



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em
Ciências da Terra e do Ambiente
Mestrado em Ciências Ambientais



Camila Reis de Souza

**Identificação de áreas mineradas a partir de
Sensoriamento Remoto: Um olhar com o
Mapbiomas**

Feira de Santana
2021

Camila Reis de Souza

Identificação de áreas mineradas a partir de Sensoriamento Remoto: Um olhar com o Mapbiomas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso A. Castro Co-orientadora: Profa. Dra. Marjorie Cseko Nolasco

Feira de Santana
2021

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Souza, Camila Reis

S714 Identificação de áreas mineradas a partir de Sensoriamento Remoto:
um molhar com o Mapbiomas./ Camila Reis de Souza. Feira de Santana,
2021.

193f.: il.

Orientador: Paulo de Tarso Amorim Castro

Co-orientadora: Marjorie Cseko Nolasco

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do
Ambiente, 2021.

1.Mineração. 2.Identificação. 3.Mapbiomas. I.Castro, Paulo de Tarso
Amorim, orient. II.Nolasco, Marjorie Cseko, co-orient. III.Universidade
Estadual de Feira de Santana. IV.Título.

CDU: 622(814.2)

Camila Reis de Souza

“Identificação de áreas mineradas a partir de Sensoriamento Remoto: Um olhar com o Mapbiomas”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro (UFOP)

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Marjorie Cseko Nolasco

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Data de aprovação: 21 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Prof.^a Dr.^a Marjorie Cseko Nolasco
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)



Prof. Dr. José Baptista de Oliveira Junior
Universidade Federal Da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Dedico este trabalho a:

Meus pais, Isleide Reis e Jorge Luis A. de Souza, pelo exemplo de vida e dedicação aos filhos e família.

A minhas avós, Ivone e Maria Patrício (*in memoriam*),

A minha irmã Sheila, meu cunhado Marcos Bernardo e sobrinhas, Maiara Marrie e Jolie, que me inspiraram no caminhar.

A meu companheiro para a vida, Fernando.

A minha amiga Engenheira de Minas Cibele Ledo (*in memoriam*) por me apoiar e me acompanhar nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa e concluir uma etapa tão importante da minha vida.

À Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM), pela formação e estrutura oferecida para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo, e viabilização da execução deste trabalho.

Ao Instituto Federal da Bahia (IFBA), Campus Brumado, na pessoa do Diretor Geral Rui Pereira Santana, pelo apoio incentivo e por acreditar no meu potencial e trabalho desenvolvido.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo de Tarso A. Castro, pela valiosa orientação e confiança, fundamentais ao desenvolvimento da pesquisa, e por não desistir de mim durante o processo.

A minha Co-orientadora, Prof. Dra. Marjorie Cseko Nolasco, sempre pronta a compartilhar seus conhecimentos e pela valiosa orientação da pesquisa, essenciais no meu caminhar.

Aos professores membros da banca de qualificação pelas valiosas contribuições na melhoria da pesquisa.

Aos demais professores pelas valiosas contribuições para a melhora do trabalho.

A todos os colegas, professores e funcionários do PPGM, pela amizade e troca de experiência.

Aos meus pais Jorge e Isleide que me incentivaram a buscar o conhecimento e nunca desistir diante das dificuldades.

Ao meu companheiro Fernando Ramos Junior que com muita paciência me apoiou e incentivou durante os desafios nesta jornada.

Aos meus familiares e amigos, especialmente a Rafael Rocha e a Cibele Ledo (*in memoriam*), que estiveram ao meu lado durante a caminhada, me apoiando e incentivando a trilhar o caminho até o fim. A todos, que de maneira direta ou indireta estiveram me amparando e incentivando.

RESUMO

A atividade de mineração, muitas vezes instaladas em regiões de difícil acesso, é responsável por causar longínquas mudanças no uso e cobertura da terra. Para acompanhar e identificar as alterações a aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto adequadas são uma alternativa viável. Existem diferentes softwares e plataformas de sensoriamento remoto que possibilitam o processamento digital de imagens de satélite, o Google Earth Engine (GEE) é uma ferramenta rápida e que traz a possibilidade de análises de séries históricas que auxiliam no dimensionamento do alcance dos impactos causados pela atividade. Este trabalho traz a comparação entre alguns métodos de sensoriamento remoto que podem ser usados para identificação de áreas: SIGMINE, MAPBIOMAS, GLOBAL FOREST WATCH e DELIMITAÇÃO POR REGIÃO DE INTERESSE, apresentando o mais adequado entre eles. Apesar do MAPBIOMAS ter sido considerado a plataforma que apresentou resultados melhores entre aquelas analisadas, a ferramenta, nos primeiros meses de lançamento da nova coleção, apresentou diversas inconsistências em algumas funcionalidades. O Mapbiomas foi aplicado para realizar o dimensionamento de minas que extraem ouro, cobre, ferro, magnesita e talco no estado da Bahia, fazendo uma análise da expansão de suas áreas de operação ao longo do intervalo de 36 anos, entre 1985 a 2020. A expansão da mineração de metais, ouro, cobre e ferro é influenciada pelo valor de comercialização desses materiais no mercado, porém, fatores internos também podem impactar em um empreendimento. Algumas inconsistências encontradas durante a identificação, ou não, de áreas mineradas pelo Mapbiomas, se deve a metodologia de filtragem e estabilização de imagem aplicada pela plataforma.

Palavras-chave: Identificação de Mineração; Google Earth Engine; Mapbiomas.

ABSTRACT

Mining activity, often installed in hard-to-reach regions, is responsible for causing distant changes in land use and land cover. To monitor and identify changes the application of appropriate remote sensing tools is a viable alternative. There are different software and platforms for remote sensing that enable the digital processing of satellite images, Google Earth Engine (GEE) is a fast tool that brings the possibility of historical series analysis that help in sizing the scope of the impacts caused by mining activity. This work brings the comparison between some remote sensing methods that can be used to identify areas: SIGMINE, MAPBIOMAS, GLOBAL FOREST WATCH AND DELIMITATION BY REGION OF INTEREST, presenting the most appropriate among them. Although MAPBIOMAS was considered the platform that presented better results among the others analyzed, the tool MAPBIOMAS, in the first months of the release of the new collection, presented several inconsistencies in some features. Mapbiomas was applied to design mines that extract gold, copper, iron, magnesite and talc in the state of Bahia in Brazil, analyzing the expansion of its areas of operation over the 36-year interval, between 1985 and 2020. The expansion of metals, gold, copper and iron mining is influenced by the commercialization value of these materials in the market; however, internal factors can also impact on an enterprise. Some inconsistencies found during identification, or not, of areas mined by Mapbiomas, is due to the methodology of filtering and image stabilization applied by the platform.

Keywords: Mining Identification; Google Earth Engine; Mapbiomas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da Humanidade no contexto histórico dos minerais	5
Figura 2 – Lavra por bancadas (<i>Open Pit</i>), Mina de Cabeceira-RHI Magnesita.....	9
Figura 3 – Pedreira de Quartzito-Alexandrita, Stuffbrown Mineração Ltda.-ME	9
Figura 4 – Bloco de rocha ornamental lavrado, Quartzito-Alexandrita	10
Figura 5 – Mina de carvão com lavra em tiras.....	10
Figura 6 – Feições da mina subterrânea e da mina a céu aberto	12
Figura 7 – Polígonos SIGMINE	16
Figura 8 – SIGMINE e legenda	17
Figura 9 – Mapa base SIGMINE	18
Figura 10 – Lista de camadas disponível SIGMINE	18
Figura 11 – Diagrama metodológico	20
Figura 12 – Divisão de trabalho no desenvolvimento da plataforma	20
Figura 13 – Uso e cobertura do solo, Bahia/BR	23
Figura 14 – Transição de classes, Bahia/BR	24
Figura 15 – Estatística de transição, Bahia/BR	24
Figura 16 – Detalhamento das legendas ao longo das coleções	25
Figura 17 – Mapas base de exibição Mapbiomas	27
Figura 18 – Iniciativas Mapbiomas	28
Figura 19 – Menu de visualização de mapas no Mapbiomas.....	29
Figura 20 – Alerta de desmatamento GLAD, Bahia/BR	31
Figura 21 – Cobertura arbórea Bahia, Brasil.....	32
Figura 22 – Perda e ganho de Florestas primárias, Bahia/BR	32
Figura 23 - Perda de Cobertura Arbórea por Causador Dominante, Bahia/BR.....	33
Figura 24 – Alerta de queimadas Bahia, Brasil	34
Figura 25 – Classificação perigo de incêndio GFW-FWI, Bahia/BR.....	34
Figura 26 – Perda e ganho de floresta Camadas, Bahia/BR.....	35
Figura 27 – Uso e cobertura da terra no Brasil - GFW	37
Figura 28 – Fluxograma Metodológico	38
Figura 29 - FBDM, Barrocas e Araci/BA (2020)	53
Figura 30 – Mineração no município de Barrocas e Araci/BA	54
Figura 31 – FBDM (1985).....	54
Figura 32 – FBDM (1990).....	55
Figura 33 - FBDM (1995)	55
Figura 34 – FBDM (2000).....	56
Figura 35 - FBDM (2005)	56
Figura 36 - FBDM (2010)	57
Figura 37 – FBDM (2015).....	57
Figura 38 – FBDM (2020).....	58
Figura 39 - FBDM (1985)	58
Figura 40 – FBDM (1990).....	59
Figura 41 – FBDM (1995).....	59
Figura 42 – FBDM (2000).....	60
Figura 43 – FBDM (2005).....	60
Figura 44 – FBDM (2010).....	61

Figura 45 – FBDM (2015).....	61
Figura 46 – FBDM (2020).....	62
Figura 47 – Mina de Ouro em Santaluz/BA (2020).....	66
Figura 48 – Mineração de ouro no município de Santaluz/BA	67
Figura 49 – Mina de Ouro em Santaluz (1986)	67
Figura 50 – Mina de Ouro em Santaluz (1990)	68
Figura 51 – Mina de Ouro em Santaluz (1995)	68
Figura 52 - Mina de Ouro em Santaluz (1995)	69
Figura 53 – Mina de Ouro em Santaluz (2000)	69
Figura 54 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)	70
Figura 55 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)	70
Figura 56 – Mina de Ouro em Santaluz (2010)	71
Figura 57 – Mina de Ouro em Santaluz (2015)	71
Figura 58 – Mina de Ouro em Santaluz (2020)	72
Figura 59 – Mina de Ouro em Santaluz (1986)	72
Figura 60 – Mina de Ouro em Santaluz (1990)	73
Figura 61 – Mina de Ouro em Santaluz (1995)	73
Figura 62 – Mina de Ouro em Santaluz (2000)	74
Figura 63 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)	74
Figura 64 – Mina de Ouro em Santaluz (2010)	75
Figura 65 – Mina de Ouro em Santaluz (2015)	75
Figura 66 – Mina de Ouro em Santaluz (2020)	76
Figura 67 – Expansão da Mineração FBDM de 1985 a 2020.....	81
Figura 68 – Expansão da Mineração em Santaluz de 1986 a 2020	81
Figura 69 – Expansão da Mineração FBDM em intervalos de 5 anos.....	82
Figura 70 – Expansão da Mineração em Santaluz em intervalos de 5 anos	82
Figura 71 – Preço da Oz do ouro	84
Figura 72 - Preço do ouro de 2006 a 2013.....	85
Figura 73 – Taxa de Expansão da mineração de ouro.....	86
Figura 74 - MCSA, Jaguarari/BA (2020).....	87
Figura 75 – MCSA, Jaguarari/BA (2020).....	87
Figura 76 - Mineração no município de Jaguarari/BA	88
Figura 77 – MCSA (1985)	88
Figura 78 - MCSA (1990)	89
Figura 79 - MCSA (1995)	89
Figura 80 - MCSA (2000)	90
Figura 81 - MCSA (2005)	90
Figura 82 - MCSA (2010)	91
Figura 83 - MCSA (2015)	91
Figura 84 - MCSA (2020)	92
Figura 85 - MCSA (1985)	92
Figura 86 - MCSA (1990)	93
Figura 87 - MCSA (1995)	93
Figura 88 - MCSA (2000)	94
Figura 89 - MCSA (2005)	94
Figura 90 - MCSA (2010)	95
Figura 91 - MCSA (2015)	95

Figura 92 - MCSA (2020)	96
Figura 93 - Expansão da MCSA de 1985 a 2020	101
Figura 94 - Expansão da MCSA em intervalos de 5 anos	101
Figura 95 – Taxa de Expansão da Mineração de cobre em Jaguarari/BA	102
Figura 96 – Ferbasa, Andorinha/BA (2020).....	103
Figura 97 – Mineração em Andorinha/BA (2020)	103
Figura 98 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1985)	104
Figura 99 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1990)	104
Figura 100 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1995)	105
Figura 101 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2000)	105
Figura 102 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2005)	106
Figura 103 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2010)	106
Figura 104 – Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2015)	107
Figura 105 – Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2020)	107
Figura 106 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1985)	108
Figura 107 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1990)	108
Figura 108 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1995)	109
Figura 109 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2000)	109
Figura 110 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2005)	110
Figura 111 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2010)	110
Figura 112 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2015)	111
Figura 113 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2020)	111
Figura 114 – Mineração no município de Maracás/BA.....	116
Figura 115 – Largo Resources, Maracás/BA (2020)	116
Figura 116 – Mina de Vanádio em Maracás (2015)	117
Figura 117 – Mina de Vanádio em Maracás (2020)	117
Figura 118 - Mina de Vanádio em Maracás (2015)	118
Figura 119 – Mina de Vanádio em Maracás (2020)	118
Figura 120 – BAMIN, Caetité/BA (2020)	122
Figura 121 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2020).....	122
Figura 122 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2015).....	123
Figura 123 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2020).....	123
Figura 124 – Município de Caetité/BA.....	124
Figura 125 – Mina de Urânio em Caetité/BA, INB (2020).....	124
Figura 126 - Mina de Urânio em Caetité/BA, INB (2020)	125
Figura 127 - Expansão da Ferbasa de 1985 a 2020	130
Figura 128 - Expansão da Ferbasa em intervalos de 5 anos	130
Figura 129 – Taxa de Expansão da Mineração de ferro na Bahia	131
Figura 130 – Minas de Magnesita e Talco, Brumado/BA (2020).....	132
Figura 131 – Mineração no município de Brumado/BA	133
Figura 132 – Extração de Magnesita e Talco (1985).....	134
Figura 133 - Extração de Magnesita e Talco (1990)	134
Figura 134 - Extração de Magnesita e Talco (1995)	135
Figura 135 - Extração de Magnesita e Talco (2000)	135
Figura 136 - Extração de Magnesita e Talco (2005)	136
Figura 137 - Extração de Magnesita e Talco (2010)	136
Figura 138 - Extração de Magnesita e Talco (2015)	137

Figura 139 - Extração de Magnesita e Talco (2020)	137
Figura 140 - Extração de Magnesita e Talco (1985)	138
Figura 141 - Extração de Magnesita e Talco (1990)	138
Figura 142 - Extração de Magnesita e Talco (1995)	139
Figura 143 - Extração de Magnesita e Talco (2000)	139
Figura 144 - Extração de Magnesita e Talco (2005)	140
Figura 145 - Extração de Magnesita e Talco (2010)	140
Figura 146 - Extração de Magnesita e Talco (2015)	141
Figura 147 - Extração de Magnesita e Talco (2020)	141
Figura 148 - Expansão da mineração de Magnesita e Talco em Brumado de 1985 a 2020	147
Figura 149 - Expansão da mineração de Magnesita e Talco em Brumado em intervalos de 5 anos	147
Figura 150 – Taxa de Expansão da Mineração de Magnesita e Talco em Brumado/BA.....	148
Figura 151 – Área ocupada pela mineração no Brasil.....	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas
- ANM – Agência Nacional de Mineração
- APNE - Associação Plantas do Nordeste
- ATBD – (Algorithm Theoretical Basis Document) Documento Base da Teoria do Algoritmo
- CAR – Cadastro de Imóvel Rural
- CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral
- CF – Constituição Federal
- CF 88 – Constituição Federal de 1988
- CFEM – Compensação Financeira por Exploração pela Exploração de Recursos Minerais
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CVRD – Companhia Vale do Rio Doce
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
- GEE – Google Earth Engine
- GFW - Global Forest Watch
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- NDVI - Índice de Vegetação com Diferença Normalizada
- ONG – Organização Não Governamental
- PIB – Produto Interno Bruto
- PLG – Permissão de Lavra Garimpeira
- PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
- PPGM – Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra e do Ambiente.
- RADD - Radar for Detecting Deforestation
- ROI - Delimitação de Região de Interesse
- UC – Unidade de Conservação
- UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana
- WRI - World Resources Institute

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I – MINERAÇÃO	5
1. A MINERAÇÃO	5
2. MÉTODOS DE LAVRA	7
3. INSTALAÇÕES E FEIÇÕES	11
CAPÍTULO II – IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA MINERADA.....	15
1. MÉTODOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS	15
1.1. SIGMINE	16
1.2. PLATAFORMA MAPBIOMAS	19
1.3. GLOBAL FOREST WATCH	30
1.4. DELIMITAÇÃO POR REGIÃO DE INTERESSE – ROI.....	37
2. COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO.....	40
CAPÍTULO III - APLICAÇÃO DO MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO.....	44
1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DAS REGIÕES PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO	44
2. SELEÇÃO DE REGIÕES DE INTERESSES.....	45
2.1. OURO	45
2.1.1. Fazenda Brasileiro Desenvolvidores Mineraiis - FBDM	46
2.1.2. Santaluz Desenvolvidores Mineraiis	46
2.2. COBRE	46
2.2.1. Caraíba Mineração S/A - MCSA	47
2.3. FERRO.....	47
2.3.1. Companhia de Ferro Ligas da Bahia - FERBASA	48
2.3.2. Largo Resources	49
2.3.3. Bahia Mineração - BAMIN	49
2.4. MAGNESITA E TALCO.....	50
2.4.1. Xilolite.....	51
2.4.2. RHI Magnesita	51

2.4.3. Imi Fabi.....	52
2.4.1. Ibar.....	52
3. APLICAÇÃO DO MAPBIOMAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS.....	52
3.1. OURO.....	53
3.1.1. FBDM – Fazenda Brasileiro Desenvolvimentos Minerais.....	53
3.1.2. Santaluz Desenvolvimentos Minerais.....	66
3.1.3. Taxa de expansão da mineração de Ouro.....	80
3.2. COBRE.....	86
3.2.1. MCSA – Caraíba Mineração S/A.....	86
3.2.2. Taxa de expansão da mineração de Cobre.....	100
3.3. FERRO.....	102
3.3.1. FERBASA – Companhia de Ferros Ligas da Bahia.....	102
3.3.2. Largo Resources – Maracás.....	116
3.3.3. BAMIN – Bahia Mineração.....	122
3.3.4. Taxa de expansão da mineração de Ferro.....	129
3.4. MAGNESITA E TALCO.....	132
3.4.1. Xilolite, RHI Magnesita, Imi Fabi, IBAR.....	132
3.4.2. Taxa de expansão da mineração de Magnesita e Talco.....	146
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	149
5. CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES.....	154
6. CONCLUSÃO.....	158
7. REFERÊNCIAS.....	158

INTRODUÇÃO

A mineração consiste na prospecção, exploração e extração de recursos minerais. É de fundamental importância para a manutenção da sociedade nos moldes atuais. Ela é provedora de matéria prima para diversos setores produtivos, entre eles: construção civil, agricultura, indústria automotiva e química, produção de eletrônicos e de alimentos, medicina, tecnologia etc.

Segundo o IBRAM (2020) o setor mineral antes da pandemia era responsável por contribuir com cerca de 4% do PIB nacional, além de gerar centenas de empregos diretos e indiretos na região onde se instalam as indústrias. A mineração promove arrecadação financeira para os Estados, Distrito Federal, Municípios e Órgãos Administrativos da União, por meio da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM.

Estudos divulgados pela FIEMG demonstram os impactos econômicos no setor mineral causado pelo coronavírus. O estudo traz 3 cenários de análise, e no melhor dos cenários avaliados para o período, ele aponta uma redução no crescimento do PIB brasileiro de cerca de 8% para a indústria mineral, e queda nos investimentos no setor (Estudos Econômicos, 2020).

Sant'Agostino (2020) afirma que a mineração pode auxiliar na recuperação da economia nacional em meio ao cenário pandêmico. Graças ao seu destaque na contribuição para o produto interno bruto brasileiro e ao grande potencial de expansão do setor.

Segundo o Ministério de Minas e Energia – MME (2021) no ano de 2020 o faturamento do setor mineral surpreendeu e chegou a R\$ 209 bilhões. O CFEM, que é um percentual pago pelas mineradoras em decorrência da exploração de recursos minerais, em 2020 foi de R\$ 6,1 bilhões, superando os R\$ 4,5 bilhões em 2019.

Segundo o levantamento realizado pelo IBRAM (2021) no primeiro semestre de 2021 o faturamento no setor mineral foi de R\$ 149 bilhões, em todo o país, o equivalente a alta de 98% no faturamento em relação ao mesmo período do ano anterior. O ferro (Fe), o ouro (Au) e o cobre (Cu) são as substâncias minerais que mais contribuem para o elevado faturamento no setor; Fe (72, 2%), Au (9,2%), Cu (5,5%). Ficando a arrecadação da CFEM em R\$ 4,48 bilhões, 111,7% superior quando

comparado ao mesmo período de 2020, onde a Bahia participa de 1,6% deste montante, sendo o 4º estado que mais arrecada.

Por força da Lei nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017, o recurso arrecadado com a CFEM é destinado 7% para ANM; 1% para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT; 1,8% para o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM; 0,2% para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama; 15% para o Distrito Federal e os Estados onde ocorrer a produção; 60% para o Distrito Federal e os Municípios onde ocorrer a produção; 15% para o Distrito Federal e os Municípios, quando afetados pela atividade de mineração e a produção não ocorrer em seus territórios (BRASIL, 2017).

Os municípios não produtores que arrecadam o percentual de 15% do CFEM são aqueles que são cortados pelas infraestruturas utilizadas para o transporte ferroviário ou dutoviário de substâncias minerais; além dos que possuem operações portuárias e de embarque e desembarque de substâncias minerais; ou onde se localizam as pilhas de estéril, as barragens de rejeitos e as instalações de beneficiamento de substâncias minerais, bem como as demais instalações previstas no plano de aproveitamento econômico (BRASIL, 2017).

O recurso arrecadado proveniente da CFEM deve ser destinado em projetos de melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde e educação, não podendo ser aplicados em pagamento de dívida ou no quadro permanente de pessoal da União, dos Estados, Distrito Federal e dos Municípios (BRASIL, 2017).

A mineração exerce influencia direta e indireta nas mudanças no uso e cobertura da terra. Para a verificação dessas mudanças os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto, surgem como alternativas, utilizando como ferramenta a análise de séries temporais com classificação em mapas (SONTER *et al.*: 2014).

O sensoriamento remoto auxilia na aquisição de informações sobre a atividade, pois permite acesso a locais inacessíveis e disponibiliza uma quantidade significativa de dados em séries temporais que auxiliam na tomada de decisão (SONTER *et al.*: 2014).

Um dos grandes desafios no mapeamento de áreas mineradas é a identificação precisa destas regiões. As técnicas convencionais de processamento digital de imagens, propiciam baixa precisão de mapeamento devido à falta de informações e

atributos da mineração, como: área, dimensão dos impactos socioambientais, tipo de atividade, fase em qual se encontra parâmetros (LOBO *et al.*, 2018).

Muitas vezes, as áreas de mineração se confundem com solo exposto, áreas urbanas e intervalo entre cultivos agrícolas (SONTER *et al.*: 2014). Isso se deve a semelhança nas assinaturas espectrais entre esses alvos (LOBO *et al.*, 2018). Neste contexto, é fundamental a aplicação de métodos rápidos e precisos para realizar esta classificação (LOBO *et al.*: 2018).

Assim, o *Google Earth Engine (GEE)* surge como destaque, sendo uma plataforma gratuita de fácil acesso e utilização, com armazenamento em nuvem, e capacidade de processar um grande número de imagens de satélite e dados geoespaciais de forma fácil, rápida, gratuita e compartilhável (GORELICK *et al.*: 2016). Através de algoritmos de programação em linguagem própria da plataforma, um misto entre as linguagens JavaScript e Python, é possível identificar regiões com diferentes usos e cobertura em coleções de imagens de satélite, com processamento em diversas bandas simultaneamente, sem a necessidade de realizar downloads e carregamento de imagens.

Mudanças de uso e cobertura da terra, para qualquer que seja a finalidade, provocam impactos diversos sobre a região de influência da atividade, esses impactos podem ter dimensões distintas. Uma forma possível de majorá-los é a delimitação de sua extensão, alcance e periodicidade.

Para dimensionar a extensão de alcance dos impactos, é possível utilizar de sensoriamento remoto para obter respostas que possam ser satisfatórias. Já a verificação da periodicidade, pode ser feita por meio de indicadores, permitindo acompanhar se a mudança é evolutiva ou involutiva.

Para a delimitação de áreas mineradas, é preciso atentar para os impactos off-lease, aqueles causados indiretamente pela instalação da atividade, gerando impactos num raio com alcance superior a 10 km do empreendimento. É nessa região que serão criadas infraestrutura necessária para atender as demandas, trazendo consigo a expansão urbana, localização das barragens de rejeito e, desenvolvimento de infraestrutura para atender a cadeia de fornecimento (SONTER *et al.*: 2017).

É importante destacar que diferentemente de outros setores produtivos, a extração mineral não possui uma universalidade e um padrão de execução. Cada

espécie mineral apresenta características específicas, que dão direcionamento para o método de lavra e beneficiamento a serem executados. A variabilidade do método está relacionada com o tipo de ocorrência mineral: geologia do depósito, condições de formação, teores, entre outros.

As ocorrências minerais são resultado de processos geológicos ocorridos ao longo de milhões de anos, formando assim anomalias pontuais, onde essas, podem ser consideradas como jazidas exploráveis segundo a confirmação de sua viabilidade econômica. Essa característica é denominada de rigidez locacional (LIMA, 2005).

A rigidez locacional, consequência da localização imposta pela natureza, onera a execução da atividade. A indústria de mineração é um setor que possui elevado custo de preparação e planejamento. Isso se deve a necessidade de infraestrutura energética e de transporte que atendam as demandas do empreendimento (MELFI *et al.*, 2016).

Existem hoje no mercado diferentes maneiras para identificação de área com mineração usando como base o sensoriamento remoto. Ferramentas diferentes foram desenvolvidas com objetivo de modelar a classificação de imagens e identificar esses ambientes.

Este trabalho tem como objetivo principal a comparação entre diferentes métodos de identificação de áreas mineradas a partir de sensoriamento remoto. Como objetivos secundários será definido o método mais adequado entre eles para trabalhar com a análise de uso e ocupação pela mineração. O método de identificação de área minerada escolhido como o mais adequado será aplicado para dimensionamento de minas no estado da Bahia. As minas selecionadas devem ser que realizam extração de diferentes substâncias minerais (ouro, cobre, ferro, magnesita e talco). Após a análise será criado gif animado com os resultados apresentados neste estudo, para apresentação online e será determinada a taxa de expansão das atividades minerais investigadas ao longo do intervalo de 36 anos, de 1985 a 2020.

CAPÍTULO I – MINERAÇÃO

1. A MINERAÇÃO

A atividade mineral possui registros de sua execução desde os tempos primitivos, servindo de apoio para a sobrevivência e evolução do Homo Sapiens. Na Idade da Pedra o homem utilizava os minerais para fabricação de utensílios, armas adornos etc. Intuitivamente ele selecionava por catação a melhor rocha a ser utilizada como ferramenta de corte, a moldagem de argila para utensílios, minerais pigmentados para as pinturas rupestres. A metalurgia por sua vez teve seu desenvolvimento a partir da metalurgia do cobre, posterior a Idade da Pedra, a partir do uso do fogo (CURI, 2017).

Figura 1 – Evolução da Humanidade no contexto histórico dos minerais



Fonte: Adaptado de Curi, 2017.

Desta maneira a evolução da humanidade tem relação direta com a utilização de bens minerais (HARTMAN, 1987).

As primeiras aberturas subterrâneas foram datadas no paleolítico, e eram utilizadas apenas para defesa e abrigo. Em 5.000 a.C. há registros das primeiras atividades de desmonte de rocha, utilizando fogo. Grandes construções no Egito que utilizaram blocos de rocha, foram datadas de 2.600 a.C.. Em 1.600 a.C. temos a extração em várias minas de metais na Europa. Em 400 a.C. inicia-se o uso de processos gravimétricos para recuperação de ouro livre (CURI, 2017).

Segundo Curi (2017), a partir do ano 100 d.C. iniciou-se uma verdadeira corrida por dominação de terras e suas riquezas minerais. A partir do ano de 1500 começou a se desenvolver e difundir os conhecimentos sobre extração, beneficiamento mineral e metalurgia. No século XVII deu início a exploração mineral em várias partes do Brasil.

A atividade mineral no Brasil é regulamentada desde o período colonial. Como Colônia de Portugal, suas riquezas e bens minerais pertenciam a coroa, desta maneira, os mineradores eram obrigados a pagar 20% da sua produção a coroa, o chamado "quinto". Neste período o sistema de uso e apropriação dos recursos minerais vigente era o Regaliano. Após a Independência do Brasil o direito à propriedade dos recursos minerais passou das mãos da coroa (rei), para o estado, vigorando então o sistema Dominal (NUNES, 2006).

Após a instituição da República no Brasil, o solo foi separado do subsolo, dando o direito à propriedade e a exploração do recurso mineral ao proprietário da terra. A esse sistema foi dado o nome de Acesso, o qual foi instituído pela Carta Magna de 1891 (NUNES, 2006). A mudança de regime minerário que tira o direito de explorar o subsolo do governo e passando para o proprietário de terra, freou a atividade de extração mineral. Os que detinham permissão para explorar o subsolo se negavam a permitir que fossem feitas pesquisas minerais em suas propriedades. Essa desaceleração na exploração mineral provocou, quase 30 anos depois, a criação do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e nova mudança no sistema de uso e apropriação dos recursos minerais (MELFI, 2016).

Com a Constituição de 1934 o direito a exploração dos recursos minerais no Brasil passou a ser sob o sistema de Concessão. Neste novo formato a propriedade do bem mineral deixa de ser exclusiva do detentor da terra e, passa a ser da União (NUNES, 2006).

Segundo o consultor John Forman o conhecimento geológico no Brasil começou a se desenvolver durante o governo do presidente Juscelino Kubitschek a partir da criação dos primeiros cursos de geologia no país. Os primeiros geólogos formados foram responsáveis por grandes descobertas minerais no território (MELFI, 2016).

Segundo Cavalcanti Neto (2010), os estudos geológicos são importantes para identificar as anomalias geológicas¹, e definir o potencial mineral de determinada região. Sempre se baseando pelo princípio da conservação mineral, uma vez que os recursos minerais são finitos e não renováveis. Esse princípio tem em sua definição três pilares: ativa descoberta, investimento em pesquisa geológica com o intuito de expandir as reservas a serem lavradas; completa extração, de forma que não haja desperdício de um bem não renovável e; adequada utilização, importante para prevenção da lavra predatória, sendo possível inclusive a utilização de baixos teores por meio de blindagem (LUZ, 2010).

Lima (2005) afirma que um recurso mineral pode ser inferido, indicado ou medido, a depender do nível de conhecimento geocientífico e de confiabilidade que se tem a respeito do depósito de minério. Para um recurso mineral ser considerado como reserva mineral é preciso que ele apresente viabilidade técnica e econômica que contemple o processo de lavra e beneficiamento. A formação e deposição desses recursos ocorrem de forma heterogênea sobre a superfície da Terra e estão associados a eventos geológicos que ocorreram a milhões de anos. Sendo esta, a justificativa por ter ocorrência de riqueza mineral em determinadas regiões e carência em outras.

Graças a variedade geológica é possível desenvolver diferentes métodos de lavra, a depender do tipo de ocorrência mineral, resistência da rocha extraída, segurança na operação e viabilidade econômica de execução.

2. MÉTODOS DE LAVRA

A exploração² do minério em superfície seca pode ocorrer por extração a céu aberto, subterrânea ou de forma híbrida onde, a lavra inicia a céu aberto e evolui, com o passar da vida útil da mina³, para a lavra subterrânea. A escolha do método tem relação com a eficiência, economicidade e segurança da operação (CURI, 2017).

¹ Anomalia geológica - concentração anormal de um elemento químico e/ou mineral na crosta terrestre (CAVALCANTE NETO e ROCHA, 2010).

² Exploração – é a lavra de mina, que é o conjunto de operações unitárias para aproveitamento da jazida (CURI, 2017).

³ Vida útil – período em que a mina está sob extração mineral para comercialização. Normalmente este tempo é determinado no estudo de viabilidade do empreendimento e podendo ser alterado à medida que avançam as pesquisas geológicas do empreendimento (CURI, 2014).

A extração por vias subterrâneas é utilizada em caso de depósitos em grande profundidade e com mergulho ⁴acentuado, e que seja possível sua exploração de forma econômica e segura. A lavra subterrânea pode ser executada de diferentes métodos a depender das condições geotécnicas da rocha encaixante⁵, considerando três princípios na decisão: princípio do abandono de pilares, princípio do alargamento⁶ preenchido e princípio do alargamento abatido. No abandono de pilares parte da reserva não é lavrada e deixada como colunas de sustentação para o alargamento. No alargamento preenchido, os pilares de sustentação são removidos e substituídos por estéril⁷. No alargamento abatido a área onde é extraída o minério é induzida ao desmoronamento controlado, e o acesso de pessoas e máquinas é impedido de ser realizado na área após a extração do minério, por questão de segurança. Existem aproximadamente 10 diferentes métodos de lavra subterrânea, todos eles baseados nos princípios citados (HARTMAN, 1987).

A lavra a céu aberto é escolhida quando o minério possui afloramento na superfície ou profundidade moderada. Esta escolha também tem sido impulsionada pelo desenvolvimento de equipamentos de grande porte e aumento da mecanização, conseqüentemente, se obtém um ganho de produtividade e rápida exaustão das minas (CURI, 2014).

Segundo Curi, a lavra a céu aberto pode ser executada por diferentes métodos, e a escolha depende diretamente da geometria da jazida mineral. Os principais métodos de lavra a céu aberto por extração a seco são: Lavra por bancadas (*Open Pit mining*), Pedreiras (produção de agregados para construção civil, extração de rocha ornamental), e Lavra em tiras (*Strip mining*).

Lavra por bancadas (*open pit*) – Inicia-se pelo decapeamento⁸, seguido pelo desenvolvimento de extração em degraus descendentes denominados de bancadas, para obtenção de uma cava (Figura 2). A cava possui a geometria de um cone invertido mais o seu layout é alterado a depender do afloramento mineral. É o método de lavra com maior impacto visual devido ao grande volume de material movimentado

⁴ Mergulho – inclinação do depósito mineral em relação ao plano horizontal (CURI, 2017).

⁵ Encaixante – rocha que envolve o minério de interesse (CURI, 2017).

⁶ Alargamento – abertura subterrânea de onde se extraiu o minério (CURI, 2017).

⁷ Estéril – Parte da jazida mineral que não apresenta minério economicamente viável a ser explorado ou que possua baixo teor do minério de interesse (WINGE, 2001).

⁸ Decapeamento – remoção da cobertura de estéril sobre o minério de interesse.

e a severa mudança de cobertura do solo. Característica que é facilmente identificada visualmente em imagens de satélite (CURI, 2014).

Figura 2 – Lavra por bancadas (Open Pit), Mina de Cabezeira-RHI Magnesita



Pedreiras - Inicia-se pelo decapeamento da jazida, seguindo pelo desenvolvimento da lavra. Na produção de agregados para a construção civil, são executadas bancadas com alturas elevadas, similar a lavra em bancadas, com extração realizada através de perfuração e desmonte com explosivos para fragmentação do material extraído (CURI, 2014).

Em pedreiras para extração de rocha ornamental (Figura 3) são retirados blocos intactos de rocha (Figura 4) a partir de métodos de corte com frio adiamantado ou outro método a frio, ou seja, sem uso de explosivos (cunha hidráulica, extração manual, argamassa expansiva, etc.). Os blocos gerados da produção podem chegar até 12 m³, e após extraídos serão beneficiados em marmorarias (CURI, 2017).

Figura 3 – Pedreira de Quartzito-Alexandrita, Stuffbrown Mineração Ltda.-ME



Figura 4 – Bloco de rocha ornamental lavrado, Quartzito-Alexandrita



Lavra em tiras (*Strip mining*) – Utiliza extração mecânica em depósitos tabulares e pouco inclinados, preferencialmente para remoção de mineral friável como carvão mineral, turfa e caulim. Pode ser denominado como lavra em arremesso. Aplicação de equipamentos de porte extremamente grande e com elevada produtividade. A depender da potência do corpo de minério e da capacidade do equipamento pode ser realizada em de forma estagiada, similar a extração por bancos. O aspecto visual na imagem de satélite é similar a cava executada pelo método Open pit. O minério é carregado e transportado, normalmente de forma contínua, para disposição em local adequado ao beneficiamento (CURI, 2017).

Figura 5 – Mina de carvão com lavra em tiras



Fonte: <https://br.sputniknews.com/20211016/> - imagem referencial de divulgação.

3. INSTALAÇÕES E FEIÇÕES

Cada tipo de extração mineral tem suas características na movimentação de terra. Na extração subterrânea o material retirado da lavra pode ser depositado em galerias no subsolo como enchimento e suporte das escavações, ou disposto na superfície em forma de pilhas. Na lavra a céu aberto o material retirado da lavra, se estéril ⁹é posto em pilhas denominada de bota fora, e se considerado minério, é encaminhada para pátio de blendagem também em pilha para alimentar unidade de beneficiamento ou para ser transportado (CURI, 2014).

Independentemente do método de lavra aplicado, além das pilhas de material existem também outras feições características da atividade de mineração, entre elas destacam-se: as estruturas das instalações de beneficiamento, áreas de disposição de rejeito¹⁰, estrutura administrativa e vias de acesso (CURI, 2017).

O impacto visual causado por uma extração subterrânea é menor quando comparado a uma lavra a céu aberto, por não ter a presença da cava, mesmo assim o empreendimento pode ser identificado visualmente, a partir de imagens de satélite, pelo conjunto de feições no entorno da abertura subterrânea como por exemplo: as elevadas torres que abrigam os guinchos do shaft¹¹ ou estrutura de ventilação e exaustão de gases, construções de área administrativa, área de disposição de rejeitos (barragem, bacia, pilhas, etc.) e usina de beneficiamento mineral; ou estação de transporte (ferroviário, correias, teleféricos, etc.) todas estas feições e estruturas encontram-se normalmente no entorno da abertura subterrânea (CURI, 2017).

Um exemplo de mina subterrânea cujas feições são facilmente identificáveis na imagem de satélite é a mina de ouro Jacobina Mineração e Comércio, atualmente pertencente a Yamana Gold Inc., situado no município que dá o nome ao empreendimento, Jacobina/BA, na imagem da Figura 6 é possível notar a presença da área administrativa e das instalações de armazenamento de rejeito de minério. A área de extração não é visível através da imagem de satélite pois é realizada pelo método totalmente subterrâneo.

⁹ Estéril - material que não é aproveitável economicamente, ou que possui baixo teor, cuja remoção se torna necessária para a lavra do minério (CURI, 2017).

¹⁰ Rejeito - material descartado após o final do processo de beneficiamento (CURI, 2017).

¹¹ Shaft – poço vertical utilizado em mina subterrânea para abrigar elevador de transporte de minério e passageiros (CURI, 2017).

A lavra a céu aberto, é mais facilmente identificada numa imagem de satélite pelo impacto visual causado pela remoção de grandes porções de terra, mudança de topografia local e exposição de solo. Estes aspectos são facilmente visualizados a partir de sensoriamento remoto. A cava, local onde o minério e estéril é removido, possui aspecto de degraus ou é realizado normalmente com formato de cone invertido não simétrico e possui grandes dimensões. Além da abertura da cava para remoção de minério as estruturas de apoio também são feições identificáveis na imagem como: vias de acessos, pilhas de depósito de minério e estéril, construções de área administrativa, usina de beneficiamento mineral e disposição de rejeito a seco ou a úmido (CURI, 2014).

Figura 6 – Feições da mina subterrânea e da mina a céu aberto



Fonte: Mapbioma.org.br

A depender do porte da empresa a estrutura administrativa é composta por: almoxarifado, escritórios, posto médico, laboratórios, refeitório, oficinas, pátio de depósito, galpão para armazenamento de testemunhos de sondagem¹², etc. A disposição de rejeitos, quando feita a seco, é realizada em forma de pilhas. Quando feita a úmido, pode ser armazenado em bacias de decantação ou em barragens. Quando construídas em barragem, o aspecto visual são grandes lagos de decantação (HARTMAN, 1987).

¹² Testemunhos de sondagem - amostra de rocha retirada em formato cilíndrico utilizada para investigar a formação geológica na subsuperfície e é realizada por meio de sondagem (CAVALCANTI NETO, 2010).

Devido aos recentes desastres com barragens de mineração a prática para disposição de rejeito tem sido descontinuada, dando lugar a soluções mais seguras e ambientalmente viáveis. Essas soluções envolvem filtragem de rejeito para estocagem em pilhas. Além do crescente desenvolvimento de tecnologias para reprocessamento de rejeito ou utilização como matéria prima para outros setores, como por exemplo aplicação na construção civil, fertilização e correção de solo (ARAÚJO, 2020).

A descaracterização e descomissionamento¹³ de barragens de rejeitos não é uma prática simples e rápida, antes de desativar uma estrutura destas são necessários estudos preliminares para entender a forma mais viável economicamente e segura de ser realizada. Além de ser operacionalmente demorada a mudança de processo de disposição de rejeitos (ARAÚJO, 2020).

Minérios que possuem baixo valor agregado para ter viabilidade econômica precisam ser extraídos em grandes volumes, isso reflete no tamanho do empreendimento e das instalações que deverá possuir. Os bens minerais que são tidos como commodities, tem sua produção impulsionada pelo mercado regulador. Desta maneira a expansão ou retração do empreendimento é influenciada pelo valor de venda e exportação. Em momentos de alta de preço nas commodities a produção é aumentada, conseqüentemente o local de extração, cava ou abertura subterrânea sofre expansão (FERNANDES, 2014).

Em minas a céu aberto a expansão da atividade mineira é possível ser notada visualmente a partir do crescimento da área ocupada pela lavra, além do aumento do número de pilhas de material depositado e de rejeito disposto. Ao longo dos anos da vida útil da mina a geometria da área de extração é modificada de acordo ao planejamento de lavra desenvolvido. Este planejamento está relacionado com o teor de minério a ser lavrado e a relação estéril minério a ser considerada na viabilidade do projeto. Além do formato e dimensão da cava, as vias de acesso também sofrem modificações para atender as necessidades do projeto. Estruturas como edificações, disposição de estéril e rejeito dificilmente são realocadas, qualquer destas modificações oneram a operação de mineração podendo tornar o empreendimento inviável economicamente (CURI, 2014).

¹³ Descomissionamento – encerramento de operação após a paralisação (ARAÚJO, 2020).

Outro aspecto importante a ser considerado é a rigidez locacional que a atividade de extração mineral possui, graças a natureza das ocorrências geológicas. Essa característica faz com que algumas feições sejam instaladas permanentemente em determinados locais, ex. cavas, causando assim um “confinamento” dos impactos trazidos pela sua implantação e operação (FERNANDES, 2014).

Segundo Sonter (2017), para além dos impactos locais causados pelo confinamento da atividade é preciso considerar as modificações que ocorrem no entorno do empreendimento em decorrência da sua instalação e que são considerados impactos indiretos. Essas modificações envolvem o crescimento demográfico e urbanização, crescimento e modificações de vias de acesso, aumento do comércio local, desenvolvimento do setor de prestação de serviços, aumento de capacitação e demanda para qualificação profissional, entre outras coisas. Estas alterações geram impactos denominados pelo autor como impactos off-lease, e segundo ele possuem alcance que ultrapassa um raio de 10 km do empreendimento.

CAPÍTULO II – IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA MINERADA

A mineração é um setor que compõe um dos principais pilares econômicos do Brasil. Responsável por parte do PIB nacional e por proporcionar insumos para várias cadeias produtivas, trazendo também desenvolvimento para a sociedade (SILVA, 2016). A rigidez locacional, característica principal da atividade de extração mineral, proporciona impactos com extensão limitada a área de influência do empreendimento (FERNANDES, 2014). O grande desafio é delimitar esta área de influência, pois muitas vezes as instalações encontram-se em locais de difícil acesso (SOUZA, 2019).

A Agência Nacional de Mineração - ANM, responsável por regular o setor de extração mineral realiza o acompanhamento das áreas disponibilizadas para a atividade através de Sistema de informação Geográfica da Mineração – SIGMINE. Este sistema apresenta informações atualizadas e georreferenciadas das áreas dos processos minerários cadastrados na ANM por meio de mapas digitais no formato vetorial e raster. Estas áreas são visualizadas como polígonos com vértices bem definidos (gov.br/anm).

A falta de informações de precisão sobre a fase na qual se encontra a mineração, bem como dimensão e delimitação da área de influência é um desafio que pode ser minimizado utilizando ferramentas de sensoriamento remoto com aplicação de classificadores e técnicas de machine learning (LOBO, 2018). O sensoriamento remoto permite visualização de diferentes tipos de dados e traz a possibilidade de trabalhar com imagens de diferentes datas para realização de análises temporais, além de permitir acessibilidade em regiões de difícil acesso (SONTER, 2014).

1. MÉTODOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

Existem diferentes técnicas de sensoriamento remoto para realizar a identificação de áreas mineradas, cada uma delas trazendo suas vantagens e limitações. Este trabalho apresenta algumas opções de ferramentas para identificação de áreas mineradas. Entre elas a possibilidade de verificação a partir do cadastro da empresa mineradora e o processo minerário junto ao órgão regulador, além de métodos/plataformas de identificação indireta que realizam classificação para identificação de mudança de uso e cobertura da terra e podem ser aplicados para

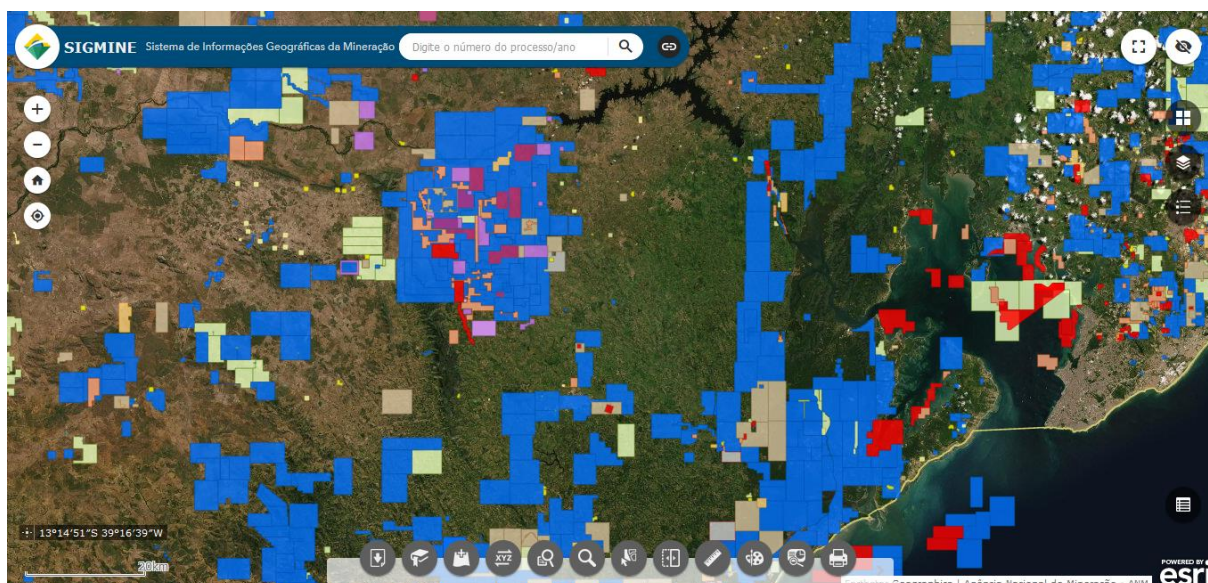
visualização de regiões de mineração, são eles: Mapbiomas e Global Forest Watch - GFW. Será também apresentado o método manual de identificação de alvos denominado de Delimitação de Região de Interesse – ROI, que pode ser aplicado para delimitação de área de mineração. Apresentamos também um quadro comparativo entre os métodos apresentados com suas principais características.

