



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ARTUR GONÇALVES PINHEIRO <sup>1</sup>**  
**CRISTIANO DO AMARAL <sup>2</sup>**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA TERRA INDÍGENA  
KAYAPÓ COM O USO DE GEOPROCESSAMENTO**

TUCURUÍ  
2023

---

<sup>1</sup>: Acadêmico de Engenharia Sanitária e Ambiental/ Universidade Federal do Pará. Contato: [artur.pinheiro@tucurui.ufpa.br](mailto:artur.pinheiro@tucurui.ufpa.br).

<sup>2</sup>: Acadêmico de Engenharia Sanitária e Ambiental/ Universidade Federal do Pará. Contato: [cristiano.amaral@tucurui.ufpa.br](mailto:cristiano.amaral@tucurui.ufpa.br).

**ARTUR GONÇALVES PINHEIRO  
CRISTIANO DO AMARAL**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA TERRA INDÍGENA  
KAYAPÓ COM O USO DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Dr. Davi Edson Sales e Souza

TUCURUÍ  
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

GONÇALVES PINHEIRO, ARTUR.  
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA  
TERRA INDÍGENA KAYAPÓ COM O USO DE  
GEOPROCESSAMENTO / ARTUR GONÇALVES PINHEIRO,  
CRISTIANO DO. — 2023.  
68 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davi Edson Sales E Souza  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de  
Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2023.

1. Amazônia. 2. Mineração ilegal. 3. Supressão de  
vegetação. 4. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 620.8

---

**ARTUR GONÇALVES PINHEIRO  
CRISTIANO DO AMARAL**

**IDENTIFICAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA TERRA  
INDÍGENA KAYAPÓ COM O USO DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 15/12/2023

Conceito: 9,8 EXCELENTE

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente



DAVI EDSON SALES E SOUZA

Data: 28/12/2023 16:35:14-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>


---

Prof. Dr. Davi Edson Sales e Souza  
UFPA/FAESA/CAMTUC (Orientador)

---

Prof. Dr. Rodrigo Cândido Passos da Silva  
Membro interno CAMTUC/FAESA/UFPA

---

  
Prof. M<sup>e</sup>. Jorge Fernando Hungria Ferreira  
Membro externo FAESA/UFPA

## **AGRADECIMENTOS (Cristiano do Amaral)**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde e ânimo para seguir firme nesta longa caminhada.

Aos meus familiares e amigos, por me darem apoio, por me encaminharam e por me mostrarem que o estudo é o caminho a ser seguido, em especial minha irmã Soraia Siqueira do Amaral e seu esposo Marcio Siqueira, que me acolheram em sua residência e não mediram esforços para que eu pudesse ingressar no Ensino Superior.

À minha amada esposa, Aida Patrícia Fernandes, por me incentivar e estar ao meu lado nas horas mais difíceis.

Ao meu amado filho, Adam Christian Fernandes do Amaral, por me trazer felicidades em momentos de dificuldades e por dar-me mais motivos para finalizar o curso.

Ao meu colega Artur Gonçalves Pinheiro, por ter aceitado fazer o TCC em dupla. Amigo, considero-te um irmão e te digo que todo nosso esforço será recompensado.

Ao nosso ilustre orientador, professor Dr. Davi Edson Sales e Souza, pela paciência, pela dedicação e pela competência como orientador, assim como por ter aceitado embarcar neste desafio conosco.

Por fim, a todos os docentes que contribuíram para minha formação como profissional.

## **AGRADECIMENTOS (Artur Gonçalves Pinheiro)**

Agradeço primeiramente a Deus, que me proporcionou oportunidade, força e coragem para superar os desafios desta trajetória.

À minha família, especialmente aos meus pais, Sr. Raimundo Rodrigues Pinheiro e D.<sup>a</sup> Marcia Aucione Leão Gonçalves, que, apesar de todas as dificuldades, nunca deixaram de me incentivar e prestar apoio e sempre fizeram o possível e o impossível para que não faltasse nada nesta jornada. Sem dúvida, são os melhores pais que eu poderia ter. Aos meus pais, minha eterna gratidão.

À minha filha, Yasmin Leão Pinheiro, a qual, por meio do estudo, poderei dar-lhe melhores condições de vida.

Aos meus grandes irmãos, Irlana Gonçalves Pinheiro, Pedro Gonçalves Pinheiro e Irnara Gonçalves Pinheiro, aos quais não há palavras que descrevam todo amor e gratidão.

Ao meu amigo Cristiano do Amaral, que aceitou fazer a última pesquisa do curso em dupla. Tenha certeza, amigo, você é um grande homem de família, pai, amigo e será um grande engenheiro. Todas as noites em claro serão compensadas. Que venha o mestrado e que venham mais qualificações.

Ao prezado professor Dr. Davi Edson Sales e Souza, que, ao ouvir a temática que gostaríamos de trabalhar, se prontificou a nos orientar. Sou grato por toda experiência, paciência, compreensão, orientação e instrução, assim como pelas maravilhosas dicas e ideias. Muito obrigado por tudo, professor, o senhor contribuiu significativamente para minha formação profissional e pessoal.

A todos os professores que ministraram aulas durante o curso. Vocês não imaginam o quanto contribuíram para o meu aprendizado.

Aos colegas de turma pelo convívio e por me proporcionarem experiências incríveis.

Aos meus amigos Wanderson e Jeiciene, por escutarem os desabafos dos problemas que enfrentei durante esta trajetória e por me darem forças para seguir firme.

Por fim, a mim mesmo, por não ter desistido, mesmo nos momentos mais difíceis, nos quais foi preciso lutar contra o meu próprio eu. Gratidão pelo objetivo alcançado.

“Não estão interessados no bem da Amazônia, mas sim nos bens da Amazônia.”  
(Enéas Carneiro)

## RESUMO

Ao longo dos anos, os territórios indígenas, apesar de sua importância para a conservação da Amazônia, têm sido alvo de invasores em busca de riquezas. Esta situação tem causado perturbação para a fauna, para a flora e para a cultura dos povos originários. Nesta pesquisa, para comprovar e analisar o uso e ocupação do solo, buscou-se a forma mais simplificada de aplicar uma metodologia já existente, na qual foram usados banco de dados e *softwares*, de modo que, empregando o conjunto do MapBiomas disponibilizado gratuitamente, quantificou-se a área total de garimpo ilegal da TI Kayapó entre o período de 1985-2022. Os resultados apontaram que o garimpo ilegal passou de 949 hectares em 1985 para 13.818 hectares em 2022, um aumento alarmante de 1.167, 23%, suprimindo parte da vegetação e da cultura dos povos indígenas, e com grande potencial de prejudicar a saúde pelo contato direto e indireto com metais prejudiciais à saúde dos povos originários. Desta maneira, entende-se que é necessário atenção redobrada e ações governamentais eficazes para esses territórios. Os materiais utilizados ou referidos neste trabalho permitem acompanhar a situação atual de outras TIs e identificar novas tendências relacionadas às atividades ilegais. Portanto, são ferramentas importantes para a aplicação da lei.

**Palavras-chave:** Amazônia. Mineração ilegal. Supressão de vegetação. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

Over the years, indigenous territories, despite their importance for the conservation of the Amazon, have been the target of invaders in search of wealth. This situation has caused disruption to the fauna, flora and culture of the original peoples. In this research, to prove and analyze land use and occupation, we sought the most simplified way of applying an existing methodology, in which databases and software were used, so that, using the MapBiomas set available free of charge, The total area of illegal mining in the Kayapó TI was quantified between the period 1985-2022. The results showed that illegal mining increased from 949 hectares in 1985 to 13,818 hectares in 2022, an alarming increase of 1,167, 23%, suppressing part of the vegetation and culture of indigenous peoples, and with great potential to harm health through direct contact and indirect with metals harmful to the health of original peoples. In this way, it is understood that increased attention and effective government actions are necessary for these territories. The materials used or referred to in this work allow us to monitor the current situation of other ITs and identify new trends related to illegal activities. Therefore, they are important tools for law enforcement.

**Keywords:** Amazonia. Illegal mining. Vegetation suppression. Remote sensing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Comprimento de ondas eletromagnéticas.....	20
Figura 2 - Satélite em órbita capturando a REM dos objetos.....	21
Figura 3 - Sensor OLI e sensor TIRS do Landsat 8.....	21
Figura 4 - Resposta espectral dos elementos .....	22
Figura 5 - Envio das informações do satélite para a estação terrestre .....	23
Figura 6 - Processamento em nuvem do “Google Earth Engine”.....	24
Figura 7 - Fluxograma da metodologia aplicada na pesquisa.....	26
Figura 8 - Localização da terra indígena Kayapó no estado do Pará.....	27
Figura 9 - Aquisição de dados no <i>site</i> do IBGE .....	28
Figura 10 - Aquisição de dados no <i>site</i> da FUNAI.....	28
Figura 11 - Paleta de cores do MapBiomas.....	29
Figura 12 - Análise de acurácia geral da Amazônia .....	31
Figura 13 - Análise de acurácia do ano de 1985.....	32
Figura 14 - Análise de acurácia do ano de 2022.....	32
Figura 15 - Google Earth Engine (a) e cadastro na plataforma (b).....	33
Figura 16 - Painel de comandos (a) e Editor de código (b).....	34
Figura 17 - Subcomandos do MapBiomas (a) e Exportação para o Drive (b) .....	35
Figura 18 - Etapa final da exportação (a) e Pasta no drive (b) .....	35
Figura 19 - Interface do QGIS 3.28.8 .....	36
Figura 20 - Atividade garimpeira na TI Kayapó (1985-2015) .....	37
Figura 21- Garimpos na TI Kayapó no ano de 1985.....	39
Figura 22 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 1990.....	40
Figura 23 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 1995.....	41
Figura 24 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2000.....	42
Figura 25 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2005.....	43
Figura 26 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2010.....	44
Figura 27 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2015.....	45
Figura 28 - Área de formação florestal com intervalo de cinco anos na TI Kayapó .....	46
Figura 29 - Taxa de crescimento do garimpo no período de cinco anos na TI Kayapó..	47
Figura 30 - Atividade garimpeira anual na TI Kayapó .....	48
Figura 31- Garimpos na TI Kayapó no ano de 2015.....	49
Figura 32 Garimpos na TI Kayapó no ano de 2016.....	50

Figura 33 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2017.....	51
Figura 34 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2018.....	52
Figura 35 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2019.....	53
Figura 36 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2020.....	54
Figura 37 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2021.....	55
Figura 38 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2022.....	56
Figura 39 - Área de formação florestal anual na TI Kayapó.....	57
Figura 40 - Taxa de crescimento do garimpo anual na TI Kayapó.....	58
Figura 41- Garimpo e desmatamento na TI Kayapó.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CSR	Centro de Sensoriamento Remoto
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SESAI	Secretaria Especial de Saúde Indígena
SR	Sensoriamento Remoto
ISA	Instituto Socioambiental
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
REM	Radiação Eletromagnética
SESAI	Secretaria Especial de Saúde Indígena
TI	Terra Indígena

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	JUSTIFICATIVA .....	15
3	OBJETIVOS .....	15
3.1	OBJETIVO GERAL.....	15
3.2	Objetivos Específicos.....	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
4.1	Terras Indígenas e sua importância.....	16
4.1.1	Impactos do desmatamento em Terras Indígenas.....	17
4.1.2	Impactos do garimpo.....	18
4.1.3	Garimpos em Terras Indígenas.....	18
4.2	USO DE GEOTECNOLOGIA NO MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	19
4.2.1	Comportamento espectral dos alvos no solo .....	19
5	METODOLOGIA.....	25
5.1	ÁREA DE ESTUDO (ETAPA 1).....	27
5.2	ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA TI KAYAPÓ .....	27
5.2.1	Levantamento de dados cartográficos (Etapa 2).....	28
5.2.2	Tratamento de dados no <i>software</i> de geoprocessamento (Etapa 3).....	36
5.2.3	Prejuízo aos kayapó .....	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
6.1	ANÁLISE DO GARIMPO E FLORESTA NA TI KAYAPÓ.....	37
6.1.1	Variação do garimpo e floresta com intervalos anos na TI Kayapó (1985-2015).....	37
6.1.2	Variação do garimpo e floresta anual na TI Kayapó (2015-2021) .....	47
6.1.3	Prejuízos aos Indígenas .....	60
6.1.4	Medidas propositivas.....	61
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, ao longo dos anos, os povos originários vêm enfrentando conflitos referentes aos seus limites territoriais, em destaque para os anos de 2015-2022, período no qual terras tradicionalmente ocupadas têm sido devastadas e invadidas para diferentes usos do solo e para extração de minerais, em especial, para a agropecuária e garimpagem, atividades que acabam devastando-as e que são realizadas sem quaisquer tipos de licença ou manejo ambiental.

O recente aumento do desmatamento e da mineração ilegal na Amazônia, especialmente em áreas protegidas, não estão alinhados aos objetivos e metas estabelecidos para o alcance da Década da Ação das Nações Unidas (ONU), bem como os objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o 3 Boa Saúde e Bem-Estar, 6 Água Limpa e Saneamento, 11 Cidades e Comunidades Sustentáveis, 12 Consumo e produção Sustentáveis, 14 Vida debaixo d'água e 15 Vida sobre a Terra, que é uma preocupação internacional. Além disso, contrapõe aos esforços e compromissos os compromissos assumidos pelo Governo Federal do Brasil na 26ª Conferência das Partes (COP 26), no que tange ao combate às mudanças climáticas (Brasil, 2022) e a Convenção n.º 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT, 1989), que garante aos povos indígenas participação na administração de seus territórios. Esta incompatibilidade pode causar danos irreversíveis não só ao ambiente e aos povos indígenas.

A remoção da vegetação reduz a biodiversidade; altera a paisagem; interfere na disponibilidade de recursos minerais; altera a qualidade do ar, provocando aumento dos níveis de ruídos e vibrações; altera a propriedade do solo, por conta do uso de máquinas pesadas; altera a dinâmica erosiva, hidrológica, hidrogeológica, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, nas quais o descarregamento de solo e rochas é feito por bombas que trazem jatos de água — provocando o colapso de desfiladeiros, formando grandes buracos de lama e areia movediça e deslizamentos de terra em grande escala na área, causando alterações no ambiente de mineração (Oviedo et al., 2020). Essas práticas dão-se de forma contrária às legislações de proteção aos indígenas, como, por exemplo, a Lei n.º. 6.001 (BRASIL, 1973), que “dispõe sobre o Estatuto do Índio” e que, em seu Artigo segundo, declara: “Cumprida à União, aos Estados e aos Municípios, bem como aos órgãos das respectivas administrações indiretas, nos limites de sua competência, a proteção das comunidades indígenas e a preservação dos seus direitos” (Brasil, 1973).

Com o objetivo de reduzir tais perdas, múltiplos esforços vêm sendo empregados, visando a proteção da fauna e da flora do bioma Amazônico, dentre eles está o geoprocessamento, que

é capaz de identificar e analisar a atividade do garimpo ilegal nas Terras Indígenas (TIs), haja vista que possibilita analisar um grande volume de área a um menor custo e menor risco, por quilômetro quadrado, quando comparados a drones e vistas *in-loco*. Ademais, assegura a disponibilidade histórica dos dados e da possibilidade de aplicação no desenvolvimento de pesquisas, como a classificação do uso e ocupação do solo.

A metodologia proposta neste estudo permite acompanhar a situação atual das TIs relacionadas às atividades ilegais. É por isso que são ferramentas importantes para a aplicação da lei e cumprimento das metas da ODS.

## 2 JUSTIFICATIVA

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura utiliza metodologia rebuscada para realização de análise de uso e ocupação do solo, sendo que a referida atividade necessita de computadores com grande quantidade de armazenamento e processadores bons, gerando custo elevado ou limitações para se fazer uma análise extensa de uso e ocupação do solo. Um exemplo de trabalho encontrado foi de Carmona Júnior (2022), que realizou um diagnóstico de áreas de garimpo na TI Kayapó entre os anos de 2014-2022, bem como o trabalho de Lima (2022), que realizou o mapeamento das áreas de garimpo em terras indígenas Munduruku entre os anos de 2010-2021. Mesmo com os resultados animadores desses trabalhos, este estudo buscou simplificar o estudo de uso e ocupação do solo em terras indígenas, foco desta pesquisa, aplicando o geoprocessamento e sensoriamento remoto. Observa-se que a metodologia elaborada neste trabalho pode ser aplicada para outras finalidades, de forma gratuita e com análises de imagens de satélites atuais e de boa qualidade, a partir do tratamento no *software* Qgis.

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar com um método mais simplificado a expansão do garimpo ilegal na Terra Indígena Kayapó no período de 1985-2022.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a comunidade indígena Kayapó;
- b) Analisar o garimpo ilegal na TI Kayapó ao longo dos anos.

- c) Apontar possíveis prejuízos as comunidades Indígenas

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 TERRAS INDÍGENAS E SUA IMPORTÂNCIA

Após a entrada em vigor da Constituição da República Federativa do Brasil, em 1988, as TIs foram finalmente reconhecidas, por meio do Artigo 231, que afirma:

São reconhecidos aos índios sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições, e os direitos originários sobre as terras que tradicionalmente ocupam, competindo à União demarcá-las, proteger e fazer respeitar todos os seus bens” (Brasil, 1988, p. 126).

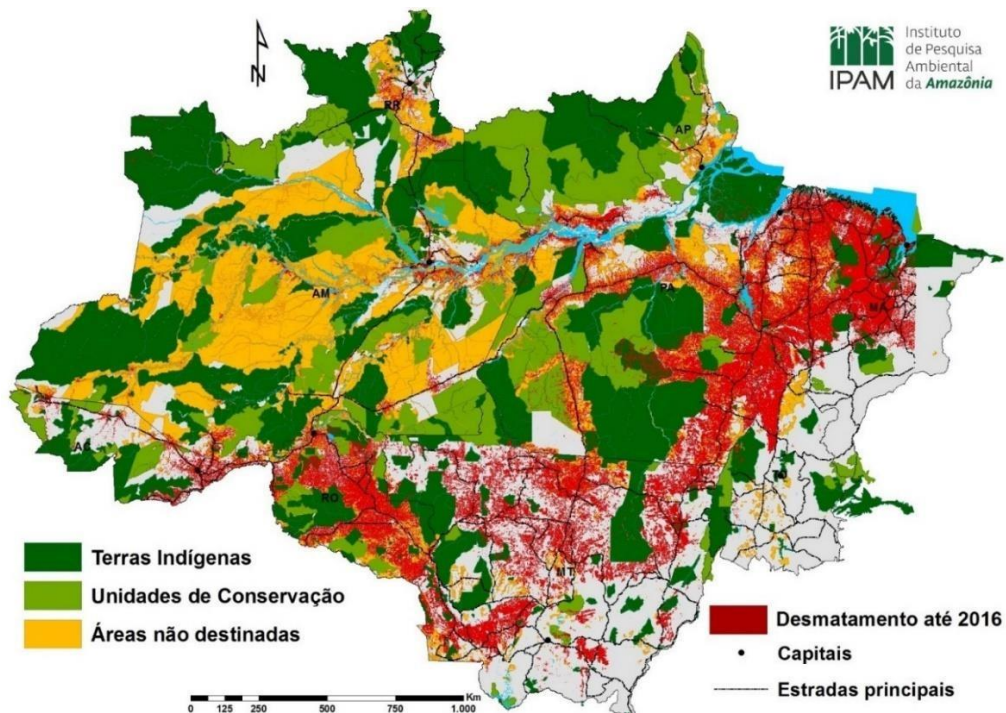
Ainda no mesmo Artigo, em seu parágrafo primeiro, as TIs são assim caracterizadas:

[...] terras tradicionalmente ocupadas pelos índios por eles habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias à sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições (Brasil, 1988, p. 126).

Em 2009, foram registados progressos totais no reconhecimento das TIs, conforme eixo das reivindicações indígenas, que prevaleceu até meados da década de 1980, focado precisamente na luta pela terra. Além disso, as comunidades indígenas que estavam isoladas há mais de 20 anos tornaram-se conectadas devido aos avanços de áreas como a infraestrutura, o transporte e a comunicação (Arnaldo; Souza, 2009). Atualmente, o Brasil possui 761 TIs, que, juntas, totalizam 117.896.220 hectares, equivalente a 13.9% do território nacional, sendo que sua maior parte se concentra na Amazônia Legal, com 98.25%. Os três estados que mais possuem áreas indígenas são Roraima (com 46%), Amazonas (com aproximadamente 29%) e Pará (com cerca de 23.25%) (ISA, 2023).

Essas TIs são extremamente importantes no combate ao desmatamento, principalmente nesta região de Amazônia Legal. De acordo com os dados publicados, entre anos 2004-2006, há redução no desmatamento legal na Amazônia em 37%, em relação à média anual de 1997-2008, graças às Áreas Protegidas (UCs) e TIs (Brasil, 2013). Na Figura 1, é possível visualizar o número de TIs demarcadas na Amazônia Legal em relação às ações antrópicas presentes na área para o ano de 2016, podendo-se observar a importância de como formas de avanço do desmatamento (IPAM, 2017).

Figura 1- Desmatamentos presentes nas TIs referentes ao ano de 2016



Fonte: IPAM (2017).

Salienta-se que, além de monitorar o progresso da exploração do desmatamento, as TIs são imprescindíveis no que se refere ao cumprimento das metas de redução de gases de efeito estufa, declaradas pelo Brasil, por meio da Lei nº. 12.187 (BRASIL, 2009), que dispõe acerca da Política Nacional de Mudanças do Clima (Crisostomo *et al.*, 2015).

#### 4.1.1 Impactos do desmatamento em terras indígenas

Apesar da constatada importância das TIs, suas delimitações sempre foram alvos de críticas. Os segmentos mais conservadores continuam tentando transmitir a ideia de que essas regiões simbolizam um fracasso para o desenvolvimento da atividade produtiva, porque impedem seu “crescimento” (Arnaldo; Souza, 2009). É por isso que estas áreas são alvo de intervenções humanas intensivas, como extração, desmatamento, além das recorrentes queimadas, que afetam negativamente as práticas das comunidades indígenas que vivem nessas terras, porque utilizam os recursos florestais para a sua subsistência (Becker, 2010; Smith; Guimarães, 2012). Vale destacar também que a diminuição na delimitação de TIs ao longo dos anos, promoveu o crescimento da violência contra os povos indígenas, cujos assassinatos duplicaram até 2008, saindo de 20 para 40 (Ribeiro, 2016).

#### 4.1.2 Impactos do garimpo

Apesar de ser historicamente classificada como uma forma de mineração primitiva, essa ação é agravada pela complexidade da legislação brasileira, que ainda idealiza uma imagem simples do garimpeiro como um trabalhador que dispõe somente de uma "picareta e bateia", de modo que acaba agravando a problemática em debate. A mineração atual é caracterizada pelo uso intensivo de máquinas pesadas de elevado custo, muitas vezes, conectado ao seu alto índice de ilegalidade e engatado ao baixo nível de controle e supervisão transfronteiriça que deveriam ser realizados pelas autoridades (Brasil, 2020).

