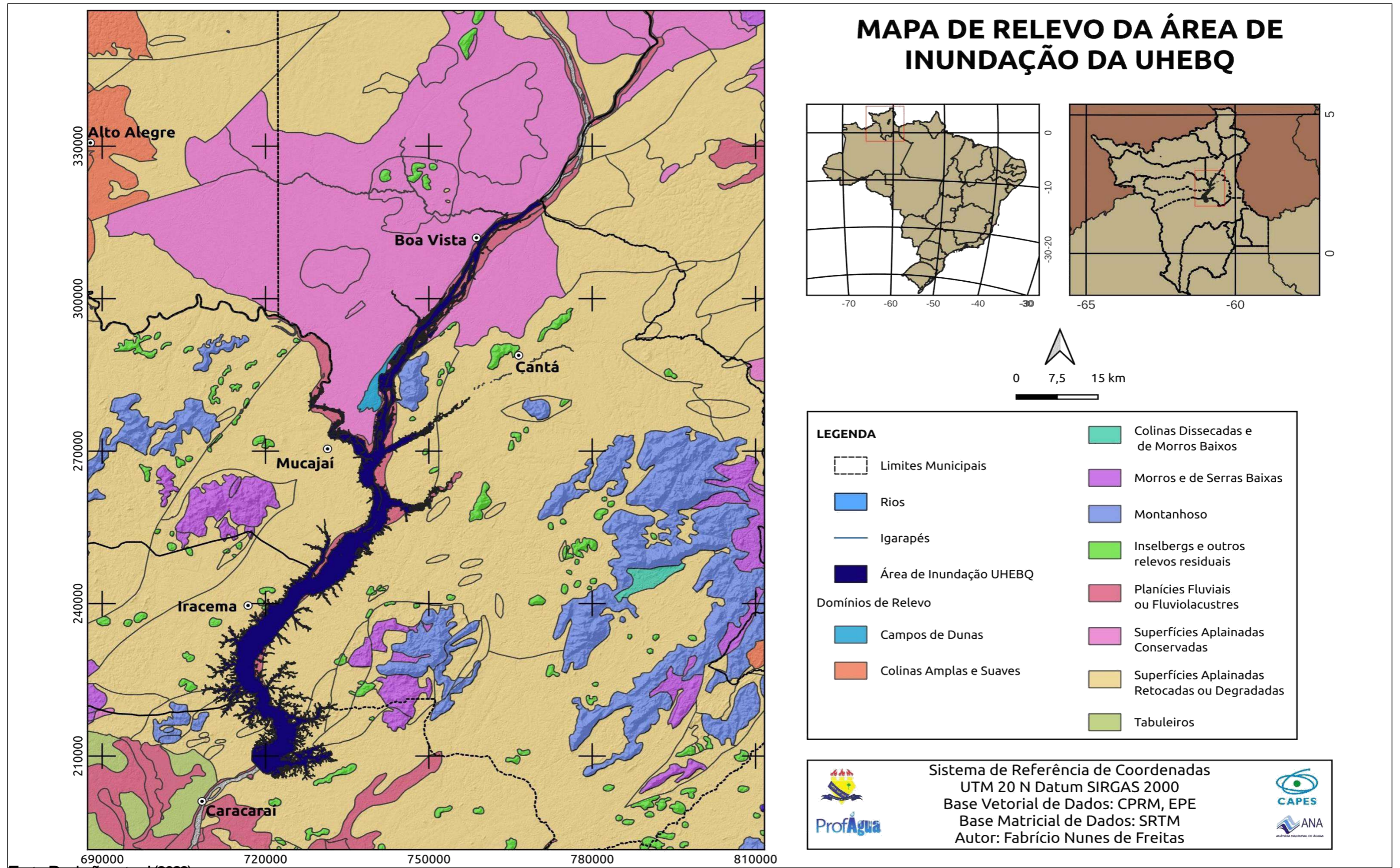
Barbosa (1997) e Barni *et al.*, (2020) registraram os tipos Tropical de Savana com estação mais seca no inverno (*Aw*), na região NE de RR, Tropical Equatorial (*Af*) a SO e Tropical de monção (*Am*) na faixa central restante do estado. Com até 8 h/dia, setembro é o mês em que o sol brilha mais, enquanto maio, com menos de 5 h/dia, é o em que ele brilha menos. Julho é o mês com mais dias (20) chovendo e janeiro e fevereiro o com menos (3) dias. Fevereiro é o mês com menor precipitação (0,9 mm) registrada para um dia, enquanto maio é o que registra a maior (10 mm) precipitação para um dia. Em relação à umidade relativa do ar, março é o mês com menores valores percentuais, enquanto julho registra os maiores valores (~82%) de umidade relativa do ar.

#### 3.3.2 Relevo

A maioria do território de Roraima (51%) não ultrapassa 200 m de altura, outra parte expressiva (32%) apresenta altitudes entre 200–400 m, uma pequena parte (8,7%) apresenta entre 100-1.000 m e outra (8,7%) entre 1000 a 4000 m. Os relevos baixos são bastante afetados pelo intemperismo químico de etcheplanação, já os relevos altos podem ser divididos em formações tabulares (*tepuis*), acidentados, escarpados ou arredondados (*inselbergs* e *hogbacks*), boa parte dessas feições tem controle estrutural. Os fenômenos erosivos atuantes em todas essas feições resultam em um predomínio dos sistemas denudacionais (Carvalho, 2015).

O entorno imediato da área do reservatório constitui-se em Planícies Fluviais e Fluvioacustres, as quais, por sua vez, encontram-se margeadas em ambos os lados por Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas a partir da confluência do rio Mucajaí com o rio Branco e por Superfícies Aplainadas Conservadas ao norte desse mesmo ponto, principalmente na margem direita do rio Branco (Figura 4). Este padrão é por vezes interrompido por *inselbergs* e serras, como, por exemplo, a Serra Grande, a norte da confluência do rio Quitauaú com o rio Branco, no Cantá. Ver Figura 4.

Figura 4 – Padrões de Relevo de Roraima.



Fonte: Produção autoral (2023).

### 3.3.3 Geologia

Roraima insere-se no Escudo das Guianas, sendo suas coberturas Fanerozóicas representadas pelas rochas vulcano-sedimentares das bacias Solimões, no Sul, e Tacutu, no Norte. Conforme pode se ver na Figura 6, no entorno da área de inundação da UHEBQ ocorrem os seguintes litotipos (Fraga, 2002; Salazar *et al.*, 2017; Menezes; Wankler, 2020). Suíte Intrusiva Serra da Prata (gnaisses, monzonitos, sienogranitos e charnokitos); Suíte Intrusiva Mucajaí (gnaisses e granitóides miloníticos com rapakivi); Suíte Metamórfica Rio Urubu (ortognaisses, quartzo-mangeritos, quartzo-jotunitos gnáissicos); Granito Curuxuim (leucogranitos do tipo S, pertencentes ao Grupo Cauarane); Formação Boa Vista (arenitos, argilitos arenosos e conglomerados); Depósitos Aluvionares-Coluvionares Quaternários (depósitos aluvio-coluvionares de seixos, areias, argila e silte).

### 3.3.4 Hidrogeologia

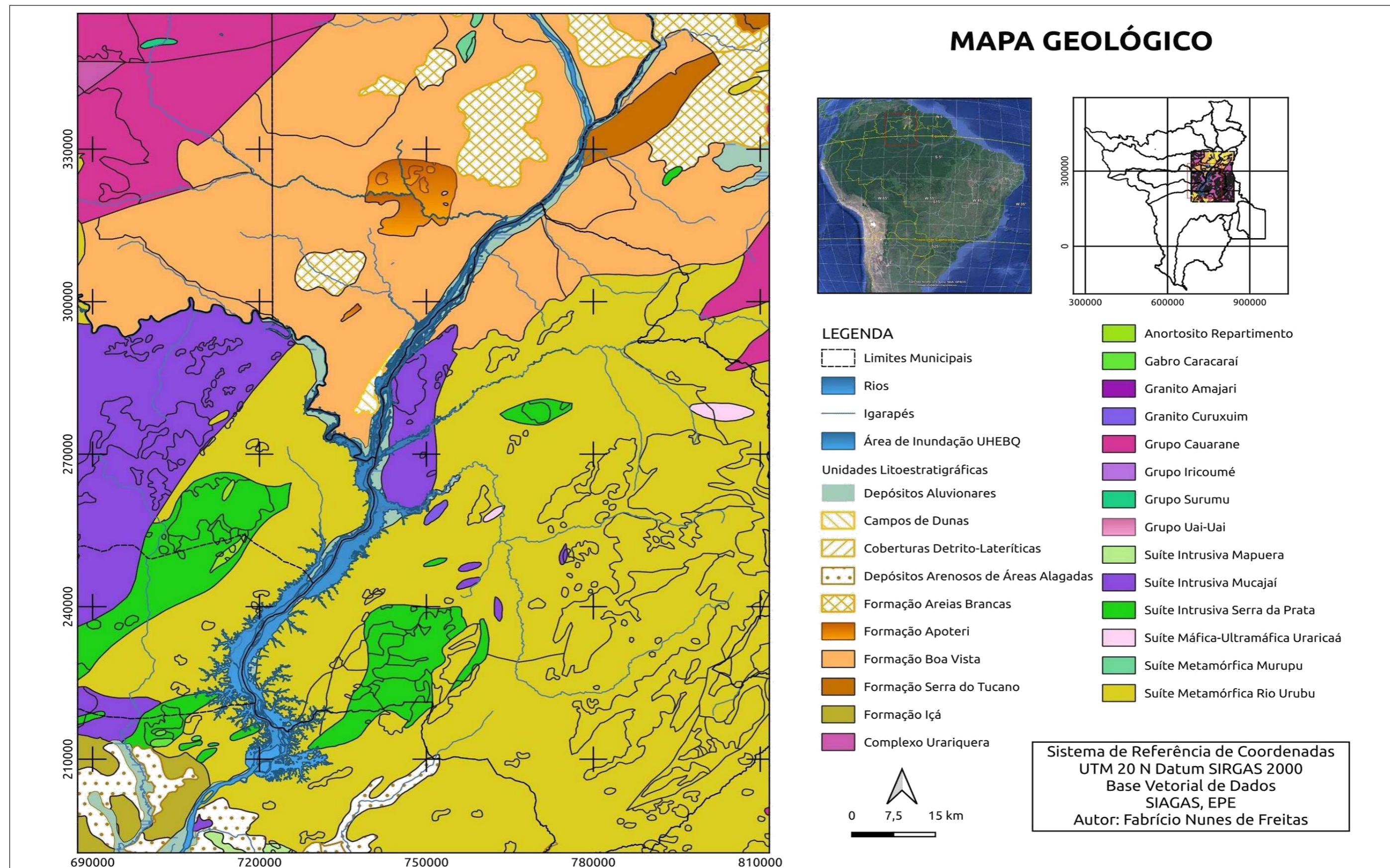
Na área de estudo, observam-se aquíferos dos domínios Intergranular (DI), Fraturado (DF). O DI ocorre nas partes baixas correspondentes às capas sedimentares, associadas à Depressão Boa Vista (principalmente pela Formação Boa Vista) e Bacia do Solimões (principalmente pela Formação Içá), respectivamente, a norte da confluência dos rios Quitauaú e Mucajaí com o rio Branco e nas proximidades da barragem, ao sul (Figura 6). Já o DF ocorre entre estas do DI (Figura 5).

De acordo com informações de Holanda, Marmos e Maia (2014), o Domínio Intergranular apresenta transmissividade entre  $1,3 \cdot 10^{-2}$  e  $3,0 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s e condutividade hidráulica entre  $6,7 \cdot 10^{-4}$  e  $8,0 \cdot 10^{-4}$  m/s, com vazões máximas de até 50 m<sup>3</sup>/h na região de Boa Vista e 113 m<sup>3</sup>/h na região de Caracaraí. Em termos hidrogeoquímicos, apresentam baixos teores de sais dissolvidos (condutividade elétrica até 33 µS/cm), indicando boa qualidade.

Os aquíferos do Domínio Fraturado com Maior Favorabilidade são aqueles geralmente encontrados em áreas de menor declividade, com manto de intemperismo mais espesso e maior permeabilidade/infiltração do solo e, conseqüentemente, menor escoamento superficial (e menor drenagem superficial). Testes de bombeamento em poços com seção filtrante nestes aquíferos costumam apresentar vazões em torno de

3 m<sup>3</sup>/h. Já os aquíferos do Domínio Fraturado com Menor Favorabilidade são registrados em áreas de maior declividade e, conseqüentemente, maior escoamento superficial e formação de malha hídrica superficial, bem como mantos de intemperismo menos espessos. Nestes casos, as vazões não excedem 3 m<sup>3</sup>/h (Holanda; Marmos; Maia, 2014). Ver Figuras 5 e 6.

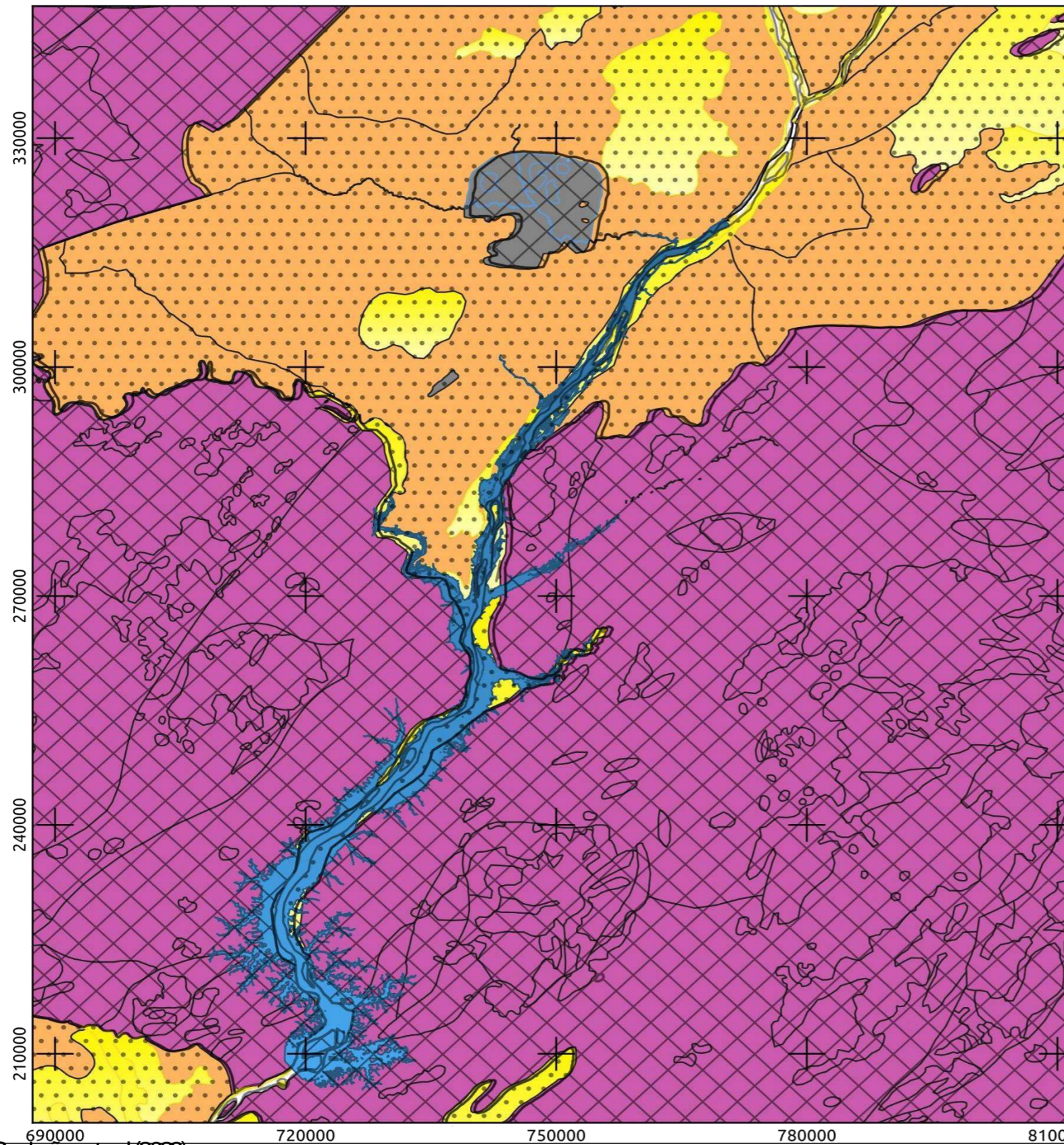
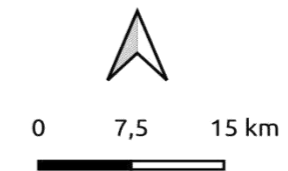
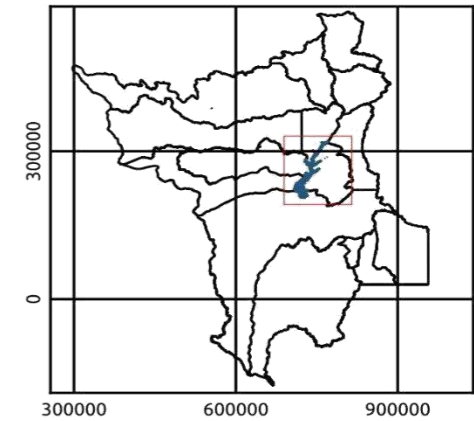
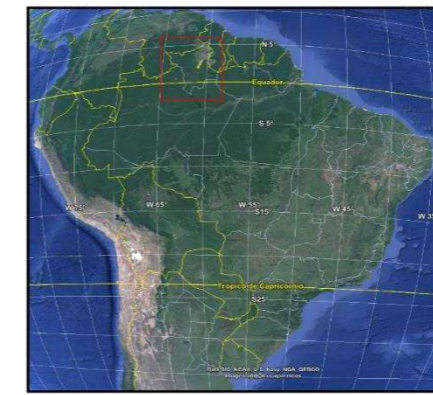
Figura 5—Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 6—Mapa de Domínios Hidrogeológicos da área de estudo.

## MAPA DE DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS



### LEGENDA

#### Cartográficos

- Igarapés
- Limites Municipais
- Rios
- Área de Inundação UHEBQ

#### Hidrogeologia

- Domínio Fraturado
- Domínio Granular

#### Geologia

- CENOZÓICO**
- Depósitos Quaternários
- MESOZÓICO**
- Rochas Ígneas Vulcânicas
- Rochas Sedimentares
- PRÉ-CAMBRIANO**
- Rochas Ígneas Plutônicas e Rochas Metamórficas

Sistema de Referência de Coordenadas  
UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
Base Vetorial de Dados  
CPRM: GEODIVERSIDADE, SIAGAS. EPE: UHEBQ  
Autor: Fabrício Nunes de Freitas

### 3.3.5 Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Rio Branco, doravante BHRB, tem cerca de 192.000 km<sup>2</sup> de área de drenagem e localiza-se, predominantemente, no estado de Roraima e somente uma pequena porção se insere no estado do Amazonas e no país limítrofe, a Guiana. A BHRB ocupa quase todo o território do estado de Roraima, se confundindo praticamente com o estado (Ferreira *et al.*, 2006). As sub-bacias da BHRB que serão diretamente afetadas pela bacia hidráulica da UHEBQ são as seguintes (Figura 7):

1. Bacia Hidrográfica do Rio Branco I (BHRBI);
2. Bacia Hidrográfica do Rio Branco II (BHRBII);
3. Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé (BHRC);
4. Bacia Hidrográfica do Quitauauú (BHRQ);
5. Bacia Hidrográfica do Rio Cachorro (BHRCo).

A BHRC possui uma área de 3159 km<sup>2</sup>, um comprimento aproximado de 88 km e um perímetro de 271 km. A BHRBI possui uma área de 2708 km<sup>2</sup>, um comprimento aproximado de 90 km e um perímetro de 337 km. A BHRBII possui uma área de 8835 km<sup>2</sup>, um comprimento aproximado de 430 km e um perímetro de 1222 km. A BHRQ possui uma área de 2360 km<sup>2</sup>, um comprimento aproximado de 85 km e um perímetro de 270 km. A BHRCo possui uma área de 2635 km<sup>2</sup>, um comprimento aproximado de 70 km e um perímetro de 281 km. Desses valores depreende-se que, em termos comparativos, a BHRC possui o maior tempo de retorno, enquanto a BHRBII possui tempo de retorno consideravelmente rápido, estando, assim, mais suscetível a cheias. As demais bacias apresentam valores ligeiramente maiores do que a BHRC, sendo, assim, relativamente parecidas a ela no que tange ao tempo de retorno, ou seja, apresentam tempo moderado.

### 3.3.6 Solos

Em relação às áreas diretamente afetadas pela inundação da UHEBQ, os Gleissolos háplicos (Gx) são o tipo de solo mais abundante ao longo das planícies de inundação dos rios Branco, Mucajaí, Uraricoera e Tacutu (Figura 8). À jusante da barragem, registram-se Espodossolo Ferrocárbico (ES) na margem esquerda do rio Branco e Neossolo quartzarênico (RQ), em sua margem direita. Lateralmente ao Gx, registram-se Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) a partir da barragem até aproximadamente a altitude da foz do rio Mucajaí, na margem direita, e da barragem até a foz do igarapé Cachorro, na margem esquerda. A partir daí, em direção norte, registram-se Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) na margem esquerda e Latossolos Amarelo (LA). Os demais solos registrados para esta área encontram-se ilustrados na Figura 8.

### 3.3.7 Flora

Desde a barragem até quase a sede municipal de Iracema, na margem direita do rio Branco e até a foz do rio Cachorro, na margem esquerda, observam-se Florestas Ombrófilas Densas com dossel emergente. A partir de Iracema até a foz do rio Mucajaí, na margem direita e da foz do rio Cachorro até a face norte da Serra Grande, na margem esquerda, predominam Florestas Estacionais Semidecíduais Submontana com dossel uniforme. Esta mesma vegetação ocorre também associada ao limite norte imediato inferido para a área de inundação da UHEBQ, estendendo-se a norte como mata ciliar do rio Branco a partir de então. A partir da foz do Mucajaí na margem direita do rio Branco até o final da área de influência da UHEBQ em direção norte, ocorrem Savanas Parque com Florestas de Galeria, geralmente buritizais (*Mauritia flexuosa*). Já na margem esquerda, a partir da face norte da Serra Grande até a foz do igarapé Surrão, na fronteira entre o município do Cantá e Bonfim, a vegetação registrada é a de Savana Gramíneo-Lenhosa com Floresta de Galeria. As demais formações vegetais estão relativamente distantes da área de influência direta da UHEBQ (Figuras 7; 8 e 9).



Figura 7 – Bacias hidrográficas da BHRB na área de estudo.

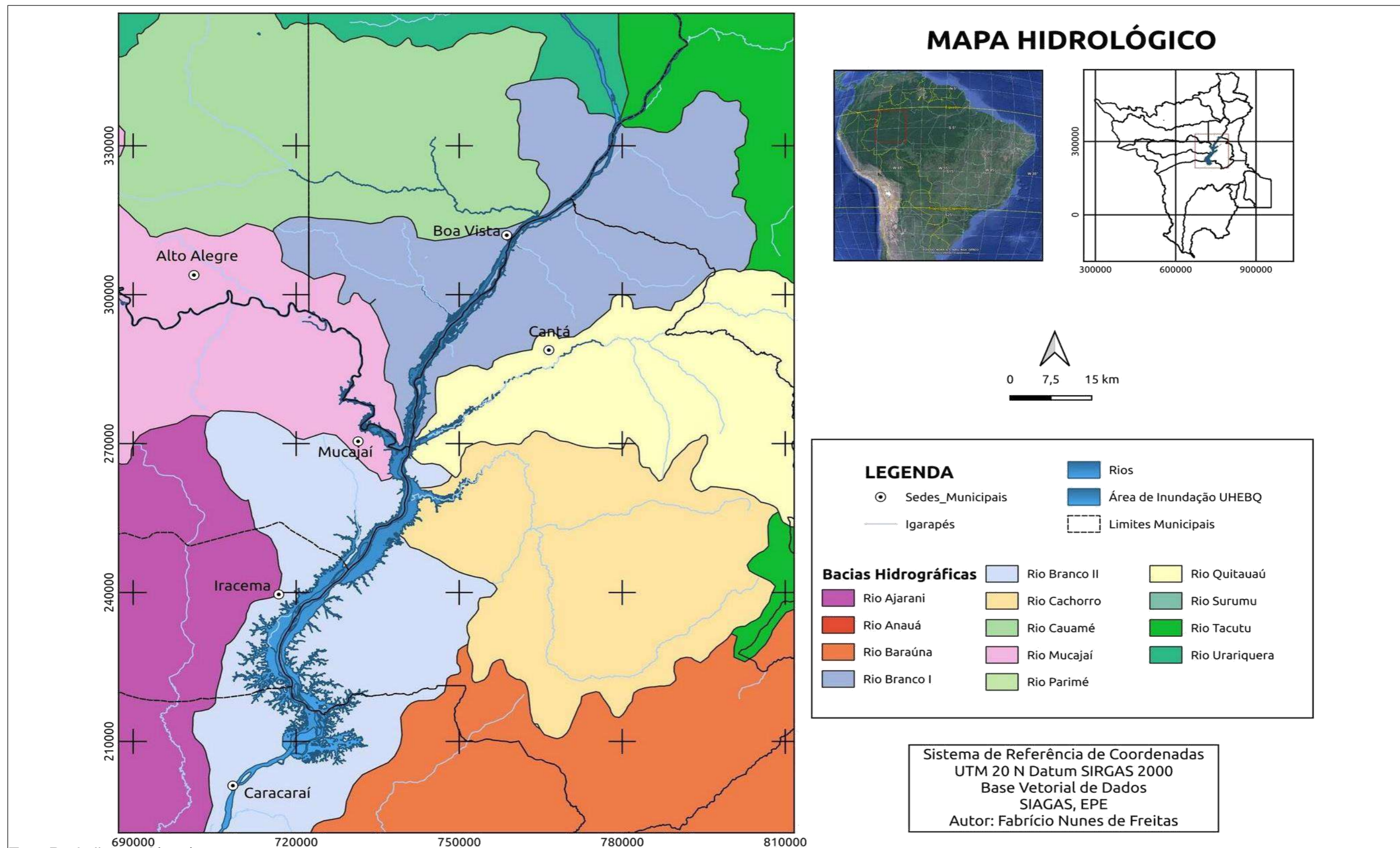


Figura 8—Mapa de solos da área de estudo.

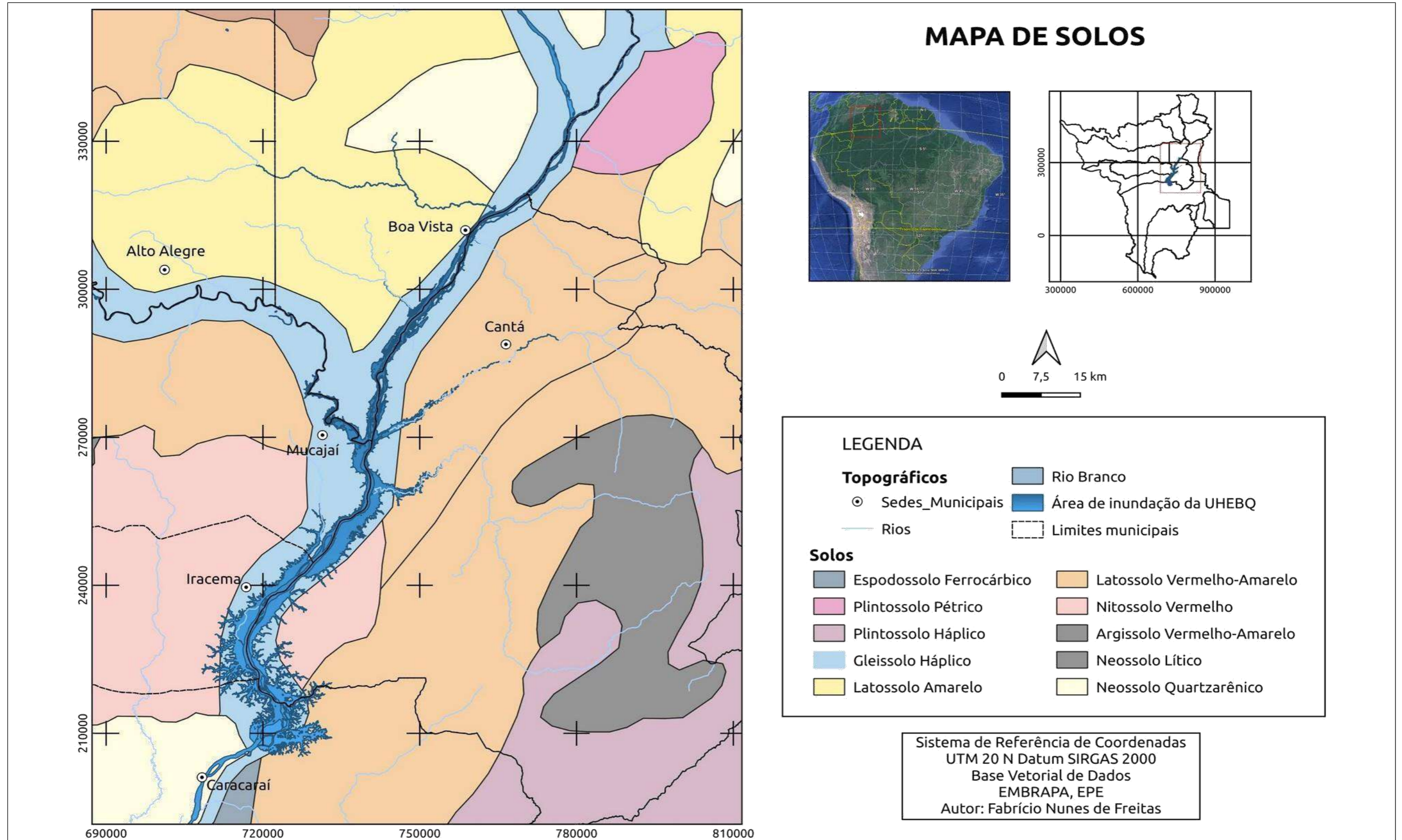
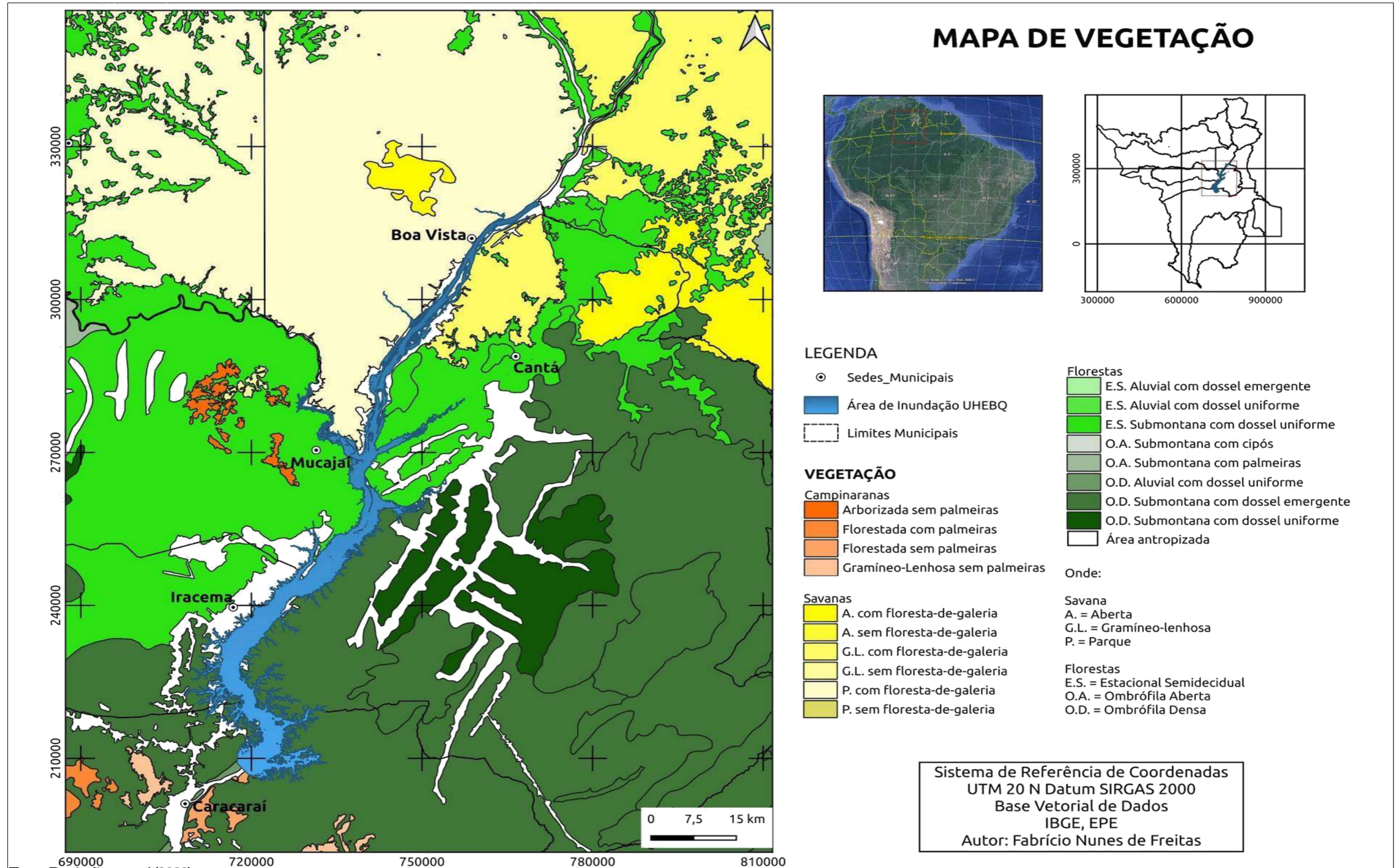


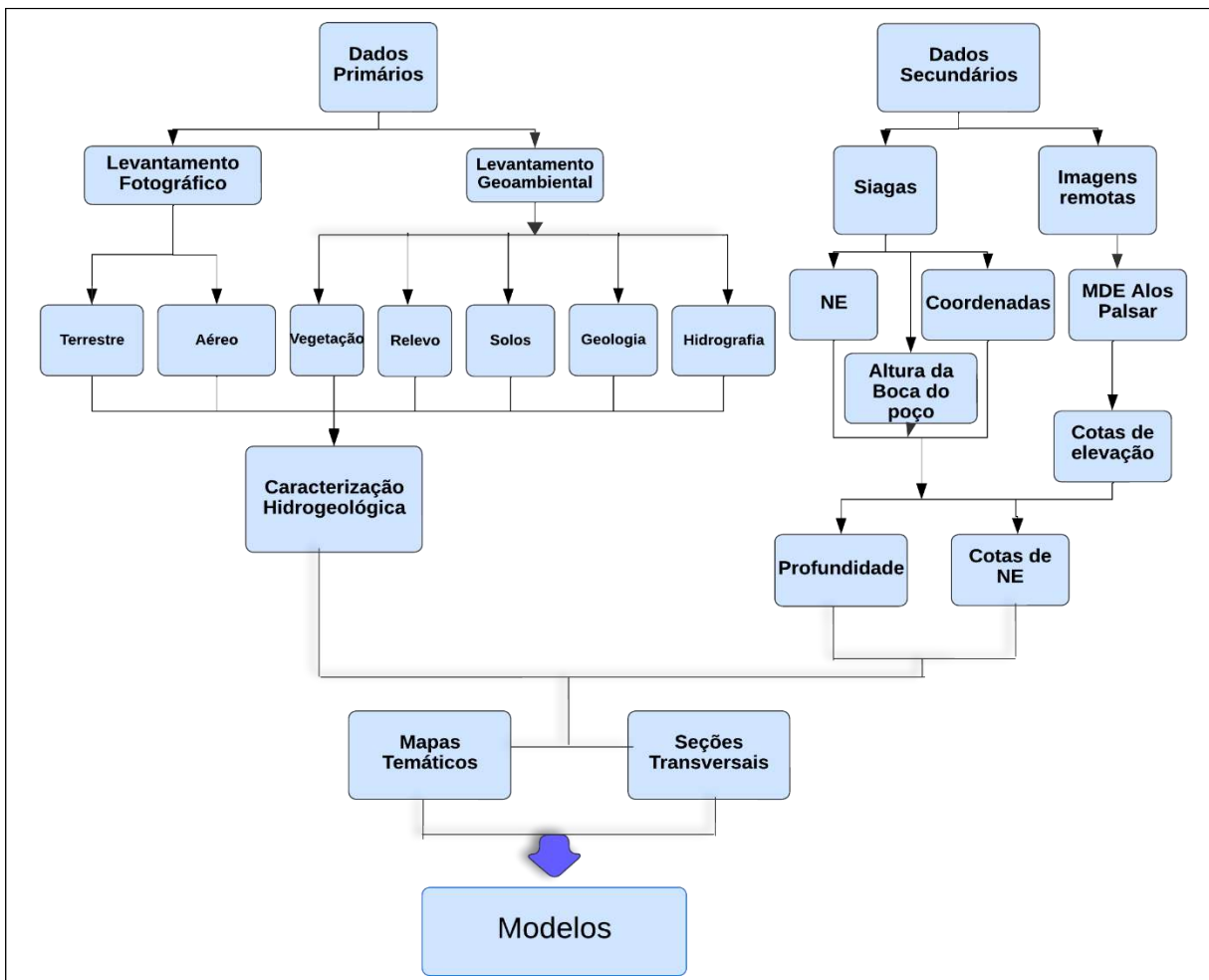
Figura 9—Mapa de vegetação da área estudada.