1.1. SIGMINE

O Sistema de Informações Geográficas da Mineração, denominado SIGMINE é a ferramenta mais direta para encontrar cadastro de áreas de mineração, e é utilizado pela ANM como controle de processos minerários. Na plataforma é possível encontrar os dados dos responsáveis pelos processos minerários, suas poligonais de abrangência, além de fase em que se encontra o empreendimento (autorização de pesquisa, portaria de lavra, disponibilidade etc.) (gov.br/anm).

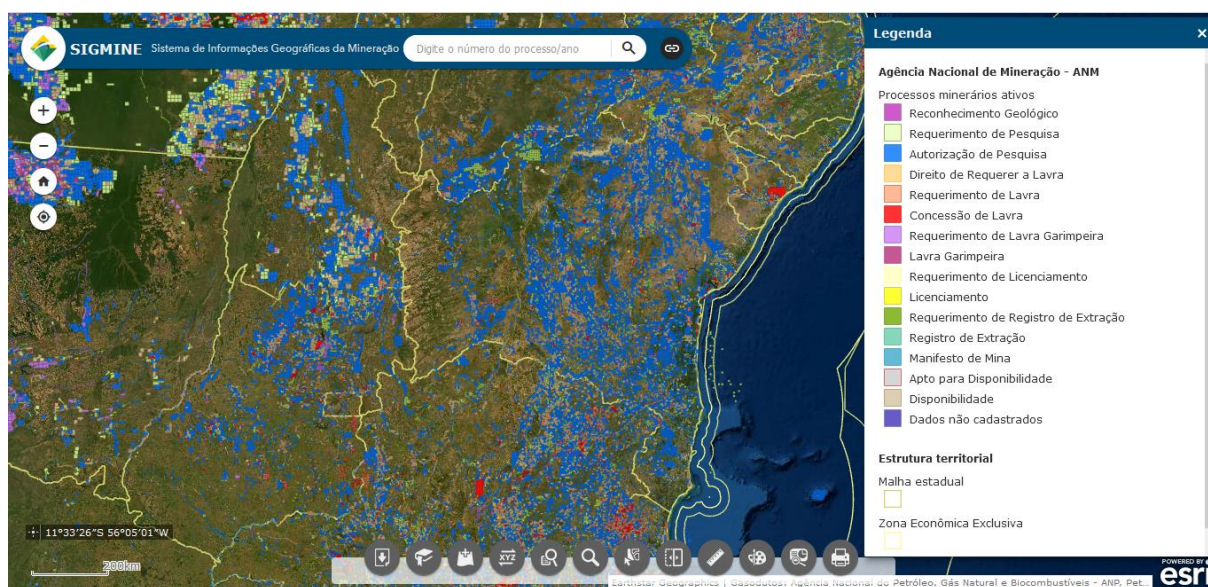
Os dados são de domínio público e permite que o usuário faça o acompanhamento do desenvolvimento setor mineral brasileiro de forma online e podem ser acessados por meio de dispositivos móveis. As informações apresentadas pelo sistema são georreferenciadas e disponibilizadas para consulta direta na plataforma ou para download em formato Kmz ou Shapefile. O formato dos arquivos, vetorial e raster, são disponibilizados em SIRGAS2000. Segundo informa o canal de comunicação da ANM, os dados dos processos minerários têm atualização diária (gov.br/anm).

Figura 7 – Polígonos SIGMINE



O SIGMINE apresenta como legenda o status dos requerimentos, ou outro aspecto da camada em exibição. A plataforma permite adição de camadas utilizando dados do ArcGis Online, a partir de inserção de URL ou a partir de carregamento de arquivos no formato shapefile, CSV ou KML.

Figura 8 – SIGMINE e legenda



Na plataforma online pode ser alterada o mapa base de visualização entre: imagem, imagem com rótulos, National Geographic, OpenStreetMap, oceanos, ruas, tela cinza claro, tela cinza escura, terreno com rótulos e topografia (Figura 9). Além do mapa base é possível selecionar entre as 12 camadas para exibição em destaque a camada de geociências, onde mostra informações geológicas advindas de mapeamentos (

Figura 10). Essa camada auxilia na prospecção e análise de alvos minerais (geo.anm.gov.br).

O SIGMINE contabiliza como região de mineração, toda a área na qual o polígono encontra-se inscrito e que é objeto do processo mineral que o compõe, desconsiderando a característica de impacto local causado pela atividade mineradora. Algumas plataformas de mapeamento utilizam a base do SIGMINE, arquivos em shapefile ou KML para contabilizar área minerada de forma errônea. A área minerada impactada deve ser contabilizada como aquela que sofre interferência antrópica para fins de extração e beneficiamento mineral, e não a área de permissão para a atividade, ou seja, o polígono cadastrado na ANM junto ao processo mineral.

Figura 9 – Mapa base SIGMINE

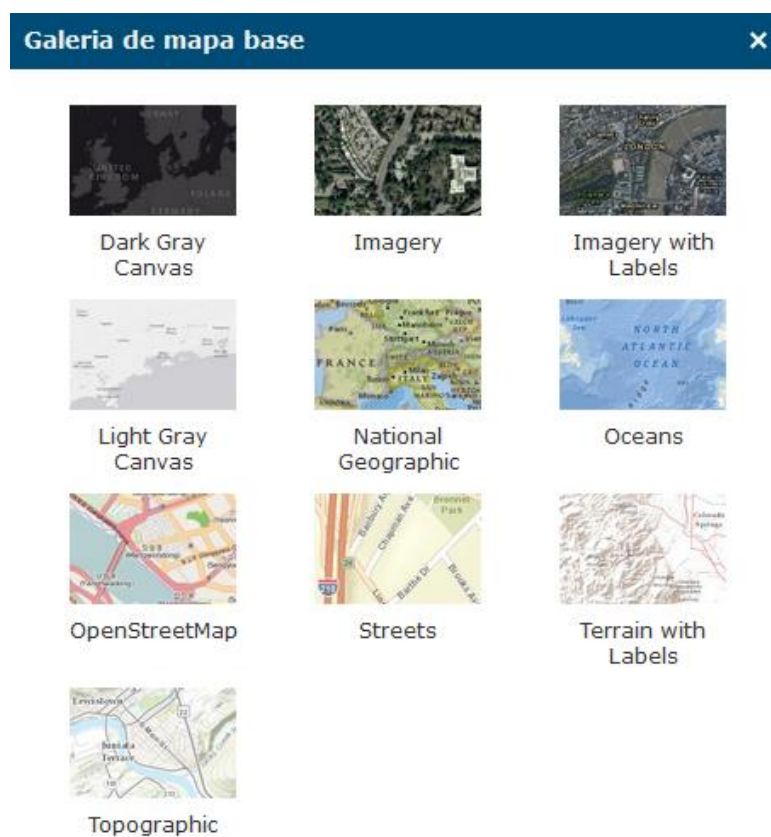
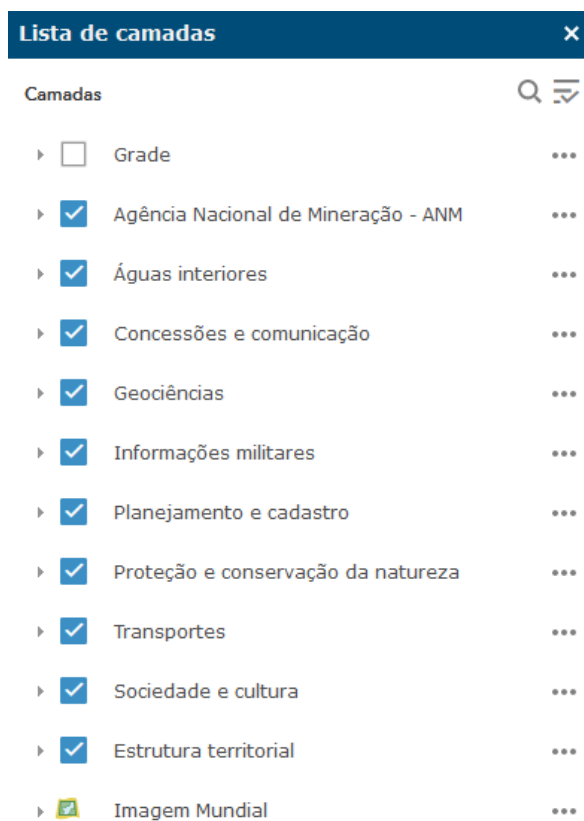


Figura 10 – Lista de camadas disponível SIGMINE



Para acesso a plataforma os usuários podem acessar o Portal Brasileiro de Dados Abertos através do link: <https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine>, no site da ANM tem disponível um manual de utilização do sistema para auxiliar o usuário (gov.br/anm).

1.2. PLATAFORMA MAPBIOMAS

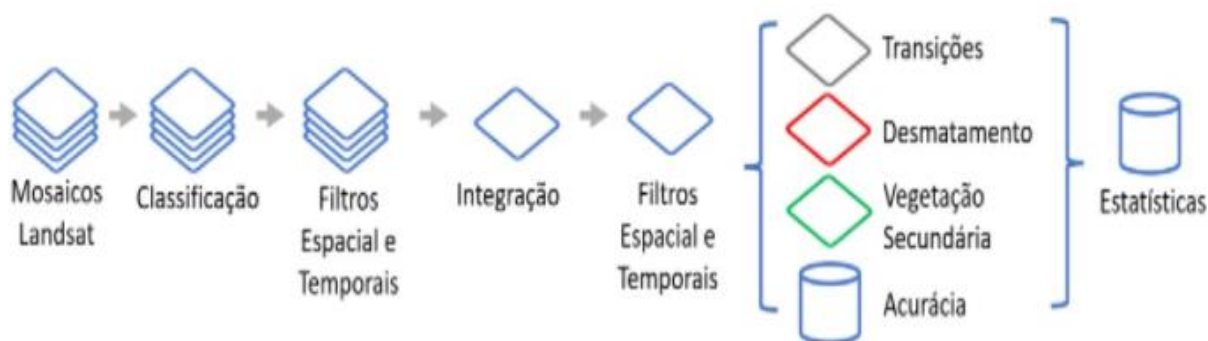
O Mapbiomas é uma iniciativa de um grupo de pesquisadores, universidades, ONGs e empresas que criaram um mapa interativo do uso e cobertura do solo brasileiro a partir da análise de imagens de satélite Landsat, ao longo de uma série temporal de 36 anos (1985 a 2020). O projeto nasceu em 2015 a partir de eventos realizados pelo Observatório do Clima e envolve uma rede de pesquisadores e especialistas dedicados ao aperfeiçoamento da ferramenta que é disponibilizada de forma gratuita (GANEM, 2019).

O Mapbiomas utiliza algoritmos de classificação (machine learning) para realizar o processamento de imagens de forma automatizada e em nuvem através da plataforma *Google Earth Engine* - GEE (GORELICK, 2016). O processamento de imagens em nuvem apresenta grandes vantagens em relação a softwares de processamento de imagens convencionais, entre as principais podemos citar: velocidade de acessar e compartilhar um grande volume de dados dispensando a necessidade de possuir grandes computadores e megabanco de dados; plataforma baseada em desenvolvimento interativo de WEB possuindo uma fácil interação permitindo rápida visualização e prototipagem (GORELICK, 2016).

Os algoritmos utilizados na plataforma possuem programação em linguagem própria, sendo esta, uma mistura entre Python e JavaScript (SOUZA, 2019). Esta plataforma apresenta uma versatilidade em seu uso podendo ser amplamente utilizada em questões ambientais, sociais, que envolvem gestão, segurança e monitoramentos em geral (GORELICK, 2016).

A metodologia utilizada na plataforma é ilustrada no diagrama a seguir:

Figura 11 – Diagrama metodológico



Fonte: Mapbiomas.org

Entre os objetivos do projeto está o desenvolvimento de metodologia de baixo custo para produção de mapas anuais e atualizáveis de análises de uso e cobertura da terra no solo brasileiro.

“Revelar as transformações do território brasileiro por meio da ciência, com precisão, agilidade e qualidade, e tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e o uso da terra, para buscar a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais, e a mitigação das mudanças climáticas”.

As análises têm início a partir de 1985 e sofrem atualizações anuais com dados dos anos mais recentes, denominadas de coleções. A plataforma Mapbiomas possui fácil manuseio e é desenvolvida de forma colaborativa entre os especialistas, a fim de mapear as dinâmicas de mudanças apresentadas pelos diferentes biomas (Mapbiomas.org). O trabalho é dividido entre equipes de acordo com o bioma e tema transversal, como mostra o diagrama a seguir:

Figura 12 – Divisão de trabalho no desenvolvimento da plataforma



Fonte: Mapbiomas.org

As atualizações da plataforma se dão por meio do lançamento de Coleções que ocorrem periodicamente. O primeiro lançamento foi a Coleção 1 que abrangia análises entre os anos de 2008 e 2015 e possuía legenda simplificada. Esta coleção foi publicada em abril de 2016. Em abril de 2017 foi lançada a Coleção 2, nove meses depois realizado upgrade com a Coleção 2.3, inserindo o *Random Forest* nas análises. O *Random Forest* é um algoritmo de inteligência artificial de aprendizagem de máquina utilizado para ver o comportamento dos alvos nos dados de reflectância, e usa de conceitos estatísticos aplicados nos valores sobre os valores dos pixels. Esta coleção abrange ao intervalo temporal de 2000-2016.

As análises de mudança de uso e cobertura da terra referente ao ano de 1985 só foram liberadas a partir da Coleção 3 e 3.1, e se estendiam até o ano de 2017, essa coleção atualizada foi publicada em abril de 2019. A Coleção 4 publicada em agosto de 2019 também passou por upgrade para Coleção 4.1, em março de 2020, e teve suas análises realizadas no período de 1985 a 2018.

A Coleção 5 que apresenta os 35 anos de análises (1985 a 2019), e foi publicada em agosto de 2020. Os mosaicos processados nesta coleção são baseados nas imagens TOA (Topo de atmosfera). Muito esperada esta coleção traz melhorias na acurácia, novas classes de agricultura, novo limite dos biomas em escala 1:250.000 do IBGE, inserção de dados de supressão e regeneração da vegetação nativa. Além disso, foram incorporados dados da infraestrutura de transportes, mineração, energia, incluindo vias (estradas, ferrovias, aeroportos, hidrovias, dutovias), etc. (Mapbiomas.org).

No dia 27 de agosto de 2021 a equipe desenvolvedora lançou para os usuários a Coleção 6. Neste novo lançamento há a disponibilização dos mapas e classificação de mudança de uso e cobertura referente ao período de 1985 a 2020, com importantes avanços nos mapas de classificação. Entre as atualizações disponíveis foram trazidos recortes territoriais novos como: Amazônia legal, MATOPIBA, Área da Lei da Mata Atlântica, entre outros. Nesta coleção o mapa base utilizado são os mosaicos da Planet com resolução de 3 m e que são atualizados mensalmente. Implantação da

ferramenta para geração imediata de *Time lapse on the fly*¹⁴ a partir de recortes de territórios selecionados.

Diferentemente das coleções anteriores, os mosaicos processados na coleção 6 são baseados nas imagens de refletância de superfície, o que proporciona menos ruído na imagem. A metodologia de classificação também foi modificada para maior refinamento dos dados, aplicando uma rede neural convolucionária inserindo o algoritmo de *Deep learning denominado de U-Net* como classificador. Este é um algoritmo de inteligência artificial de aprendizagem profunda que utiliza além das informações de pixel, as informações de contexto (forma e contorno) para ver o comportamento dos alvos.

A Coleção 6 apresenta maior dedicação aos dados relacionados a classe de mineração. Na identificação de áreas mineradas ela traz grandes avanços, entre eles destaca-se a distinção entre a mineração industrial e a atividade de garimpo, ganhando também um *Dashboard* específico para o detalhamento desta classe. Essa categorização entre as atividades minerais desenvolvidas é realizada a partir do cruzamento dos dados classificados na plataforma pela a U-NET com informações e detalhamentos sobre a mineração no Brasil contida em banco de dados de instituições como: Companhia de Pesquisa de Recurso Minerais-CPRM, Agência Nacional de Mineração-ANM, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, entre outras.

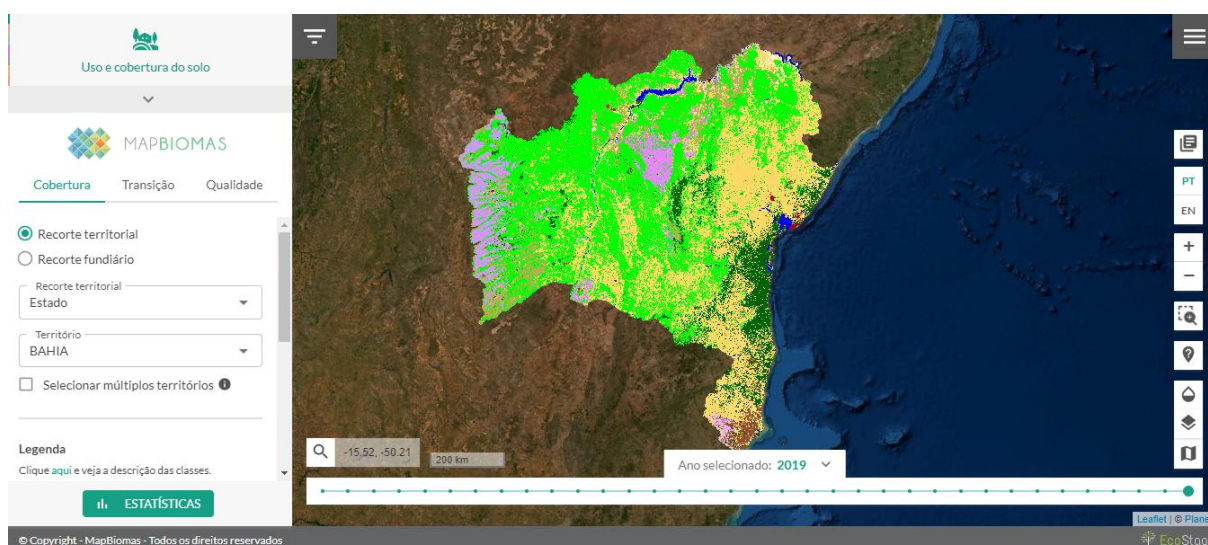
No momento da confecção deste trabalho a coleção 6 não estava disponível em sua completude para os usuários da plataforma de acesso direto. O site, que é alimentado paulatinamente com os dados e novas configurações, apresentou inconsistências e instabilidades, mesmo após algumas semanas do lançamento, com algumas informações difusas e que não correspondem ao ícone clicado. Os erros de configuração do site foram reportados para os desenvolvedores os quais prosseguirão com as adequações no tempo futuro. Por este motivo as imagens expostas neste capítulo se referem aquelas obtidas da Coleção 5, apesar disto, não há comprometimento na demonstração da ferramenta, suas funcionalidades e possibilidades trazidas pela plataforma Mapbiomas.

¹⁴ *Time lapse on the fly* – ferramenta que mostra um vídeo curto e rápido, como um “gif”, ilustrando a mudança de uso e cobertura ao longo dos anos, na área do território selecionada na plataforma.

O Mapbiomas oferece mapas para aplicação em escala de até 1:100.000 com resolução de 30 m a partir da formação de mosaicos para melhor tratamento de cobertura de nuvens e interferências atmosféricas. Estes mosaicos podem ser acessados diretamente no GEE. Para os usuários interessados em trabalhar com os dados apresentados pela plataforma, existe a possibilidade de acessar a coleção de scripts utilizados para produzir os mapas, classificações e filtros diretamente no *GitHub*¹⁵. Além da disponibilidade das notas metodológicas produzidos no formato de Documento Base da Teoria do Algoritmo (ATBD), e a possibilidade de realizar download dos dados do projeto diretamente no Google Earth Engine (Mapbiomas.org).

Para acesso aos mapas de classificação de uso e cobertura é possível selecionar o Recorte Territorial (país, estado, município, bioma, região hidrográfica, Unidade ou bacia hidrográfica) ou o Recorte Fundiário (assentamento, quilombo, CAR, território indígena, UC estadual e UC federal) e o ano de interesse.

Figura 13 – Uso e cobertura do solo, Bahia/BR

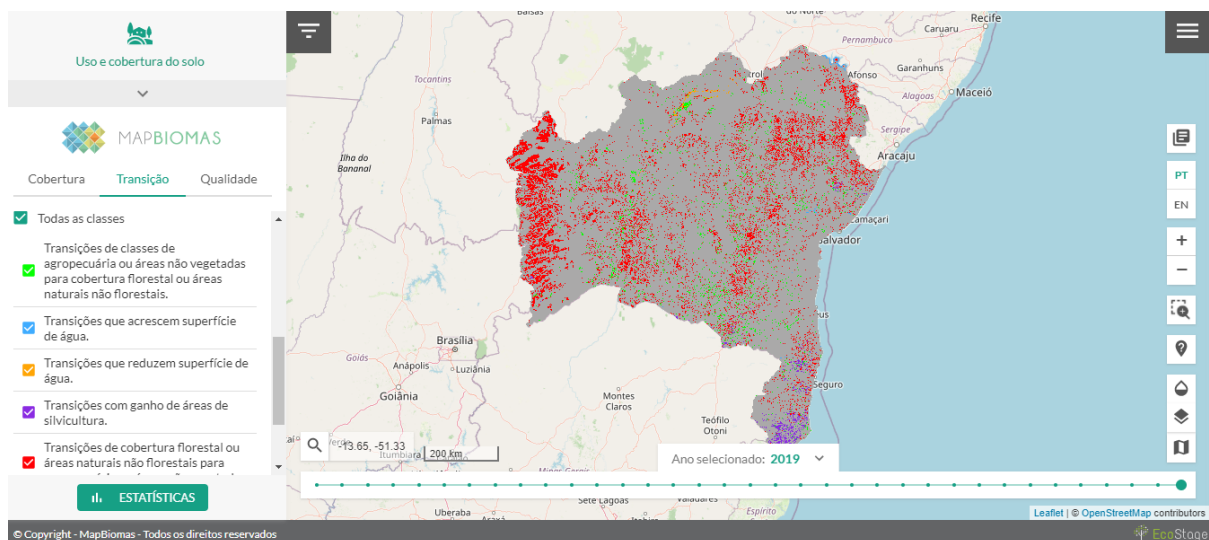


A partir dos mapas gerados na plataforma, são apresentadas as estatísticas da região analisada. A plataforma traz a possibilidade de realizar download da área em hectare para cada classe identificada na imagem correspondente ao período analisado em cada coleção, além da visualização do gráfico contendo as mudanças de uso e cobertura da terra. O script com o código para cálculo de área também

¹⁵ *GitHub* - Plataforma utilizada para hospedar arquivos e código-fonte permitindo a colaboração entre diferentes programadores (NADELLA, 2018).

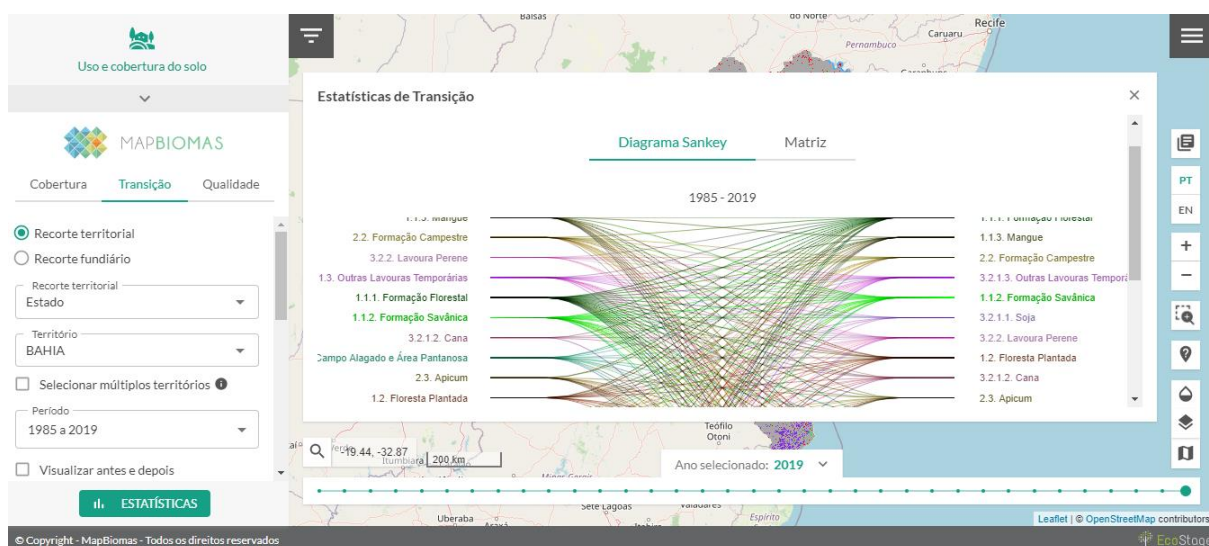
encontra-se disponível na plataforma e pode ser acessado através no link: https://code.earthengine.google.com/2d2b7d715d49d4725b401a777fdd2937?accept_repo=users%2FMapbiomas%2Fuser-toolkit.

Figura 14 – Transição de classes, Bahia/BR



Na aba transição é possível observar o Diagrama Sankey com as mudanças de uso e cobertura ao longo da série temporal.

Figura 15 – Estatística de transição, Bahia/BR



Ao longo do desenvolvimento da plataforma as legendas foram sendo mais detalhadas e aperfeiçoadas, as classes ganharam mais itens com o avanço das coleções, esta progressão é mostrada na Figura 16. Os códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas nas Coleções são apresentados no Anexo 1.

Figura 16 – Detalhamento das legendas ao longo das coleções



Fonte: BRASIL1985-2020, 2021

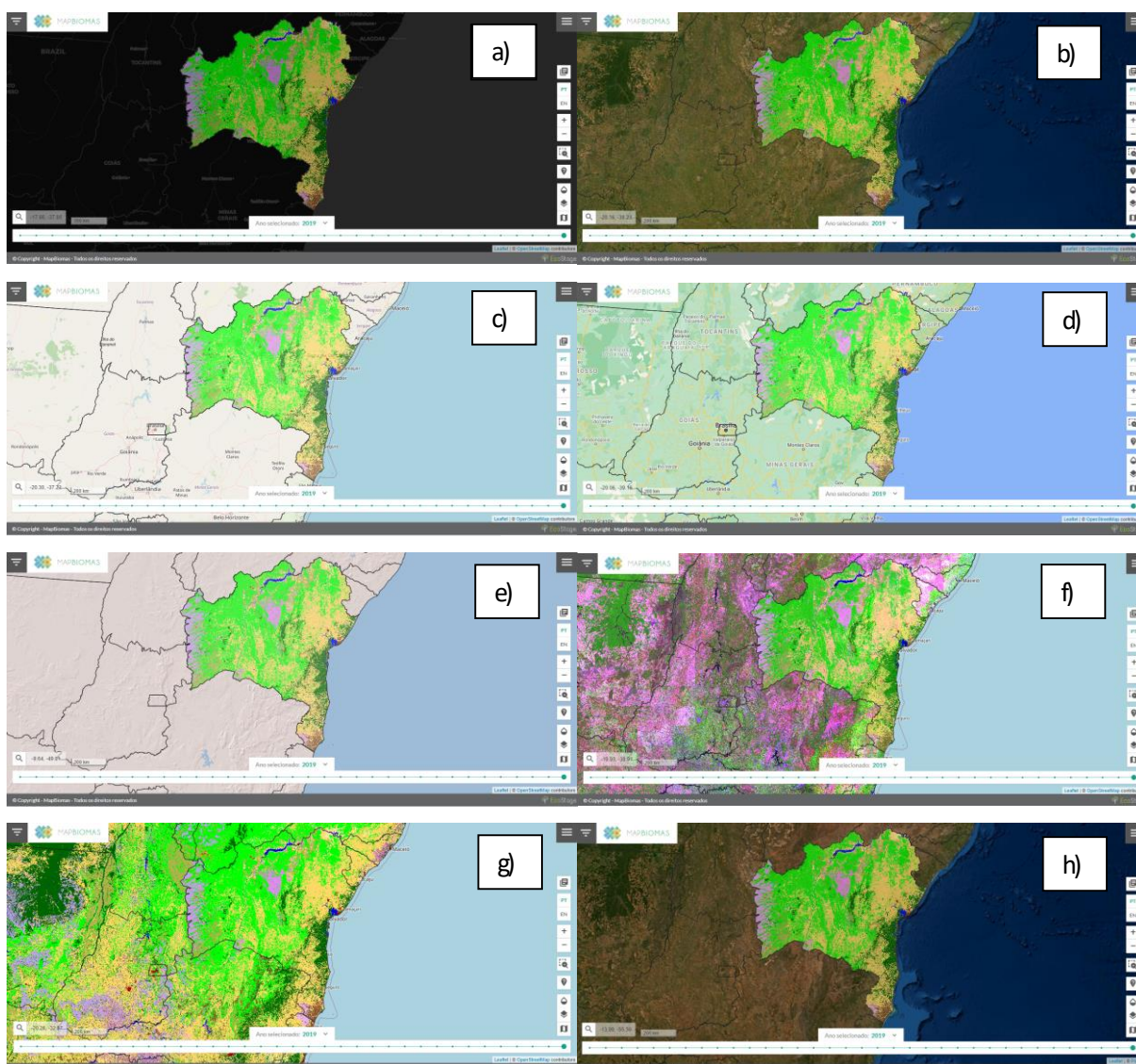
Além dos mapas o Mapbiomas também oferece mosaicos de imagens com até 105 camadas contendo bandas espectrais, frações e índices; com objetivo de obter imagens representativas de determinado período, com menor percentual de nuvens. Esses mosaicos apresentam resolução espacial de 30 m e podem ser acessados selecionando a camada mosaico na plataforma ou diretamente no Google Earth Engine.

Na visualização dos mapas é possível adicionar camadas para exibição contendo os limites de áreas como: estados, municípios, biomas, Amazônia legal, bacias hidrográficas, UCs, terra indígena, assentamentos, quilombos, CAR e reserva da biosfera. Como mapa base a plataforma dá a opção de exibir os modos: Escuro, satélite, Open street, Google street, Relevo, Mosaico Landsat Mapbiomas (RGB), uso e cobertura Mapbiomas, mosaico Planet (Figura 17).

Para os usuários que se interessem em aprofundar e explorar os produtos trazidos pelo Mapbiomas, além dos recursos citados o projeto apresenta a disponibilização de Plugins para acessar os dados do projeto diretamente no QGIS; ATBD (Documento Base Teórico do Algoritmo) explicando as especificidades de tema transversal e bioma; Acesso e Download dos arquivos disponíveis diretamente no Google Earth Engine; além de acesso a coleção de scripts no GitHub utilizados para as classificações (Mapbiomas.org).

Está disponível também os Toolkits, ferramenta aplicada para exportação rápida das coleções do Mapbiomas por limite geográfico de interesse. Caso o usuário prefira, pode acessar as coleções de imagens dos mapas integrados finais da coleção 6, ou dos mapas de áreas de transição, e os mosaico de Imagens Landsat para cada ano de outras coleções, diretamente no GEE através do Asset, sem a necessidade de realizar download/upload (Mapbiomas.org).

Figura 17 – Mapas base de exibição Mapbiomas



Legenda: a) Escuro, b) satélite, c) Open street, d) Google street, e) Relevô, f) Mosaico Landsat Mapbiomas (RGB), g) uso e cobertura Mapbiomas, h) mosaico Planet.

Além da plataforma já consolidada e em constante evolução, o Mapbiomas tem desenvolvido novos produtos, entre eles a implantação de Alerta de Desmatamento, degradação e regeneração de vegetação nativa através da validação de alertas emitidos pelo INPE, Imazon e Global Forest Watch. A validação ocorre a partir de imagens de alta resolução e produz laudos sobre os desmatamentos a partir de janeiro de 2019. Mapbiomas Água e o Mapbiomas Fogo, iniciativas que mapeiam a superfície de água e as cicatrizes de fogo no Brasil desde 1985, trazendo dados mensais com publicações anuais. O Portal Geocovid, que faz o acompanhamento dos temas relacionados a pandemia do Sars-CoV-2 de forma territorial, onde é possível realizar projeções.

Figura 18 – Iniciativas Mapbiomas



A plataforma atualmente está desenvolvendo vertentes do consolidado Mapbiomas, através da construção de mapas baseados e adaptados do método construtivo já aplicado. São elas:

- Projeto Pan-Amazônico, que traz o mapa de desmatamento da Amazônia através de uma iniciativa que envolve rede colaborativa de especialistas;
- Projeto de Mapeamento do Gran Chaco Americano, que traz informações anuais de uso e cobertura da terra, este projeto envolve especialistas da Argentina, Brasil e Paraguai;
- Projeto Mapbiomas Árida, que tem como objetivo monitorar a degradação no nordeste do Brasil, prevenindo a desertificação. É iniciativa entre a UEFS e a Associação Plantas do Nordeste (APNE).
- O Projeto Mata Atlântica Trinacional, que traz a série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra na região da Mata Atlântica Trinacional.

O Mapbiomas apresenta várias possibilidades de fácil acesso na plataforma além da opção de visualização de uso e cobertura do solo (disponível até o ano de 2020). Também é possível identificar informações no mapa sobre desmatamento com supressão de vegetação primária e secundária; regeneração de vegetação secundária; irrigação a partir da locação de sistemas de irrigação como por exemplo: pivô central; locação de infraestruturas como: transportes (ferrovias e rodovias), energia (instalações elétricas - infraestrutura e geração além de combustíveis) e mineração com a marcação de ponto nas principais minas a céu aberto da Bahia; trazendo também a possibilidade de formação de buffer de 5, 10 e 20 km nas áreas

de mineração e infraestrutura; além da possibilidade de verificar os mapas contendo pastagem); cicatrizes de queimadas e superfícies de águas.

Figura 19 – Menu de visualização de mapas no Mapbiomas



Como mencionado, na plataforma o usuário pode fazer download dos mapas das coleções, acessar os mosaicos Landsat, infográficos, dados de infraestrutura, e estatísticas calculadas nos mapas a partir das classificações obtidas. A partir das análises estatísticas é possível ter acesso a dados de área (em ha) de uso e cobertura do solo: por estado, município, bioma, transição de uso no estado ou município, desmatamento e regeneração por estado ou bioma, irrigação em cada estado ou bioma, qualidade da pastagem por estado ou bioma. Além da possibilidade de gerar estatística de qualquer recorte territorial salvo como “Asset” a partir do GEE, é possível calcular a área do recorte territorial ou do vetor que o usuário desejar através dos links disponíveis no toolkit da plataforma.

A qualidade dos dados apresentados pelo Mapbiomas pode ser avaliada a partir de análise de acurácia, a qual é explicada na própria plataforma. O processo de produção dos mapas é realizado a partir de algoritmos no GEE através do ATBD (Algorithm Theoretical Basis Document), o qual é constantemente atualizado com novas informações.

Para utilizar o Mapbiomas o usuário pode acessar a plataforma através do link: <https://Mapbiomas.org/>. O site é autoexplicativo e fácil de manusear, como na proposta apresentada pelo projeto. Através do link é possível acessar a plataforma de

mapas e dados, os infográficos de mudança de uso e cobertura, metodologias etc. Além do site o canal da plataforma dispõe de vários tutoriais ensinando como manipular algumas ferramentas da plataforma, o canal pode ser acessado através do link: <https://www.youtube.com/c/MapbiomasBrasil>.

1.3. GLOBAL FOREST WATCH

O Global Forest Watch (GFW) é uma plataforma online que fornece ferramentas para monitoramento de florestas em todo o mundo. O projeto nasceu em 1997 como iniciativa Forest Frontiers criada pelo World Resources Institute (WRI). Formado inicialmente por uma rede de ONGs que produziam relatórios sobre o estado das florestas nos países: Camarões, Indonésia, Canadá e Gabão. Em 2002 o trabalho foi expandido para mais 7 países, e em 2004 o GFW criou mapas regionais interativos online contendo uso e cobertura da terra no servidor do ArcGIS do ESRI (globalforestwatch.org).

Até 2011 o GFW expandiu o projeto produzindo mapa global de paisagens de florestas. Em 2014 foi lançada a plataforma interativa com dados de todo o mundo. Em 2015 visando monitorar o desmatamento o GFW expandiu com a criação de aplicativos de monitoramento de incêndios florestais no Sudeste Asiático. Passou a oferecer alertas mensais e semanais de desmatamentos a partir de 2016, lançando aplicativo móvel para a plataforma em 2017(globalforestwatch.org).

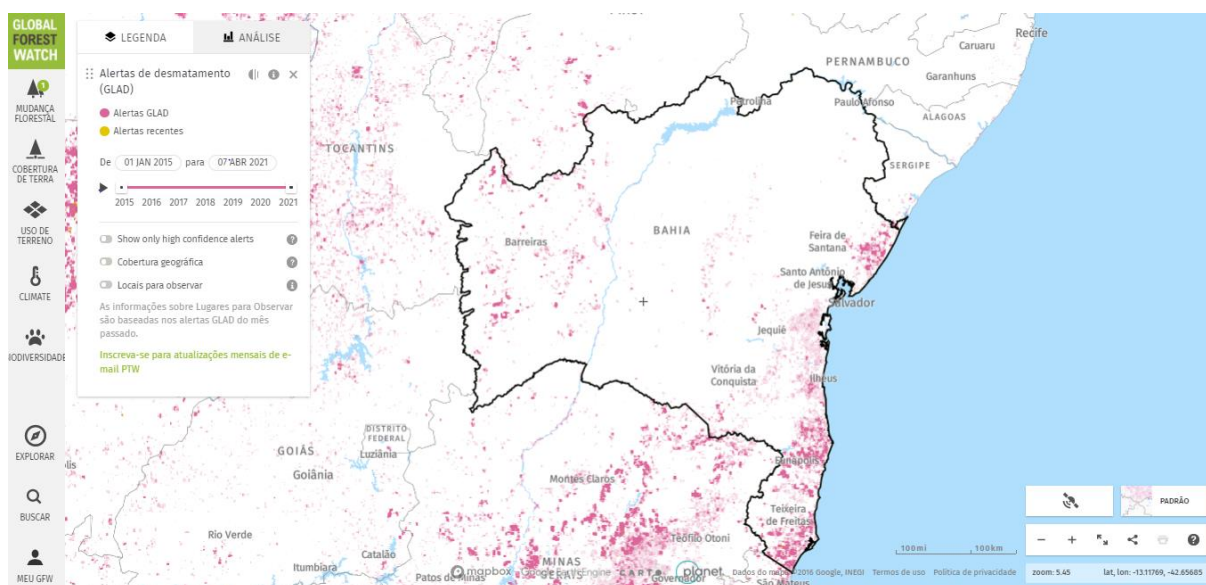
Em 2018 a iniciativa divulgou os fatores dominantes na perda de cobertura de florestas além de fornecer painéis com informações e alertas de desmatamento (GLAD), e a partir de 2015 para países selecionados pertencentes as bacias da Amazônia, no sudeste da Ásia insular e no Congo. Em 2019 foi lançado o GFW Pro para ajudar empresas a gerenciar os riscos de desmatamento na cadeia de suprimentos, além da edição com imagens Planet para melhor visualização dos usuários das mudanças de uso e cobertura. Em 2021 a plataforma disponibilizou alertas de desmatamento denominado de Radar for Detecting Deforestation – RADD (globalforestwatch.org).

A elaboração de alertas de desmatamento tem como principal desafio o processamento de imagens contendo interferências atmosféricas como fumaça, nuvens e neblina, os alertas atuais, baseados em sensores ópticos, identificam alterações de paisagem apenas em imagens livres de nuvens. Em algumas regiões a

obtenção dessas imagens “limpas” pode levar meses causando atrasos na emissão dos alertas de alteração de paisagem. Para detecção de desmatamento ilegal esse lapso temporal é um problema. Os alertas obtidos por dados de radar são confiáveis para detecção rápida de monitoramento de superfície (globalforestwatch.org).

Os alertas de desmatamento do Global Forest Watch são de 2 tipos: o GLAD e o RADD. O GLAD, criado em 2018 é um alerta proporciona atualizações semanais e possui resolução espacial de 30 m. Seus dados são obtidos a partir de sensores ópticos de imagens Landsat 7 e 8. Para este alerta é definido como cobertura vegetal árvores com altura de 5 m e copa de 60 %, quando essa cobertura é removida o equivalente a metade de um pixel, é identificado como perda de cobertura arbórea. O RADD é um alerta baseado nos dados de radar do Sentinel-1, com coberturas de 6 a 12 dias e resolução espacial de 10 m, o que traz um maior nível de detalhe na análise. Este alerta atende a 31 países com florestas tropicais úmidas localizados no Sudoeste Asiático e na África Central (globalforestwatch.org). O Brasil não possui cobertura na plataforma para este tipo de alerta, mas por ser desenvolvido e operado no GEE possui capacidade de ser expandido para outras regiões do mundo.

Figura 20 – Alerta de desmatamento GLAD, Bahia/BR



Através do GFW é possível analisar dados de cobertura de florestas no mundo inteiro. Para o Brasil é possível acessar essas informações selecionando por estado e município. Para visualização de cobertura arbórea, atualmente o usuário tem a opção de escolher os dados para serem visualizados referentes aos anos de 2000 ou 2010. O percentual de densidade de copa das árvores pode ser ajustado durante a

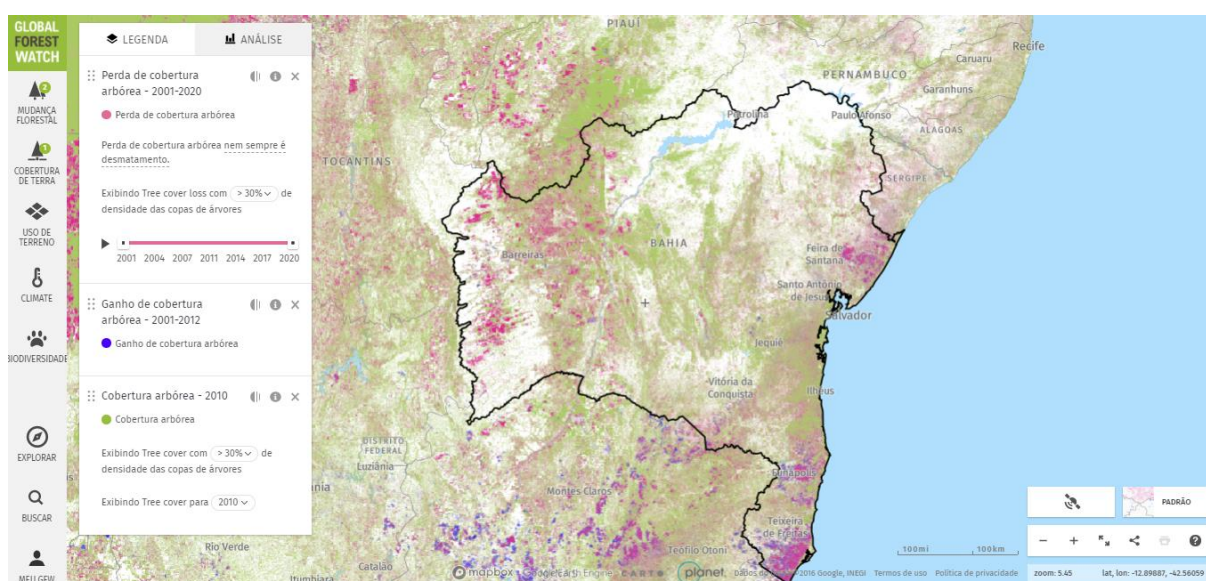
visualização. Além do mapa de cobertura da terra a plataforma apresenta também dados de análise estatística referente a busca a ser realizada. Pode também ser realizado download das análises estatísticas apresentadas em tela, no formato xlsx (globalforestwatch.org).

Figura 21 – Cobertura arbórea Bahia, Brasil



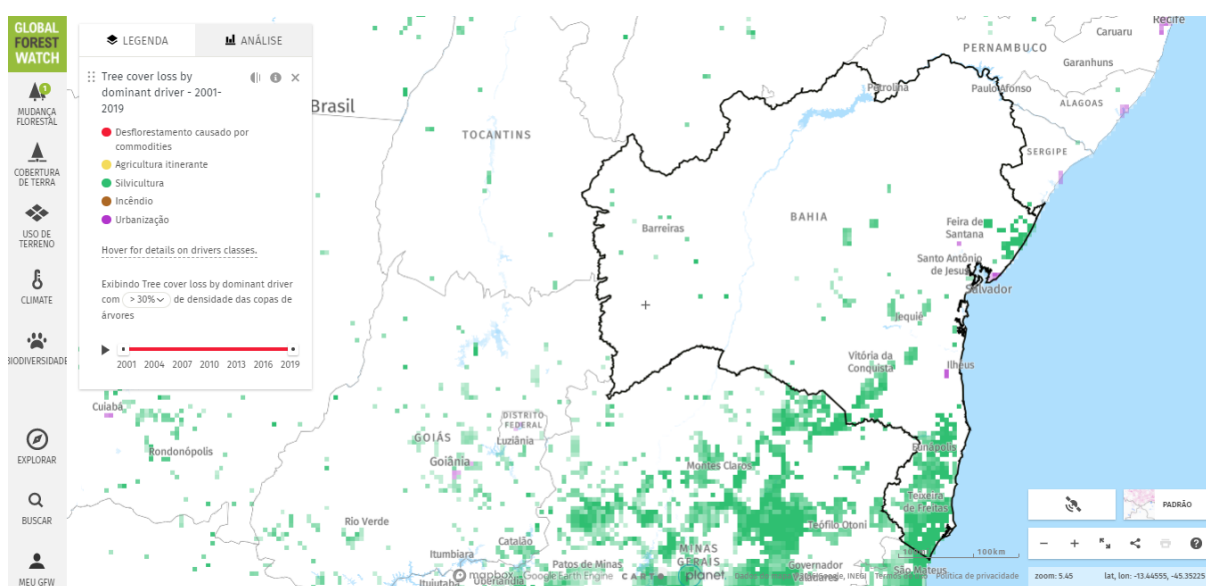
Os dados de perda de cobertura arbórea estão disponíveis para visualização nos anos de 2001 a 2020 e os de ganho de cobertura arbórea estão disponíveis no intervalo de 2001 a 2012; os dados apresentados de florestas primárias são referentes ao ano de 2001 e possuem resolução espacial de 30 m (TURUBANOVA *et al.*, 2018).