Tonifica-se que essa ação é uma das que mais provocam impactos ambientais e socioambientais na Amazônia Legal, além da pobreza concentrada no entorno dessas áreas e da falta de serviços públicos, que, em suma, promovem a violência, a criminalização e a prostituição, a qual aumenta a incidência de doenças sexualmente transmissíveis. Assim, constata-se o aparecimento de uma fratura na paisagem social nas áreas afetadas pela mineração (Ribeiro, 2016). A garimpagem ilegal de ouro também causa problemas, como a descaracterização da morfologia inicial da terra, a supressão da vegetação e o assoreamento das camadas de água, o que pode gerar resíduos que contêm mercúrio metálico (Tannús, 2001).

Trabalhos na área revelam que a mineração afeta a hidrografia. Silva (2019), em pesquisas realizadas em minas entre os anos de 2011, 2015 e 2018, de acordo com a classificação de uso do solo nos municípios de São Félix do Xingu e Tucumã, no estado do Pará, identificou 50 microbacias afetadas pelo garimpo ilegal.

É importante ressaltar também que a poluição causada pelo uso de mercúrio metálico em áreas de mineração de ouro no processo de amalgamação (Ribeiro, 2016; Scarpelli, 2003). O uso intensivo desse metal pesado aliado a fatores como o seu baixo preço e a falta de cultura para reciclá-lo adequadamente resulta em grandes quantidades no solo, na água e no ar (DE-Paula, 2006). É importante destacar que, além dos danos e problemas ambientais, a poluição por mercúrio prejudica a saúde humana, provocando o aparecimento de doenças autoimunes, como câncer, infertilidade, entre outras (Pavlogeorgatos, 2002).

#### 4.1.3 Garimpos em Terras Indígenas

A presença da mineração na TI é considerada destrutiva de várias maneiras, provocando desde a invasão de comunidades indígenas para explorá-las até a mudança na sua organização social e o surgimento de possíveis conflitos (CIDR, 1989). Um estudo de três anos realizado pelo Centro de Tecnologia Mineral mostrou que um dos principais impactos do Garimpo na TI, além do desequilíbrio ecossistêmico na área original, dá-se em torno dos conflitos decorrentes

ou em curso com os interesses das empresas de mineração ou por ataques a áreas de garimpos ilegal de médio ou grande porte. Os principais minérios que estiveram envolvidos nos 11 conflitos mapeados foram o ouro, seguido do cobre e do diamante (Ribeiro, 2016).

#### 4.2 USO DE GEOTECNOLOGIA NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

Ao longo dos anos, as tecnologias para obtenção de dados do uso e ocupação do solo vêm se aperfeiçoando. O sensoriamento remoto teve início com a invenção da câmera fotográfica, primeiro instrumento utilizado para a referida atividade, sendo este ainda empregado como instrumento para a tomada de fotos aéreas. (Figueiredo, 2005). Inicialmente, utilizava-se as câmeras fotográficas amarradas a pombos correios, durante a 1ª e 2ª Guerra mundial, com objetivo de reconhecimento do território inimigo (Guedes e Silva, 2018).

Geotecnologias são tecnologias usadas para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica através da sinergia entre *hardware*, *software* e *peopleware*. Entre as geotecnologias que merecem destaque, estão a geoinformação e o sensoriamento remoto (Rosa, 2005). Segundo Gonzaga (2009), as geotecnologias são fundamentais para o estudo de uso e ocupação do solo, pois permitem identificar a ação antrópica, analisar as diversas classes de uso e contribuir para a tomada de decisão. Em 1990, o projeto de monitoramento às mudanças na cobertura vegetal nativa da floresta amazônica foi amplamente implementado no Brasil, permitindo maior utilização do uso de geotecnologias, implementação essa realizada pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR-IBAMA) por meio da utilização de imagens de satélite (Mesquita Junior *et al.*, 2007).

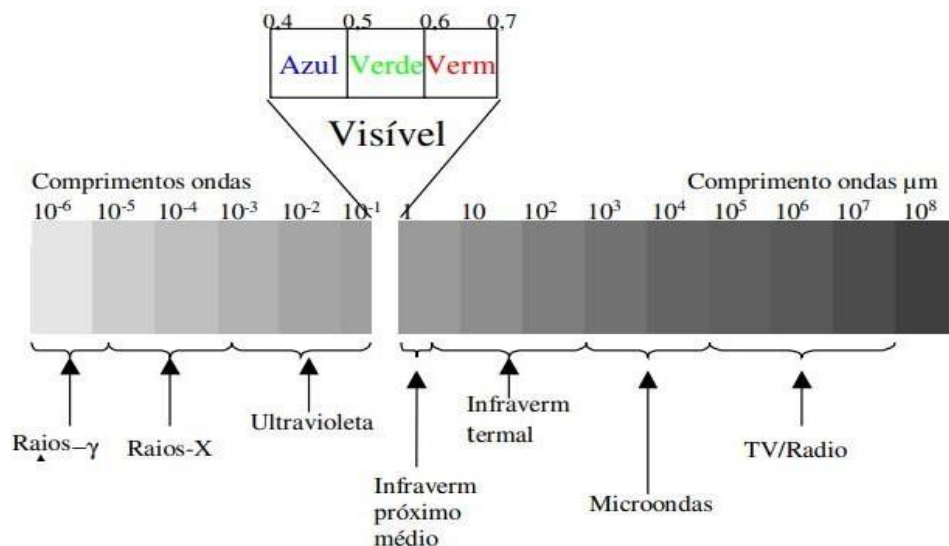
##### 4.2.1 Comportamento espectral dos alvos no solo

Os experimentos de Newton (1672) constataram que um feixe de luz (luz branca) quando passava pelo prisma se desenvolvia em um feixe de cores (o espectro de cores). Os cientistas expandiram suas pesquisas sobre esse tema tão fascinante e confirmaram isto: a luz branca era uma síntese de diferentes tipos de luz, um tipo de vibração composta por muitas vibrações diferentes. Sempre avançando em seus experimentos, os cientistas conseguiram provar que a onda de luz era uma onda eletromagnética também conhecida como Radiação Eletromagnética (REM), mostrando que a luz visível é apenas uma entre muitas ondas diferentes do eletromagnético (Figueiredo, 2005).

O Sensoriamento Remoto (SR) seria impossível de ocorrer sem a presença da REM, pois, segundo Figueiredo (2005), as ondas de REM funcionam como “termômetros-mensageiros” do

SR, pois não somente coletam informações importantes para o delineamento das características do terreno, mas também serve para levá-las aos satélites. O espectro eletromagnético abrange uma diversidade de radiações. Cada uma especificada por seu comprimento de onda, indo desde as radiações de alta energia, como as gamas, até as radiações de menor energia, como as ondas de rádio. Esse espectro é fundamental para diversas aplicações, incluindo o SR. “A completa faixa de comprimentos de onda e de frequência da REM é chamada de espectro eletromagnético. Este espectro varia desde as radiações gama com comprimentos de onda da ordem de  $10^{-6}$   $\mu\text{m}$  até as ondas de rádio da ordem de 100 m” (Figueiredo, 2005, p. 05). A Figura 1 a seguir demonstra o comportamento da REM.

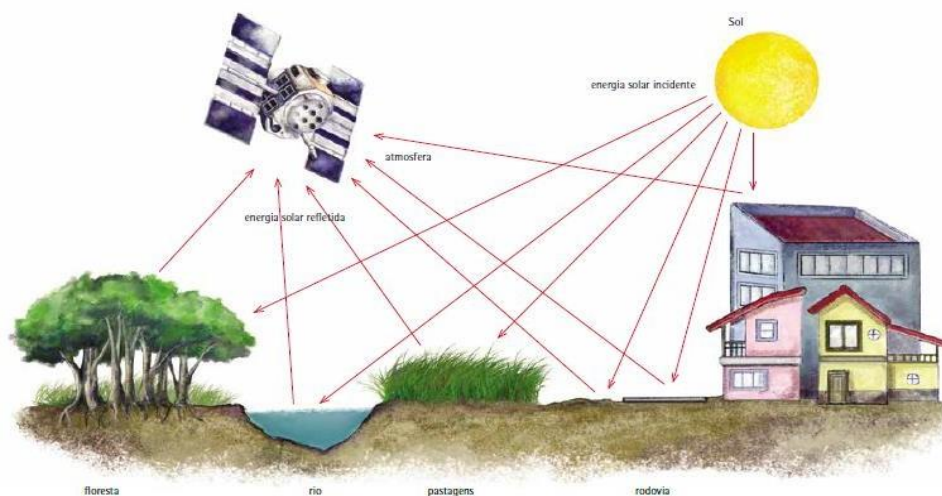
Figura 1- Comprimento de ondas eletromagnéticas



Fonte: Figueiredo (2005).

Com o passar dos anos, as maneiras de se identificar os elementos terrestres tiveram grandes evoluções. Satélites em órbita com sensores aprimorados são capazes de monitorar os acontecimentos da Terra com alta resolução, nesse caso, dá-se ênfase ao satélite “Landsat 8” (Land Remote Sensing Satellite), do qual utilizou-se de suas imagens para confecção das figuras do presente estudo. Após uma breve introdução sobre o comportamento da REM, ressalta-se sua importância para se entender o funcionamento dos sensores do “Landsat 8”. Segundo o IBGE (2018), os satélites giram em uma órbita em torno da Terra e levam a bordo uns sensores capazes de emitir e receber a REM refletida da Terra, como exemplifica a Figura 2.

Figura 2 - Satélite em órbita capturando a REM dos objetos



Fonte: Atlas Escolar (IBGE 2018).

O satélite “Landsat 8” possui a bordo dois sensores. Um deles, o OLI (Operational Land Imager) é um tipo de sensor passivo, ou seja, necessita de uma fonte de luz, nesse caso, o sol, para captar a REM. Este sensor tem capacidade de capturar desde a luz visível até o infravermelho médio. O segundo deles, o sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) é responsável por capturar a REM termal, conforme observa-se na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Sensor OLI e sensor TIRS do Landsat 8

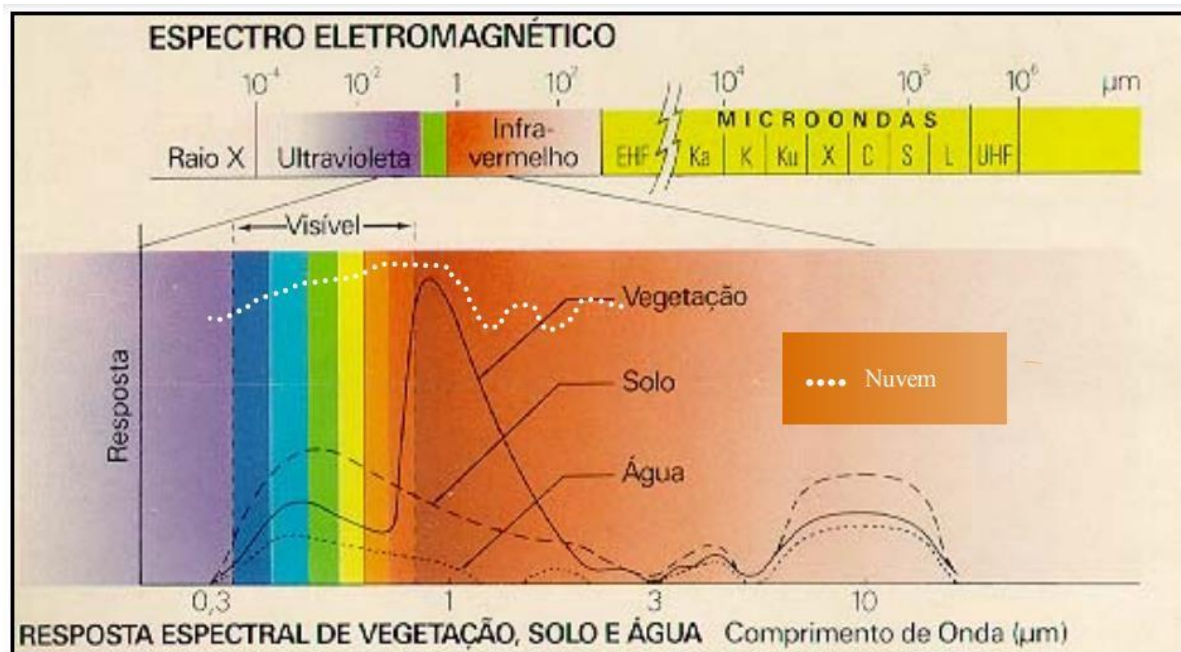
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
<b>OLI</b> (Operational Land Imager)	(B1) Azul Costeiro	0,43 – 0,45 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B2) Azul	0,45 – 0,51 $\mu\text{m}$				
	(B3) Verde	0,53 – 0,59 $\mu\text{m}$				
	(B4) Vermelho	0,64 – 0,67 $\mu\text{m}$				
	(B5) Infravermelho próximo	0,85 – 0,88 $\mu\text{m}$				
	(B6) infravermelho médio	1,57 – 1,65 $\mu\text{m}$				
	(B7) infravermelho médio	2,11 – 2,29 $\mu\text{m}$	15 m			
	(B8) Pancromática	0,50 – 0,68 $\mu\text{m}$	30 m			
	(B9) Cirrus	1,36 – 1,38 $\mu\text{m}$	100 m			
<b>TIRS</b> (Thermal Infrared sensor)	(B10) Infravermelho termal	10,6 – 11,19 $\mu\text{m}$	100 m			
	(B11) Infravermelho termal	11,5 – 12,51 $\mu\text{m}$	100 m			

Fonte: EngeSat (2013).

Quando a REM solar incide sobre os elementos terrestres, estes possuem um comportamento de absorção, refletância e/ou transição. Esse comportamento é chamado assinatura espectral, o qual torna viável a identificação e a diferenciação de cada elemento, em resumo, essa assinatura espectral é a base para obtenção de dados no SR, sendo possível múltiplas aplicações, considerando que "as imagens orbitais possibilitam muitas aplicações, como o mapeamento e a atualização de dados cartográficos e temáticos, produção de dados meteorológicos e a avaliação de impactos ambientais" (Atlas Escolar do IBGE, 2018, p. 26).

A Figura 4 representa, de maneira geral, a resposta espectral dos elementos: vegetação, solo e água. Observa-se que, na faixa de luz visível (0,4 a 0,7 micrômetro), os alvos se comportam de maneira semelhante, porém, no infravermelho próximo (0,7 a 0,9 micrômetro), já são bem diferentes, com maior distância entre si e, em alguns pontos, as linhas se interceptam, assumindo uma mesma "aparência". Isto se dá dependendo da técnica utilizada no SR (Novo e Ponzoni, 2001).

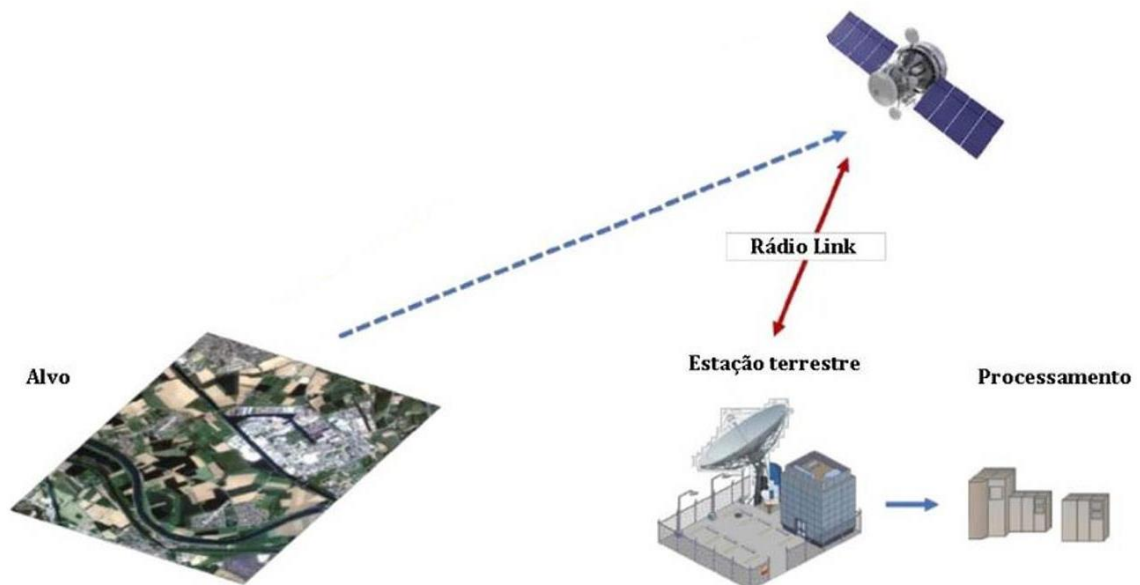
Figura 4 - Resposta espectral dos elementos



Fonte: Novo e Ponzoni (2001).

São essas respostas espectrais que os sensores nos satélites capturam e as dividem em bandas (Figura 3) e, mais tarde, são enviadas para uma estação terrestre para serem processadas em computadores, conforme mostra a ilustração abaixo, na Figura 5.

Figura 5 - Envio das informações do satélite para a estação terrestre



Fonte: Adaptado de Filho *et al.* (2020).

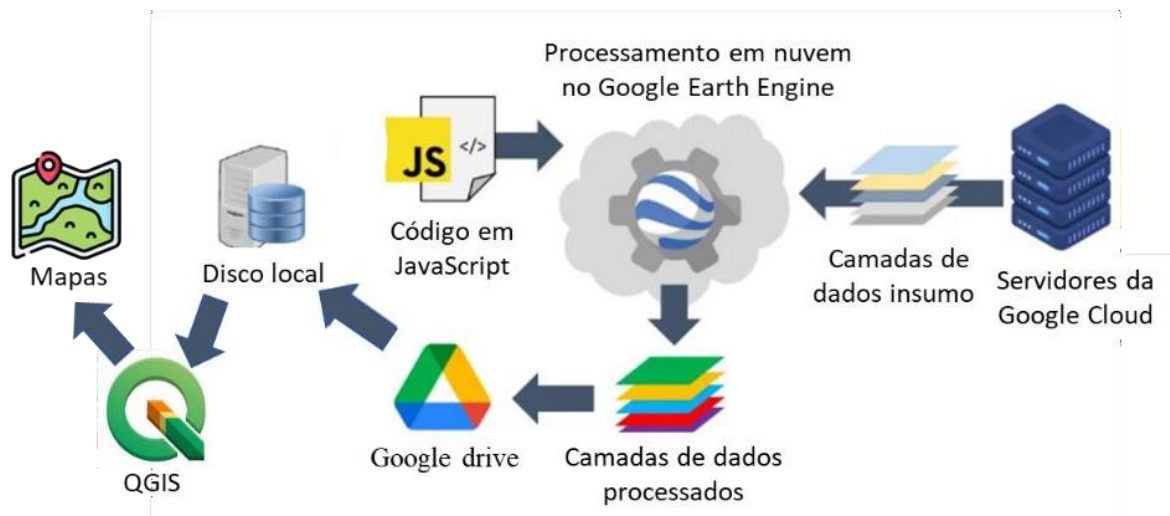
Usualmente, esses dados são processados em computadores físicos dos próprios usuários, utilizando softwares, como QGIS e ArcGIS, nos quais é preciso acessar a internet e baixar as camadas de cada banda do satélite desejadas e, posteriormente, processá-las, para, então, construir um único arquivo “*raster*”, processo este chamado de composição de bandas. No caso de um estudo, por exemplo, de uso e ocupação do solo de 37 anos, a cada ano seria necessário realizar a composição de cores RGB (B3, B2 e B4) e isso necessitaria de uma grande quantidade de memória para armazenar e também memória para processar esses dados e ainda um processador de boa qualidade, elevando o custo do estudo (Possantti, 2021).

Para facilitar o processo e reduzir custos, o processamento em nuvem tem sido uma solução encontrada por estudiosos e resultou na criação da plataforma *Google Earth Engine*, na qual esse tratamento de dados é feito em supercomputadores do *google Cloud*. Qualquer pessoa pode acessá-los de forma remota e seguindo apenas as instruções de processamento, acessíveis por meio de código em *Javascript*, assim, podem ser processadas na própria plataforma ou é possível ainda baixar os dados desejados, sem a necessidade de grandes armazenamentos.

Basta enviar as instruções de processamento para o computador em que os dados estão armazenados e processá-los remotamente. Assim, muitos usuários podem fazer suas análises sem baixar os dados brutos (ainda que eventualmente precisem baixar os dados processados!) (Possantti, 2021).

A Figura 6 abaixo exemplifica o processamento em nuvem do *Google Earth Engine*. Ao dar entrada com código de linguagem em *JavaScript*, inicia-se o processamento em nuvem, por meio da busca dos dados necessários (camadas de insumos) nos servidores da *Google Cloud*, processados no *Google Earth Engine*, gerando o resultado final, que são as camadas de dados processados, posteriormente, esses dados podem ser enviados para o *Google Drive* ou ser baixados no computador físico pessoal do usuário para a possível confecção dos mapas desejados, por meio do *software* *QGIS*, amplamente utilizado no geoprocessamento.

Figura 6 - Processamento em nuvem do “Google Earth Engine”



Fonte: Adaptado de Possantti (2021).