### 3.4 MÉTODOS

Para o estudo aqui desenvolvido, foram utilizados métodos distintos e este capítulo destina-se a descrever cada um deles. O fluxograma visto na Figura 10 sistematizou e resumiu todos os procedimentos empregados. Para a confecção dos mapas, mas também para a observação de padrões geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos de interesse, foram utilizados métodos de geoprocessamento de imagens remotas, conforme visto na seção 3.3. Para as modelagens, foi empregado o método cartográfico baseado na interpretação de imagens 2D geradas, conjugado à interpretação dos padrões detectados na etapa de geoprocessamento.

Figura 10 — Fluxograma dos procedimentos e etapas do trabalho desenvolvido.



Fonte: Produção autoral (2023).

### 3.4.1 Etapas de Dados Primários

- i. Levantamento fotográfico — foi realizado embarcado em carro, barco ou por drones, em ambos os lados do rio, pelas vicinais e BR, até o local do barramento;
- ii. Levantamento Geoambiental — foi feita a caracterização da vegetação, *in loco*, tanto terrestre como por água, sendo que a maioria dessas áreas já era conhecida por este autor, haja vista que trabalho no órgão ambiental, de onde se concluiu a base para mapas e carta imagem;
- iii. Foi realizado vistoria das áreas, de onde observou o relevo e coordenadas geográficas da região, de onde se conferiu as cotas do terreno, através do MDE, e a superfície do aquífero, de onde se extraiu as cotas do NE e profundidade.

### 3.4.2 Etapas de Dados Secundários

- i. Coleta de dados junto ao *site* do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM/SGB, de onde se extraiu os dados de profundidade aparente do Nível Estático (NE), altura da boca e coordenadas geográficas dos poços;
- ii. Imagens de Modelos Digitais de Elevação (MDE) do ALOS-PALSAR disponíveis no site da Alaska Satellite Facility (ASF);
- iii. Baseado em todas as informações, produziu mapas, cartas, imagens e as seções transversais.

### 3.4.3 Estrutura de Dados

Os dados utilizados para a elaboração do presente estudo provieram de fontes primárias e fontes secundárias e sua análise e interpretação foram feitas em gabinete, conforme especificações a seguir.

### 3.4.4 Fontes Primárias

Estas fontes dizem respeito aos dados fotográficos e climáticos e geomorfológicos observados diretamente em campo, a partir de visitas à área de estudo. Ao todo, foram realizadas cinco visitas à área de inundação da UHEBQ, ocasião em que, então, foram realizadas fotos em solo e aéreas por drone, das características geomorfológicas mais representativas do terreno.

### 3.4.5 Fontes Secundárias

Como fontes secundárias de dados, foram utilizados artigos publicados em periódicos científicos com *peer review*, documentos (plantas, mapas, cartas temáticas, croquis), relatórios técnicos de empresas públicas e privadas relacionados ao empreendimento e dados disponíveis em bancos digitais especializados em informações climáticas, geomorfológicas, geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas e hidrográficas e dados remotos espaciais (Tabela 2):

Tabela 2 – Estrutura dos dados utilizados no presente estudo.

Dados Primários (Campo)	Tipo de Dados
Levantamento Fotográfico.	Fotografias em terra e aéreas por drone.
Levantamento Geomorfológico.	Anotações sistematizadas dos aspectos geomorfológicos observados.
Levantamento Socioambiental	Anotações sistematizadas dos aspectos socioambientais observados.
Dados Secundários	Tipos de Dados
Dados Climáticos → INMET, HIDROWEB — ANA	Pluviosidade, Umidade, Temperatura.
Dados Fluviométricos → HIDROWEB — ANA	Bacias Hidrográficas, Vazões.
Dados Geológicos → CPRM/SGB	Unidades Litológicas.
Dados Hidrogeológicos → SIAGAS — CPRM/SGB	Unidades Hidrogeológicas.
Dados Geomorfológicos → IBGE, CPRM/SGB	Relevo, Solos, Vegetação.
Dados Espaciais → ALOS PALSAR	Modelo Digital de Elevação.
Artigos Científicos.	Hidrogeologia.
Relatórios Técnicos (EPE)	Projeto da UHEBQ
Documentos Oficiais	Leis, Normas e Termos de Referência.

Fonte: Produção autoral (2023).

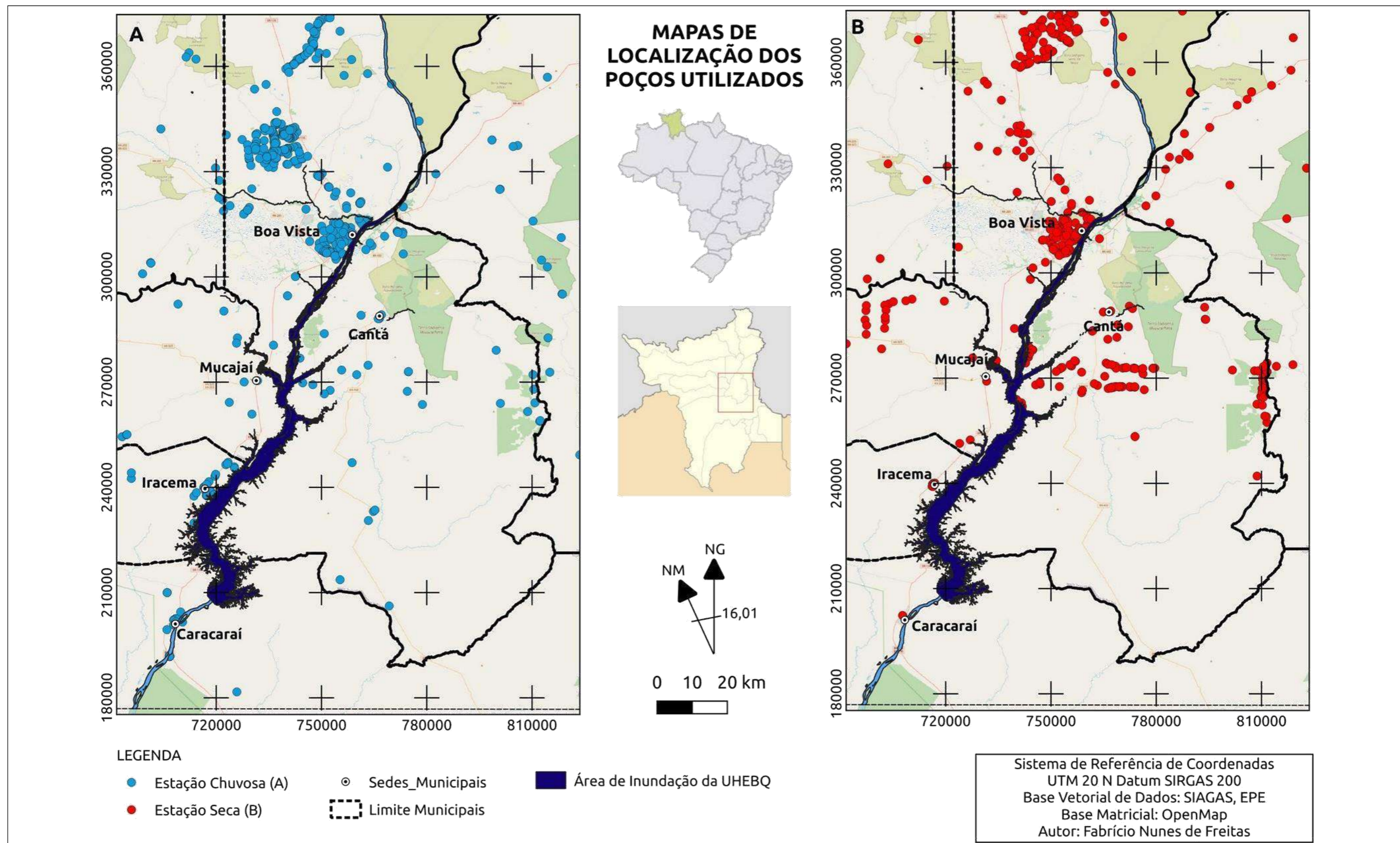
Ao todo, foram encontradas informações de 696 poços do SIAGAS para a área de estudo, sendo 392 correspondentes aos meses de chuva, de abril a setembro, e 304 aos meses de seca, de outubro a março. Conforme se pode observar das Figuras 12 e 13, a maioria dos poços se concentra nas áreas urbanas dos municípios e em maior quantidade na de Boa Vista. Poços muito afastados da área de inundação da UHEBQ foram utilizados como pontos externos para diminuir o efeito de borda das interpolações (Figura 11).

Foram utilizados também informações geoespaciais disponíveis em plataformas de gestão de dados remotos, como a Earth Explorer do Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey — USGS), Google Earth Pro e o Modelo Digital de Elevação (MDE) do Radar de Abertura Sintética para Observação Terrestre Diurna e Noturna (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar — PALSAR), embarcado no Satélite de Observação Avançada da Terra (Advanced Land Observing Satellite — ALOS) e gerido pela Agência de Satélite do Alasca (Alaska Satellite Facility — ASF). O MDE ALOS-PALSAR é um reprocessamento do MDE da Missão Topográfica de Radar Embarcado (Shuttle Radar Topography Mission — SRTM) a fim de adequar os produtos deste último, com resolução espacial de 30 m, nos produtos do primeiro, com resolução espacial de 12,5 m (Palsar, 2015).

#### **3.4.6 Softwares**

Para a construção de tabelas e arquivos “csv” que foram utilizados para cálculos e para a construção de arquivos vetoriais do tipo “*shapefile*”, foi utilizado o *software* Microsoft Excel. Para a manipulação 2D dos dados vetoriais (“*shapefiles*”) e matriciais (“*rasters*”) de fontes remotas, foi utilizado o *software* Quantum Gis (QGIS) versão 3.22.4 (*Białowieża*). O *Google Earth Pro* foi utilizado para a geração de dados vetoriais também. Por fim, para a edição e criação de imagens, foram utilizados os *softwares* GIMP, versão 2.10.30, e CorelDRAW, versão x9. Ver Figuras 11 e 12.

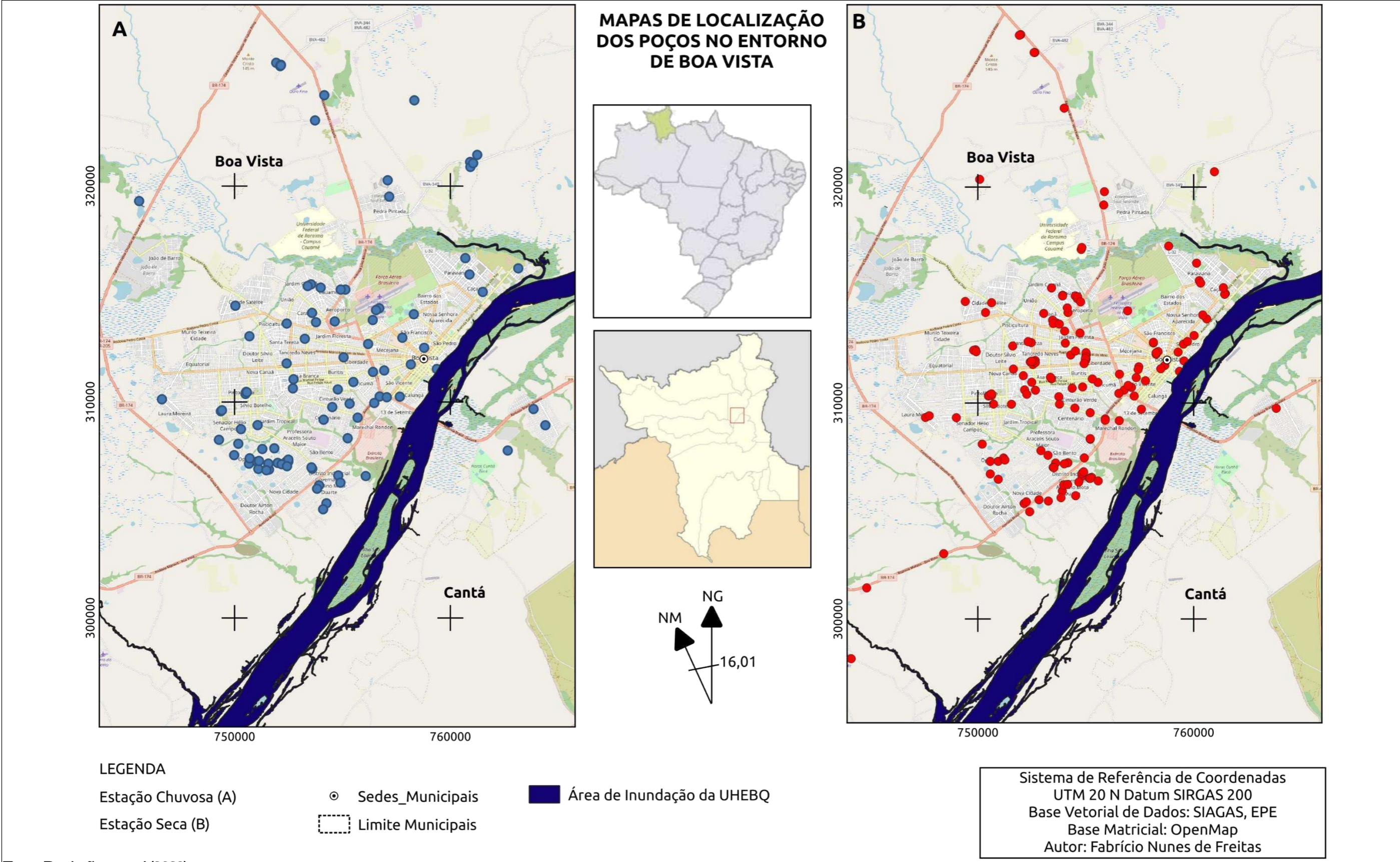
Figura 11—Malha de poços utilizada para cada estação do ano hidrológico.



Fonte: Produção autoral (2023).



Figura 12—Detalhe da zona urbana do município de Boa Vista, mostrando a distribuição dos poços utilizados no presente estudo.



### 3.5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À HIDROGEOLOGIA

Os dados de profundidade aparente do Nível Estático (NE) foram transformados em profundidade real (PR) a partir da subtração da altura da boca do poço para cada caso. Aos poços onde esta informação estava faltando foi arbitrariamente definida uma altura de 0,5 m. Em seguida, a profundidade real do NE foi transformada em cota de NE, subtraindo-se a PR da cota do terreno, a qual, por sua vez, foi obtida para cada ponto através da ferramenta “Amostrar Valores de Raster” no QGIS. Estes valores de altitude foram salvos como uma planilha do Excel e posteriormente calibrados com base nos valores verificados manualmente no Google Earth Pro para níveis referenciais do IBGE. Uma vez obtidas as cotas de NE, mapas potenciométricos e de profundidade do NE para cada período do ano hidrológico foram gerados por meio de interpolação numérica. As interpolações foram realizadas através da ferramenta “Interpolação IDW” do QGIS, que emprega o método do inverso das distâncias ponderadas, cujo equacionamento é o que se segue (Shepard, 1968):

$$Z_{interp} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i / d_i^p) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n (w_i / d_i^p)}$$

Onde:

$Z_{interp}$  é o valor interpolado na localização P.

$Z_i$  é o valor conhecido na localização  $P_i$ .

dip é a distância entre os pontos  $P_i$  e P.

n é o número total de pontos conhecidos.

$w_i$  é o peso atribuído ao ponto  $P_i$  com base na distância (geralmente  $w_i=1/d_i$  ou  $w_i=1/d_i^p$ ).

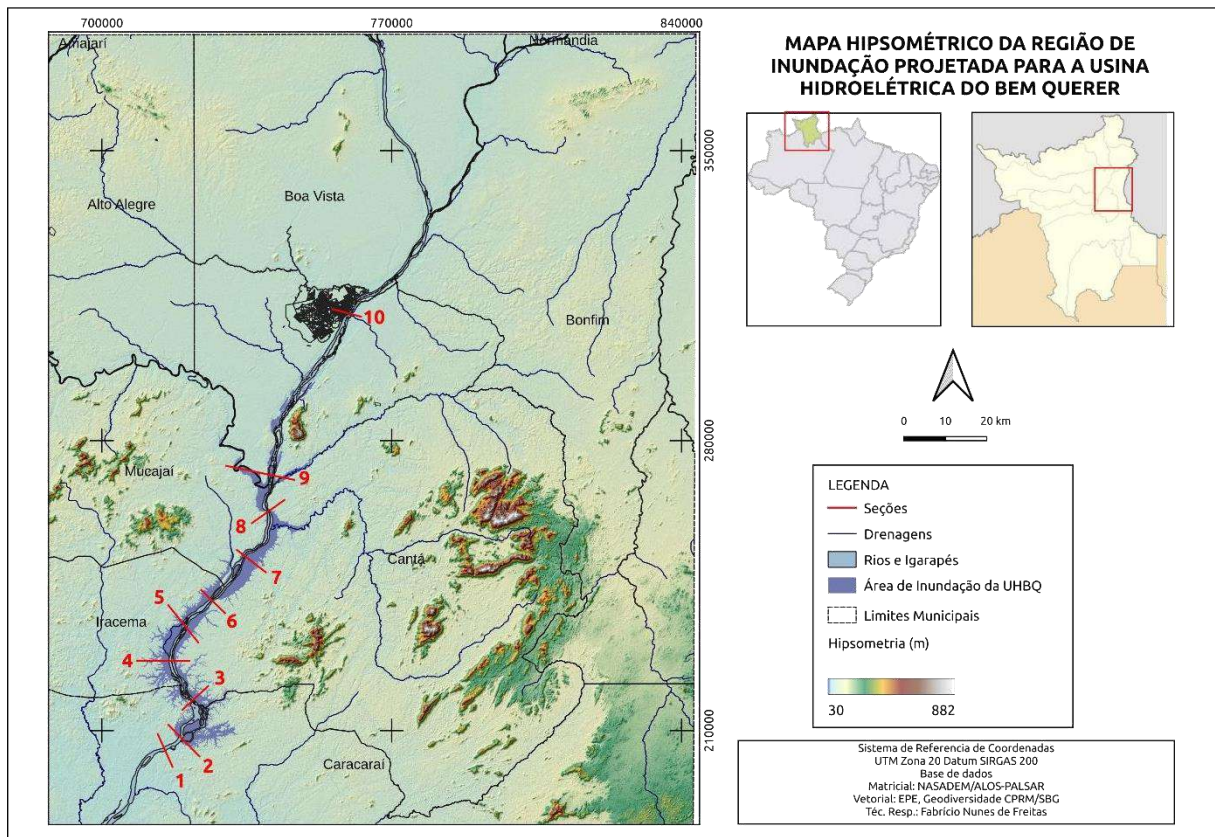
P é o ponto de interpolação.

p é o parâmetro de potência, que determina como a influência dos pontos conhecidos diminui com a distância.

Ainda no QGIS, as interpolações geraram imagens raster, das quais foram extraídas isolinhas de contorno representando as cotas de NE.

No QGIS, dez seções foram distribuídas na área de estudo, todas perpendicularmente ao eixo da calha principal do rio Branco, sendo a seção 1 posicionada à jusante da barragem e as nove seções restantes à montante da barragem até a altura da cidade de Boa Vista (Figura 13). As seções foram idealizadas de modo a abarcar toda a possível faixa marginal afetada e, assim, resultaram nos seguintes comprimentos (em km): Seção 1 = 8,6; seção 2 = 10,66; seção 3 = 8,42; seção 4 = 12,60; seção 5 = 11,57; seção 6 = 8,03; seção 7 = 8,78; seção 8 = 9,63; seção 9 = 16,8 e Seção 10 = 7,13.

Figura 13 — Mapa hipsométrico da região de inundação da UHEBQ com as seções utilizadas para os perfis modelados 2D de NE.



Fonte: Produção autoral (2023).

Estas seções foram utilizadas para se extrair o perfil do terreno no MDE do ALOS-PALSAR e o perfil da superfície dos aquíferos na imagem raster de Cota de NE. Estes perfis foram agrupados em imagens vetoriais no CoreIDRAW para compor as figuras 18, 19 e 20. Considerando-se que a variação máxima de altitude ao longo

dessas seções é de 60 m e que a maior seção tem 16.800 m de comprimento, isso perfaz uma diferença de 280 vezes, logo, a representação das altitudes em perfis gráficos resultaria em linhas retas sem quaisquer variação no eixo y. A fim de contornar isso e melhor representar as variações altitudinais, os eixos foram colocados em diferentes escalas, ou seja, cada 0,5 centímetros equivalem a aproximadamente 20 m no eixo y e até 400 m no eixo x, perfazendo uma diferença de até 20x. Além das linhas representando as superfícies de relevo, foram adicionadas as linhas representando as superfícies de Cota de topo NE previstas para ocorrerem após a recarga adicional pelo reservatório da UHEBQ.

### 3.5.1 Modelagens

Para as modelagens de subida do Nível Estático (NE) aqui empreendidas, utilizou-se o Método Cartográfico. As cotas iniciais do NE (CNEi) foram estimadas tomando-se a diferença entre as médias das cotas obtidas para os meses de chuva (abril a setembro) e as médias obtidas para os meses de seca (outubro a março) em poços não muito distantes entre si (<100 m), já que, à exceção dos poços RIMA, não existem informações sobre as variações sazonais de NE em um mesmo poço. Dada a baixa quantidade de poços RIMA no estado (9) e, principalmente, a suas distantes localizações em relação à área de inundação da UHEBQ, seus dados não podem ser utilizados para o presente estudo, embora sejam muito mais completos.

Já a variação de altura do NE ( $\Delta h$ ) foi estimada com base em um percentual mínimo de aumento médio considerado em obras deste tipo, a saber, de 8%, sendo o máximo em torno de 12% em média. É possível encontrar na literatura especializada valores acima e abaixo destes limites, mas tais casos configuram-se justamente nas margens de erro e caudas da distribuição normal que resultam nestas médias (SEN, 2015).

Com base nisso, foram estimadas as cotas finais de NE (CNEf) em cada seção, elevando-se em 8% o NE médio inicial (CNEi) obtidos para cada estação, conforme descrito mais acima. O valor mínimo foi escolhido por ser o cenário mais otimista, ou seja, o mínimo de aumento de NE esperado após a formação do reservatório da UHEBQ.

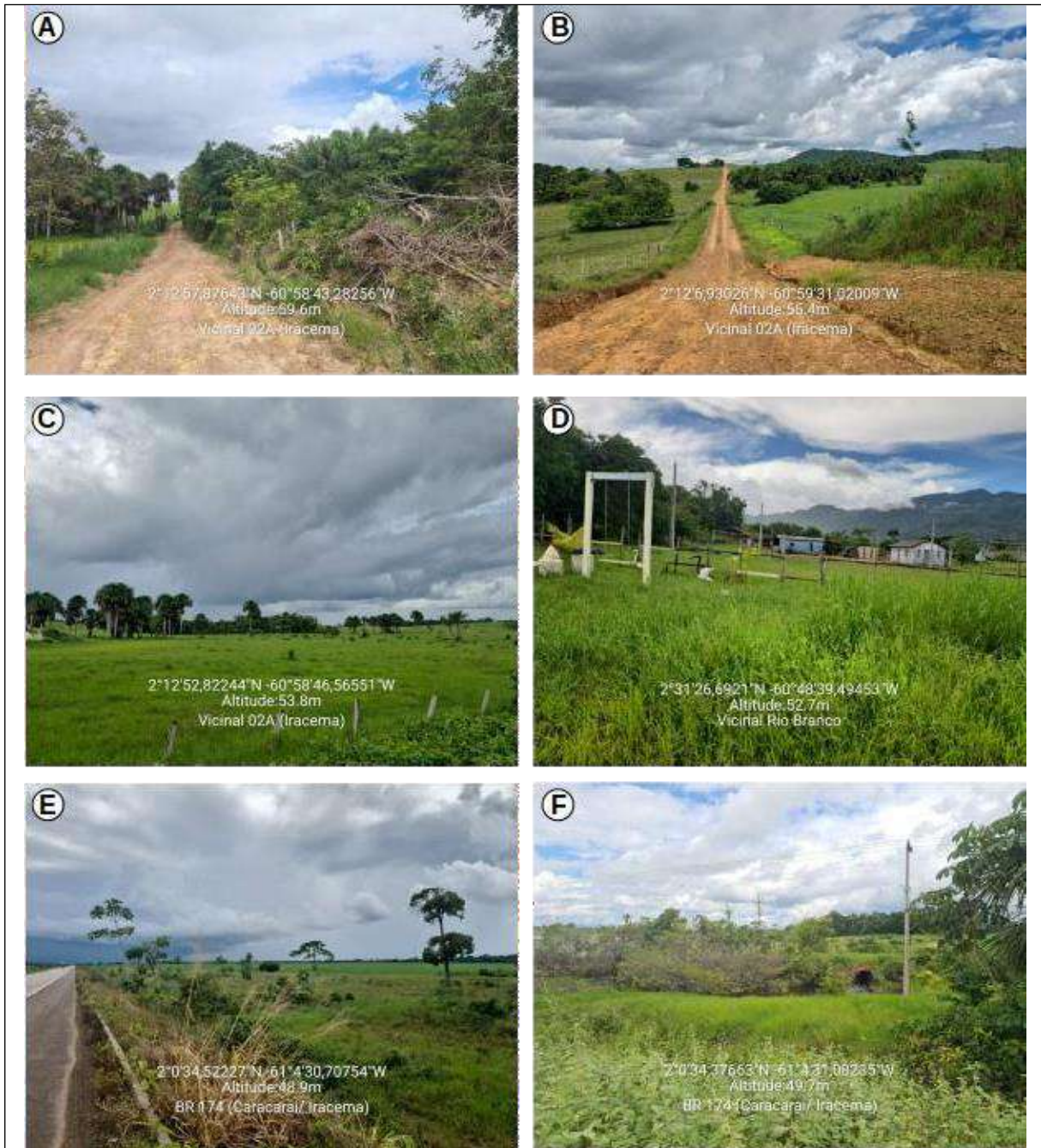
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA UHE BEM QUERER

As campanhas de campo realizadas no presente trabalho permitiram constatar in loco características da paisagem local de interesse hidrogeológico, quer de origem antrópica, quer naturais. Observando-se a paisagem geral do entorno da área de inundação da UHEBQ, percebeu-se que, à exceção de algumas zonas às margens do rio Branco e nas cercanias das serras, boa parte dela possui extensas capas sedimentares, sendo infrequentes os afloramentos rochosos na planície de inundação (Figuras 14 e 15) e frequentes os bancos e ilhas de areia ao longo do rio Branco. Estas observações coadunam-se com levantamentos sísmicos realizados na região de Caracaraí por Almeida (2015), que observou topos de estratos rochosos entre 3 a 10 m de profundidade, sendo 7,9 m em média. Coadunam-se também com estudos feitos sobre os padrões de sedimentação do rio Branco, os quais indicaram grande mobilização de sedimentos para dentro de sua planície de inundação (Sander; Carvalho; Gasparetto, 2013, Sander *et al.*, 2014).

Considerando-se que tais capas correspondem aos depósitos quaternários o baixo grau de compactação, pode-se dizer que elas funcionam como excelentes aquíferos rasos e, nesta condição, teriam o potencial de funcionarem como fonte subterrânea de distribuição da recarga dos aquíferos rochosos subjacentes ou lateralmente limítrofes. Dado o caráter geológico recente destes depósitos, seu grau de compactação é ainda incipiente, implicando em boas condições hidráulicas. De fato, a porosidade, o rendimento específico e a retenção específica de depósitos como esses costumam ser de 25%, 22% e 3%, com condutividade hidráulica oscilando entre  $10^{-5}$  a 1 cm/s, ou 0,8 cm/dia a 864 m/dia (Freeze; Cherry, 2017). Sob estas condições, o afogamento destas regiões pelas águas do reservatório tem o potencial de conduzir água subterrânea por distâncias consideráveis. Ver Figuras 14 e 15.

Figura 14 — Paisagens do entorno da região do médio rio Branco e dentro da área de inundação da UHEBQ. A. Floresta ombrófila densa aluvial com dossel uniforme. B. Savana, Parque sem floresta de galeria. C. Savana aberta com floresta de galeria. D. Formação campestre de área antropizada e floresta ombrófila densa aluvial à esquerda. E. Lavoura de soja. F. Floresta de galeria. Notar a correlação positiva entre formações gramíneas e áreas alagadiças e a ausência de afloramentos rochosos.



Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 15 — Paisagens da porção sul e média da área de inundação da UHEBQ. A. Floresta estacional semidecidual submontanha próxima à Serra Grande. B. Ponte sobre o rio Quitauaú com floresta estacional semidecidual aluvial. C. Floresta ombrófila densa aluvial (“igapó”) bastante antropizada (visada para leste). D. Mesmo ponto anterior, com visada para plantações a oeste. E. Lagoa em zona de descarga de aquífero, com palmeiral ao fundo.



Fonte: Produção autoral (2023).

## 4.2 TOPO DE AQUÍFEROS: PROFUNDIDADE DE NÍVEL D'ÁGUA E POTENCIOMETRIA

Quando analisada a profundidade dos topos de aquíferos na região estudada, percebe-se que a variação de profundidade dos aquíferos ao longo das estações hidrológicas do estado é bastante pronunciada ( $\Delta h = 25$  m), uma vez que nos meses de cheia (Figura 16A) a profundidade máxima não passa dos 15 m e nos meses de seca (Figura 16B) ela chega a 40 m. Observa-se também que no primeiro caso a superfície do topo de NE comporta-se de modo mais uniformemente distribuído, quando comparado ao segundo caso, mais heterogêneo.

Na estação seca, chama a atenção as cores quentes no canto inferior direito da Figura 16B, significando um grande aprofundamento do aquífero nas franjas da Serra da Balata, fronteira SO de Cantá, junto à margem esquerda do rio Branco, próximo ao ponto de barramento. Nesta região, a profundidade média oscila entre 5 a 10 m na estação chuvosa (Figura 16A) e pode chegar até 40 m na estação seca (Figura 16B). Quando observada a Potenciometria dessa região (Figura 17), percebe-se um rebaixamento em ambos os lados do rio Branco, porém, mais pronunciado em sua margem esquerda e menos pronunciado na margem direita, próximo às franjas Serra da Balata. Assim, a cota de topo de NE, que oscila em torno dos 60 m de altitude durante a estação chuvosa (Figura 17A), passa para menos de 50 m durante a estação seca (Figura 17B).

É importante reparar que, de modo geral, os fluxos subterrâneos confluem em direção ao rio Branco (Figura 17), porém, o mesmo tem cargas hidráulicas maiores do que suas vizinhanças imediatas, significando que ele é influente, ou seja, há fluxo dele para seu entorno. Sob estas condições, as áreas circunvizinhas das margens do rio Branco funcionam como bacias de passagem do fluxo subterrâneo, o qual corre em paralelo ao rio Branco. Esta condição implica também na menor profundidade dos aquíferos nas imediações do rio branco, conforme pode se ver na Figura 16, salvo na região da Serra da Balata, conforme já mencionado.

Considerando-se o padrão digitado NE-SE das franjas da Serra da Balata, os quais são nestas imediações que o rio apresenta cotovelo de 90° e onde aparecem afloramentos rochosos, inclusive no leito do rio (Corredeiras do Bem Querer), é plausível supõem que nesta região o controle dos fluxos subterrâneos dê-se mais por caracteres geológico-estruturais do que pela topografia. Ver Figuras 16 e 17.



Figura 16 — Mapa de profundidade de topo de aquífero para a área de inundação da UHEBQ. Em A, estação chuvosa, B, estação seca.

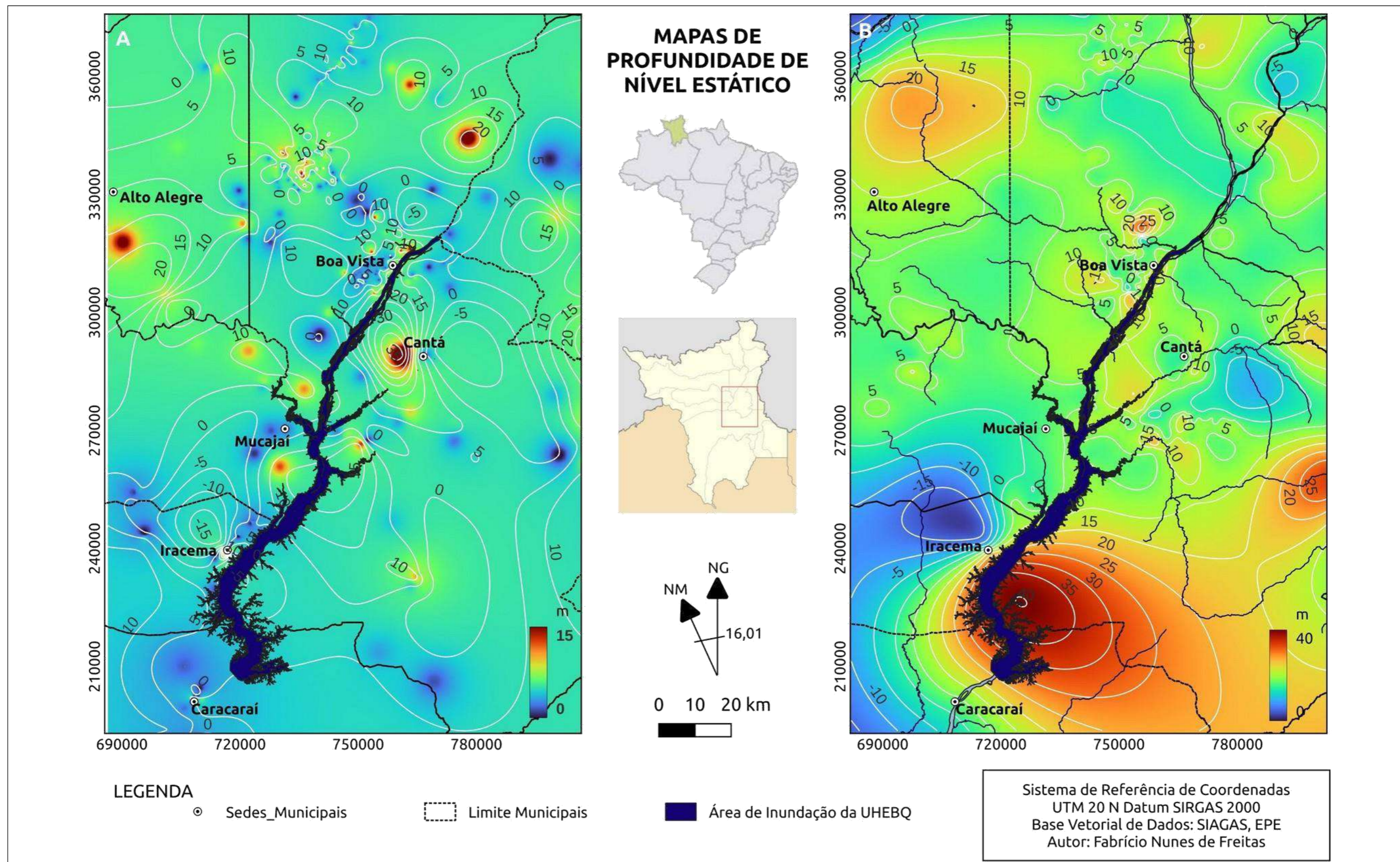
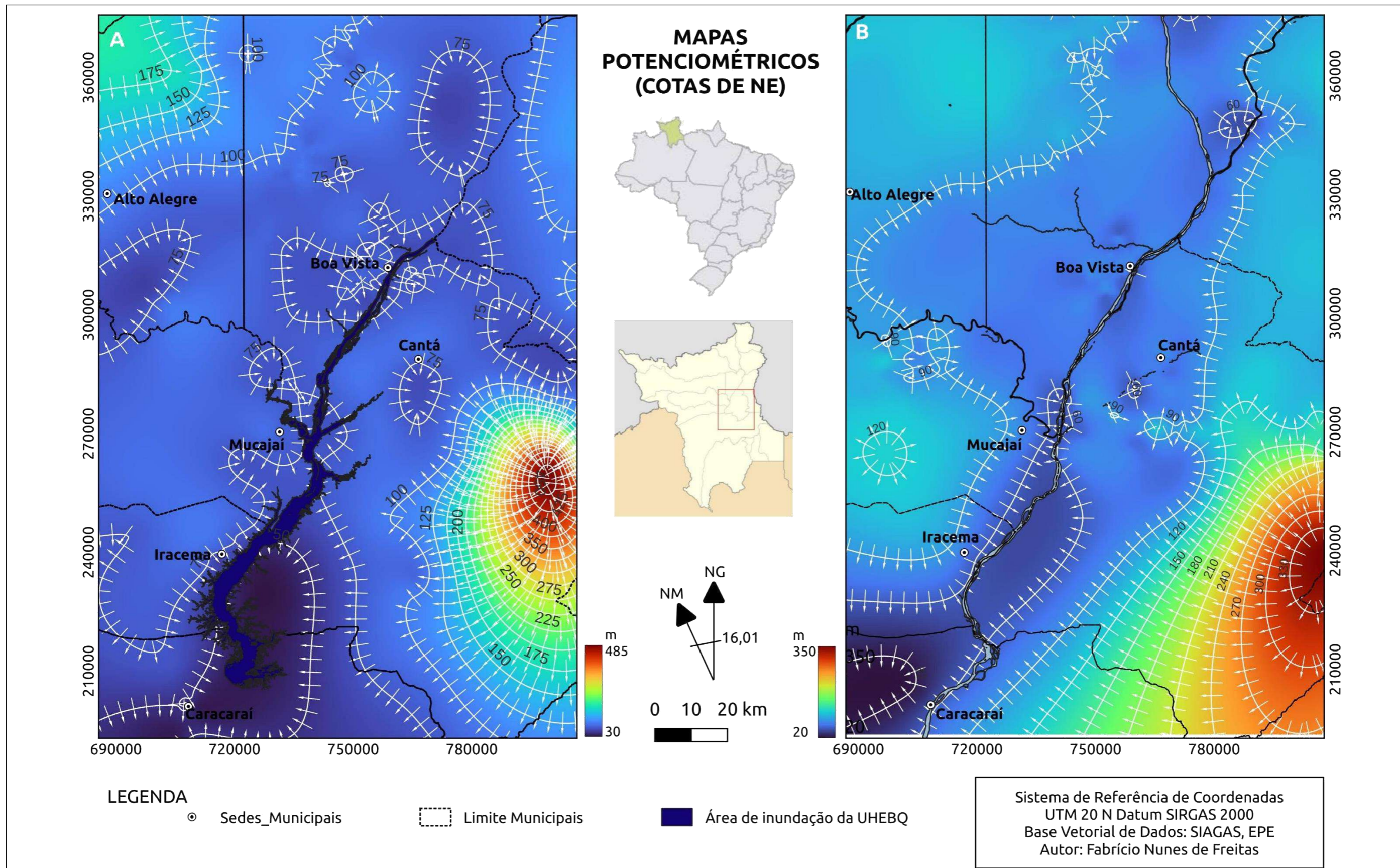


Figura 17 — Mapa potenciométrico da área de inundação da UHEBQ. Em A, estação chuvosa, em B, estação seca.