Figura 22 – Perda e ganho de Florestas primárias, Bahia/BR



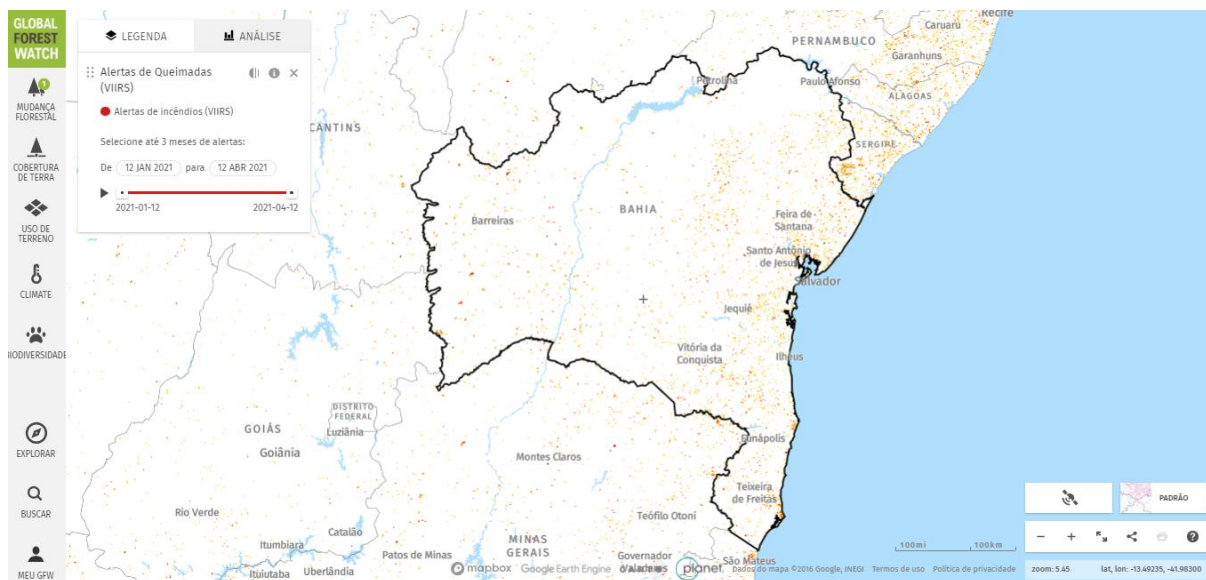
Em outra ferramenta é possível identificar o setor responsável pela perda de cobertura arbórea, a este setor responsabilizado é dado o nome de causador dominante. Esta análise abrange de 2001 a 2019 e possui resolução espacial de 10 km. As classes identificadas são: desmatamento causado por commodities, agricultura itinerante, silvicultura, incêndio e urbanização. Não sendo possível identificar áreas que sofrem a influência sobre o uso e cobertura, devido a atividade de extração mineral (CUTIS *et all.*, 2018).

Figura 23 - Perda de Cobertura Arbórea por Causador Dominante, Bahia/BR



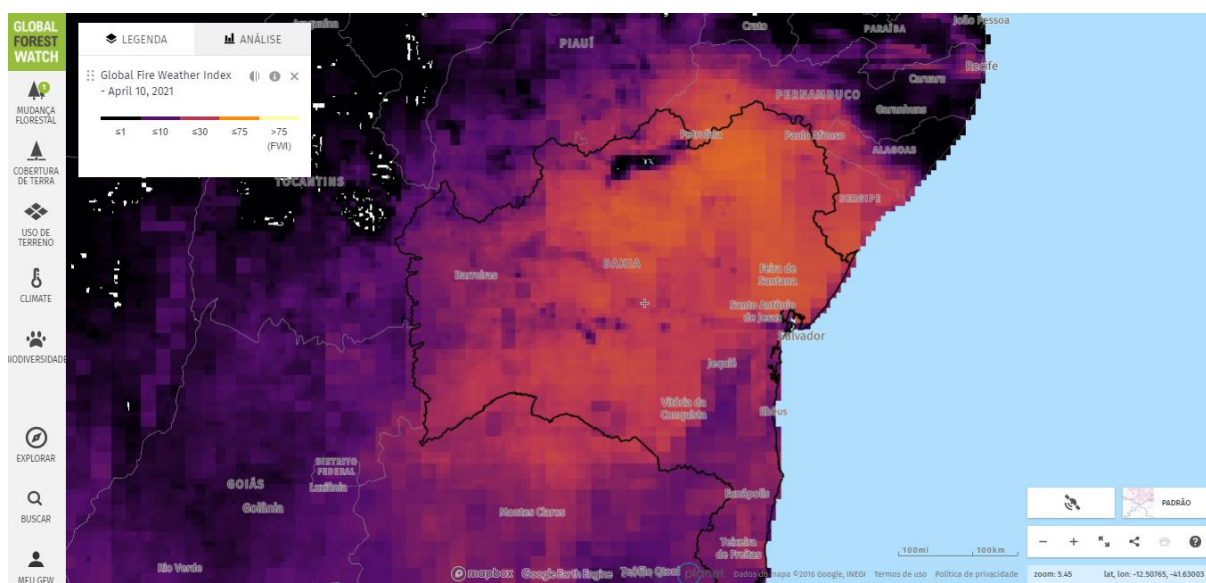
Recentemente a plataforma implantou alerta de queimadas (VIIRS) onde mostra dados das últimas 24 h, 48 h, 72 h, ou 7 dias, com resolução espacial de 375 m/pixel x 1 km/pixel. Para a criação desse alerta são utilizadas imagens do LANCE FIRMS operado pela NASA/GSFC/Earth Science Data and Information System. Os alertas estão disponíveis a partir de 12/01/2021 (globalforestwatch.org).

Figura 24 – Alerta de queimadas Bahia, Brasil



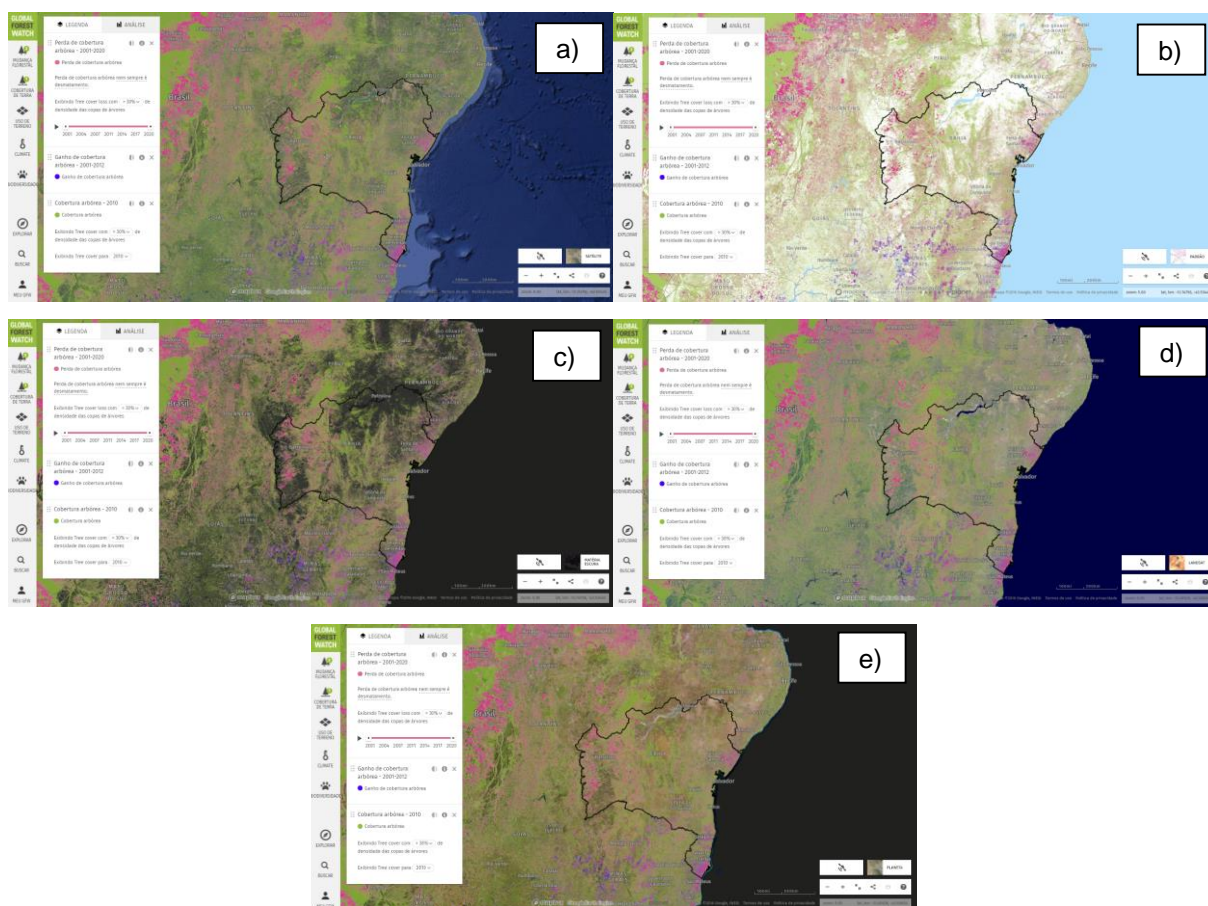
Além do alerta de queimadas a plataforma exibe um sistema de classificação de perigos de incêndio diário denominado de Global Fire Weather (GFW), que nasceu do Global Fire Weather Database (GFWED) e que é derivado de um sistema de classificação de perigo de incêndio, o Canadian Forest Fire Weather Index (FWI). Quanto mais alto o valor do FWI mais favorável a incêndio são as condições climáticas, sendo que valores acima de 50 já são considerados extremos. O GFW é derivado da precipitação diária, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e profundidade da neve. Os dados de precipitação diária são obtidos do GPM IMERG da NASA, e os demais dados de entrada do satélite GOES-5 (globalforestwatch.org).

Figura 25 – Classificação perigo de incêndio GFW-FWI, Bahia/BR



A plataforma permite aplicação de camadas distintas para melhor visualização dos dados. Assim como o Mapbiomas, existe a possibilidade de exibir a camada satélite como base da classificação feita com a plataforma. Além desta, estão disponíveis as camadas: Landsat, matéria escura, planeta e padrão.

Figura 26 – Perda e ganho de floresta Camadas, Bahia/BR



Legenda: a) satélite; b) padrão; c) matéria escura; d) Landsat; e) Planeta

A camada Planeta tem a opção de selecionar período de visualização da camada a partir de dezembro de 2015. Diferentemente do Mapbiomas que apresenta a camada satélite com mosaico de melhor visualização, predominantemente do ano mais atual.

Além da possibilidade de alternar a camada visualizada, a plataforma apresenta a ferramenta Imagens Recentes de Satélite, que possibilita visualizar como uma das camadas imagens de satélite de até 12 meses anteriores a data de consulta, com possibilidade de ajuste de percentual de cobertura de nuvens. A plotagem da imagem

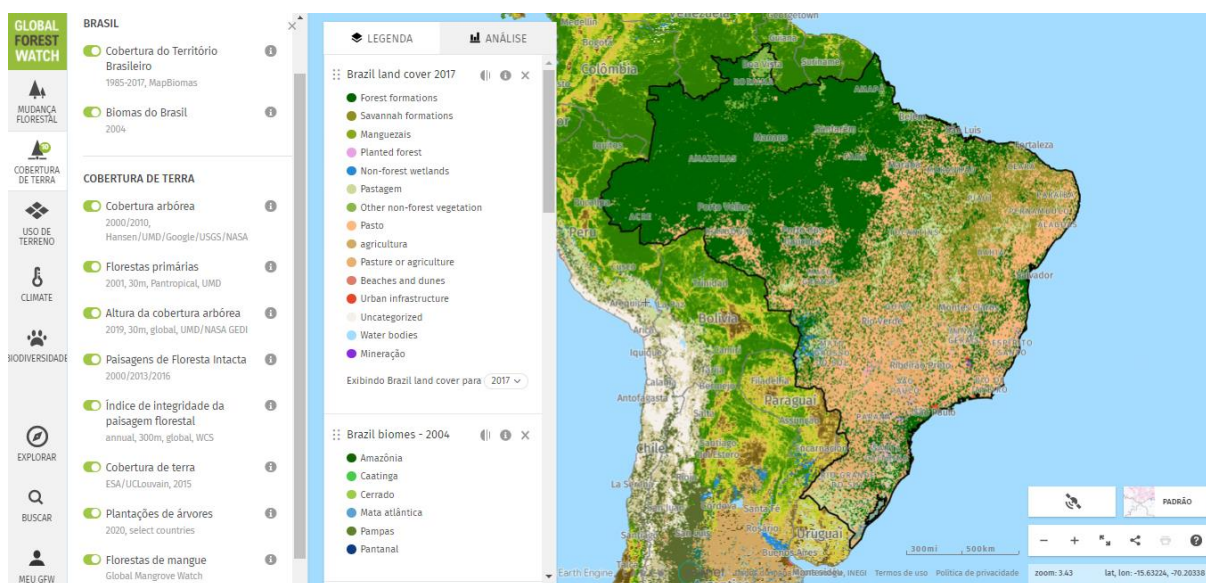
de satélite é realizada abaixo da classificação de cobertura de floresta. Essa ferramenta facilita a validação de dados

O GFW é uma plataforma utilizada por diversas pessoas no mundo para monitorar e gerenciar florestas. Sua aplicação ao território brasileiro tem a adição dos biomas brasileiros: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata atlântica, Pampas e Pantanal, inseridos em 2004. Tem também o acréscimo dos tipos de uso e cobertura, referentes ao ano de 2017, sendo eles:

- Formações florestais
- Formações de Savana
- Manguezais
- Floresta plantada
- Pântanos não florestais
- Pastagem
- Outra vegetação não florestal
- Pasto
- Agricultura
- Pastagem ou agricultura
- Praias e dunas
- Infraestrutura urbana
- Sem categoria
- Corpos d'água
- Mineração

Os dados para definição de uso e cobertura apresentado pelo GFW foram coletados da Coleção 3.1 do Mapbiomas (Project Mapbiomas). Além destas atualizações o GFW disponibiliza o NDVI (Índice de Vegetação com Diferença Normalizada) que é um indicador gráfico que sinaliza sobre a saúde da vegetação a qual este índice é aplicado, para o Brasil.

Figura 27 – Uso e cobertura da terra no Brasil - GFW



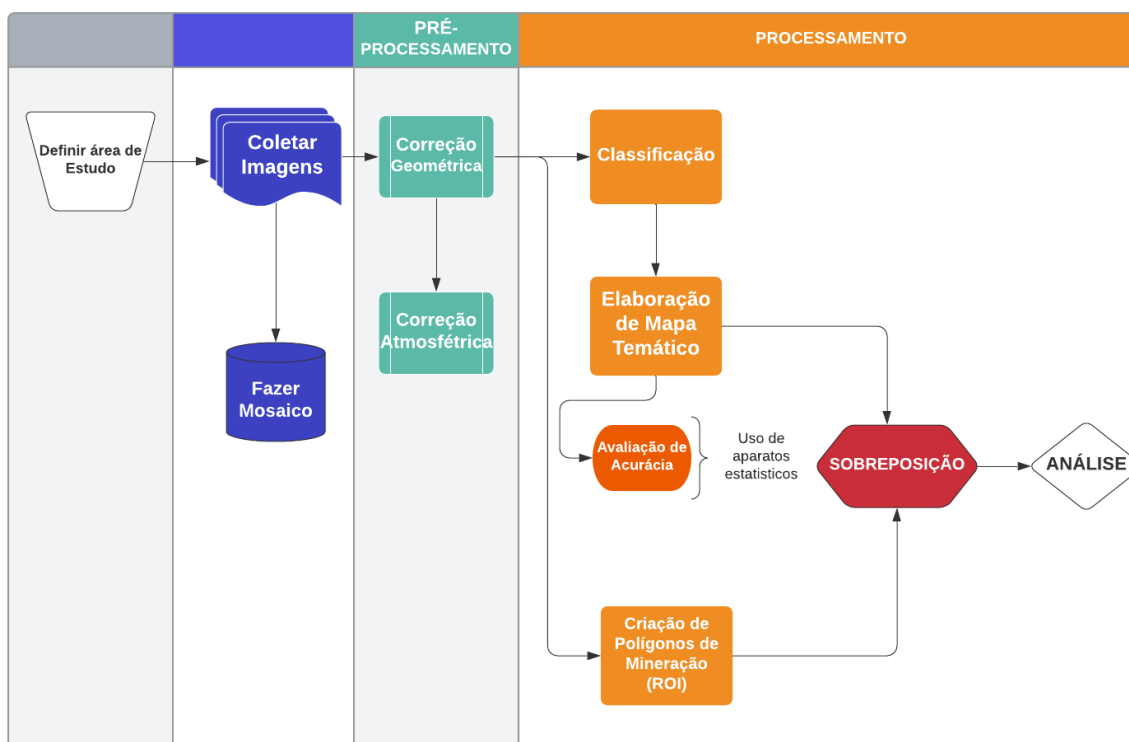
Para utilizar o Global Forest Watch o usuário pode acessar a plataforma através do link: <https://www.globalforestwatch.org>. O site possui médio nível de dificuldade de interação e manuseio. Através do link é possível acessar a plataforma de mapas e dados de análises disponíveis. Para acesso diretamente aos dados e análises disponibilizados para o Brasil, bem como seus estados e municípios é necessário acessar o link: <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/BRA> e selecionar o estado e/ou municípios a serem observados.

1.4. DELIMITAÇÃO POR REGIÃO DE INTERESSE – ROI

É um método de identificação de objetos em imagem de satélite executado de maneira convencional, através de coleta de imagens, pré-processamento e processamento em softwares específicos. Diferentemente dos demais métodos descritos neste capítulo a Delimitação por Região de Interesse ROI é realizada de forma manual sem a aplicação de técnica de aprendizado de máquina ou algoritmos.

A metodologia aplicada é composta por múltiplas etapas e depende de recursos de boa conectividade, velocidade e capacidade de processamento e armazenamento em computadores; além da experiência do executor. O fluxograma metodológico a seguir demonstra um exemplo das etapas necessárias à aplicação da técnica:

Figura 28 – Fluxograma Metodológico



Uma vez definida a área de estudo, por meio de interpretação visual de imagens de satélite é realizada, a identificação da região de interesse, área minerada. A escolha da região é feita a partir de validação em campo. Definida a mineração a qual será delimitada, será necessário a aquisição de imagens de satélite que contenha a ROI e cuja visualização esteja livre de nuvens. Caso a região de interesse não caiba em uma única cena, pode ser necessário coletar mais de uma cena e compor um mosaico para realizar a classificação e análise (DINIZ, 2014).

Com a imagem/mosaico da região investigada em mãos deverá ser realizada a fase de pré-processamento. Nesta fase, caso seja necessário, as imagens podem ser submetidas a correção geométrica e atmosférica para reduzir a interferência no processamento das imagens. Essas correções podem ser aplicadas a partir de ferramentas contidas nos diferentes softwares de processamento digital de imagem (DINIZ, 2014).

Para identificar e delimitar a área minerada deverá ser criado um ROI a partir do traçado de um polígono contornando a mineração. Este traçado é feito a partir de interpretação visual da imagem de satélite, para isso é importante conhecer a região estudada e realizar a validação em campo.

Para proceder com a análise de mudança de uso e cobertura na região estudada e posteriormente calcular a interferência da mineração, é necessário elaborar mapa temático a partir de classificadores. A depender da classificação será necessário realizar ajuste manual a partir de interpretação visual. É importante realizar avaliação de acurácia da classificação a partir de aparatos estatísticos (DINIZ, 2014).


A interferência causada pela mineração no uso e cobertura do solo, na região estudada, é verificada a partir da sobreposição do polígono traçado delimitando a mineração sobre o mapa temático. O produto da sobreposição dessas camadas serão as áreas que sofreram interferência pela atividade antrópica, e servirá de objeto de estudo e quantificação (DINIZ, 2014).

Este método por se tratar de um método manual, é uma técnica lenta, com baixa capacidade de processamento por vez, ou seja, processa poucas imagens por vez, além de demandar computadores com configuração de processador e memória nada modestos. Além de ser de difícil replicação pois envolve diversas etapas.

2. COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO

Foram apresentadas quatro metodologias para identificação de áreas mineradas. As metodologias possuem características distintas de funcionamento e exatidão nos resultados. A Tabela 1 mostra o comparativo com as diferenças mais relevantes entre o SIGMINE, Mapbiomas, Global Forest Watch e Delimitação de Região de Interesse.

Tabela 1 – Comparativo entre os métodos de identificação de áreas mineradas

PLATAFORMA				 ROI
Plataforma de desenvolvimento	Powered by ESRI	Google Earth Engine	Google Earth Engine	Software de Processamento de imagens
Velocidade de processamento e resposta	Resposta imediata	Resposta imediata	Resposta imediata	Processamento lento, carrega uma imagem por vez
Automatização de identificação na classificação	Utiliza dados do cadastro técnico mineiro na ANM	utiliza algoritmos de classificação (machine learning)	utiliza algoritmos de classificação (machine learning)	Identificação visual
Precisão na classificação	Pouco preciso, identifica toda a poligonal objeto de permissão de exploração mineral	Algoritmos bem desenvolvidos e classificadores bem treinados (Coleção 6)	Pouco preciso utiliza a coleção 3.1 do Mapbiomas	Preciso pois utiliza a identificação visual do contorno da área de interesse

Identificação de alvos	Possibilidade de identificar vários alvos de uma só vez	Possibilidade de identificar vários alvos de uma só vez	Possibilidade de identificar vários alvos de uma só vez	Identifica um alvo por vez
Capacidade de resposta e processamento	Processamento máximo de 1000 feições	Processa um grande número de imagens e dados	Processa um grande número de imagens e dados	Processa uma única imagem por vez
Necessidade de equipamentos	Não necessita de supercomputadores	Não necessita de supercomputadores	Não necessita de supercomputadores	Necessita de computador com processadores robusto
Uso de memória	Não necessita de grande memória, visualização na plataforma	Não necessita de grande memória, processamento em nuvem	Não necessita de grande memória, processamento em nuvem	Necessidade de grande volume de memória para armazenar dados
Uso de rede de internet	Necessidade de internet em alta velocidade	Necessidade de internet em alta velocidade	Necessidade de internet em alta velocidade	Não necessita de internet para processamento, apenas para coleta de imagens
Interação	Possui fácil interação	Possui fácil interação permitindo rápida visualização	Possui fácil interação	Necessita habilidade em manipular o software
Aplicação	Utilizada para áreas de mineração	Utilizada em questões ambientais, econômicas e sociais	Utilizada em questões ambientais, econômicas e para manejo de produção	Utilizada em qualquer alvo de interesse
Produto	Acompanhamento da regularização do setor mineral brasileiro (mineração legal)	Mapas anuais e atualizáveis de análises de uso e cobertura da terra, água e alertas de queimadas e desmatamento	Monitoramento de florestas e desmatamento	Qualquer análise de interesse do usuário
Região de aplicação	Brasil	Brasil (iniciativas em desenvolvimento: países da América do Sul e Indonésia),	Escala global	Qualquer região de interesse pelo usuário

Interatividade	Não se aplica	Emissão de alertas (validação)	Emissão de alertas	Não se aplica
Período	Não se aplica	36 anos de análises (1985 a 2020)	18 anos de análises (2002 a 2020)	Necessidade de coleta de imagens para realizar análise temporal
Interface	Possibilidade de exibição de diferentes camadas e mapas base	Possibilidade de exibição de diferentes camadas e mapas base	Possibilidade de exibição de diferentes camadas e mapas base	Não se aplica
Análises	Apresenta legenda de identificação de estágio em que se encontra a autorização de atividade mineira	Apresenta estatísticas das classes e gráficos de transição	Apresenta estatísticas da mudança de floresta e não floresta	Necessidade de coletar dados e realizar tratamento estatístico.

Dentre os quatro métodos de identificação de áreas mineradas apresentados, o Mapbiomas foi o que apresentou ser o mais vantajoso para investigações que acontecem no Brasil. A plataforma possui uma gama de dados compilados e disponíveis para o usuário, além de possuir fácil interação. Não necessita de computadores superpotentes e muita memória para utilizar, uma vez que realiza processamento em nuvem. Além de possibilitar o usuário que tiver interesse, aprofundar sua investigação e/ou colaborar com a construção da plataforma a partir da disponibilização de scripts e PlugIns.

Considerando também a versatilidade de aplicação da plataforma que possui uma classificação bem minuciosa e precisa, com vários níveis de classe, além de 36 anos de série temporal já analisada. O Mapbiomas possui alta velocidade de processamento e resposta, devido a tecnologia de desenvolvimento utilizada ser o GEE. Destacando-se também as frequentes atualizações que o projeto tem durante o desenvolvimento constante de novas coleções.

Por se destacar como o método que apresenta mais vantagens em aplicação em análises no Brasil, este trabalho utilizará o Mapbiomas como plataforma para aplicação do método como estudo de caso.

CAPÍTULO III - APLICAÇÃO DO MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO

Considerando os diferentes métodos de identificação de áreas mineradas apresentados neste trabalho, o Mapbiomas foi a plataforma escolhida para ser aplicado em algumas áreas de mineração selecionadas. A escolha da plataforma se deu pelo seu destaque na facilidade de manuseio, quantidade de informações disponíveis, interatividade com o usuário, trazendo sempre dados atualizados nas suas classificações, entre outros aspectos.

1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DAS REGIÕES PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Para aplicação do método foram selecionadas áreas de extração mineral localizadas no estado da Bahia. Os empreendimentos selecionados nesta investigação, foram definidos de acordo com os seguintes critérios: o método de lavra a ser aplicado, o tamanho do empreendimento mineiro e a diversidade dos bens minerais.

Buscou-se empreendimentos localizados no estado da Bahia, que possuam preferencialmente exploração pelo método a céu aberto, ou execução de extração através do método híbrido, lavra a céu aberto e lavra subterrânea. Foi considerado também como critério de seleção o tamanho do empreendimento, pois o porte do projeto está diretamente relacionado com as feições mostradas por suas instalações e estruturas. Estes critérios foram escolhidos pois proporcionam fácil identificação visual nas imagens de satélite.

Diferentes bens minerais apresentam diferentes respostas espectrais. Por esta razão foram escolhidas mineralizações diversas para serem aplicadas a técnica definida. A identificação através do Mapbiomas foi realizada para alguns empreendimentos que fazem a extrações de bens minerais como: Ouro, Cobre, Ferro, Magnesita e Talco. A escolha destes bens minerais considerou os critérios já citados além de sua importância econômica.

2. SELEÇÃO DE REGIÕES DE INTERESSES

2.1. OURO

O ouro (Au) é um mineral de grande valor agregado devido a sua raridade no planeta Terra, utilizado atualmente como moeda estável e negociado nas bolsas de valores como commodity. O metal possui grande maleabilidade, boa condutividade elétrica e resistência a corrosão; essas características proporcionam diferentes usos para o mineral (NOGUEIRA, 2019).

Sua aplicação se dá em grande parte para o setor de joalheria e no acúmulo de moeda. Em épocas passadas o minério era considerado como um metal exclusivamente monetário e a maior parte do ouro produzido era transferido para bancos centrais e tesouros nacionais pelo mundo. Porém, seu uso não se restringe apenas a finalidade financeira e decorativa, o metal também é aplicado largamente na confecção de componentes eletrônicos para exercer funções importantes em microprocessadores. Utilizado na indústria química, em ligas com platina, em extrusão de soluções alcalinas e confecção de válvulas de segurança; o ouro também aplicado nas indústrias de cosméticos (NERY, 2001).

Suas propriedades proporcionam diversas aplicações nas indústrias da construção civil, têxteis, alimentícia, principalmente pela elevada refletividade ótica e quase que perfeita radiação. É aplicado também em componentes de microscópio eletrônico de varredura para recobrimento de material biológico, além de ser aplicado em cobertura de satélites devido a reflectância a luz infravermelha. Na medicina, o aurotiomelato de sódio é empregado no tratamento da artrite reumatóide e recentemente o isótopo de ouro está sendo aplicado no tratamento de câncer (NERY, 2001).

O ouro pode ser encontrado livre, ou associado a outras mineralizações, e a sua forma de ocorrência está relacionada ao tipo de depósito mineral. Na Bahia o ouro tem registro de ocorrência em ambiente geológico do tipo “greenstone belt¹⁶” (PORTO, 2002).

¹⁶ Greenstone belt – Sequências de rochas vulcânica e sedimentares que sofreram metamorfismo de baixo grau (PORTO, 2002).

Como exemplo de empreendimento que extraem este tipo de bem mineral são apresentados:

- FBDM – Fazenda Brasileiro Desenvolvidos Minerais
- Santaluz Desenvolvidos Minerais

2.1.1. Fazenda Brasileiro Desenvolvidos Minerais - FBDM

Situada no povoado de Barrocas/BA, próximo ao município de Teofilândia na Bahia, distante da capital Salvador cerca de 200 km. A empresa extrai minério de ouro a mais 30 anos. O empreendimento que já foi vendido para diversos grupos de investidores e com inúmeras promessas de exaustão, hoje é operado pela Canadense Equinox gold e, encontra-se em plena operação. Grande parte de sua produção é extraída por método de lavra subterrâneo e beneficiado na superfície da mina. O estéril e o rejeito são dispostos no entorno do empreendimento em pilhas e em barragens contendo material lixiviado. Com a descoberta de novos corpos de minério economicamente viáveis, recentemente a empresa iniciou extração de alvos pelo método de lavra a céu aberto.

2.1.2. Santaluz Desenvolvidos Minerais

Situada no povoado de Maria Preta/BA, pertencente ao município de Santaluz na Bahia, distante da capital Salvador cerca de 240 km. A empresa extrai minério de ouro a mais 25 anos. O empreendimento já foi paralisado e vendido para diversos investidores, devido ao difícil processo de recuperação do ouro, característica essa inerente ao tipo de minério da região. Atualmente a mina encontra-se paralisada e em fase de adequação de planta e processo de beneficiamento, com promessa para start-up no primeiro semestre 2022. Sua extração se dá pelo método de lavra a céu aberto, com disposição de estéril e rejeito em pilhas e em barragens.

2.2. COBRE

Cobre (Cu) é um mineral metálico maleável, ductil e resistente a corrosão. Muito empregado em diversas ligas metálicas, por isso é considerado o terceiro metal mais utilizado no mundo e um dos mais importantes para a indústria. Sua propriedade condutora o faz ser aplicado na indústria elétrica para produção de fios e compostos para a indústria de energia e em equipamentos eletrônicos (GEOSCAN, 2020).

Sua aplicação é a mais diversa possível principalmente quando combinado com outras ligas metálicas. Além da confecção de fios e cabos condutoras de energia o cobre é utilizado em instrumentos musicais para melhorar a acústica; também aplicado em maçanetas e tubulações devido a suas propriedades antibacterianas; utilizado em ligas para construção dos cascos dos navios para impedir acúmulo de crustáceos (RODRIGUES, 2010).

O minério de cobre é relativamente raro ser encontrado em sua forma metálica, sendo encontrado em sulfetados de cobre como a calcopirita, calcocita e a bornita. Sua ocorrência geológica se dá principalmente em depósitos do tipo porfirítico, sedimentares e vulcanogênicos. O estado da Bahia é responsável por 1,2% da produção bruta de minério de cobre extraído no Brasil (GEOSCAN, 2020).

Como exemplo de empreendimento que extrai este tipo de bem mineral é apresentada a empresa:

- MCSA – Caraíba Mineração S/A

2.2.1. Caraíba Mineração S/A - MCSA

A MCSA é um empreendimento que realiza a extração de cobre, no distrito de Pilar pertencente ao município de Jaguarari no estado da Bahia, distante da capital Salvador cerca de 480 km. Segundo dados obtidos do website da empresa, a mineração está em operação desde 1979, a partir de exploração por lavra a céu aberto. Em 1986 iniciou a operação da Mina Subterrânea, assim o minério era extraído de duas fontes distintas. Em 2006 o empreendimento passou por grande avanço com a extração de cobre a partir de lixiviação proveniente de minério oxidado. Em 2017, a empresa expande ainda mais sua extração a partir da implantação da mina de vermelhos, no Vale do Curaça, que começou a operar em 2018. O empreendimento não possui barragem de rejeitos, a disposição é feita com enchimento das aberturas subterrâneas já lavradas para recuperação dos pilares, método conhecido como “*cut and fill*” (mineracaocaraiba.com).

2.3. FERRO

O minério de ferro (Fe) é extraído na natureza e utilizado na produção de vários tipos de aço, a partir da formação de ligas. Utilizado como commodity, o Brasil é um dos principais produtores desta matéria prima, além de deter os maiores depósitos do

mundo. Sua extração se dá grandemente no quadrilátero ferrífero em Minas Geras e na Serra de Carajás no estado do Pará. Esse minério é utilizado como matéria prima para produção de aço; o aço e suas ligas são aplicados largamente nos diversos setores econômicos e industriais, construção civil, produção de peças e máquinas, indústria automotiva, indústria de eletrodomésticos e eletrônicos etc. Sua extração é controlada pela demanda de mercado e segue a necessidade das indústrias, o que impacta diretamente na balança comercial brasileira (GEOSCAN, 2021).

O minério de ferro é encontrado na natureza em forma de rochas, com uma mistura de outros elementos minerais. Alguns minérios de ferro explorados são: cromita, hematita e/ou magnetita (GEOSCAN, 2021).

Como exemplo de empreendimento que extraem este tipo de bem mineral podemos citar:

- FERBASA – Companhia de Ferros Ligas da Bahia
- Largo Resources (extração de minério de ferro com finalidade de obtenção de Vanádio)
- BAMIN – Bahia Mineração

2.3.1. Companhia de Ferro Ligas da Bahia - FERBASA

A empresa possui duas minas onde extrai minério de cromita, situadas em Campo Formoso e em Andorinhas, ambas na Bahia. Segundo o website da empresa, a operação da mina de Coitezeiro, que fica em Campo Formoso foi iniciada em 1961, com a aplicação do método de lavra a céu aberto. Em 1973 iniciou a operação na mina de Ipueira localizada em Andorinha, também pelo método de lavra a céu aberto. Posteriormente o processo migrou para o método subterrâneo.

O minério extraído das minas não é completamente beneficiado no site da empresa, ele é disposto em pilhas, selecionado, britado e enviado para a usina de beneficiamento situada no município de Pojuca, a 400 km de distância entre o local de extração (mina) e a unidade de beneficiamento, onde se encontra a metalúrgica da companhia.

2.3.2. Largo Resources

A Largo Resources possui uma mina localizada a 50 km a oeste da cidade de Maracas na Bahia, de onde é extraído magnetita, minério de ferro; porém a ocorrência mineral encontrada possui uma anomalia, onde íons de ferro (Fe^{+3}) são substituídos pelos de Vanádio (V^{+3}), sendo assim um minério com elevado teor de Vanádio. A Mina Maracás dista de Salvador aproximadamente 366 km e tem como objetivo a extração de minério para a produção de pentóxido de vanádio (V_2O_5). A implantação do projeto se iniciou em 2014 a exploração efetiva começou em 2017, com previsão inicial de 10 anos de vida do empreendimento, o desenvolvimento de novos negócios a partir do subproduto gerado e investimentos em pesquisa geológica, trouxeram ampliação da reserva e consequentemente aumento da expectativa do empreendimento (LARGO RESOURCES, 2021).

Segundo o website oficial da empresa, ela possui um dos recursos de Vanádio de mais alto teor do mundo e é uma das produtoras primárias de vanádio com menor custo do mundo, comercializando Vanádio de alta pureza, sendo ainda a única mineradora de vanádio das Américas.

O vanádio é um metal macio e dúctil que apresenta alta resistência a ataques ácidos, é empregado para formação de ligas metálicas de ferrovanádio ou como aditivo em aço. Aplicado para produção de instrumentos cirúrgicos e ferramentas, produção de super ímãs condutores e de superbaterias, além de ser matéria prima para alguns componentes em reatores nucleares, aeronaves e produção de aços inoxidáveis. Na indústria química é aplicado como catalisadores e estabilizadores (CETESB, 2017).

2.3.3. Bahia Mineração - BAMIN

A Bahia mineração – BAMIN é uma empresa controlada pelo Eurasian Resources Group, do Cazaquistão, que extrai hematita e Itabirito de elevado teor em um projeto denominado Pedra de Ferro, localizada em Caetitê/BA, distante 654 km de Salvador/BA. A mina representa um grande avanço para o estado, trazendo além da extração de minério de ferro, um complexo logístico formado pela Ferrovia Oeste Leste – FIOLE (em construção), e o Porto Sul na cidade de Ilhéus/BA (ainda em construção). Quando finalizado o Porto exportará para o mercado internacional e terá a capacidade de receber navios de até 220 mil toneladas. A FIOLE terá extensão de

1.527 km e ligará o Porto Sul às cidades baianas de Barreiras, Caetité, e a cidade de Figueirópolis/TO (BAMIN, 2021).

É um projeto que se destaca pela inovação, com beneficiamento do minério aflorante à seco, e o minério em profundidade haverá a redução no volume de rejeito armazenado na barragem que será a jusante. Segundo o website da empresa, ela avalia também a possibilidade de implantação de instalações de filtragem para recuperação da água de processo.

Uma das metas da empresa é tornar a Bahia o terceiro maior produtor de minério de ferro do Brasil. Iniciou sua exploração comercial recentemente, janeiro de 2021, para atendimento inicialmente do mercado interno, aproveitando a alta dos preços do minério de ferro devido a grande demanda da China. O escoamento da produção está sendo realizada de forma multimodal, utilizando o modal rodoviário, que leva o minério extraído da mina até o terminal de embarque ferroviário construído pela mineradora no município de Licínio de Almeida/BA; de lá o minério é embarcado na ferrovia da VLI, por onde segue até os portos baianos de Enseada e Aratu, e possivelmente para portos em outros Estados. Esta logística está sendo utilizada enquanto as obras da FIOLE e do Porto Sul não finalizam (BAMIN, 2021).

2.4. MAGNESITA E TALCO

A magnesita ($MgCO_3$) é um mineral formado de carbonato de magnésio e pode ser usado como fonte de magnésio metálico na fabricação de ligas leves, além de ser também aplicada como fertilizante e, na indústria farmacêutica, devido sua composição. Quando adicionado ao alumínio o magnésio pode ser usado na fabricação de máquinas e latas para bebidas. O óxido de magnésio pode ser usado como material refratário no revestimento de alto-fornos, devido ao seu elevadíssimo ponto de fusão, também aplicada na indústria como magnésia cáustica. A maior parte das reservas de magnesita no Brasil estão concentradas no nordeste, especificamente nos estados da Bahia e Ceará (GARCIA, 2008).

Os minerais de talco, que constitui silicato de magnésio hidratado, ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) possuem baixa dureza, leveza, resistência a choque térmico poder de lubrificação, baixa condutividade elétrica. Bastante aplicados em esculturas como objetos de arte; aplicado na indústria de cosméticos, maquiagens, materiais de

higiene, também pode ser utilizado como isolamento elétrico e térmico; na composição de tintas, papel, borrachas, plásticos, fertilizantes, inseticidas e etc. Utilizado como aditivo alimentar em balas e doces, e em produtos farmacêuticos. O talco pode também ser utilizado como carga inerte fundente na indústria de cerâmica, defensivos agrícolas entre outras aplicações (PONTES, 2008).

O talco é formado a partir da alteração de silicatos de magnésio. Pode ocorrer puro ou associado a quartzo, hematita, magnesita entre outras. O talco ocorre tanto em rochas ígneas como em rochas metamórficas (AMARAL, 2010).

Situados na Serra da Éguas, município de Brumado/BA, distantes cerca de 540 km da capital Salvador, os empreendimentos utilizados como exemplo dividem o mesmo ambiente geológico e a mesma região de extração, sendo estes confrontantes na região investigada. Por esta razão as análises realizadas para os bens minerais citados serão feitas considerando o conjunto de minas contido na Serra das Éguas pertencentes as seguintes empresas:

- Xilolite (Magnesita e Talco)
- RHI Magnesita (Magnesita)
- IMIFABI (Talco)
- IBAR - Industria Brasileira de Artigos Refratários (Magnesita)

2.4.1. Xilolite

Iniciou sua operação em 1974, extraindo magnesita e talco para comercialização. Segundo dados do website oficial da empresa, ela produz óxido de magnésio com pureza de 96% e talco moído, micronizado, esterilizado e compactado. A extração se dá por meio do método de lavra por encosta, lavra a céu aberto, e a disposição de estéril e rejeito é realizada por meio de bacias de contenção seca e em pilhas nos arredores da extração (XILOLITE).

2.4.2. RHI Magnesita

Segundo informações do website oficial da empresa, ela foi fundada em 1939 após a descoberta da Serra das Éguas na Bahia, a empresa extrai Magnesita para a

produção de material refratário. O método de lavra aplicado é a lavra a céu aberto por meio de bancadas. O estéril e o rejeito são armazenados em pilhas no pátio da empresa. Foi inaugurado na década de 90 o terminal portuário em Aratu, localizado em Simões Filho/BA, para a exportação de magnésio sinterizado. Inicialmente a empresa extraía magnesita e talco, mas em 2016 a mina de talco foi vendida para a IMIFABI, tornando a RHI Magnesita produtora apenas de magnesita e seus produtos. Hoje ela produz e comercializa milhares de tipos diferentes de refratários (RHI MAGNESITA).

2.4.3. Imi Fabi

A extração do minério de talco na mina de Pomba, na Serra das Éguas, era realizada anteriormente pela empresa Magnesita, só em 2016 a mina foi vendida, sendo a lavra assumida pela italiana IMI FABI. A empresa produz talco com diversos graus de pureza para ser aplicado em diferentes setores industriais. O método de lavra aplicado na extração é a lavra a céu aberto, o estéril e o rejeito proveniente da operação são armazenados em pilhas no pátio da empresa (IMIFABI).

2.4.1. Ibar

A IBAR Nordeste, Indústrias Brasileiras de Artigos Refratários, é uma empresa fundada em 1942, com operações nas cidades de Brumado/BA, que extrai da Serra das Éguas a magnesita para produção de carbonato de magnésio ($MgCO_3$). Sendo a empresa com maior capacidade instalada para produção do óxido de magnésio reativo das Américas (IBAR NORDESTE, 2021).

3. APLICAÇÃO DO MAPBIOMAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

O sensoriamento remoto auxilia na execução de trabalhos de campo e nas análises temporais quantitativas e qualitativas, o uso desta técnica para a localização e dimensionamento de áreas mineradas é uma das muitas de suas aplicabilidades. O Mapbiomas traz o maior número de informações sobre as diferentes classes de uso e cobertura o solo. A plataforma busca facilitar a visualização e quantificação dessas mudanças, por este motivo foi usada nesta etapa do trabalho.

Por se tratar de um setor que é base para a economia mundial, além de ser responsável por produzir matéria prima para outros setores industriais, a mineração respira de acordo a dinâmica mercadológica e cenário político. Como qualquer outro setor industrial ela tem como pulmão o mercado consumidor. Oscilações no preço de venda, crescimento da demanda, e redução de oferta são alguns dos fatores que influenciam na expansão ou retração do setor mineral. Além do mercado, existem também a influência exercida por crises financeiras e políticas que podem acometer países em desenvolvimento e grandes nações, principais consumidores de recursos minerais.

3.1. OURO

3.1.1. FBDM – Fazenda Brasileiro Desenvolvimentos Minerais

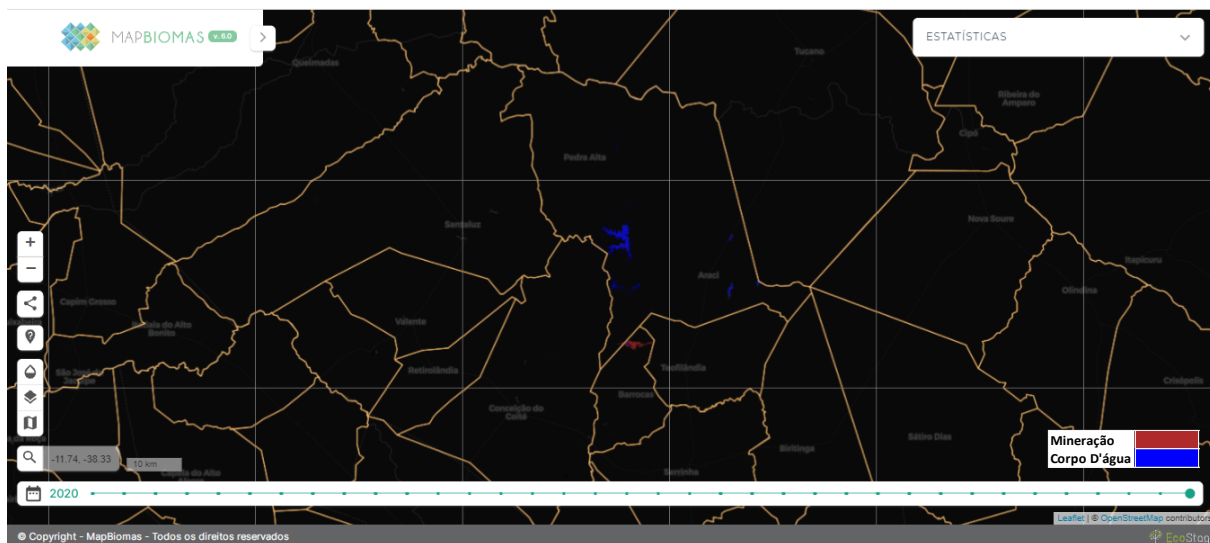
As feições da mineração são facilmente identificáveis na imagem de satélite no mapa base da plataforma (mosaico de imagens Planet de 2021).

Figura 29 - FBDM, Barrocas e Araci/BA (2020)



No Mapbiomas a classificação que identifica a presença de mineração no município de Barrocas está presente apenas na mina FBDM, porém o as instalações da empresa extrapolam os limites do município e a extração avança até parte de Araci, sendo essa também a única extração mineral identificada. Por este motivo, serão utilizados os dados estatísticos apresentados pela plataforma referente aos dois municípios.

Figura 30 – Mineração no município de Barrocas e Araci/BA



O avanço da mineração ao longo dos últimos 36 anos é mostrado nas classificações obtidas através da plataforma nas imagens a seguir (Figura 31 e Figura 38). A plataforma fornece mosaico RGB com imagens Landsat referente ao período classificado, porém após o lançamento da coleção 6 esta funcionalidade permaneceu não disponível nos primeiros meses de lançamento da coleção. Por este motivo o mapa base apresentado neste trabalho é o mosaico de alta resolução com imagens Planet referente ao ano de 2021, e as classificações serão mostradas sobrepostas.