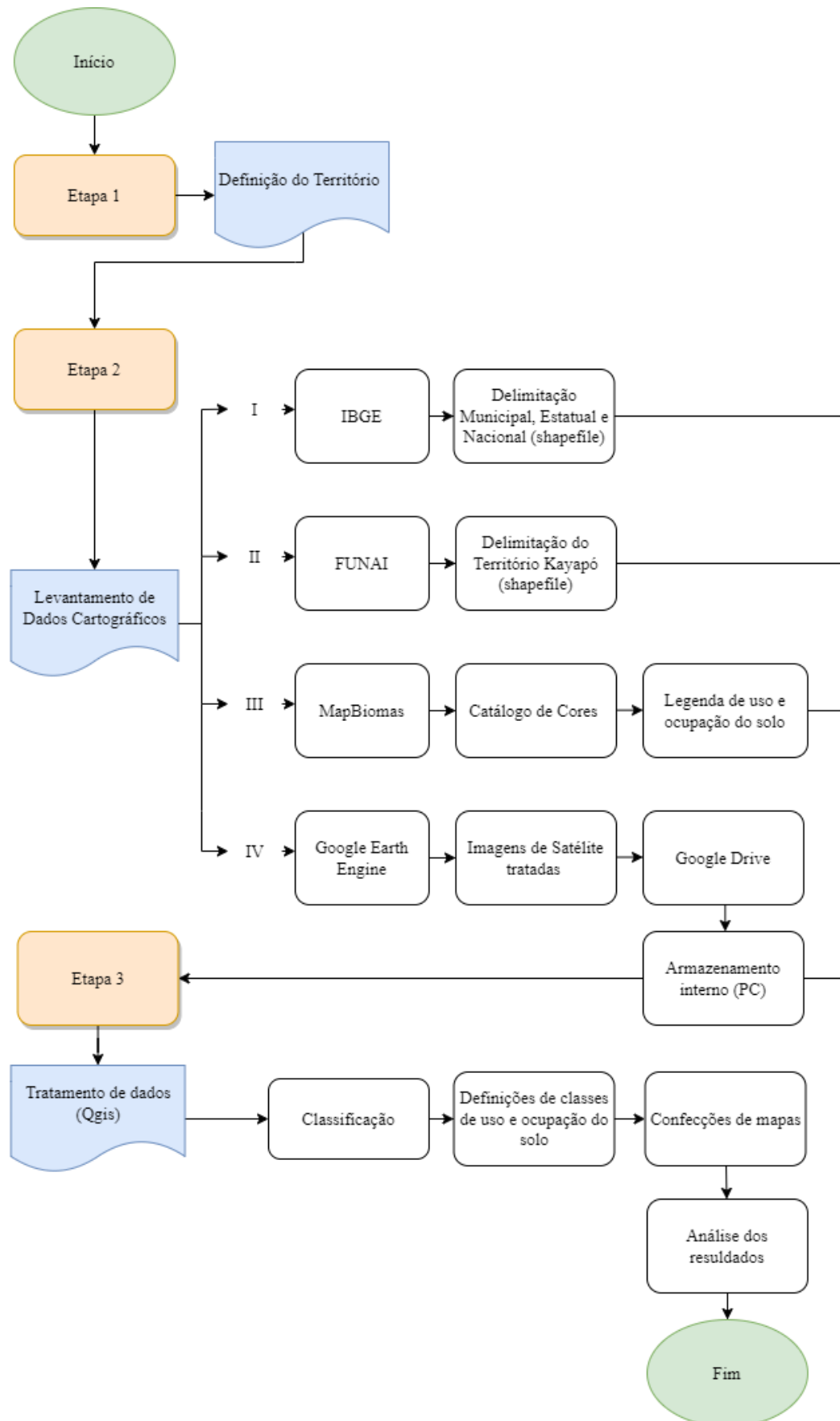
## 5 METODOLOGIA

O estudo utiliza a ferramenta de geoprocessamento, que permite analisar imagens de satélites em alta resolução ao longo do tempo, com base naquelas já disponíveis na *web*, identificando mudanças na paisagem, como desmatamento e escavação, indicativos de atividades garimpeiras ilegais.

Na verdade, os procedimentos apresentados aqui mostram a forma mais didática e simples de uso de ferramentas disponíveis para tratamento de imagens de satélite, facilitando a execução de estudos relacionados ao uso e ocupação do solo, neste caso, do território indígena. As imagens de satélite foram tratadas no *software* QGIS 3.28.8 e, para confirmar o avanço ilegal, realizou-se também levantamento bibliográfico, para mensuração dos impactos causados à comunidade indígena.

A Figura 7 Ilustra o detalhamento da metodologia aplicada neste trabalho metodologia aplicada neste trabalho e seu detalhamento. A metodologia foi dividida em três etapas: na primeira, foi definida a área de estudo; na segunda, foi realizado o levantamento de dados cartográficos, sendo estes dados extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), do MapBiomas e do *Google Earth Engine*; na terceira, foi executado o tratamento desses dados no *software* Qgis e podendo realizar uma análise detalhado do uso e ocupação do solo no território.

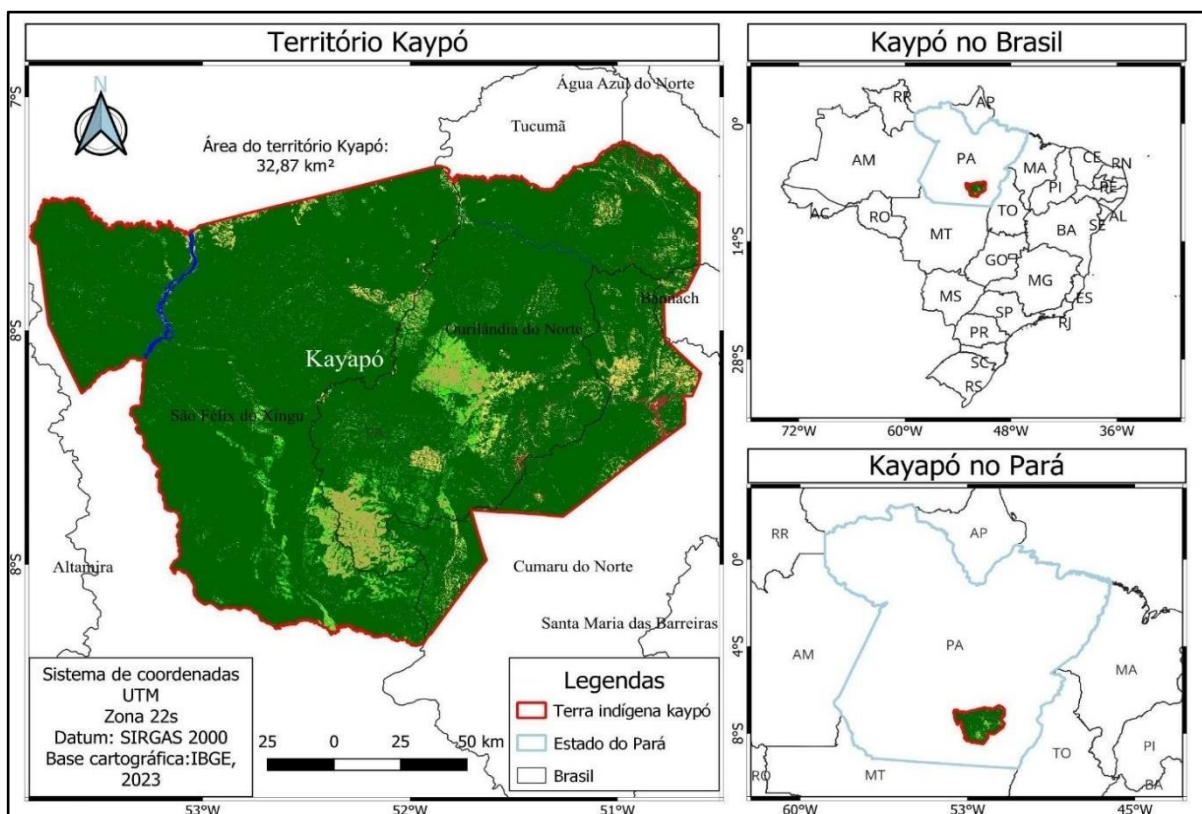
Figura 7 - Fluxograma da metodologia aplicada na pesquisa



## 5.1 ÁREA DE ESTUDO (ETAPA 1)

O Território Indígena Kayapó (Figura 8) foi homologado por meio do Decreto n.º 316, de 30 outubro de 1991, na gestão da FUNAI e da Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI). O referido território está localizado na região sudeste do Pará, no Norte do Brasil, com área de cerca de 50,66% do município de São Félix, 37,09% de Ourilândia do Norte, 12% de Cumaru do Norte e com menos de 1% (0,51%) de Bannach, somando área total de 32,84 km<sup>2</sup>. Sua população é de 4.548 indígenas e é dividida em três povos: Mebengôkre Kayapó Gorotire, Mebengôkre Kayapó Kôkramôrô e Mebengôkre Kayapó Kuben Kran Krên. Sua área tem fitofisionomia de 45,65% de Floresta Ombrófila Aberta, 21,93% de Floresta Ombrófila Densa, 20,49% de Savana-Floresta Ombrófila e 11,93% Savana, segundo dados do Instituto Socioambiental (ISA, 2022).

Figura 8 - Localização da terra indígena Kayapó no estado do Pará



Fonte: Autores (2023)

## 5.2 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO GARIMPO ILEGAL NA TI KAYAPÓ

Para identificar a evolução do garimpo ilegal no território Kayapó, foram utilizadas 37 anos de imagens de satélite disponíveis na *Web*, em banco de dados específicos. Apesar da

disponibilidade, a metodologia proposta aqui apresenta como acessá-las de maneira mais simples e didática.

### 5.2.1 Levantamento de dados cartográficos (Etapa 2)

Os limites municipais, estaduais e nacionais foram obtidos no *site* do IBGE. Para obtê-los, basta acessar o *site* do IBGE, clicar nas abas *geociências > organização do território > malhas territoriais > malha municipal*, conforme a Figura 9, e baixar as malhas atualizadas em formato *shapefile* (I).

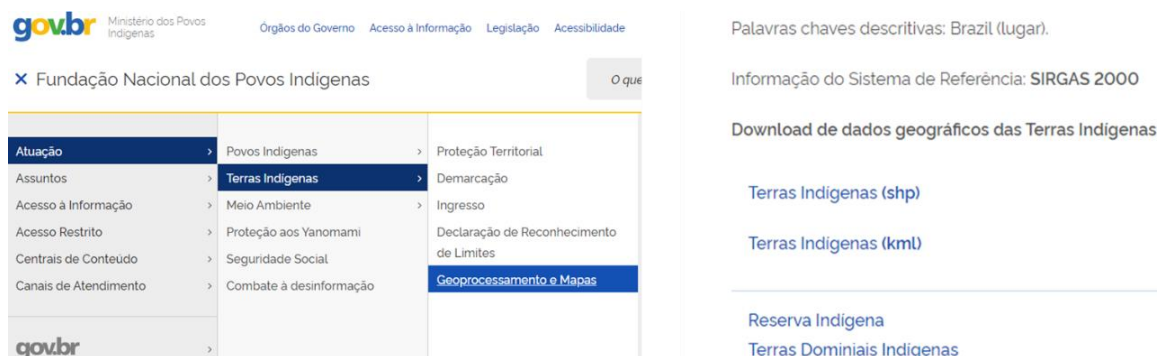
Figura 9 - Aquisição de dados no *site* do IBGE



Fonte: Autores.

A delimitação da terra indígena Kayapó está disponível no site da FUNAI, assim como estão disponíveis a delimitação de todas as áreas indígenas do Brasil. Para acessá-la, basta clicar em *atuação > terras > indígenas* no *site*, procurar por *geoprocessamento e figuras*, como exemplifica a Figura 10, e baixar os dados referentes aos territórios indígenas do Brasil, organizados por estados, no formato *Shapefile* (II).

Figura 10 - Aquisição de dados no *site* da FUNAI





Fonte: Autores.

O catálogo de cores de legenda de uso e ocupação do solo pode ser adquirido gratuitamente no site do MapBiomias. Nele, identifica-se, por meio de diferentes tonalidades de

cores, as vegetações, os desmatamentos, os corpos hídricos, a mineração, entre outros, conforme mostrado na Figura 11 (III).

Figura 11 - Paleta de cores do MapBiomias

 <b>Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 8 do MapBiomias</b>				
COLEÇÃO 8 - CLASSES	COLLECTION 8 - CLASSES	New ID	New Hexacode Number	New Color
1. Floresta	1. Forest	1	#32a65e	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#1f8d49	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#7dc975	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#04381d	
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	#ad975a	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#519799	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ffaa5f	
2.6. Outras Formações não Florestais	2.6. Other non Forest Formations	13	#d89f5c	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#FFFFB	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#E974E	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#C27BA	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#db7093	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#d082de	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#9932cc	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#7a5900	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	#d4271e	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#d4271e	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#9c0027	
5. Corpo D'água	5. Water	26	#0000F	
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#2532e4	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#091077	
6. Não observado	6. Not Observed	27	#ffffff	

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2022).

### 5.2.1.1 Análise de acurácia do MapBiomias

A análise de acurácia verifica a confiabilidade dos dados de uso e ocupação do solo, buscando comparações com outros dados e utilizando modelagem matemática e cruzamento de bases no âmbito do bioma global e no âmbito dos biomas continentais (Amazônia, Mata atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa). Essa análise de acurácia é realizada por meio de distintas classes, sendo: **1. Floresta; 2. Formação Natural não Florestal; 3. Agropecuária; 4. Área não vegetada e 5. Corpo D'água**. A cada ano, a geotecnologia evolui, possibilitando o aumento da precisão e melhorando da visualização, desta forma, é possível reduzir a taxa de erros anuais (MapBiomias, 2022).

A análise de acurácia é normalmente realizada quando se faz a composição de bandas dos satélites, ou seja, quando se trabalha com dados brutos do satélite. Neste estudo, porém, não foi necessário proceder a realização de acurácia, pois as imagens de satélites estavam tratadas e com a acurácia realizada pelo MapBiomias, disponíveis para consulta na referida plataforma.

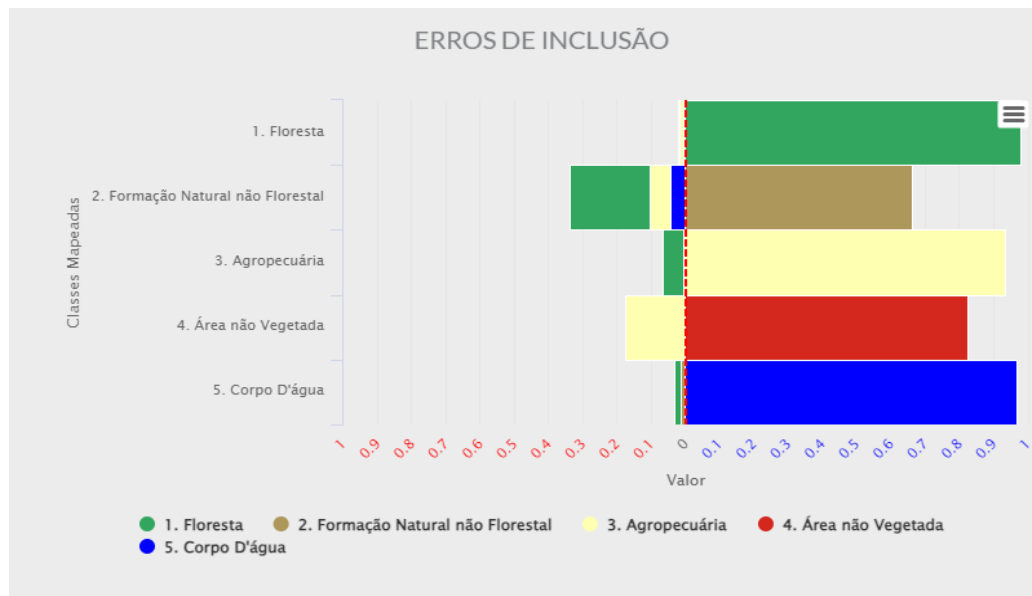
De acordo com o MapBiomias (2022), “as estimativas de acurácia foram fundamentadas na avaliação de uma amostra representativa de pixels, referida base de dados de referência, composta por aproximadamente 75.000 amostras”. A determinação do número de pixels é feita na base de dados de referência técnicas de amostragem estatística. Anualmente, cada pixel na base de dados de referência foi minuciosamente examinado por técnicos capacitados em interpretação visual de imagens Landsat. Este processo de avaliação envolveu uma análise cuidadosa das características visuais e das informações contidas em cada pixel, a fim de referir a classe correspondente.

A avaliação da acurácia foi realizada por meio de medições, que compararam a classe atribuída no mapeamento com a classe determinada pelos técnicos na base de dados de referência. Essas notas foram escolhidas para garantir uma avaliação abrangente e precisa da qualidade do mapeamento, levando em consideração a concordância entre as classificações realizadas automaticamente e as interpretações manuais dos especialistas. Esta abordagem robusta, combinando métodos estatísticos e expertise visual, proporcionou uma avaliação confiável da acurácia do processo de mapeamento, contribuindo para a validação e aprimoramento contínuo da precisão das informações geradas (MapBiomias, 2022).

A Figura 12 apresenta as taxas de erros gerais, uma média dos anos de 1985-2022 de todo o bioma Amazônico, disponibilizadas na plataforma do MapBiomias. No item 1(floresta), houve um acerto de 98,28%, de modo que e 1,38% foi classificado erroneamente como 1 (floresta) em vez de 3 (agropecuária). No item 2 (formação natural não florestal), houve um acerto de

66,49%, de maneira que foram classificados erroneamente 23,37% de floresta na 2 (formação natural não florestal) e 6,11% era 3 (agropecuária) e ainda 4,02% era corpo d'água. O item 4 (área não vegetada) inclui a garimpagem ilegal, com margem de 82,46% de acerto, de forma que foram classificadas erroneamente 17,53% como 3 (agropecuária).

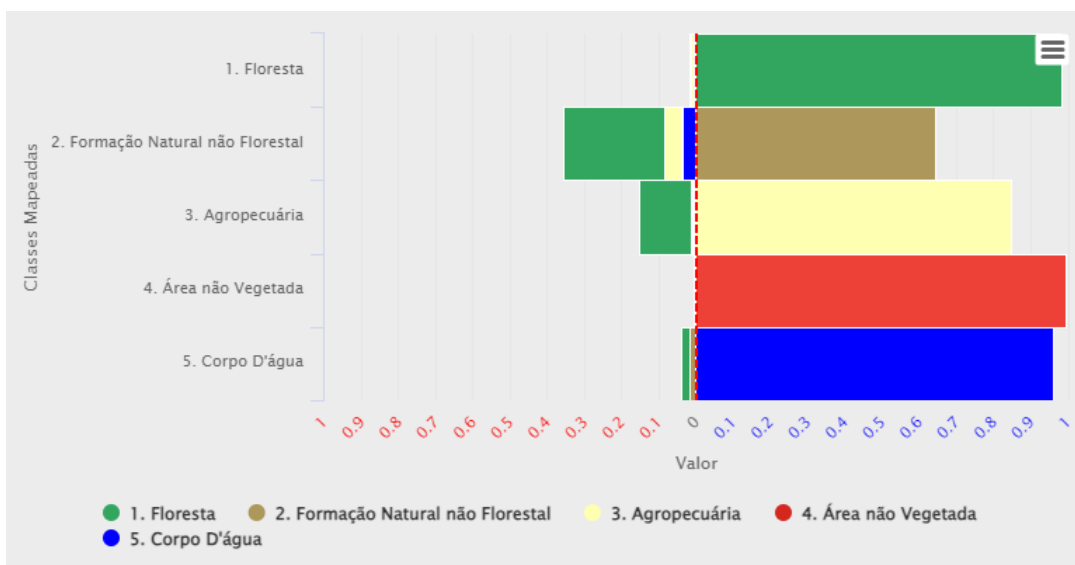
Figura 12 - Análise de acurácia geral da Amazônia



Fonte: MapBiomias (2023).

A Figura 13 representa somente o erro de 1985. Observando o item 1(floresta), houve acerto de 98,62%, classificando-se erroneamente 1,08%, que era 3 (agropecuária) e 0,08 que era 2 (formação natural não florestal), bem como uma parcela de 0,22% que era 5(corpo d'água). No item 2 (formação natural não florestal), houve uma taxa de 66,55% de acerto e foram classificados erroneamente 27,05% de floresta na 2 (formação natural não florestal) e 4,81%, que era 3 (agropecuária), e ainda 3,47%, que era 5(corpo d'água) e uma pequena parcela de 0,12%, que era 4 (área não vegetada). No item 4 (área não vegetada), que inclui a garimpagem ilegal, houve 99,57% de acerto, classificada erroneamente apenas 0,43% como 3 (agropecuária).

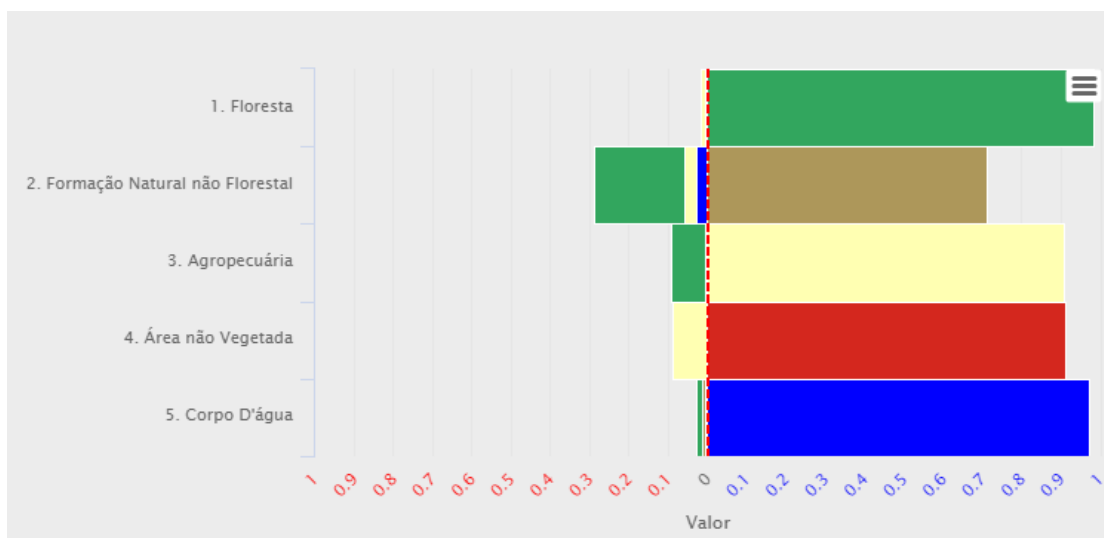
Figura 13 - Análise de acurácia do ano de 1985



Fonte: MapBiomias (2023).

Na Figura 14, salienta-se a análise de acurácia referente ao ano de 2022. Observando o item 1(floresta), houve uma margem significativa de acerto de 98,57%, classificando-se erroneamente 1%, que era 3 (agropecuária) e 0,11%, que era 2 (formação natural não florestal) e uma parcela de 0,32%, que era 5 (corpo d'água). No item 2 (formação natural não florestal), houve uma taxa de acerto maior do que no ano de 1985, precisamente de 71,3%, de modo que foram classificados erroneamente 22,9% de floresta na 2 (formação natural não florestal), cerca de 4,15% menos erro quando comparado ao ano de 1985, com 3,1% que era 3 (agropecuária) e ainda com 2,6% que era 5 (corpo d'água). No item 4 (área não vegetada), houve 91,3% de acerto, classificadas erroneamente 8,7% como 3 (agropecuária).