As rugosidades das superfícies observadas tanto no mapa potenciométrico, quanto de profundidade de NE revelam heterogeneidades controladas espacialmente apenas parcialmente pela litologia, uma vez que a variação litológica espacial é muito maior e complexa (veja mapa geológico na Figura 5) e parcialmente pelo relevo, embora neste último caso em grau maior do que o do primeiro. Neste sentido, estas heterogeneidades relativamente descoladas da litologia indicam (1) a existência de certa continuidade entre os distintos aquíferos e (2) que as especificidades geomorfológicas e hidrogeológicas locais têm grande influência nas condutividades hidráulicas associadas.

#### 4.3 MODELAGENS PELA ABORDAGEM CARTOGRÁFICA

A formação do reservatório da UHEBQ pode ter duas consequências possíveis no nível estático dos aquíferos de seu entorno:

- 1) Se as pressões hidrostáticas do reservatório não forem maiores do que aquelas do fluxo subterrâneo para dentro da calha principal do rio, então haverá descarga de águas subterrâneas para dentro do rio Branco e o NE dos aquíferos do entorno permanecerá estável;
- 2) Se as pressões hidrostáticas do reservatório forem maiores do que as do fluxo subterrâneo, então o fluxo se dará do primeiro para o segundo, provocando a subida do NE dos aquíferos.

A resolução dessa questão passa por modelagens mais robustas e sofisticadas, como as numéricas, ou as analíticas. Dado o imenso desconhecimento acerca dos principais parâmetros hidrodinâmicos da maioria dos aquíferos estaduais (Wankler; Evangelista; Sander, 2012; Holanda; Marmos; Maia, 2014), tais abordagens não podem ser aplicadas para o caso específico da UHEBQ.

De fato, até o momento, os únicos dados disponíveis para parâmetros hidrodinâmicos importantes para modelagens numéricas ou analíticas, como condutividade hidráulica, transmissividade e armazenamento, são aqueles da CPRM feitos nas décadas de 1980 e 1990 e de poucos estudos posteriores feitos que efetivamente geraram dados sobre tais parâmetros — um mestrado e dois TCC's

desenvolvidos no âmbito da Universidade Federal de Roraima (UFRR) (Santos, 2020; Thomé, 2023; Viana, 2023). Estes trabalhos são importantíssimos e têm servido de base para a maioria das considerações feitas sobre as propriedades hidrodinâmicas dos aquíferos de Roraima, mas eles são ainda limitados em termos de alcance geográfico e geológico, haja visto que, a maioria dos poços amostrados concentra-se no SABV das imediações da cidade de Boa Vista e poucos são os que amostraram unidades hidrogeológicas diferentes, restando, inclusive, inúmeras dessas sem qualquer estudo (Figuras 12 e 13). O próprio fato de que Holanda, Marmos, Maia (2014) agrupam indistintamente inúmeros aquíferos bastante diferentes entre si geologicamente como “Domínios Hidrogeológicos de favorabilidade hídrica” já mostra bem essa insuficiência amostral.

Dado que esses problemas são potencializados quando se consideram áreas tão grandes como a de inundação da UHEBQ, a abordagem cartográfica foi empregada aqui na tentativa de se obter indicativos dos efeitos de seu reservatório no NE dos aquíferos diretamente afetados. Para isto, assumiu-se que os aquíferos estão em contato entre si por meio de um continuum entre suas distintas capas sedimentares (veja seção 4.2, anterior) e de seus sistemas de falhas, fraturas e disjunções nas rochas subjacentes. Assumiu-se também que não há condições de confinamento nessas capas sedimentares, que as superfícies de topo de aquífero são “infinitas”, o regime é transiente, o fluxo é uniforme ao longo das profundidades de fluxo e as velocidades de fluxo são proporcionais à inclinação da lâmina d’água e à profundidade de saturação, ou seja, as condições reinantes são condizentes com aquelas preconizadas por Dupuit para a aplicação de modelos em aquíferos livres (Feitoza *et al.*, 2018).

Estudos sobre a interação entre as águas superficiais e subterrâneas mostram que os bancos marginais dos rios continuam com aproximadamente 4 a 14% das águas presentes nos aquíferos regionais (O’Reilly *et al.*, 2020), razão pela qual, foi escolhido aqui o percentual de 8% para as modelagens apresentadas a seguir. Os resultados obtidos dessa encontram-se sintetizados e ilustrados nas Figuras 18 a 33 abaixo. Eles mostram as superfícies de topo dos aquíferos em situação normal, pré-barramento, e em situação alterada, pós-barramento. Este último caso foi subdividido em fase inicial, quando a recarga do aquífero pelo reservatório resulta num nível máximo do NE, e em fase final, quando após esse máximo inicial o nível reflui até um NE de estabilização, mais baixo que o máximo, mas ainda mais alto do que a condição

pré-barramento.

Considerando-se as condições de Dupuit, algumas superfícies pós-barramento implicaram tanto em NE máximo quanto NE de estabilização aflorantes em locais distantes da margem do reservatório, ou seja, em inundações de áreas afastadas da zona de inundação prevista. Este fenômeno pode ser observado nos casos em que a linha vermelha pontilhada intercepta a linha preta contínua relativa ao perfil topográfico do terreno (Figuras 18 a 33).

A extensão lateral dessas influências depende muito das características hidrogeológicas dos aquíferos em questão, bem como nas dimensões do reservatório e no regime climático da região. Há poucos estudos sobre essa questão onde a abordagem cartográfica é utilizada. Em um estudo conduzido na China acerca das influências do reservatório Jiangxiang no NE do aquífero local, Huang *et al*, (2022) observaram que, com 100 m de distância, não era mais possível detectar variações devidas à recarga artificial oriunda do referido reservatório. Seus resultados, porém, estavam relacionados a uma variação de poucos metros (<2m) no reservatório, já estabelecido há muito tempo e em terreno quaternário composto predominantemente de sedimentos ricos em argilas e silte, ou seja, em material geológico com baixa condutividade hidráulica (K). De fato, os autores registraram para o material geológico  $K = 3,1 \cdot 10^{-6}$  cm/s, valor correspondente a aquíferos. Eles pontuaram que, se houvesse um incremento de 3 vezes na K ( $=9,3 \cdot 10^{-6}$  cm/s), a histerese tornava-se imperceptível, ou seja, as mudanças no nível do reservatório seriam quase imediatamente refletidas no NE e se estenderiam por distâncias muito maiores.

No caso específico da área de entorno da UHEBQ, têm-se terrenos aluviais recentes com muito material arenoso inconsolidado, cujos valores de K, embora não tenham sido diretamente determinados, são perfeitamente condizentes com valores esperados para material geológico aquífero e não para aquíferos. Freeze e Cherry (2017), por exemplo, apontam valores de K entre  $10^{-5}$  cm/s e 1 cm/s para areias entremeadas por silte e argila e areias limpas, respectivamente. Assim, é plausível supor para as capas de sedimentos areno-argilosos inconsolidados do entorno da UHEBQ um valor de  $K = 5,5 \cdot 10^{-3}$  cm/s em média, ou seja, um valor 500x superior àquele de Huang *et al*, (2017).

Considerando-se que a espessura ( $H_0$ ) das capas sedimentares no entorno do rio Branco na região de Caracaraí oscila entre 6 a 15 m (Almeida, 2015) e dos sedimentos do Sistema Aquífero Boa Vista oscila entre 12 a 20 m (Wankler;

Evangelista; Sander, 2012), pode-se então considerar uma profundidade média de 13 m para as capas sedimentares da região do entorno do reservatório da UHEBQ. Com isso, a Transmissividade ( $T = K.H_0$ ) média para essa região seria de  $7,15.10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

Sob essas condições, o deslocamento linear das águas subterrâneas nessas capas sedimentares chegaria a quase 5 m de distância da margem do remanso em um dia, a aproximadamente 140 m em um mês e 1,7 km em um ano (Tabela 3).

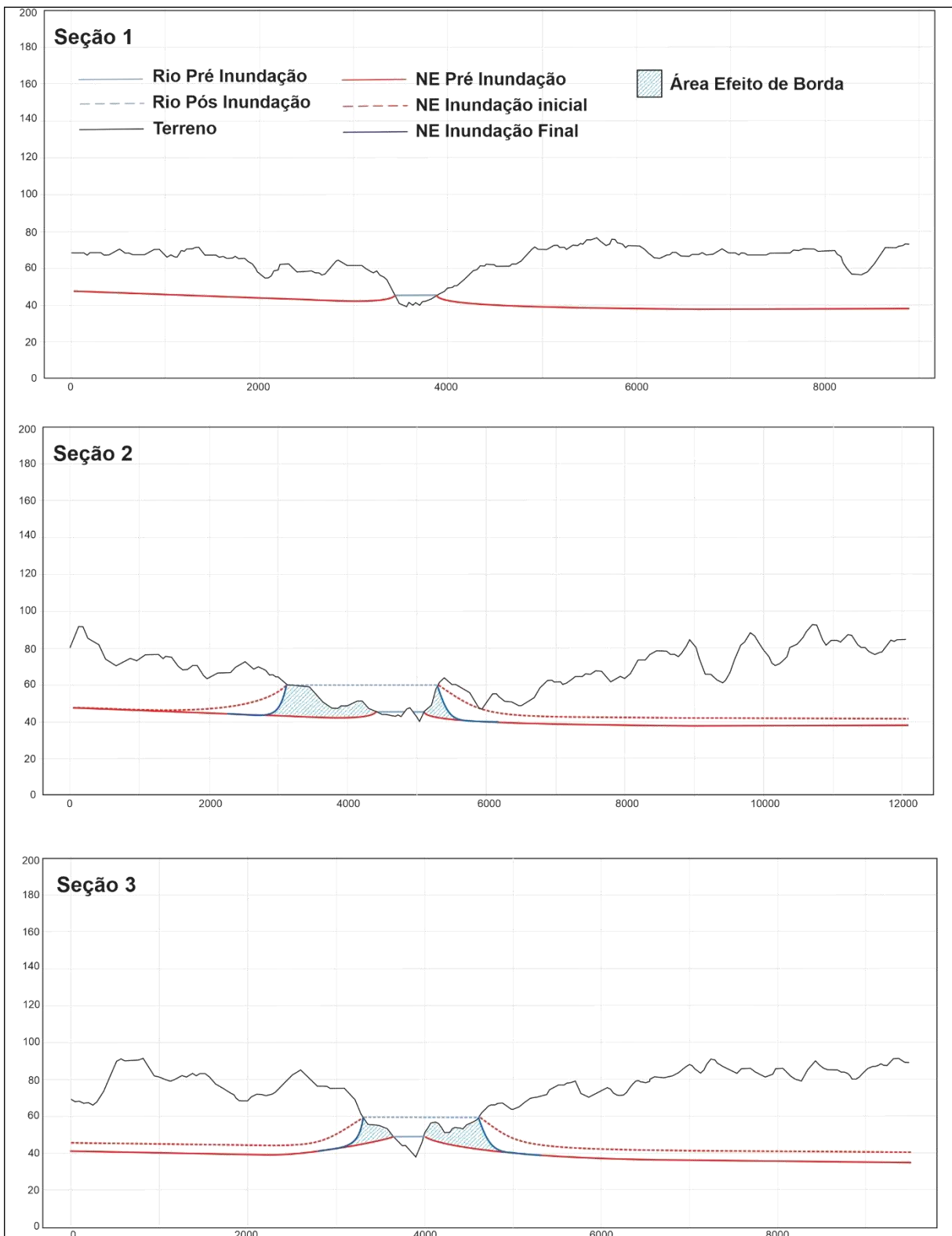
Tabela 3 – Parâmetros hidrodinâmicos arbitrados para as capas sedimentares da região do entorno da UHEBQ. Onde: K = condutividade hidráulica e T = Transmissividade.

		1 s	1 h	1 dia	1 mês	1 ano
K	cm	0,0055	19,8	475,2	14256	171072
	m	0,000055	0,198	4,752	142,56	1710,72
T	cm <sup>2</sup>	0,0715	257,4	6177,6	185328	2223936
	m <sup>2</sup>	0,000715	2,574	61,776	1853,28	22239,36

Fonte: Autor

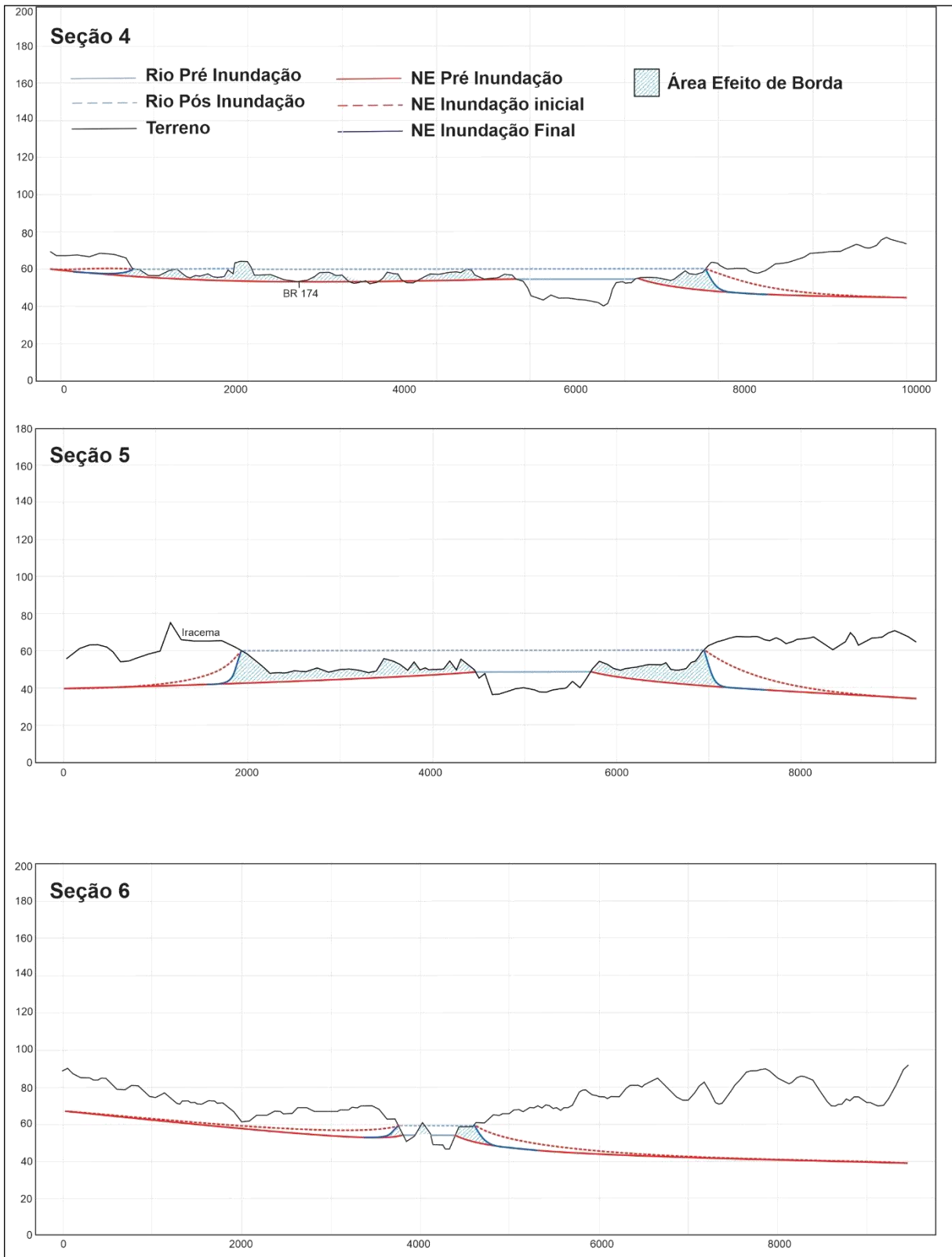
Para as simulações feitas aqui, considerou-se um alcance inicial das influências no NE em 1000 m e de 200 m após seu recuo e estabilização. Quando projetados esses níveis máximos e de estabilização do NE sobre cartas imagens de alta definição (Figuras 18 a 33), percebe-se que a maior susceptibilidade a inundações causada pelo raseamento dos aquíferos afetará áreas para além da cota 60, incluso aí áreas com vegetação nativa, áreas utilizadas em atividades agropastoris (cenas 1 a 9) e mesmo áreas urbanas (cenas 4, 5 e 9 a 12). Conjugando-se estes dados com aqueles da profundidade normal do NE (Figuras 16 e 17), percebe-se que a elevação do NE induzida pelo reservatório da UHEBQ poderá, de fato, inundar muitas áreas do seu entorno, para além de suas margens inferidas e da cota 60. Esses parâmetros foram arbitrados segundo disponibilidade de meios e tempo para sua execução, levando-se em consideração que vegetação, drenagem superficial e solos estão diretamente relacionados aos níveis estáticos dos aquíferos. Assim, escolhemos parâmetros paisagísticos que apresentassem relação com o comportamento dos aquíferos (Figura 18 a 33).

Figura 18 — Seções 1 a 3 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um  $\Delta h$  de 8%.



Fonte: Produção autoral (2023).

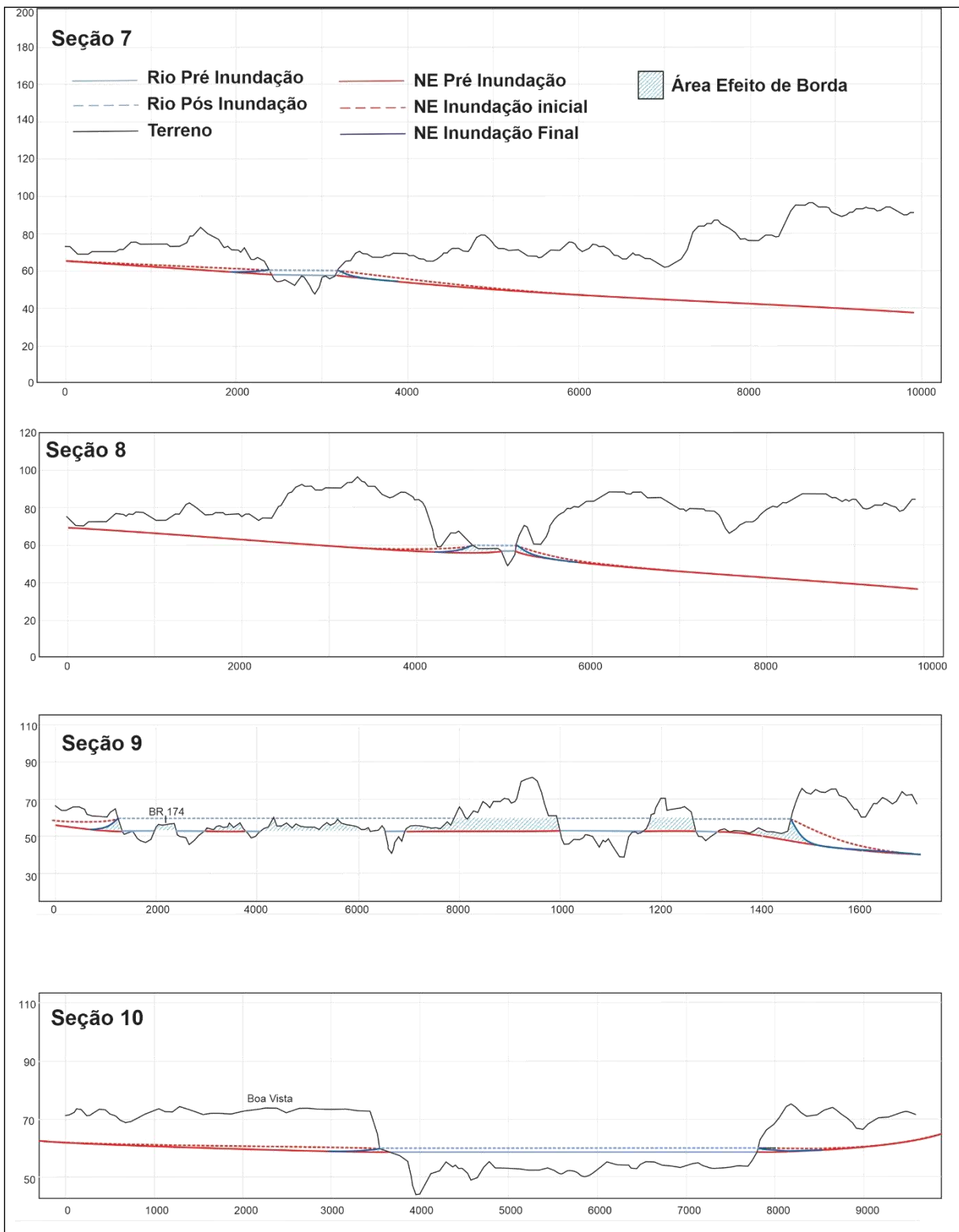
Figura 19 — Seções 4 a 6 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um  $\Delta h$  de 8%.



Fonte: Produção autoral (2023).

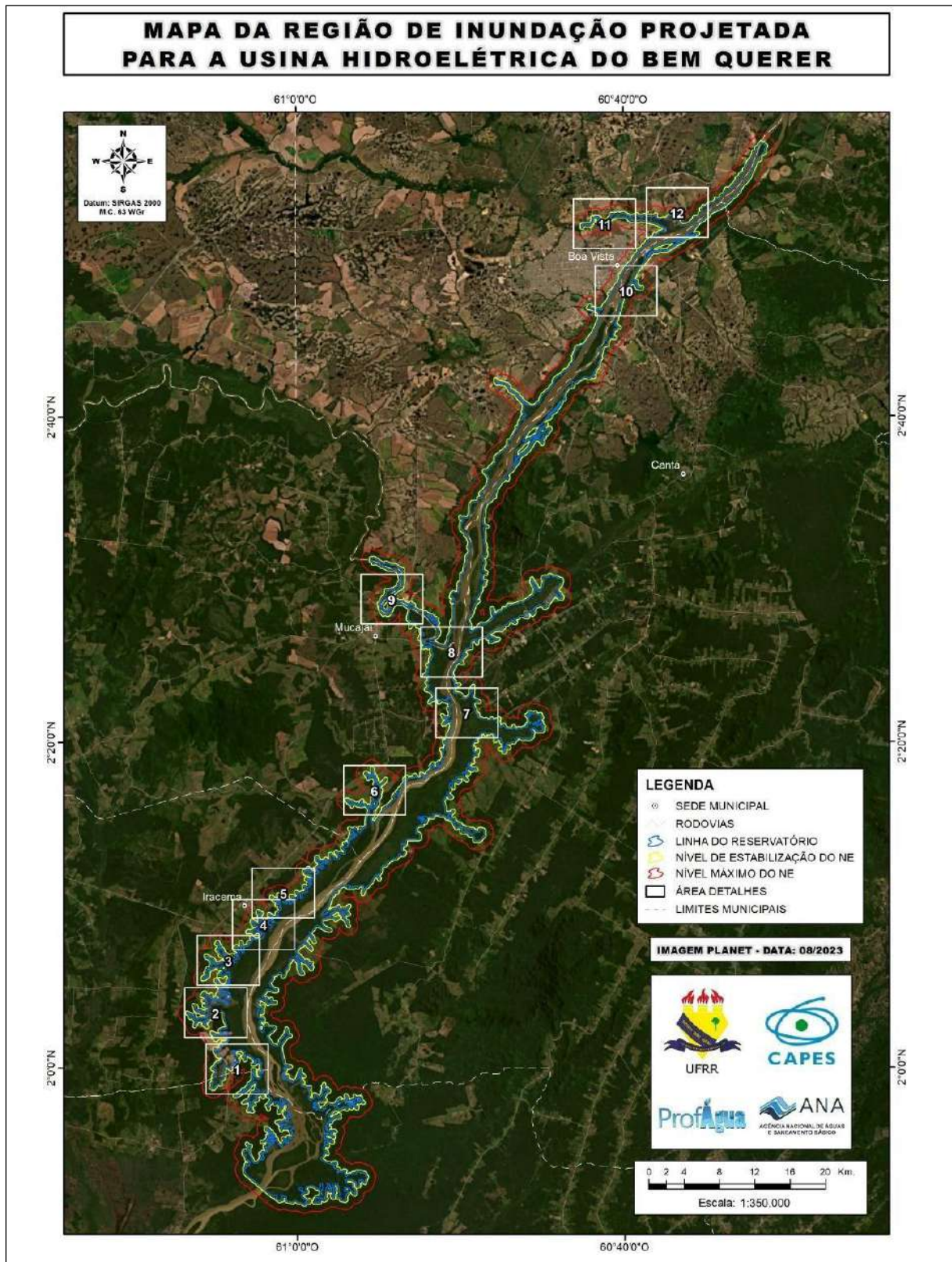


Figura 20 — Seções 7 a 10 mostrando o comportamento esperado de subida do NE para um  $\Delta h$  de 8%.



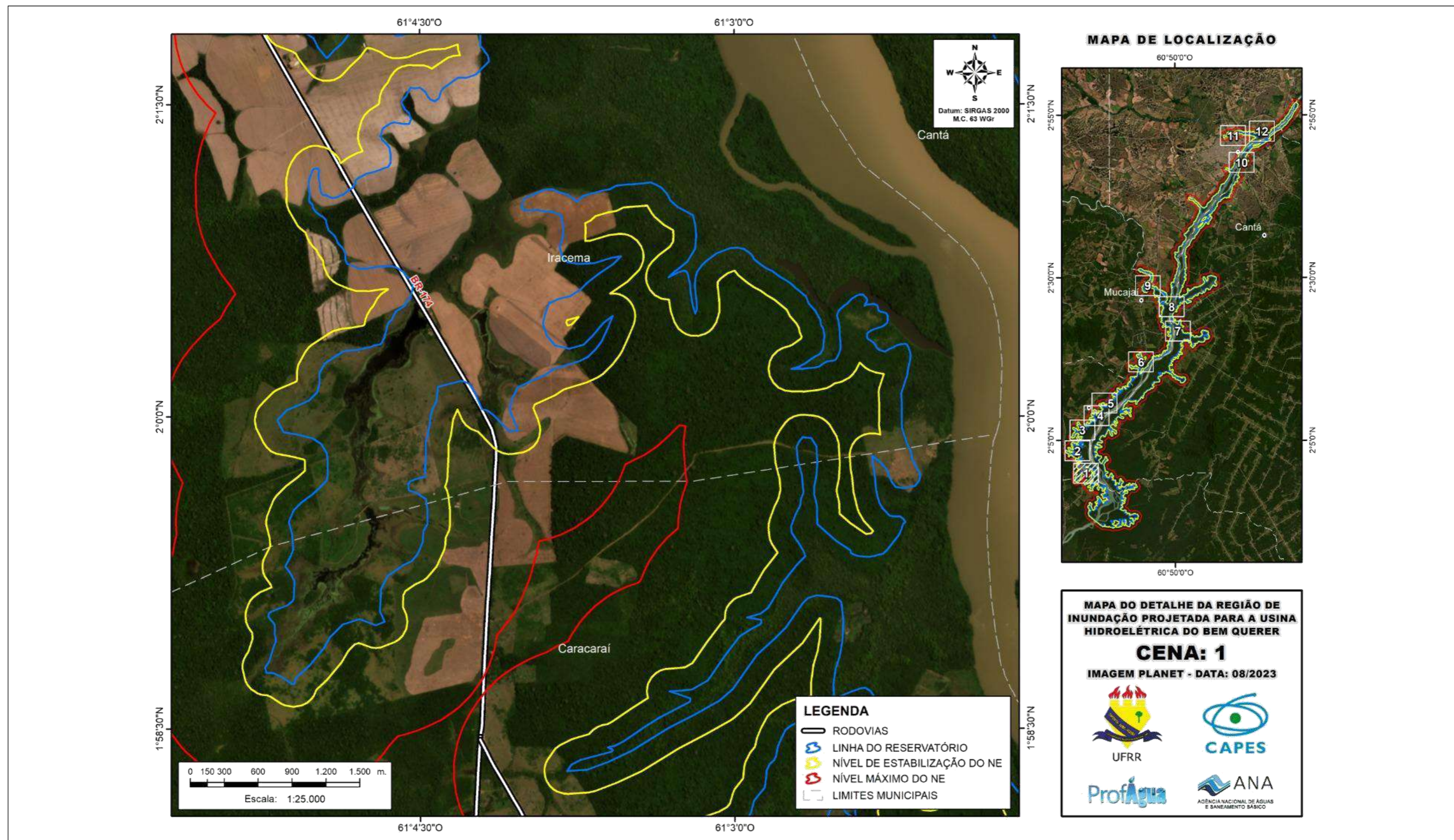
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 21 — Imagem remota (Planet) da área de inundação da UHEBQ. Os retângulos numerados correspondem às cenas das próximas figuras.



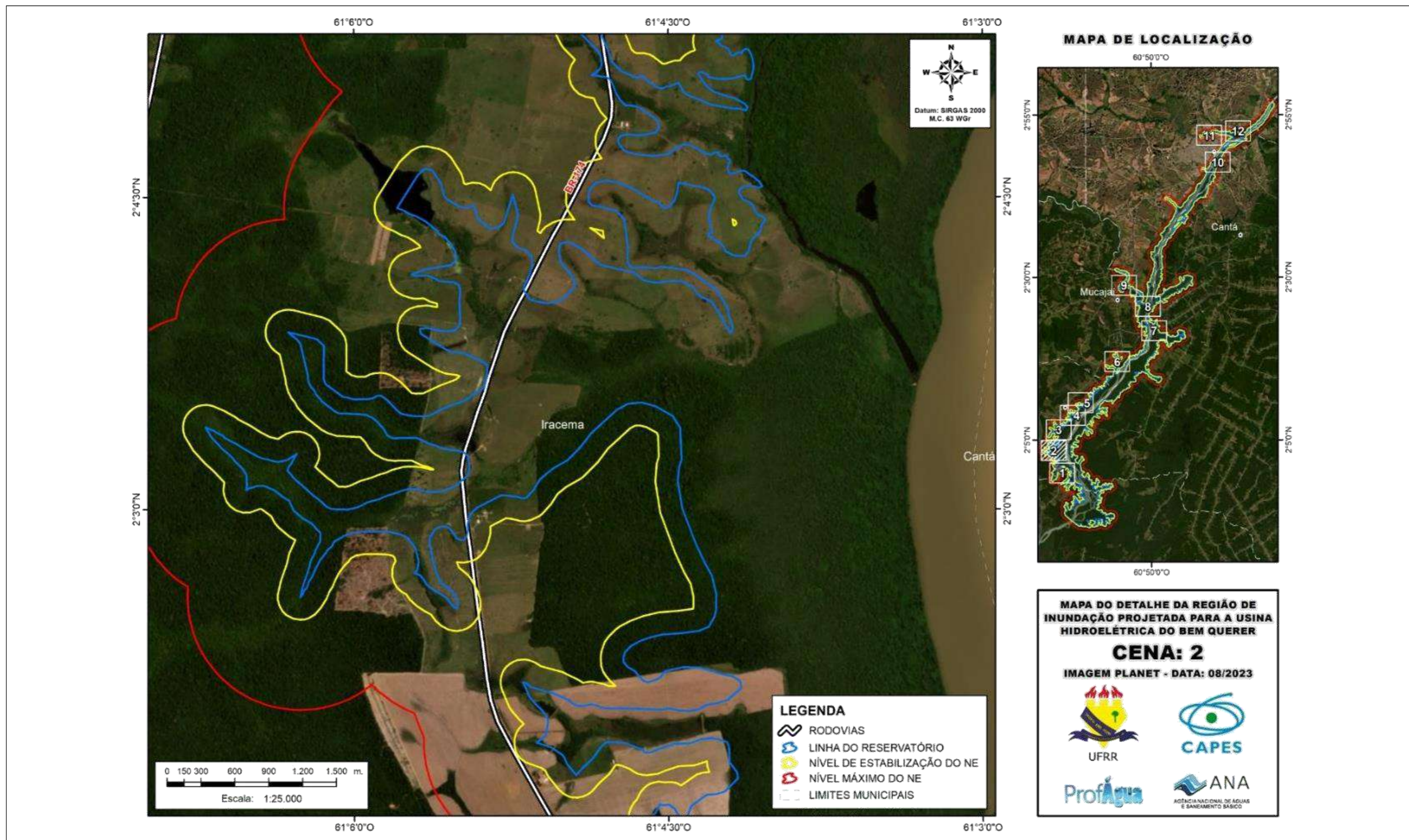
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 22 — Imagem remota (Planet) da Cena 1 da área de inundação da UHEBQ.



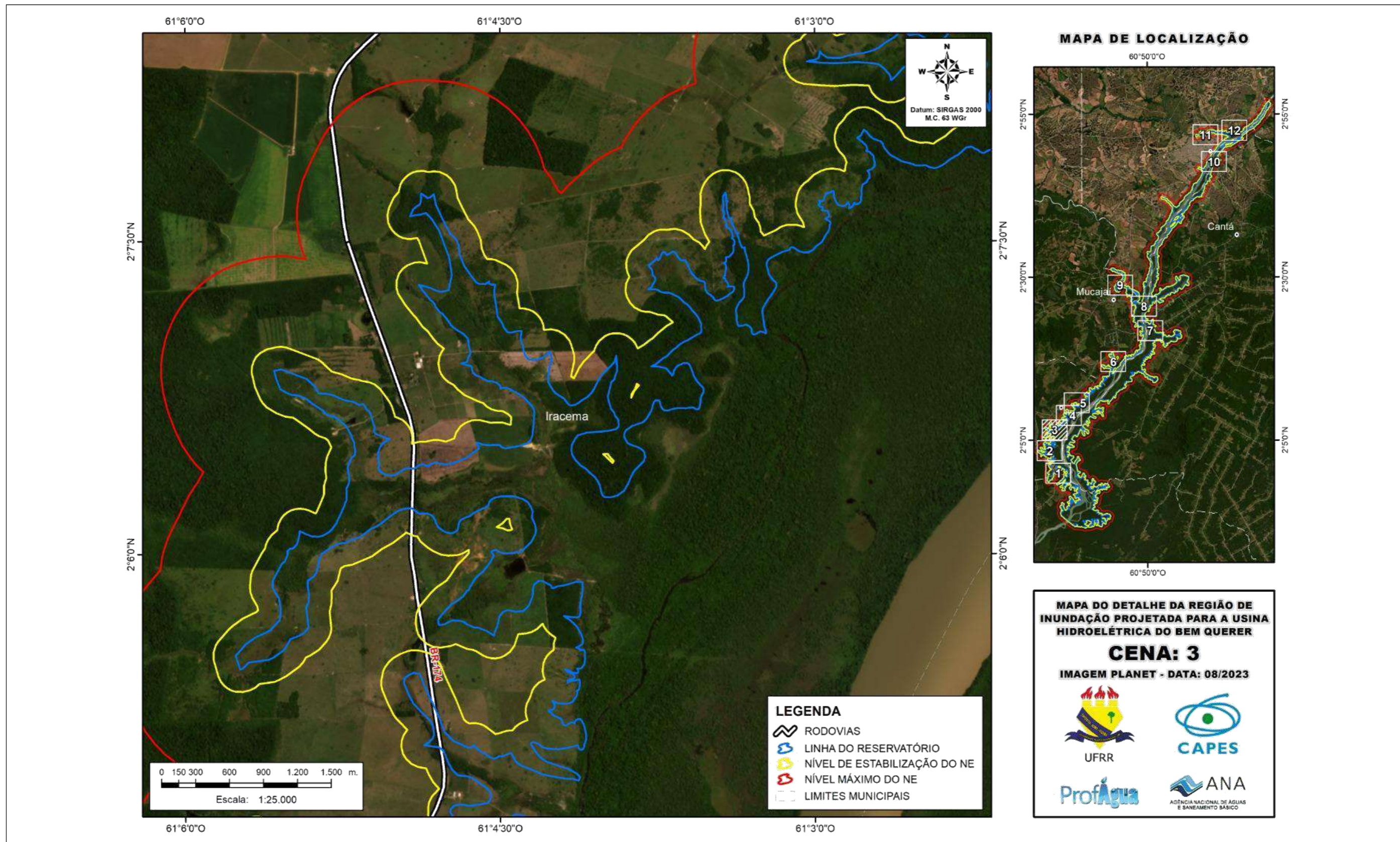
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 23 — Imagem remota (Planet) da Cena 2 da área de inundação da UHEBQ.