Figura 31 – FBDM (1985)



Figura 32 – FBDM (1990)



Figura 33 - FBDM (1995)

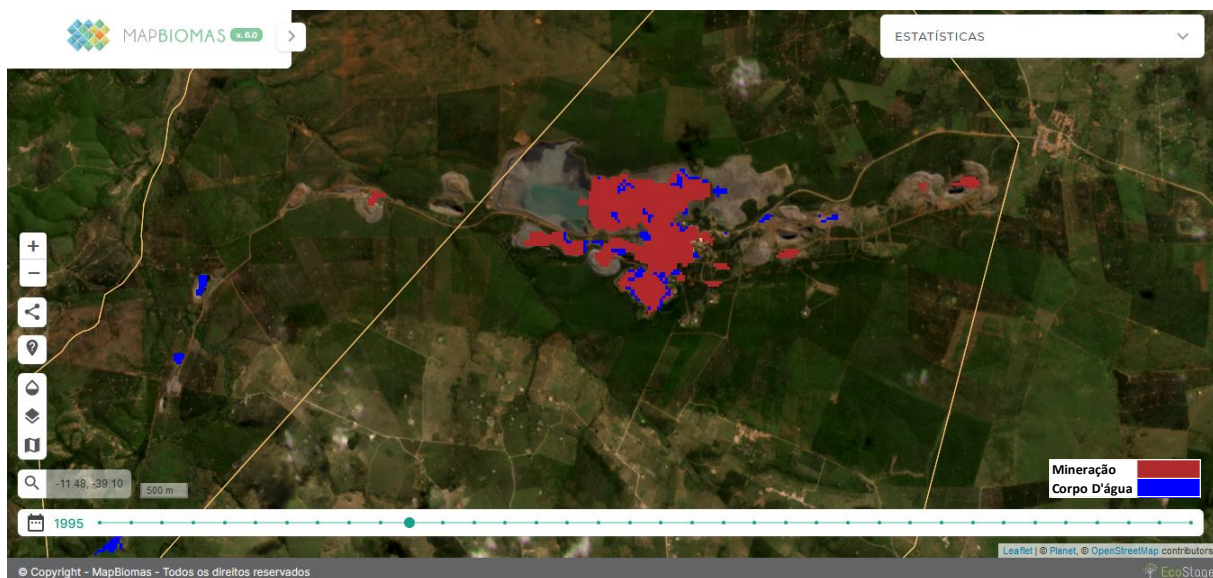


Figura 34 – FBDM (2000)

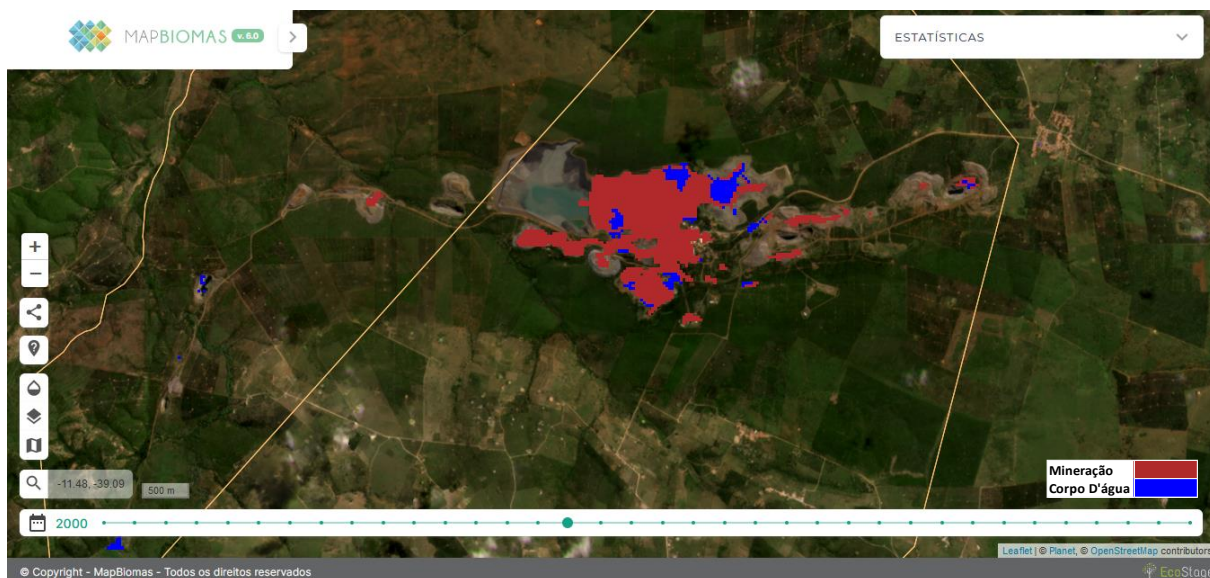


Figura 35 - FBDM (2005)

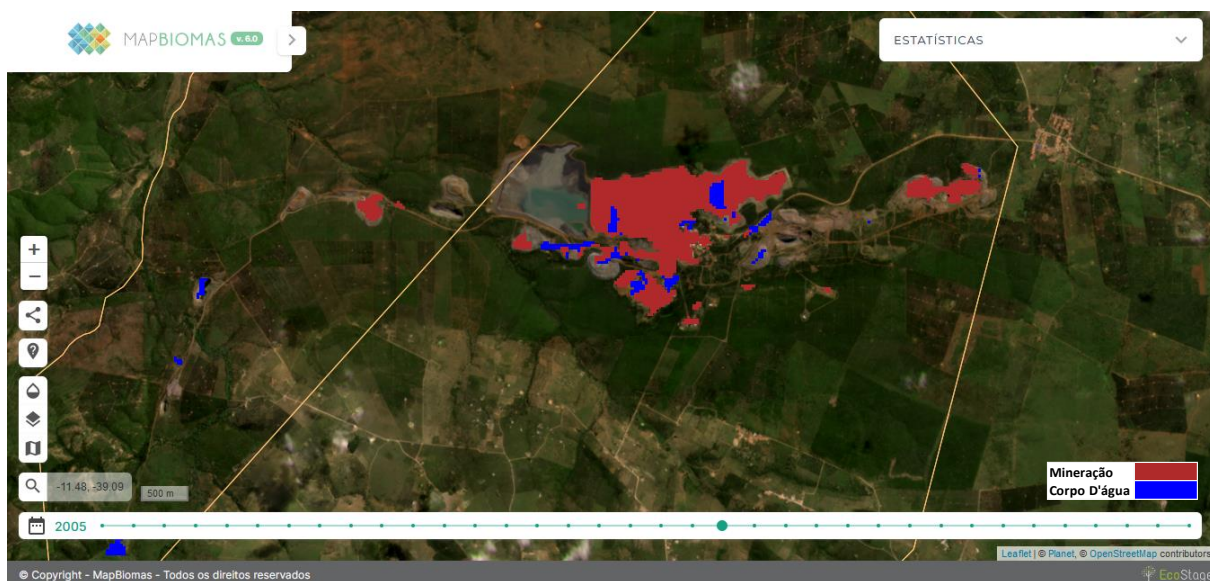


Figura 36 - FBDM (2010)

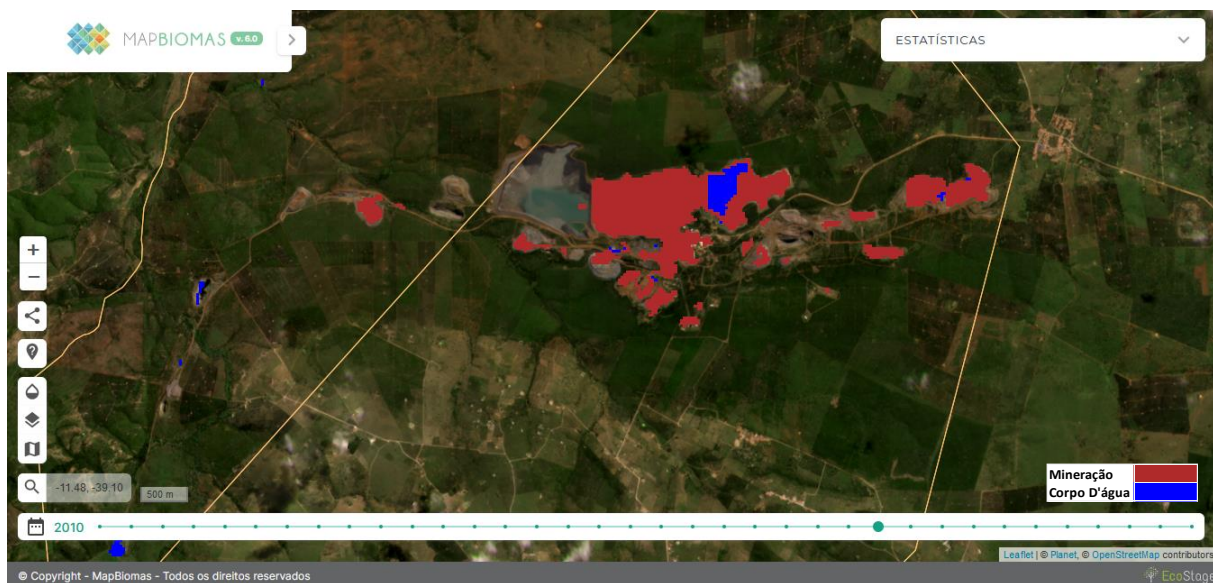


Figura 37 – FBDM (2015)

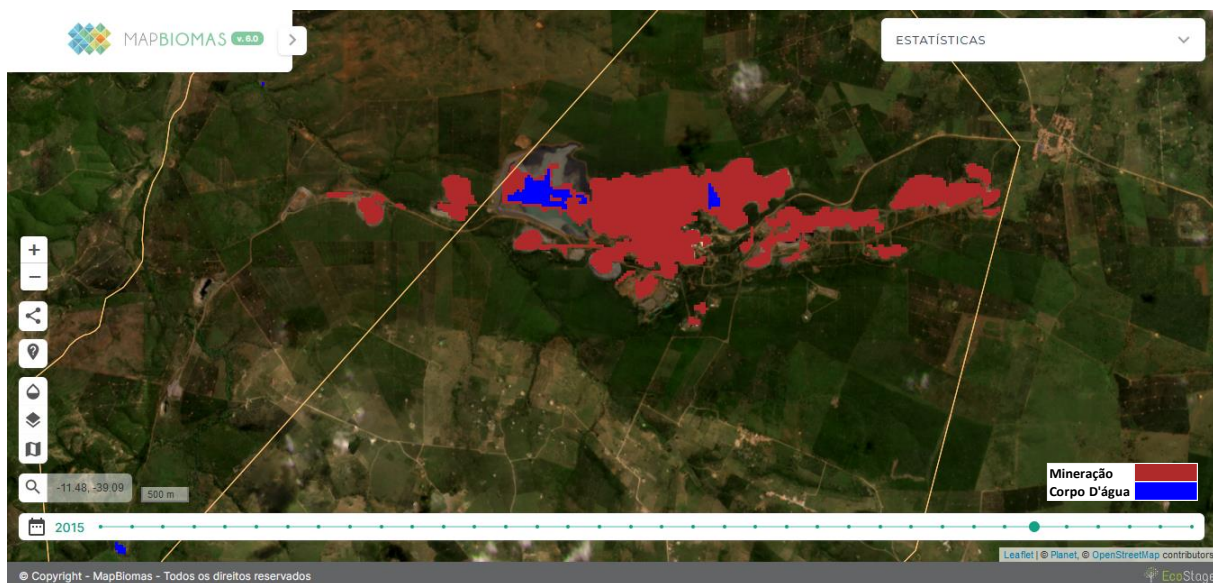
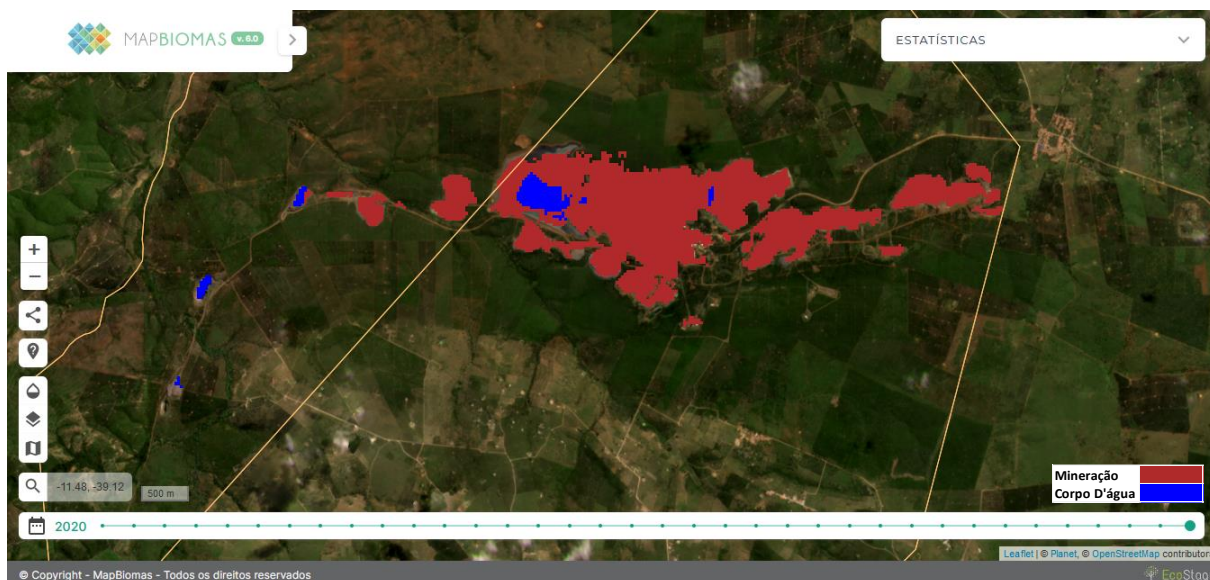


Figura 38 – FBDM (2020)

Para facilitar a visualização do avanço sofrido pela mineração FBDM ao longo da série histórica analisada, a visualização da classificação com mapa base de fundo escuro auxilia na percepção da classificação identificando as áreas que contém ações de extração mineral (Figura 39 e Figura 46).

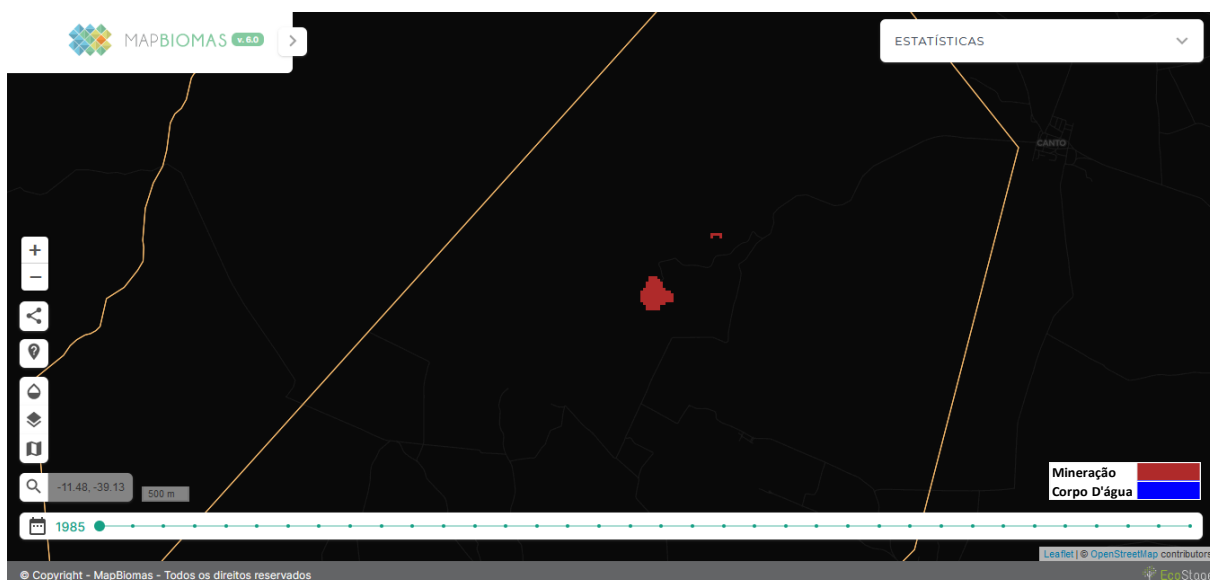
Figura 39 - FBDM (1985)

Figura 40 – FBDM (1990)

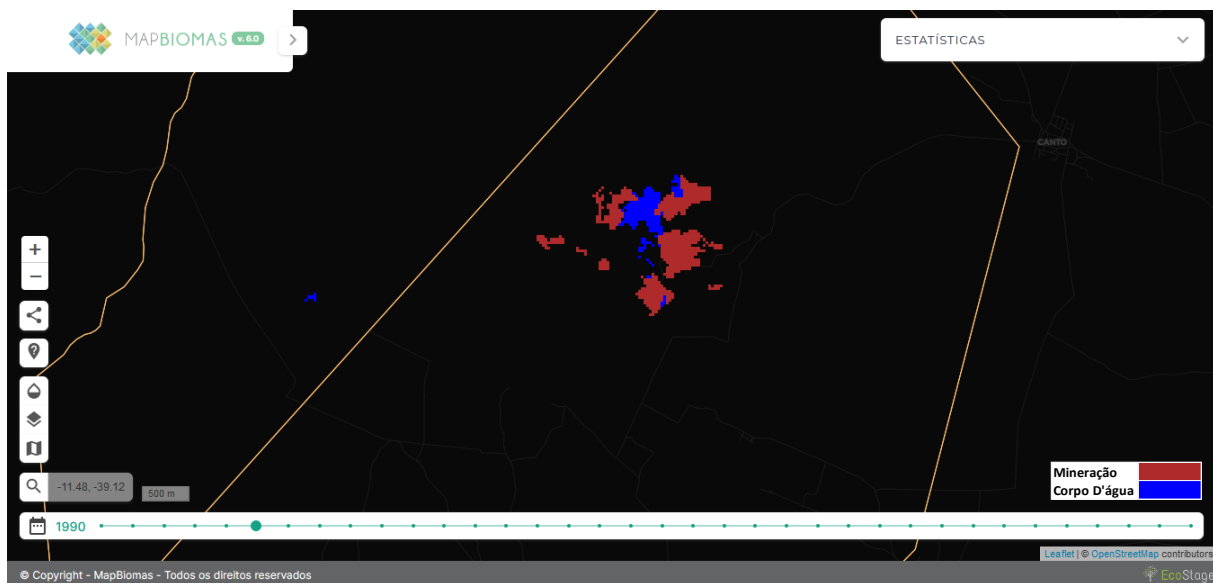


Figura 41 – FBDM (1995)

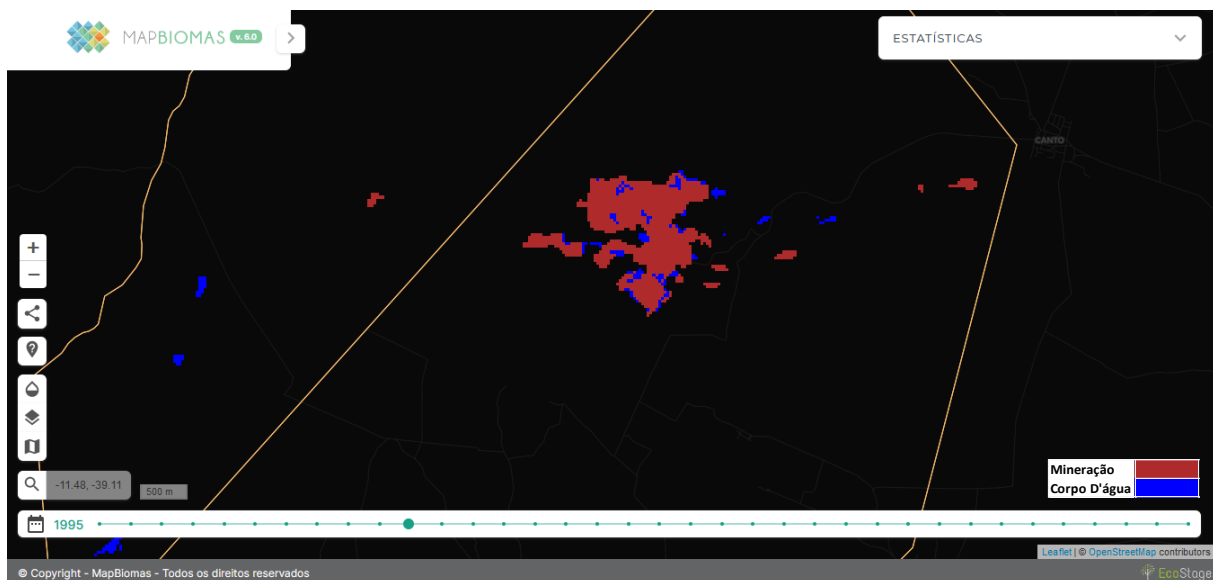


Figura 42 – FBDM (2000)

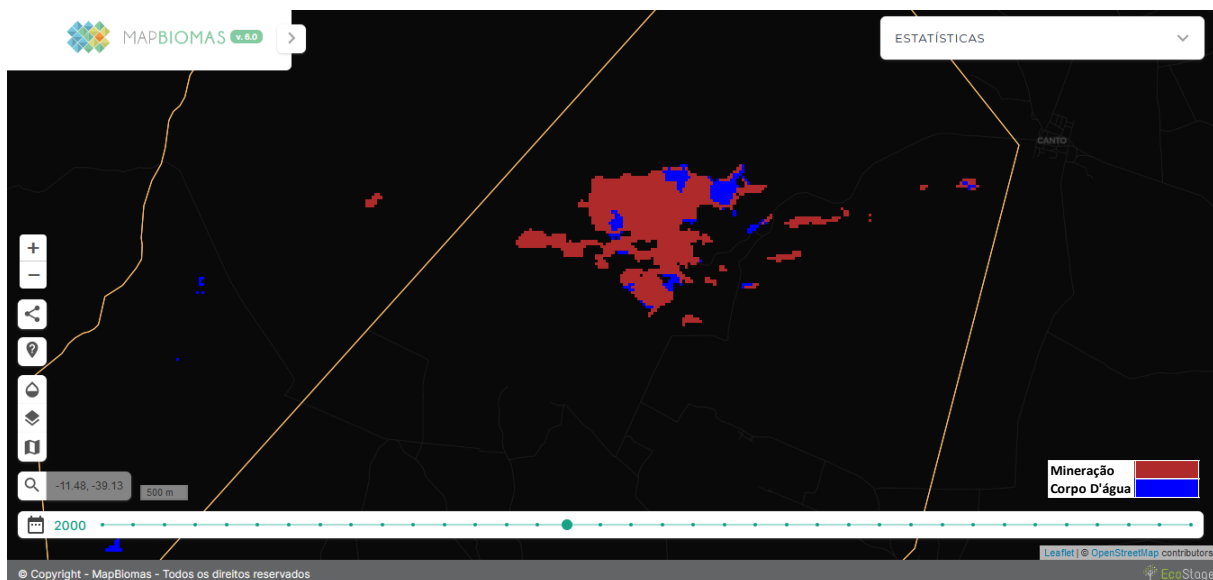


Figura 43 – FBDM (2005)

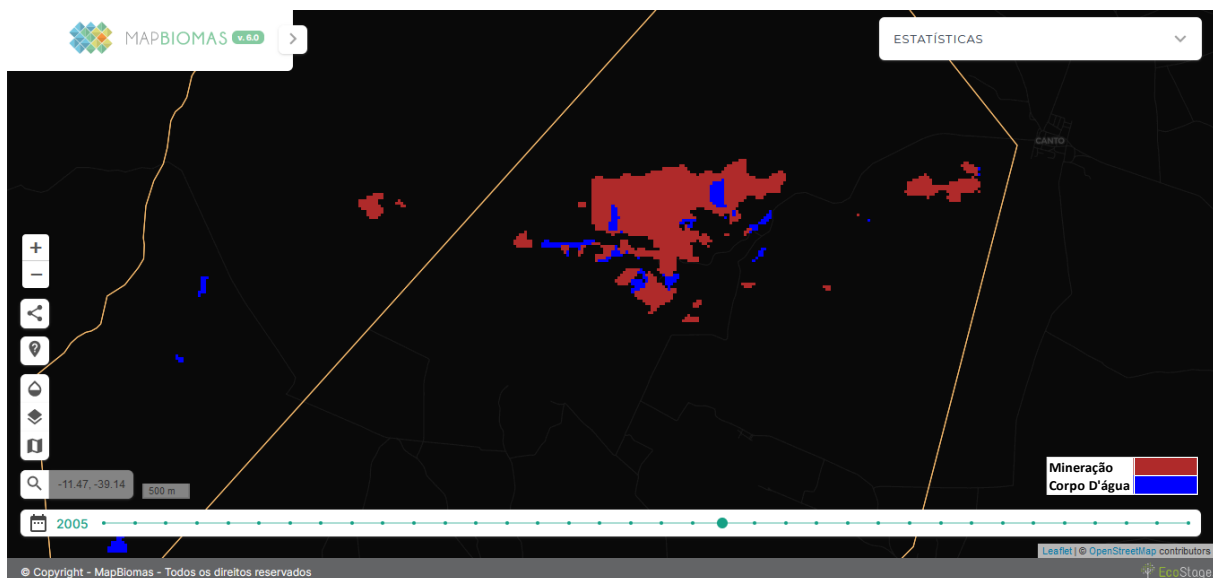


Figura 44 – FBDM (2010)

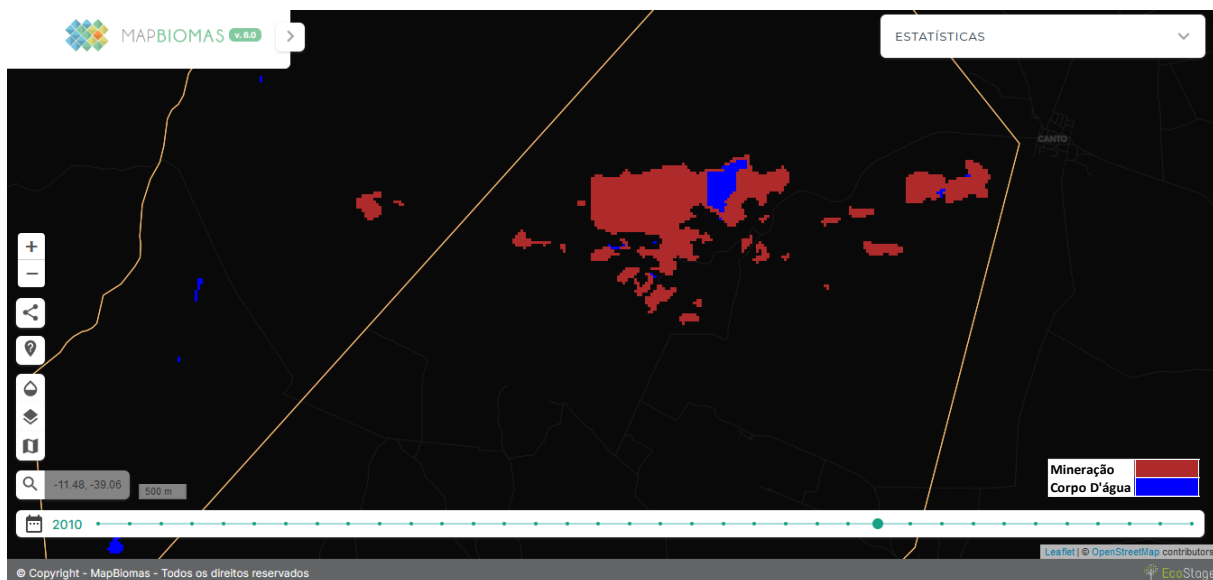


Figura 45 – FBDM (2015)

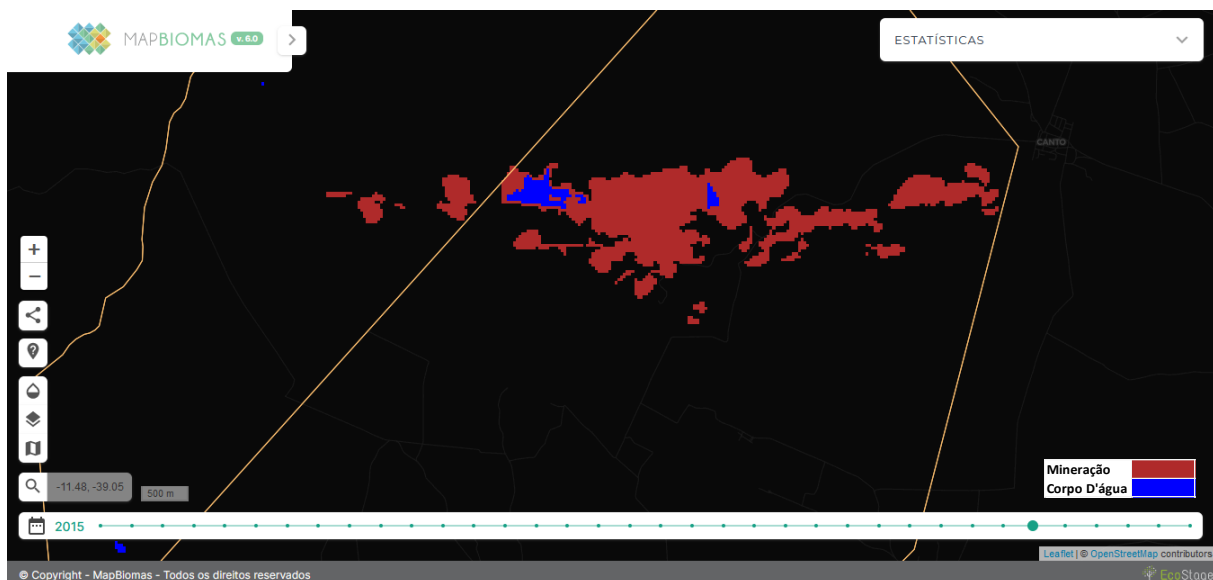
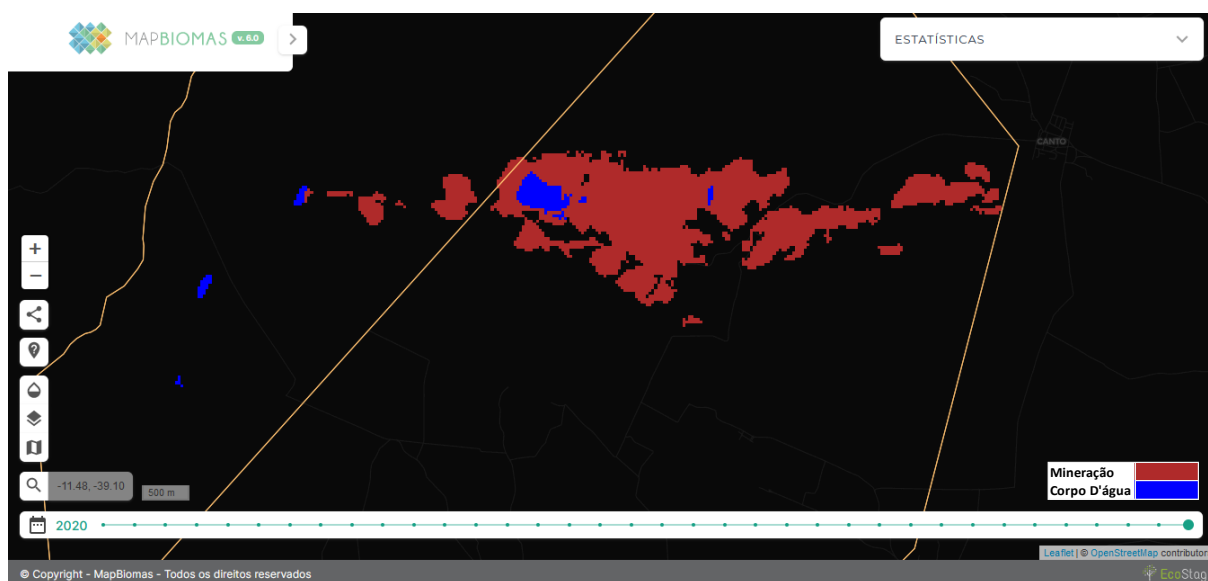


Figura 46 – FBDM (2020)



Na classificação apresentada pelo Mapbiomas algumas áreas mineradas são identificadas como alvos água. Isso pode ocorrer em bacias/barragens de rejeito e em cavas. É comum o acúmulo de parte da água utilizada no processo de beneficiamento do minério em barragens/bacias de contenção de rejeitos. A depender da época do ano, pode ocorrer também acúmulo de água de chuva nas barragens e no fundo da cava.

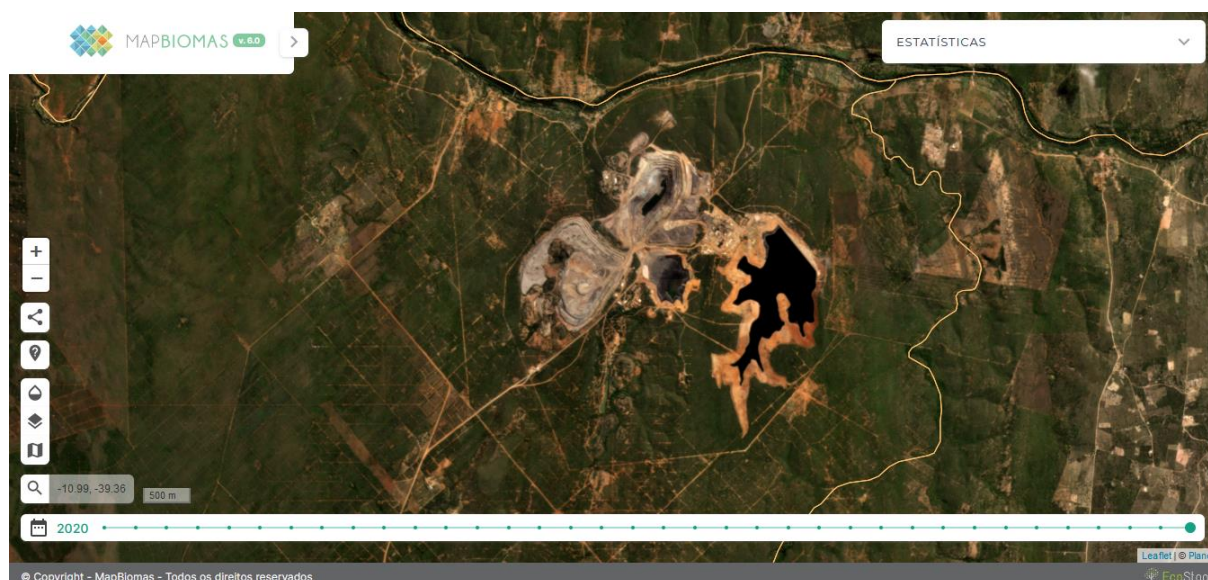
As edificações e estruturas de construção civil da mineração, onde funcionam as áreas administrativas, foram identificadas na classificação do Mapbiomas como a classe “área urbanizada”. Para melhor visualização nos mapas, essa classe foi suprimida por possuir cor próxima com a cor utilizada na legenda para a classe “mineração”, podendo assim ser confundida com a área de investigação deste trabalho.

Nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas nos municípios de Barrocas e Araci/BA ao longo da série temporal analisada. Na estatística apresentada para cálculo de áreas com mineração, as regiões identificadas como “água” e “área urbanizada” não foram contabilizadas.

3.1.2. Santaluz Desenvolvimentos Minerais

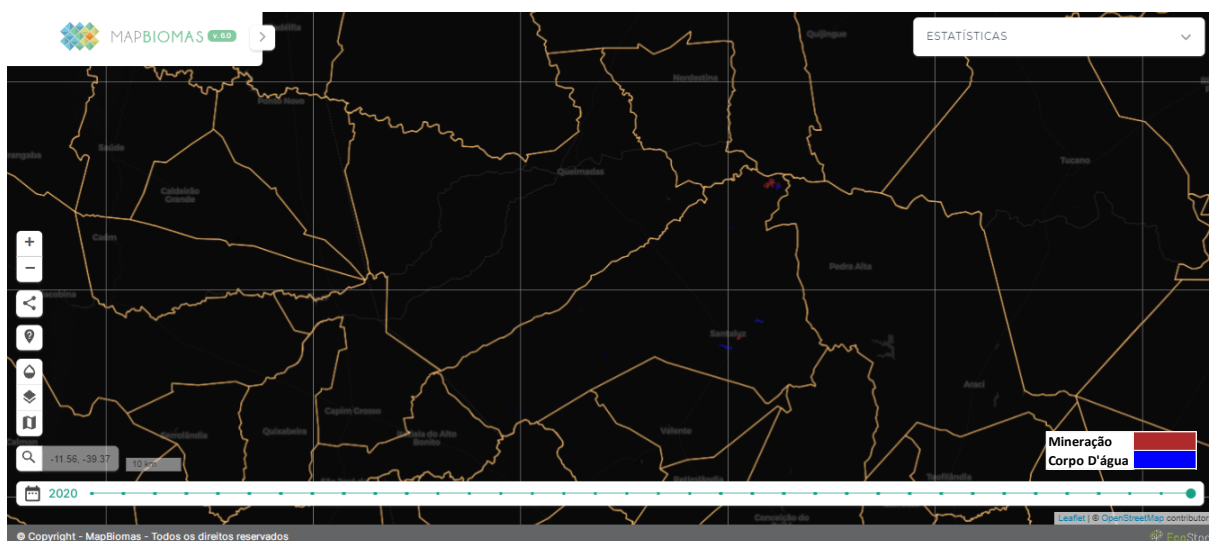
No município de Santaluz são identificadas duas minerações: extração de minério de ouro realizado pela empresa Santaluz Desenvolvimentos Minerais e exploração de cromita pela empresa RHI Magnesita. Ambas as feições são facilmente identificáveis na imagem de satélite no mapa base da plataforma. A exploração de ouro era realizada em Duas minas, Antas 1 e C1, e teve início a partir de 1986 e a extração de cromita apresenta indícios a partir de 1991. Para esta investigação utilizaremos as imagens da extração de minério de ouro realizado na empresa Santaluz Desenvolvimentos Minerais.

Figura 47 – Mina de Ouro em Santaluz/BA (2020)



Para análise estatística da área ocupada pela mineração, foram utilizadas as classificações de acordo ao recorte aplicado na plataforma. Seguindo a mesma metodologia para todos os alvos, o recorte territorial utilizado será o município onde a mina está localizada. Por apresentar dois empreendimentos minerários no mesmo recorte territorial, os valores para área de ocupação, bem como a taxa de expansão, representarão a realidade dos dois empreendimentos mineiros, não sendo possível a dissociação dos dados de cada mina a partir da utilização desta metodologia.

Figura 48 – Mineração de ouro no município de Santaluz/BA



O avanço da mineração de ouro em Santaluz ao longo dos últimos 35 anos é mostrado nas classificações obtidas através da plataforma Mapbiomas nas imagens a seguir (Figura 49 e Figura 58). As classificações são sobrepostas ao mapa base de alta resolução: mosaico com imagens Planet de 2021. Não há indícios de identificado pela plataforma antes de 1985. Por este motivo as análises da série histórica para este empreendimento iniciarão a partir do ano 1986.

Figura 49 – Mina de Ouro em Santaluz (1986)

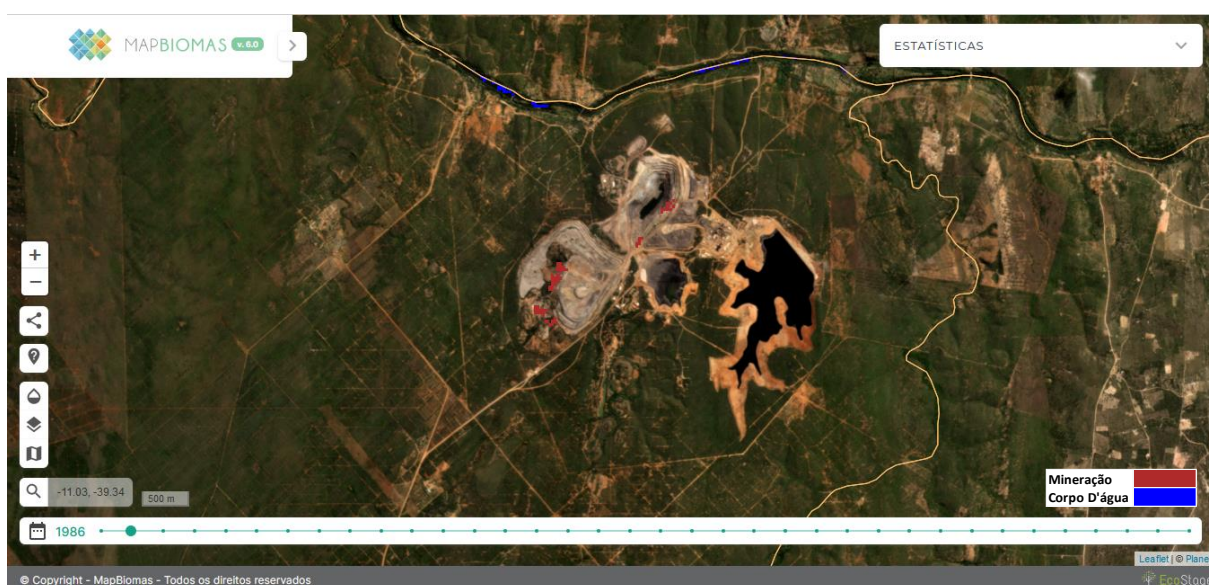


Figura 50 – Mina de Ouro em Santaluz (1990)

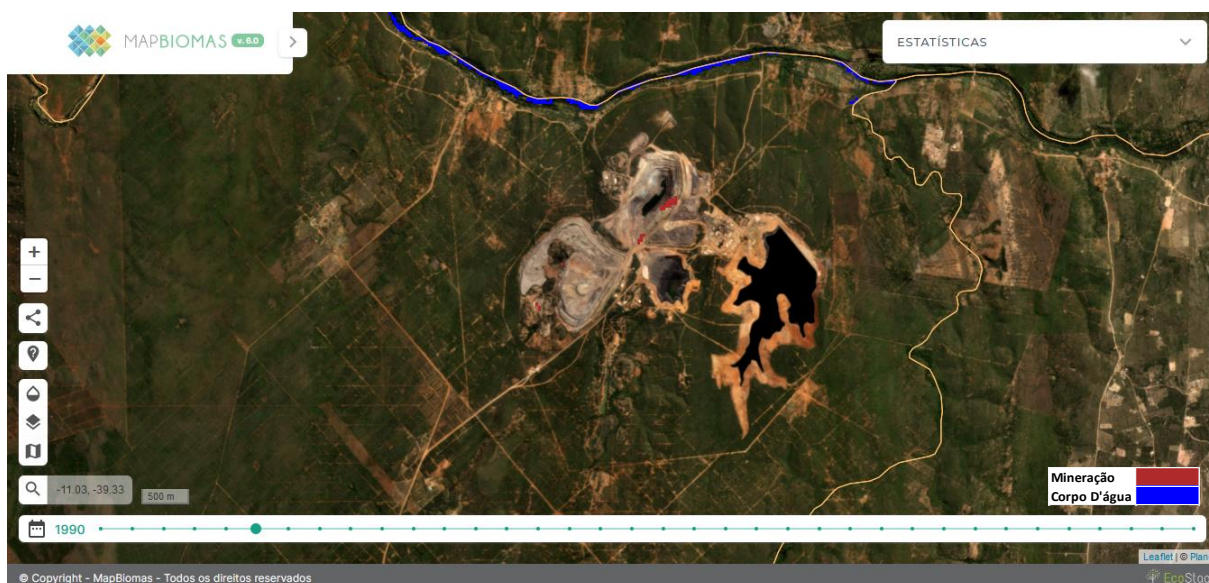
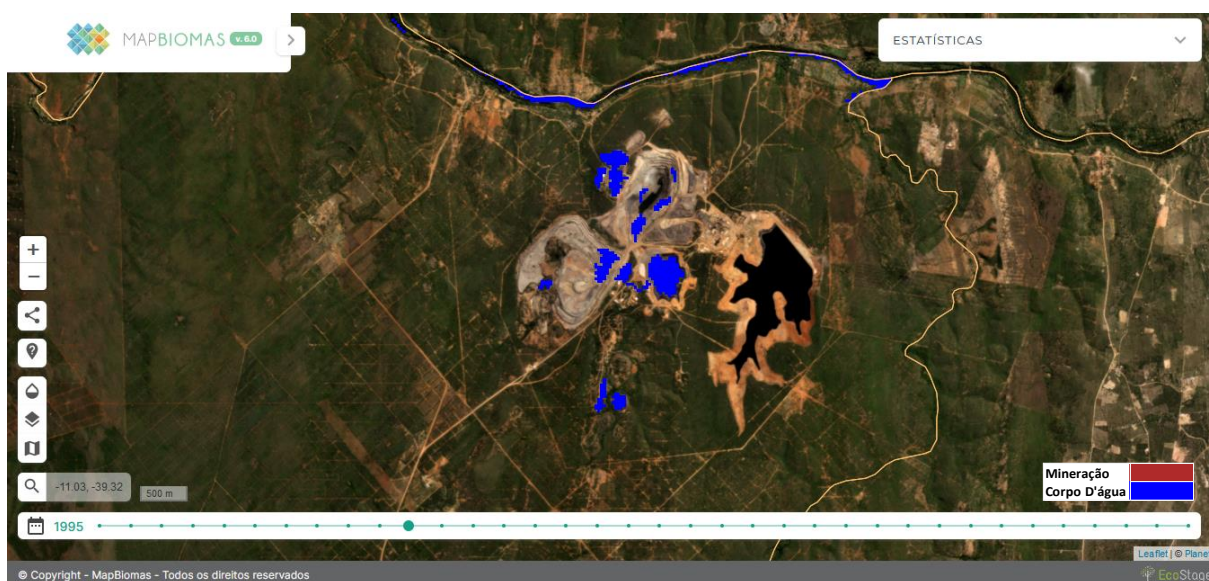


Figura 51 – Mina de Ouro em Santaluz (1995)



Segundo Oliveira Jr. (2001) em 1996 a mineração foi totalmente paralisada, não havendo atividade de extração e mudança de uso e cobertura. Ficando as estruturas administrativas, cavas a céu aberto e pilhas de estéril não recuperadas. A resposta obtida pelo classificador do Mapbiomas mostrou apenas a presença de água. Inicialmente imaginou-se que a resposta obtida pelo classificador representava período de em que houve regeneração natural de algumas áreas mineradas e

acúmulo de água em regiões escavadas. Ao investigar a área e realizar nova classificação, verificou-se que a não identificação do alvo mineração era um erro na resposta do classificador Mapbiomas para a região e período de análise, como é demonstrado na Figura 52.