Figura 14 - Análise de acurácia do ano de 2022



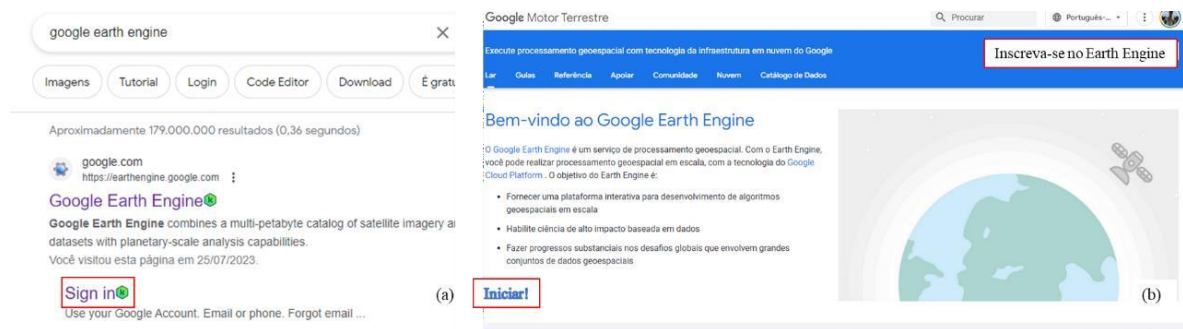
Fonte: MapBiomias (2023).

Observa-se que, com o passar dos anos, a taxa de erro de alguns itens ganha proporções menores. Esse fato ocorre devido ao aumento das tecnologias utilizadas nos satélites, melhorando a quantidade “pixels” por imagem e, assim, identificando com maior precisão o uso e ocupação do solo. Vale observar ainda que a experiência de cada técnico ao avaliar o uso da terra influencia nesses valores.

#### 5.2.1.2 Banco de dados *Google Earth Engine* (IV)

As imagens de satélite foram adquiridas no banco de dados *Google Earth Engine* (Figura 15 (a)). Para acessar a plataforma, é necessário realizar uma rápida inscrição, como mostra Figura 15(b), clicando em *inscreva-se* para efetuar a inscrição e entrar na plataforma. Para saber mais sobre a plataforma, basta clicar em *iniciar*.

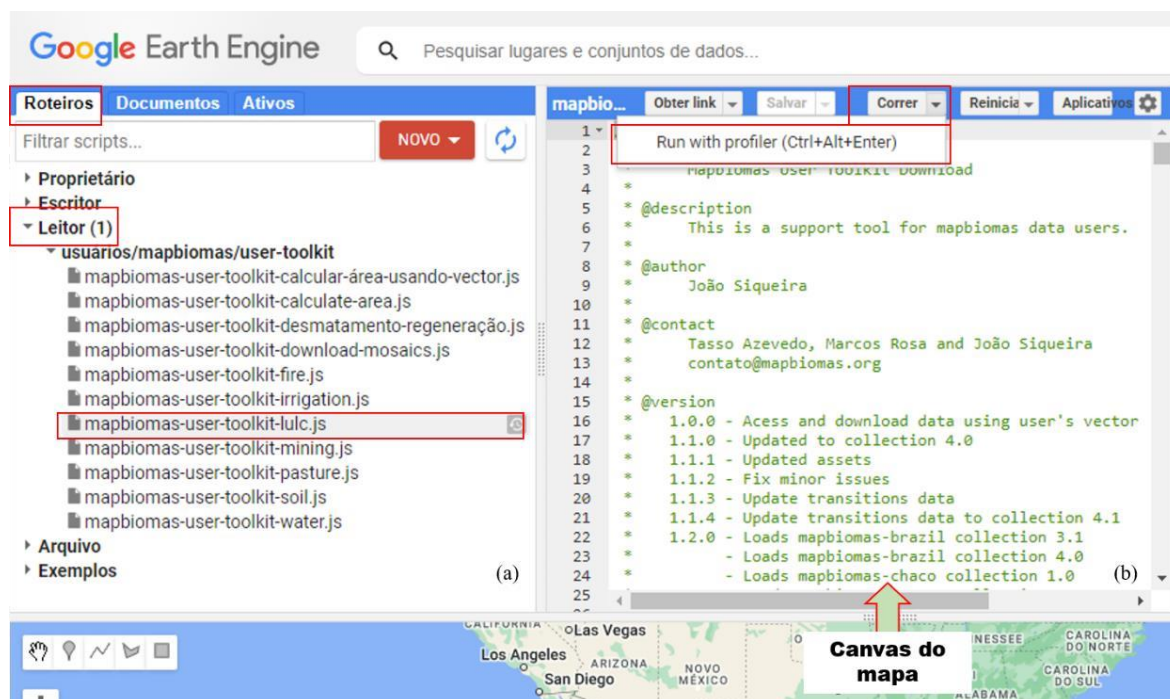
Figura 15 - Google Earth Engine (a) e cadastro na plataforma (b)



Fonte: Autores.

No banco de dados, na aba *roteiros*, no *painel de comando*, selecionar *leitor (1)* e *user/mapbiomas-toolkit*. Logo após, *mapbiomas-us e-toolkit-lulc.js*, como mostra a Figura 16(a). Após esses procedimentos, identifica-se o comando *correr*, no *editor de código* e, ao abrir, basta selecionar *Rum winth profiler*, então o resultado da pesquisa será processado na área canvas, da figura na barra inferior, conforme Figura 16(b)

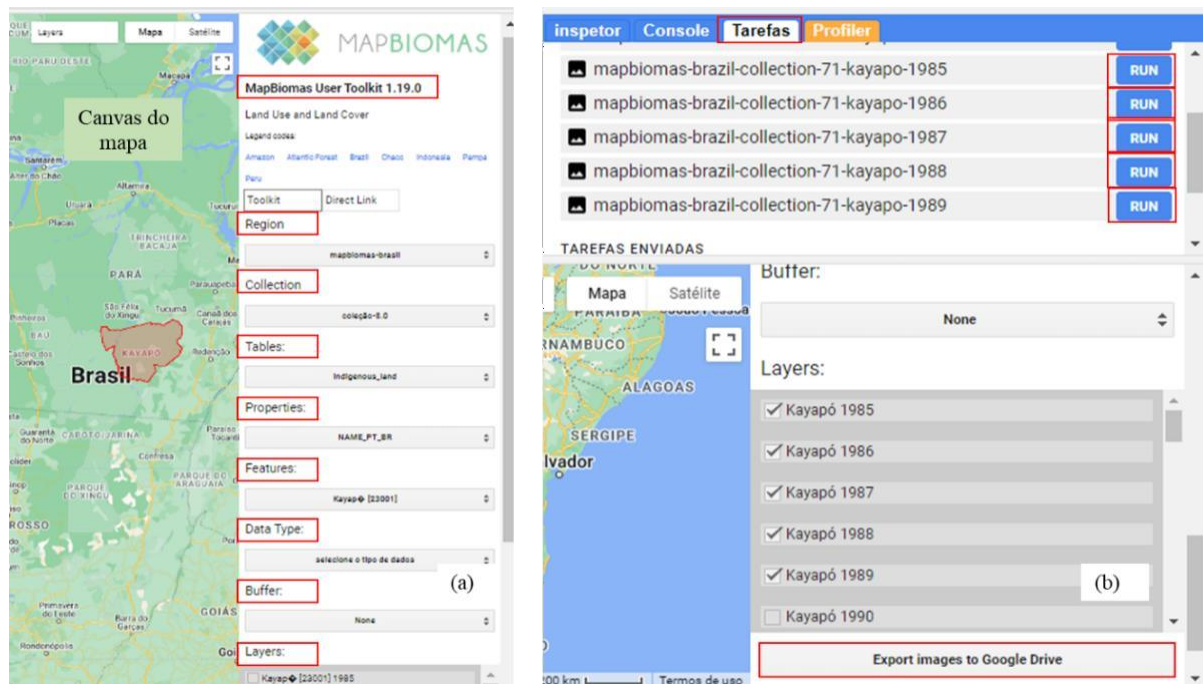
Figura 16 - Painel de comandos (a) e Editor de código (b)



Fonte: Autores.

Em seguida, surgirá o comando *MapBiomias User Toolkit 1.17.0* e os devidos subcomandos, na seguinte ordem: *region, collection, tables, properties, features, data type, buffers e layers* (Figura 17(a)), permitindo ao usuário definir os tipos de ferramentas a serem usados na área de trabalho. Ao selecionar os anos na barra de **painel de status**, executa-se a opção **Tarefas**, conforme mostra a Figura 17 (b).

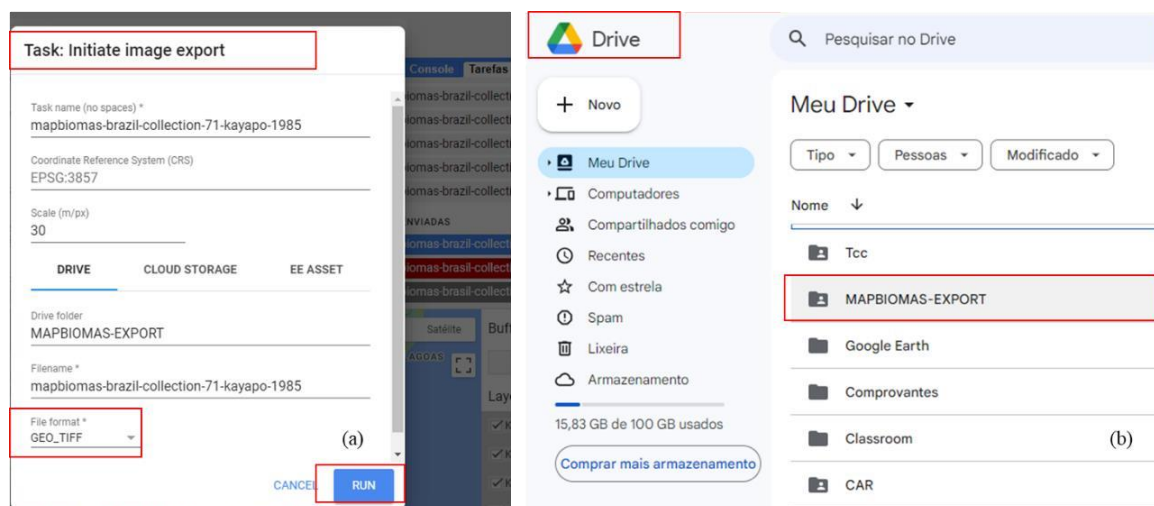
Figura 17 - Subcomandos do MapBiomias (a) e Exportação para o Drive (b)



Fonte: Autores.

Posteriormente, direciona-se as coleções de imagens de satélites Landsat em modo *Geo-tiff*, com resolução de 30 pixels para o *Google Drive* do *e-mail* cadastrado (Figura 18(a)) e uma pasta será automaticamente criada no *drive* (Figura 18(b)) do mesmo *e-mail*.

Figura 18 - Etapa final da exportação (a) e Pasta no drive (b)

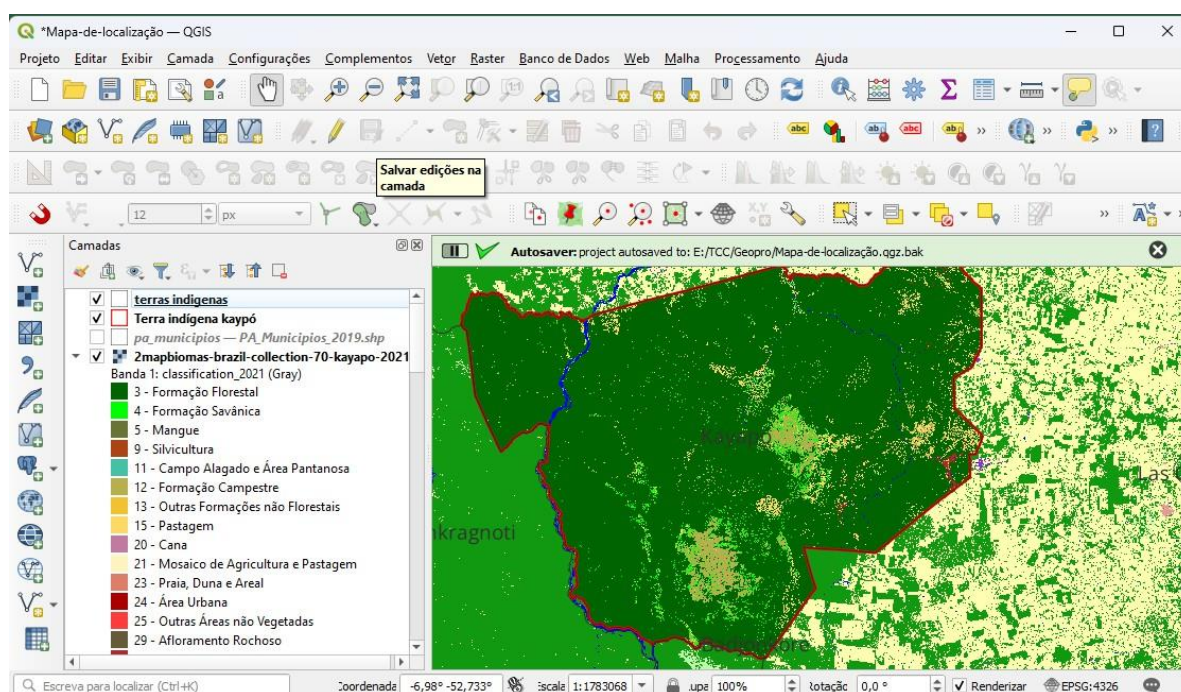


Fonte: Autores.

### 5.2.2 Tratamento de dados no *software* de geoprocessamento (Etapa 3)

Finalmente, para o tratamento das imagens, utiliza-se o *software* QGIS 3.28.8 (Figura 19), um programa de domínio público, com o auxílio da ferramenta de catálogo da coleção 8 de paleta de cores RGB do MapBiomias (Figura 11), que dispõe sobre o uso e cobertura do solo, além da identificação de legendas disponíveis no arquivo. Com o catálogo, pôde-se obter um histórico do uso e ocupação do solo, apresentando e identificando a evolução do garimpo ilegal ao longo dos anos no território indígena Kayapó, aplicados neste trabalho intervalos de cinco anos, entronó período de 1985-2015, e, a cada ano, no período de 2015-2022.

Figura 19 - Interface do QGIS 3.28.8



Fonte: Autores.

### 5.2.3 Prejuízo aos kayapó

As visitas in loco ficaram inviáveis, devido a uma demanda de um tempo maior para o requerimento de autorização dos órgãos competentes. Portanto, o levantamento bibliográfico de trabalhos no *Google acadêmico* e no Periódicos CAPES, que abordam os prejuízos do garimpo a outros territórios tradicionalmente ocupados e até mesmo ao território Kayapó foram de suma importância para a comprovação e identificação da atividade ilegal na área e, principalmente, para a identificação dos impactos negativos à comunidade indígena Kayapó.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

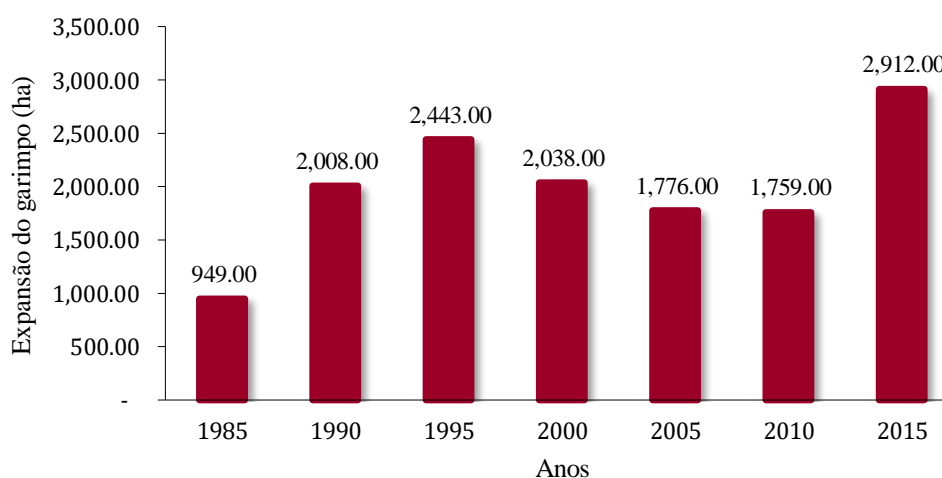
### 6.1 ANÁLISE DO GARIMPO E DA FLORESTA NA TI KAYAPÓ

A análise gráfica do garimpo e da formação florestal foi dividida em dois períodos, para melhor compreensão dos dados, assim como também se realizou com base nos mapas confeccionados neste trabalho.

#### 6.1.1 Variação do garimpo e da floresta com intervalos entre os anos 1985-2015 na TI Kayapó

O Figura 20 demonstra a evolução do garimpo ilegal na TI Kayapó entre os anos 1985-2015, com intervalo de cinco anos para cada demonstração. O ano de 1985 possui 949 hectares de garimpagem ilegal. No ano de 1990, porém, a área total aumentou para 2.008 hectares, continuando crescente em 1995, somando, ao fim, uma área de 2.443 hectares. Nos anos posteriores, notou-se um decréscimo na área de garimpagem, possivelmente por conta das novas leis ambientais regidas, como, a Lei de Crimes Ambientais n.º 9.605 (BRASIL, 1998), de fevereiro de 1998. Observa-se, no ano de 2000, uma área total de mineração ilegal de 2.038 hectares, enquanto, em 2005, possuía 1.776 hectares. Em 2010, apresentou 1.759 hectares, implicando em uma redução de 17 hectares com relação ao ano de 2005. Por fim, no ano de 2015, houve novamente um aumento significativo dessa área, somando um total de 2.912 hectares.

Figura 20 - Atividade garimpeira na TI Kayapó (1985-2015)



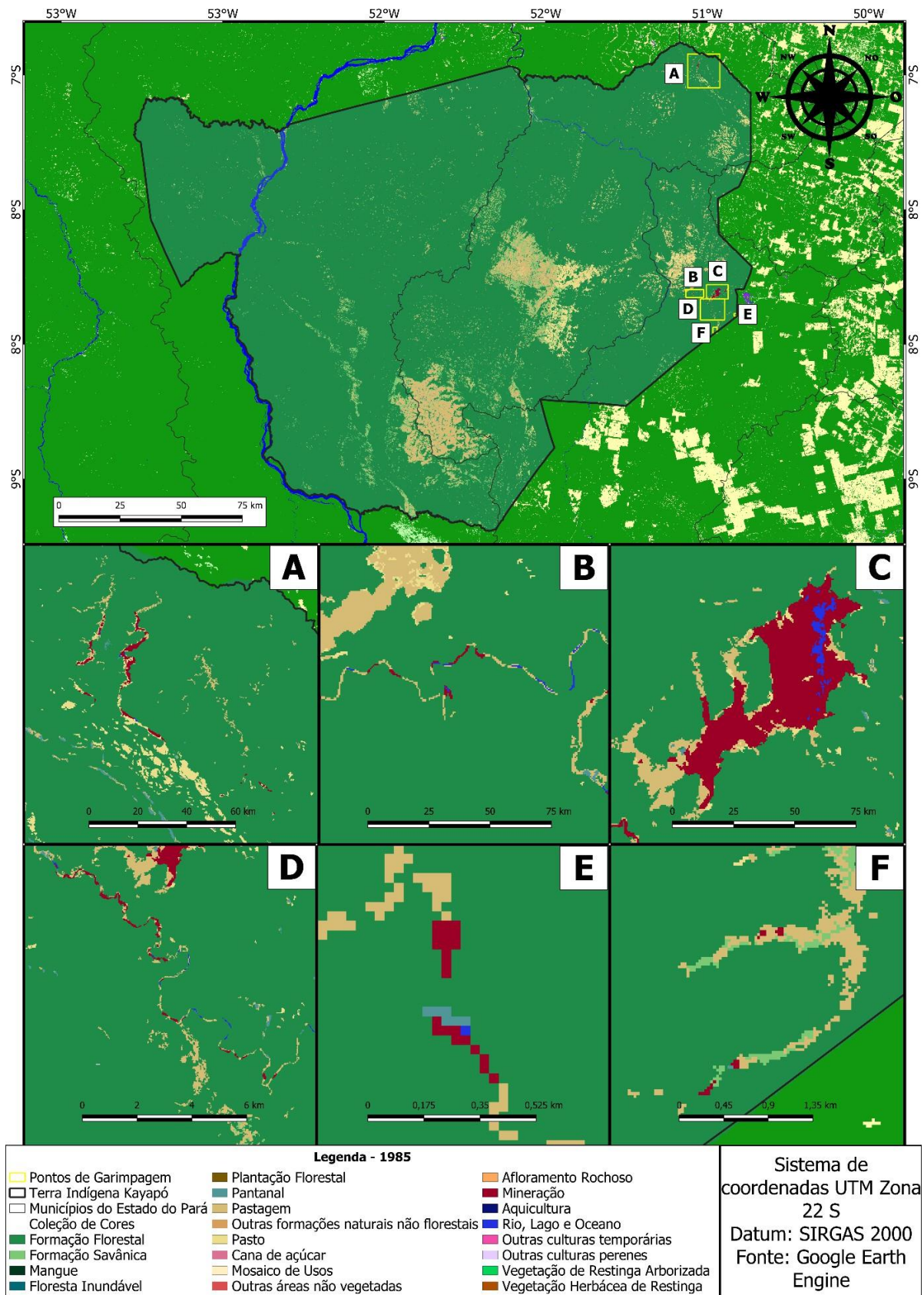
Fonte: Autores, 2023.

A Figura 21 representa os resultados para o ano de 1985, no qual registrou-se garimpo ativo na TI. De acordo com o gráfico, a concentração das atividades garimpeiras encontra-se na região sudeste (Quadrantes B, C, E e F), mais pontualmente ao norte do município de Cumaru do Norte. Vale ressaltar que, no mesmo ano, é possível perceber a existência de uma concentração de garimpo ao norte da região estudada (Quadrante A), que também se integra ao norte do município de Ourilândia do Norte.

No ano de 1990 (Figura 22), observa-se a expansão do garimpo ao norte da TI, exatamente ao norte do município de Ourilândia do Norte (Quadrantes A e B). Além disso, nota-se um sutil surgimento da garimpagem ao nordeste da região em estudo, oeste do município de Bannach, (Quadrante C). No ano de 1995 (Figura 23), surgem novos focos de atividade garimpeira na região sudeste, precisamente ao sudeste do município de Ourilândia do Norte (Quadrantes E e F) e ao nordeste da região estudada, oeste do município de Bannach (Quadrante B). Em 2000 (Figura 24), toda a área de estudo apresentou uma pequena redução da atividade garimpeira na TI.