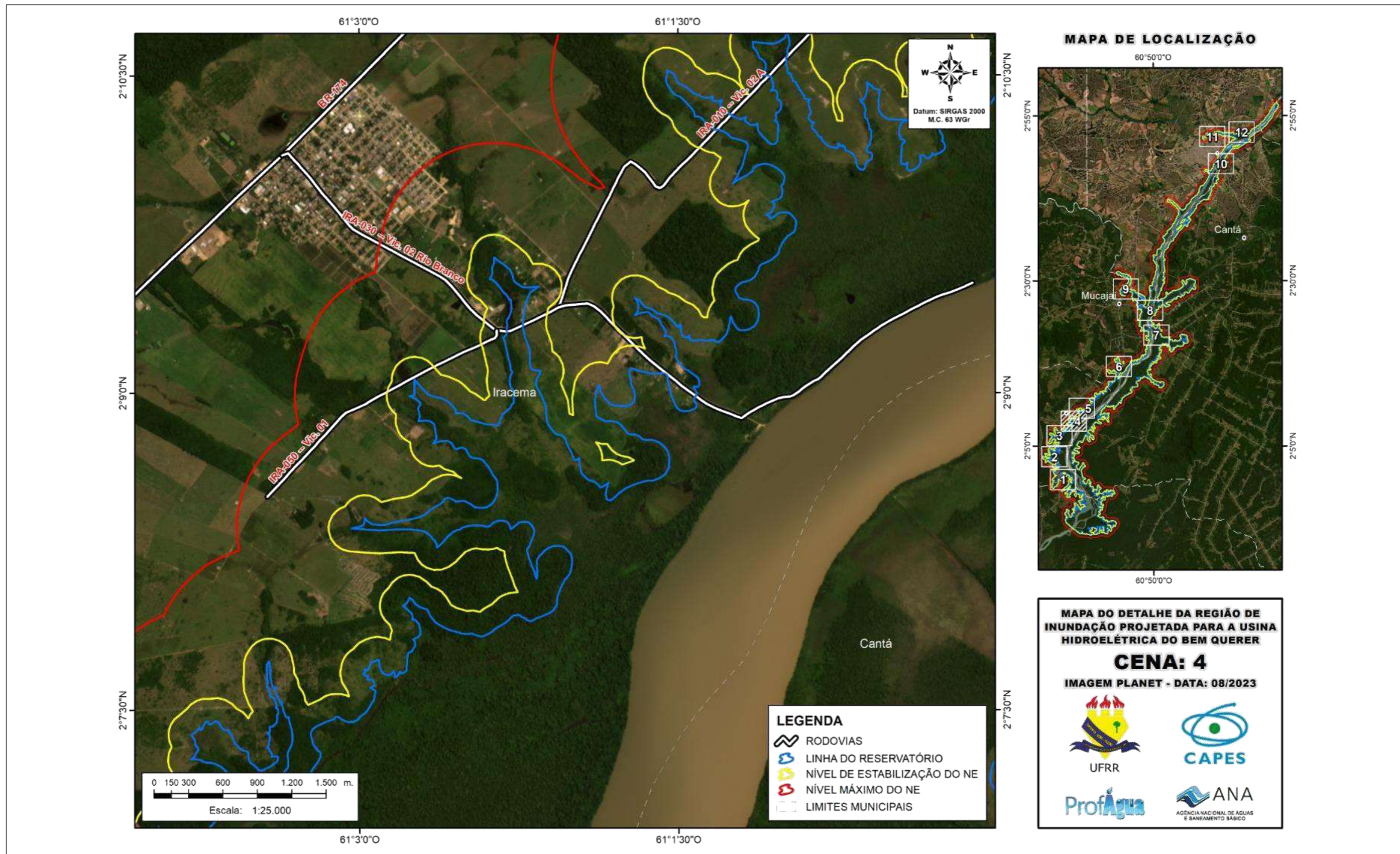
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 24 — Imagem remota (Planet) da Cena 3 da área de inundação da UHEBQ.



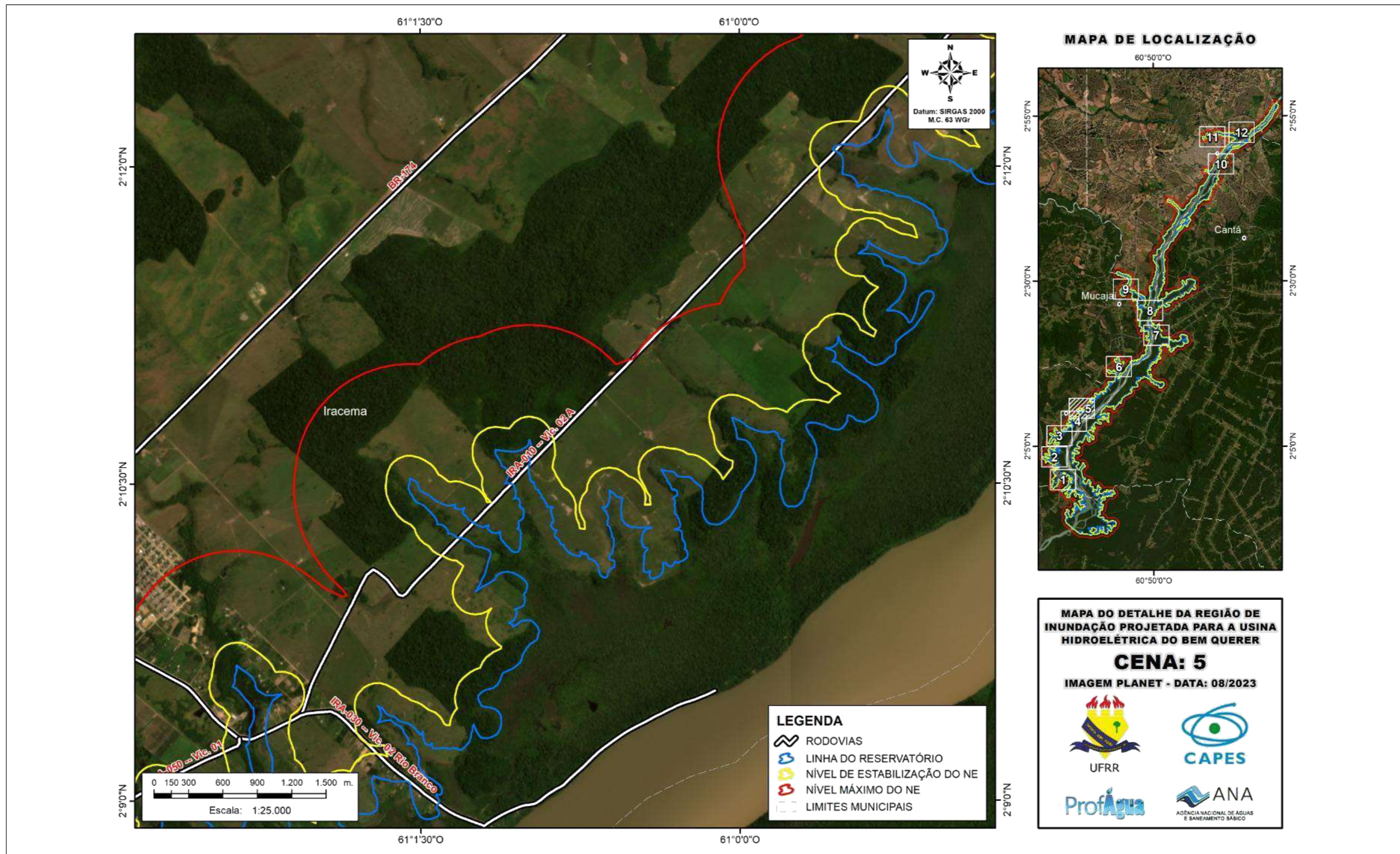
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 25 — Imagem remota (Planet) da Cena 4 da área de inundação da UHEBQ.



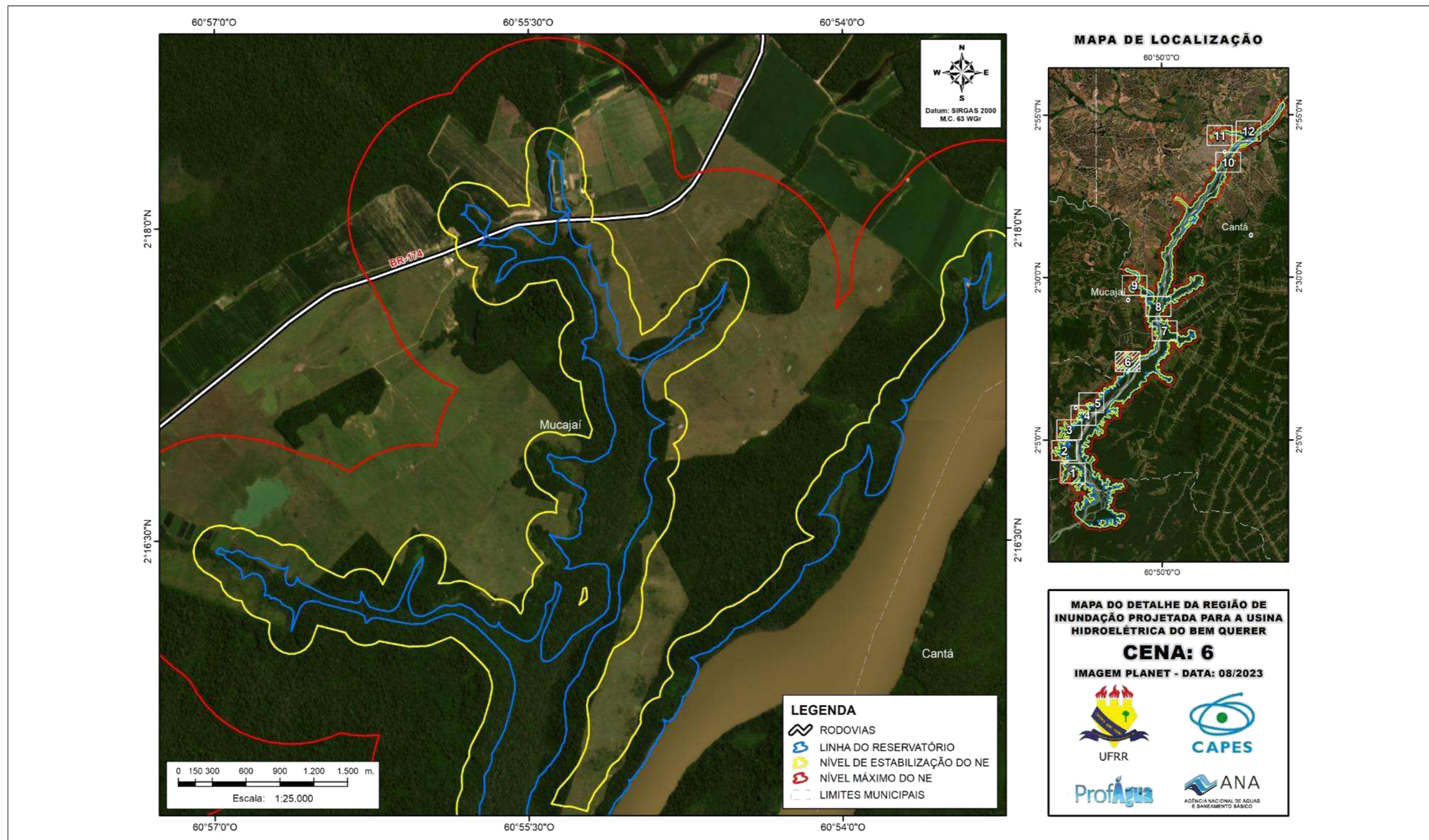
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 26 — Imagem remota (Planet) da Cena 5 da área de inundação da UHEBQ.



Fonte: Produção autoral (2023).

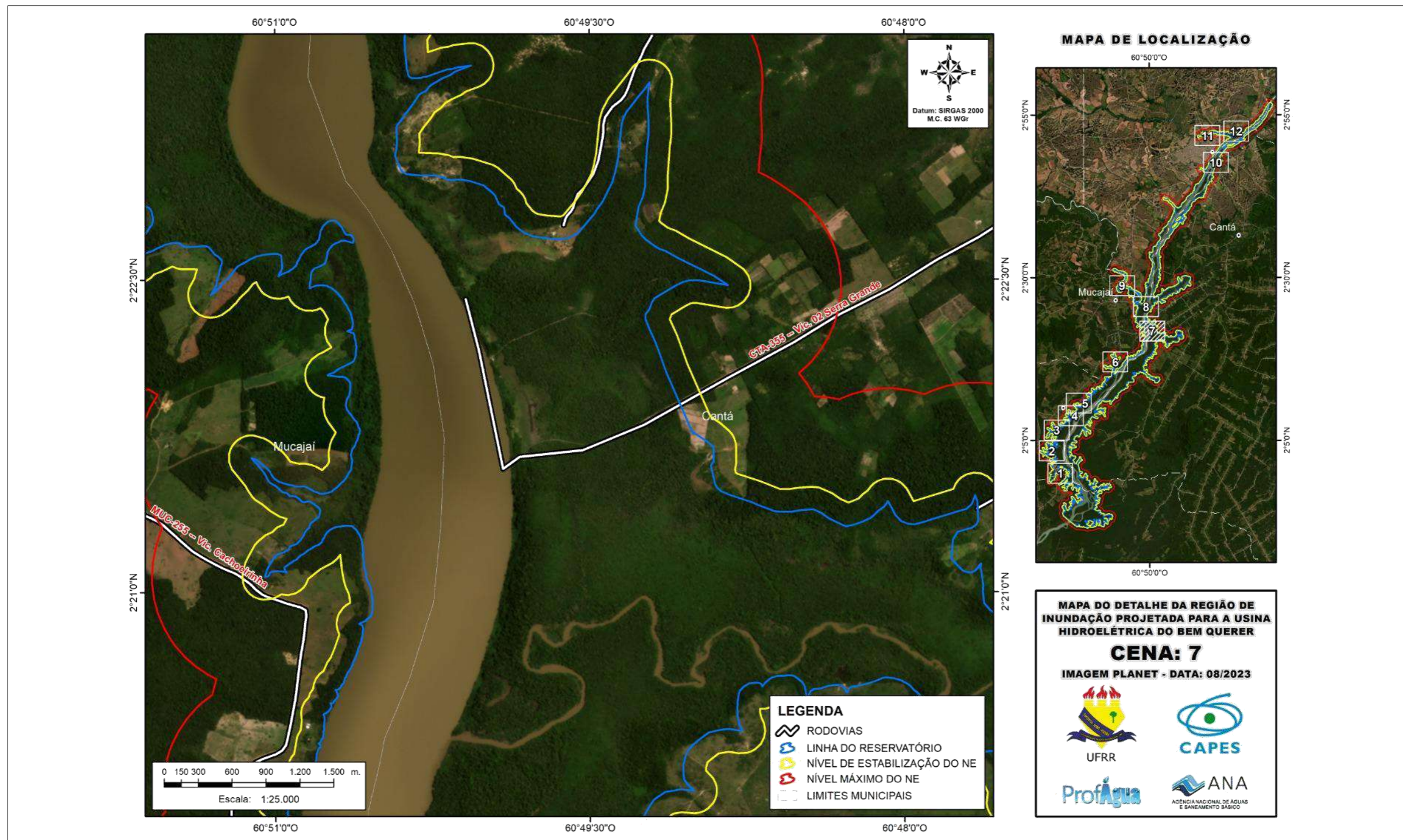
Figura 27 — Imagem remota (Planet) da Cena 6 da área de inundação da UHEBQ.



Fonte: Produção autoral (2023).

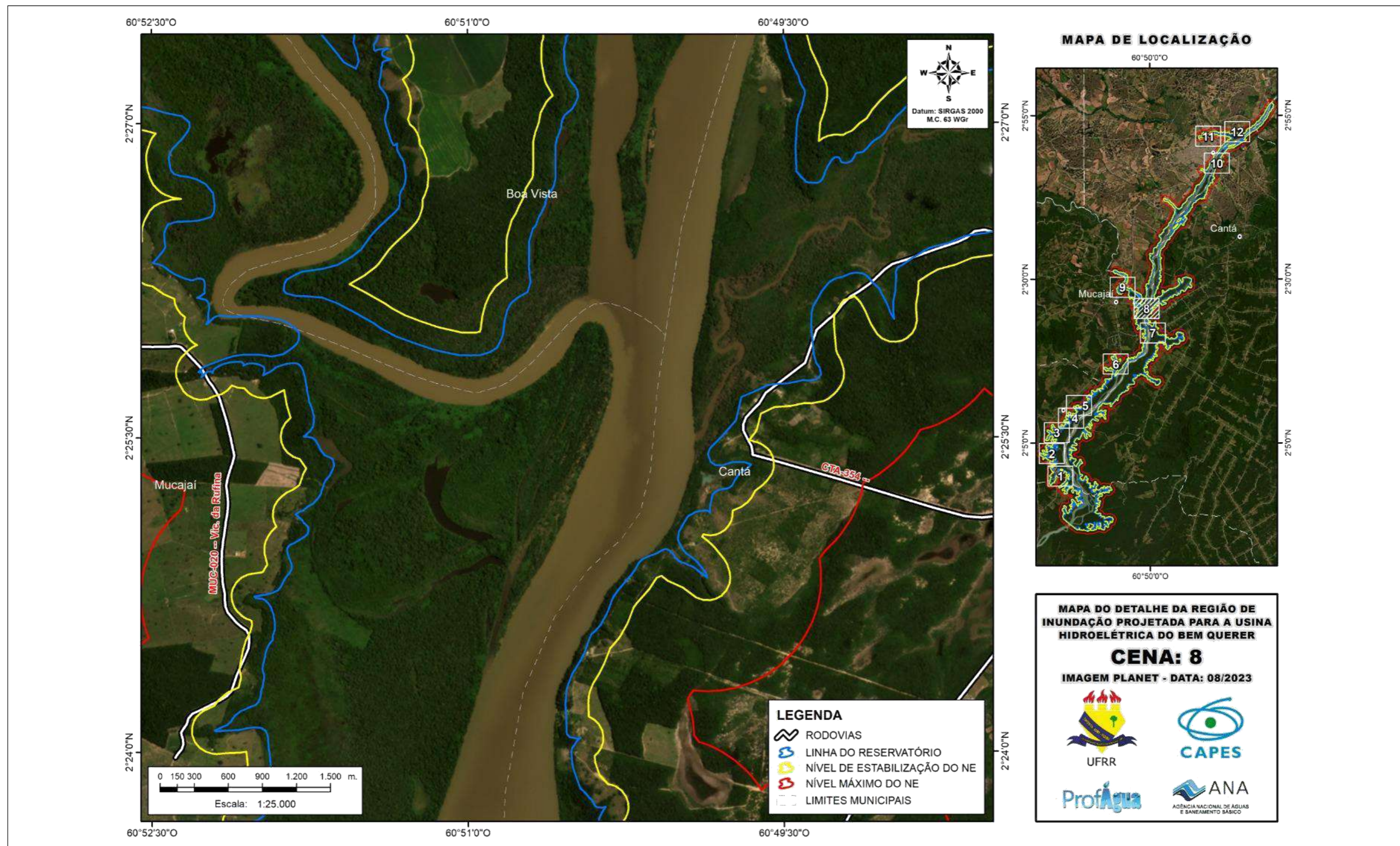


Figura 28 — Imagem remota (Planet) da Cena 7 da área de inundação da UHEBQ.



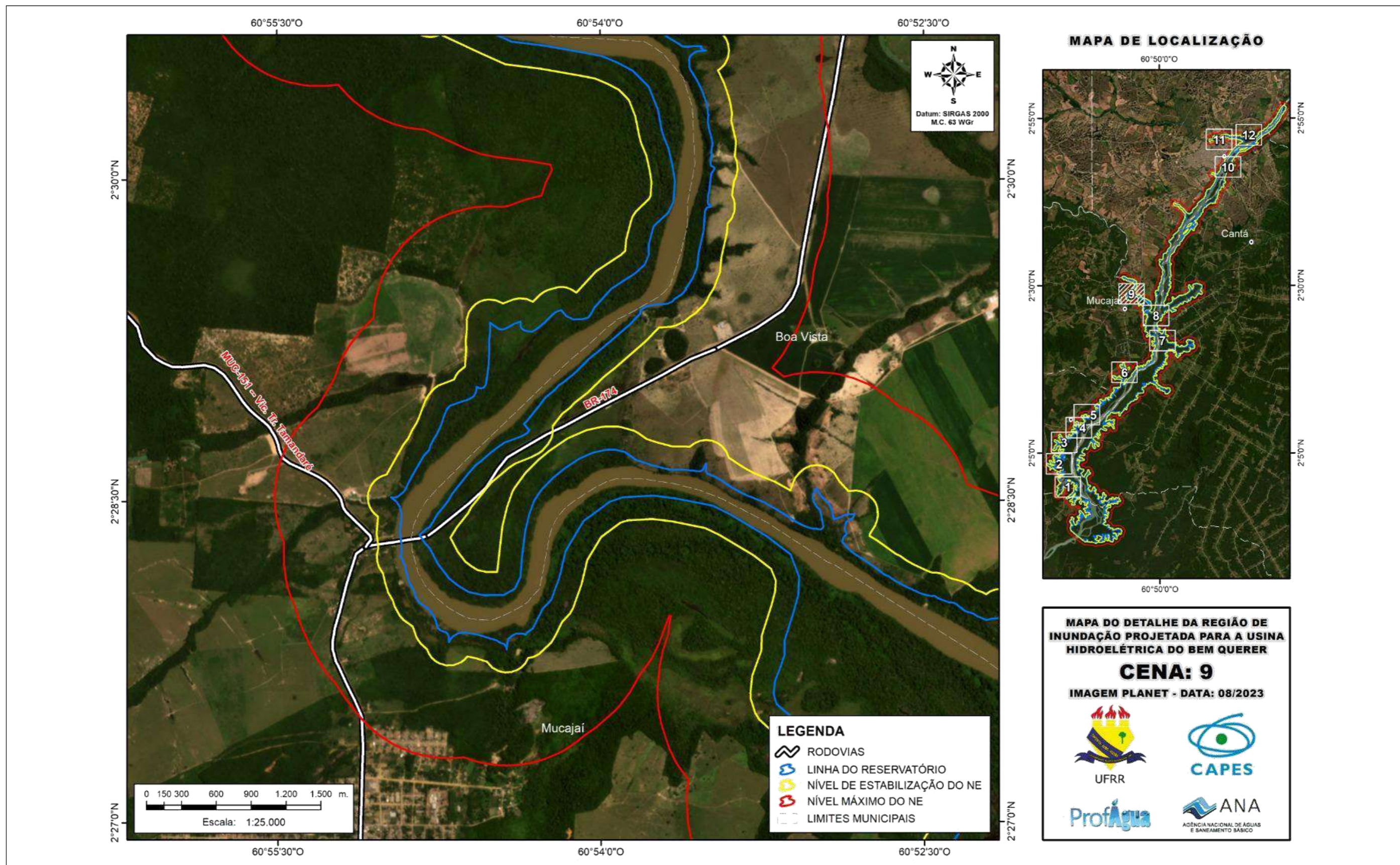
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 29 — Imagem remota (Planet) da Cena 8 da área de inundação da UHEBQ, com a foz do rio Mucajai visível.



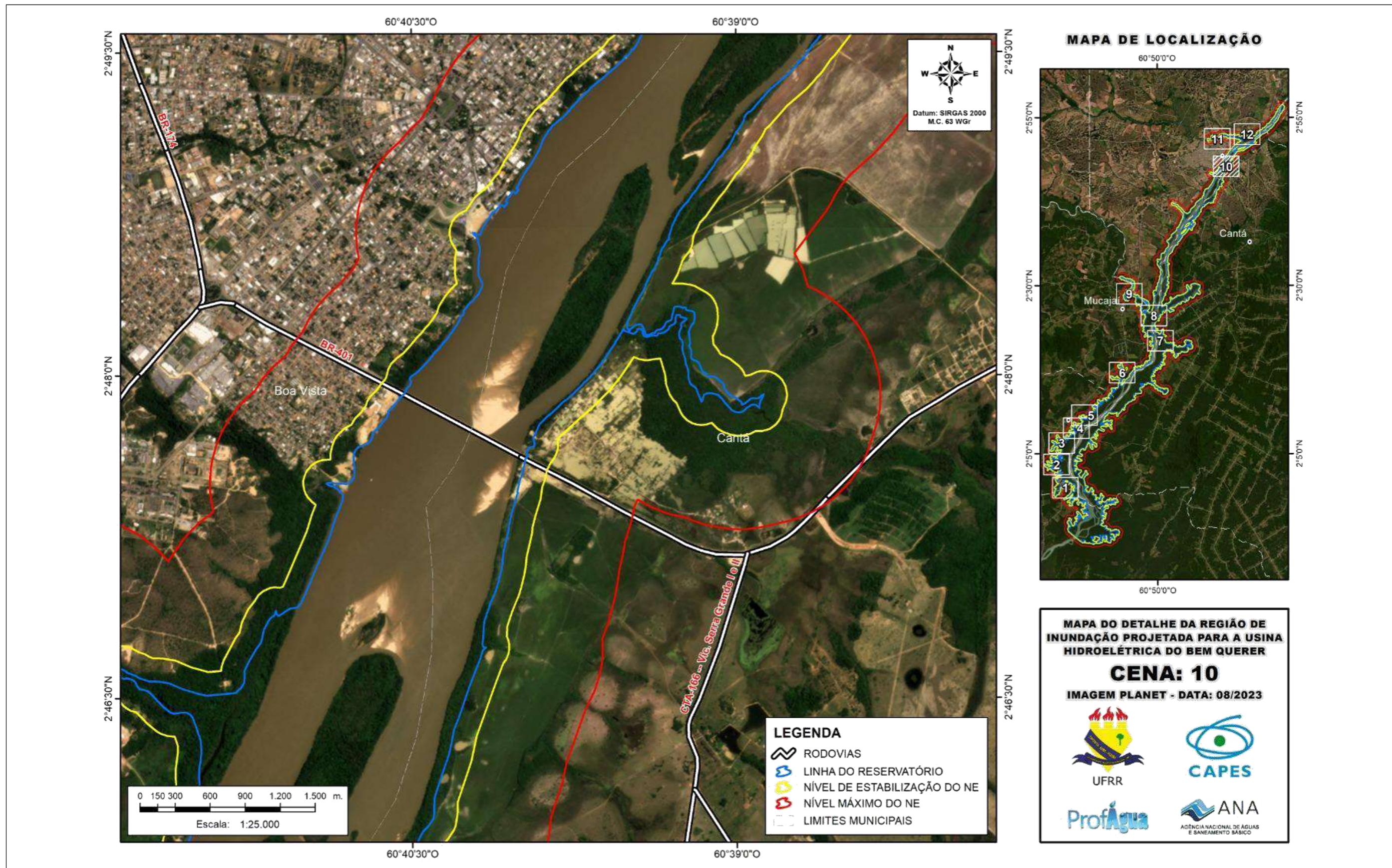
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 30 — Imagem remota (Planet) da Cena 9 da área de inundação da UHEBQ.



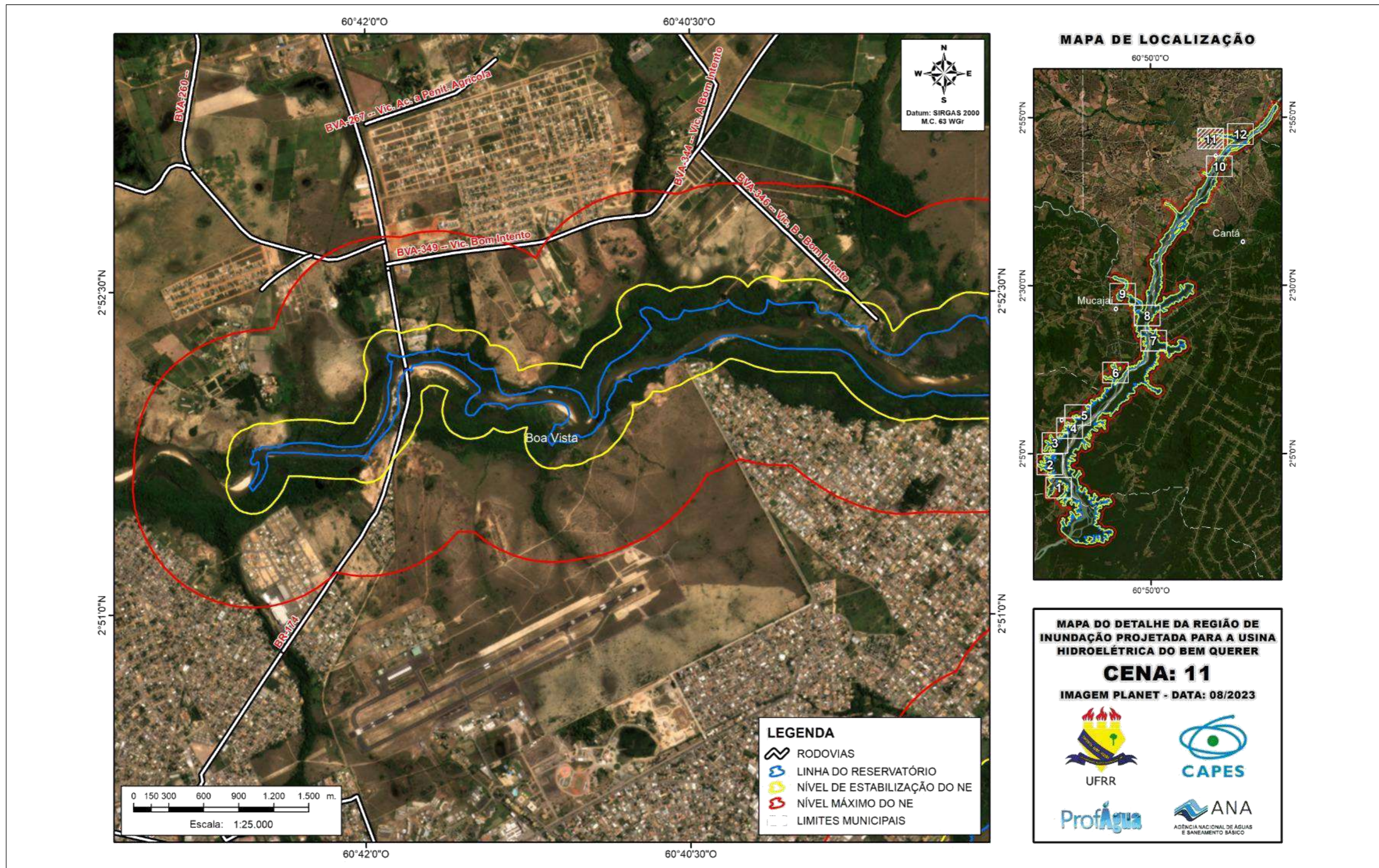
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 31 — Imagem remota (Planet) da Cena 10 da área de inundação da UHEBQ.



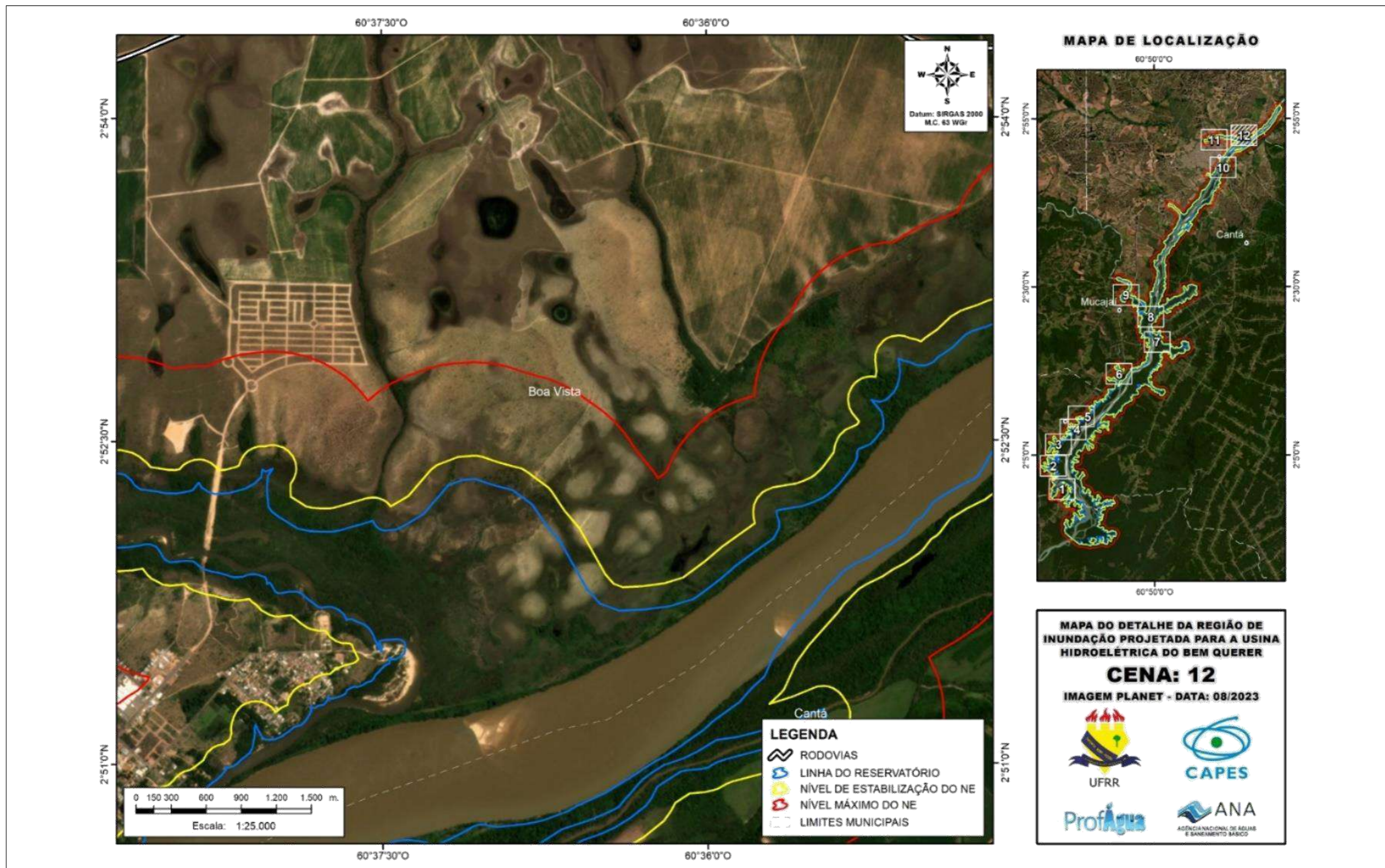
Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 32 — Imagem remota (Planet) da Cena 11 da área de inundação da UHEBQ.



Fonte: Produção autoral (2023).

Figura 33 — Imagem remota (Planet) da Cena 12 da área de inundação da UHEBQ. Notar a foz do rio Cauamé no canto inferior esquerdo.



Fonte: Produção autoral (2023).

## CONCLUSÃO

Historicamente, a maioria das modelagens hidrogeológicas tem empregue abordagens numéricas e/ou analíticas, restando às abordagens cartográficas um papel subalterno nessa prática. Isto se deve ao fato de que aquelas usam mais variáveis paramétricas dos aquíferos e fluidos do que a cartográfica, cujos únicos parâmetros empregados são os níveis d'água antes da formação do reservatório e um fator de variação sazonal do nível d'água. Entretanto, é justamente o que faz das abordagens numéricas e analíticas métodos mais robustos que os tornam inadequados para a situação da UHEBQ, ao haver uma quase completa ausência de dados concretos sobre os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e águas subterrâneas envolvidos. Excetuando-se o Sistema Aquífero Boa Vista, ocorrente no trecho mais superior do reservatório projetado, faltam dados sobre a porosidade, permeabilidade, condutividade hidráulica, transmissividade e armazenamento dos demais aquíferos roraimenses. Quando existem, restringem-se a poucos poços, geralmente concentrados na área urbana de Boa Vista.

Neste contexto, as simulações feitas aqui para a influência do reservatório no nível estático dos aquíferos de seu entorno são as únicas que podem ser feitas, por ora, com os dados disponíveis. Seu grau de confiança assenta-se na aceitação dos 8% de variação mínima do NE, geralmente considerados para obras desse porte. Depende também de se assumir arbitrariamente superfícies infinitas em um regime permanente de aquíferos livres.

Os resultados aqui obtidos indicaram uma surgência do freático em alguns pontos do entorno da área do reservatório, quando houver um aumento de 8% no nível estático dos aquíferos em questão. Tal fenômeno se expressaria na superfície através da transformação de muitas áreas secas em áreas úmidas, com a formação de lagos, lagoas, banhados, igapós e drenagens formadas a partir de novas nascentes. A exata localização e extensão no terreno desses fenômenos depende de refinamentos da resolução espacial dos Modelos Digitais de Elevação e/ou amplos levantamentos planialtimétricos de precisão feitos ao longo de toda a área de entorno do reservatório projetado. Assim, os resultados aqui obtidos são mais um indicativo de uma área superficial a ser potencialmente afetada pela subida do Nível Estático, do que dos pontos exatos onde isso pode ocorrer.

Para a avaliação dos resultados aqui obtidos e/ou para a geração de novos e mais robustos modelos são necessárias uma série de medidas que visem a resolver a falta de informações básicas sobre os aquíferos e águas subterrâneas, tais como a construção de uma malha de poços no entorno da região do pretendido reservatório, com sistemas de monitoramento remoto que possibilitem a geração de dados mais fidedignos ao comportamento variável desses sistemas subterrâneos, bem como a realização periódica de ensaios de bombeamento que permitam não só determinar os principais parâmetros hidráulicos dos aquíferos, mas também acompanhar suas possíveis evoluções. Amplas campanhas de levantamentos geofísicos, elétricos e sísmicos seriam desejáveis também, a fim de se melhor determinar as fronteiras hidráulicas e as condições de contorno dos futuros modelos.

Por fim, há que se considerar que tais recomendações visam não só à construção de modelos voltados para a resolução de questões envolvidas com os impactos da UHEBQ nos sistemas aquíferos de seu entorno, mas, principalmente, para permitir que o Estado de Roraima tenha um maior conhecimento sobre seus recursos hídricos e, com isso, um melhor controle sobre os usos que deles são feitos. Independentemente da execução ou não do projeto da UHEBQ, um melhor conhecimento dos sistemas hídricos superficiais e subterrâneos é garantia de maior sucesso na sustentabilidade das atividades econômicas atualmente desenvolvidas no estado, bem como para a manutenção da integridade ambiental dos seus ecossistemas.



## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO-Jr. H. F.; BORGHETTI, J. R. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. **Revista UNIMAR**, n. 14 (supl.), p. 89-107, 1992.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LEITE, C. B. B. Elevações induzidas no lençol freático devido à formação de reservatórios e o significado das modificações resultantes. **Revista Universidade Guarulhos — Geociências**, v. 7, n. 6, p. 69-74, 2002.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos, com ênfase nos efeitos ocorrentes em aquíferos livres e suas consequências. **Revista Geociências UNESP**, v. 29, n. 3, p. 355-367, 2010.

ALMEIDA, Marcelo Esteves. **Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico (evaporação de Pb e U-Pb ID-TIMS em zircão) e isótopo (Nd-Pb) dos granitóides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica). Belém: Universidade Federal do Pará - UFPA, 2006.

ALMEIDA, Pedro Henrique Valério. **Determinação da profundidade e morfologia do topo do substrato rochoso na região de Caracará-RR, utilizando sísmica de refração**. Dissertação (Mestrado em Geologia). São Paulo: Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Aprovar os estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Branco**. Portal Eletrônico da ANEEL [2011]. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp20113785.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. *In*: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Orgs.). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997.

BARNI, P. E.; BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; XAUD, M. R.; FEARNSIDE, P. M. Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 32, p. 439-456, 2020.

BORTOLETO, E. M. A implantação de grandes hidrelétricas: desenvolvimento, discurso e impactos. **Geografares**, n. 2, jun. 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/1140>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

CAMPOS, José Eloi G. *et al.* Ascensão do nível freático no entorno de reservatórios em hidrelétricas: impactos e propostas de medidas mitigatórias. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23, 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Curitiba: Editora ABRHidro, 2019. p. 1-9. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH1171-1-20190812-171436.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2024.

CARVALHO, E. Relatórios de participação na reunião anual e congresso de Beijing. *In: Comitê Brasileiro de Barragens — CBDB*. Boletim Informativo. Rio de Janeiro, ano 7, p. 6, 2000.

CARVALHO, T. M. Síntese dos aspectos hidrogeomorfológicos do Estado de Roraima, Brasil. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 9, p. 435-450, 2015.

HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MAIA, M. A. M. Geodiversidade do estado de Roraima. Manaus: CPRM, 1.a ed., 212 p. 2014

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **UHE — Bem Querer**. Portal Eletrônico UHE — Bem Querer [2022]. Disponível em: <<http://www.uhebemquerer.com.br/a-usina/>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

FEITOZA, E. C. *et al.* **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2018, p. 661-671.

FERREIRA, E. *et al.* **Rio Branco: Peixes, Ecologia e Conservação de Roraima**. Manaus: Editora INPA, 2006. 168p. Disponível em: <<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/35937>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

FLEISCHMANN, A. *et al.* Modeling the role of reservoirs versus floodplains on large-scale river hydrodynamics. **Natural Hazards**, v. 99, p. 1075-104, 2019.

FRAGA, Lêda Maria Barreto. **A Associação Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi (AMG) do cinturão Guiana central, Roraima e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia**. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica). Belém: Universidade Federal do Pará - UFPA, 2002.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. São Paulo: Instituto Água Sustentável, 2017.

GRAHAM, P. W. *et al.* To what extent do long-duration high-volume dam releases influence river-aquifer interactions? A case study in New South Wales, Australia. **Hydrogeology Journal**, v. 23, n. 2, p. 319, 2015.

HRACHOWITZ, M. *et al.* Transit times—the link between hydrology and water quality at the catchment scale. **WIREs Water**, v. 3, n. 5, p. 629-657, 2016.

HUANG, Y. *et al.* The Hysteresis Response of Groundwater to Reservoir Water Level Changes in a Plain Reservoir Area. **Water Resources Management**, v. 36, n. 12, p. 4739-4763, 2022.

HUT, R. *et al.* Effects of sand storage dams on groundwater levels with examples from Kenya. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p. 56–66, 2008.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Biodiversidade. **Projetos de Usinas Hidrelétricas na Bacia do rio Branco e suas Implicações para as Unidades de Conservação Federais em Roraima e Amazonas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013. 91 p.

JUNK, W. J.; MELLO, J. A. S. N. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

LEITE, Claudio Benedito Baptista. **Avaliação do impacto do reservatório de três irmãos sobre a superfície potenciométrica do aquífero livre na cidade de Pereira Barreto-SP — uma abordagem numérica e geoestatística**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, 2005.

LORENZO, H. C. O setor elétrico brasileiro: passado e futuro. **Perspectivas**, v. 24–25, p. 147-170, 2002.

MELLO, F. M.; PIASENTIN, C. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

MENEZES, F. B.; WANKLER, F. L. Sistemas deposicionais fluviais: análise estratigráfica das unidades sedimentares da Formação Boa Vista, nordeste da Bacia do Tacutu, RR. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 14, n. 1, p. 69-93, 2020.

MORAES, Eclair. **Usina Hidrelétrica do Bem Querer: análise e projeção da influência do projeto no uso e cobertura do solo na Bacia do Médio Rio Branco, Roraima**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Boa Vista: Universidade Federal de Roraima - UFRR, 2021.

MOUSAVIZADEH, S. R.; MOEINI, R.; SHANEHSAZZADEH, A. Management of aquifer and dam reservoir quantitative-qualitative interaction. **Agricultural Water Management**, v. 277, p. 108116, 2023.

NEW, T.; XIE, Z. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges Dam. **Biodiversity and Conservation**, v. 17, p. 3149–3163, 2008.

NIENHUIS, P. H.; LEUVEN, R. S. E. W. River restoration and flood protection: controversy or synergism? **Hydrobiologia**, v. 444, p. 85–99, 2001.

O'REILLY, A. M. *et al.* A Dynamic Water Balance/Nonlinear Reservoir Model of a Perched Phreatic Aquifer–River System With Hydrogeologic Threshold Effects. **Water Resource Research**, v. 56, n. 6, p. e2019WR025382, 2020.

OLIVEIRA, N. C. C. A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. **Varia História**, v. 34, n. 65, p. 315-346, 2018.

PALSAR (2015). **User guide Radiometric Terrain Corrected**. Includes Material © JAXA/METI 2007. Accessed through <<https://asf.alaska.edu/>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

PETRELLI, M. **Introduction to Python in Earth Science Data Analysis: From Descriptive Statistics to Machine Learning**. Berlin: Springer, 2021. 333p.

RODRIGUES, R. A.; VILAR, O. M. Colapso de solo desencadeado pela elevação do nível d'água. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 01, n. 06, p. 13-27, 2013.

SALAZAR, A. F.; TARAZONA, C. A.; VELÁSQUEZ, M. E.; ARCHANJO, C. J. Petrogramas das rochas da Suíte Intrusiva da Serra da Prata (RR): flanco norte. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2017, Gramado, **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Editora da SBG, 2017. p. 1263-1264.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental - Conceitos e Métodos**. Rio de Janeiro: Editora Oficina de Textos, 2020.

SANDER, C.; CARVALHO, T. M.; GASPARETTO, N. V. L. Breve síntese da dinâmica fluvial do rio Branco, nas adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 60-69, 2013.

SANDER, C.; GASPARETTO, N. V. L.; SANTOS, M. L.; CARVALHO, T. M. Característica do transporte de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Branco, Estado de Roraima. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 17, p. 71-85, 2014.

SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. Modelo Hidrogeológico Conceitual da Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB) em área do Sistema Aquífero Bauru (SAB). **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 404–412, 2018.

SANTOS, E. R.; MATTIONI, J. V. D.; FALCÃO, M. T. Extração Mineral e Conflitos: Ensaio Geo-Histórico do Garimpo Ilegal nas Terras Indígenas no Extremo Norte Brasileiro. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 7, n. 1, p. 104-119, 2021.

SANTOS, Pedro Antônio Doria dos Santos. **Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica do aquífero Boa Vista na bacia do Rio Cauamé-RR**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Boa Vista: Universidade Federal de Roraima - UFRR, 2020.

SARDO, M. S.; JALALKAMALI, N. A system dynamic approach for reservoir impact assessment on groundwater aquifer considering climate change scenario. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 17, p. 100754e, 2022.

SEEBOONRUANG, U. Impacts of Reservoir on Groundwater Level and Quality in a Saline Area, Nakhon Panom Province, Thailand. **APCBEE Procedia**, v. 4, p. 16-21, 2012.

SEN, Z. **Practical and applied hydrogeology**. Amsterdam: Elsevier, 2015.

SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. **Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference**, v. 1, p. 517-524, 1968.

SILVA, L. C. J.; JOAQUIM, C. V. Hidrelétrica no rio Cotingo: quatro décadas na pseudo-agenda política de Roraima. **Revista de Administração de Roraima**, v. 1, n. 1, p. 154-162, 2011.

SILVA, S. S. *et al.* Análise de impactos ambientais gerados pela construção de uma barragem na Bacia do Médio Una, Taubaté, SP. *In: Anais do I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul*, 1, 2007, **Anais [...]**. Taubaté, 2007.

SOLANA, M. X. *et al.* Connectivity of temperate shallow lakes to groundwater in the Pampean Plain, Argentina: A remote sensing and multi-tracer approach. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 13, p.100556, 2021.

THOMÉ, L. M. A. **Considerações sobre a qualidade das águas subterrâneas do aquífero boa vista na porção central do polo iii do projeto de assentamento nova Amazônia – RR**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Bacharelado em Geologia). Boa Vista: Universidade Federal de Roraima – UFRR, 2023.

TUCCI, C. E. M. **Efeito da Variabilidade Climático e uso do Solo: Energia**. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/efeito-da-variabilidade-climatica-e-uso-do-solo-energia/>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI – enfrentando a escassez**. São Carlos: Editora Rima, 2003.

VIANA, S. W. **Comportamento hidrodinâmico do aquífero Boa Vista no âmbito do Projeto de Assentamento Nova Amazônia - Polo III, Boa Vista-RR**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Bacharelado em Geologia). Boa Vista: Universidade Federal de Roraima – UFRR, 2023.

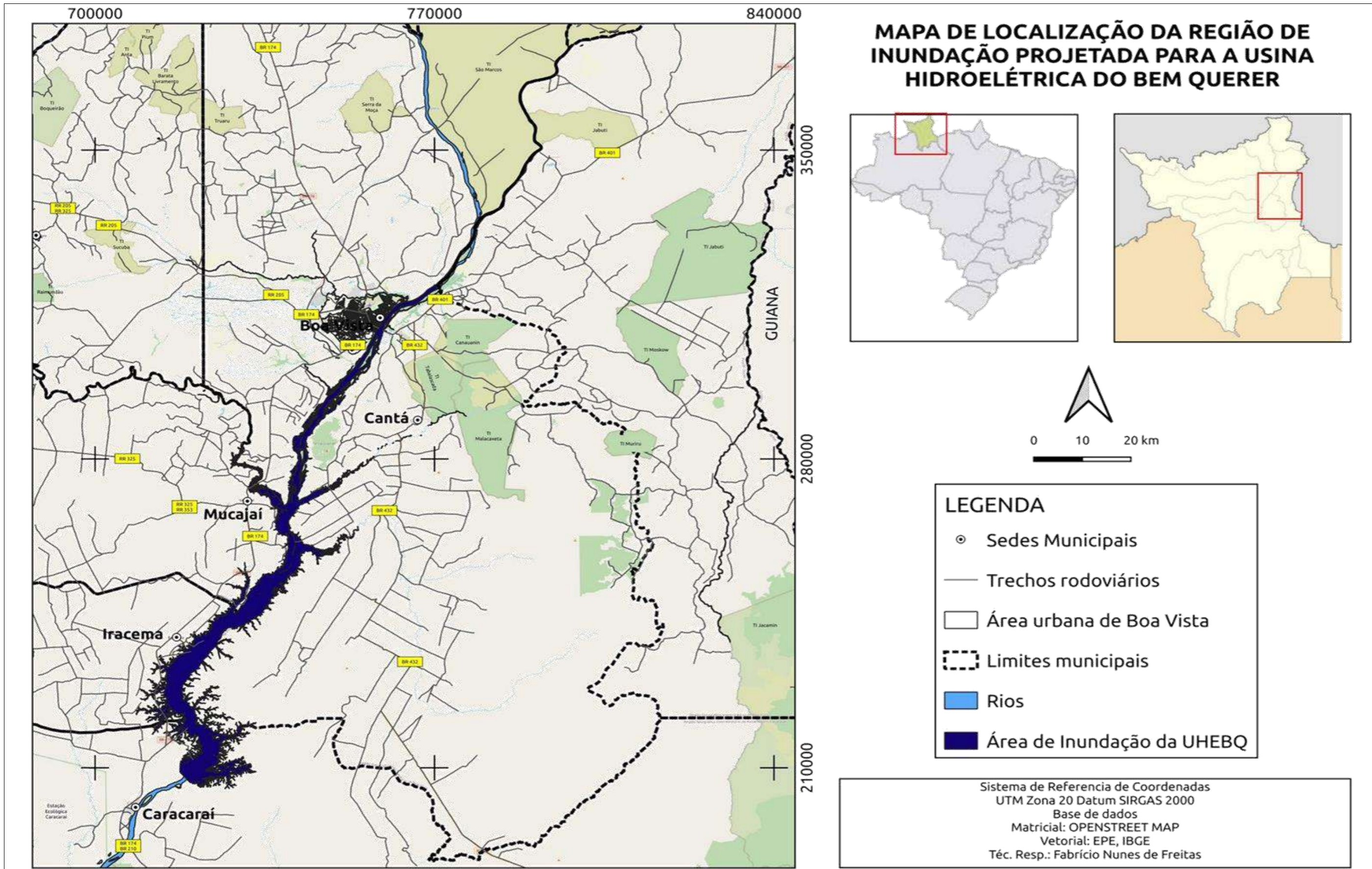
WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C. Sistema Aquífero Boa Vista: “Estado da Arte” do conhecimento e perspectivas. **ACTA Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 21-39, 2012.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Oficina das Letras, 2013.

ZAMBONIN, R. V.; CAVALCANTE, M. M. A. Panorama do cenário energético da última fronteira elétrica: Roraima. **Geografia Unesp Rio Claro**, v. 48, n. 1, p. 1-27, 2023.

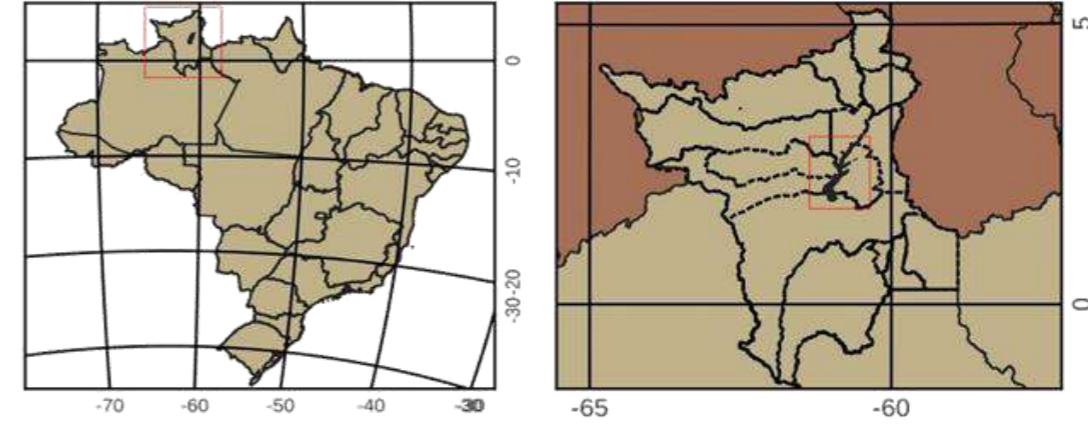
ZHOU, Z. H. *et al.* Big data opportunities and challenges: Discussions from data analytics perspectives [discussion for Shepard, Donald. “A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data”. Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference. 1968.m]. **IEEE Computational Intelligence Magazine**, v. 9, n. 4, p. 62-74, 2014.

**ANEXO**

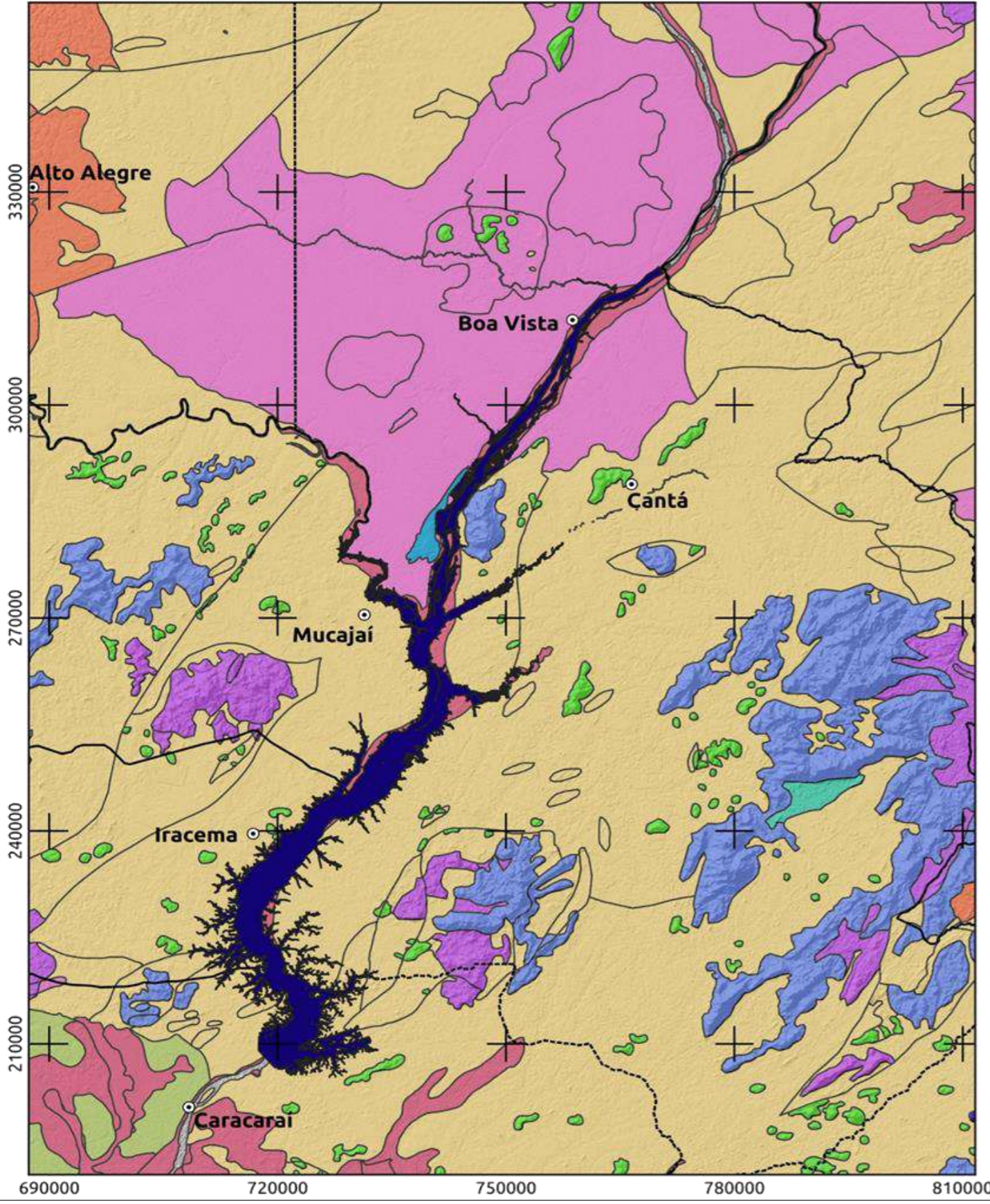







## MAPA DE RELEVO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO DA UHEBQ

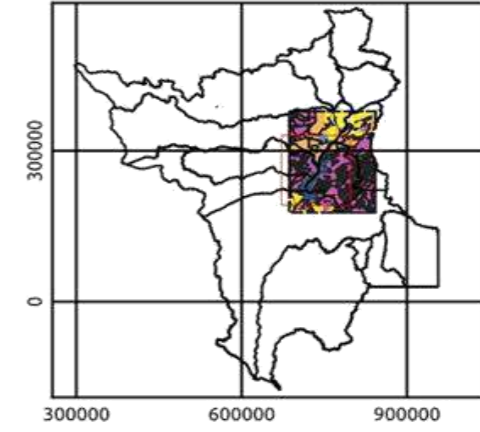
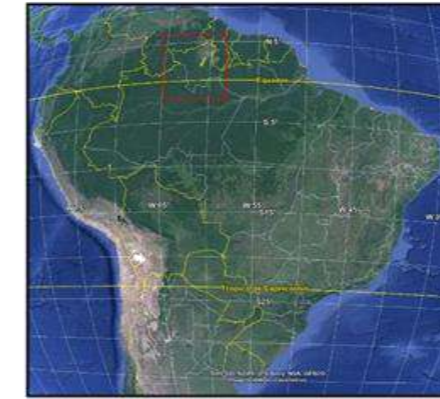
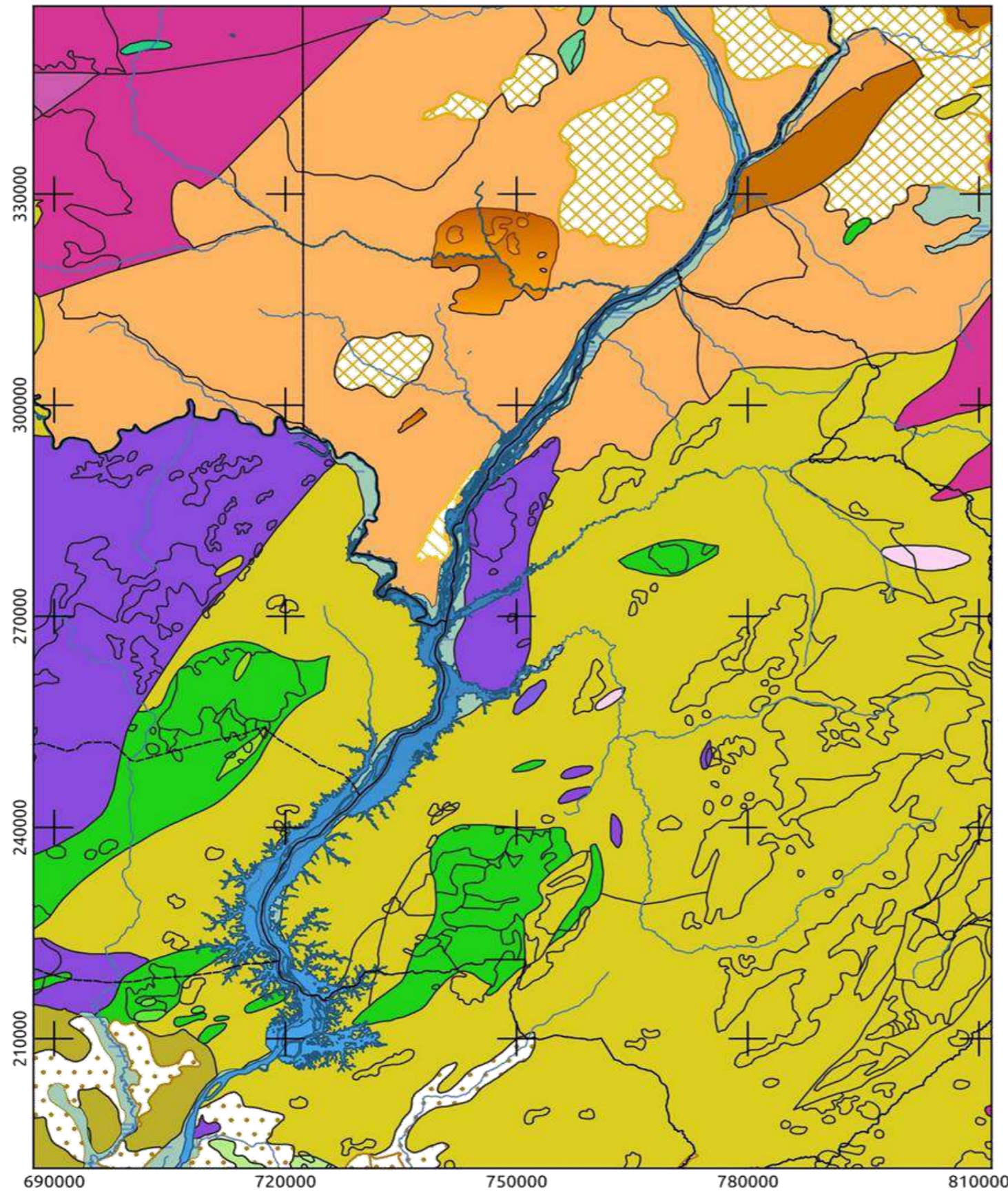


LEGENDA	
	Limites Municipais
	Rios
	Igarapés
	Área de Inundação UHEBQ
Domínios de Relevo	
	Campos de Dunas
	Colinas Amplas e Suaves
	Colinas Dissecadas e de Morros Baixos
	Morros e de Serras Baixas
	Montanhoso
	Inselbergs e outros relevos residuais
	Planícies Fluviais ou Fluvialacustres
	Superfícies Aplainadas Conservadas
	Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas
	Tabuleiros




 Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados: CPRM, EPE  
 Base Matricial de Dados: SRTM  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas
 


# MAPA GEOLÓGICO



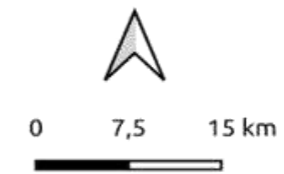
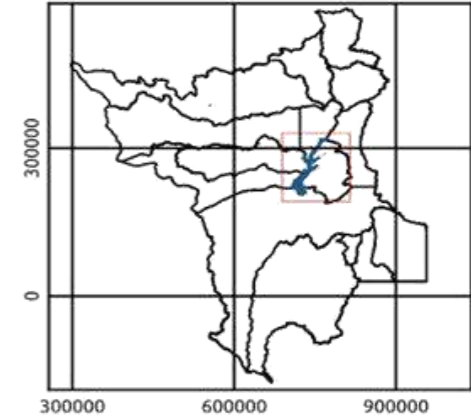
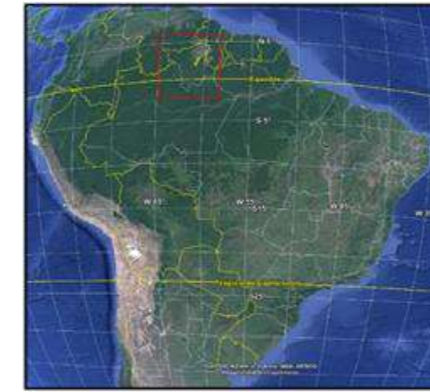
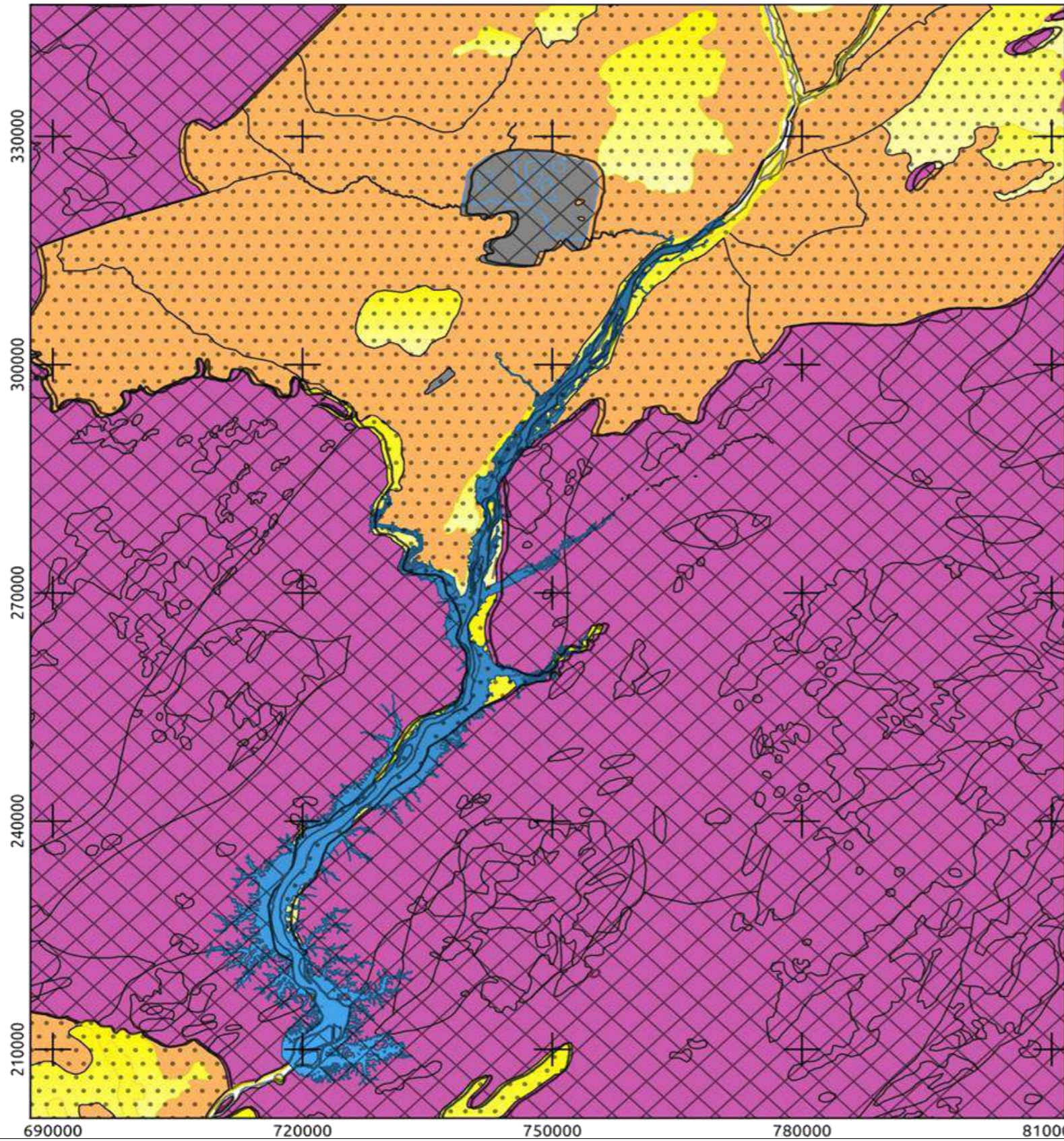
## LEGENDA

- Limites Municipais
- Rios
- Igarapés
- Área de Inundação UHEBQ
- Unidades Litoestratigráficas**
- Depósitos Aluvionares
- Campos de Dunas
- Coberturas Detrito-Lateríticas
- Depósitos Arenosos de Áreas Alagadas
- Formação Areias Brancas
- Formação Apoteri
- Formação Boa Vista
- Formação Serra do Tucano
- Formação Içá
- Complexo Urariquera
- Anortosito Repartimento
- Gabro Caracarái
- Granito Amajari
- Granito Curuxuim
- Grupo Cauarane
- Grupo Iricoumé
- Grupo Surumu
- Grupo Uai-Uai
- Suíte Intrusiva Mapuera
- Suíte Intrusiva Mucajaí
- Suíte Intrusiva Serra da Prata
- Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá
- Suíte Metamórfica Murupu
- Suíte Metamórfica Rio Urubu



Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados  
 SIAGAS, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas

# MAPA DE DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS



## LEGENDA

### Cartográficos

- Igarapés
- Limites Municipais
- Rios
- Área de Inundação UHEBQ

### Hidrogeologia

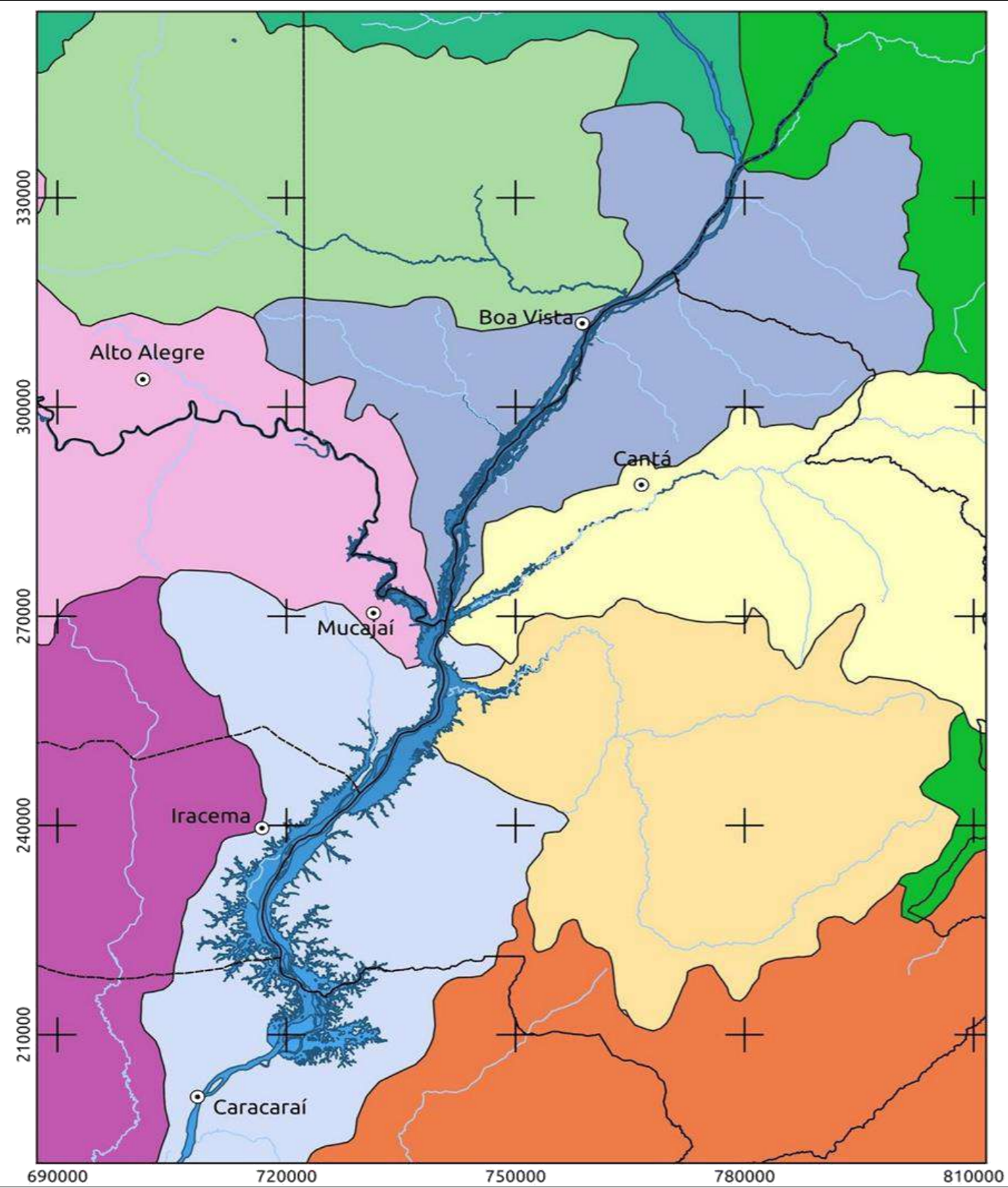
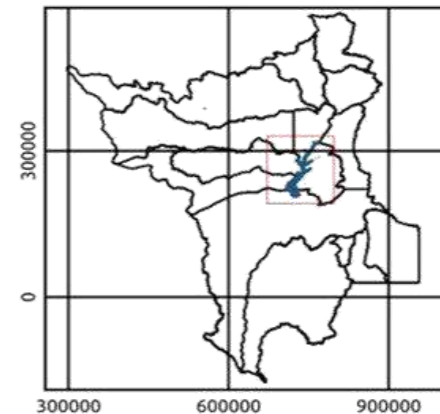
- Domínio Fraturado
- Domínio Granular

### Geologia

- CENOZÓICO**
- Depósitos Quaternários
- MESOZÓICO**
- Rochas Ígneas Vulcânicas
- Rochas Sedimentares
- PRÉ-CAMBRIANO**
- Rochas Ígneas Plutônicas e Rochas Metamórficas

Sistema de Referência de Coordenadas  
UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
Base Vetorial de Dados  
CPRM: GEODIVERSIDADE, SIAGAS. EPE: UHEBQ  
Autor: Fabrício Nunes de Freitas