Figura 52 - Mina de Ouro em Santaluz (1995)

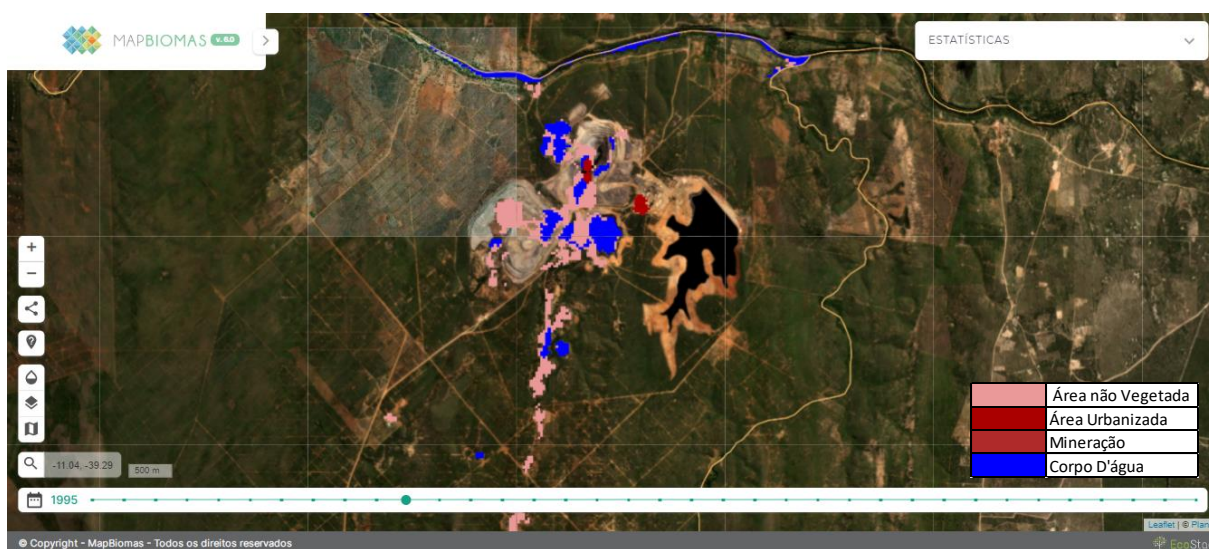


Figura 53 – Mina de Ouro em Santaluz (2000)

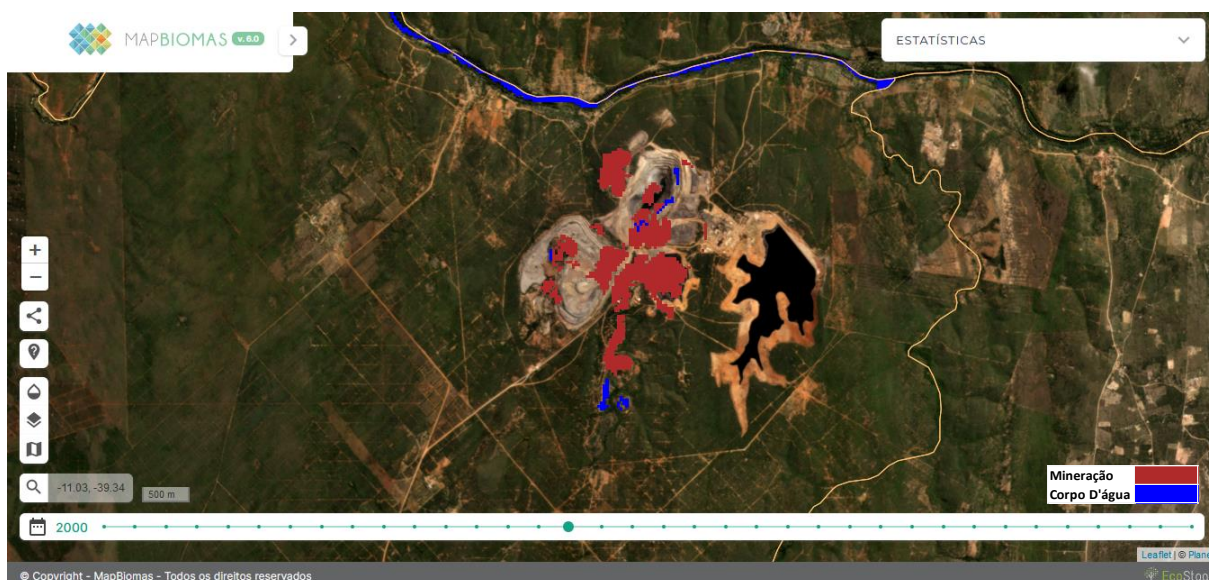
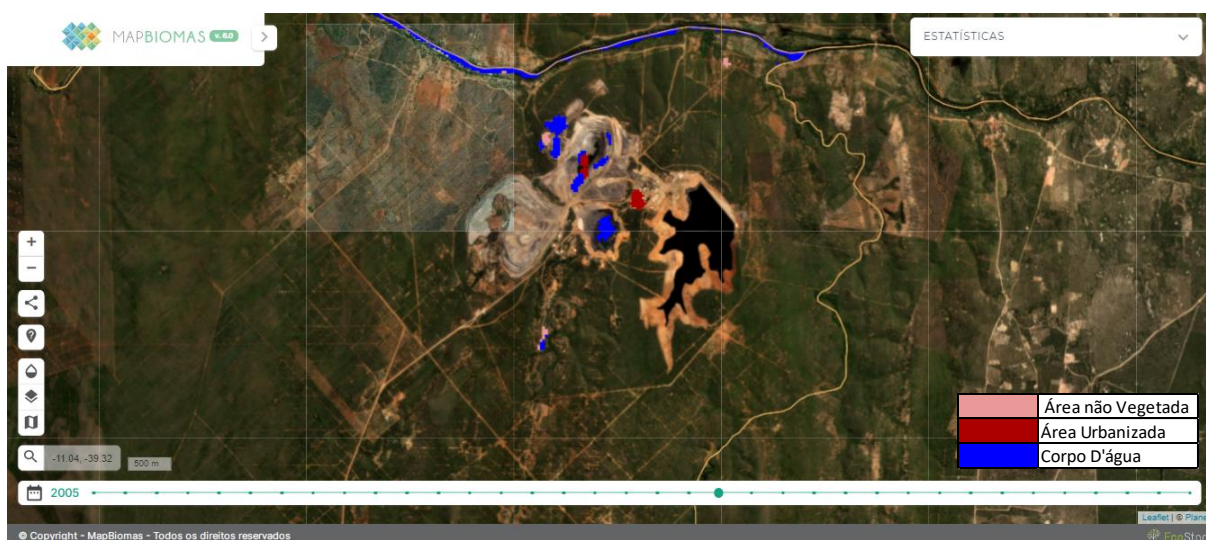


Figura 54 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)



Entre os anos de 1997 e 2003 a mina de ouro em Santaluz não realizou extração e não houve mudança de uso e cobertura que resultou em alteração da paisagem. Graças as ações reparadoras implantadas pelo plano de fechamento aplicado ao empreendimento a partir de 1998 contratado pela CVRD. Em 2005 a Yamana Gold adquiriu o empreendimento e iniciou pesquisa mineral na mina de C1. Sem grandes alterações até o ano de 2010.

Figura 55 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)



Coincidentemente o erro de classificação se dá em períodos em que a mina se manteve parada e sem grandes intervenções. Estima-se que o erro de resposta obtida

pele classificador pode ser influenciado pela pouca, ou nenhuma, intervenção na superfície investigada durante o período.

Figura 56 – Mina de Ouro em Santaluz (2010)

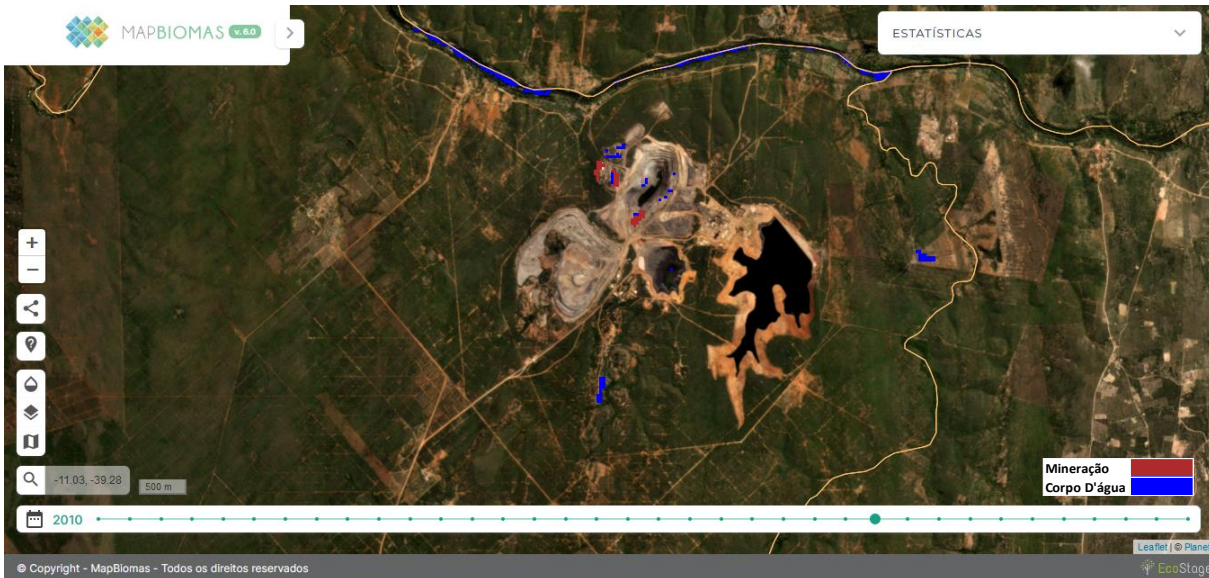


Figura 57 – Mina de Ouro em Santaluz (2015)

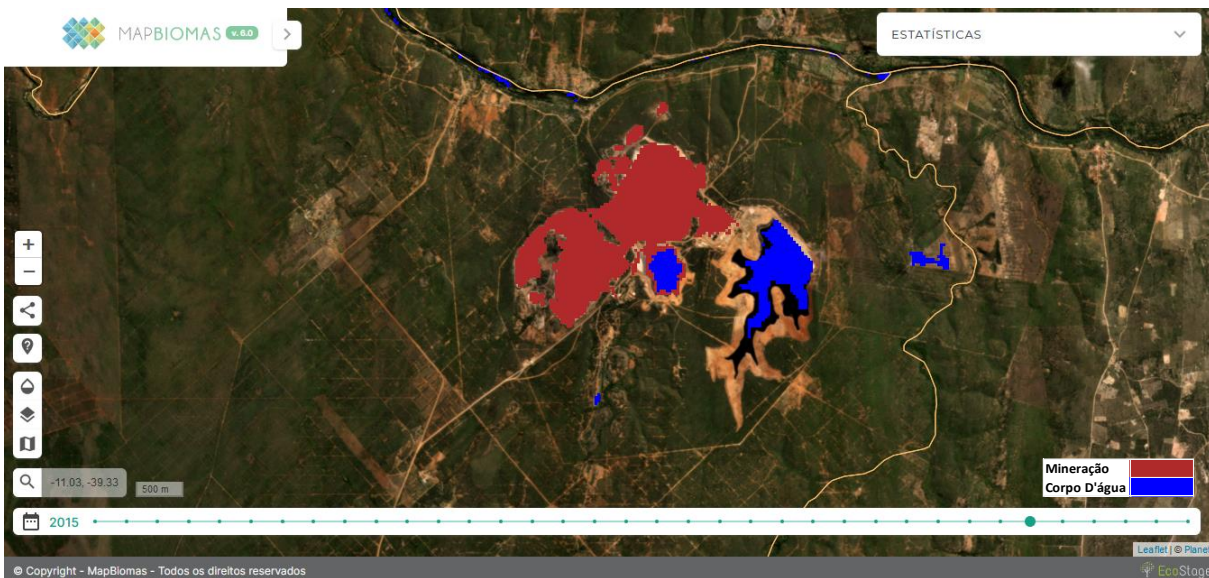
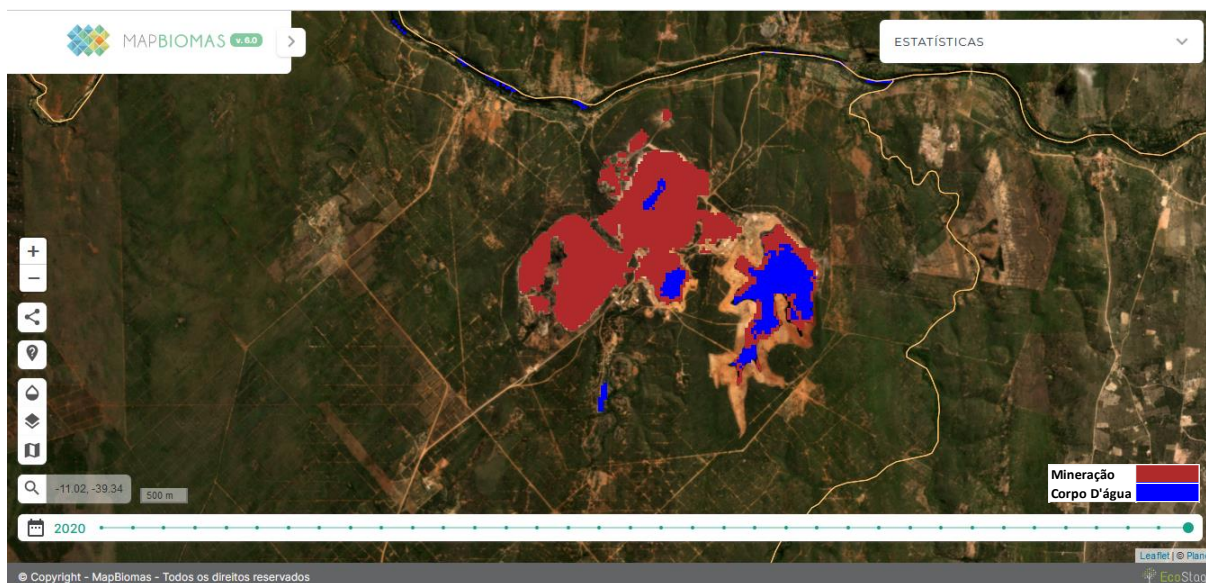


Figura 58 – Mina de Ouro em Santaluz (2020)

Para facilitar a visualização do avanço sofrido pela mineração Santaluz Desenvolvidos Minerais ao longo da série histórica analisada, a visualização da classificação com mapa base de fundo escuro auxilia na percepção da classificação (Figura 59 e Figura 66).

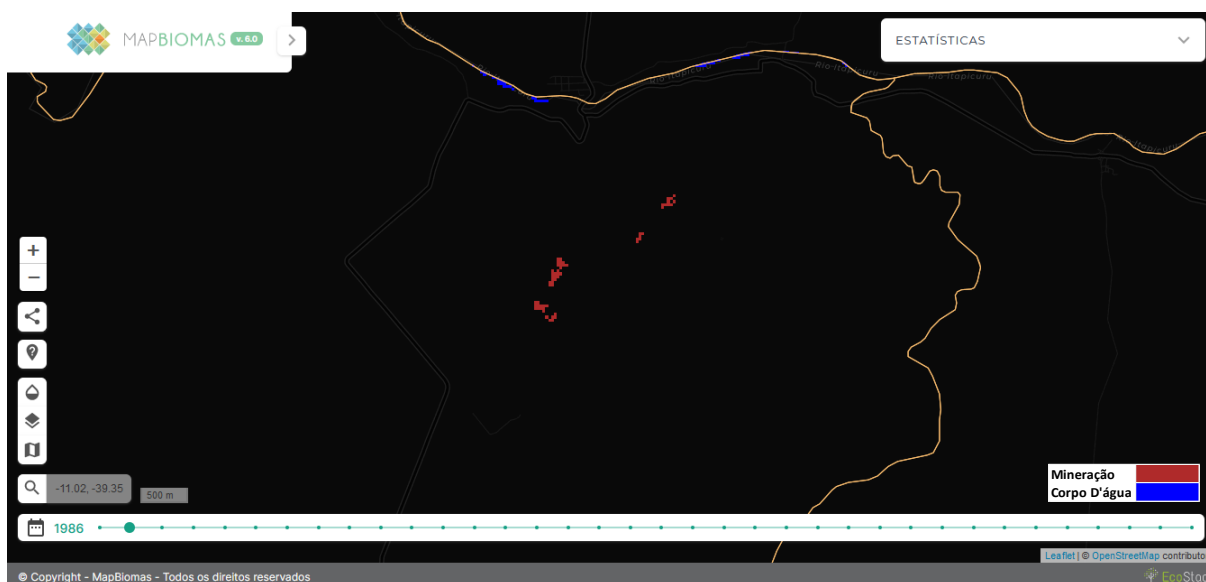
Figura 59 – Mina de Ouro em Santaluz (1986)

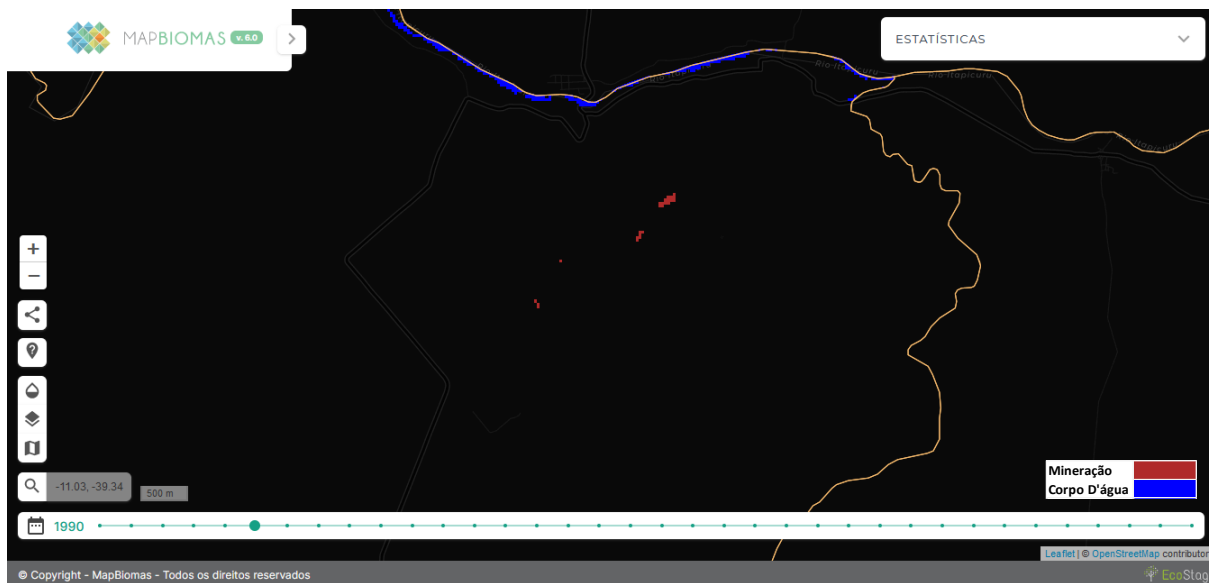
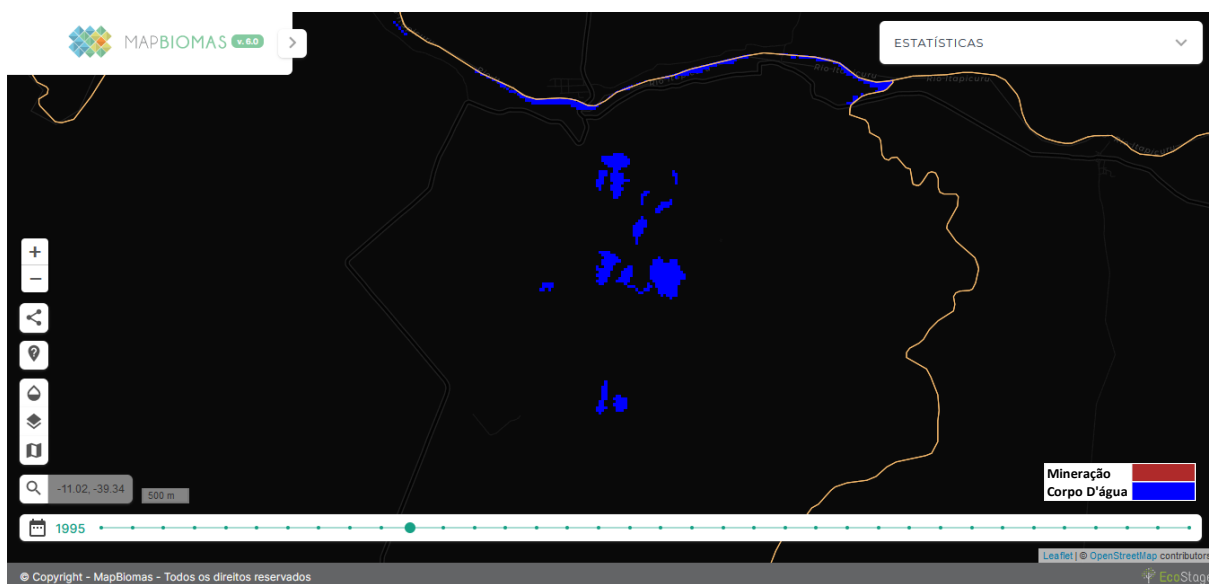
Figura 60 – Mina de Ouro em Santaluz (1990)**Figura 61 – Mina de Ouro em Santaluz (1995)**

Figura 62 – Mina de Ouro em Santaluz (2000)

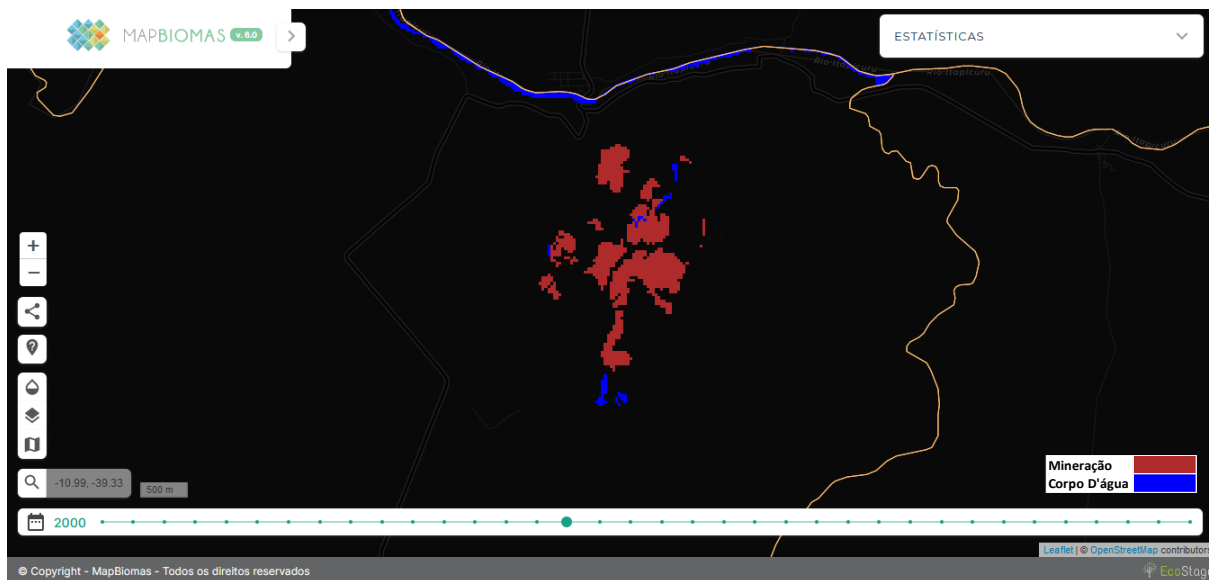


Figura 63 – Mina de Ouro em Santaluz (2005)

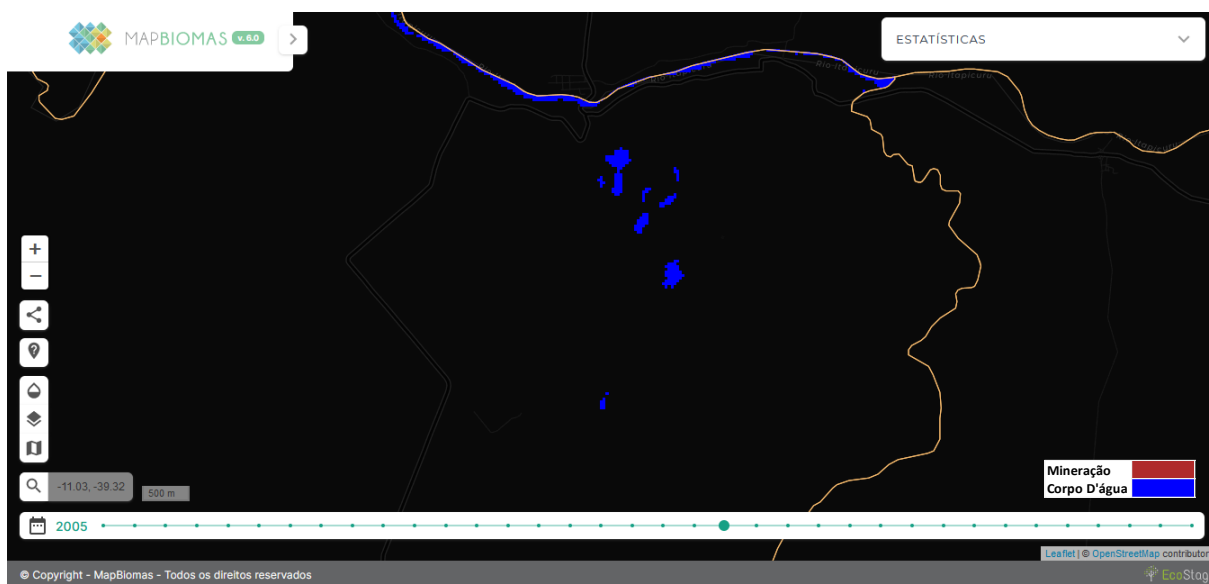


Figura 64 – Mina de Ouro em Santaluz (2010)

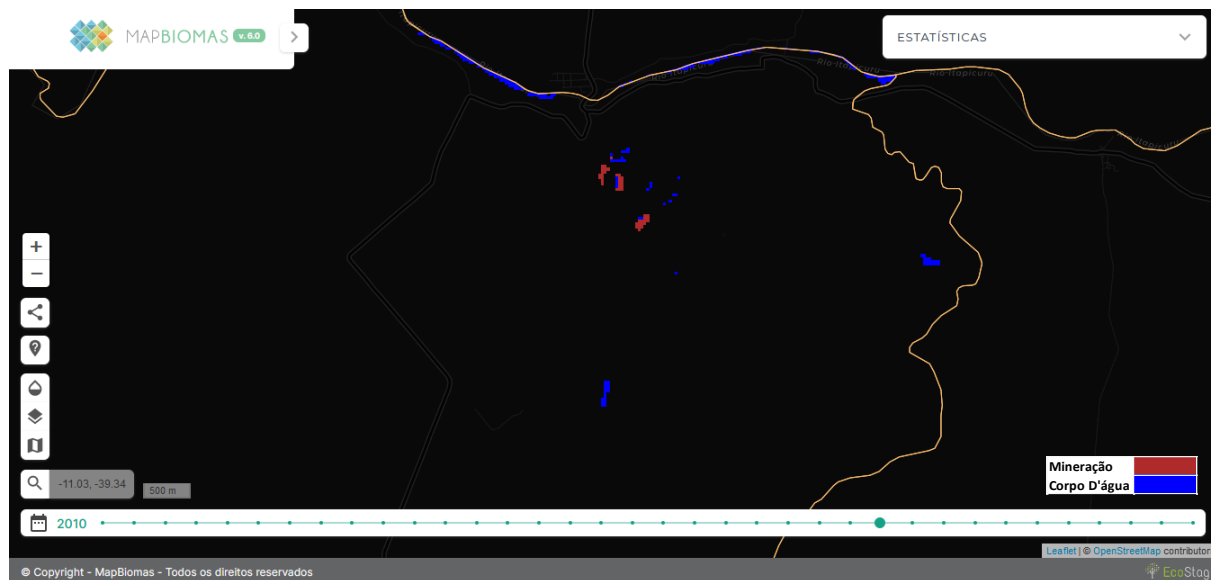


Figura 65 – Mina de Ouro em Santaluz (2015)

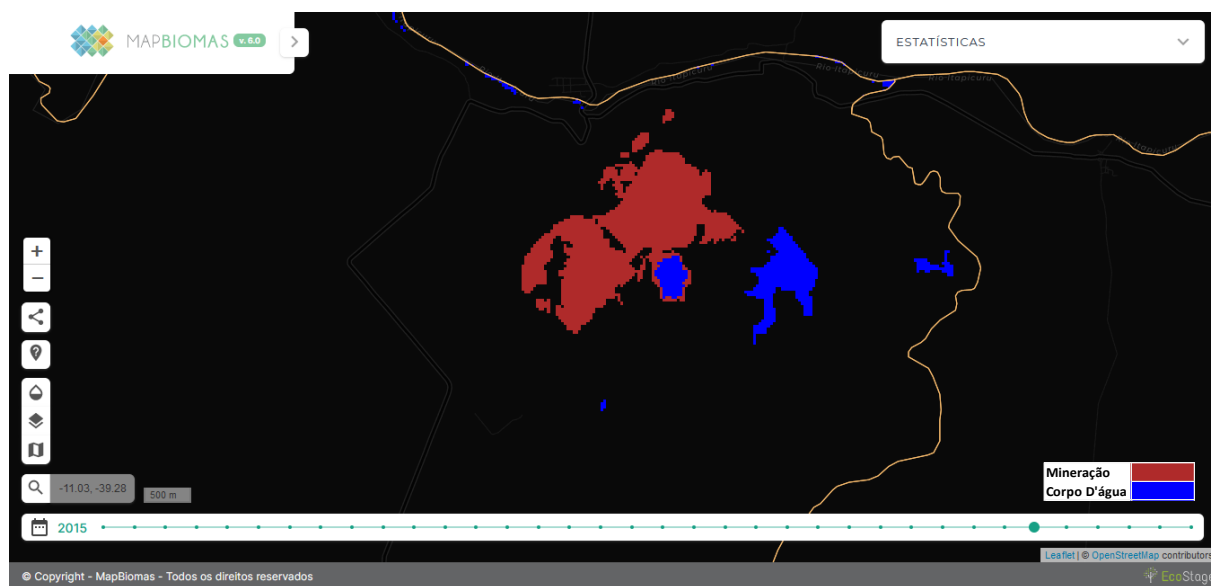
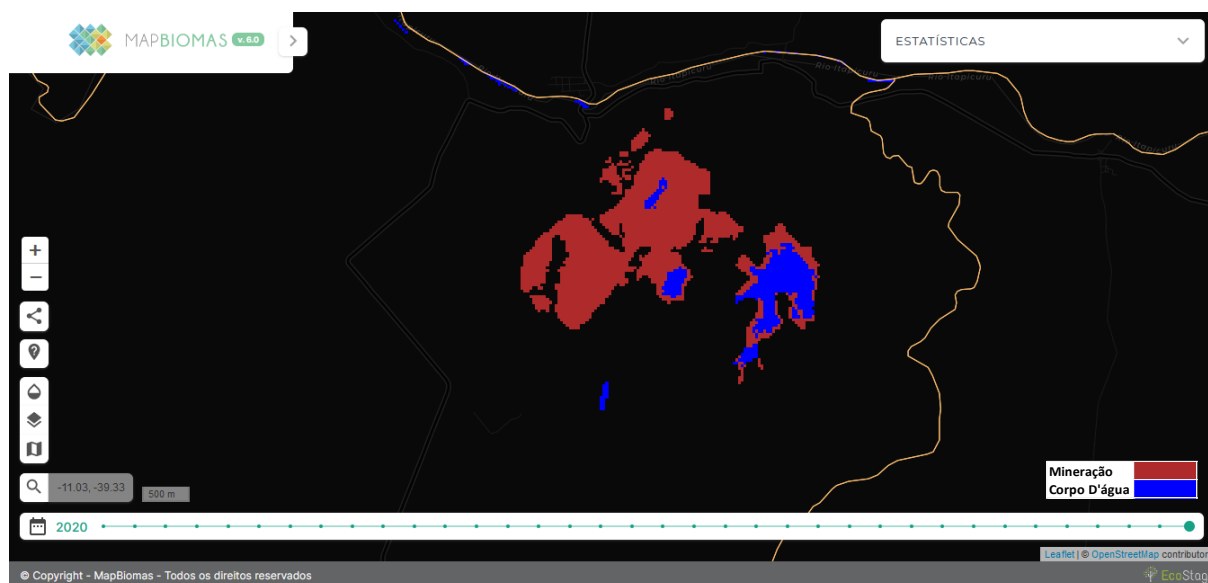


Figura 66 – Mina de Ouro em Santaluz (2020)



A identificação de alvos minerais como água ocorre sempre que há o registro de acúmulo de precipitação ou água de processo em barragens de rejeito e nas cavas de extração de minério.

As áreas administrativas e edificações civis inscrita no site da mina foram identificadas na classificação como a classe “área urbanizada”. Para melhor visualização nos mapas, essa classe foi suprimida por possuir cor próxima com a cor utilizada na legenda para a classe “mineração”, podendo assim ser confundida com a área de investigação deste trabalho.

Nas Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas no município de Santaluz/BA ao longo da série temporal analisada. Lembrando que os dados trazidos para mineração não refletem apenas a mina de ouro de Santaluz, contabilizam também a área ocupada pela extração de cromita realizada pela RHI Magnesita na cidade, e para cálculo de áreas com mineração, as regiões identificadas como “água” e “área urbanizada” não foram contabilizadas. A mineração de ouro Santaluz Desenvolvidos Minerais tem os primeiros registros de extração identificados pela plataforma Mapbiomas a partir de 1986, já a extração de cromita na cidade, que possui dimensões significativamente menores, tem os primeiros registros ainda insipientes a partir de 1991.

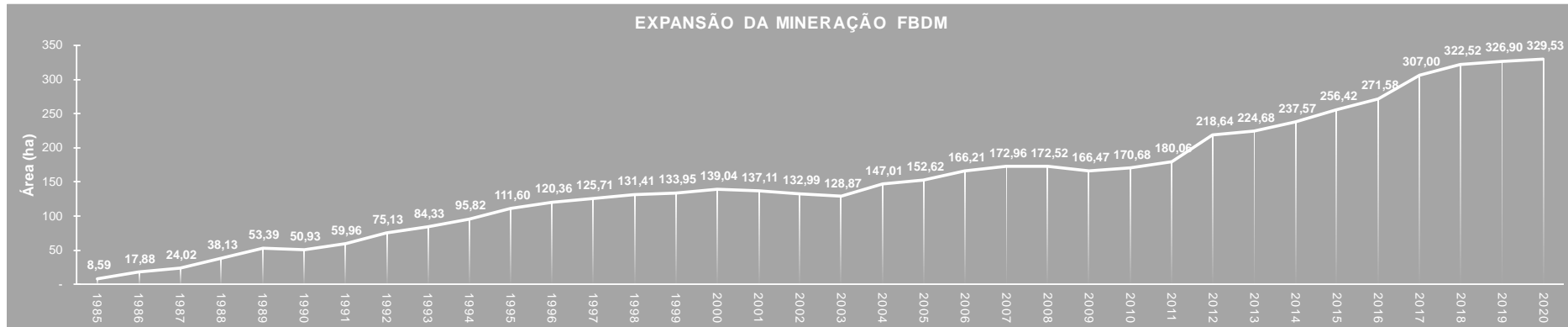
3.1.3. Taxa de expansão da mineração de Ouro

Ao longo dos anos de vida das minas fatores externos influenciam na sua expansão ou redução da operação. A extração de ouro é uma operação onerosa e que demanda grande investimento inicial e adequações ao processo produtivo. O valor da onça (Oz) negociado na bolsa de valores tem influência direta com o planejamento de lavra e investimentos na empresa. As empresas que extraem ouro no Brasil em escala industrial são empresas estrangeiras, e na sua maioria de origem canadense. Nas Figura 67 e Figura 68 são mostrados os valores de expansão, em área, que a mineração Fazenda Brasileiro Desenvolvidos Minerais (em Barrocas) e a mineração na cidade de Santaluz apresentam ao longo dos 36 anos de análise.

Importante lembrar que para a análise da expansão da mineração no município de Santaluz/BA, que possui duas operações de extração mineral de bens diferentes: ouro e cromita; a análise estatística considera como área minerada o total entre os dois empreendimentos contidos no município. Uma análise visual do porte dos empreendimentos, bem como o avanço dos mesmos no período, mostra que a extração de ouro possui maior influência na mudança de uso e ocupação, consequentemente no formato do gráfico de expansão apresentado na Figura 68.

Além da análise de expansão anual de 1990 a 1994, não houve extração significativa na mina de cromita explorada pela RHI Magnesita no município, sendo os valores mostrados no gráfico de Santaluz representativos apenas para a extração de ouro. Na Figura 69 e Figura 70 são mostradas a expansão das áreas mineradas em intervalos de 5 em 5 anos entre o período de 1985 a 2020.

Figura 67 – Expansão da Mineração FBDM de 1985 a 2020



O gráfico mostra a expansão da área minerada pela FBDM, com sua trajetória crescente, sem registro de interrupção no funcionamento durante a vida da mina, apesar de já ter sido vendida por diversas vezes, não há registros de extensas paralizações na operação. Importante também destacar o aumento abrupto sofrido a partir do ano de 2011. Entre 2012 e 2017 a empresa investiu em pesquisa geológica como estratégia para expansão de reserva a partir da prospecção de novos corpos mineralizados.

Figura 68 – Expansão da Mineração em Santaluz de 1986 a 2020



De 1990 a 1994 não houve extração significativa na mina de cromita no município, sendo os valores mostrados no gráfico de Santaluz representativos apenas para a extração de ouro.

Figura 69 – Expansão da Mineração FBDM em intervalos de 5 anos

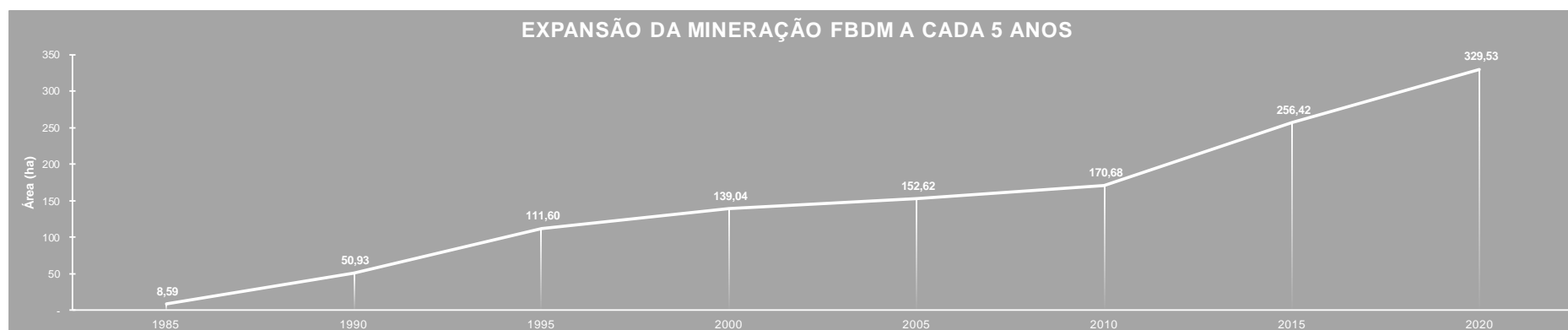
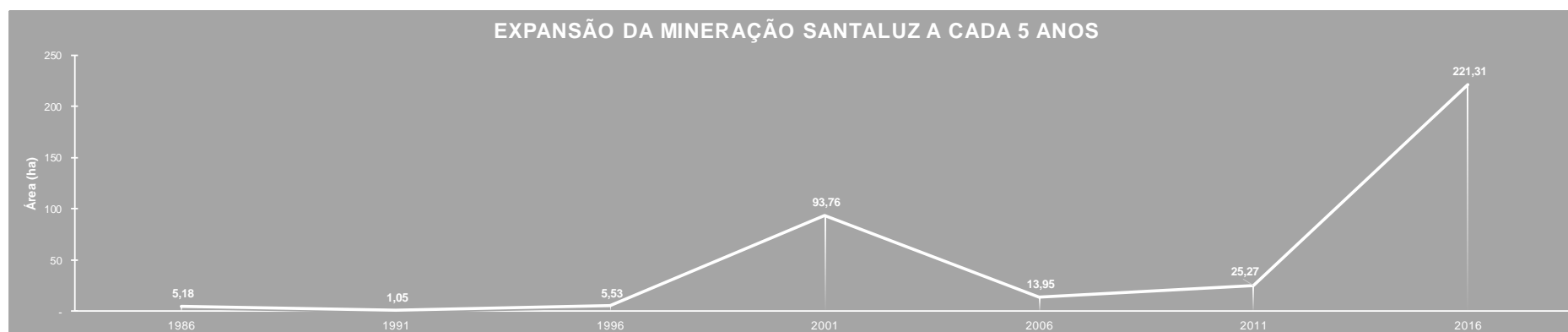


Figura 70 – Expansão da Mineração em Santaluz em intervalos de 5 anos



O gráfico mostra a expansão da área minerada em Santaluz e a instabilidade do projeto. Com algumas interrupções e paralizações de operação, devido dificuldade na recuperação do ouro beneficiado no processo e o valor da commodity comercializado no período. O minério extraído nessa mina possui característica ímpar, conferindo assim um elevado grau de dificuldade na recuperação do ouro através do método de beneficiamento aplicado. Essa dificuldade de recuperação se dá em virtude do excesso de material carbonoso contido no próprio minério.

O empreendimento que iniciou seu primeiro período de exploração de 1986 a 1996 através da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), sendo paralisada após este período devido à baixa do preço da commodity. Entre os anos de 1997 e 2003 houve um aumento na área minerada no município de Santaluz consequência da implantação do plano de fechamento de mina, contratado pela CVRD, e executado como medida reparadora ao dano ambiental. Este foi o primeiro plano de fechamento mineiro executado no estado da Bahia. Neste mesmo período a extração de cromita no município continuou em desenvolvimento.

Em 2005 a Yamana Gold adquiriu o empreendimento, investiu em pesquisa e iniciou a exploração em 2011. Novamente a área afetada pela mineração volta a expandir entre 2011 a 2012, graças ao período de startup que a mineração passou em posse da Yamana Gold. O crescimento nesse período foi influenciado pela alta do valor do ouro comercializado. A extração durou 3 anos, quando foi novamente paralisada em 2014

Vendido o ativo para algumas empresas durante o período de paralização, em 2019 começaram a ser realizadas algumas modificações estruturais, a fim de adequar o processo de beneficiamento do minério. Essas adequações proporcionaram um leve aumento na área ocupada pela atividade de extração mineral, e traz a promessa de novo startup ainda no primeiro semestre de 2022, desta vez com nova rota de processo. Nas duas mineradoras de ouro analisadas há o registro de expansão abrupta em 2011. Neste período houve valorização do ouro no mercado, trazendo um forte aquecimento do setor mineral e crescente demanda por profissionais da área. O preço do ouro comercializado na época chegou a custar U\$ 1700,00/Oz, vindo de um longo período de baixa, conforme é mostrado nos gráficos das Figura 71 e Figura 72.

Figura 71 – Preço da Oz do ouro



Fonte: TradingView.com

Figura 72 - Preço do ouro de 2006 a 2013



Fonte: TradingView.com

Uma análise realizada nos dois empreendimentos mineiros, tendo como base a observação do comportamento das empresas num intervalo de 5 anos, confirmou que em 2011 houve um crescimento expressivo na área de exploração. Relacionando este crescimento com o valor do ouro comercializado na bolsa de valores, podemos afirmar que o crescimento do setor se deu por oportunidade de mercado.

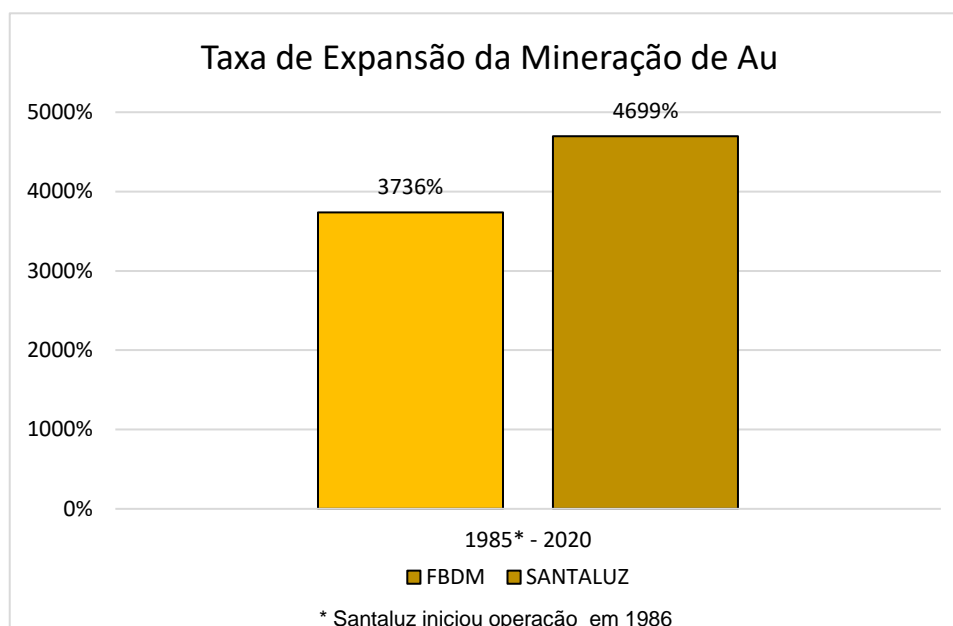
Considerando o avanço da área operacional nas minerações FBDM e na mineração no município de Santaluz observado no período entre 1985 a 2020, foram calculadas as taxas de variação percentual da expansão da área minerada pelas empresas no intervalo temporal de 36 anos.

A taxa de expansão da mineração foi calculada a partir da equação:

$$\text{Taxa de expansão} = \frac{\text{área final} - \text{área inicial}}{\text{área inicial}} \times 100$$

Essas taxas de expansão são mostradas na Figura 73 e levaram em consideração o crescimento percentual da área entre os anos de 1985 a 2020 para FBDM e 1986 a 2020 para a mineração em Santaluz.