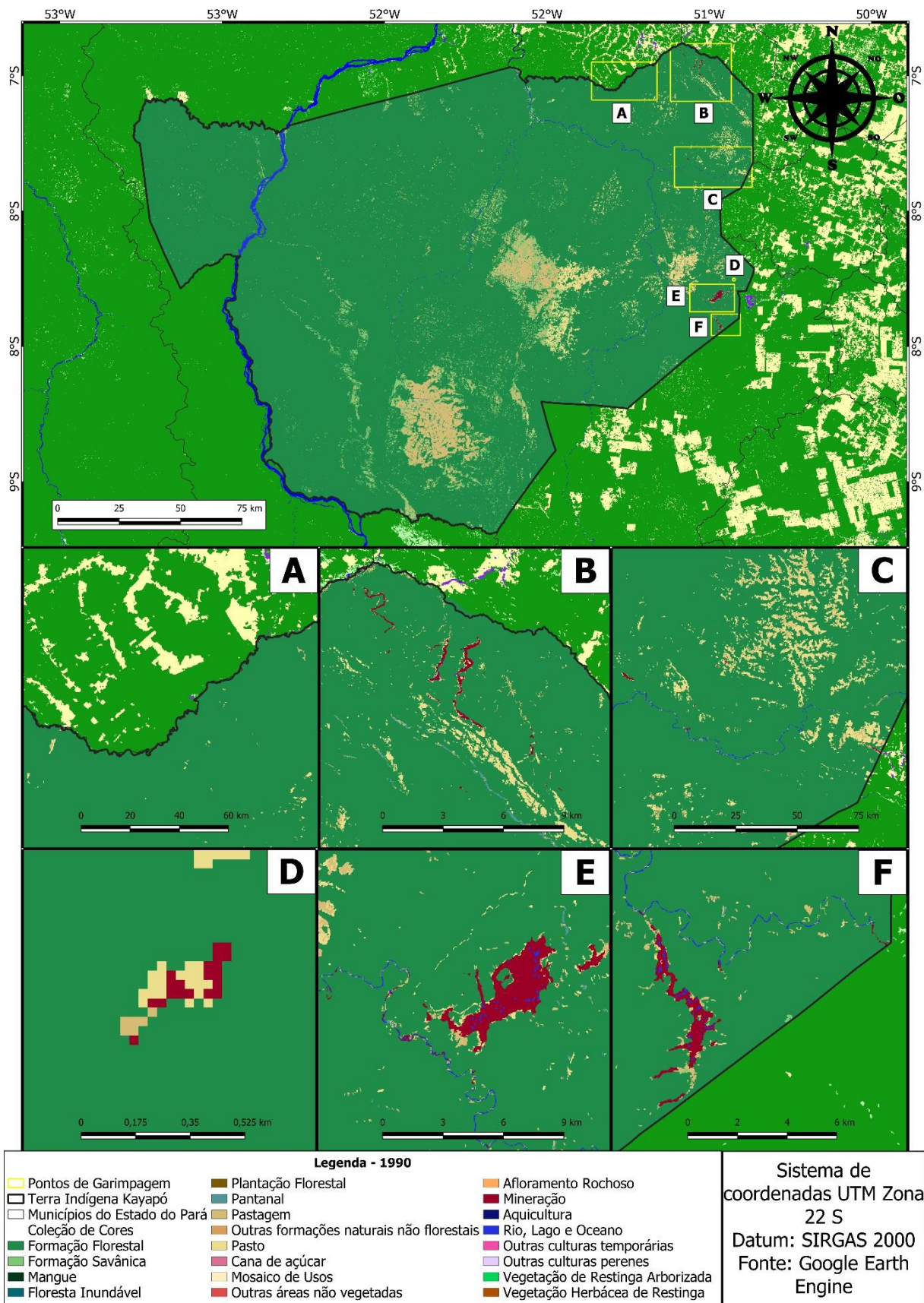
Nos anos de 2005 e 2010 (Figura 25 e 26), houve reduções significativas em todas as áreas de garimpo da região em comparação ao ano de 1995. Em 2015 (Figura 27), observa-se a expansão de garimpagem em toda área estudada, inclusive o surgimento de novos focos de atividade, representado pelos Quadrantes A, B, C, D, E, F, G e H.

Figura 21- Garimpos na TI Kayapó no ano de 1985



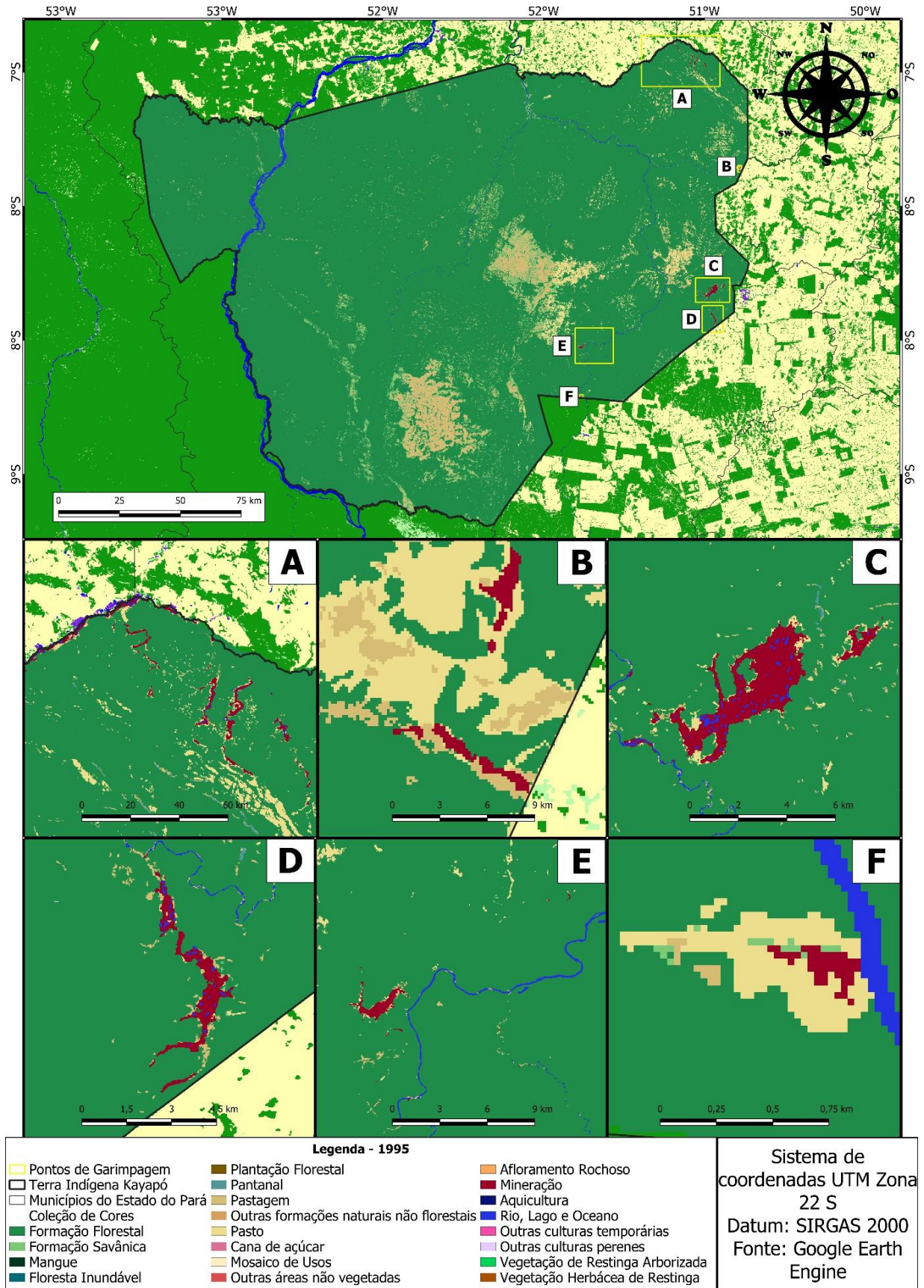
Fonte: Autores.

Figura 22 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 1990



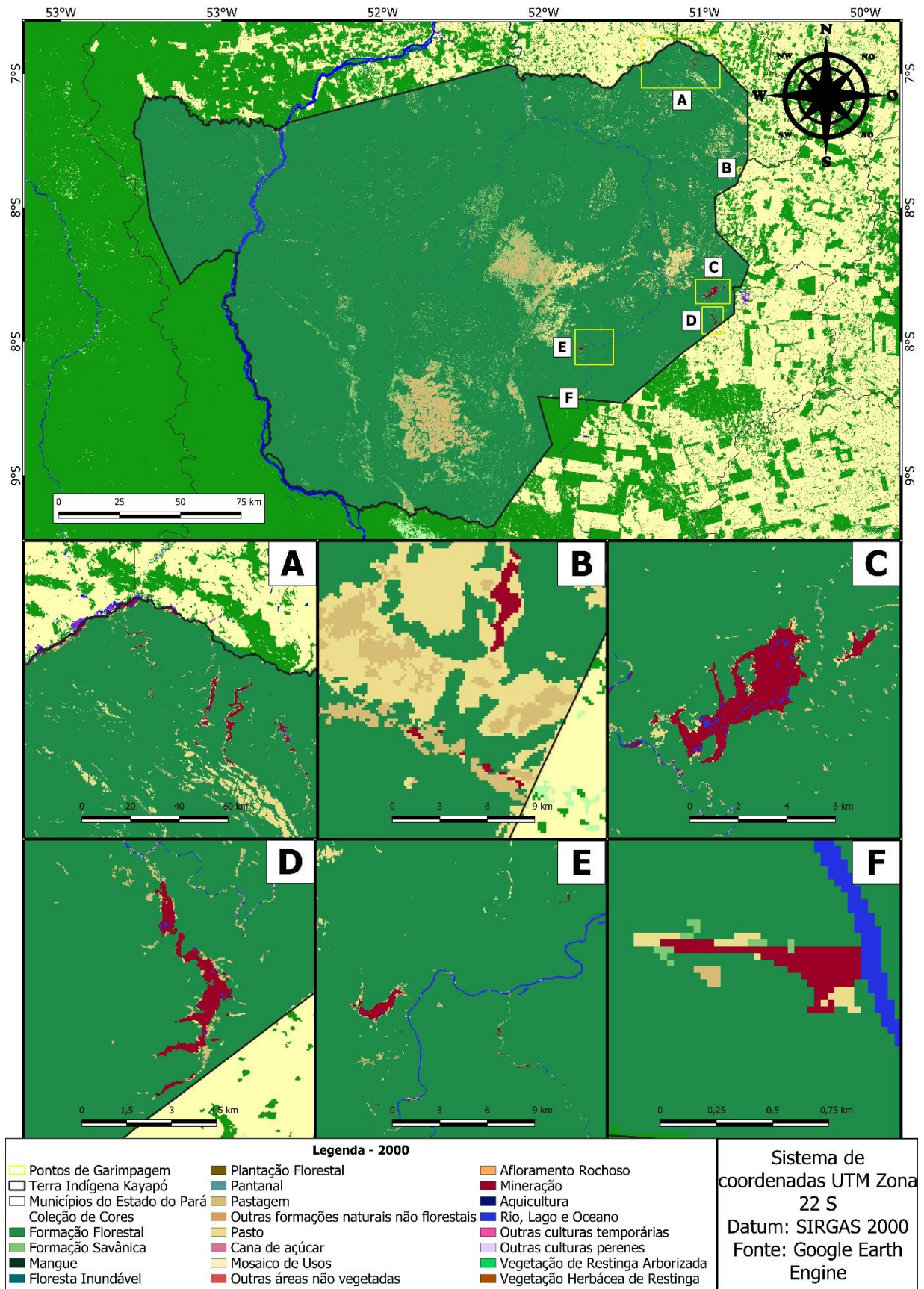
Fonte: Autores.

Figura 23 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 1995



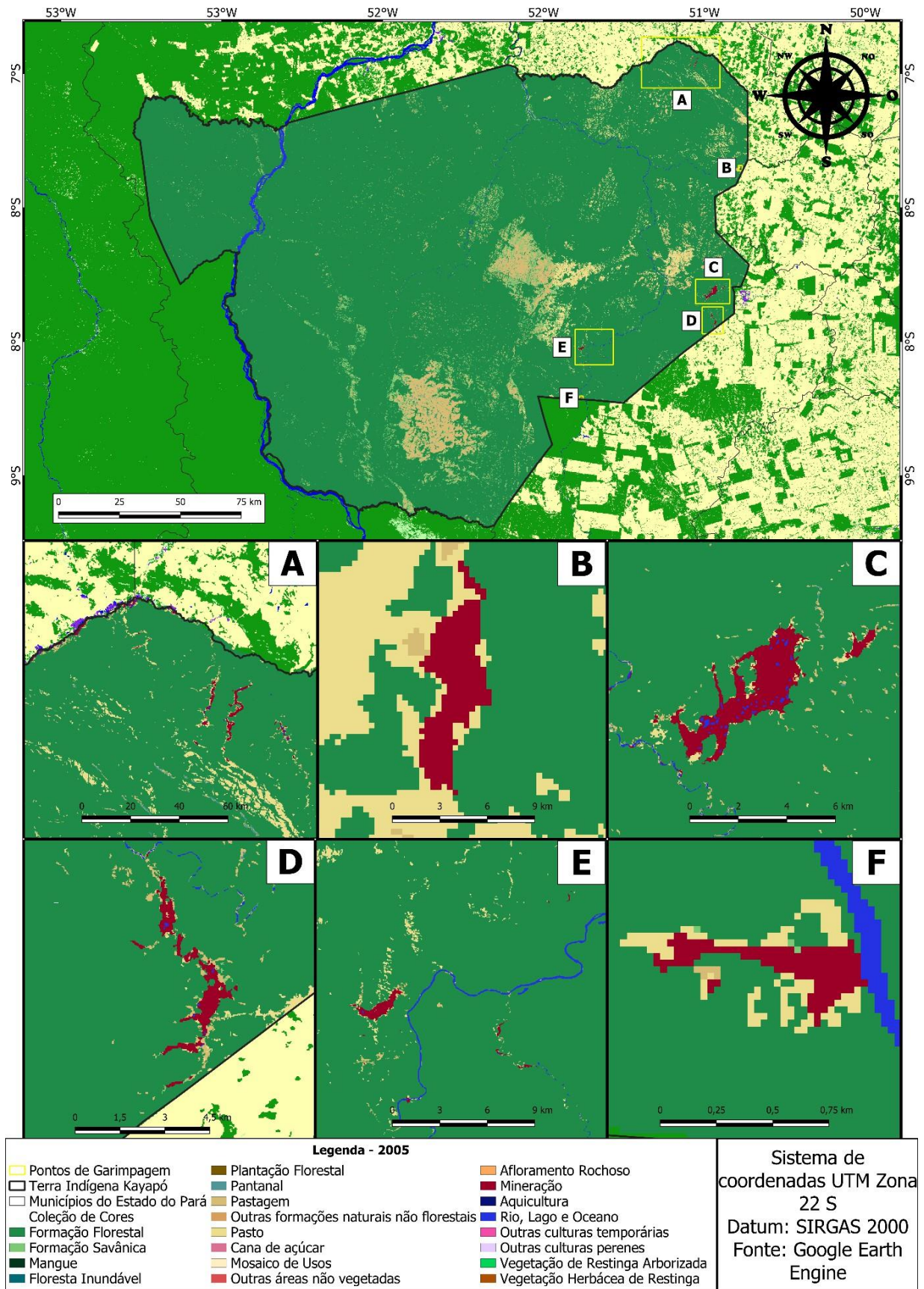
Fonte: Autores.

Figura 24 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2000



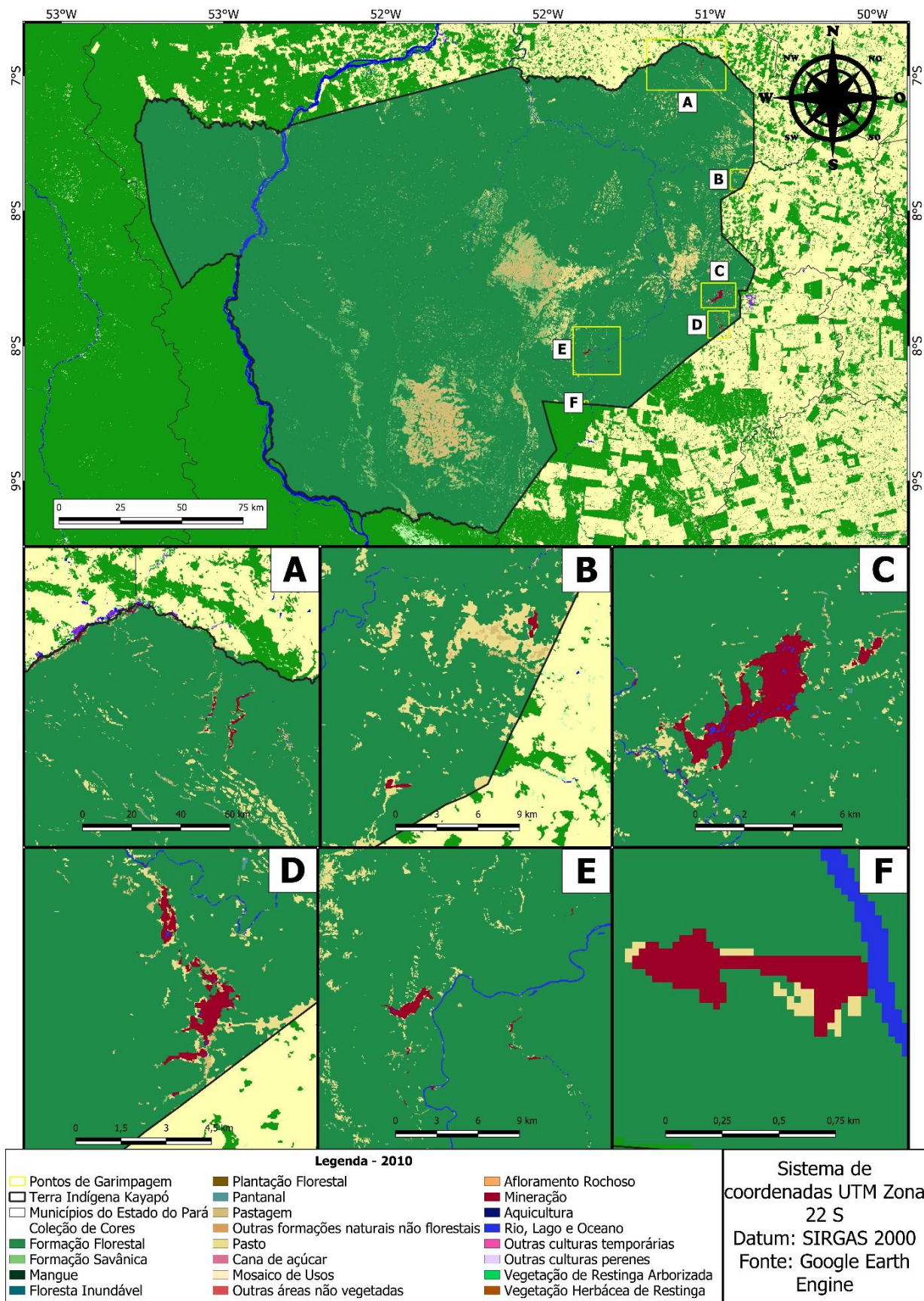
Fonte: Autores.

Figura 25 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2005



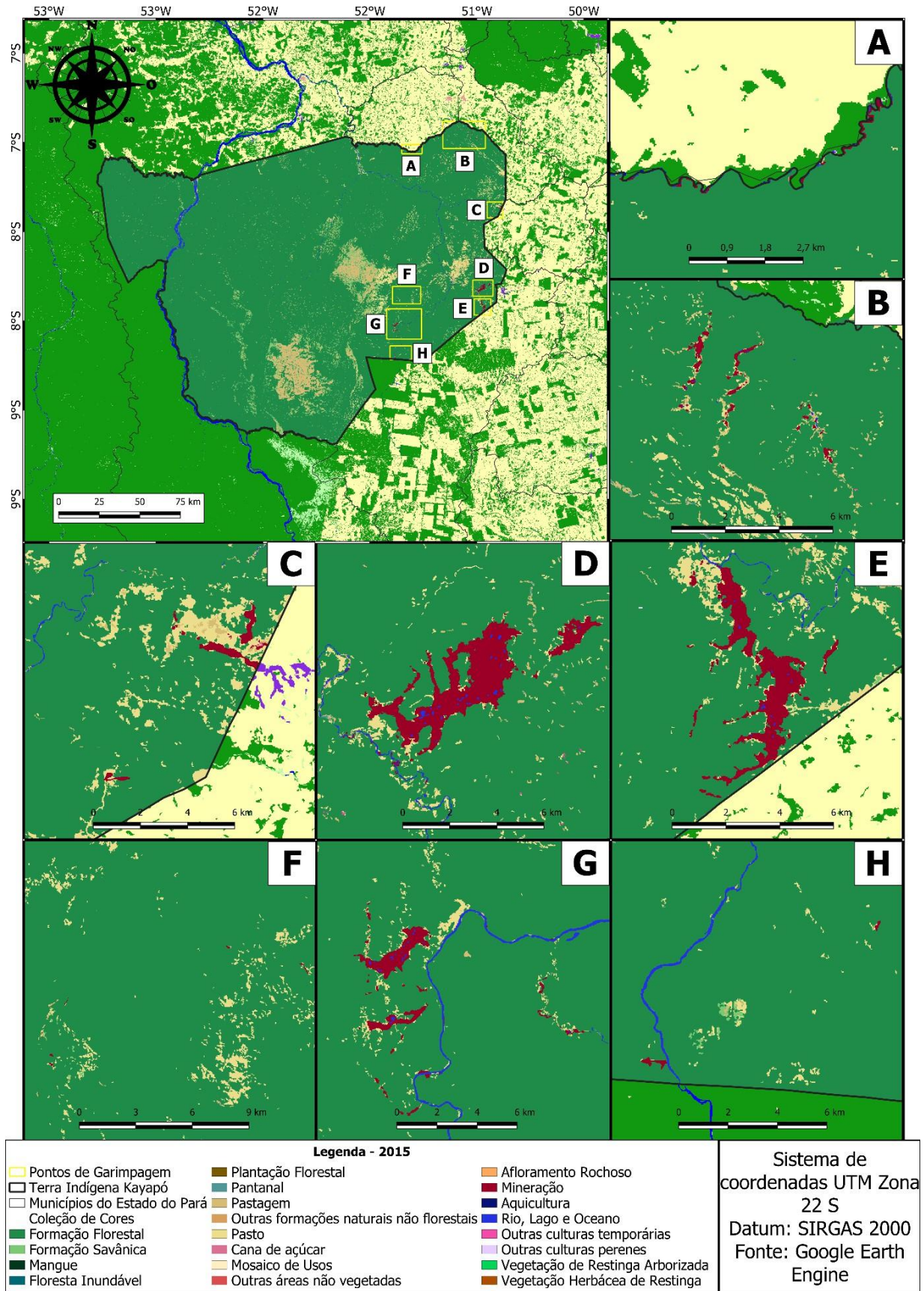
Fonte: Autores.

Figura 26 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2010



Fonte: Autores.