# MAPA HIDROLÓGICO



**LEGENDA**

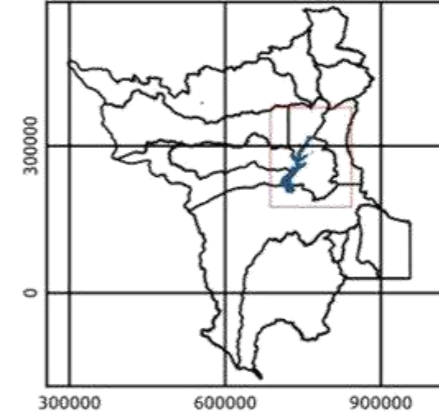
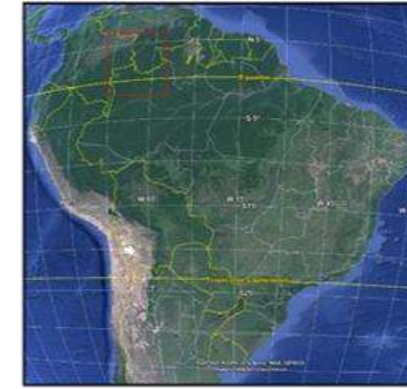
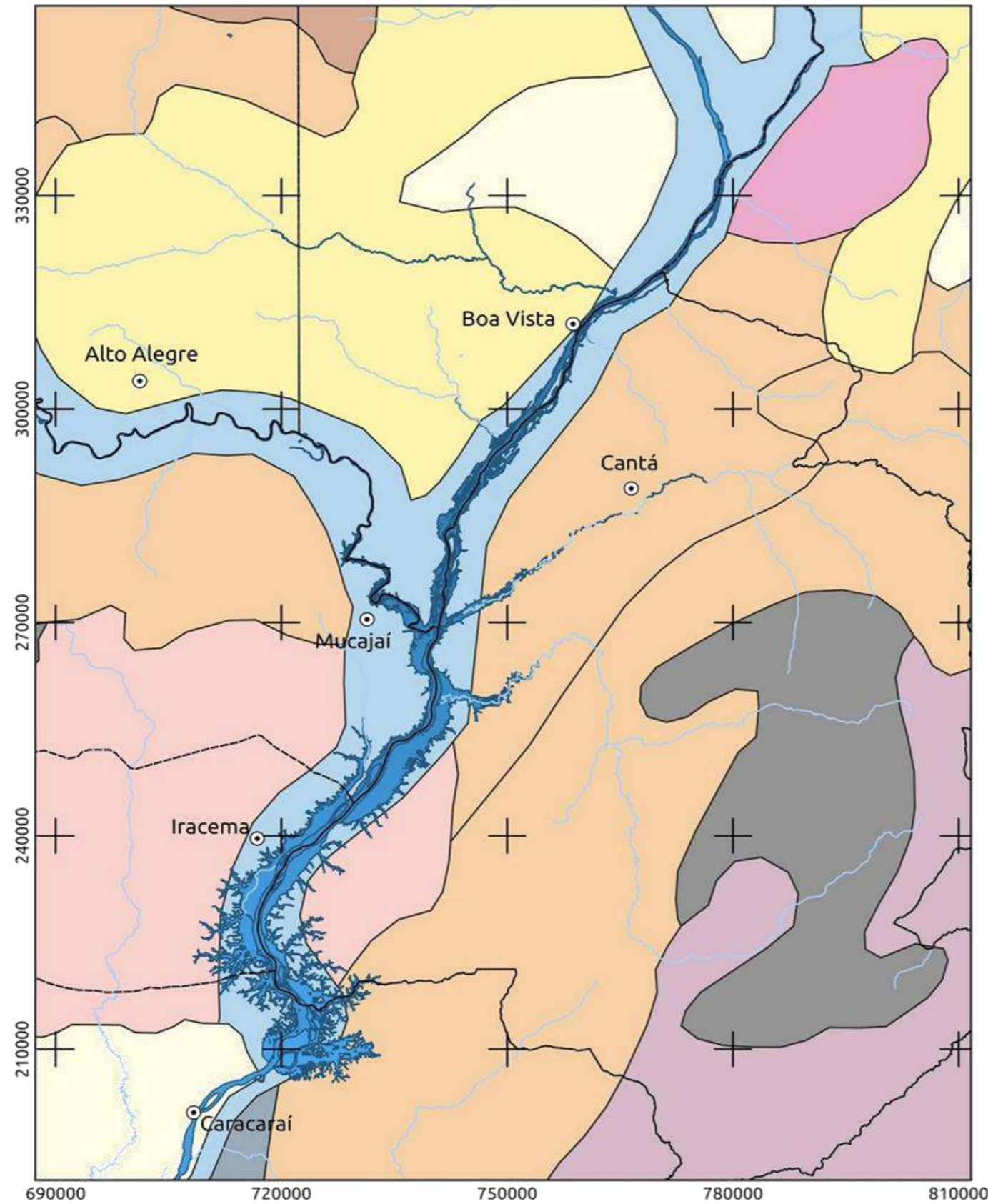
- ⊙ Sedes Municipais
- Igarapés
- ▭ Rios
- ▭ Área de Inundação UHEBQ
- ▭ Limites Municipais

**Bacias Hidrográficas**

▭ Rio Ajarani	▭ Rio Branco II	▭ Rio Quitauaú
▭ Rio Anauá	▭ Rio Cachorro	▭ Rio Surumu
▭ Rio Baraúna	▭ Rio Cauamé	▭ Rio Tacutu
▭ Rio Branco I	▭ Rio Mucajaí	▭ Rio Urariquera
	▭ Rio Parimé	

Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados  
 SIAGAS, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas

# MAPA DE SOLOS



## LEGENDA

### Topográficos

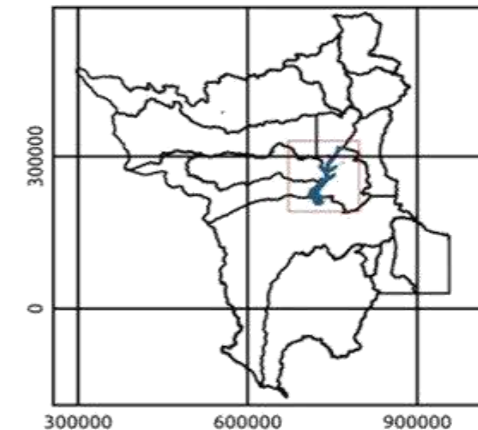
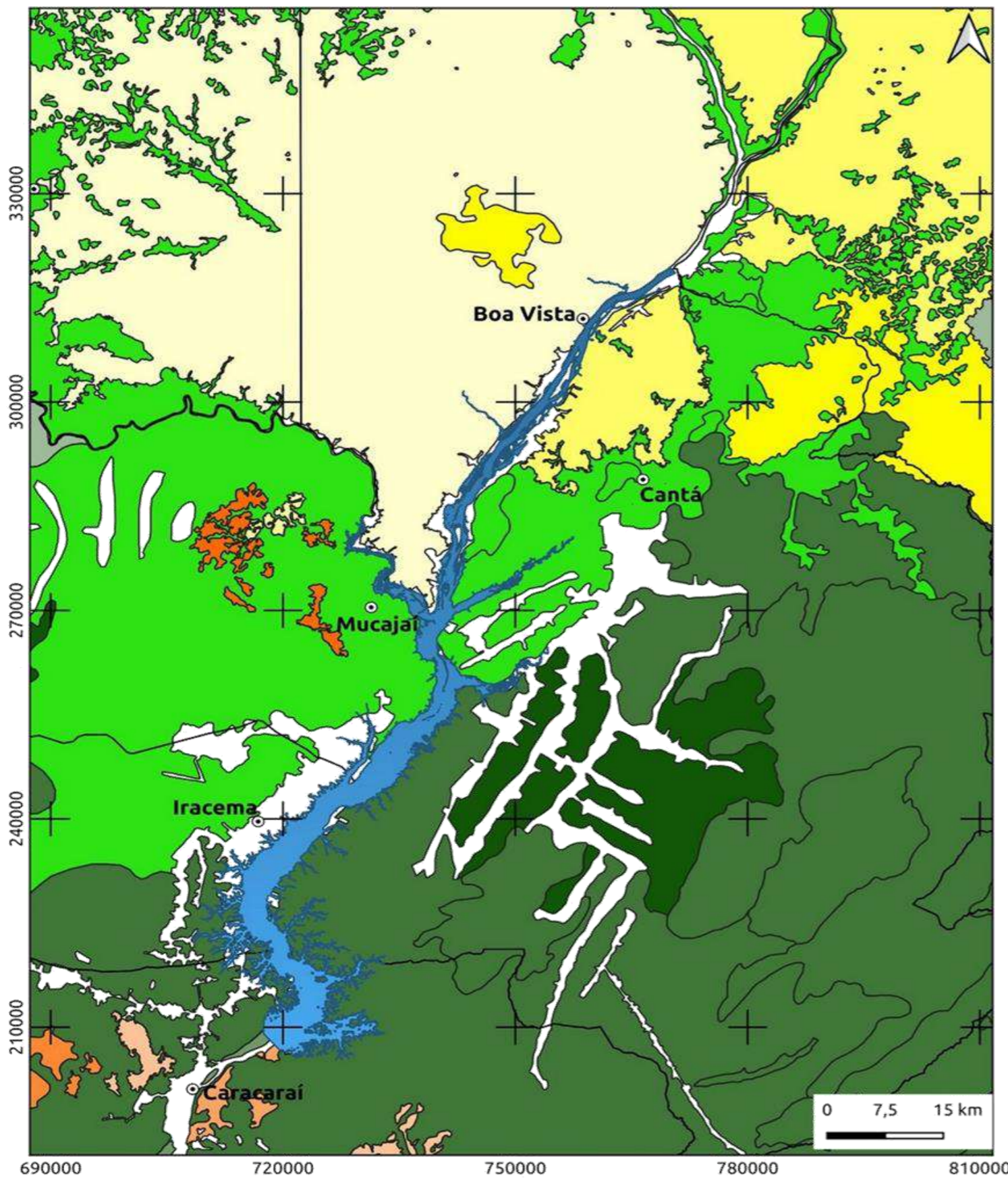
- Rio Branco
- Área de inundação da UHEBQ
- Sedes Municipais
- Limites municipais
- Rios

### Solos

- Espodossolo Ferrocárbico
- Plintossolo Pétrico
- Plintossolo Háptico
- Gleissolo Háptico
- Latossolo Amarelo
- Latossolo Vermelho-Amarelo
- Nitossolo Vermelho
- Argissolo Vermelho-Amarelo
- Neossolo Lítico
- Neossolo Quartzarênico

Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados  
 EMBRAPA, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas

# MAPA DE VEGETAÇÃO



## LEGENDA

- Sedes Municipais
- Área de Inundação UHEBQ
- - - Limites Municipais

## VEGETAÇÃO

- Campinaranas**
- Arborizada sem palmeiras
  - Florestada com palmeiras
  - Florestada sem palmeiras
  - Gramíneo-Lenhosa sem palmeiras
- Savanas**
- A. com floresta-de-galeria
  - A. sem floresta-de-galeria
  - G.L. com floresta-de-galeria
  - G.L. sem floresta-de-galeria
  - P. com floresta-de-galeria
  - P. sem floresta-de-galeria

## Florestas

- E.S. Aluvial com dossel emergente
- E.S. Aluvial com dossel uniforme
- E.S. Submontana com dossel uniforme
- O.A. Submontana com cipós
- O.A. Submontana com palmeiras
- O.D. Aluvial com dossel uniforme
- O.D. Submontana com dossel emergente
- O.D. Submontana com dossel uniforme
- Área antropizada

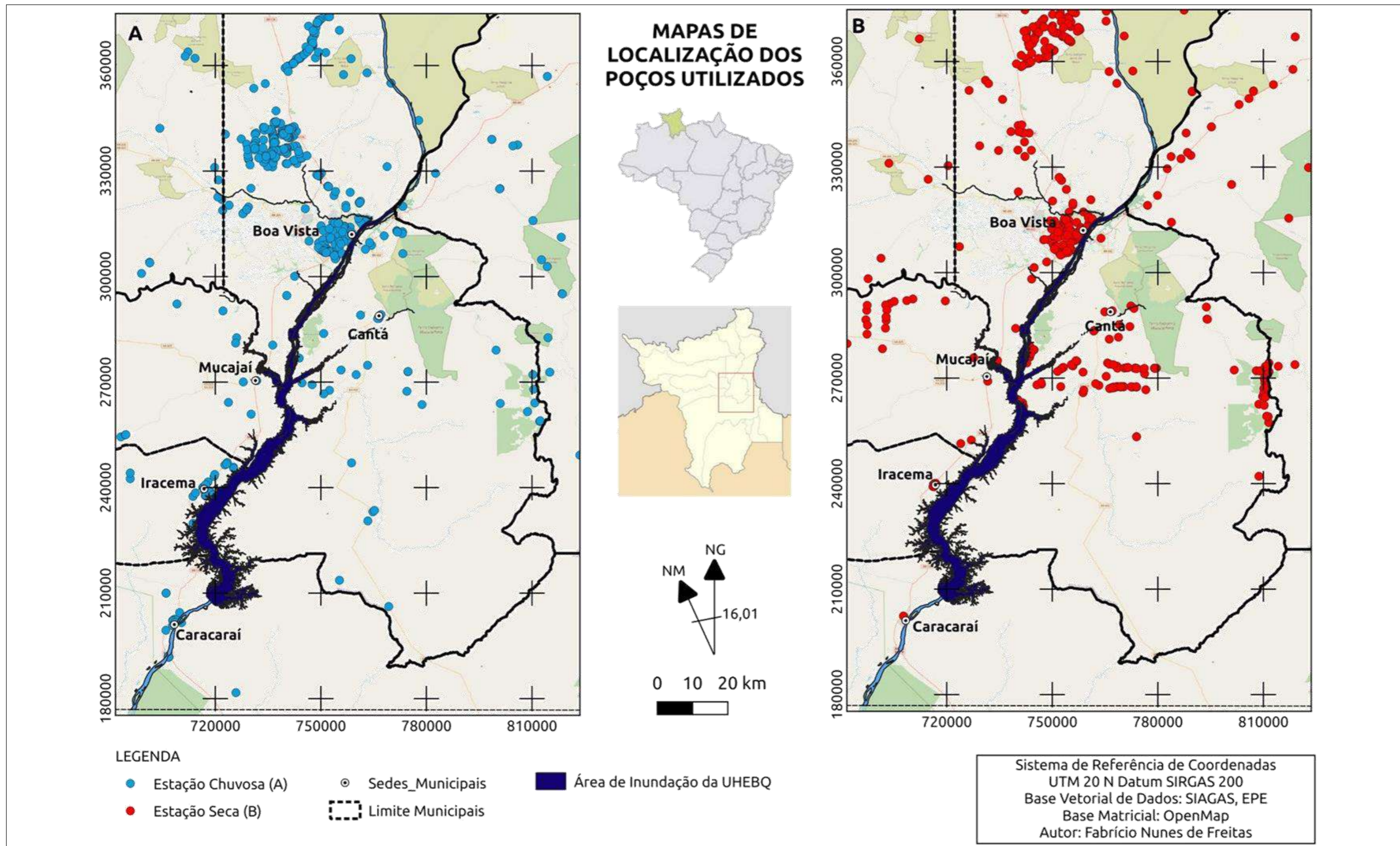
## Onde:

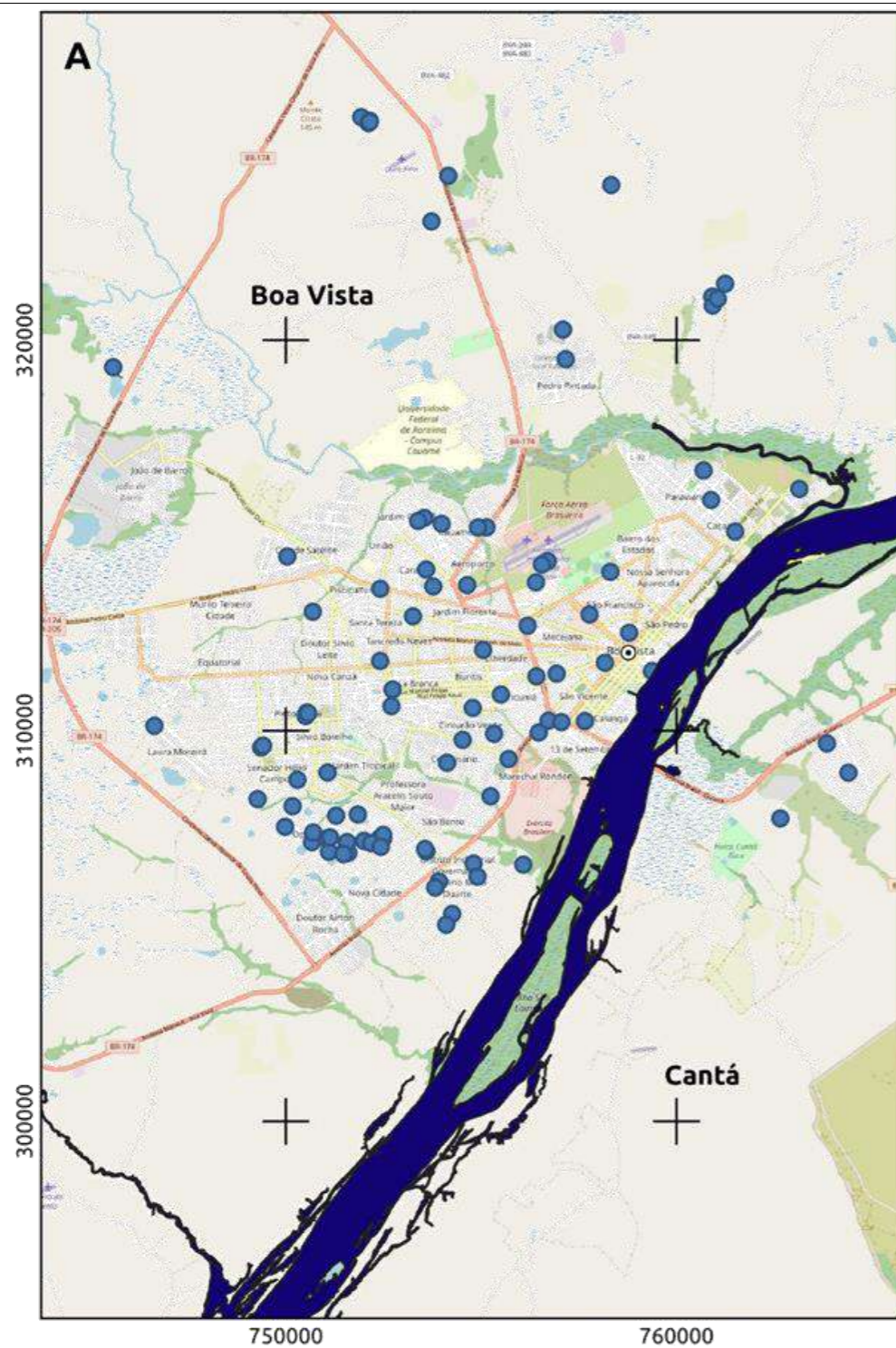
- Savana**
- A. = Aberta
  - G.L. = Gramíneo-lenhosa
  - P. = Parque

## Florestas

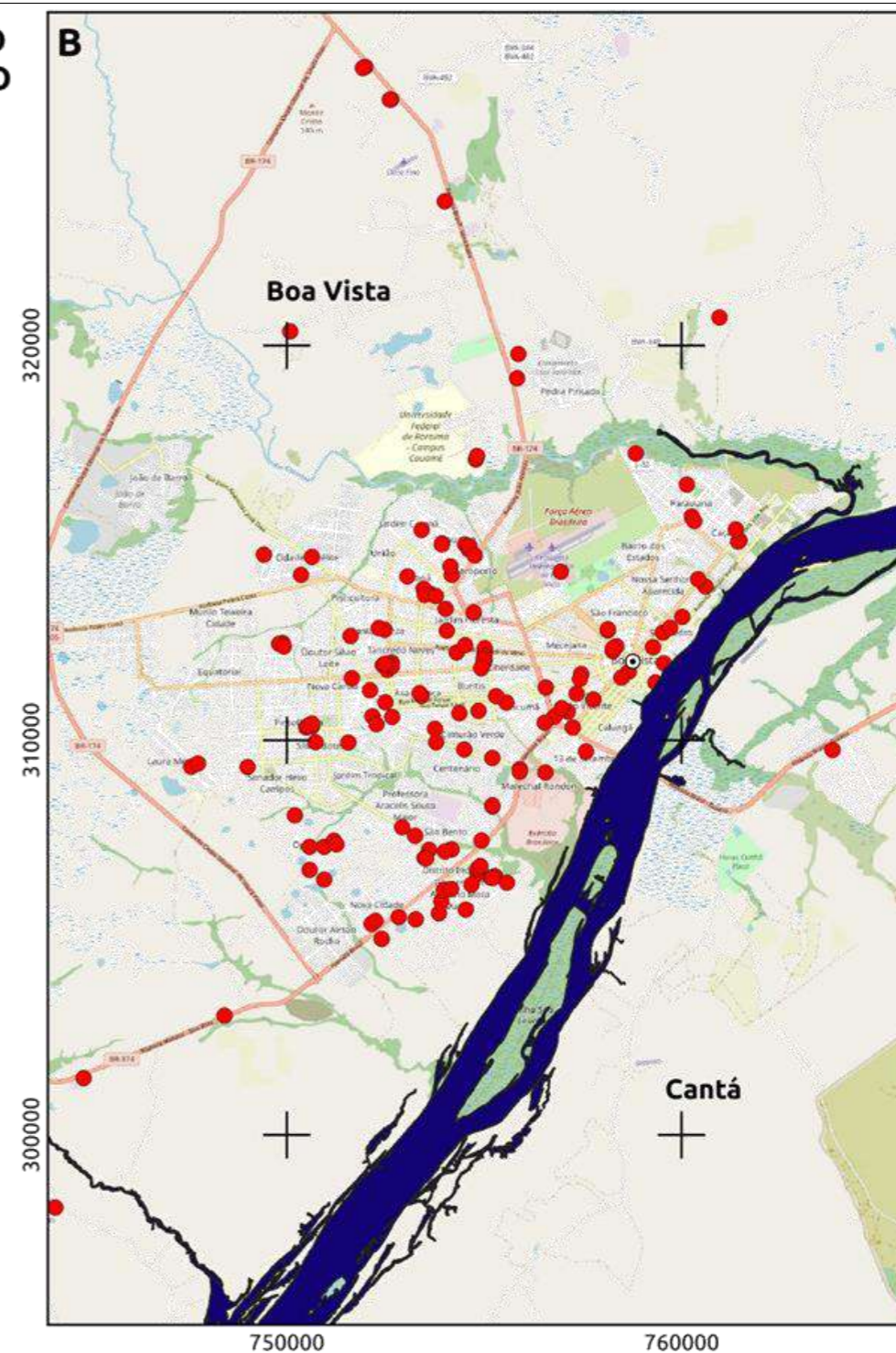
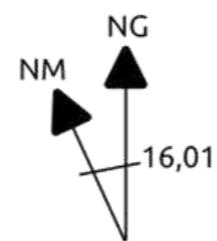
- E.S. = Estacional Semidecidual
- O.A. = Ombrófila Aberta
- O.D. = Ombrófila Densa

Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados  
 IBGE, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas





**MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS NO ENTORNO DE BOA VISTA**



**LEGENDA**

Estação Chuvosa (A)

⊙ Sedes\_Municipais

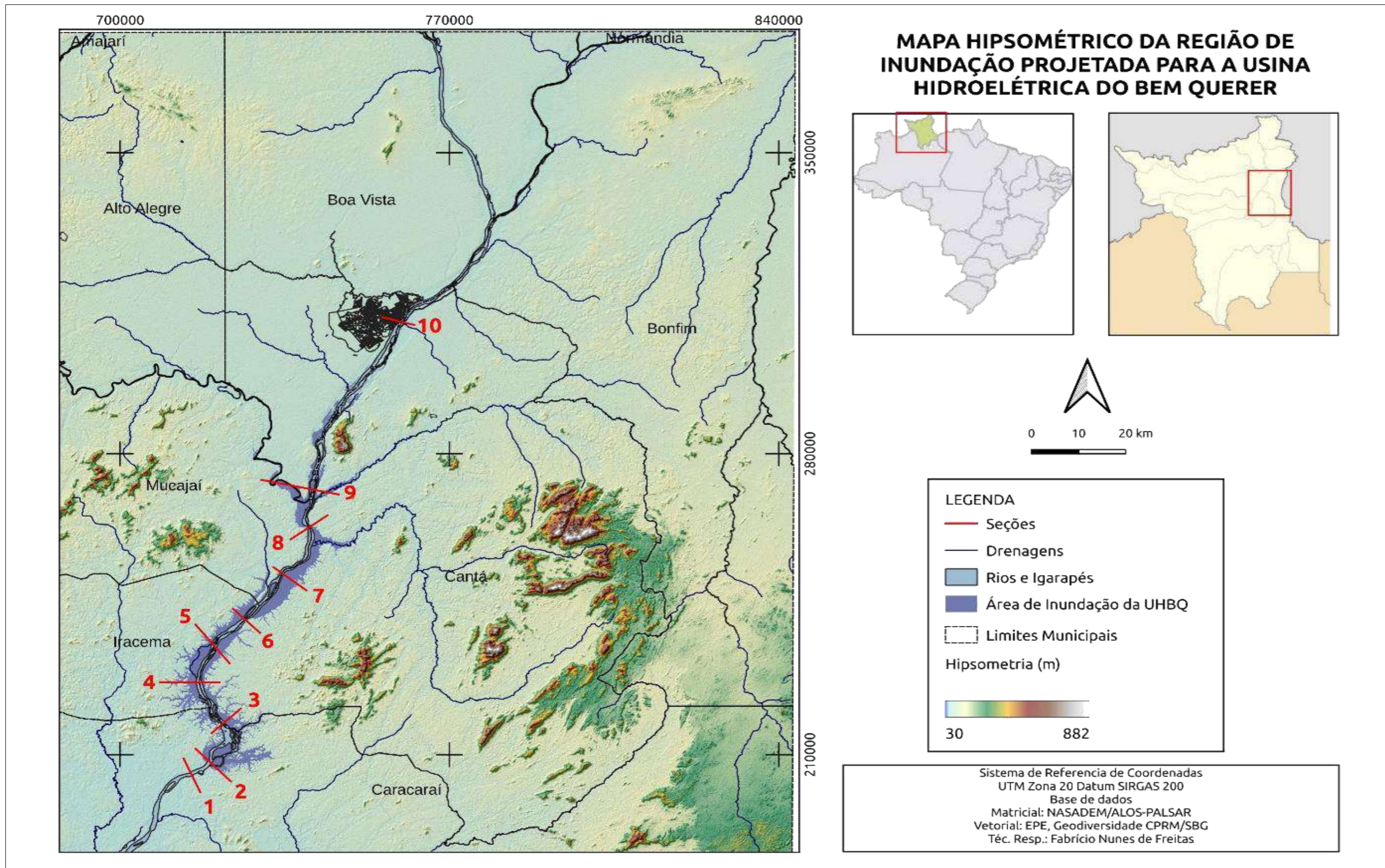
■ Área de Inundação da UHEBQ

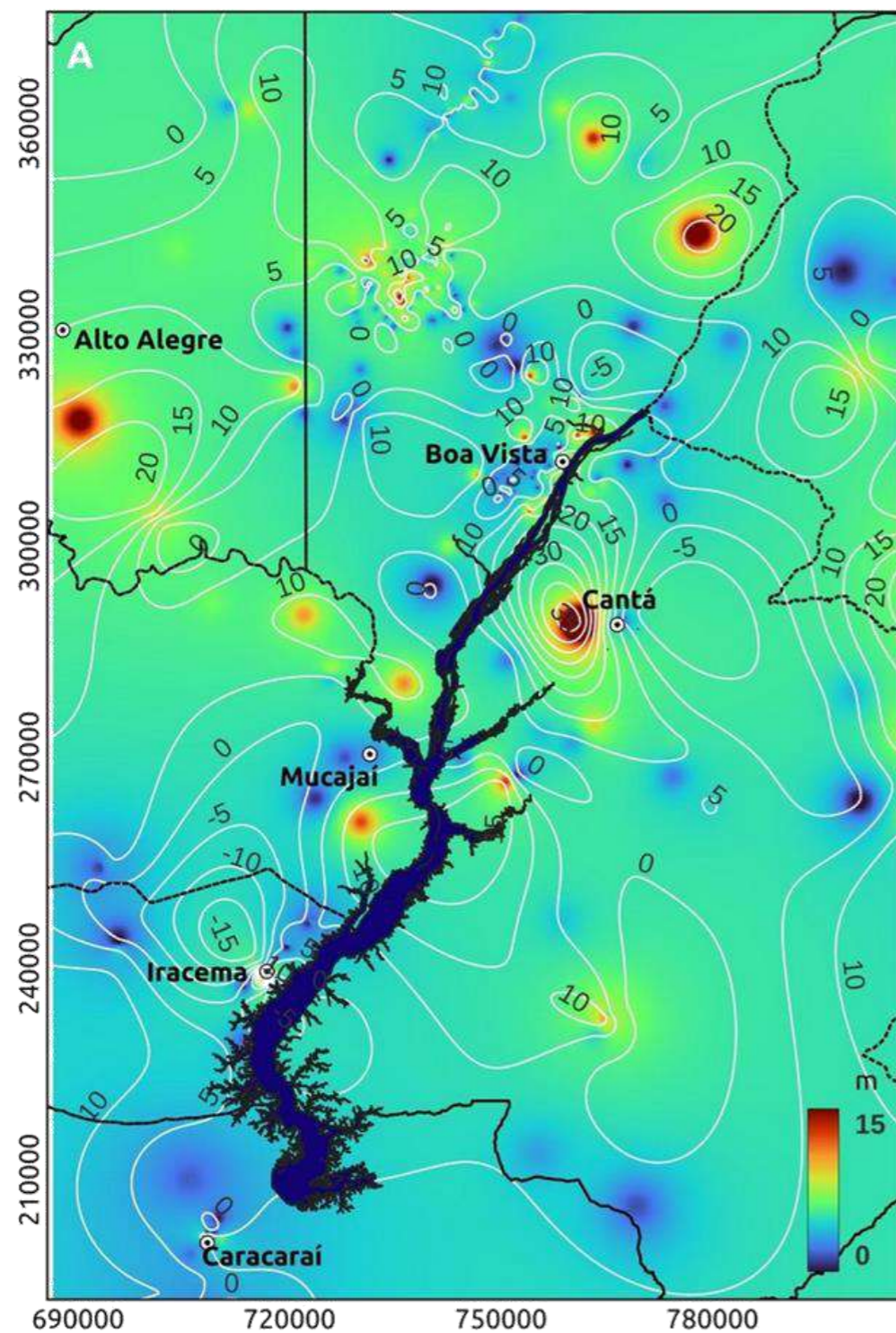
Estação Seca (B)

⋯ Limite Municipais

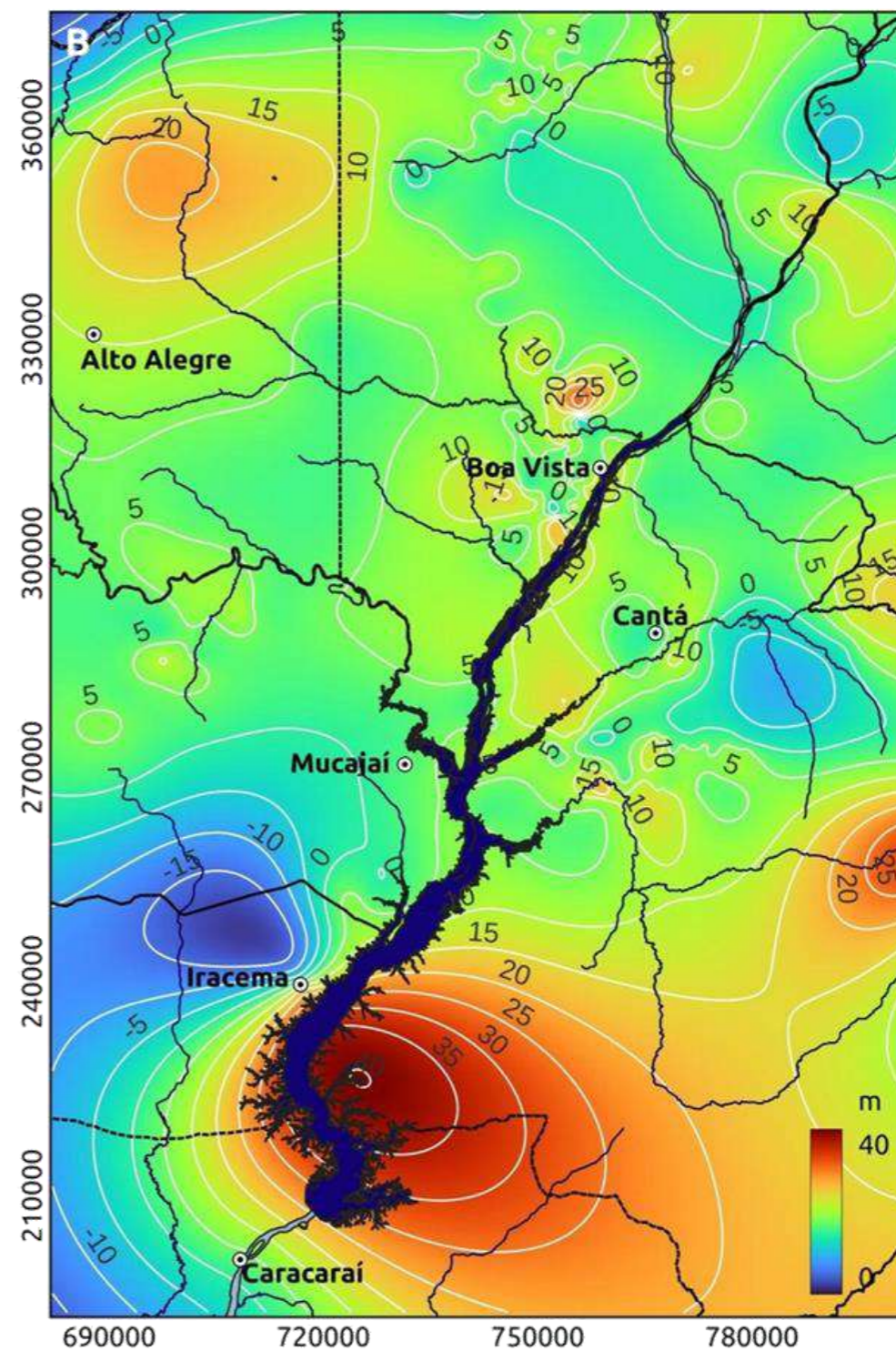
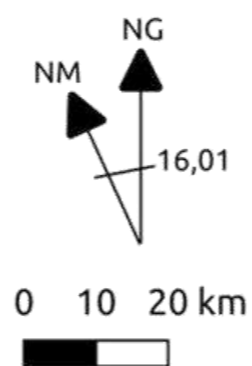
Sistema de Referência de Coordenadas  
UTM 20 N Datum SIRGAS 200  
Base Vetorial de Dados: SIAGAS, EPE  
Base Matricial: OpenMap  
Autor: Fabrício Nunes de Freitas