Figura 73 – Taxa de Expansão da mineração de ouro



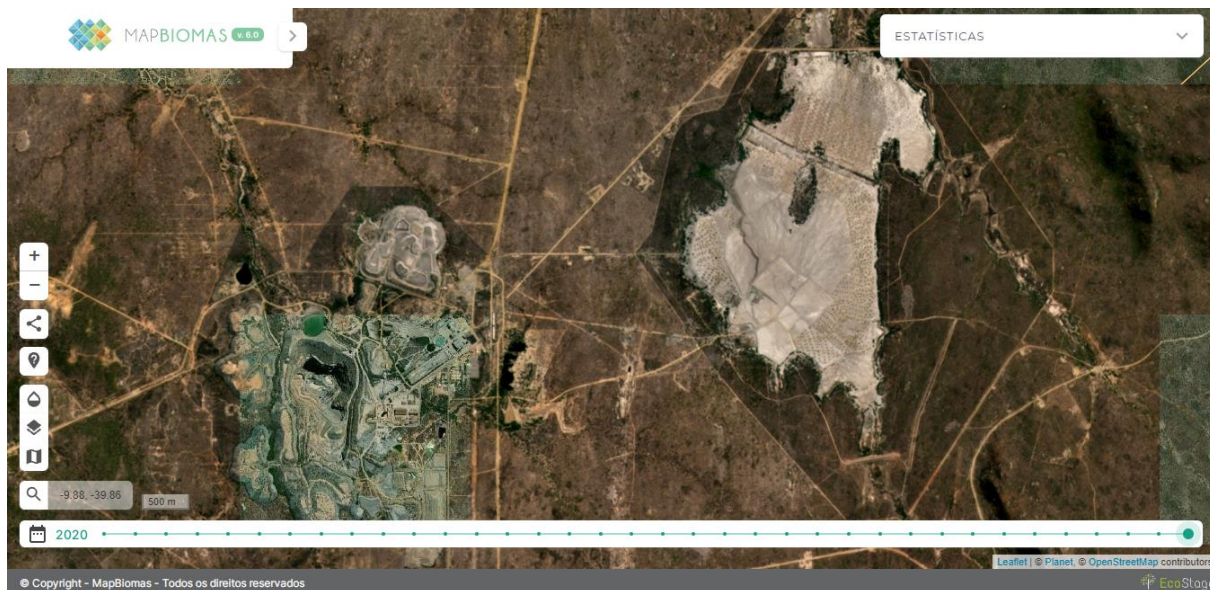
3.2. COBRE

3.2.1. MCSA – Caraíba Mineração S/A

A área avaliada para a extração de cobre é aquela dentro do município de Jaguarí/BA, outras minas pertencentes a mesma empresa que ficam no Vale do Curaçá/BA, como a mina de Vermelhos, não foram consideradas nessa análise, por se tratar de uma extração recente, iniciada em 2018.

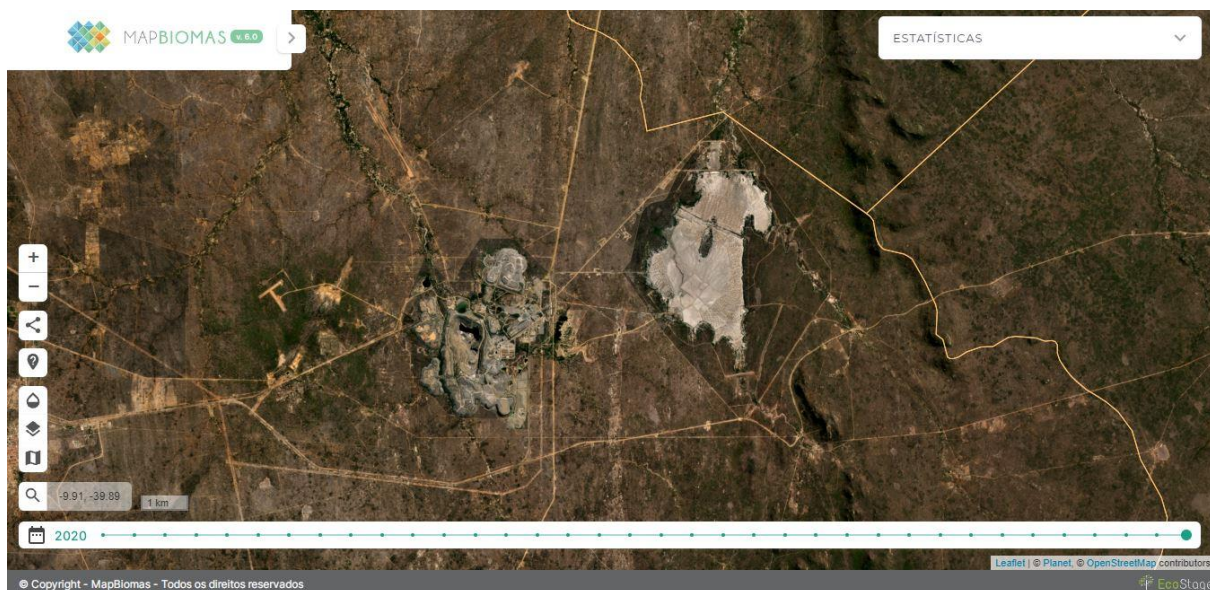
A lavra de cobre em Jaguarari/BA apresenta a maior extensão em relação as demais investigadas, isso se deve ao longo período de vida da mina. Existe registros de extração mineral na região anterior ao período da imagem de satélite mais antiga analisada (1985), desta maneira as feições da atividade de mineração são facilmente identificáveis desde a primeira imagem obtida para a região.

Figura 74 - MCSA, Jaguarari/BA (2020)



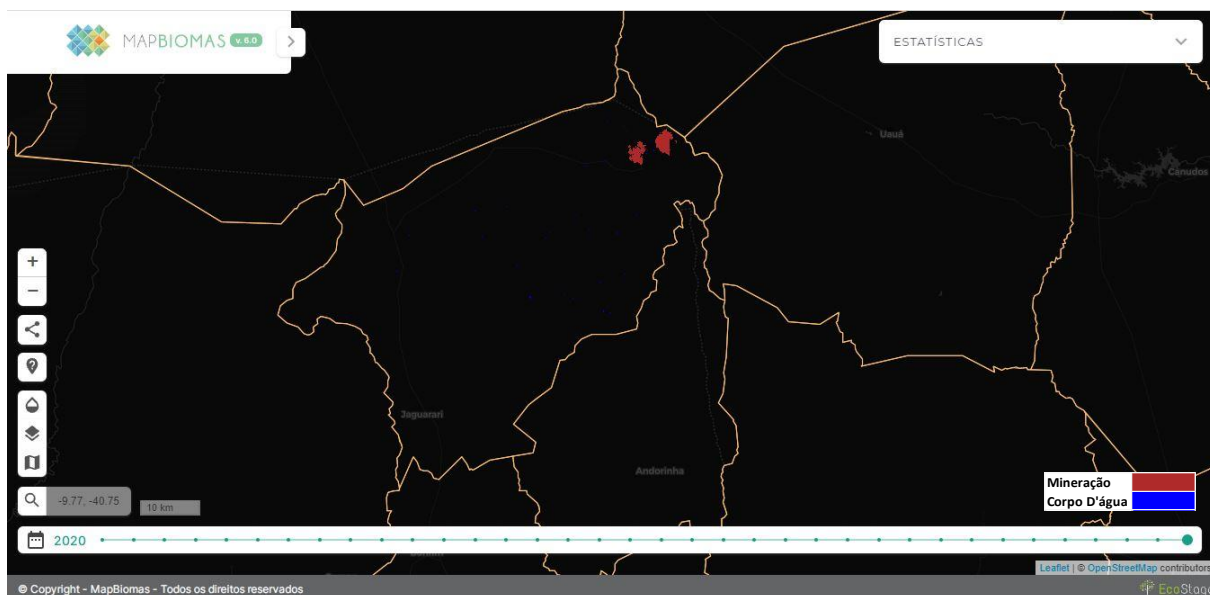
Para demonstrar toda a área ocupada pela MCSA foi necessário ajustar a escala no mapa, assim a visualização e análises não seriam comprometidas.

Figura 75 – MCSA, Jaguarari/BA (2020)



Em Jaguarari não há a identificação de extração mineral diferente da área da MCSA.

Figura 76 - Mineração no município de Jaguarari/BA



O avanço da mineração ao longo dos últimos 36 anos é mostrado nas classificações obtidas através da plataforma nas imagens a seguir (Figura 77 e Figura 84). As classificações são sobrepostas ao mapa base de alta resolução: mosaico com imagens Planet de 2021.

Figura 77 – MCSA (1985)

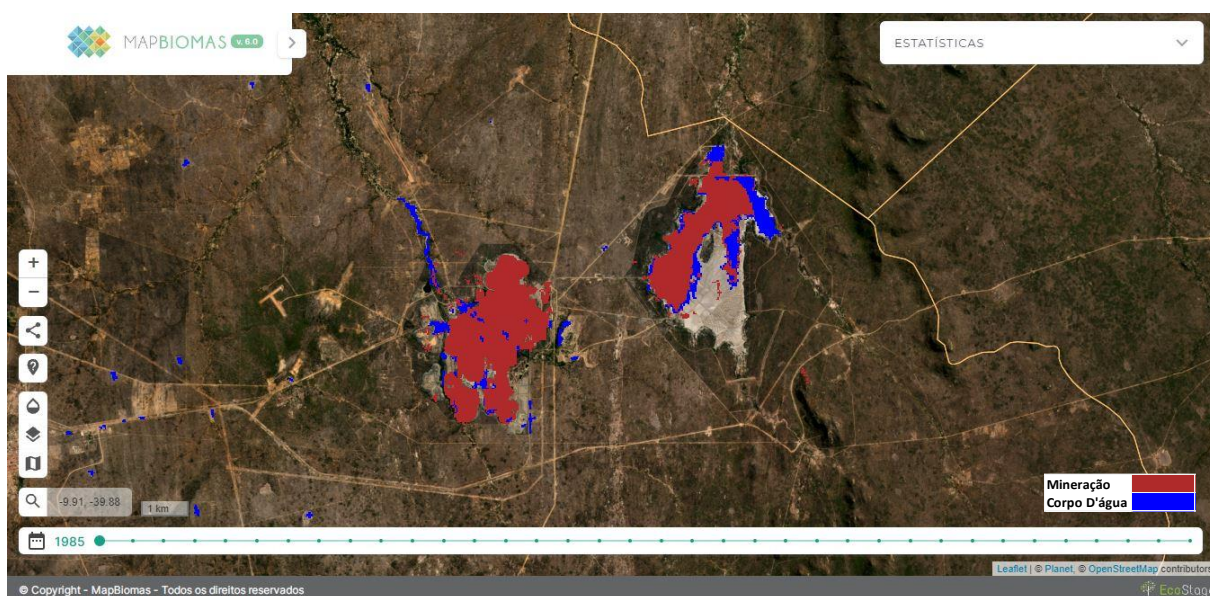


Figura 78 - MCSA (1990)

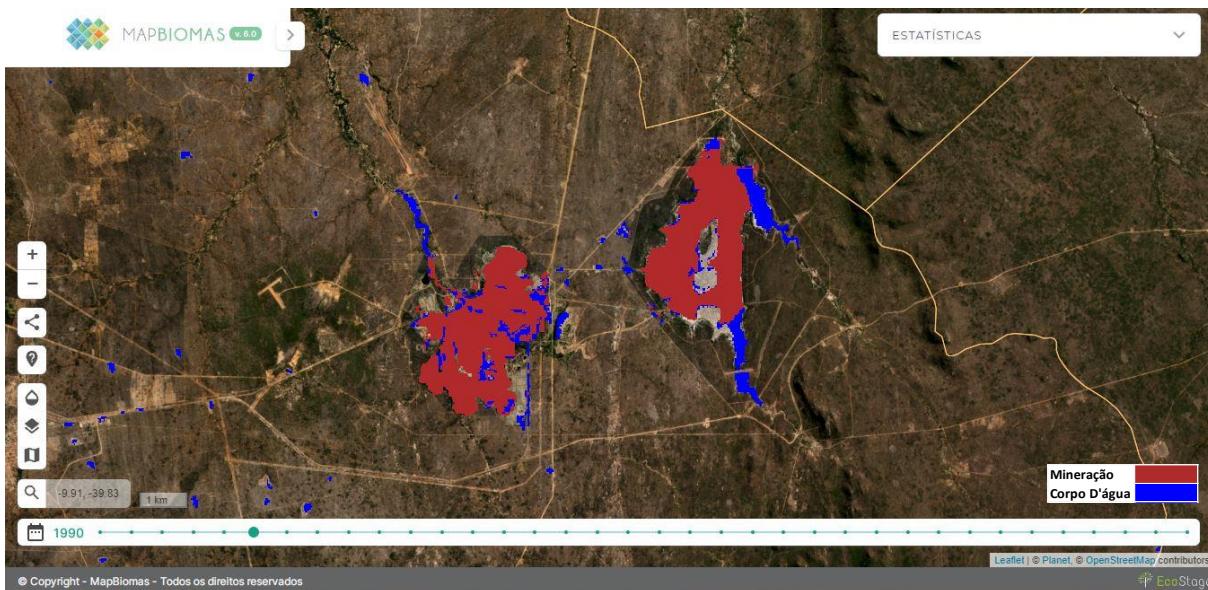


Figura 79 - MCSA (1995)

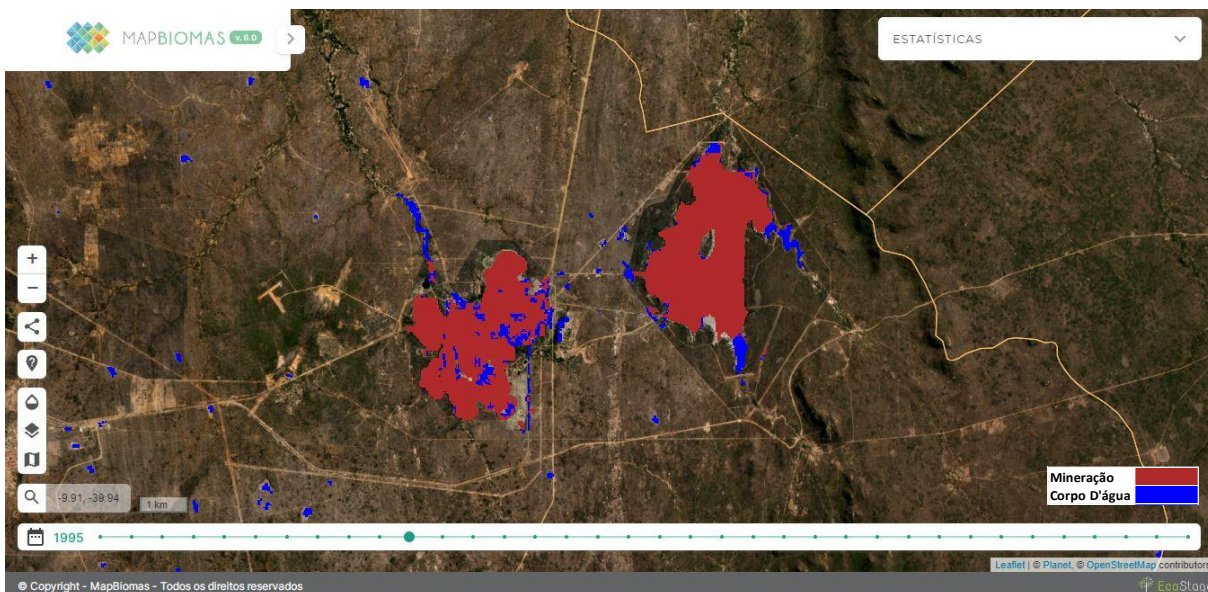


Figura 80 - MCSA (2000)

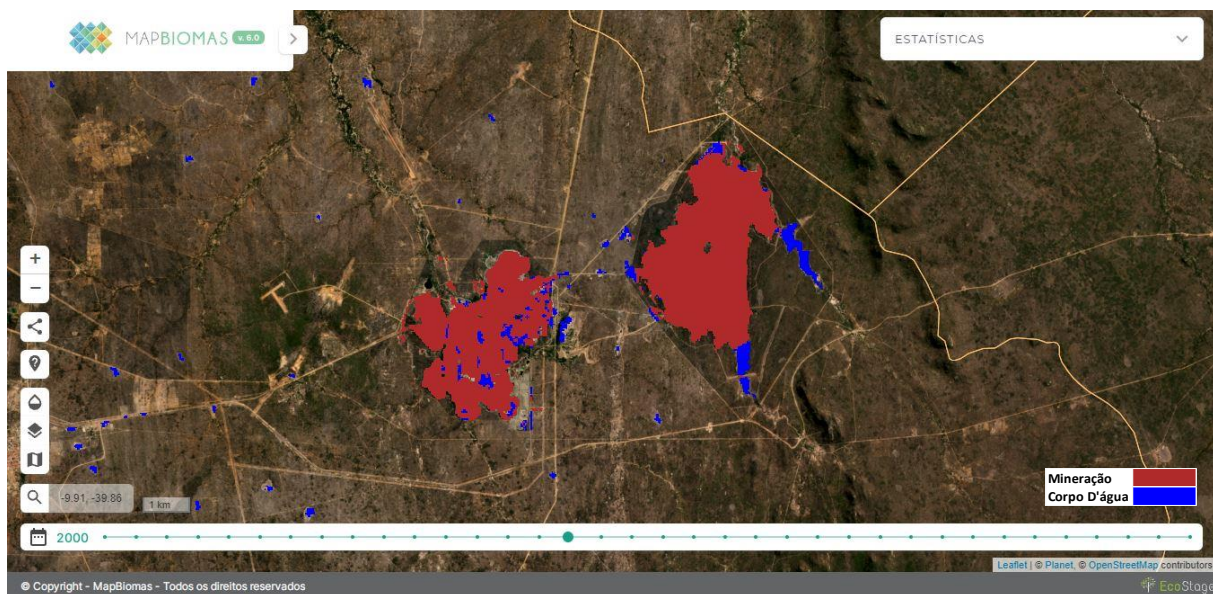


Figura 81 - MCSA (2005)

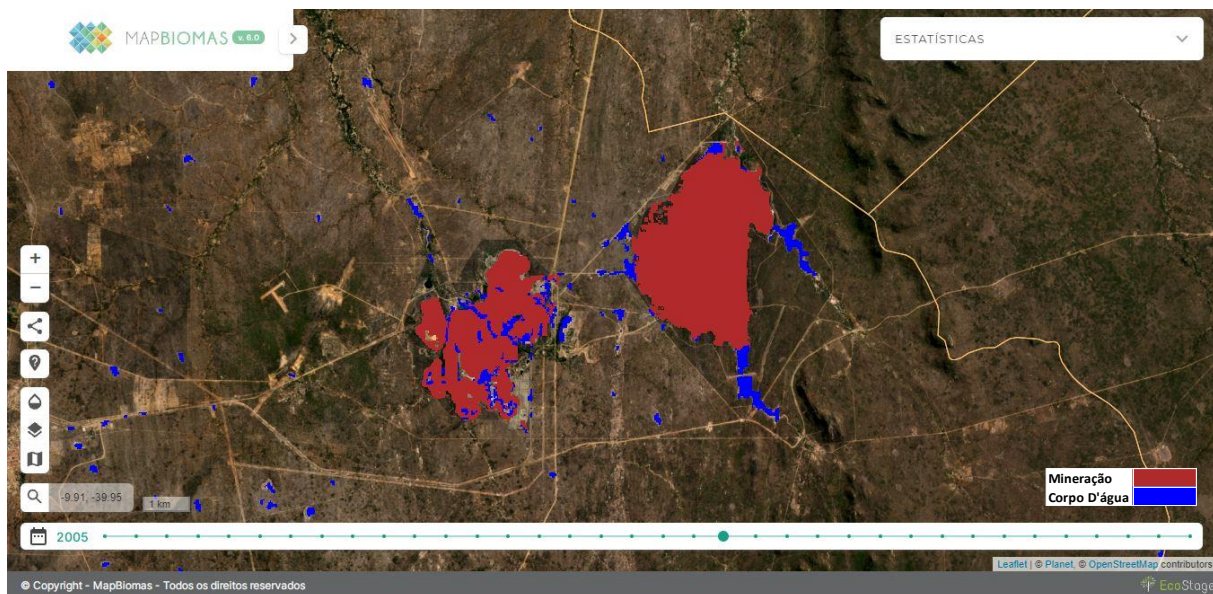


Figura 82 - MCSA (2010)

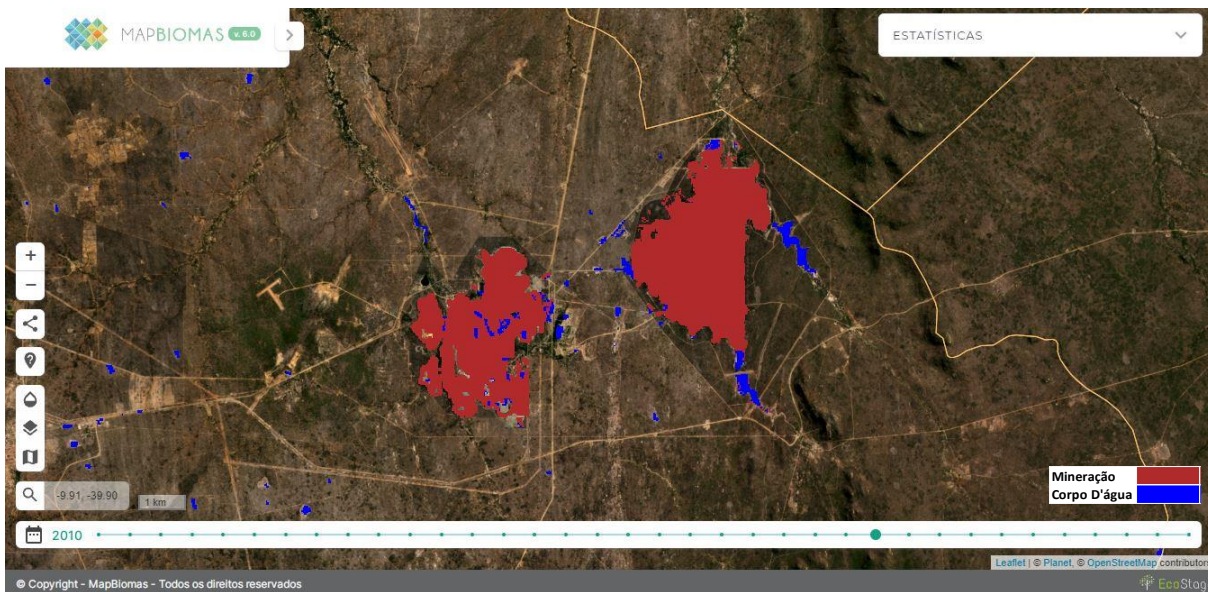


Figura 83 - MCSA (2015)

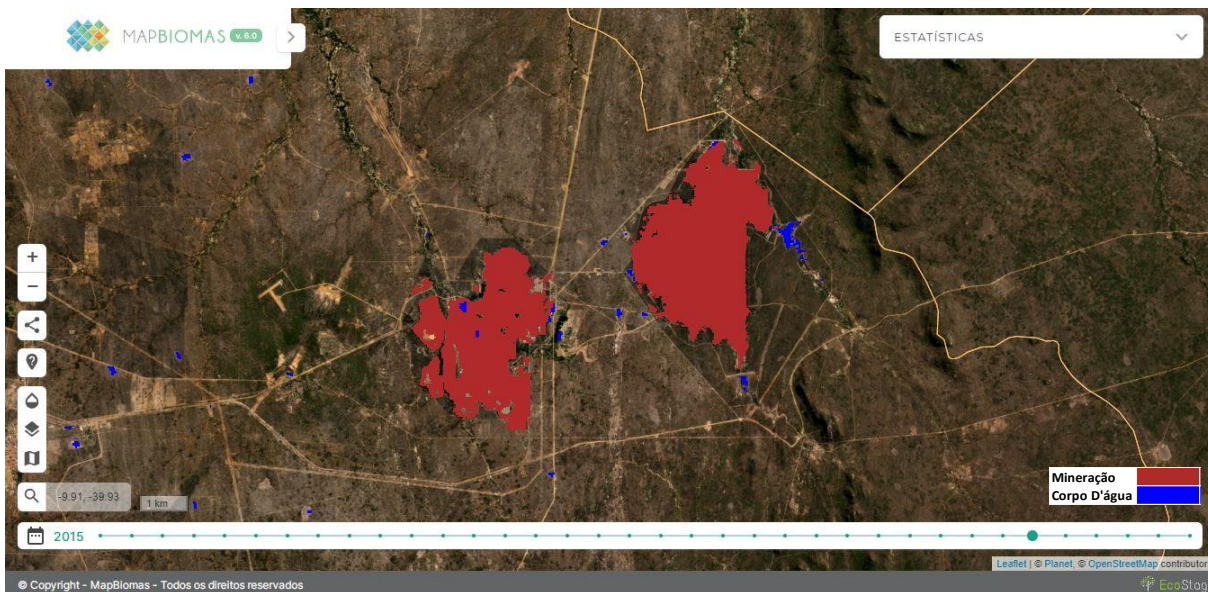
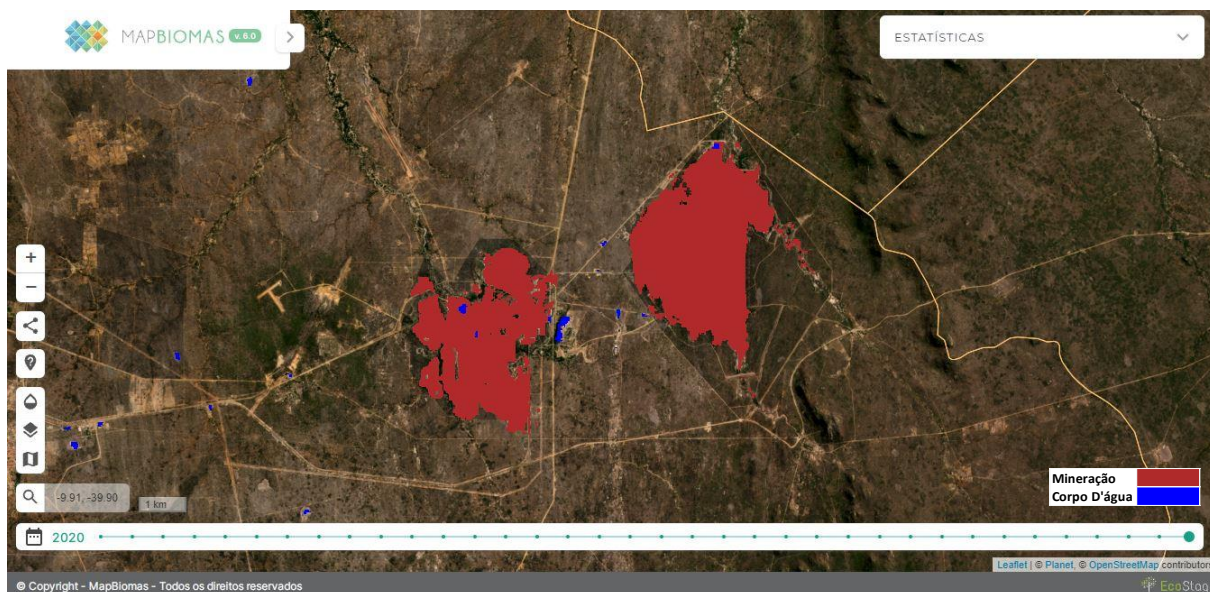


Figura 84 - MCSA (2020)

Para facilitar a visualização do avanço sofrido pela MCSA ao longo da série histórica analisada, a visualização da classificação com mapa base de fundo escuro auxilia na percepção da classificação identificando as áreas que contém ações de extração mineral (Figura 85 e Figura 92).

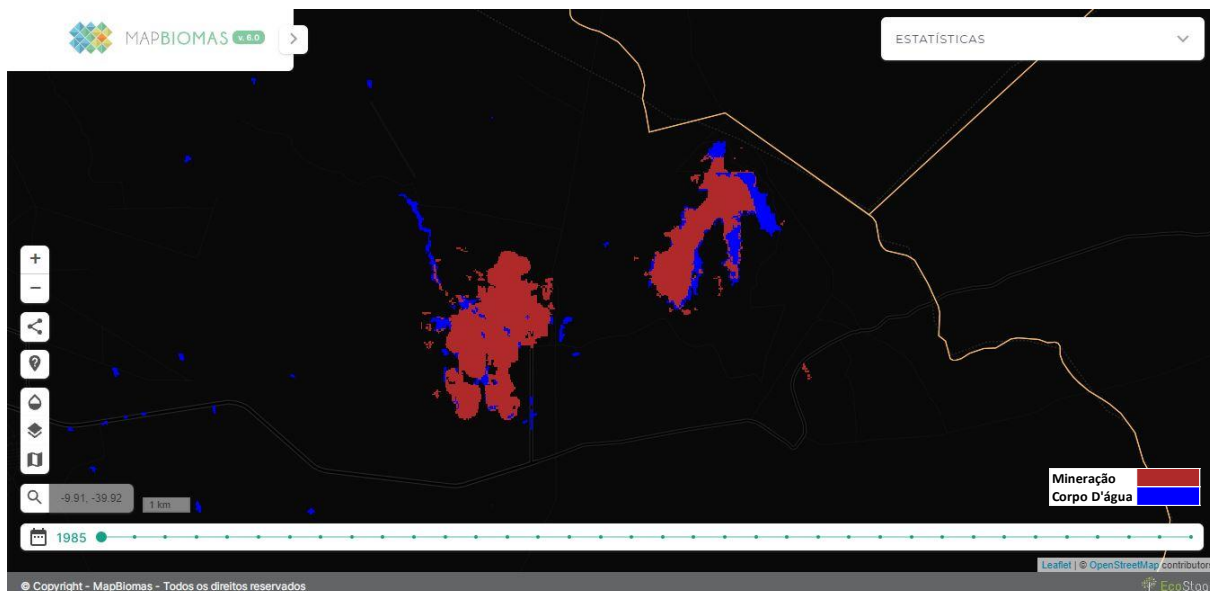
Figura 85 - MCSA (1985)

Figura 86 - MCSA (1990)

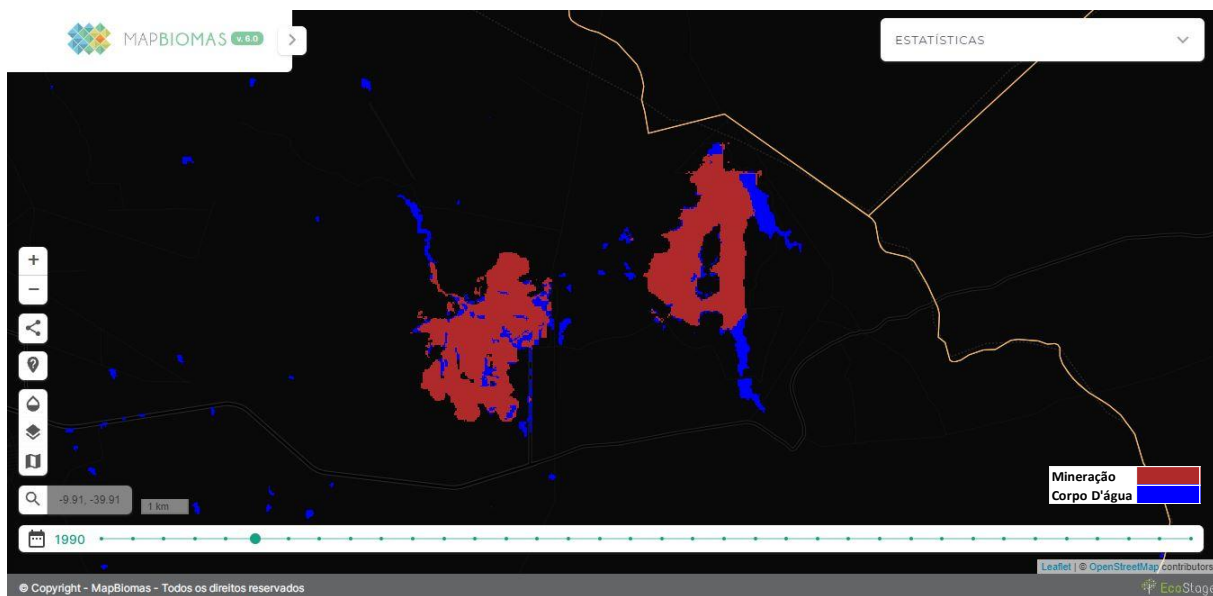


Figura 87 - MCSA (1995)

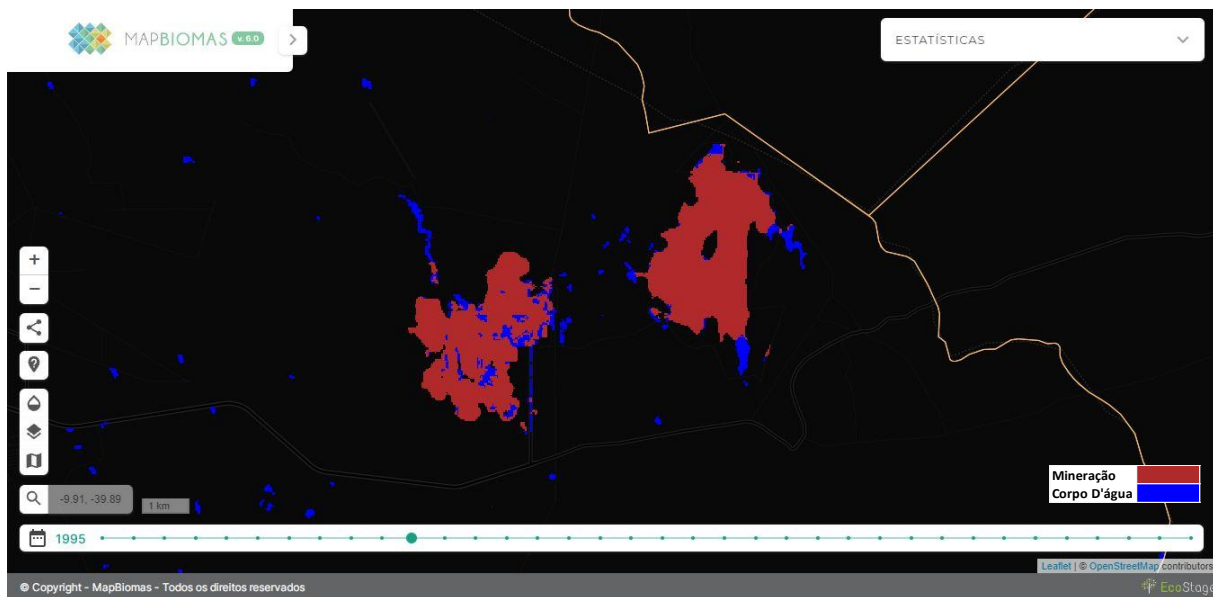


Figura 88 - MCSA (2000)

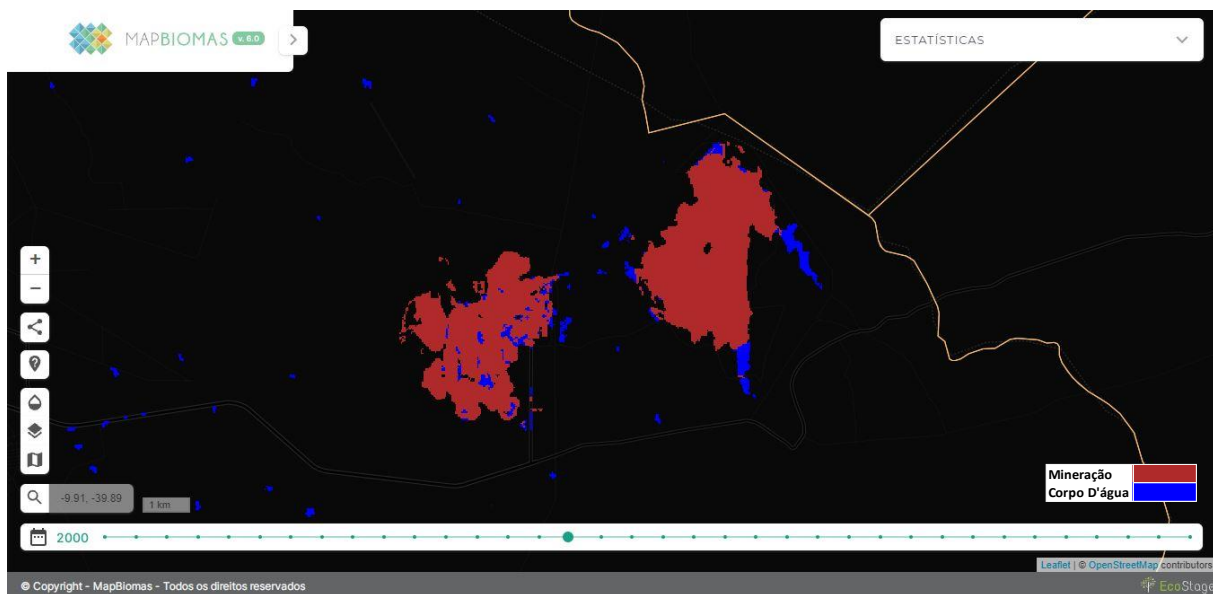


Figura 89 - MCSA (2005)

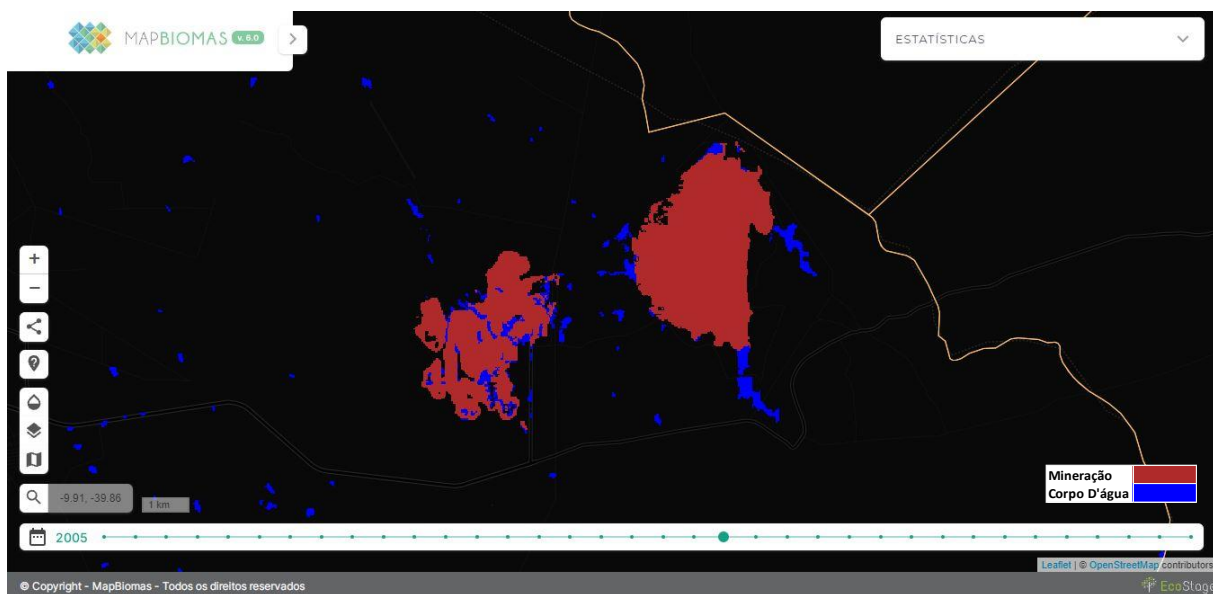


Figura 90 - MCSA (2010)

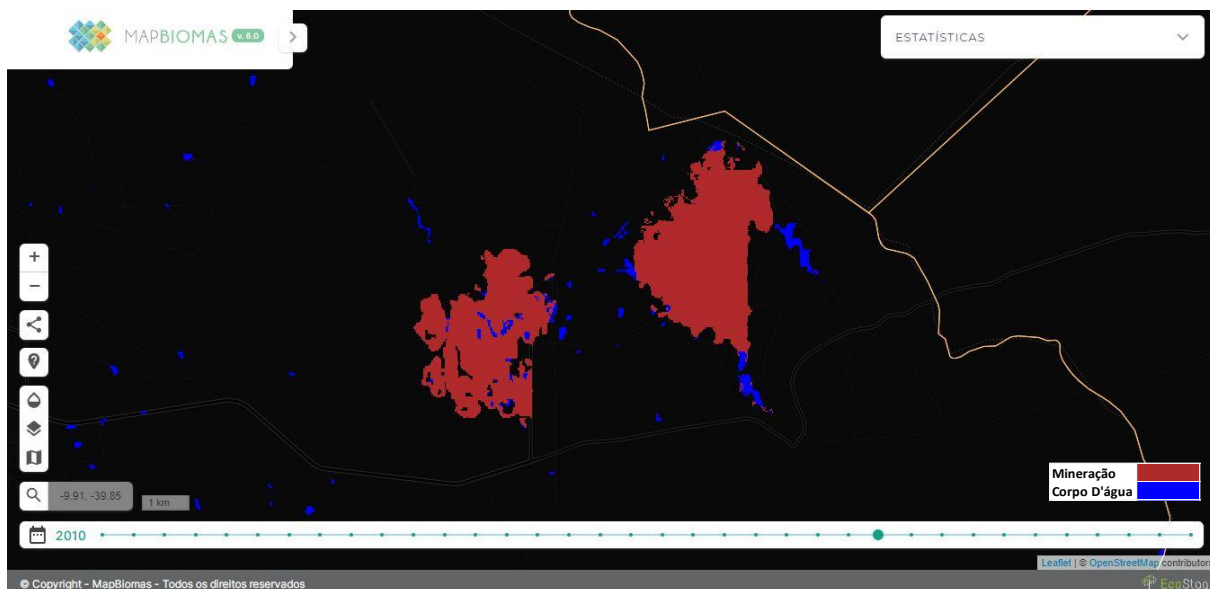


Figura 91 - MCSA (2015)

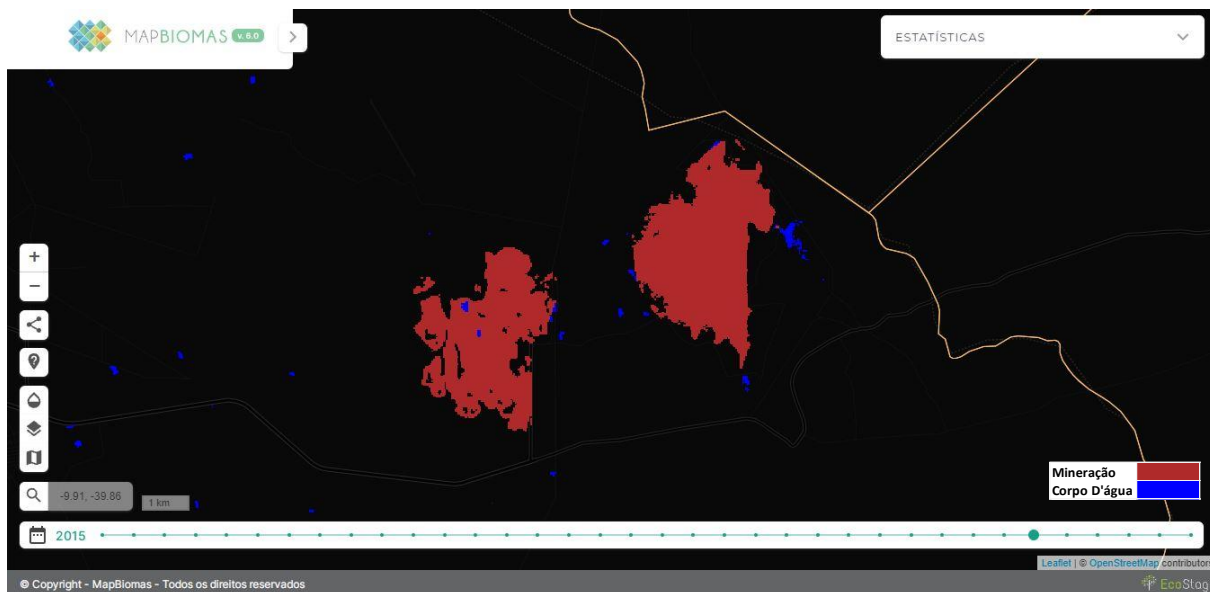


Figura 92 - MCSA (2020)



A identificação de alvos minerais como água ocorre sempre que há o registro de acúmulo de precipitação ou água de processo em barragens de rejeito e nas cavas de extração de minério.

As edificações e estruturas de construção civil foram identificadas na classificação do Mapbiomas também como “mineração”, não causando assim interferência na análise desta mineralização. Para melhor visualização nos mapas, a classe “área urbanizada” foi suprimida, por possuir cor próxima com a cor utilizada na legenda para a classe “mineração”.

Nas Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas no município de Jaguarari/BA ao longo da série temporal analisada. Na estatística apresentada para cálculo de áreas com mineração, as regiões identificadas como “água” não foram contabilizadas.

Como mencionado, a mineração de cobre no município tem os primeiros registros de extração trazidos pela literatura datado de 1979, a plataforma Mapbiomas mostra grande área explorada já no ano de 1985, data da primeira imagem de satélite disponível e classificada.

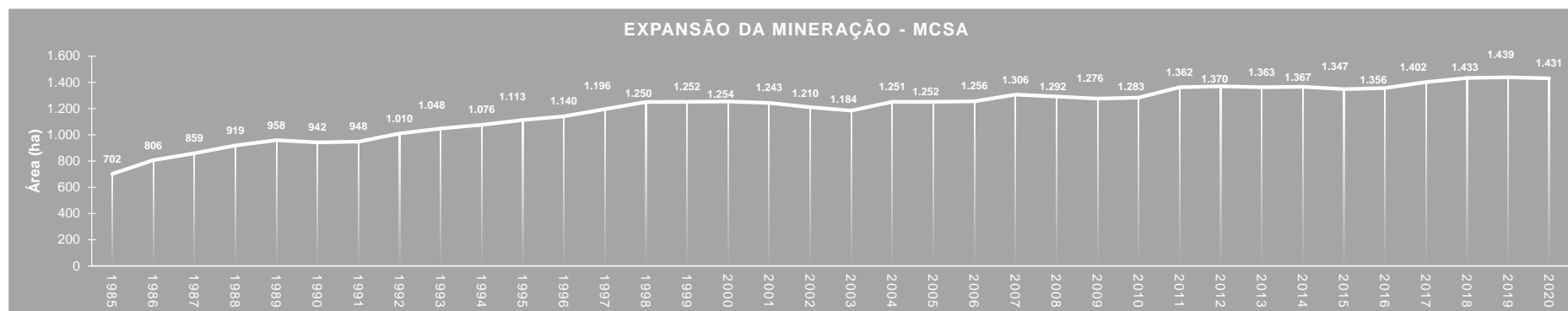
3.2.2. Taxa de expansão da mineração de Cobre

A análise histórica mostra que a MCSA tem sua extração anterior ao registro por imagens de satélite. Se trata de uma mina muito antiga com descoberta do depósito mineral em 1874, passou a ser controlada pelo BNDES em 1974, e sua extração, pelo método de lavra a céu aberto, foi iniciada após 105 anos, apenas em 1979.

A trajetória da MCSA foi marcada por diversos acontecimentos ao longo de sua vida útil, nenhum deles implicou na paralização das atividades. Em 1986 houve a mudança de método de lavra iniciando-se a extração de forma subterrânea. Início do processo de privatização em 1988; entrada no programa de privatização nacional em 1994. Extração de minério oxidado proveniente de material armazenado em pilhas na superfície ao longo dos anos de vida da mina, a partir de 2006. Em 2016, venda do ativo para a empresa Ero Copper Corporation.