Figura 27 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2015

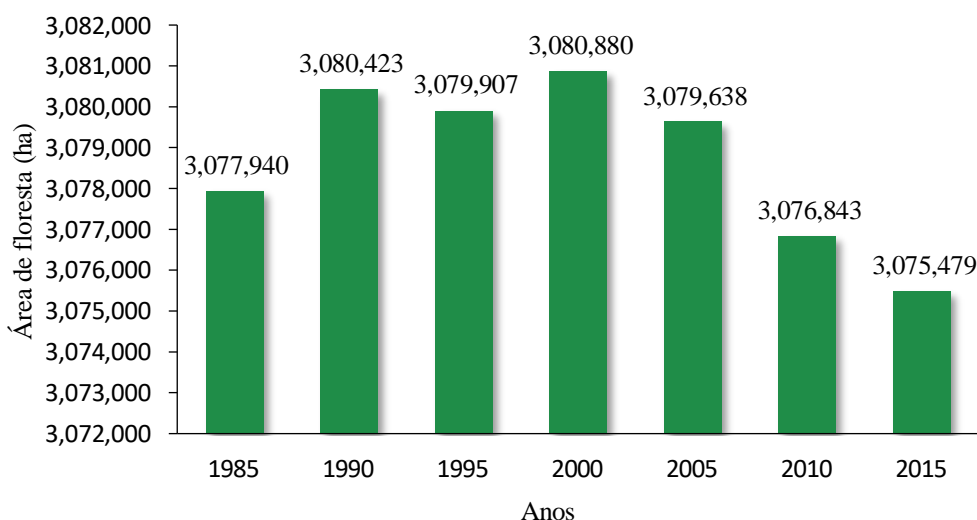


Fonte: Autores.

A Figura 28 abaixo demonstra a variação da área florestal de 1985-2015, com intervalos de cinco anos. No início do estudo (1985), a área de floresta é de 3.077.940 hectares. Logo no ano de 1990, observa-se o aumento de 2.483 hectares. Este valor é discordante, pois na Figura 20 nota-se a expansão do garimpo nesse ano. Este acontecimento se dá, pois, como explicado no item 5.2.1.1, existe um erro na área de formação florestal, que ao longo dos anos vai se ajustando.

A partir de 1990, a área florestal, que estava com 3.080.423 hectares, varia conforme a expansão do garimpo, como pode ser verificado também nas Figura 20 e 27 acima. No ano de 1995, a área era de 3.079.907 hectares. No ano 2000, houve o aumento de 973 hectares, com valor final de 3.080.880 hectares. Nesse intervalo de 5 anos, houve a recuperação de área florestal e a diminuição do garimpo, conforme analisado nas Figura 23 e 24. Já no ano de 2005, a área florestal reduziu para 3.076.638 hectares, bem como reduz mais ainda no ano de 2010, totalizando uma área de 3.076.843 hectares. Uma redução significativa ocorreu também no ano de 2015, finalizando o período analisado com uma área florestal de 3.075.479 hectares, coincidindo com o aumento da garimpagem, conforme pode ser visualizado na Figura 20 e na Figura 27.

Figura 28 - Área de formação florestal com intervalo de cinco anos na TI Kayapó

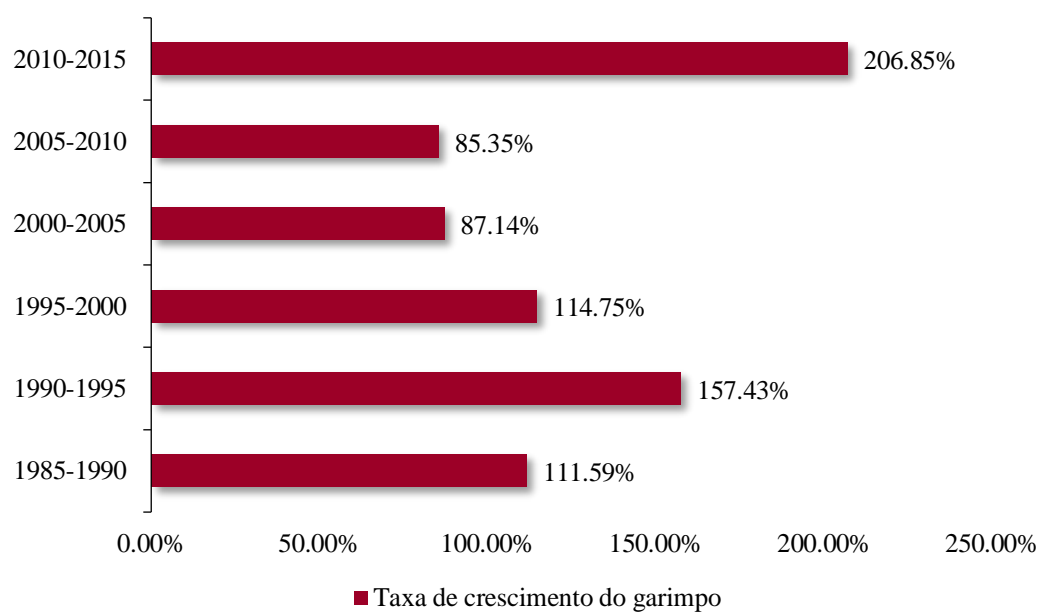


Fonte: Autores.

A Figura 29 representa a taxa de crescimento anual de áreas garimpeiras na TI Kayapó, tendo como base inicial o ano de 1985 e final o ano de 2015. Observando os anos de 1985-1990, houve um aumento de 111,59% de garimpagem, dando continuidade ao aumento nos anos de 1990-1995, evoluindo para 157,75% nesse período. Por sua vez, nos anos de 1995-

2000, observou-se uma redução, com um valor de 114,75%. Dando continuidade à redução nos anos de 2000-2005, a supressão foi de 87,13% nesse período. Nos anos de 2005-2010, observou-se uma pequena redução de 1,79% com base nos anos anteriores, com um valor de 85,35%, entretanto, nos anos seguintes, de 2010-2015, houve um aumento significativo, concentrando uma porcentagem de 200,85% de garimpagem ilegal na TI kayapó. Este aumento pode estar associado à atenção voltada para o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e, ainda segundo Nóbrega (2020), o governo, entre o período de 2011-2016, sofreu uma série de críticas, por não dar continuidade às políticas ambientais. No referido governo, houve mudança no Código Florestal. As áreas das unidades de proteção foram reduzidas e reduziu-se a consequentemente capacidade do Ibama de controlar a violação dos regulamentos de licença ambiental.

Figura 29 - Taxa de crescimento do garimpo no período de cinco anos na TI Kayapó

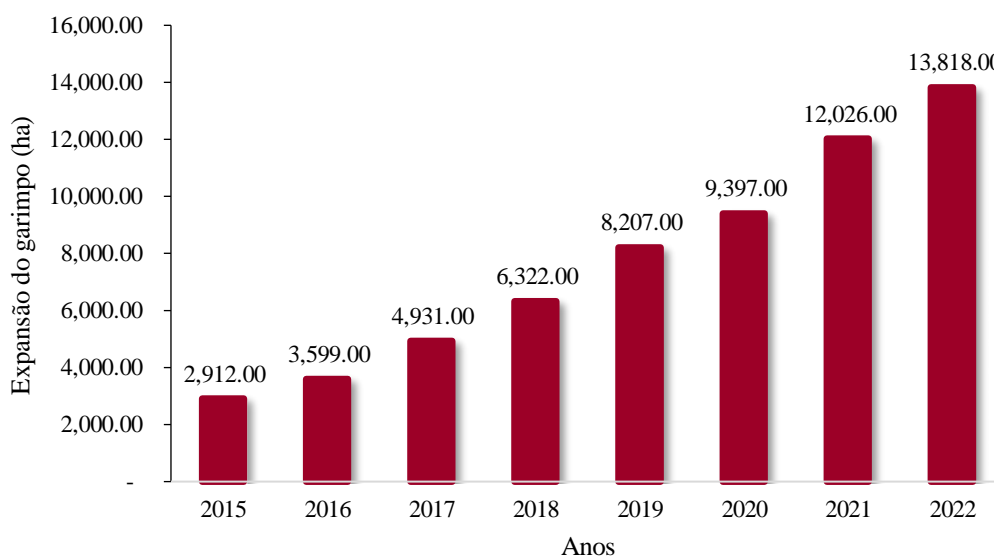


Fonte: Autores.

### 6.1.2 Variação do garimpo e da floresta anual na TI Kayapó (2015-2021)

Na Figura 30, percebe-se a expansão do garimpo na TI, com intervalos de apenas um ano para cada levantamento entre 2015-2022. Para o ano de 2015, foram registrados 2.912 hectares de garimpo ativo. No ano de 2016, registrou-se 3.599 hectares. No ano de 2018, catalogou-se 6.322 hectares. No ano de 2019, listou-se 8.207 hectares. Nos anos de 2020, 2021 e 2022, foram constatadas áreas de garimpo totais de 9.397 hectares, 12.026 hectares e 13.818 hectares, respectivamente. Vale ressaltar que, em apenas oito anos de estudos, observou-se um aumento de 10.906 hectares de expansão da atividade garimpeira na área de estudo.

Figura 30 - Atividade garimpeira anual na TI Kayapó



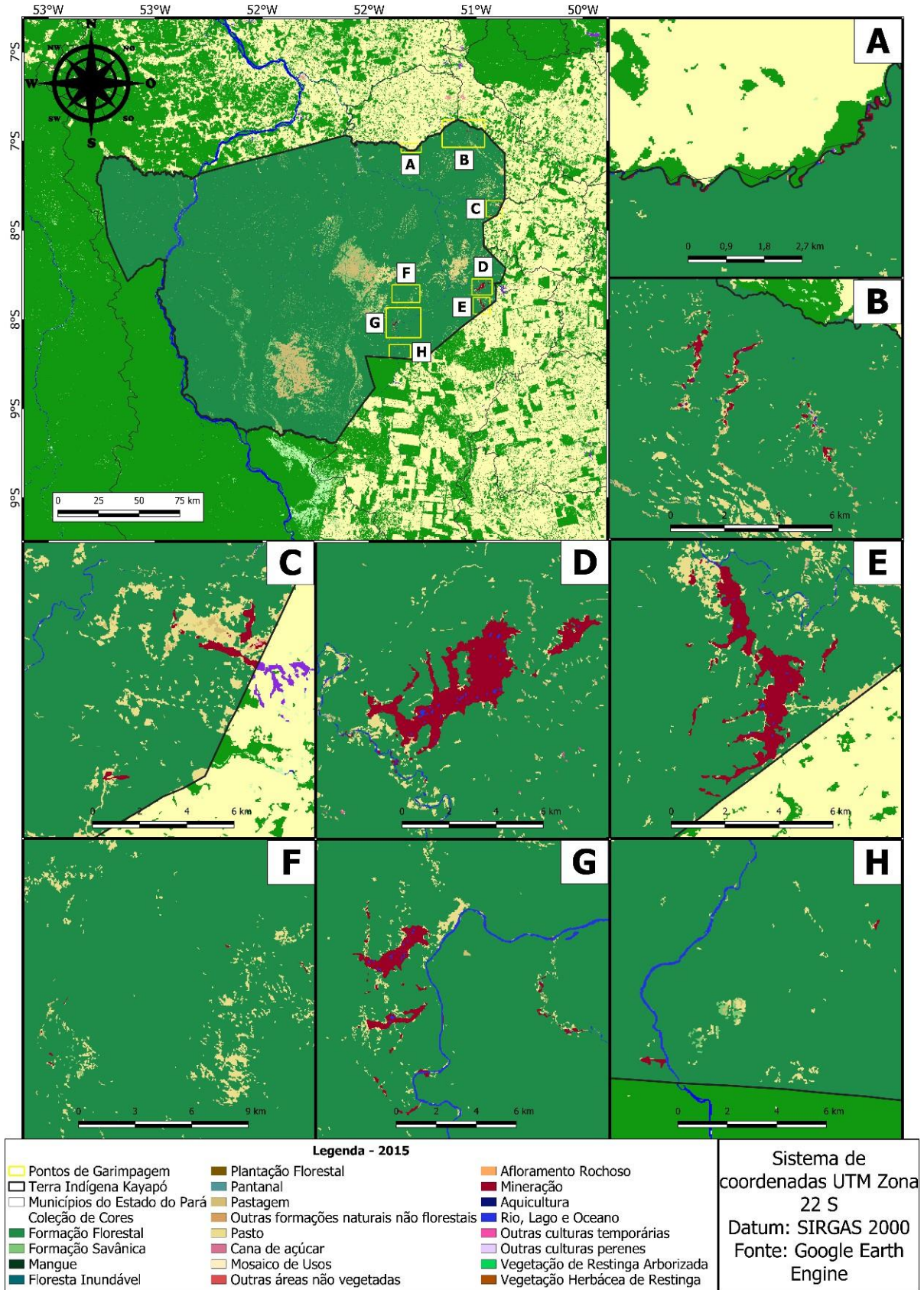
Fonte: Autores.

Na Figura 31, percebe-se os resultados referentes ao ano de 2015. Os focos de áreas de atividade garimpeira na TI foram divididos em quadrantes (A, B, C, D, E, F, G e H). Os quadrantes A e B encontram-se ao norte, região norte do município de Ourilândia do Norte. O quadrante C avista-se ao nordeste da área em estudo, região oeste do município de Bannach. Os quadrantes D e E situam-se ao sudeste da TI, precisamente ao norte do município de Cumaru do Norte. O quadrante F localiza-se ao sudeste do território em estudo, pontualmente ao sudeste do município de Ourilândia do Norte. E os quadrantes G e H situam-se ao sudeste da TI, ao sudeste do município de Ourilândia do Norte e ao norte de Cumaru do Norte, ambos os municípios divididos pelo rio Fresco.

No ano de 2016 (Figura 32), observa-se um grande avanço da atividade garimpeira na região norte da área de estudo e um novo foco, na divisa com o município de Tucumã (Quadrantes A e B) e um pequeno avanço ao sudeste da TI (Quadrantes D e E). Vale ressaltar que os quadrantes F, G e H obtiveram o mesmo resultado do ano anterior. No ano de 2017 (Figura 33), destaca-se uma crescente expansão do garimpo em todas as áreas em estudo, destacando-se, na região norte da TI, o surgimento de mais focos no local.

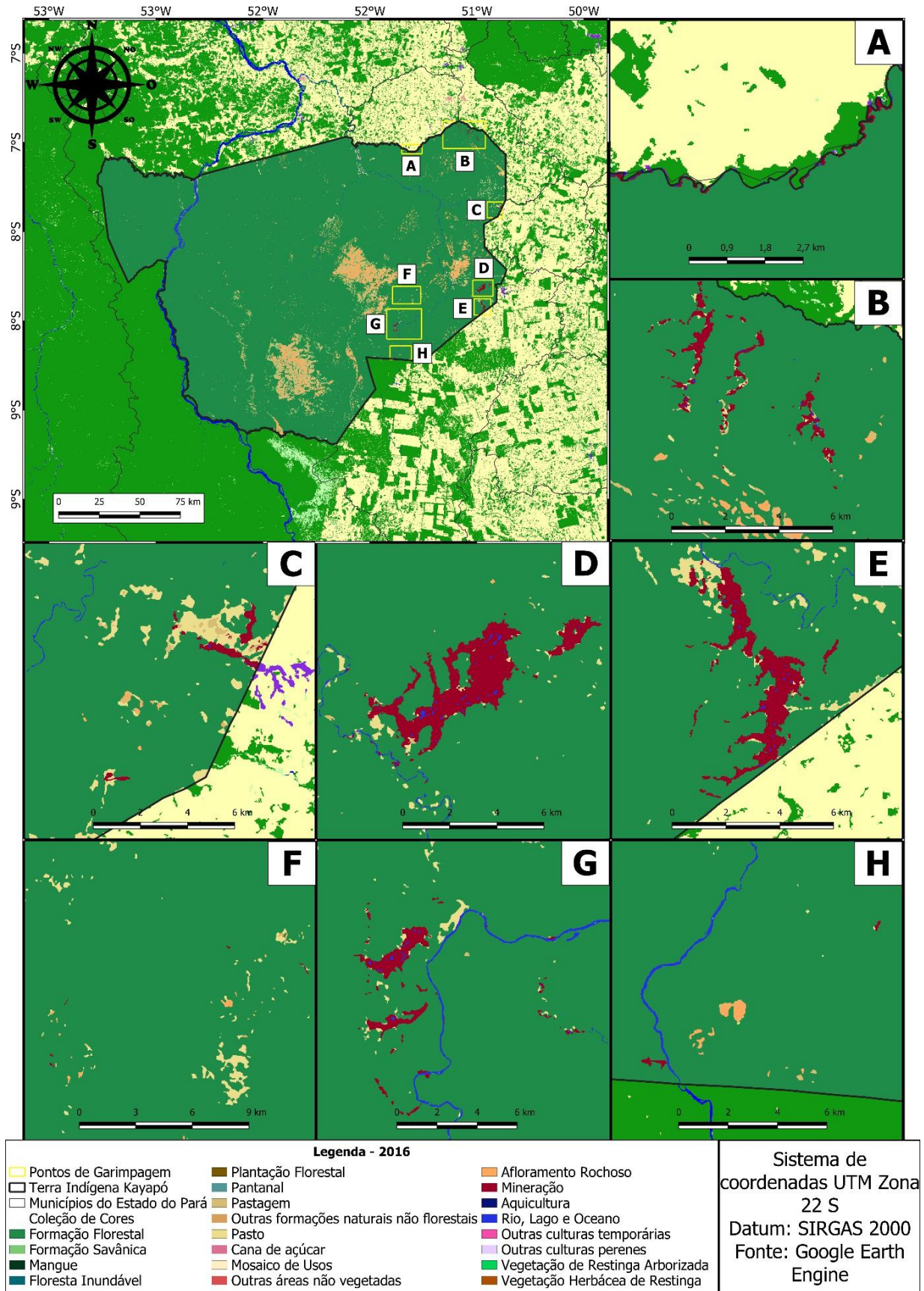
Para os anos de 2018 (Figura 34), 2019 (Figura 35), 2020 (Figura 36), 2021 (Figura 37) e 2022 (Figura 38), percebe-se em todos os Quadrantes A, B, C, D, E, F, G e H uma constância no crescimento da atividade garimpeira na TI Kayapó, com destaque para o ano de 2022 com o ápice do garimpo na região.

Figura 31- Garimpos na TI Kayapó no ano de 2015



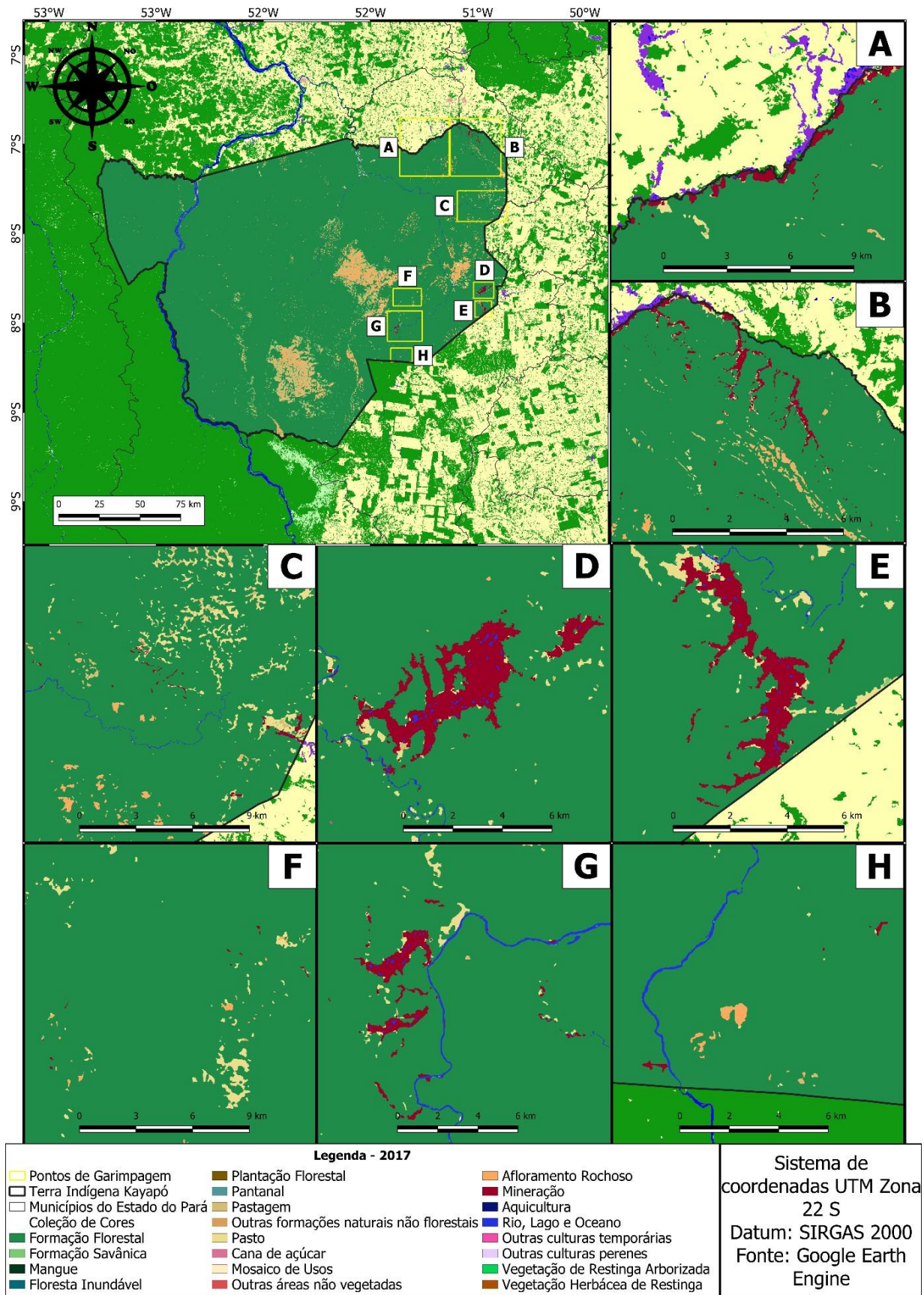
Fonte: Autores.