**MAPAS DE PROFUNDIDADE DE NÍVEL ESTÁTICO**

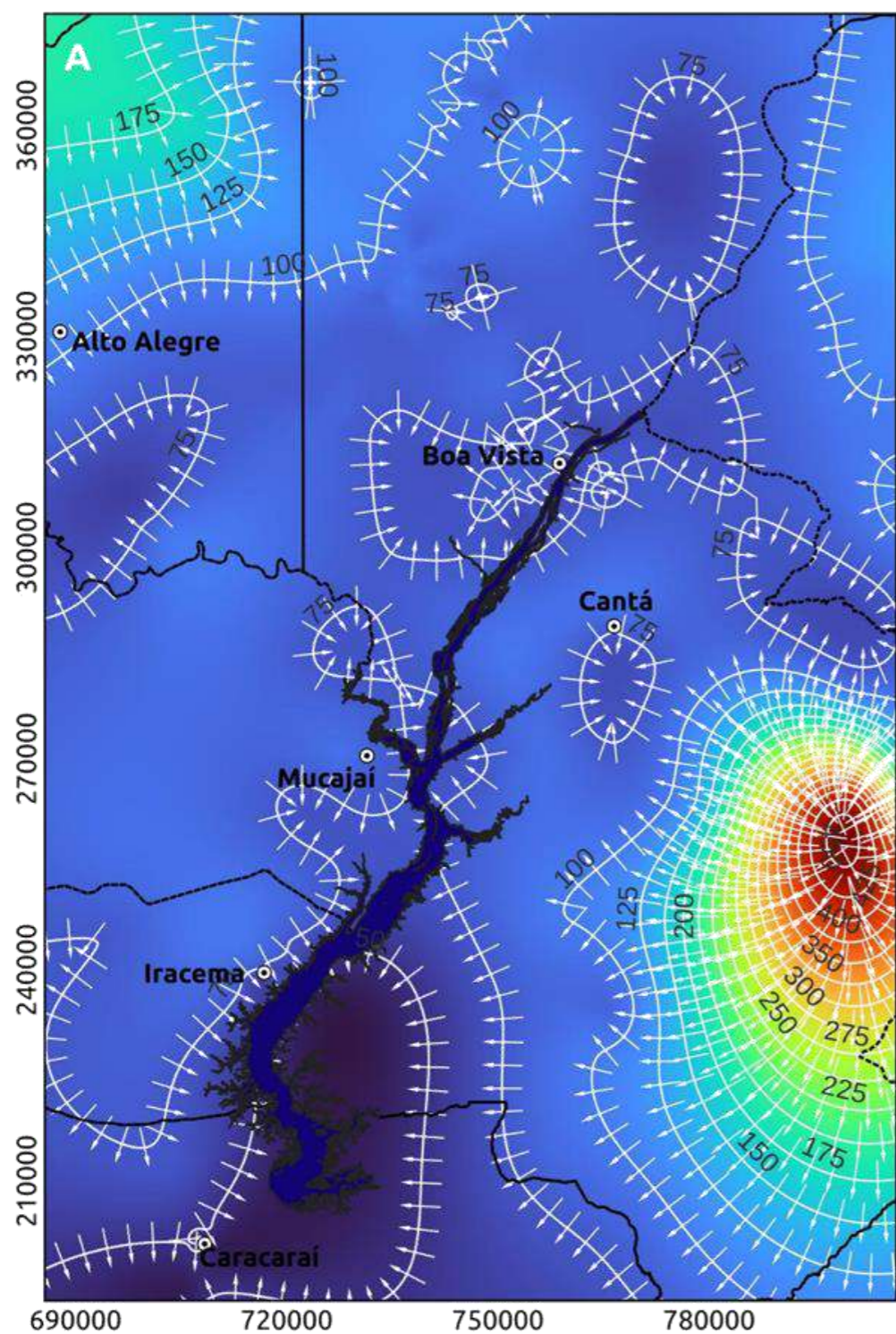


**LEGENDA**

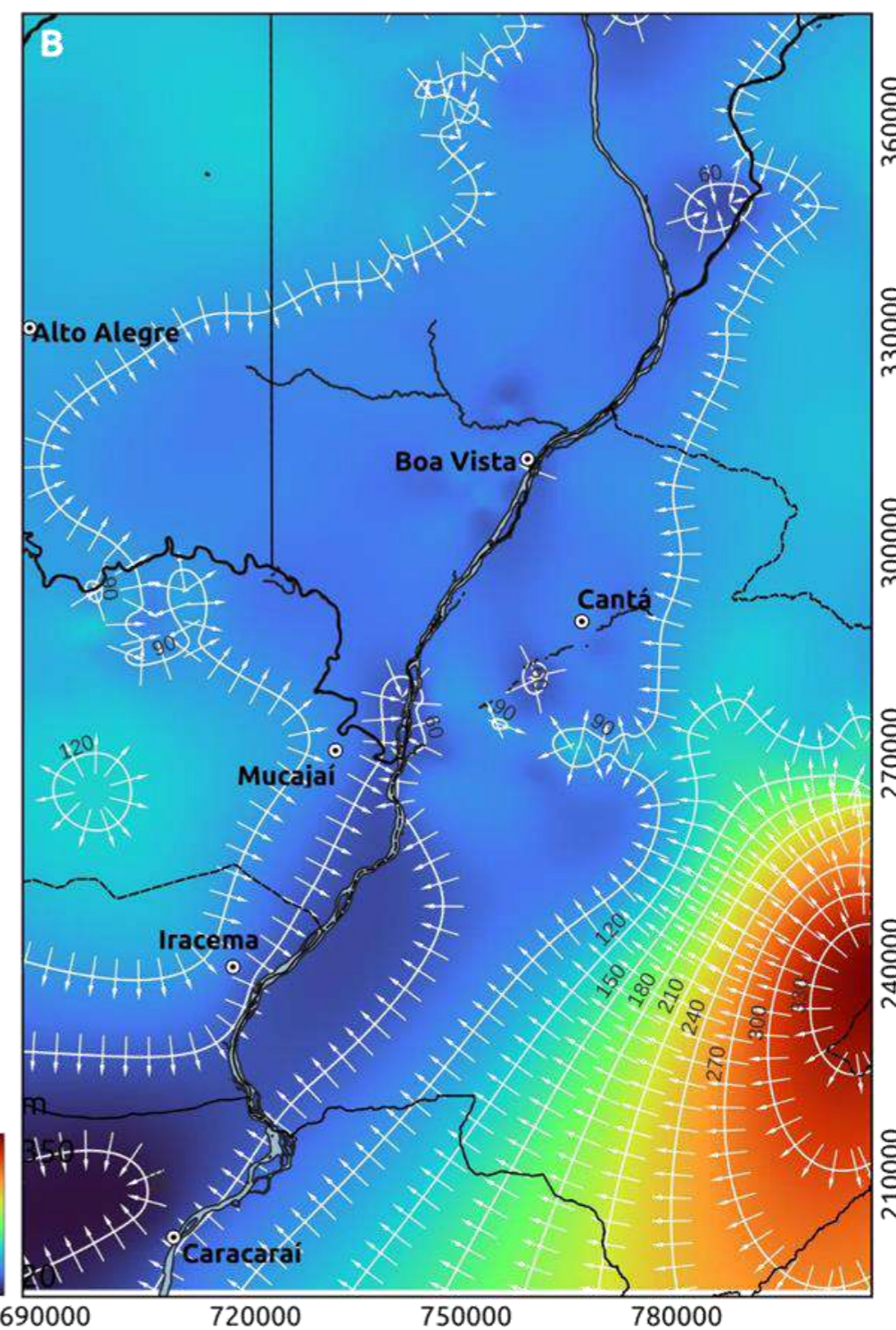
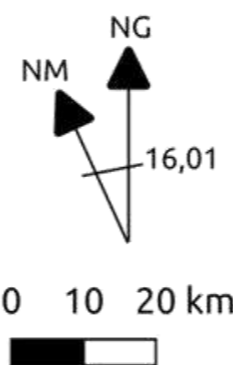
- Sedes\_Municipais
- ▭ Limite Municipais

- Área de Inundação da UHEBQ

Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados: SIAGAS, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas



**MAPAS POTENCIOMÉTRICOS (COTAS DE NE)**



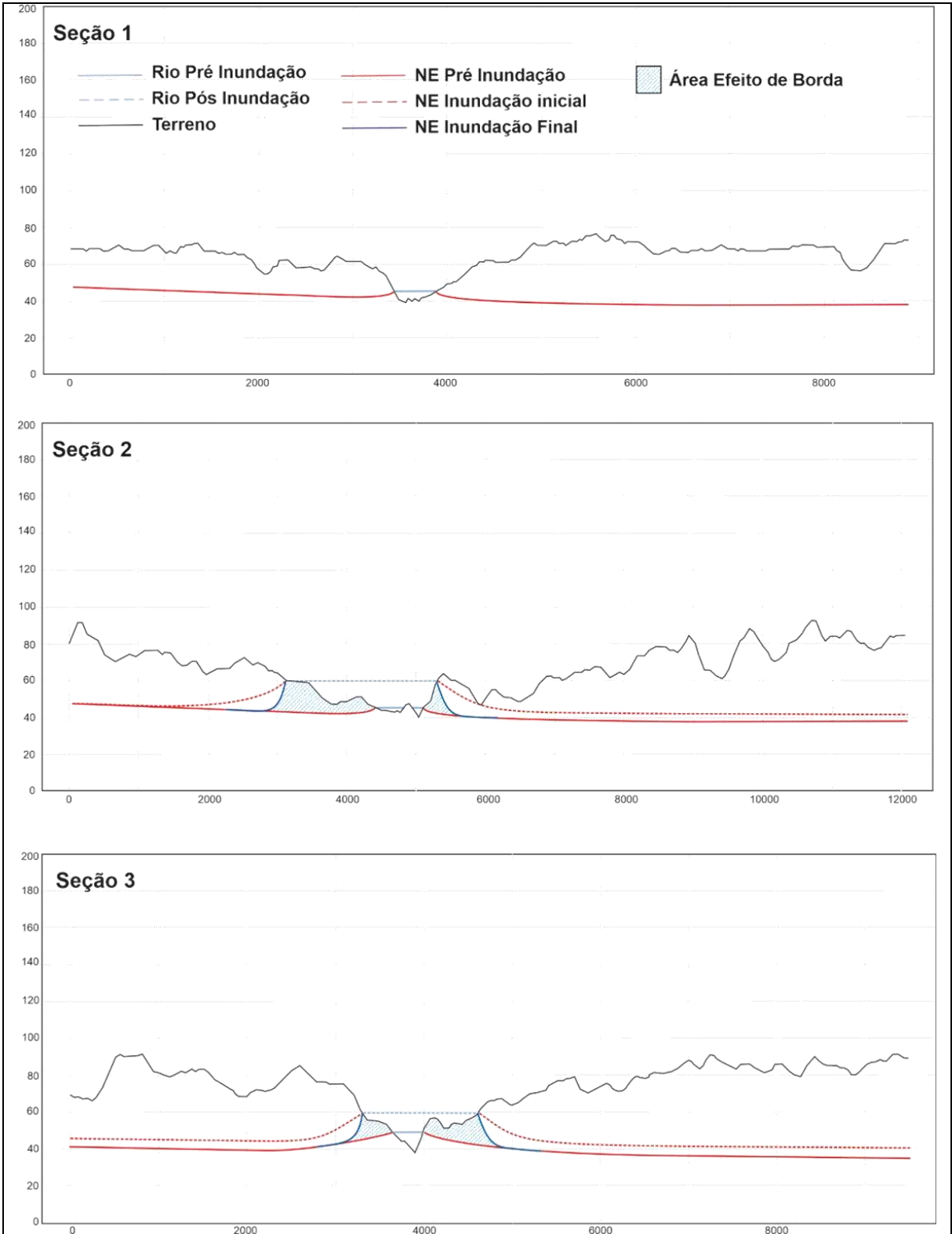
**LEGENDA**

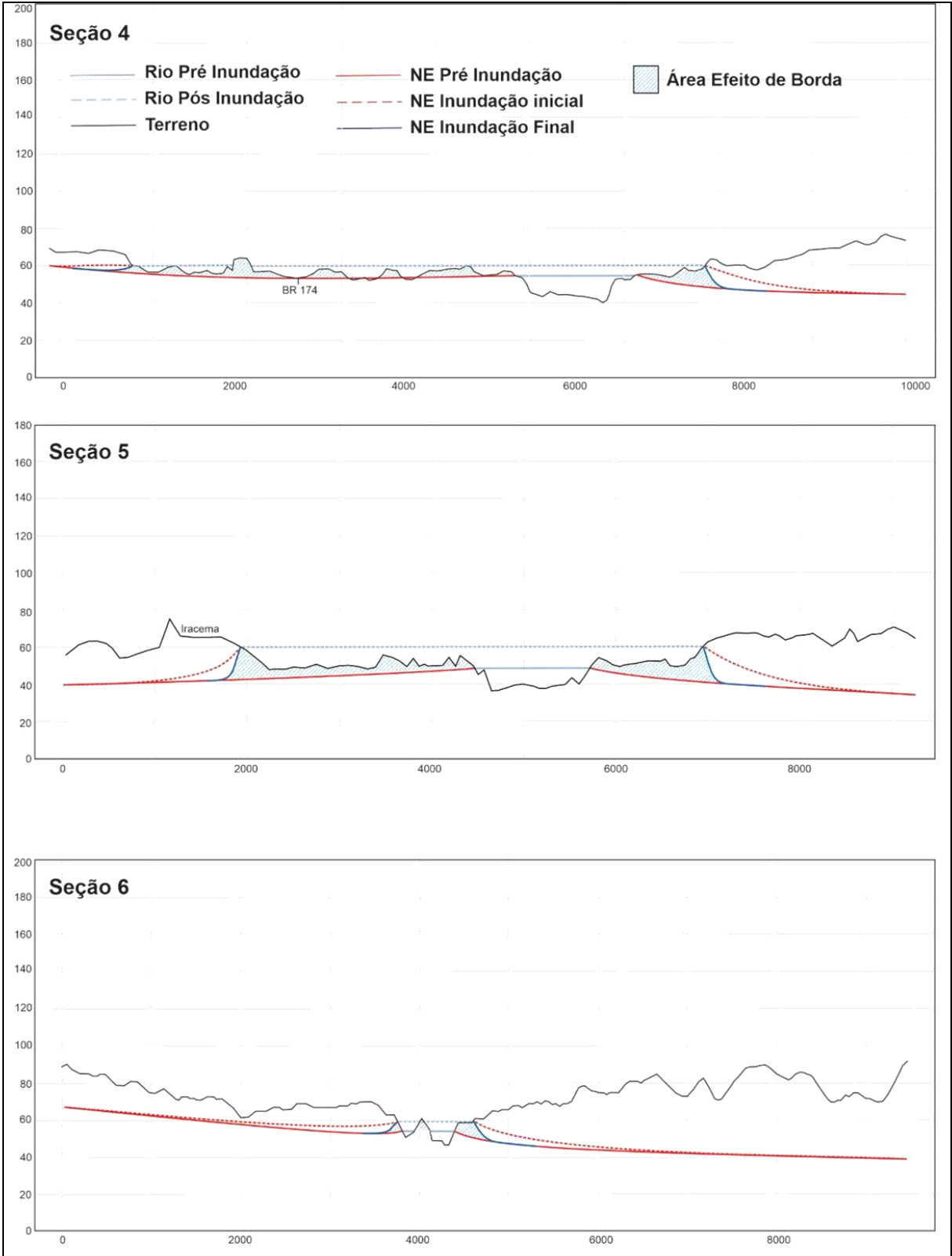
○ Sedes\_Municipais

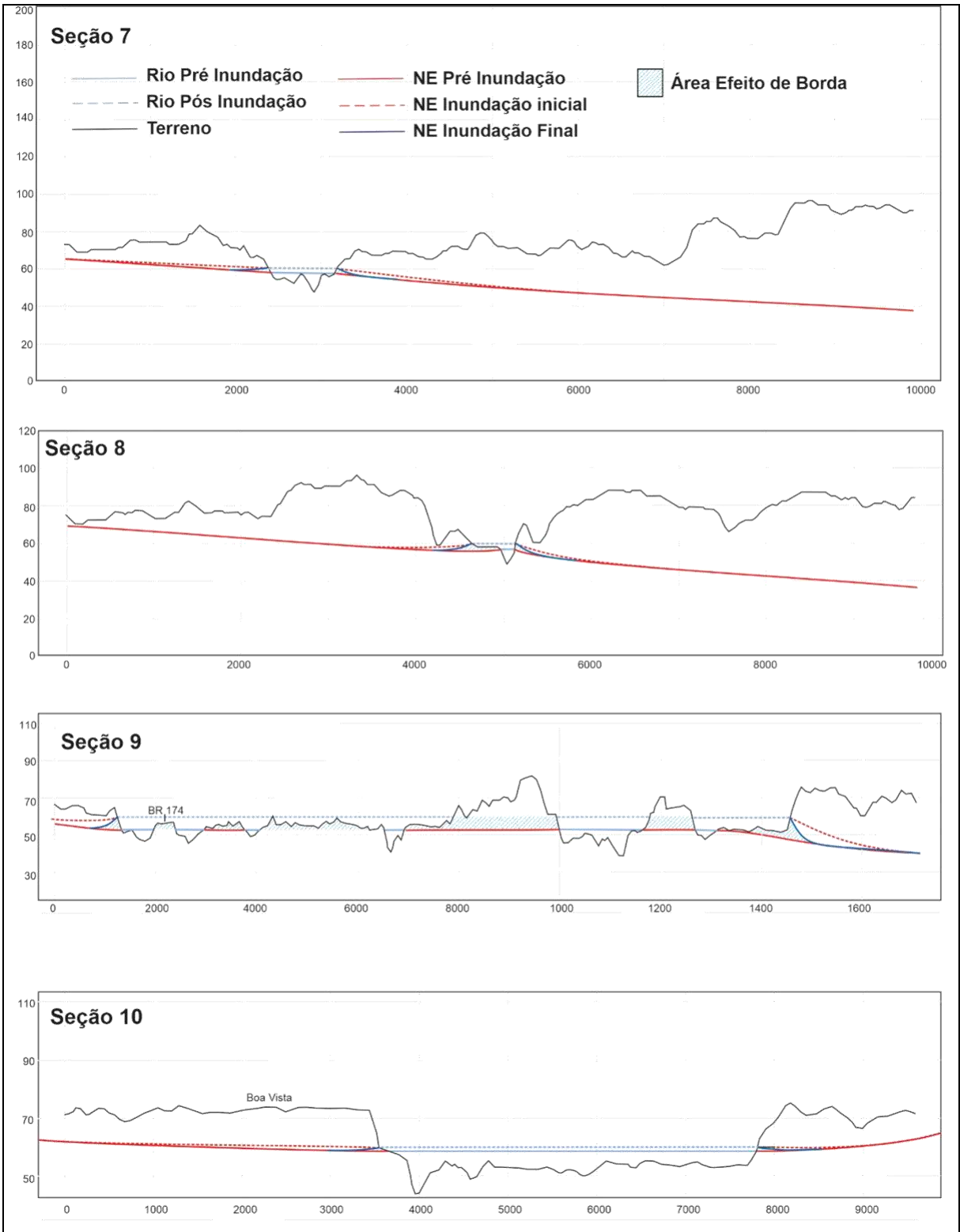
⋯ Limite Municipais

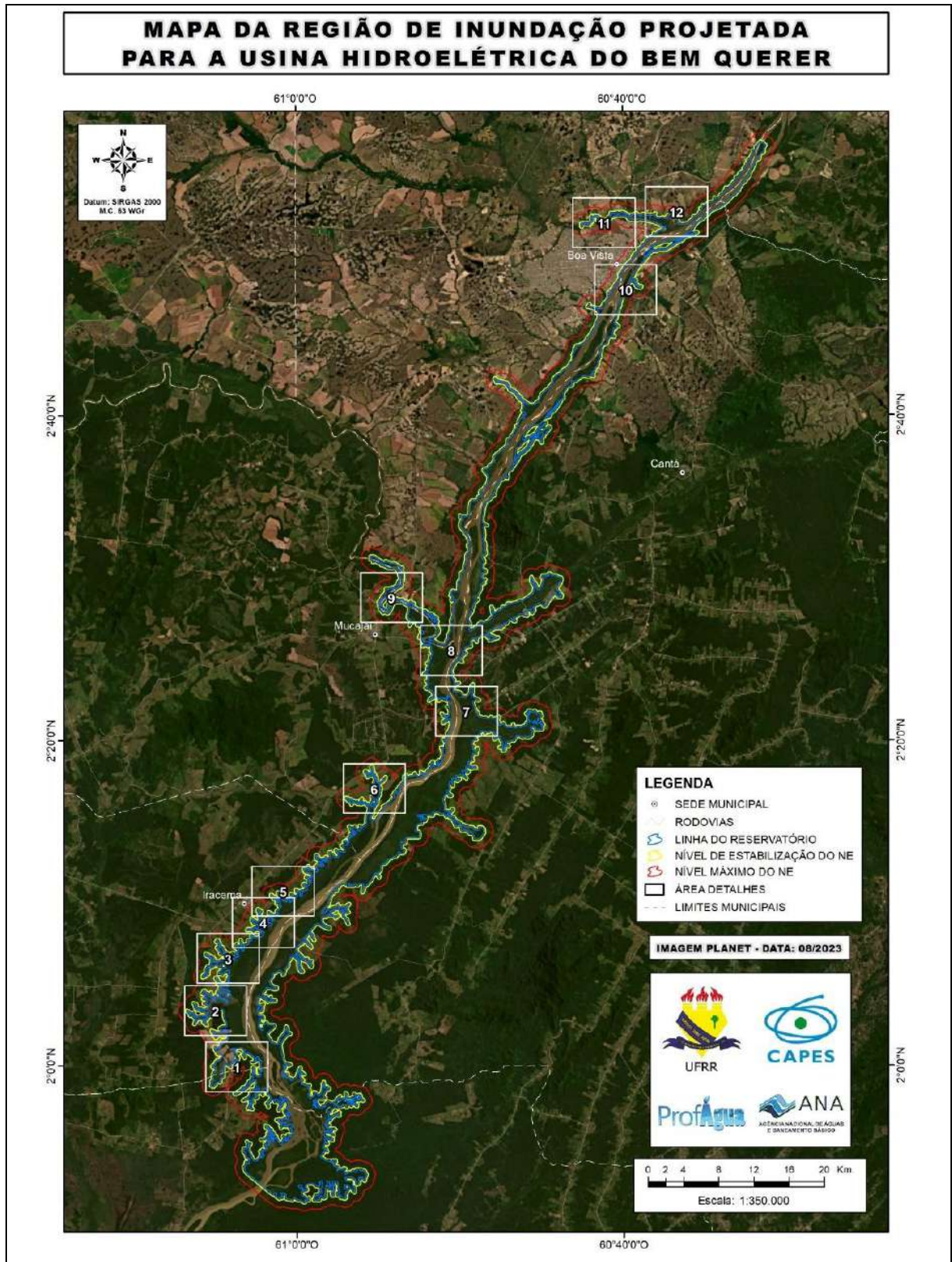
■ Área de inundação da UHEBQ

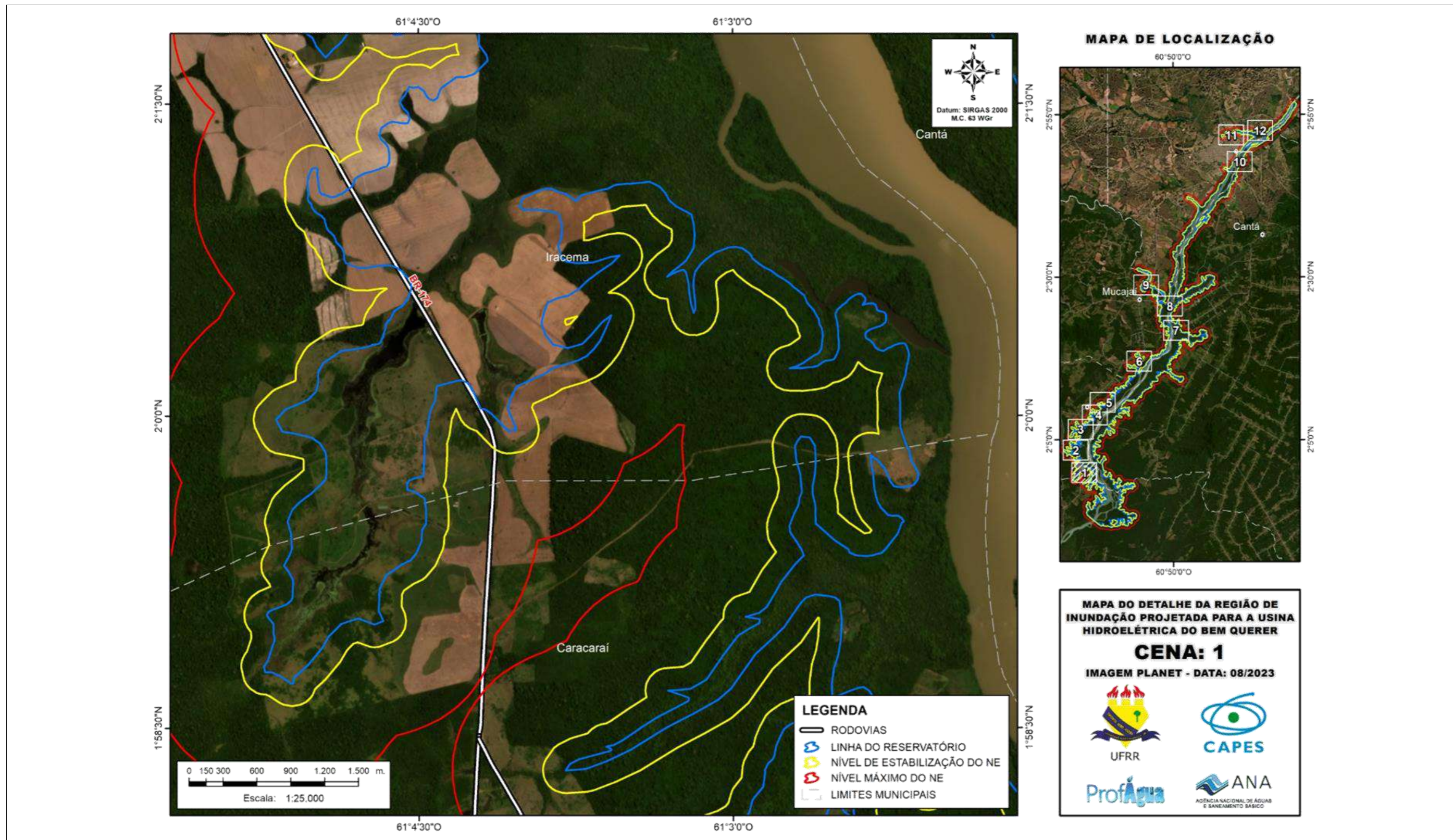
Sistema de Referência de Coordenadas  
 UTM 20 N Datum SIRGAS 2000  
 Base Vetorial de Dados: SIAGAS, EPE  
 Autor: Fabrício Nunes de Freitas



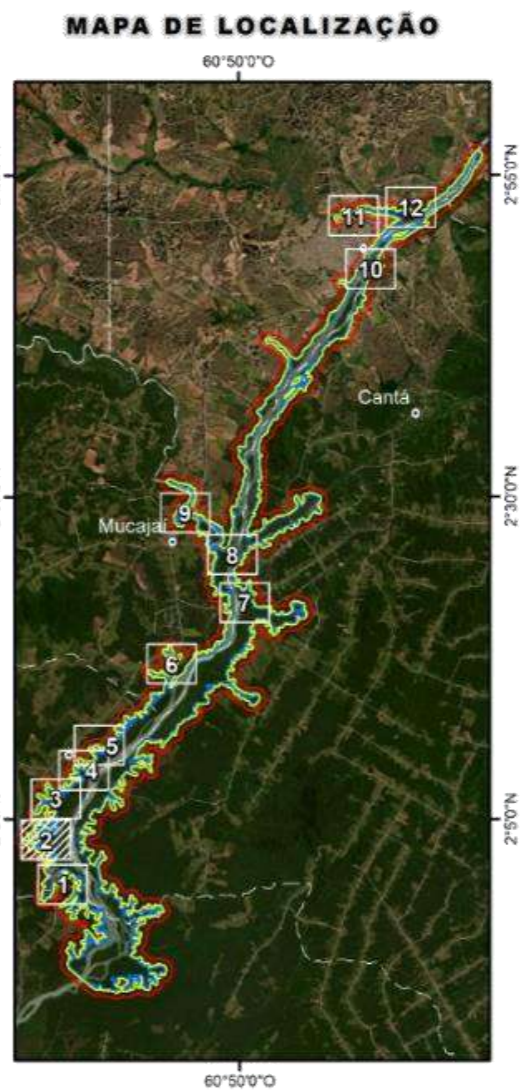
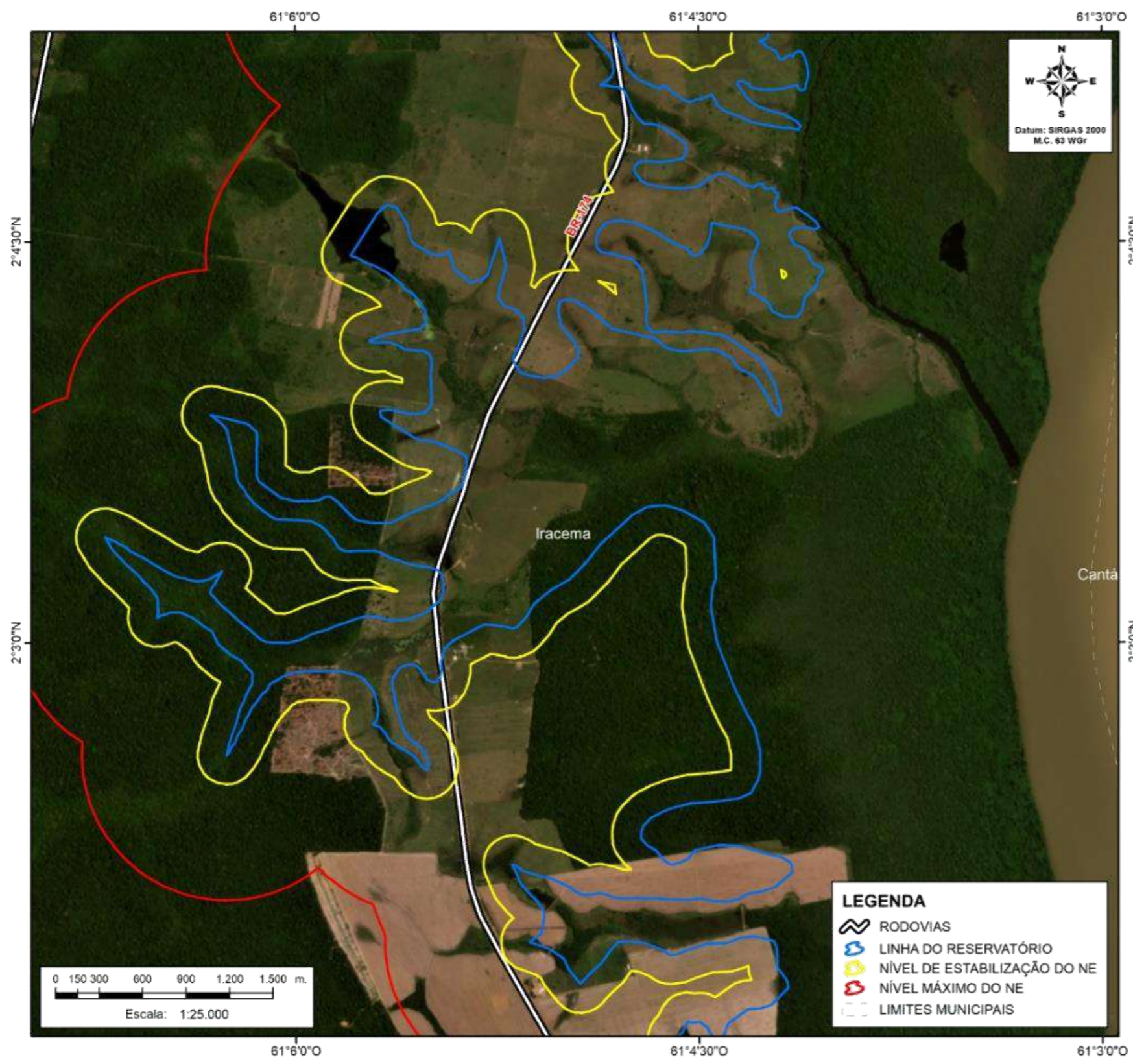










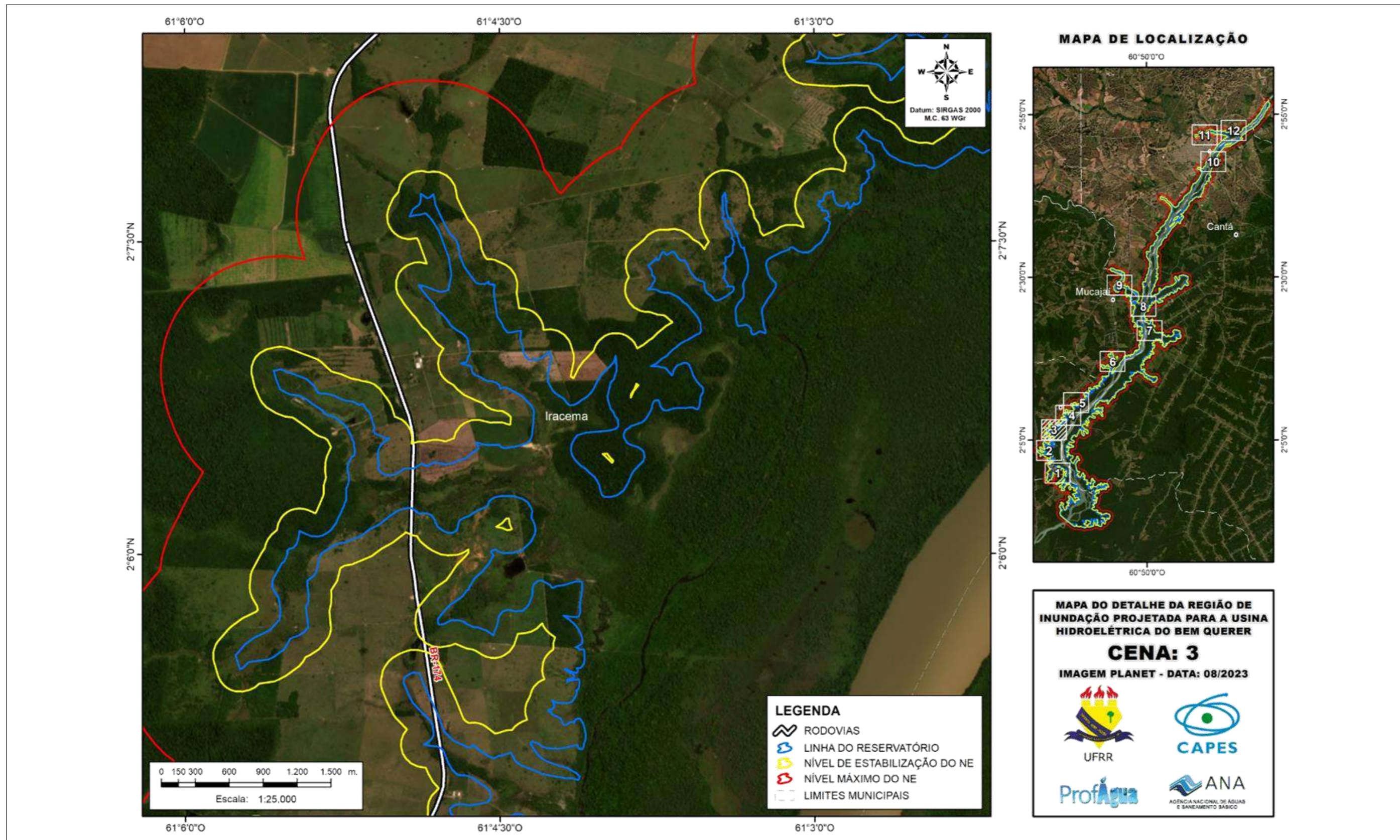


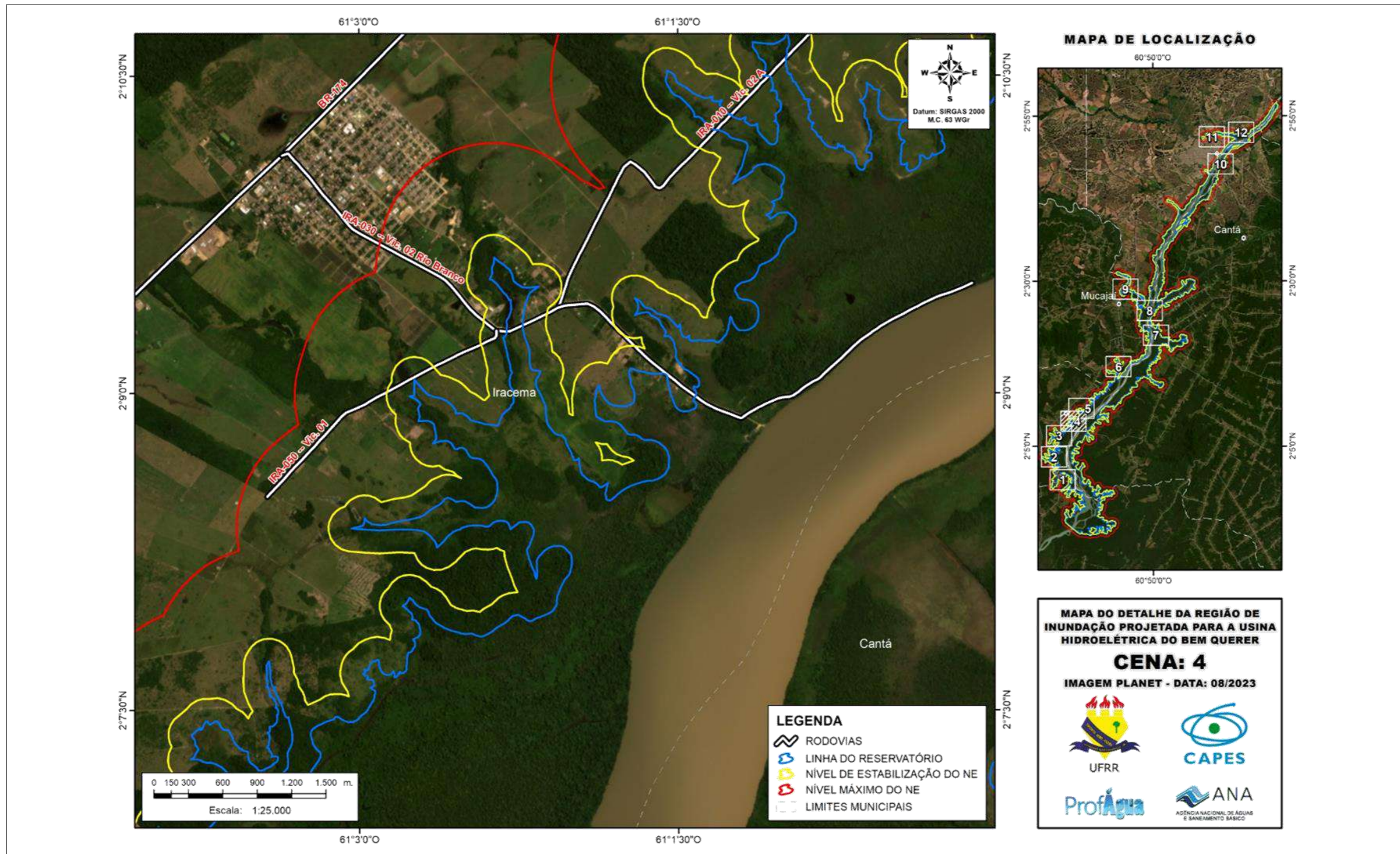
**MAPA DO DETALHE DA REGIÃO DE INUNDAÇÃO PROJETADA PARA A USINA HIDROELÉTRICA DO BEM QUERER**