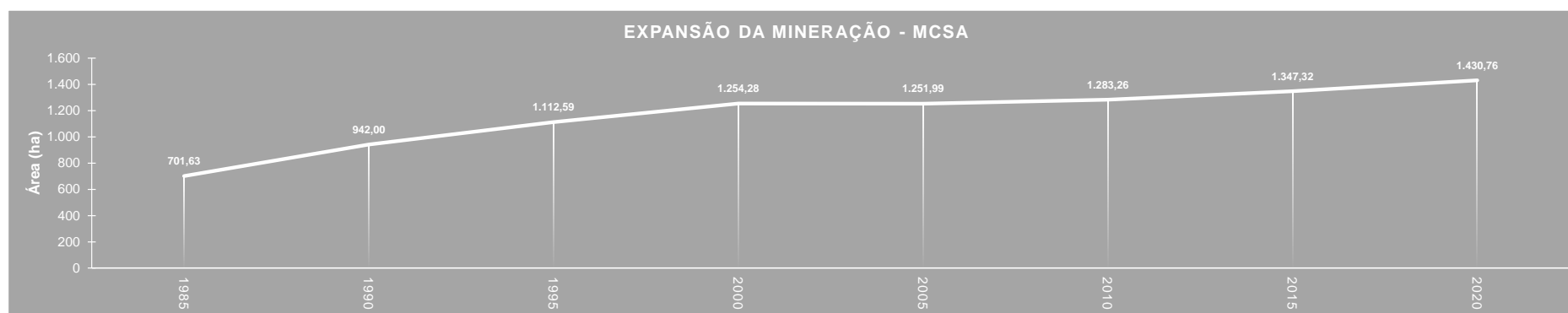
Na Figura 93 é mostrado os valores de expansão, em área, que a Mineração Caraíbas (em Jaguarari) apresenta ao longo dos 36 anos de análise. Além da análise de expansão anual, na Figura 94 é mostrada a expansão da área minerada na extração de cobre em intervalos de 5 em 5 anos entre o período de 1985 a 2020.

Figura 93 - Expansão da MCSA de 1985 a 2020



O gráfico de expansão da área da MCSA mostra que a empresa possui uma trajetória crescente, o que é validado pelo histórico de ininterruptão de funcionamento durante a vida da mina, apesar de sua trajetória passar por momentos de privatização, mudança de método de lavra e venda, não há registros de paralização na operação de extração mineral de cobre.

Figura 94 - Expansão da MCSA em intervalos de 5 anos

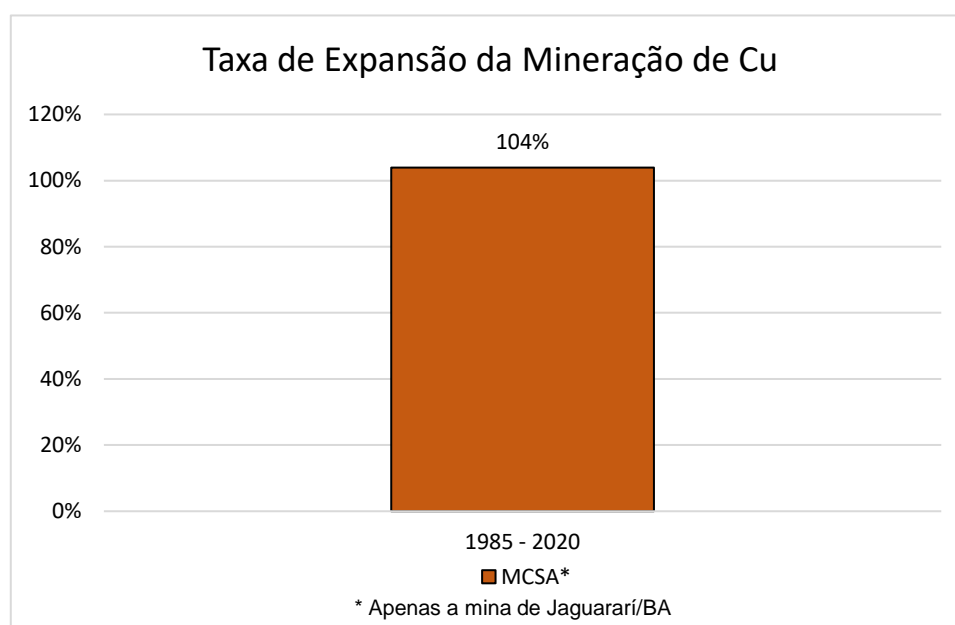


O aumento registrado no ano de 1986 se deve ao aumento da produção com a mudança de método de lavra, a estagnação no crescimento observada nos anos de 2005 e 2006 pode ser reflexo do reaproveitamento do minério lixiviado estocado após a implantação da planta de lixiviação. A expansão a partir do ano de 2016 se justifica por novos investimentos em pesquisa geológica trazido pela Ero Copper Corporation.

Considerando o avanço da área operacional da MCSA observado no período entre 1985 a 2020, foi calculada a taxa de variação percentual da expansão desta área (Figura 95). A taxa de expansão da área minerada de cobre foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Taxa de expansão} = \frac{\text{área final} - \text{área inicial}}{\text{área inicial}} \times 100$$

Figura 95 – Taxa de Expansão da Mineração de cobre em Jaguarari/BA

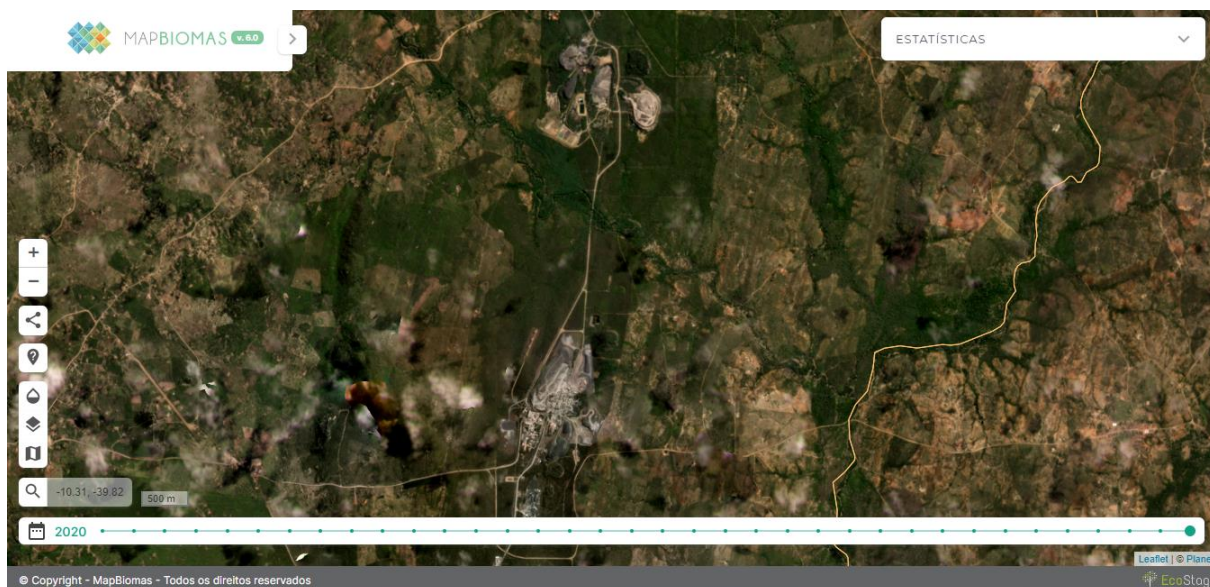


3.3. FERRO

3.3.1. FERBASA – Companhia de Ferros Ligas da Bahia

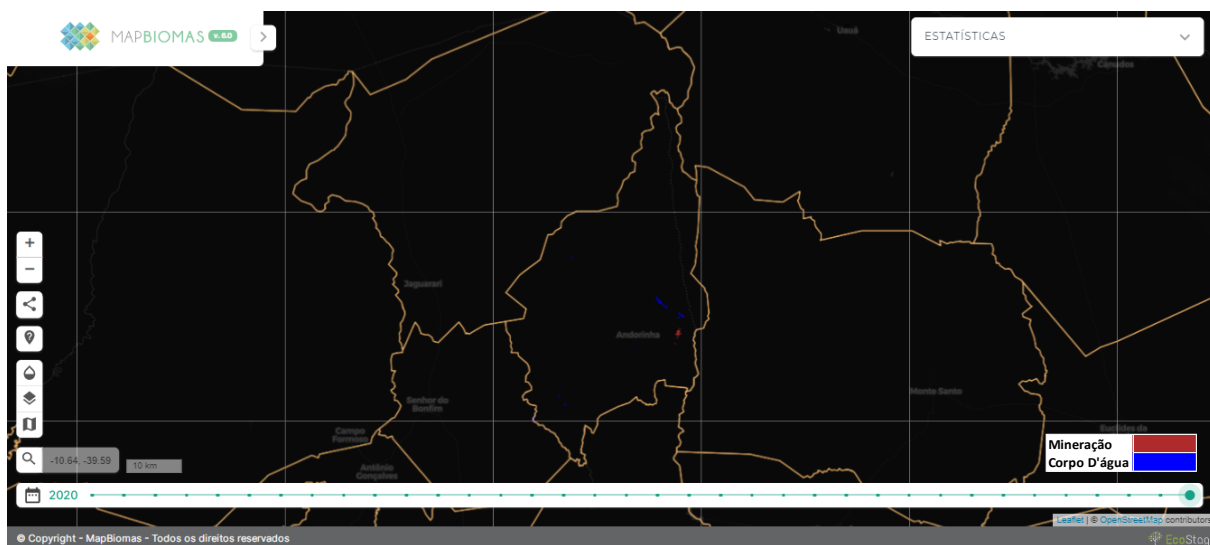
As feições da mineração de Ferro não são facilmente identificáveis na imagem de satélite por conter muitas nuvens no mosaico de imagens Planet de 2021 apresentado pela plataforma Mapbiomas.

Figura 96 – Ferbasa, Andorinha/BA (2020)



A Ferbasa dispõe de duas minas em municípios próximos, para extração de minério de Ferro. Para as análises deste estudo foi utilizada apenas a mina de Ipueira localizada em Andorinha/BA, também se trata de uma mina antiga, mas que possui menor área superficial. A mina possui método de lavra híbrido, iniciou a extração pelo método a céu aberto e migrou para lavra subterrânea posteriormente. No município de Andorinha a plataforma identificou apenas a extração na mina Ipueira.

Figura 97 – Mineração em Andorinha/BA (2020)



O avanço da mineração ao longo dos últimos 36 anos é mostrado nas classificações obtidas através da plataforma nas imagens a seguir (Figura 98 a Figura

105). A classificação será mostrada sobreposta no mapa base mosaico de alta resolução com imagens Planet referente ao ano de 2021.

Figura 98 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1985)

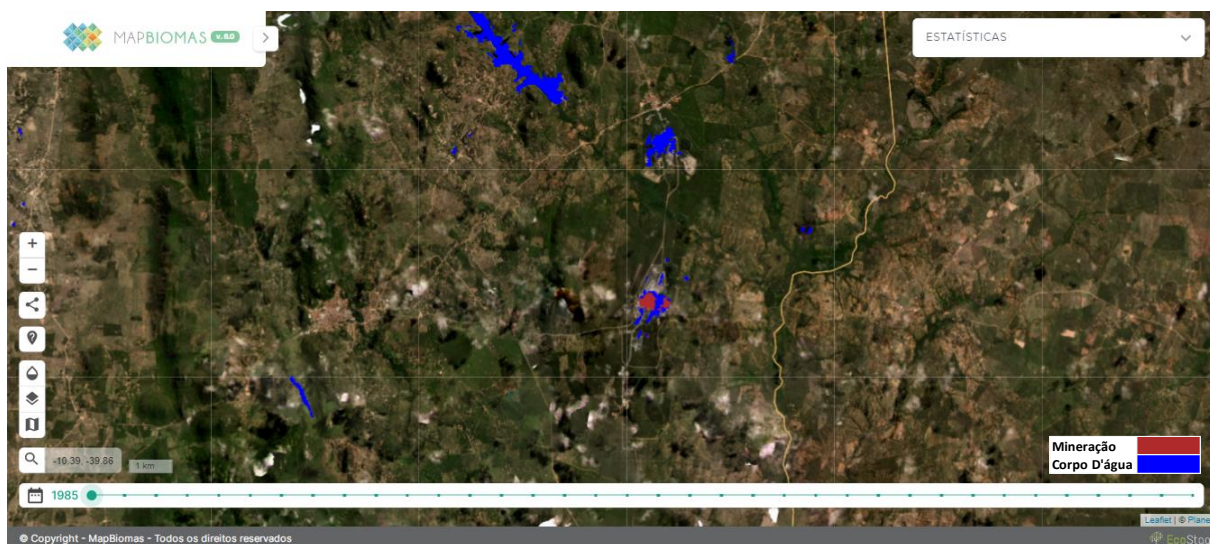


Figura 99 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1990)

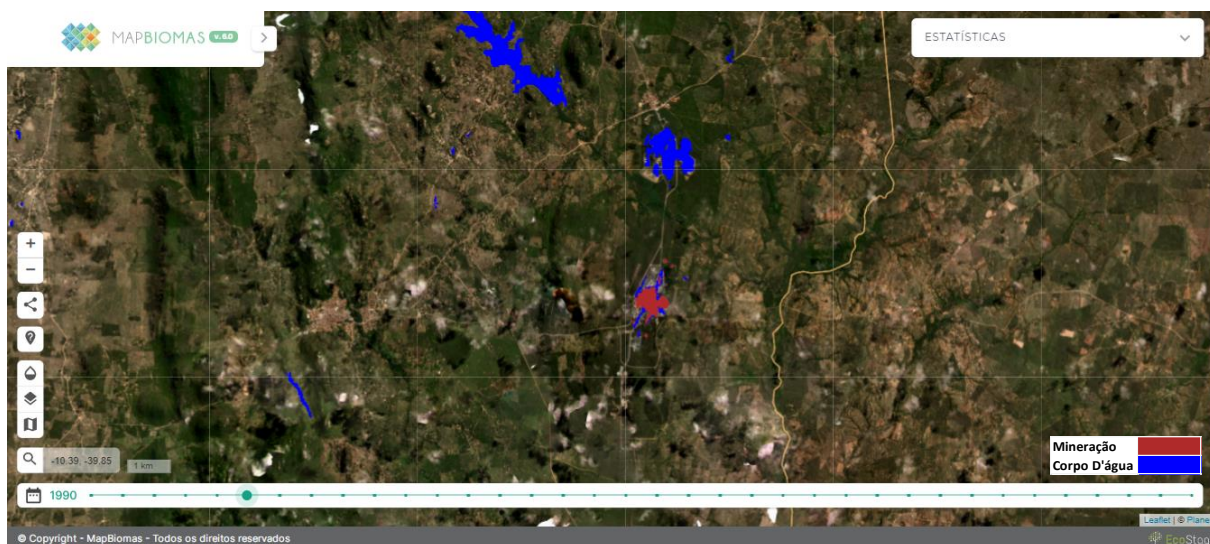


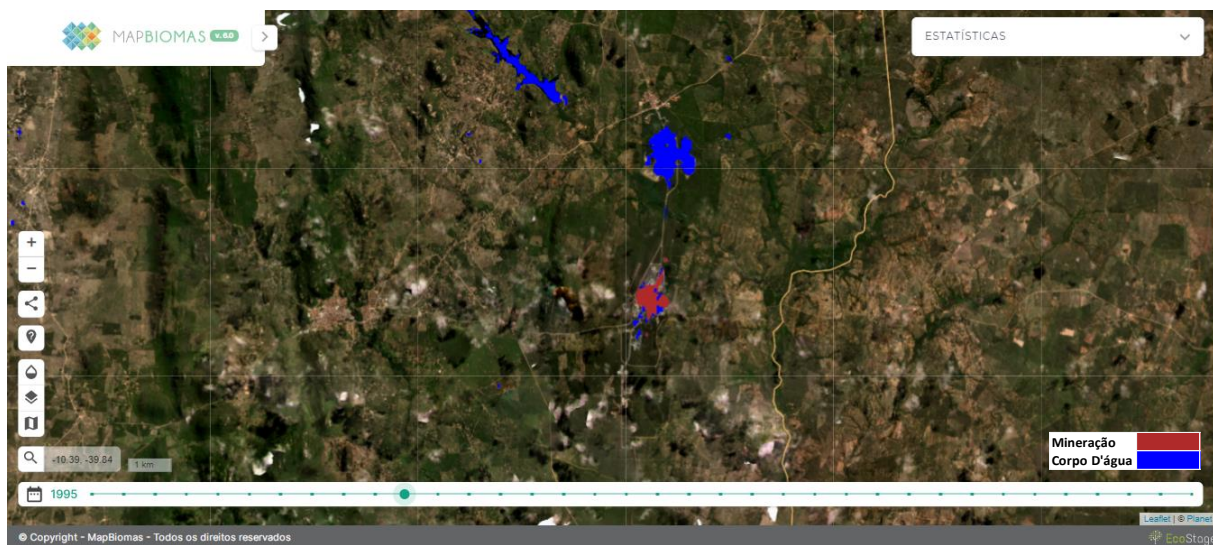
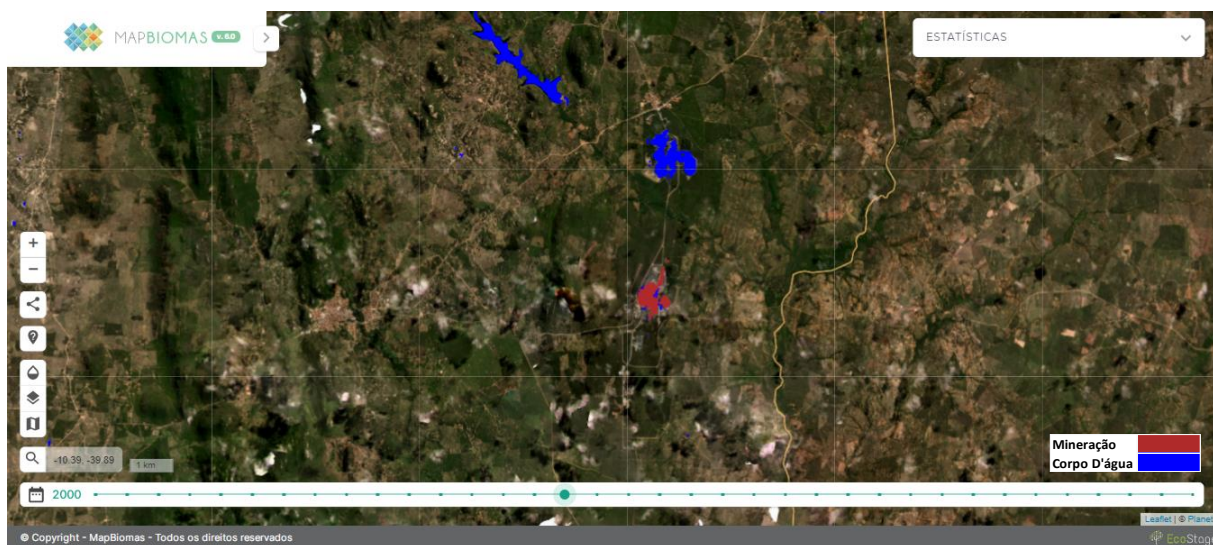
Figura 100 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1995)**Figura 101 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2000)**

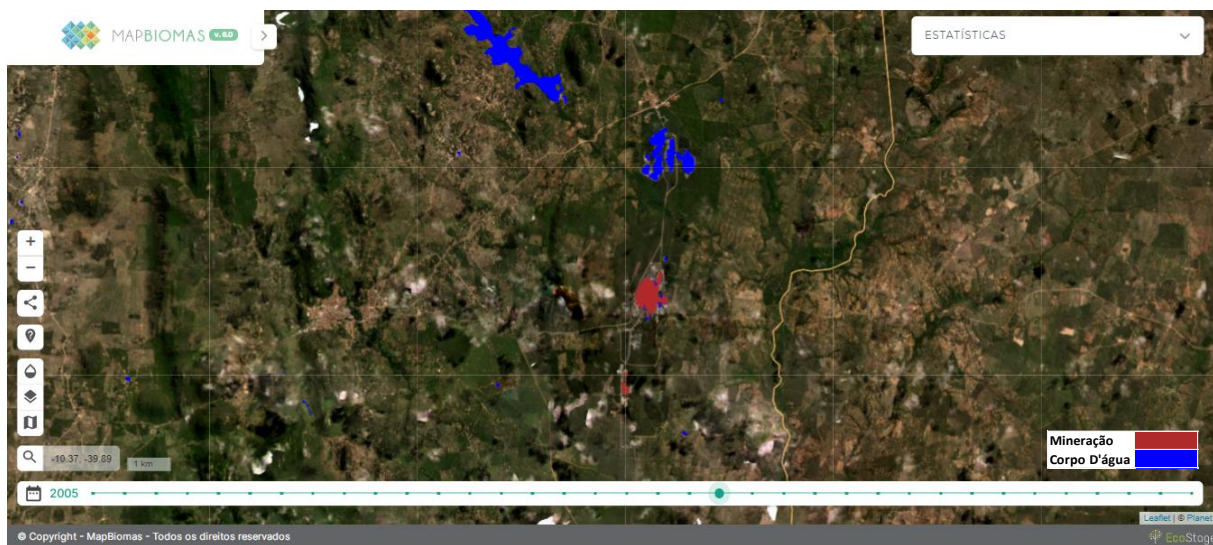
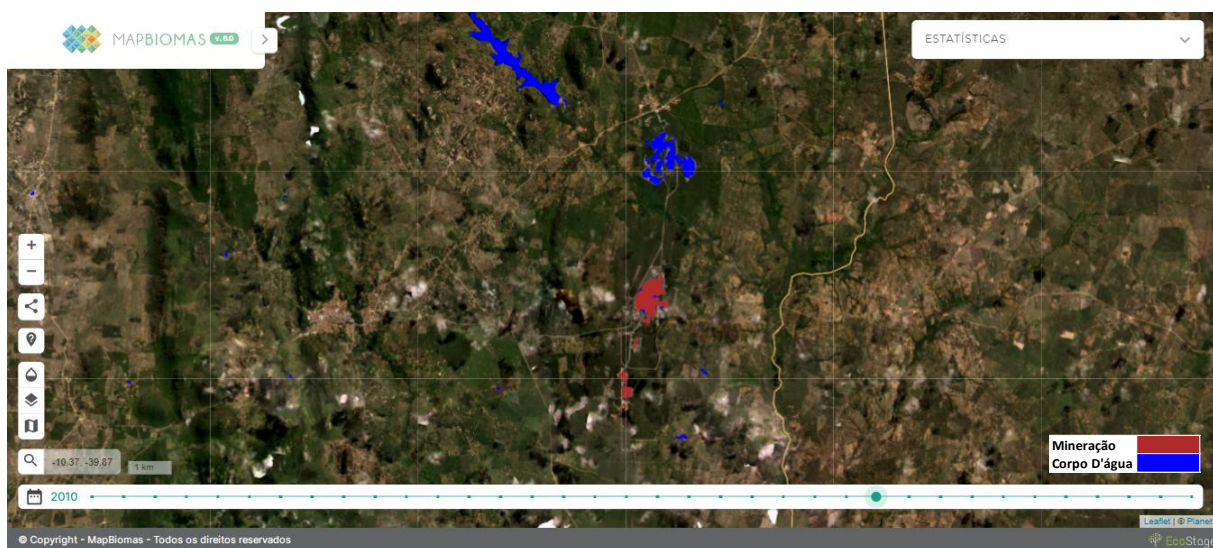
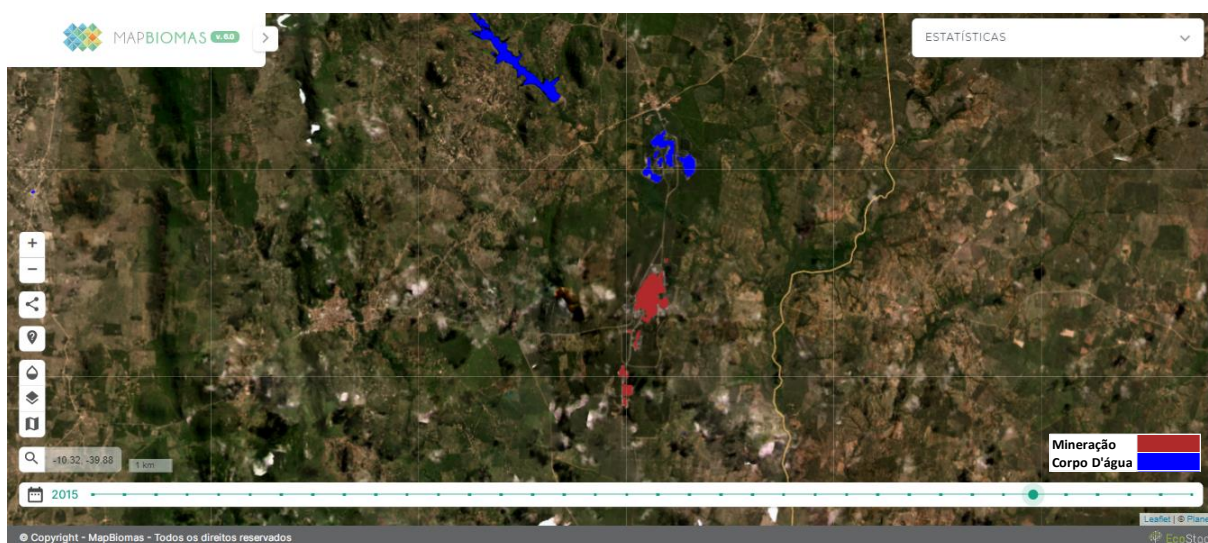
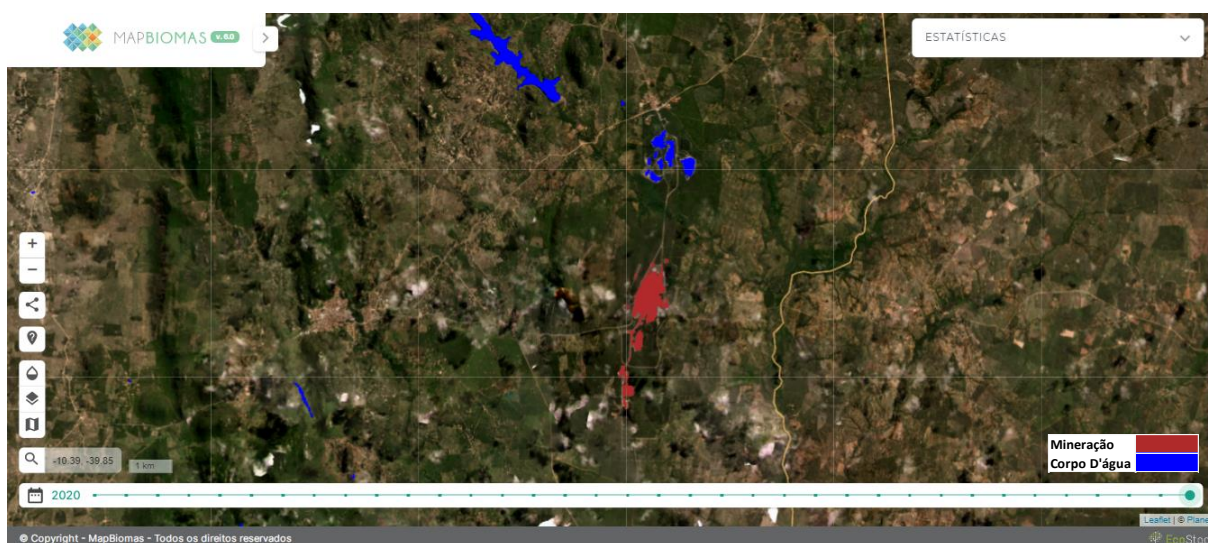
Figura 102 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2005)**Figura 103 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2010)**

Figura 104 – Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2015)**Figura 105 – Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2020)**

Para facilitar a visualização do avanço da área de operação da Ferbasa ao longo da série histórica analisada, a utilização da classificação com mapa base de fundo escuro auxilia na percepção das classes identificadas nas áreas que contém ações de extração mineral (Figura 106 e Figura 113).

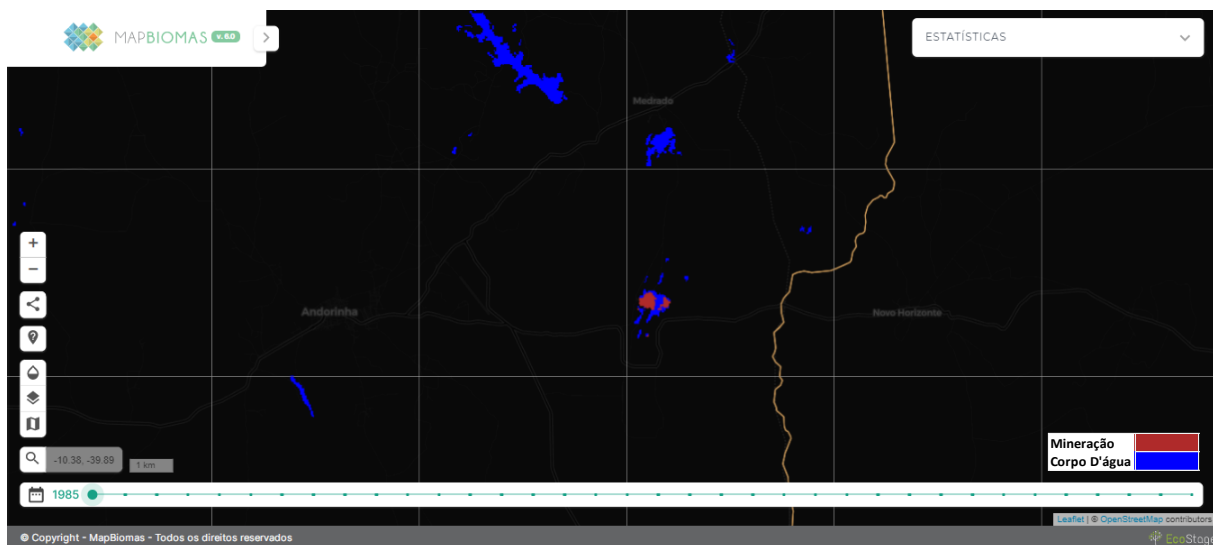
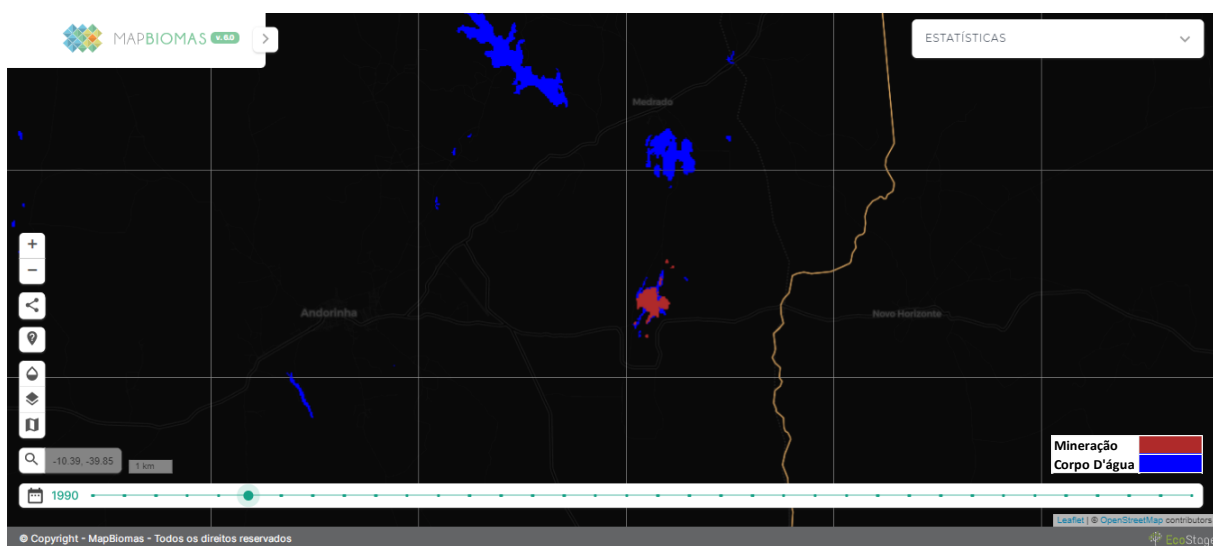
Figura 106 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1985)**Figura 107 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1990)**

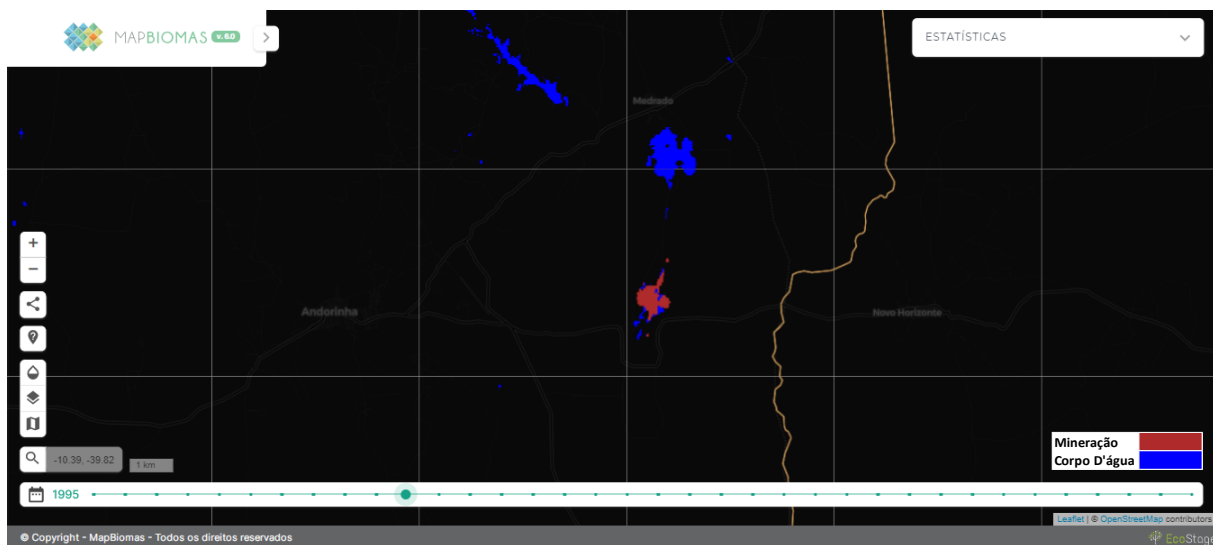
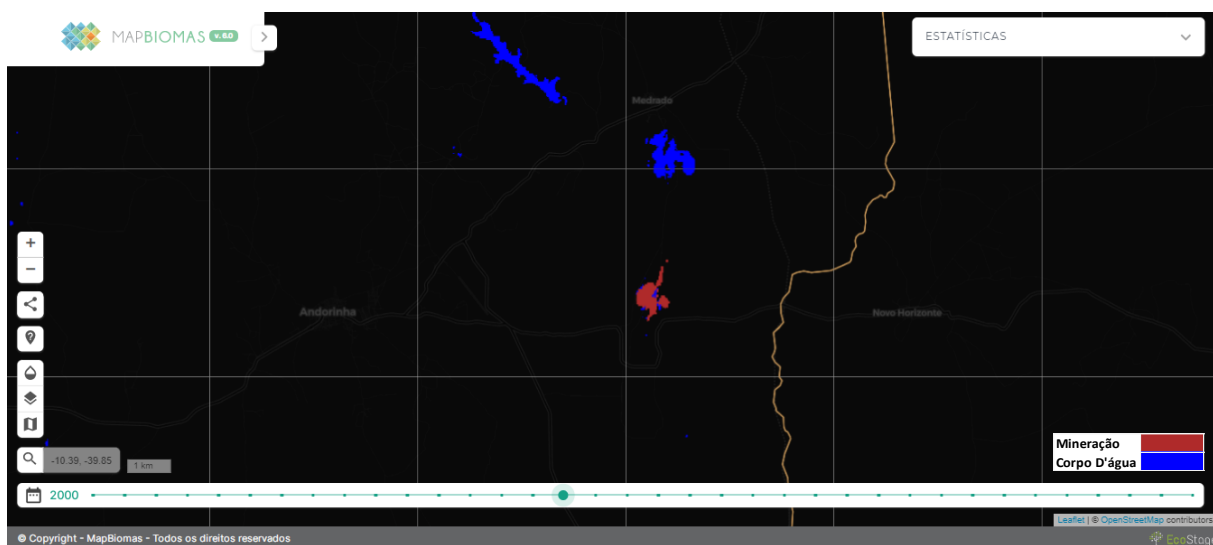
Figura 108 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (1995)**Figura 109 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2000)**

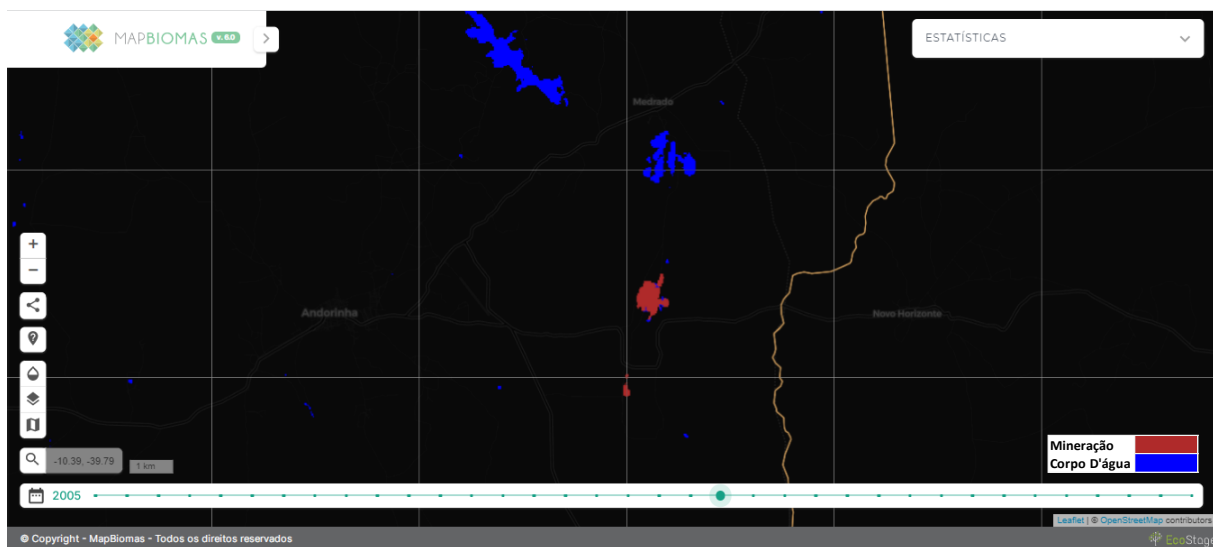
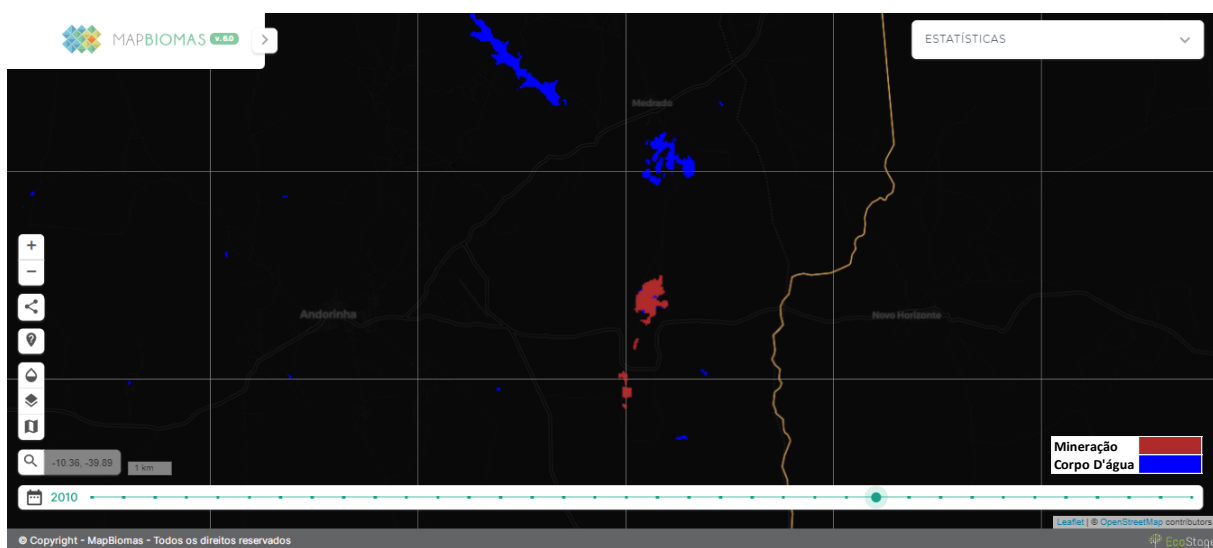
Figura 110 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2005)**Figura 111 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2010)**

Figura 112 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2015)

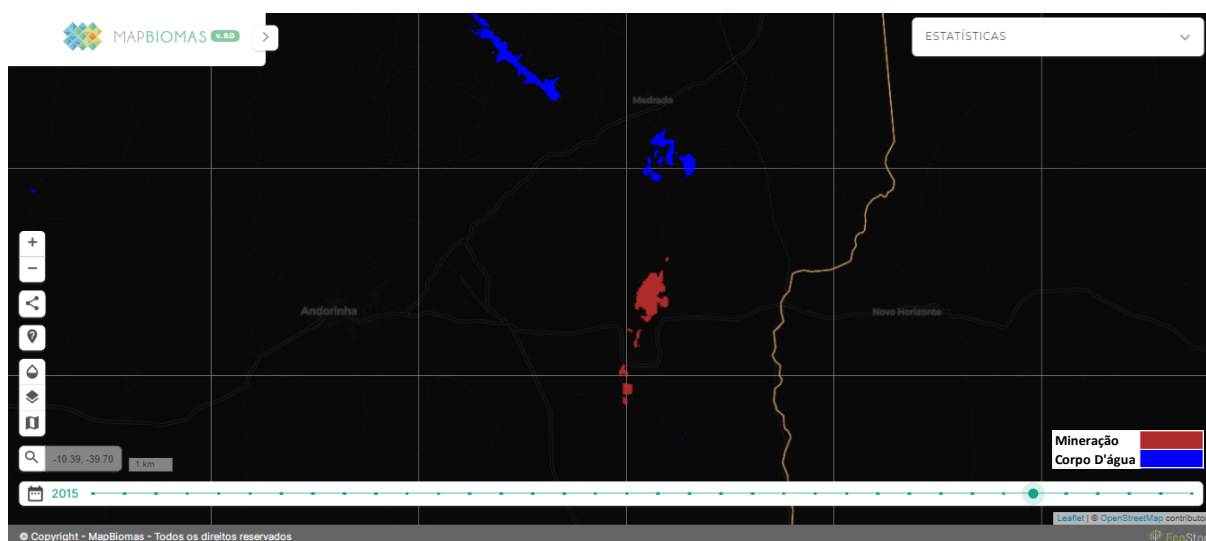
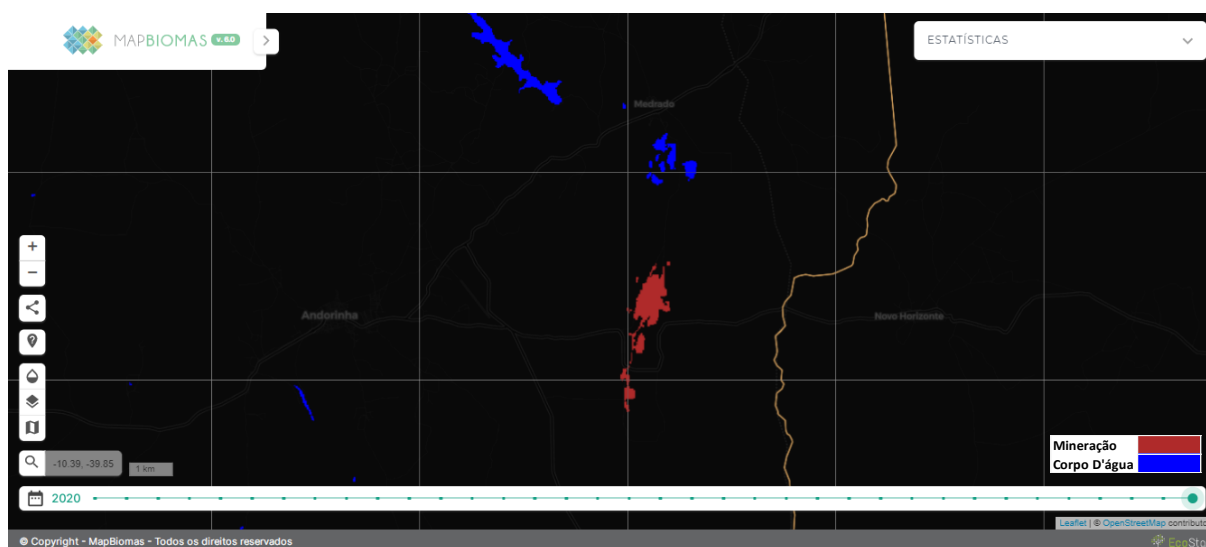


Figura 113 - Mina de Ferro da Ferbasa, Andorinha (2020)



Na classificação apresentada pelo Mapbiomas algumas áreas mineradas são identificadas como alvos água. Isso pode ocorrer em bacias/barragens de rejeito e em cavas. É comum o acúmulo de parte da água utilizada no processo de beneficiamento do minério em barragens/bacias de contenção de rejeitos. A depender da época do ano, pode ocorrer também acúmulo de água de chuva nas barragens e no fundo da cava. É possível também que seja um erro de classificação da plataforma, uma vez que a porção superior da mina foi classificada como corpo d'água durante todos os anos analisados para a empresa.

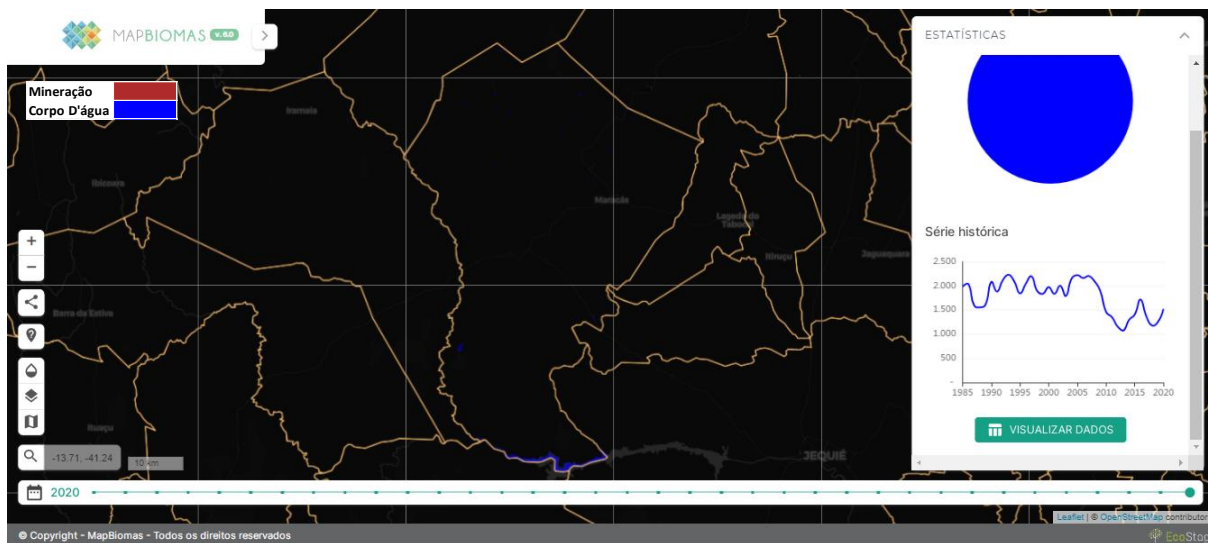
As edificações e estruturas de construção civil da mineração, onde funcionam as áreas administrativas, foram identificadas na classificação do Mapbiomas como a classe “área urbanizada”. Para melhor visualização nos mapas, essa classe foi suprimida por possuir cor próxima com a cor utilizada na legenda para a classe “mineração”, podendo assim ser confundida com a área de investigação deste trabalho.