Figura 32 Garimpos na TI Kayapó no ano de 2016



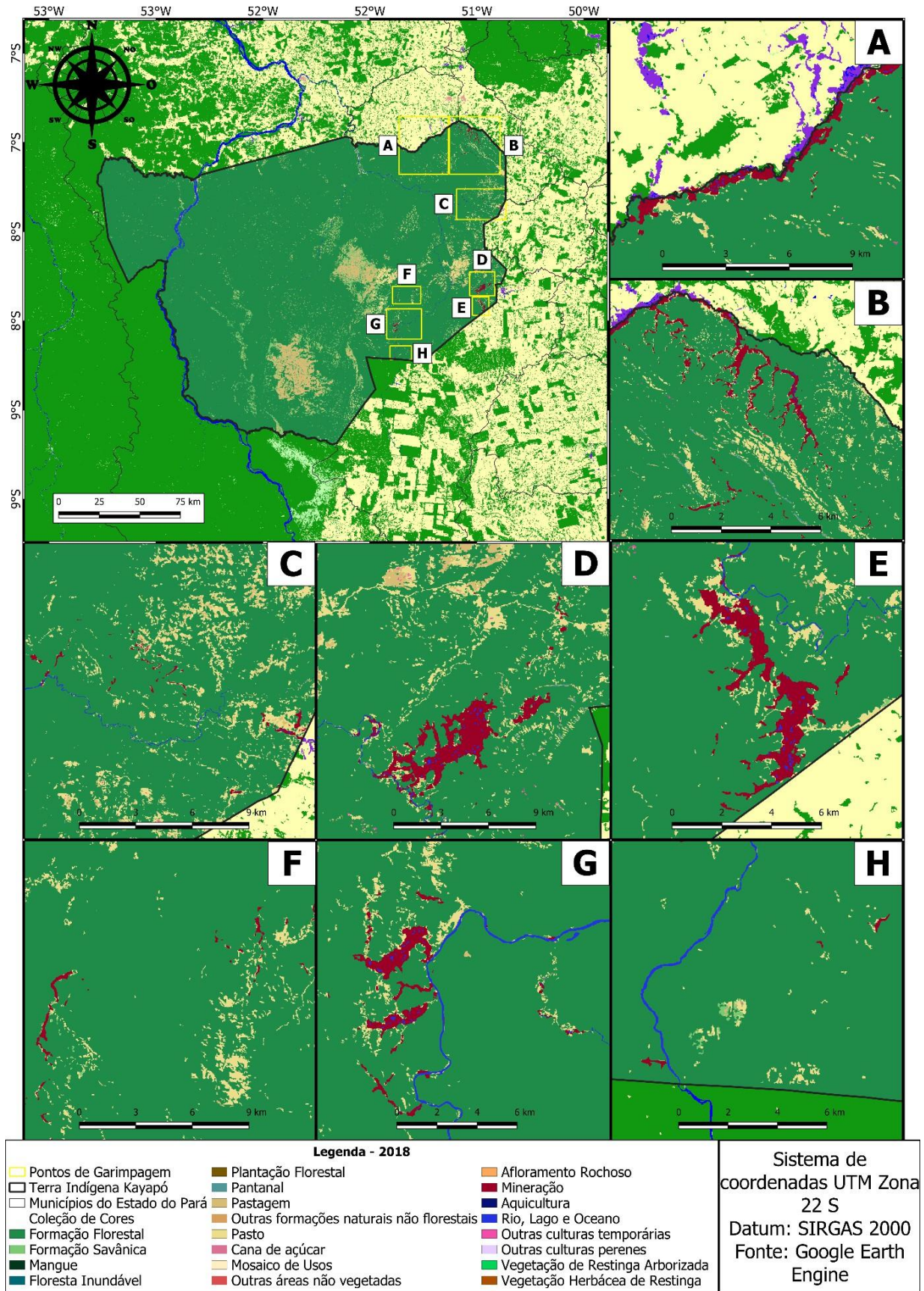
Fonte: Autores.

Figura 33 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2017



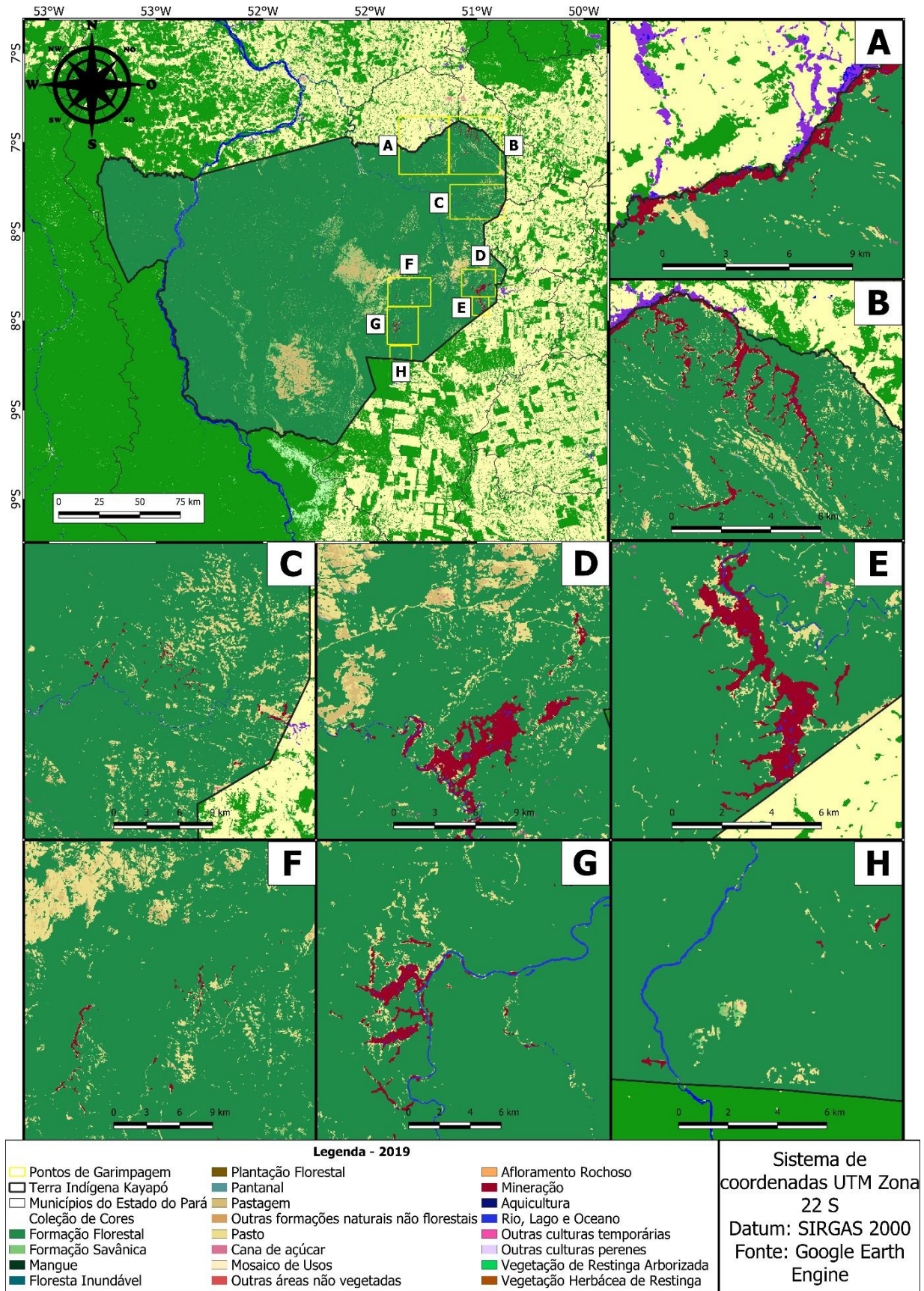
Fonte: Autores.

Figura 34 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2018



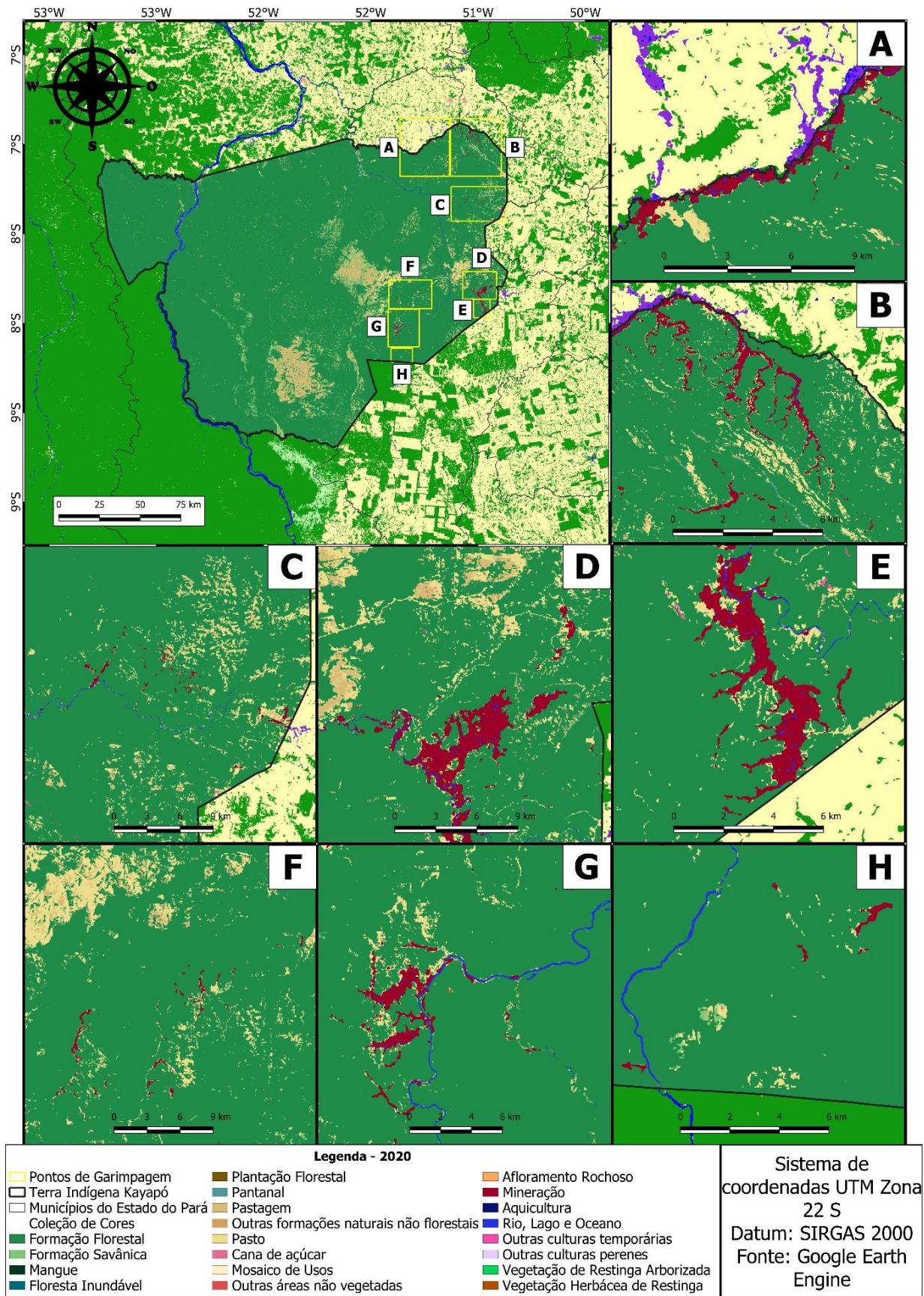
Fonte: Autores.

Figura 35 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2019



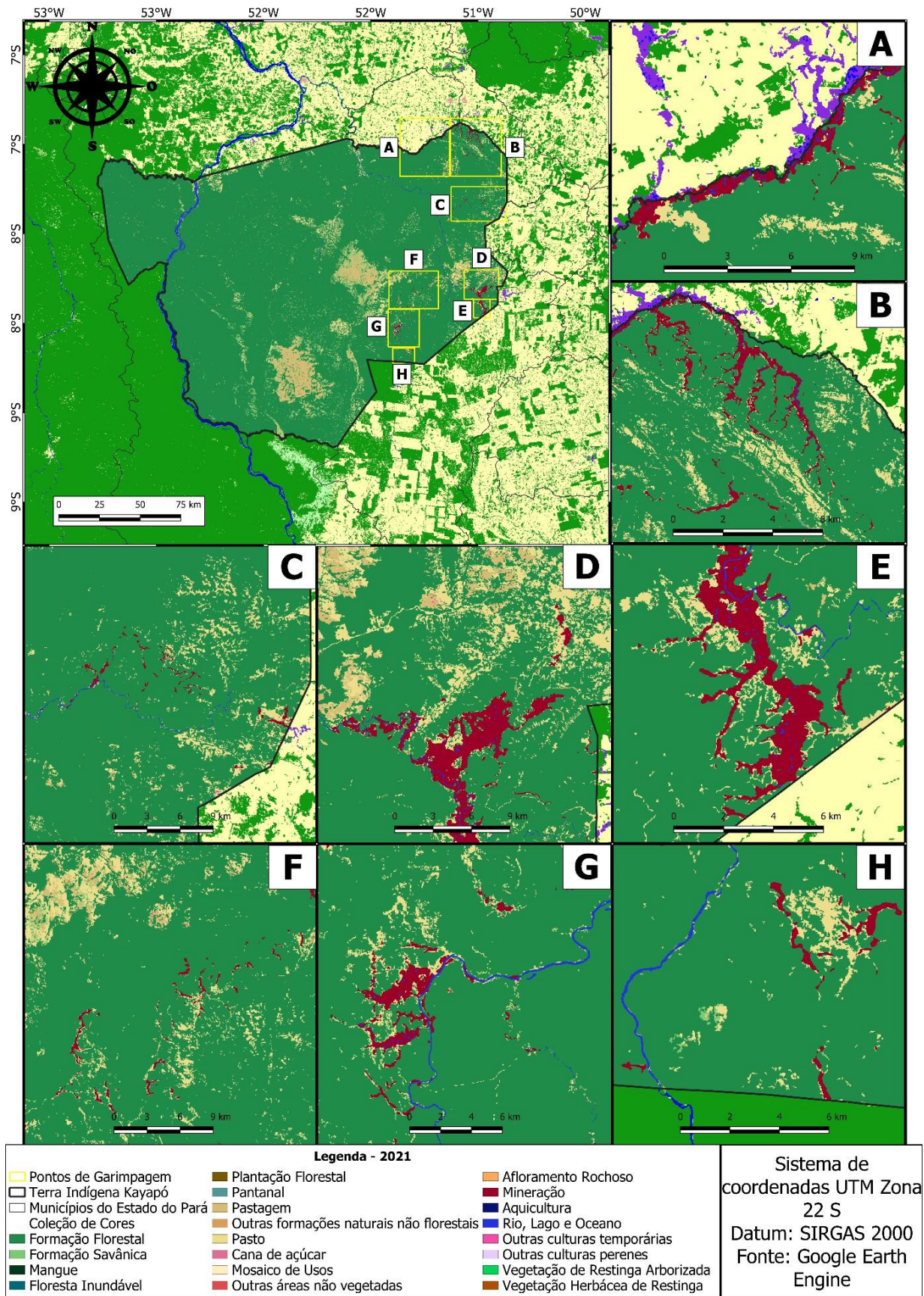
Fonte: Autores.

Figura 36 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2020



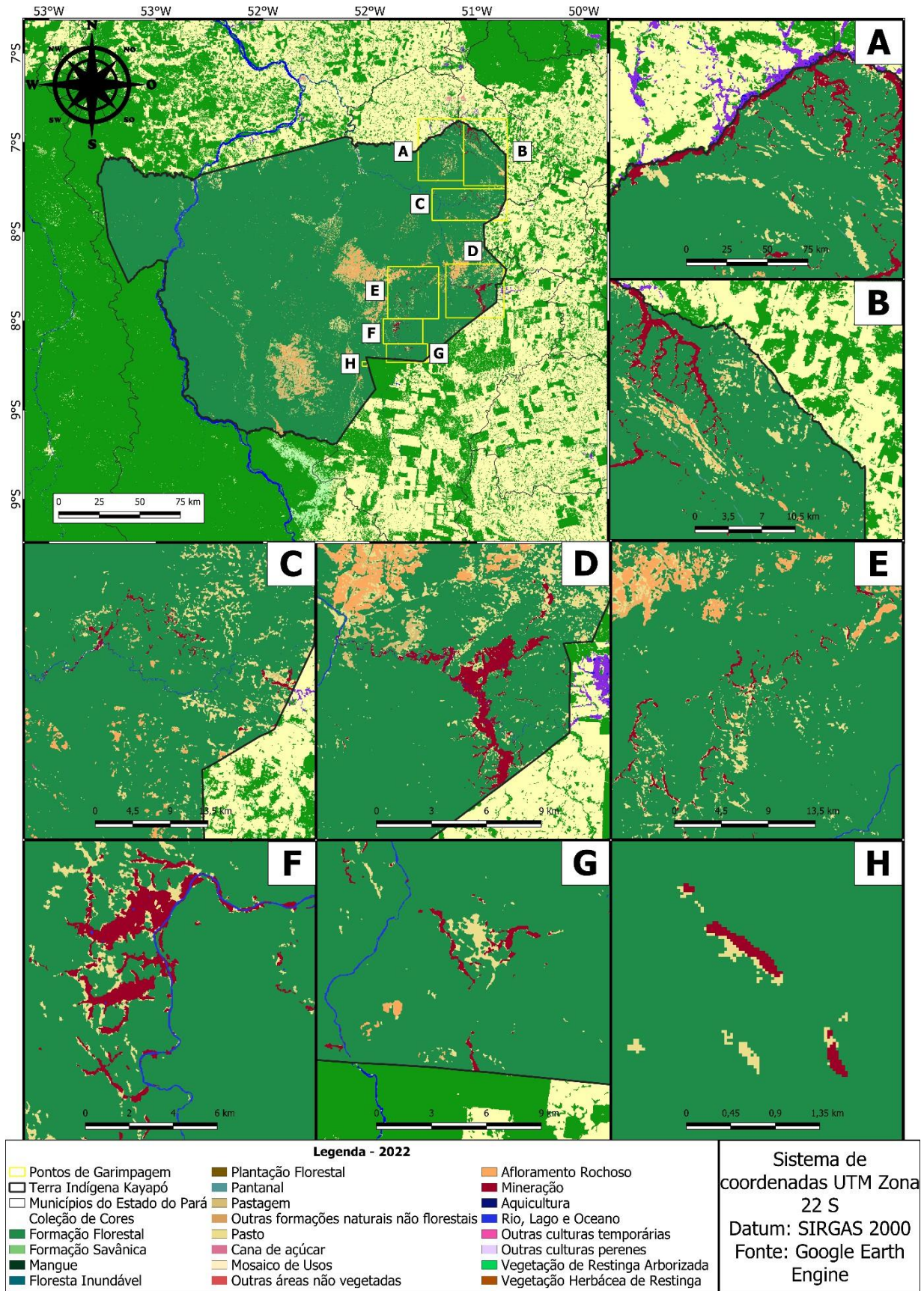
Fonte: Autores.

Figura 37 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2021



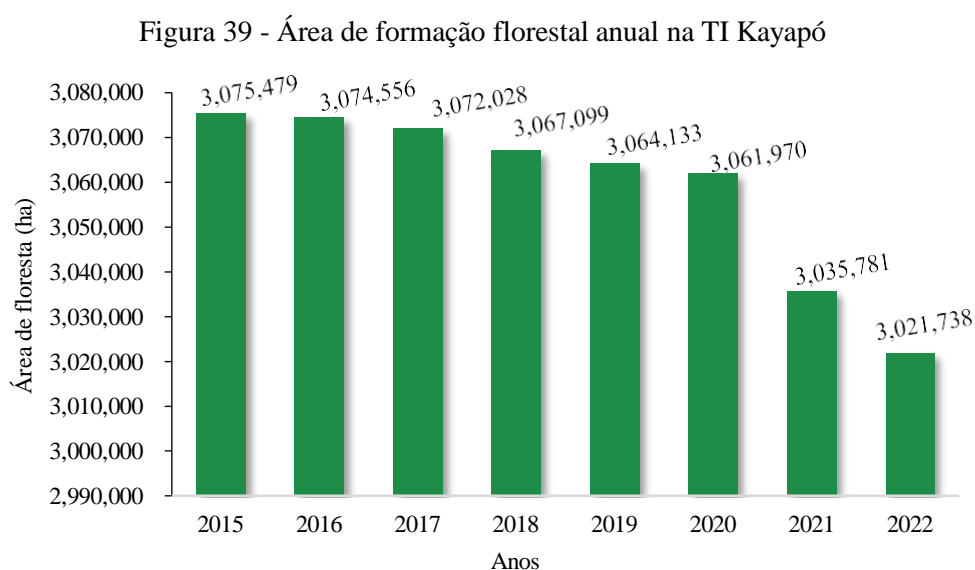
Fonte: Autores.

Figura 38 - Garimpos na TI Kayapó no ano de 2022



Fonte: Autores.

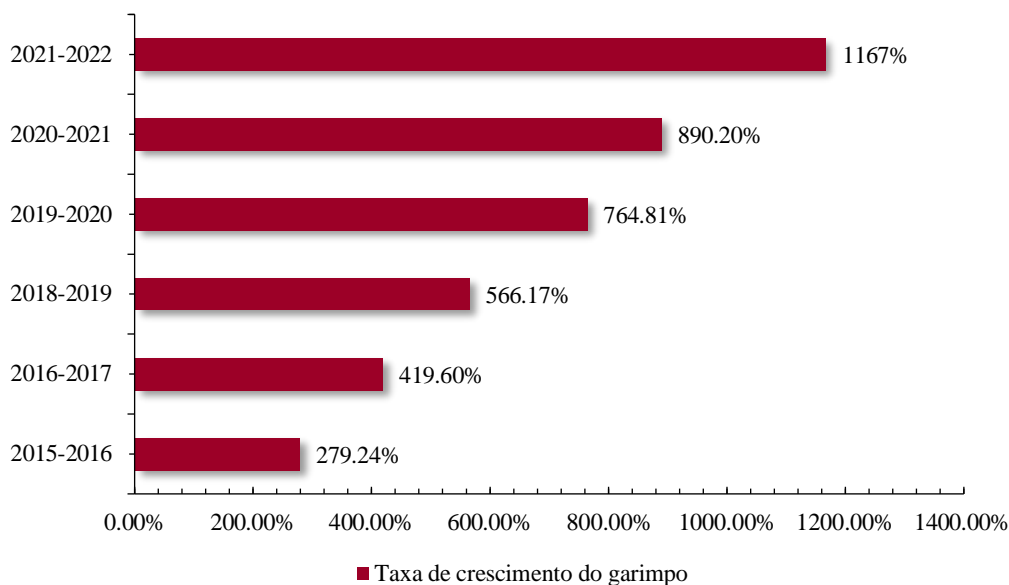
A Figura 39 abaixo demonstra a redução anual da área florestal, iniciando o ano de 2015 com 3.075.479 hectares e, no ano de 2016, apresentando 3.074 hectares. Em 2017, houve uma redução dessa área, caindo para 3.072.028 hectares. Em 2018, apresentou 3.067.099 hectares e, em 2020, com 3.061.970 hectares. A maior redução analisada foi referente aos anos de 2021 e 2022. Em 2021 ocorreu uma redução de 26.189 hectares, restando 3.035.78 hectares de floresta. Em 2022, ocorreu uma supressão de floresta de 40.232 hectares comparando-se ao ano de 2020, com um valor de 3.021.738 hectares.