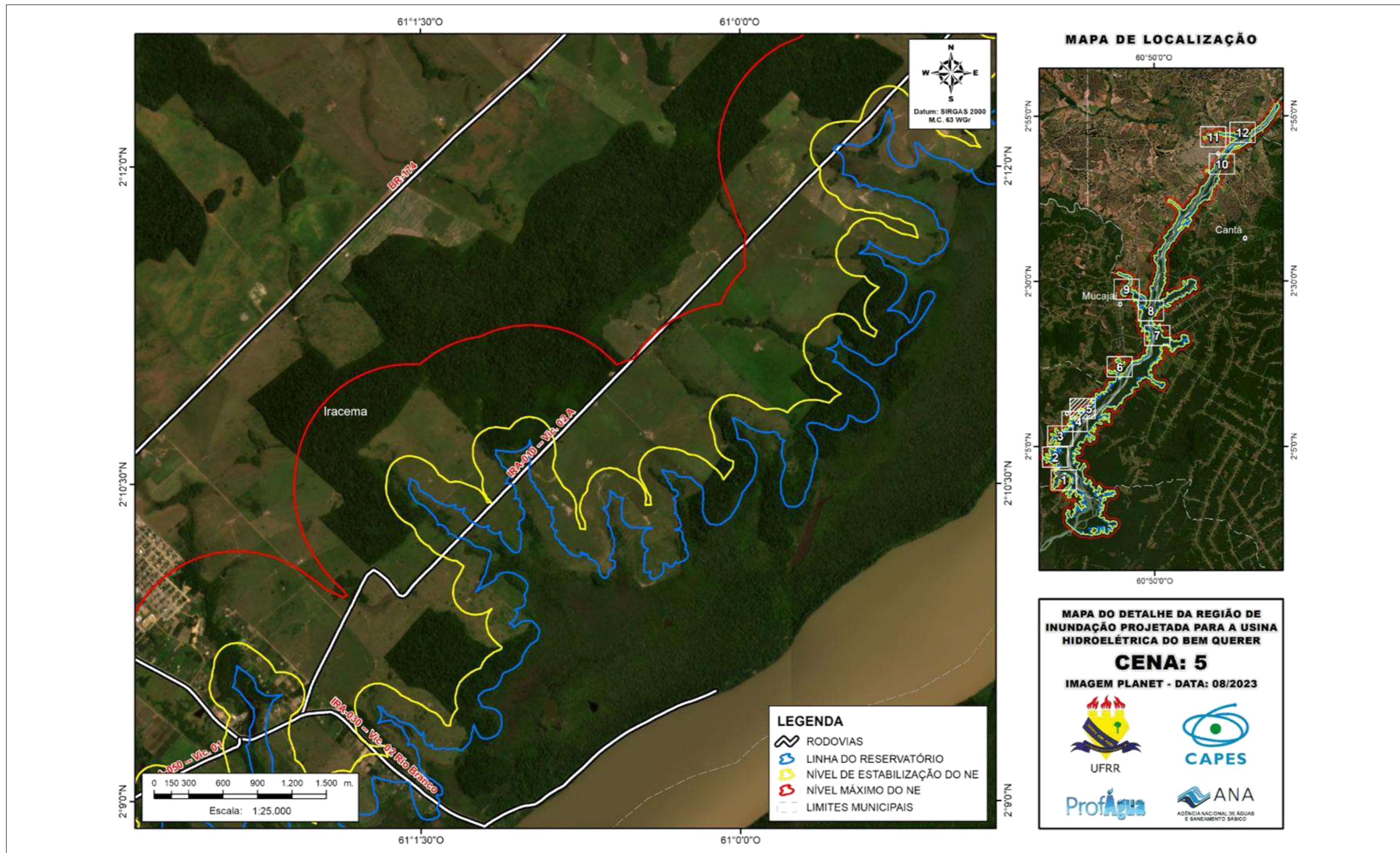
**CENA: 2**

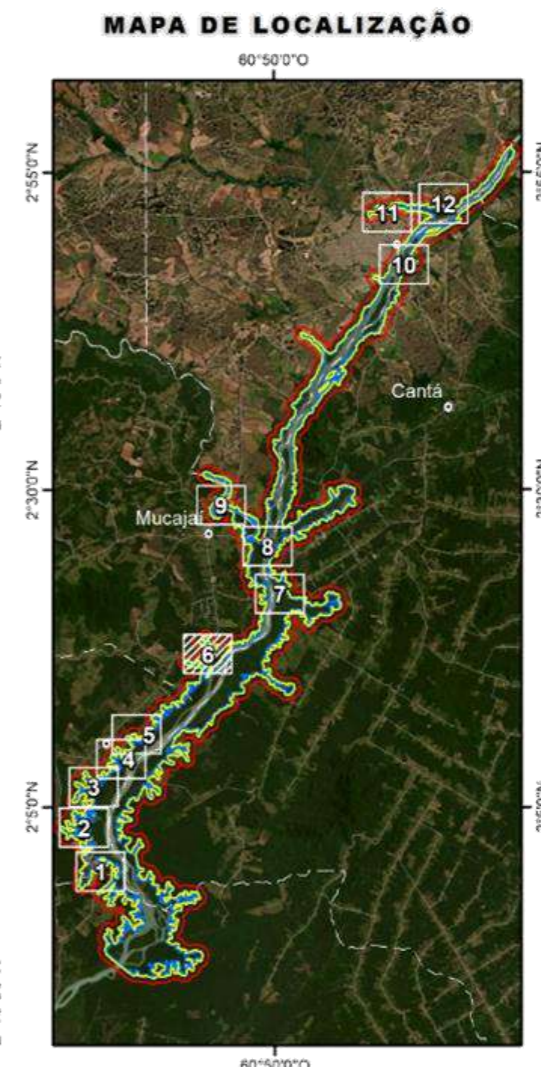
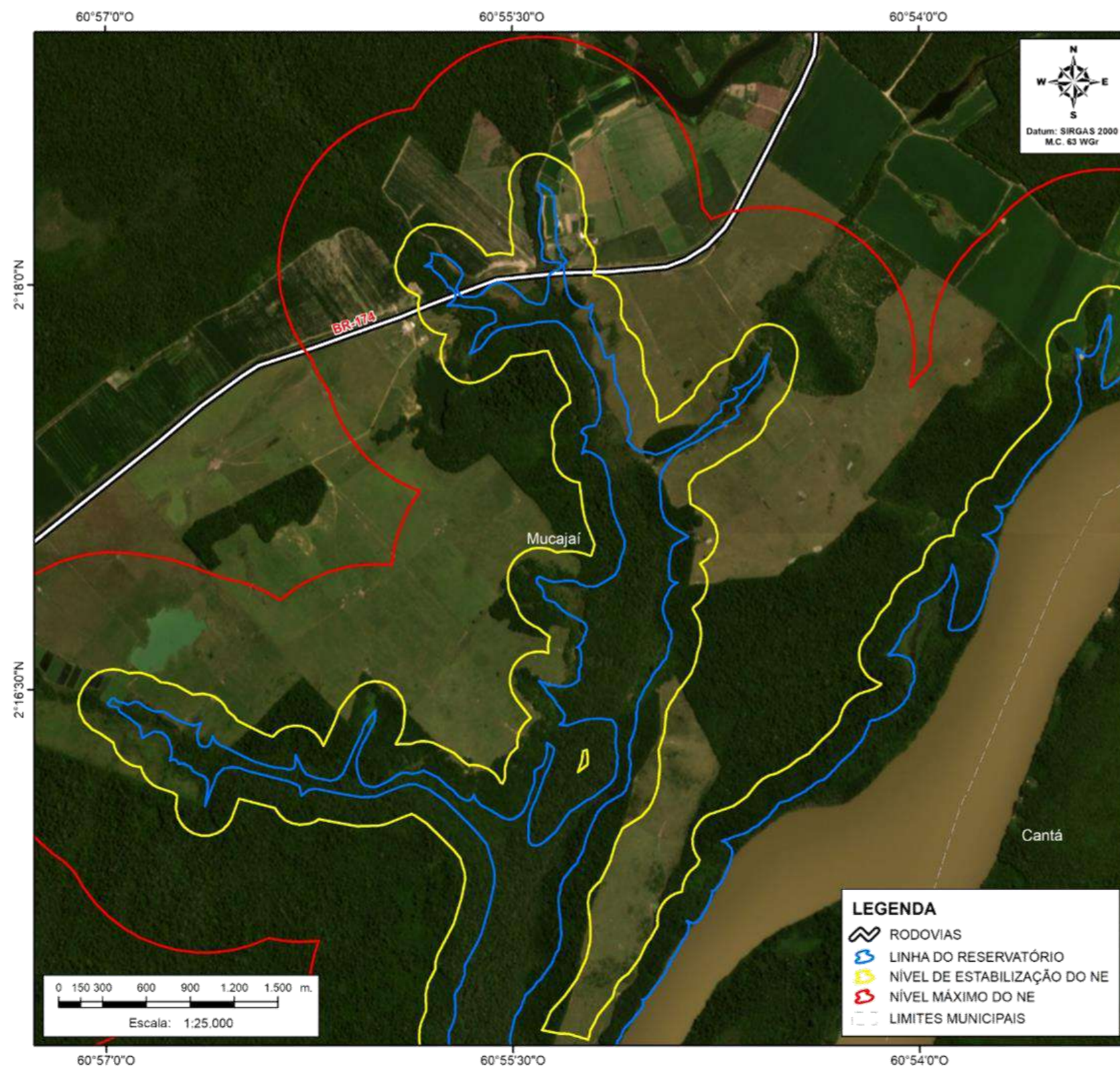
IMAGEM PLANET - DATA: 08/2023

- LEGENDA**
- RODOVIAS
  - LINHA DO RESERVATÓRIO
  - NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO NE
  - NÍVEL MÁXIMO DO NE
  - LIMITES MUNICIPAIS





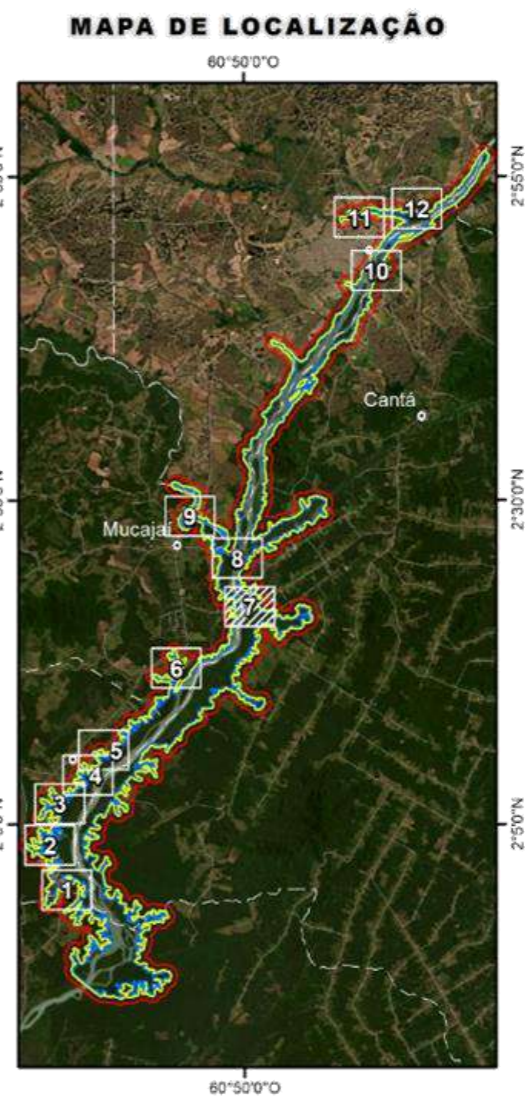
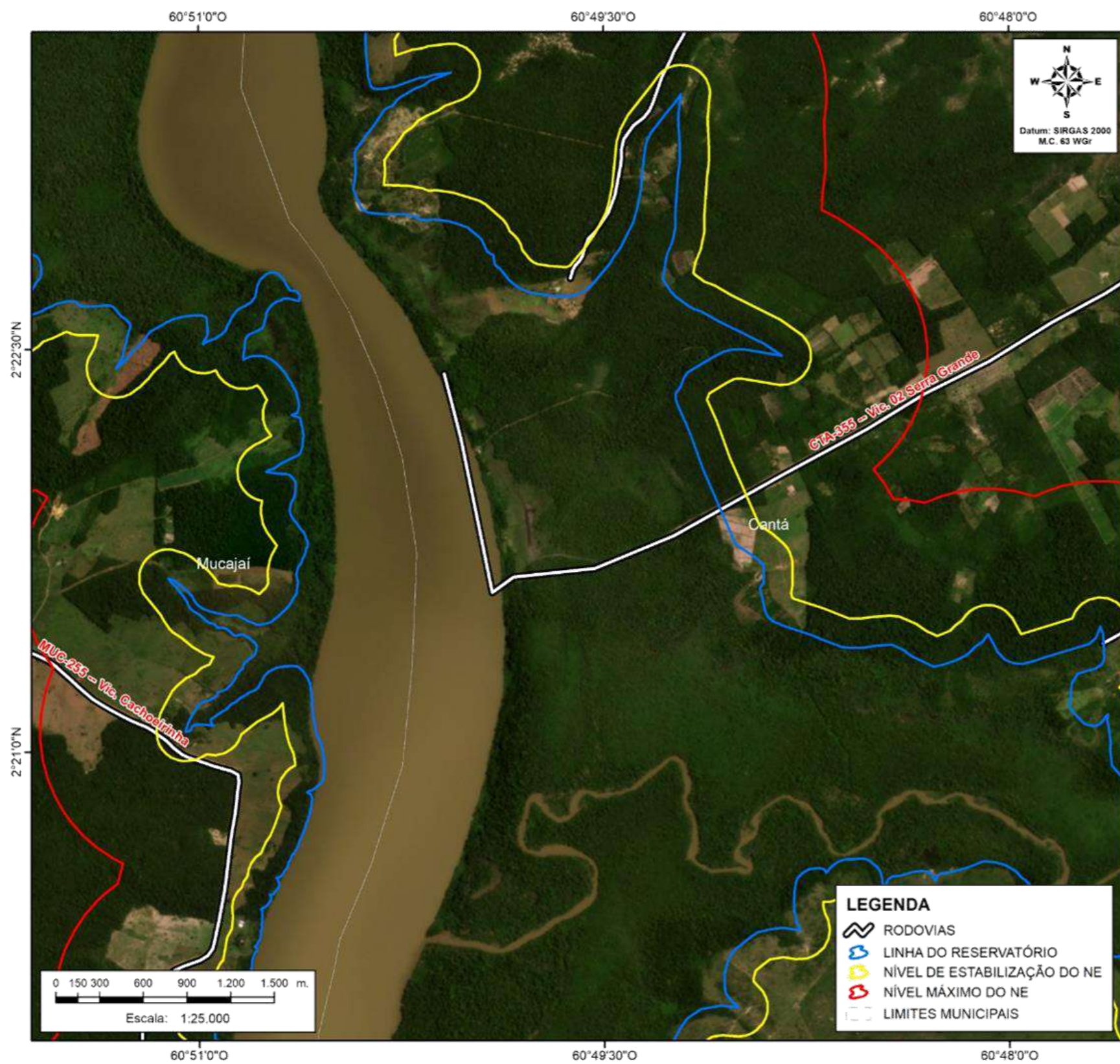




**MAPA DO DETALHE DA REGIÃO DE INUNDAÇÃO PROJETADA PARA A USINA HIDROELÉTRICA DO BEM QUERER**

**CENA: 6**

IMAGEM PLANET - DATA: 08/2023



**MAPA DO DETALHE DA REGIÃO DE INUNDAÇÃO PROJETADA PARA A USINA HIDROELÉTRICA DO BEM QUERER**

**CENA: 7**

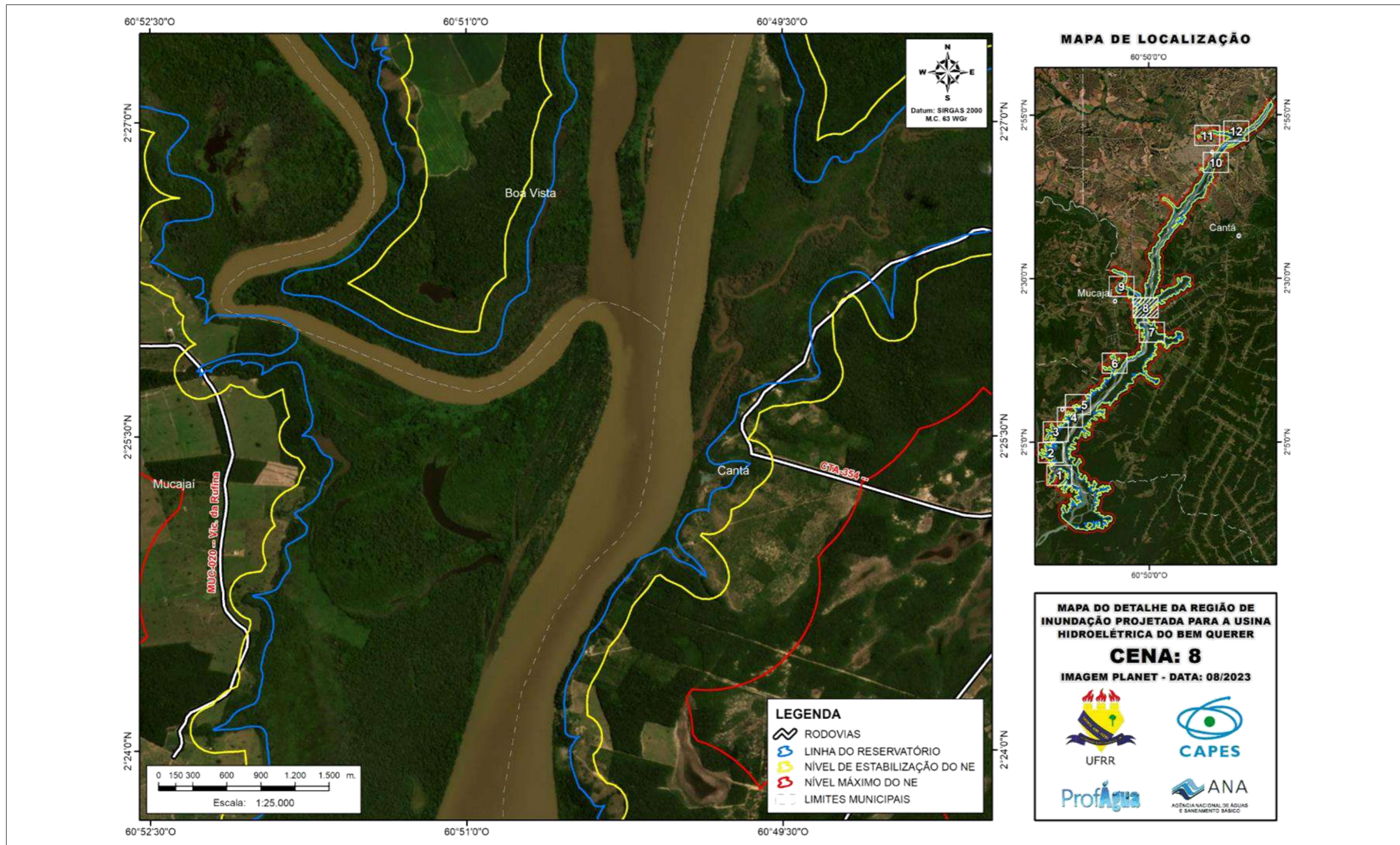
IMAGEM PLANET - DATA: 08/2023

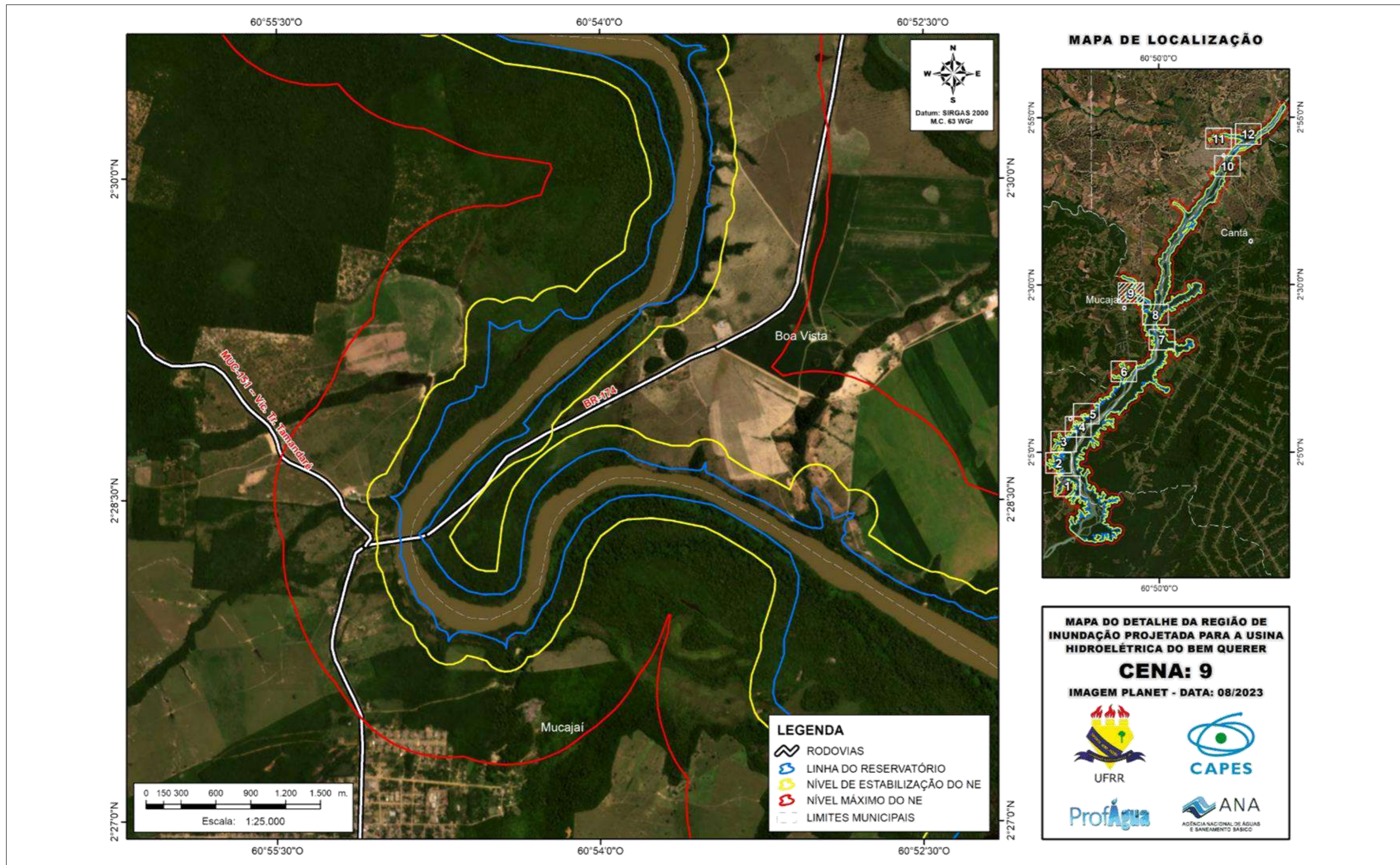
UFRR

CAPES

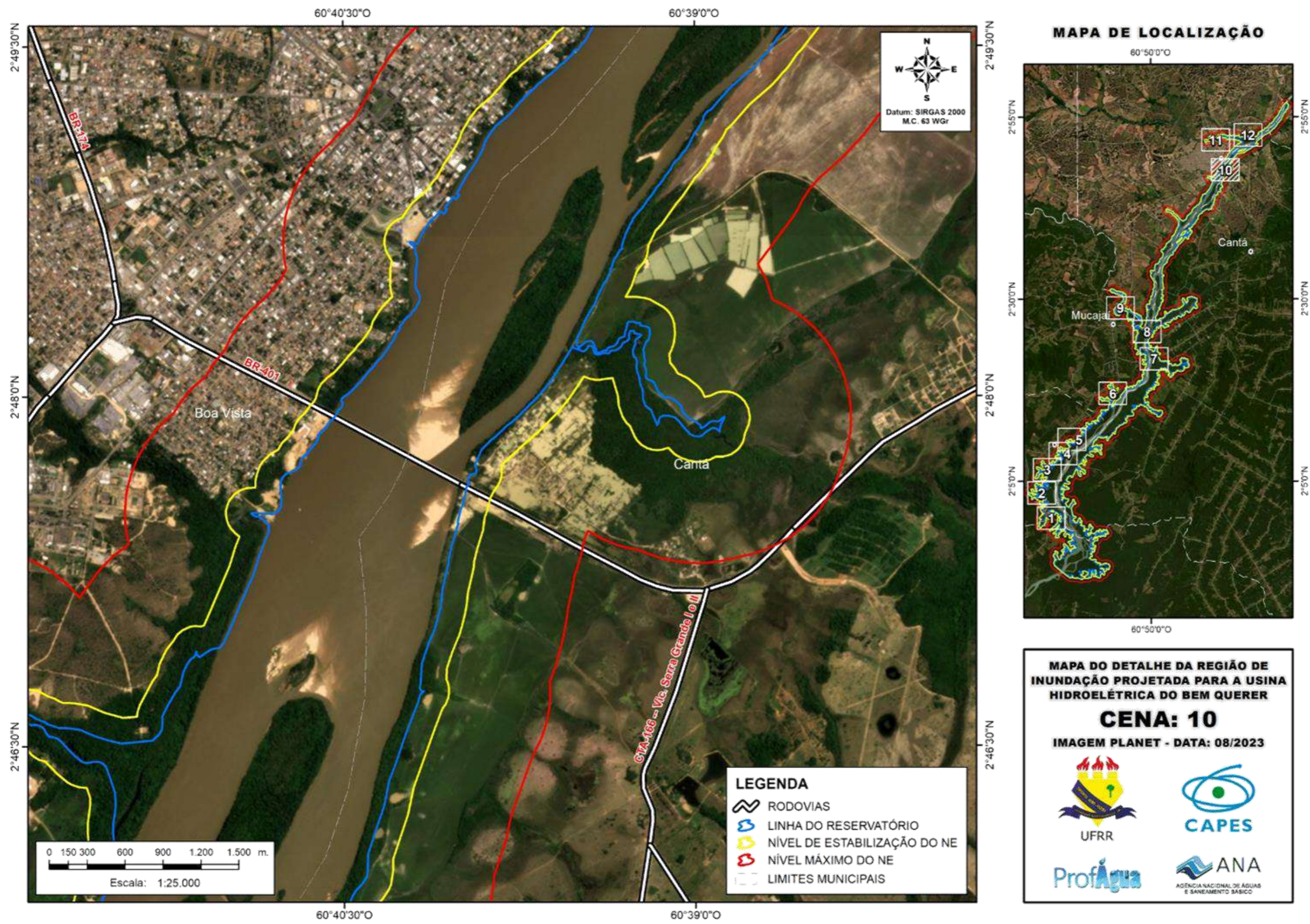
ProfÁgua

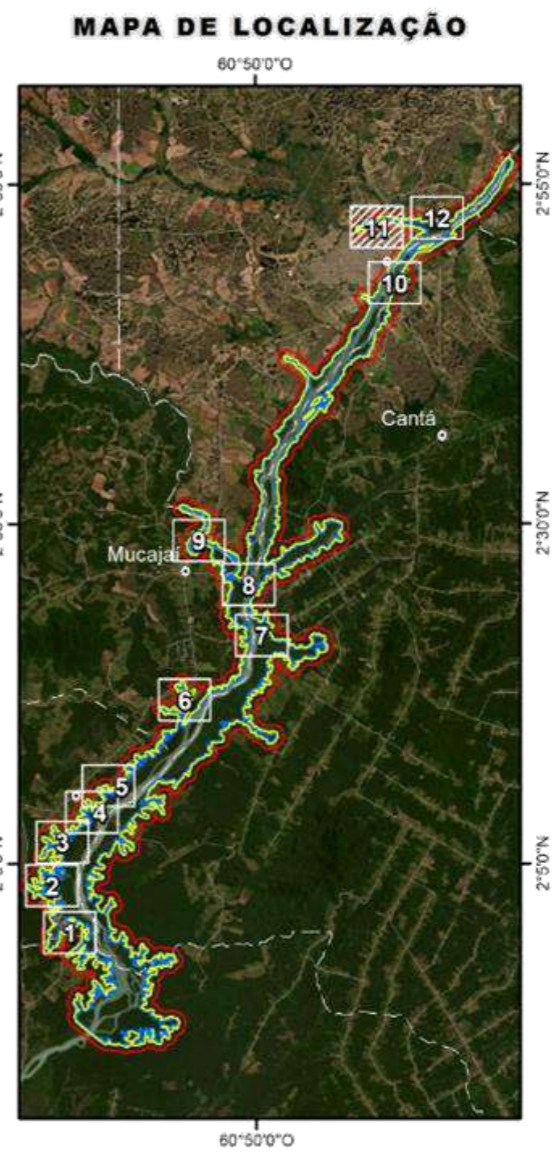
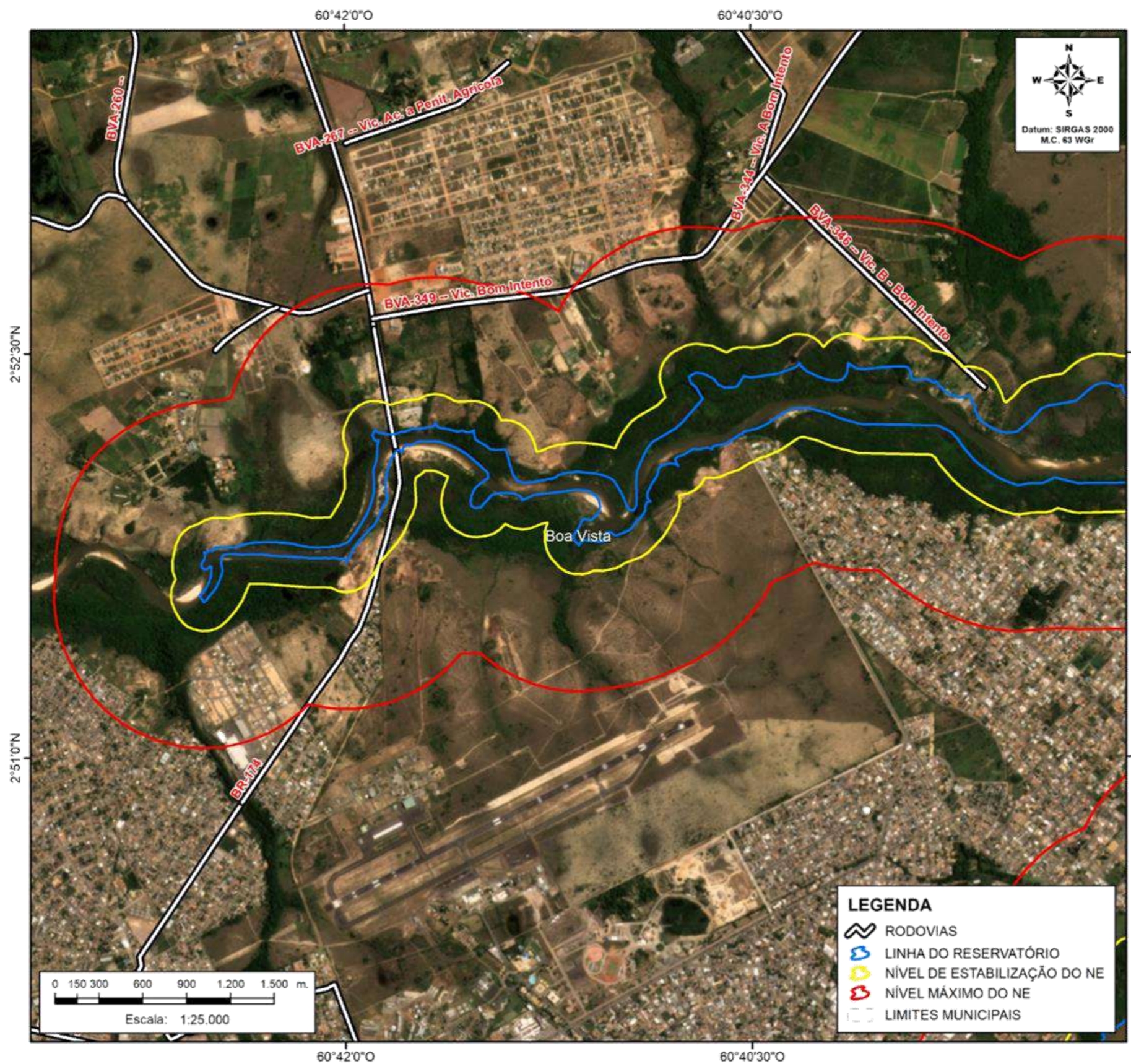
ANA  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO







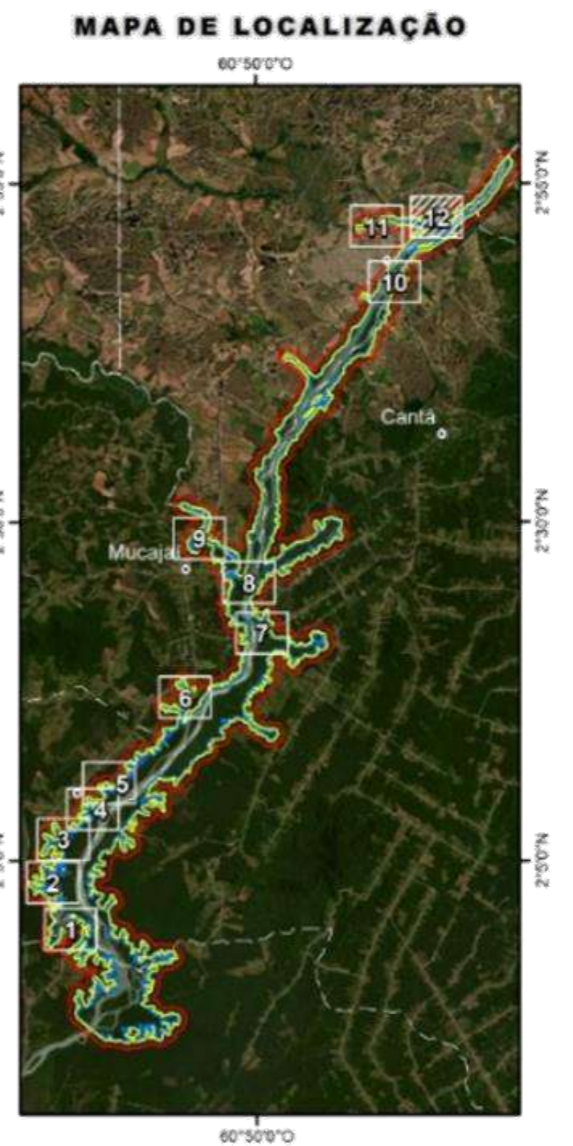
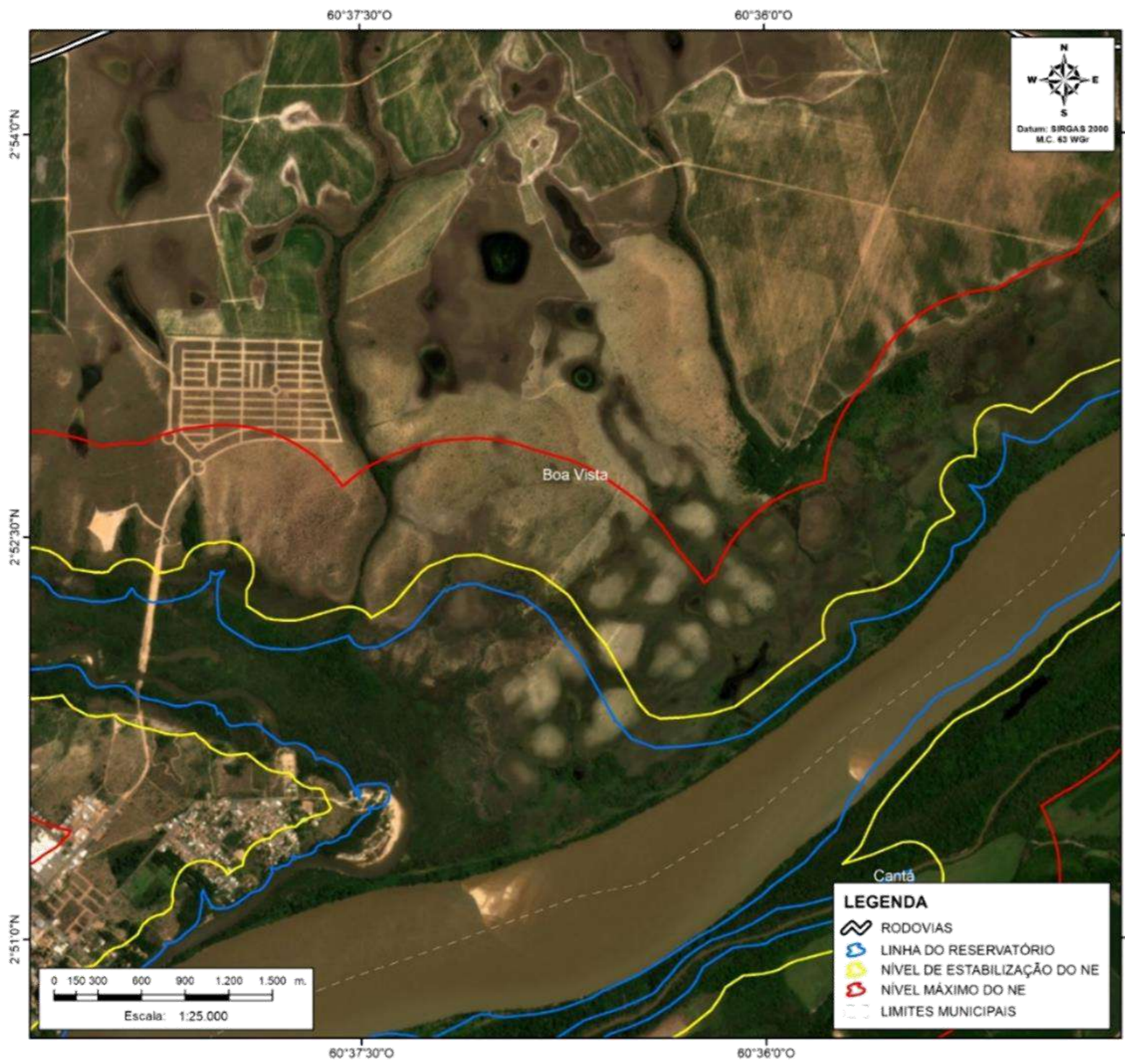




**MAPA DO DETALHE DA REGIÃO DE INUNDAÇÃO PROJETADA PARA A USINA HIDROELÉTRICA DO BEM QUERER**

**CENA: 11**

IMAGEM PLANET - DATA: 08/2023



**MAPA DO DETALHE DA REGIÃO DE INUNDAÇÃO PROJETADA PARA A USINA HIDROELÉTRICA DO BEM QUERER**

**CENA: 12**

IMAGEM PLANET - DATA: 08/2023