Fonte: Autores.

A Figura 40 apresenta uma taxa anual de crescimento da garimpagem ilegal acumulada tendo base o ano de 1985, segundo Mataveli *et al.* (2022), a atividade de garimpo ilegal dentro da terra indígena foi a mais intensa da história nos últimos anos, período no qual a estimativa da área de ocupação em 2020 foi de 77,1 km<sup>2</sup>, um aumento de quase 1.000% em relação ao ano de 1985, de 7,2 km<sup>2</sup>.

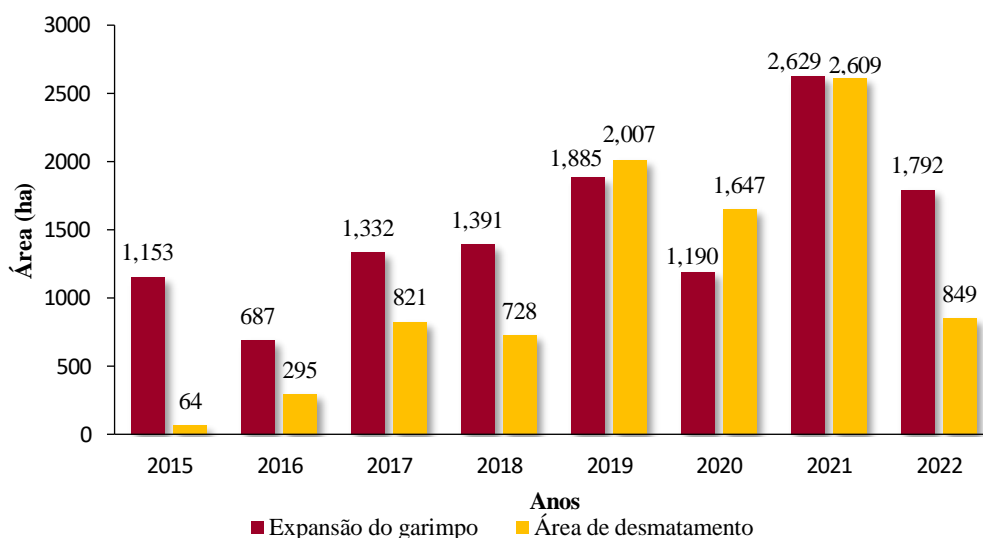
Figura 40 - Taxa de crescimento do garimpo anual na TI Kayapó



Fonte: Autores.

A Figura 41 apresenta a comparação da evolução do garimpo com o desmatamento na TI Kayapó para cada ano de estudo no período de 2015-2022. Com exceção de 2015, no qual a área de floresta suprimida é significativamente menor que o crescimento do garimpo ilegal, nos anos posteriores, nota-se que as áreas de garimpo foram retirando grande parte da floresta nativa. Essa prática provoca diversos danos ao meio ambiente e, por consequência, às comunidades tradicionais que ali vivem.

Figura 41- Garimpo e desmatamento na TI Kayapó



Fonte: Autores.

É válido ressaltar que, também durante o período estudado, ocorreu a gestão de oito governos do Poder Executivo. Este fator foi fundamental, considerando a perspectiva de cada Governo sobre as temáticas das TIs, embora este assunto seja tema constitucional. Por exemplo, dependendo do Governo, ocorre um fortalecimento ou enfraquecimento dos povos tradicionais, além de ter efeito direto na concessão de novas terras às comunidades indígenas. Considera-se, portanto, que esses fatores podem ter impacto direto no combate ao desmatamento na Amazônia (Crisóstomo et al., 2015).

Desta forma, o crescimento da mineração ilegal na TI Kayapó está fortemente ligado à deterioração das políticas ambientais brasileiras nos últimos anos, como o enfraquecimento do Código Florestal Brasileiro (CFB) e a infeliz presença de Projetos de Lei tramitando no parlamento brasileiro, que, possivelmente, levarão à descriminalização da ocupação ilegal de terras públicas, como as TIs, por exemplo, por meio dos Projetos de Lei 2633/2020 e Lei 510/2021, além do vigente Projeto de Lei que propõe a regularização da mineração dentro das TIs e a flexibilização do licenciamento ambiental (PL 191/2020).

O relaxamento das políticas ambientais no Brasil pode encorajar diretamente atividades ilegais, incluindo grilagem de terras e mineração, criando conflitos sociais e episódios de violência entre os indígenas e aqueles envolvidos em atividades ilegais. Cita-se, por exemplo, Instrução Normativa n.º 9, elaborada em abril de 2020, na qual “disciplina o requerimento, análise e emissão da Declaração de Reconhecimento de limites em relação a imóveis privados” (BRASIL, 2020, p.1). No entanto, de acordo com Silva et al. (2020), tal instrução restringia o acesso aos documentos de admissão das áreas, fato que provavelmente dificultou a criação e o monitoramento de novas TIs, tal como sua fiscalização. Além disso, a criação do Decreto n.º 10.341, que autorizou o uso das Forças Armadas na Garantia da Lei e da Ordem em ações que auxiliam nas TIs, no período entre 11 de maio até 30 de abril de 2021, ocorreu com o intuito de reprimir delitos ambientais, principalmente no que diz respeito ao desmatamento ilegal (Brasil, 2021).

Outro fator importante a ser analisado é o período de 2020-2022, que corresponde ao início da pandemia provocada pelo SARS-CoV-2, conhecida popularmente como COVID-19 ou novo coronavírus (OMS, 2020), que contribuiu para o ápice do desmatamento e da atividade garimpeira, além de aumentar a invasão das TIs (CIMI, 2020), causada, principalmente, pela redução da fiscalização (Silva *et al.*, 2020). Ademais, o ex-ministro do Meio Ambiente sugeriu ao então presidente da época que ele aproveitasse a atenção da imprensa, que estava voltada exclusivamente para os problemas decorrentes da Pandemia da COVID-19, para “ir passando a boiada” no âmbito ambiental. Ações irresponsáveis do governo geraram recordes de

desmatamento, de queimadas, de grilagem, de garimpo e de invasão de terras indígenas, que são consideradas ameaças globais para o meio ambiente.

A mineração ilegal de ouro na TI expandiu-se recentemente devido ao aumento dos preços do ouro e ao relaxamento das políticas ambientais do Brasil (Siqueira-Gay, 2021). Uma das principais perturbações associadas à mineração de ouro na Amazônia Legal refere-se à contaminação dos ecossistemas terrestres e aquáticos pelo mercúrio, que é tradicionalmente utilizado para extrair e separar o ouro da rocha ou da areia (Bonotto *et al.*, 2018). Essa contaminação também pode ocorrer fora das áreas de mineração, colocando em risco todo o ecossistema. Assim, a poluição por mercúrio afeta direta e indiretamente a saúde dos povos tradicionais, bem como de outros habitantes da Amazônia Legal (Fernández-Llamazares *et al.*, 2020).

### 6.1.3 Prejuízos aos Indígenas

O garimpo ilegal possui influência social e cultural para os povos indígenas. Muitas comunidades, principalmente a terra indígena kayapó, abandonaram algumas de suas tradições, como a agricultura, a pesca e a caça, para viverem da mineração e das receitas do setor mineral. Em alguns casos, existem acordos entre os povos indígenas e os garimpeiros ilegais para retirada ouro em terras indígenas. De acordo com Oviedo *et al.* (2020), o método de garimpo a céu aberto provoca consequências negativas a nível fisiológico, químico e humano, tais como desmatamento, destruição da fauna e da flora locais, alteração físico-química dos leitos dos corpos híbridos e poluição química com materiais tóxicos (de longa duração de ciclo de vida) utilizados na garimpagem. A principal fonte de vida dos indígenas são os rios e as matas, dos quais retiram e produzem os seus alimentos.

A violência física também deve ser levada em consideração, ressaltando-se que, nos locais onde ocorre essa atividade, são conhecidos pelos conflitos, onde uma parte significativa dos povos indígenas da localidade enfrenta diretamente a atividade ilegal da garimpagem. Vale ressaltar que o homem branco sempre levou doenças para a terra indígena, como o alcoolismo, tanto que para eles, essa é uma doença muito perigosa, pois destrói, principalmente, a base de toda comunidade, que é a família (Berzuini, 2008). Outra questão diz a respeito às mulheres nas comunidades indígenas. Também existe prostituição nas áreas nas quais ocorre a mineração. Além do estupro, considerado uma forma de violência gravíssima, a prostituição também traz doenças sexualmente transmissíveis para os territórios indígenas (Potiguara, 2002).

#### 6.1.4 Medidas propositivas

Para proteção tanto da floresta quanto dos povos indígenas, sugere-se medidas propositivas, as quais resguardaram os povos tradicionais e sua cultura, e o meio ambiente de maneira que atenda aos 17 ODS estabelecidos na Agenda 2030, a saber:

- (i) restaurar políticas de comando e controle para conter a exploração do desmatamento e do garimpo ilegal;
- (ii) fortalecer iniciativas bem-sucedidas baseadas no mercado contra produtos provenientes de áreas exploradas ilegalmente, como a moratória da soja e a criação bovina;
- (iii) Empoderar a população para serem agentes ambientais e atuarem como fiscalizadores ambientais;
- (iv) implementar projetos de melhoria da qualidade de vida das comunidades afetadas, nas áreas já degradadas, por meio de obras de engenharia.

Esses quatro eixos são decisivos para a conservação da maior floresta tropical do mundo e dos territórios dos povos tradicionais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Estudo apresentou uma metodologia para facilitar o estudo de identificação e análise do uso e ocupação do solo por meio do geoprocessamento, com o intuito de mapear a identificação e análise da expansão do garimpo ilegal na Terra Indígena Kayapó.

A metodologia aplicada foi eficaz para a identificação de áreas com garimpo ilegal na terra indígena kayapó, com o auxílio do banco de dados fornecidos pelo *Google Earth Engine*, puderam ser trabalhados gerando mapas através do *software* QGIS, disponível gratuitamente e de fácil manipulação, que comprovam o avanço da atividade ilegal, através de polígonos identificados pela paleta de cores RGB que mostram o surgimento e avanço da garimpagem. No período de 1985-2022, identificou-se várias oscilações referentes à atividade garimpeira na TI Kayapó, com destaque para os anos de 2015-2022, apresentando aumentos constantes de exploração na área de estudo, concentradas, principalmente, nas regiões norte e sudeste da TI, no qual foi registrado um aumento alarmante que ultrapassam 1000% desde o início do estudo.

A atividade traz vários problemas à comunidade indígena, como a contaminação do solo, da água e do ar pelo mercúrio, assim como a supressão da fauna e da flora, já que os povos tradicionais dependem da caça, da pesca e da agricultura para viverem, de forma que, além da problemática ambiental, o surgimento de doenças levadas pelos garimpeiros tem aumentado as complicações surgidas na localidade.

O estudo também ressalta, principalmente, a necessidade de ações mais intensivas por parte do Poder Público no combate à ampliação de regiões garimpeiras ilegais que estejam em áreas indígenas ou em demais regiões, não somente oprimindo, mas também indagando alternativas que evitem o surgimento de novos focos de áreas.

Os conjuntos de dados baseados em Sensoriamento Remoto utilizados ou referenciados neste estudo permitem monitorar a situação atual da TI e identificar novas tendências relacionadas a possíveis atividades ilegais na área protegida. Estas ferramentas são importantes para a aplicação da lei. Com base na análise, comprovou-se a existência e o avanço do garimpo ilegal na TI Kayapó, por meio do geoprocessamento. Visando os objetivos da ODS, este trabalho configura-se como uma ferramenta importante, pois auxilia no alcance das metas desejadas, além de sua aplicação para qualquer atividade que envolva ocupação desordenada do solo. Como trabalhos futuros, pretende-se analisar por meio da metodologia proposta a ocupação irregular de terra em áreas urbanas, para auxiliar a tomada de decisões do poder público, e crescimento florestal em algumas áreas antes suprimidas.

**REFERÊNCIAS**

- ARAÚJO, ANA VALÉRIA; LEITÃO, SÉRGIO. Direitos indígenas: avanços e impasses pós-1988. Além da Tutela: Bases para uma Nova Política Indigenista, Rio de Janeiro: Contracapa Livraria, p. 23-33, 2002. Acesso em 25/09/2023
- ARNALDO, C. F.; SOUZA, O.B. S. Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira. Instituto Socioambiental, São Paulo, SP, 2009.
- Bratman, E.; Dias, CB Pontos cegos de desenvolvimento e avaliação de impacto ambiental: Tensões entre política, lei e prática na bacia do rio Xingu no Brasil. Meio Ambiente. Avaliação de impacto. Rev. 2018, 70, 1–10.
- BASTOS, Beatriz Regina Nunes Perrone. AJES- INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO DO VALE DO JURUENA CURSO: LICENCIATURA EM GEOGRAFIA. Acesso em 25/09/2023
- Bonotto, DM; Wijesiri, B.; Vergotti, M.; da Silveira, EG; Goonetilleke, A. Avaliação da poluição por mercúrio nos afluentes do Rio Amazonas usando uma abordagem de Rede Bayesiana. Ecotoxicol. Meio Ambiente. Seguro. 2018 , 166 , 354–358. Acesso em: 15/011/2023
- CARMONA JUNIOR, MARCIO AUGUSTO COSTA. Diagnóstico de áreas de garimpos, por meio da análise de classificação, na Terra Indígena Kayapó, sudeste paraense, no período de 2014 a 2021. 2022. Acesso em 25/09/2023
- CIDR, CENTRO DE INFORMAÇÃO DIOCESE DE RORAIMA. Índios de Roraima: Macuxi, Tau-repang, Ingaricó, Wapixana. Boa Vista, RR, 1989.
- CRISOSTOMO, A. C.; ALENCAR, A.; MESQUITA, I.; SILVA, I. C.; DOURADO, M. F.; MOUTINHO, P.; CONSTANTINO, P. A. L.; PIONTEKOWSKI, V. Terras indígenas na Amazônia brasileira: reservas de carbono e barreiras ao desmatamento. Brasília, DF, 2015. 16p. Disponível em:< <https://ipam.org.br/bibliotecas/terras-indigenas-na-amazonia-brasileira-reservas-de-carbono-e-barreiras-ao-desmatamento/> > Acesso em 10/10/2023.
- CARMONA JÚNIOR, Márcio Augusto Costa. Diagnóstico das áreas de garimpos, por meio da análise de classificação, na Terra Indígena Kayapó, Sudeste Paraense, dos anos de 2014 a 2021. Disponível em <<https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2358> >. Acesso em: 30/11/ 2023
- DA CUNHA, C. Manuela. Índios na Constituição. Novos estudos CEBRAP, v. 37, p. 429-443, 2018. Acesso em 25/12/2022
- DE-PAULA, V. G.; LAMAS-CORRÊA, R.; TUTUNJI, V. L. Garimpo e mercúrio: impactos ambientais e saúde humana. Universitas: Ciências da Saúde, Brasília, DF, v. 4, n. 1 / 2, p. 101-110, 2006.
- FREITAS, RODRIGO BASTOS de. Direitos dos Índios e Constituição: os princípios da autonomia e da tutela-proteção. 2007. Acesso em 25/09/2023
- FUNAI, FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. Geoprocessamento e Figuras. Metadados: Terras Indígenas. Acesso em: 03/08/ 2023. Disponível em:< <https://www.gov.br/funai/pt->

br/atuacao/terras-indigenas/ >.

Fernández-Llamazares, A.; Garteizgogea, M.; Basu, N.; Brondízio, ES; Cabeza, M.; Martínez-Alier, J.; McElwee, P.; Reyes-García, V. Uma revisão do estado da arte dos povos indígenas e da poluição ambiental. *Integr. Meio Ambiente. Avaliar. Gerenciar.* 2020, 16, 324–341. Acesso em: 15/11/ 2023

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. São Paulo, 2005. Disponível em: < [https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos\\_sm.pdf](https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf) > Acesso em: 20/11/2023.

GIMENES, Erick. Aumento da contaminação entre indígenas por garimpo ilegal preocupa ativistas. 2020. Acesso em 25/09/2023

GONÇALVES .P. D.L.; BEZERRA. R. F. J. Uso Do Mercúrio E Reflexos Socioambientais No Garimpo De Caxias, Município De Luís Domingues– Ma. I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas-SP, 02 julho de 2017. Acesso em 25/09/2023. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1878> .

GONZAGA, J. R. C. Estudo da dinâmica de ocupação da terra na área de influência da rodovia. Manoel Urbano – AM 010, por meio de ferramentas geotecnologias. Dissertação de Mestrado. UFAM. 2009. Acesso em: 20/11/2023.

GUEDES, JCF; PINHEIRO DA SILVA, SM Sensoriamento remoto no estudo da paisagem: princípios físicos, sensores e métodos. *ACTA Geográfica, Boa Vista*, v. 29, pág. 127- 144, 05/08. 2018. Acesso em 20/11/2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Acesso em 04/12/2022 .Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html> >.

ISA, INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Terras Indígenas no Brasil. Terra Indígena Kayapó. Acesso em: 03/08/2023. Disponível em:< <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3731> >

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Atlas Geográfico Escolar. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101627>>. Acesso em: 19/11/2023.

LIMA, Larissa Cristina Rodrigues. Mapeamento das áreas de garimpo em terras indígenas Mundurucu utilizando modelo baseado em conhecimento e integração multisensores. 2022. Disponível em:< <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1450> >. Acesso em: 30/11/2023.

MATAVELI. G.; CHAVES, M.; GUERREIRO, J. ;SILA, E. V. ; CONCEIÇÃO, K. ; DE OLIVEIRA, G. Mineração é uma ameaça crescente nas terras indígenas da Amazônia brasileira. 2022, p.5. Acesso em 25/09/2023. Disponível em :<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/16/4092>.

MEDICI, Emílio. Portaria nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Acesso em 25/12/2022

MESQUITA JUNIOR, H. N.; SILVA, M. C.; WATANABE, N. Y.; ESTEVES, R. L. Aplicações de sensoriamento remoto para o monitoramento do desmatamento da Amazônia. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC*, p. 6835-6842,

2007.

MORAES, E. C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE, SP, 2002, 23p.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. Introdução ao Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 68p. Acesso em: 19/11/2023. Disponível em: < [https://drive.google.com/file/d/1aYYw5nnYNq87Uk3va-6\\_KxVkoLUJH0dH/view](https://drive.google.com/file/d/1aYYw5nnYNq87Uk3va-6_KxVkoLUJH0dH/view) >.

NÓBREGA, Sônia Correia Assis da. Políticas públicas, impactos ambientais e representações sociais sobre meio ambiente. 2020. Acesso em: 30/11/2023

OIT, Organização Internacional do Trabalho. Convenção da OIT sobre Povos Indígenas e Tribais (Nº 169), 1989. Disponível em: [http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/fp=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100\\_INSTRUMENT\\_ID:312314:NO](http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/fp=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100_INSTRUMENT_ID:312314:NO). Acesso em: 19 de nov. 2023.

PERES, Emilly Ariman; LOPES, Hoziete Ferraz; ARAÚJO, Jordeanes do N. Uma História da Mineração no Sul do Amazonas em Territórios Tradicionais: O Caso da Mineração Paranapema nas Terras Indígenas do Povo Tenharim do Igarapé Preto. Ano 2022. Acesso em: 10/10/2023. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/1187>>

PROYECTO MPBIOMAS. Amazonía-Colección[8] de la Serie Anual de Figuras de Cobertura y Uso del Suelo de la Pan-Amazônia. Acesso em 26/11/2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>.

Paranhos Filho, AC; Mioto, CL; Pessi, DD; Gamarra, RM; Silva, N.M.; Ribeiro, VO; Chaves, JR Geotecnologias para Aplicações Ambientais. Uniedusul Editora, 2020. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf> . Acesso em: 19/11/2023

PAVLOGEORGATOS, G.; KIKILIAS, V. The Importance of Mercury Determination and Speciation to the Health of the General Population. Global Nest: The International Journal, Greece, v. 4, n. 2-3, p. 107-125. 2002.

POSSANTTI, Iporã Brito. O Google Earth Engine. Figuras Abertos, 30 mar. 2021. Disponível em: < <https://figurasabertos.com/2021/03/30/o-google-earth-engine/> >. Acesso em: 19/11/2023.

PEREIRA, Ryan de Azevedo. Geotecnologias aplicadas na análise da evolução do garimpo na Terra Indígena Yanomami de 2017 a 2022. 2023. Disponível em: <<https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3071>> Acesso em: 30 nov. 2023.

RAMOS, Alan Robson Alexandrino; OLIVEIRA, Keyty Almeida de; RODRIGUES, Francilene dos Santos. Mercúrio nos garimpos da terra indígena Yanomami e responsabilidades. Ambiente & Sociedade, v. 23, 2020. Acesso em 25/09/2023.

RIBEIRO. C. A. F, Maria Inês. Mineração e garimpo em terras indígenas. 2016. SECRETARIA DE SAÚDE INDÍGENA. Plano Nacional de Saúde Indígena 2021-2031. Brasília, DF: SESAI, 2021. Acesso em 25/09/2023.

RANGEL, M. E. S. Contribuição dos dados integrados dos sistemas sensores Tm/Landsat-5 e ERS-1/SAR para o estudo de uso e cobertura da terra no nordeste da Ilha do Maranhão. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2003. Acesso em: 20/11/2023.

República Federativa do Brasil. Confirma a Íntegra do Discurso do Ministro Joaquim Leite na Plenária da Cúpula do Clima, Atualizado em 31/10/2022. Disponível em: < <http://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/confira-a-integra-do-discurso-do-ministro-joaquim-leite-na-plenaria-da-cupula-do-clima> > Acesso em: 18 de nov. 2023.

ROSA, R. Geotecnologia na Geografia Aplicada. Revista do Departamento de Geografia. Nº16. 2005. Pags. 81-90. Acesso em: 20/11/2023. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024> >

SILVA, T. C. C. S. Geotecnologias aplicadas ao Mapeamento de áreas de Garimpo em microbacias de São Félix do Xingu e Tucumã (PA). 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém, PA, 2019. Acesso em 25/09/2023.

Siqueira-Gay, J.; Sánchez, LE O surto de mineração ilegal de ouro na Amazônia brasileira aumenta o desmatamento. Reg. Meio Ambiente. Alteração 2021, 21, 28. Acesso em: 15/01/2023

SCARPELLI, W. Introdução à geologia médica. São Paulo: USP, 2003, 4p.

SILVA, T. C. C. S. Geotecnologias aplicadas ao Mapeamento de áreas de Garimpo em microbacias de São Félix do Xingu e Tucumã (PA). 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém, PA, 2019.

TANNÚS, M. B. et. al. Projeto Paracatu: concepção e resultados preliminares. Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del Mercurio Utilizado por la Minería Aurífera Artesanal em Iberoamérica. Setembro de 2001. Lima, Peru: CYTED, 2001.