Nas Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas nos municípios de Andorinha/BA ao longo da série temporal analisada. Na estatística apresentada para cálculo de áreas com mineração, as regiões identificadas como “água” e “área urbanizada” não foram contabilizadas

3.3.2. Largo Resources – Maracás

A mina de Maracás iniciou sua implantação em 2014 e exploração em 2017, o empreendimento vem expandindo sua produção e ativos ao longo desses 7 anos, apesar disso, não há registros de atividade de mineração apresentada pelo classificador do Mapbiomas, em nenhum dos anos na série histórica analisada.

Figura 114 – Mineração no município de Maracás/BA



Porém inserindo as coordenadas geográficas diretamente na plataforma Mapbiomas é possível identificar visualmente as feições da extração de Vanádio no município de Maracás/BA. Na Figura 115 são visíveis as cavas, local de disposição de rejeitos, acessos, instalações administrativas, unidade de beneficiamento etc.

Figura 115 – Largo Resources, Maracás/BA (2020)

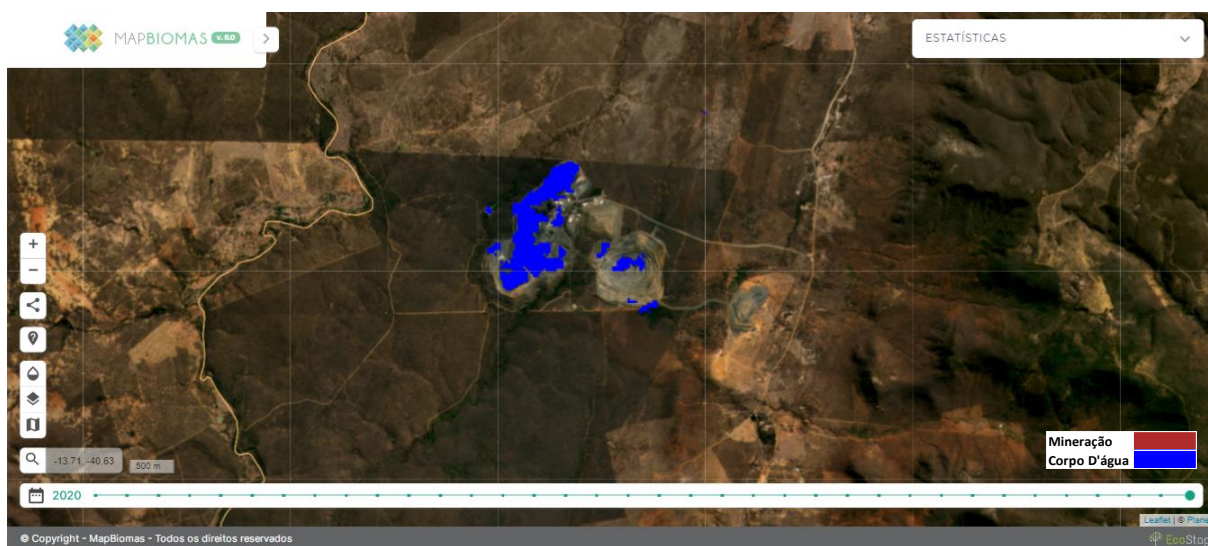


Ao observar a classificação trazida pela plataforma, nota-se que existe uma incompatibilidade com a classificação.

Figura 116 – Mina de Vanádio em Maracás (2015)



Figura 117 – Mina de Vanádio em Maracás (2020)



A identificação trazida pelo Mapbiomas demonstra apenas a presença de água. Apesar de ser comum o acúmulo de água de chuva e água de processo no fundo de barragens/bacias de contenção de rejeitos e de cavas, levantou-se a hipótese de erro no classificador para análise da região. Para avaliar se o problema na visualização estava na classificação, ou se estava relacionado a revegetação natural, foi realizada classificação na plataforma, para identificação de outras classes não vegetadas (Figura 118 e Figura 119).

Figura 118 - Mina de Vanádio em Maracás (2015)

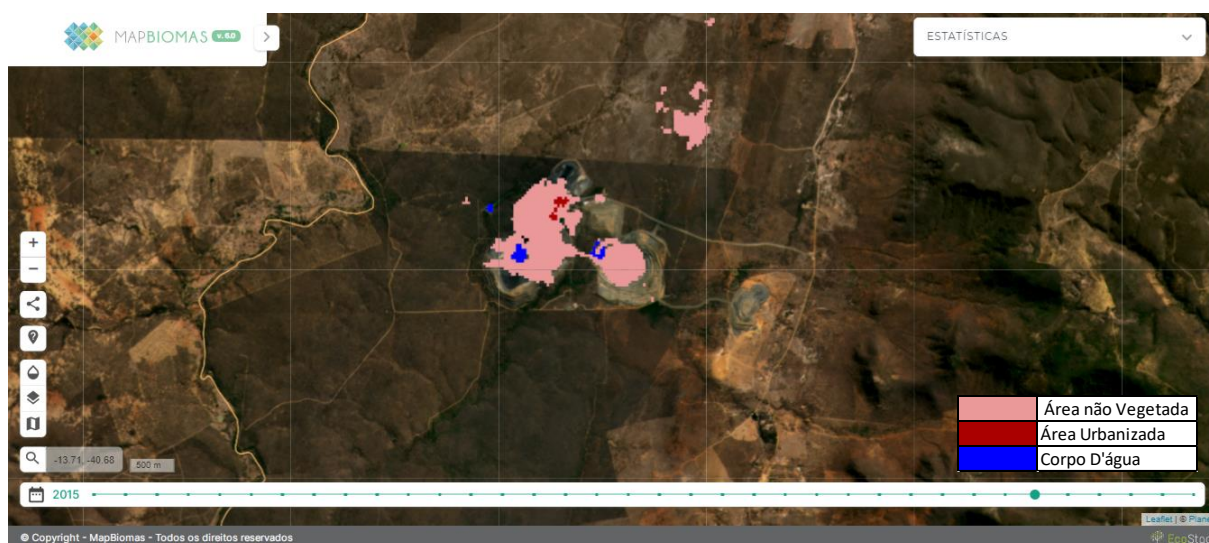
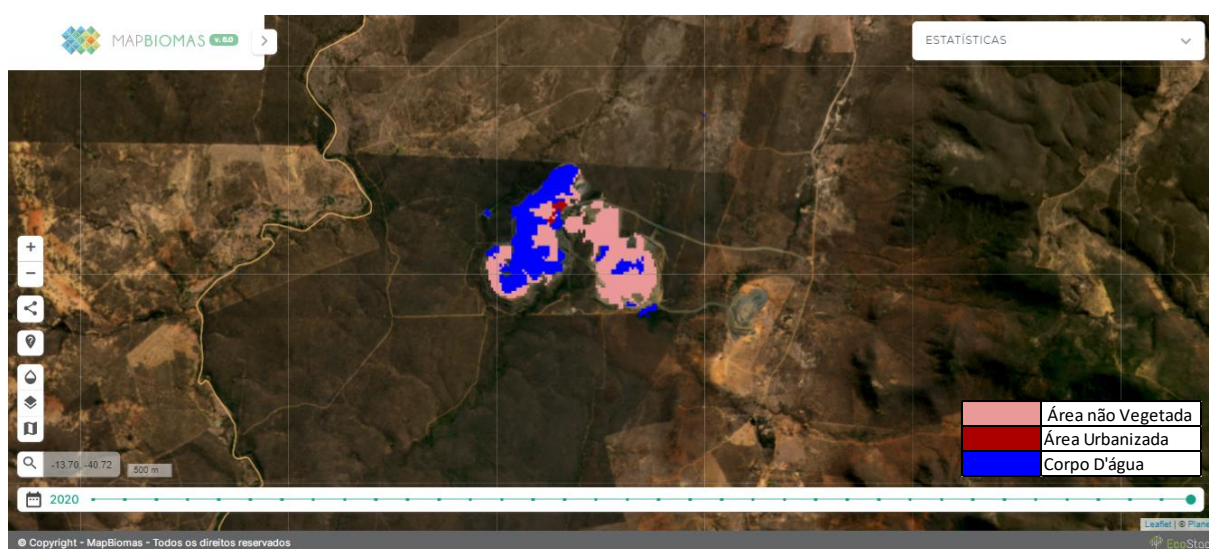


Figura 119 – Mina de Vanádio em Maracás (2020)



As edificações e estruturas de construção civil da mineração, onde funcionam as áreas administrativas, foram identificadas na classificação do Mapbiomas como a classe “área urbanizada” (cor da legenda na plataforma é muito parecida com a da classe mineração). E as demais feições como: cavas e bacias de rejeito foram identificadas como “corpo d’água” e “área não vegetada”. Nas Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 4 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas nos municípios de Maracás/BA ao longo da série temporal analisada.

3.3.3. BAMIN – Bahia Mineração

A mina de Ferro da Bahia Mineração iniciou sua exploração comercial em janeiro de 2021, a empresa pretende ampliar sua capacidade de produção em cinco anos. Ainda muito discreta a intervenção na superfície, não há registros de atividade de mineração apresentada pelo classificador do Mapbiomas na área de localização da BAMIN.

Figura 120 – BAMIN, Caetité/BA (2020)

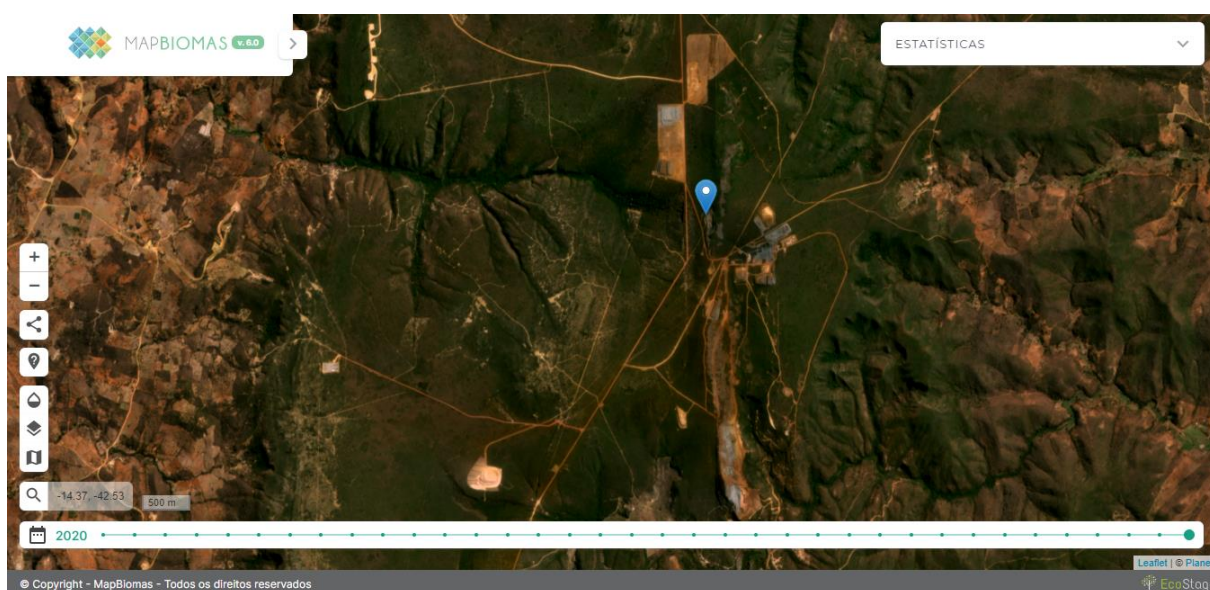
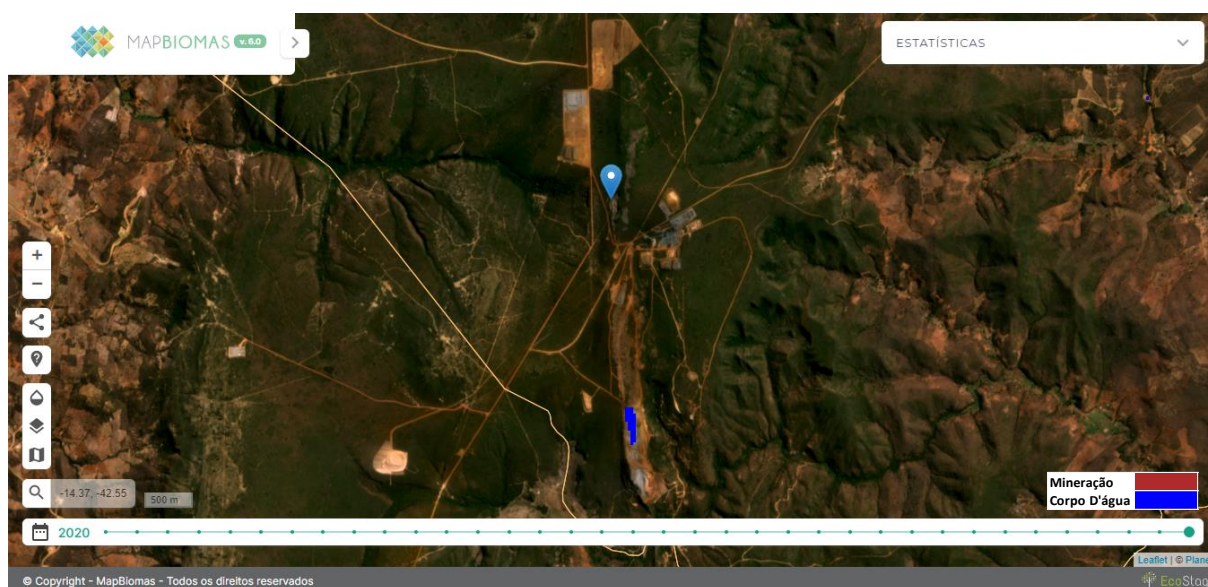


Figura 121 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2020)



Apesar de não ser classificada como mineração, inserindo as coordenadas geográficas diretamente na plataforma Mapbiomas é possível identificar visualmente as feições da mineração de Ferro no município de Caetité/BA. Ao observar a

classificação trazida pela plataforma, nota-se que existe uma incompatibilidade com o visualizado, identificando apenas a presença de água, quando utilizada apenas duas classes (“corpo d’água” e “mineração”). Levantou a hipótese de que poderia haver um erro no classificador para análise da região.

Para confirmar se o problema na visualização estava no classificador, foi realizada classificação na plataforma para identificação de “outras classes não vegetadas”. A nova classificação é mostrada nas Figura 122 e Figura 123.

Figura 122 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2015)

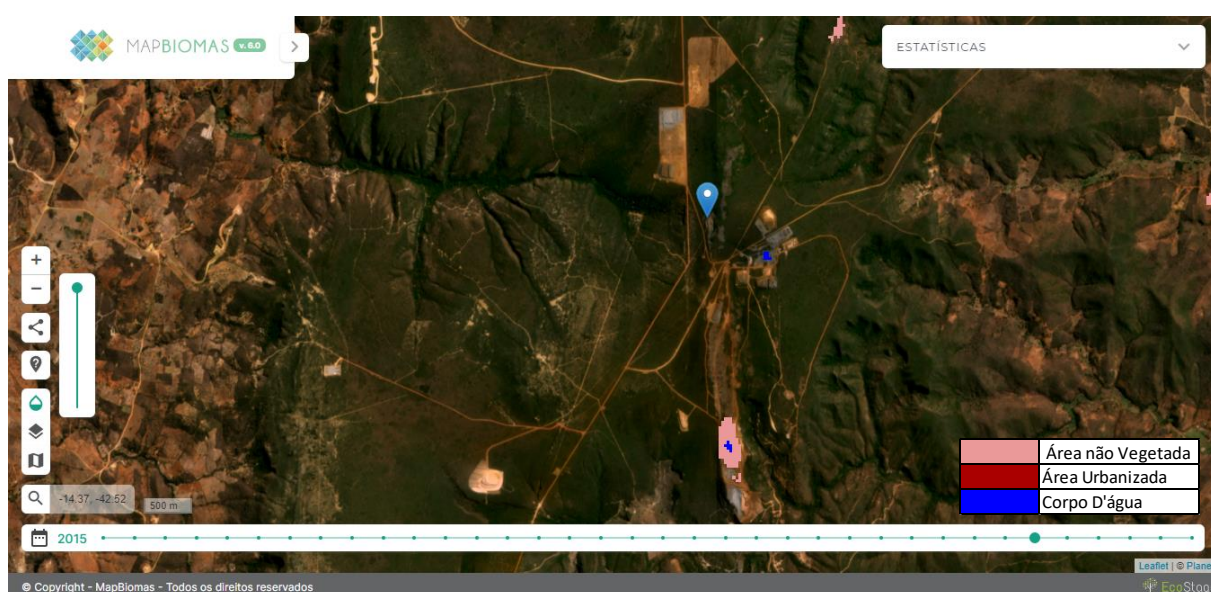
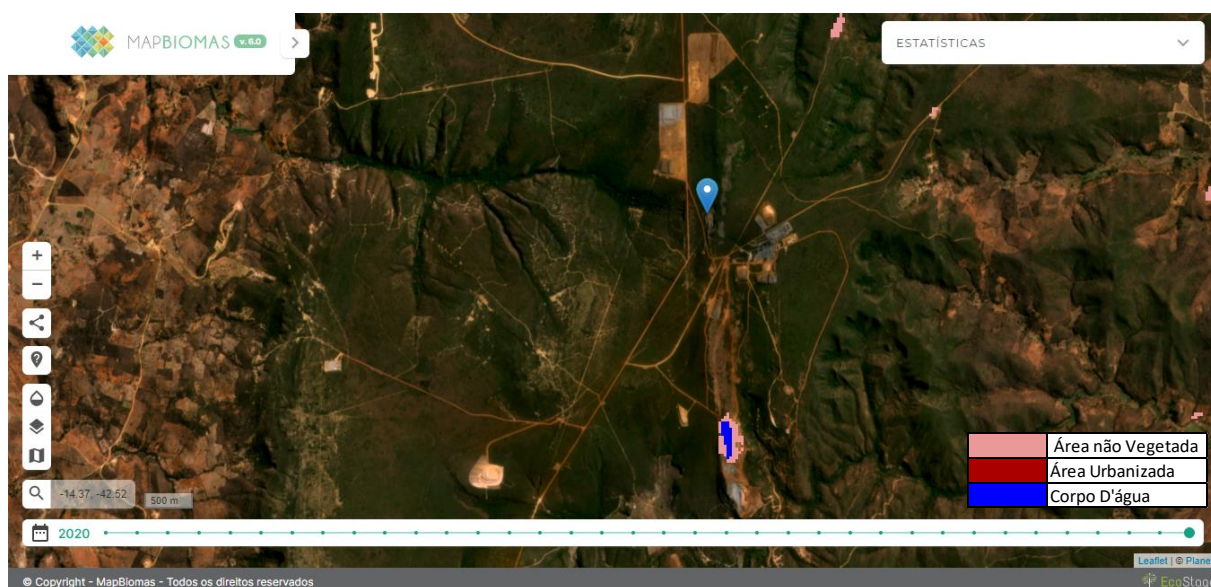


Figura 123 - Mina de Ferro em Caetité, BAMIN (2020)



A cor da legenda da classe “mineração” é muito parecida com a da classe “área urbanizada” (na plataforma). As feições onde há movimentação de terra foram identificadas como “corpo d’água” e “área não vegetada”.

Na Figura 124 é possível notar a presença de outra extração mineral classificada a nordeste do município. Se trata da mina de urânio da INB – Indústrias Nucleares do Brasil, que é a única mina de urânio em atividade atualmente no país. Ela explorou o minério pelo método a céu aberto entre 2000 a 2015 e está iniciando a operação na mina subterrânea (INB, 2021).

Figura 124 – Município de Caetité/BA

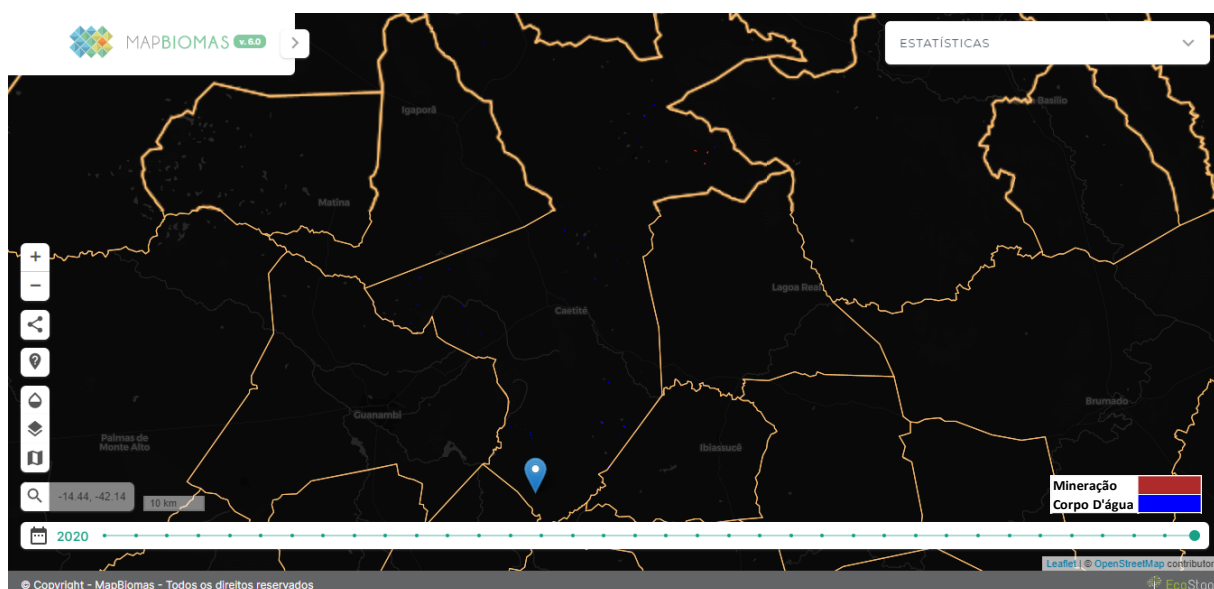


Figura 125 – Mina de Urânio em Caetité/BA, INB (2020)

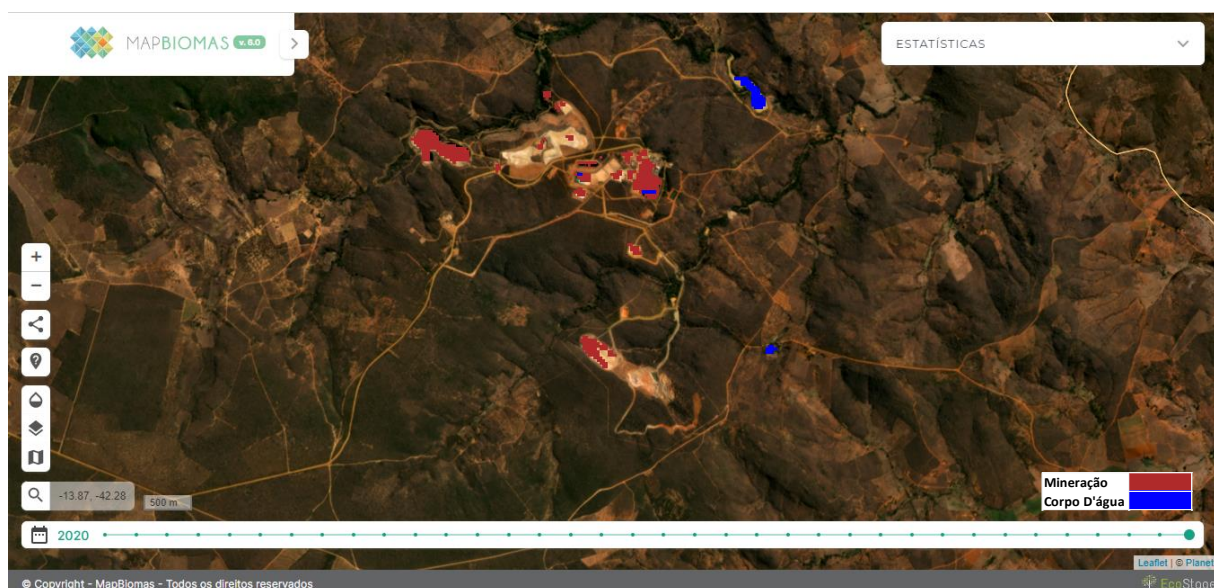
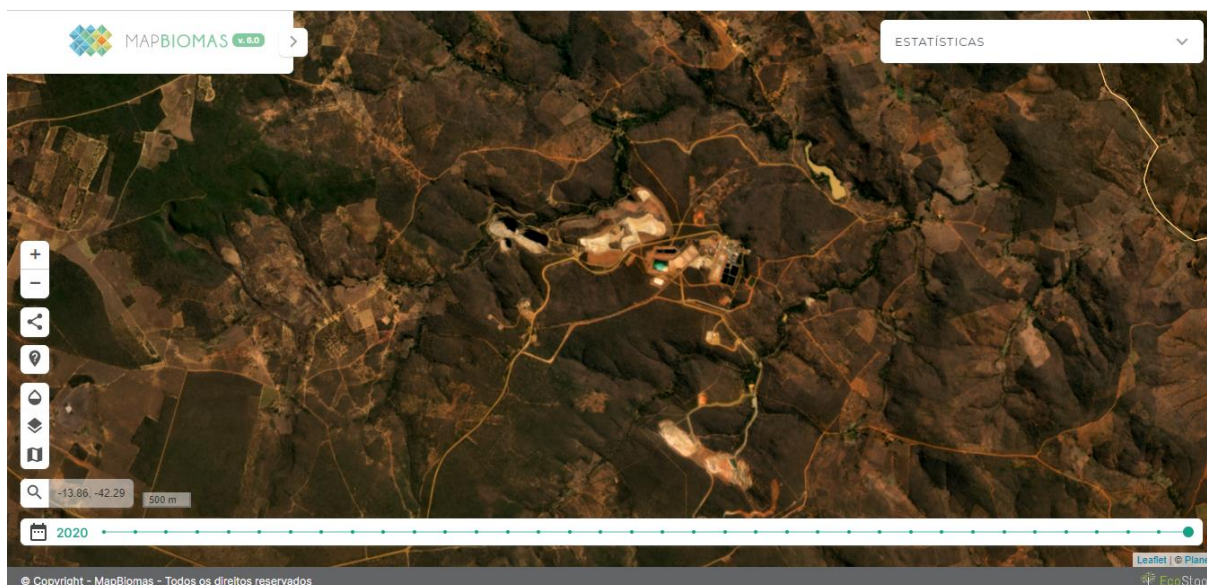


Figura 126 - Mina de Urânio em Caetité/BA, INB (2020)

A BAMIN planeja para os próximos cinco anos expandir a estrutura de mina, planta de beneficiamento e barragem, tempo em que a logística via FIOLE e Porto Sul se concretizam. É possível que a pós este período a classificação consiga identificar a mina de Ferro e a infraestrutura planejada.

Nas Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pela plataforma Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas nos municípios de Caetité/BA ao longo da série temporal analisada. A classe mineração apresentada na tabela se trata dos dados encontrados sobre a INB, como o foco desta sessão é avaliar e comparar o comportamento da mineração de Ferro no Estado da Bahia, não vão ser continuadas as análises em Caetité uma vez que os dados apresentados representam apenas a extração de urânio no município.

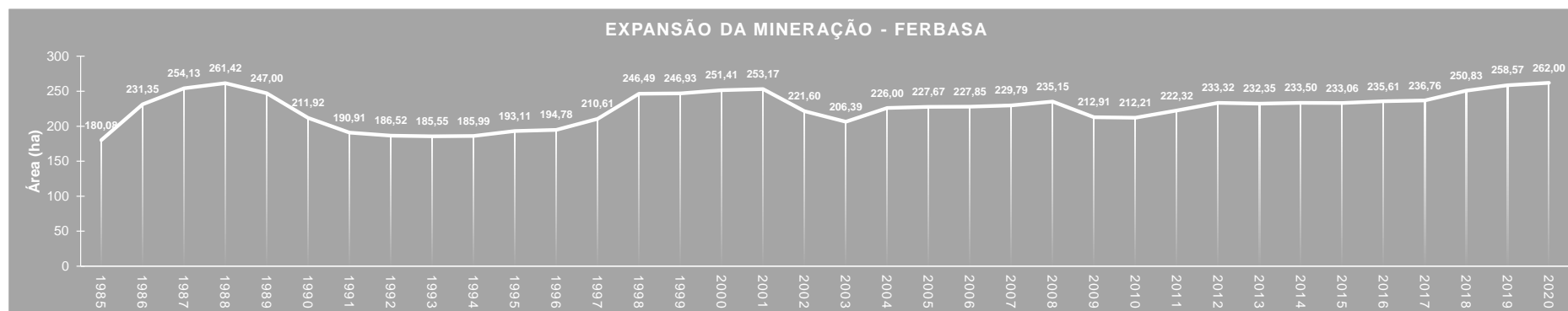
3.3.4. Taxa de expansão da mineração de Ferro

A produção do minério de ferro é influenciada diretamente pelo desenvolvimento de nações e por conflitos políticos. A demanda por aço, produto confeccionado com o minério de ferro, em países emergentes como a China movimentou o mercado de exportação deste metal. O baixo valor de comercialização, quando comparados a outros metais como o ouro por exemplo, traz a necessidade de maiores explorações com cavas maiores e maior volume movimentado para se obter uma lucratividade atraente.

Não foram realizadas análises estatísticas dos dados de expansão mineral para a mina de Vanádio em Maracás e a mina da BAMIN em Caetité, ambas na Bahia, pois não houve identificação da atividade minerária para esses empreendimentos classificados na plataforma.

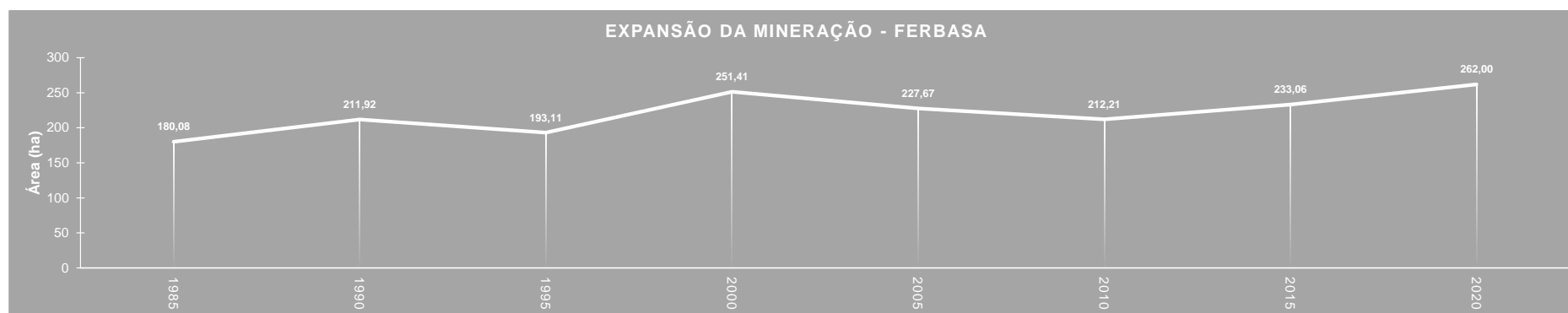
Na Figura 127 é mostrado os valores de expansão, em área, que a Mineração Ferbasa (em Andorinha/BA) apresenta ao longo dos 36 anos de análise. Além da análise de expansão anual, na Figura 128 é mostrada a expansão da área minerada na extração de Ferro em intervalos de 5 em 5 anos entre o período de 1985 a 2020.

Figura 127 - Expansão da Ferbasa de 1985 a 2020



O gráfico mostra que a empresa possui uma trajetória estável, sem registros de fechamento. Algumas quedas são registradas em virtude do preço de venda do minério comercializado no mercado. O aumento de demanda por minério de Ferro causado pela China trouxe maior valoração para o metal nos últimos anos, o que alavancou a produção desse ativo. Por ser uma mina de ferro que extrai cromita pelo método de lavra subterrânea, não havendo a presença da cava, a área de interferência na superfície é menor, quando comparada a uma mina com a mesma idade e capacidade de produção que extrai pelo método a céu aberto.

Figura 128 - Expansão da Ferbasa em intervalos de 5 anos



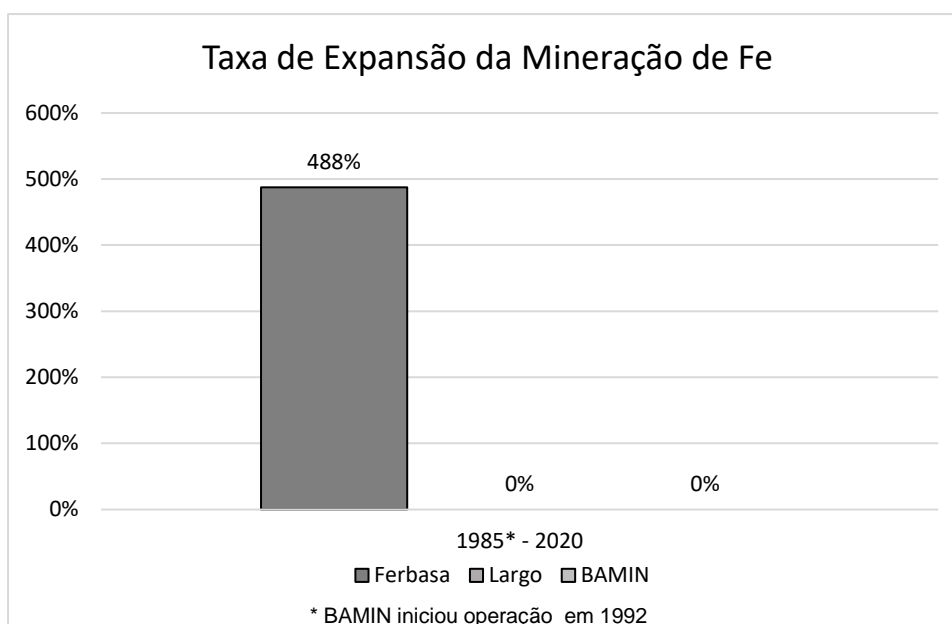
Na superfície, bem como na imagem de satélite será possível observar apenas a disposição de rejeitos, que a depender do teor do minério explorado pode ter um volume muito pequeno, as instalações administrativas, os acessos, armazenamento e tratamento de água, e unidade de beneficiamento. Não há influência sobre o beneficiamento pois na Ferbasa o tratamento do minério é realizado na cidade de Pojuca/BA, distante 460 km da localização onde é realizada a lavra. A discreta variação de expansão da Ferbasa ao longo dos anos pode ser um uma característica do método de lavra utilizado.

Considerando o avanço da área operacional nas minerações de Ferro investigadas em Andorinha/BA no período de 1985 a 2020, foram calculadas as taxas de variação percentual da expansão da área minerada pela FERBASA no intervalo temporal de 36 anos. A taxa de expansão da mineração foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Taxa de expansão} = \frac{\text{área final} - \text{área inicial}}{\text{área inicial}} \times 100$$

A taxa de expansão é mostrada na Figura 129, e leva em consideração o crescimento percentual da área de extração de Ferro entre os anos de 1985 até 2020 para Ferbasa. Não há registro para a Largo Resources em Maracás/BA e para a BAMIN em Caetité/BA.

Figura 129 – Taxa de Expansão da Mineração de ferro na Bahia



3.4. MAGNESITA E TALCO

3.4.1. Xilolite, RHI Magnesita, Imi Fabi, IBAR

A área avaliada para a extração de Magnesita e Talco fica localizada na Serra das Éguas no município de Brumado/BA. A região abriga um complexo com várias minas que extraem magnesita e talco pertencentes a 4 empresas diferentes com operações são confrontantes: Xilolite (talco e magnesita), RHI Magnesita (magnesita), Imi Fabi (talco) e Ibar (magnesita).

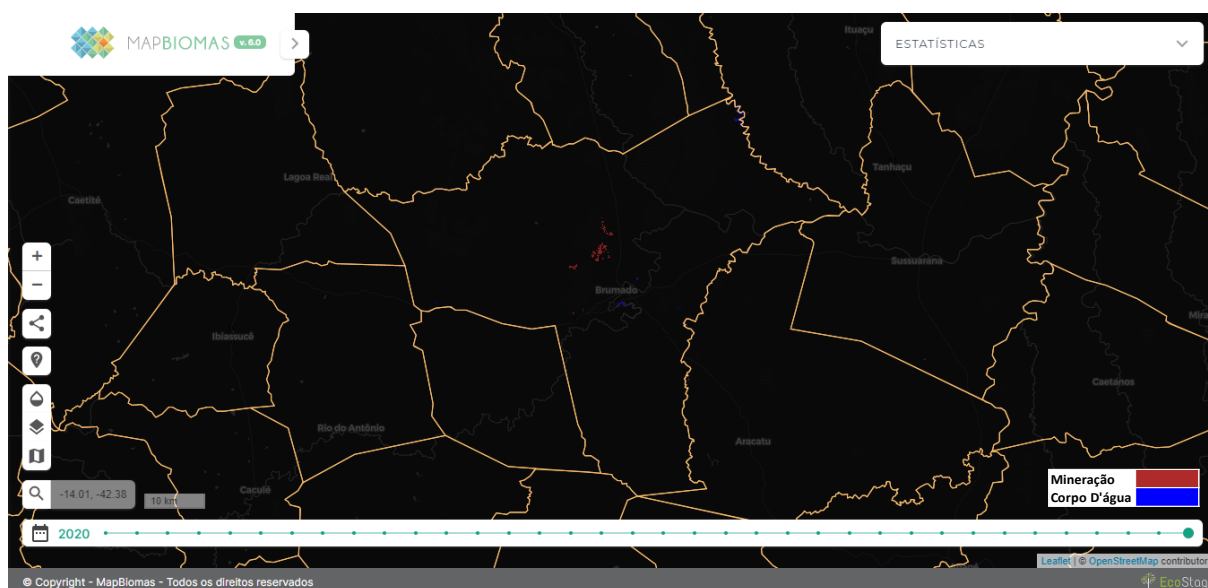
Figura 130 – Minas de Magnesita e Talco, Brumado/BA (2020)



Para demonstrar toda a área ocupada extração de minério de talco e magnesita realizada pelas empresas: RHI MAGNESITA, XILOLITE, IMI FABI, e IBAR foi necessário ajustar a escala no mapa, assim a visualização e análises não seriam comprometidas.

Em Brumado o Mapbiomas identifica apenas a extração mineral na região da Serra das Éguas.

Figura 131 – Mineração no município de Brumado/BA



Para análise estatística da área ocupada pela mineração de magnesita e talco, foram utilizadas as classificações de acordo ao recorte aplicado na plataforma. Seguindo a mesma metodologia para todos os alvos, o recorte territorial utilizado será o município onde a mina está localizada. Por apresentar vários empreendimentos confrontantes no mesmo recorte territorial cujo extraem o mesmo bem mineral, os valores para área de ocupação, bem como a taxa de expansão, representarão a realidade dos empreendimentos mineiros que extraem a magnesita e o talco. Não sendo possível a dissociação dos dados de cada mina a partir da utilização desta metodologia.

O avanço da mineração ao longo dos últimos 36 anos é mostrado nas classificações obtidas através da plataforma nas imagens a seguir (Figura 132 e Figura 139). As classificações são sobrepostas ao mapa base de alta resolução: mosaico com imagens Planet de 2021.

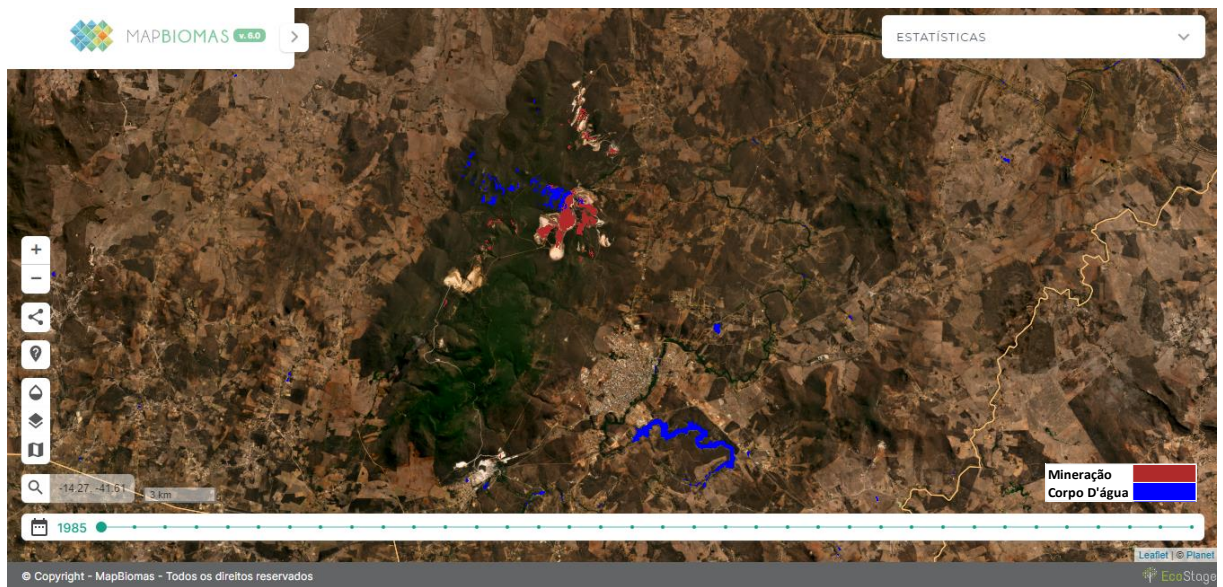
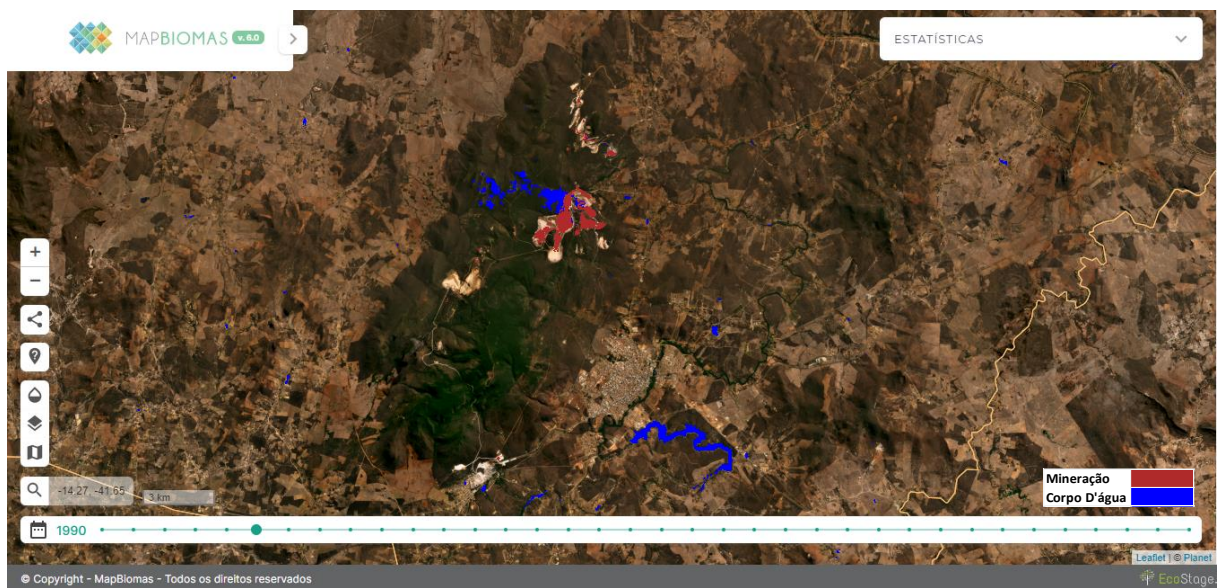
Figura 132 – Extração de Magnesita e Talco (1985)**Figura 133 - Extração de Magnesita e Talco (1990)**

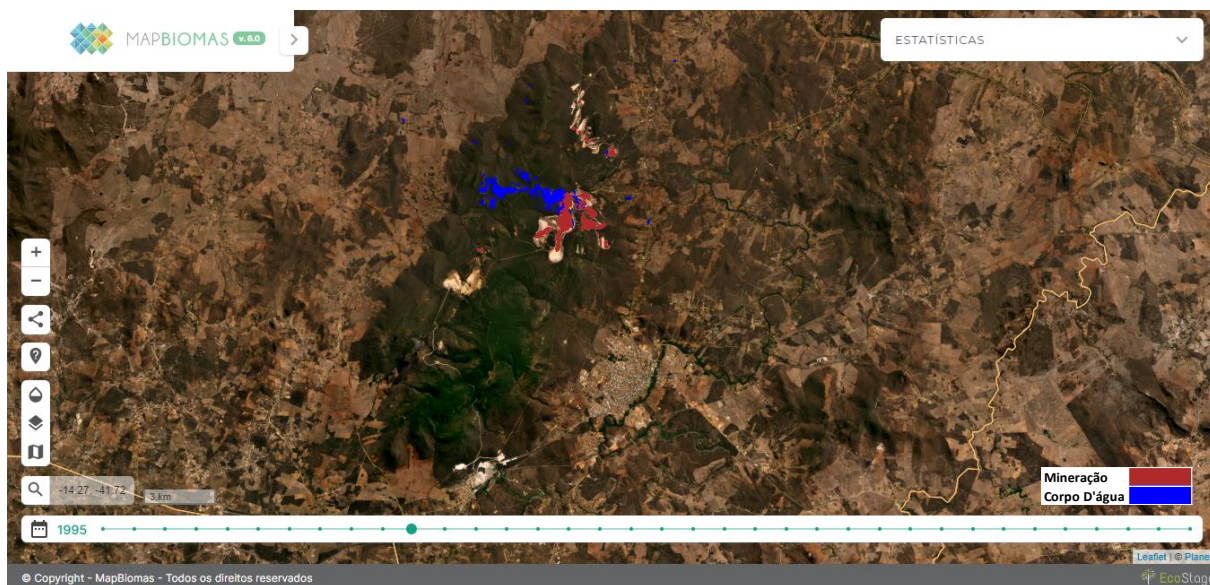
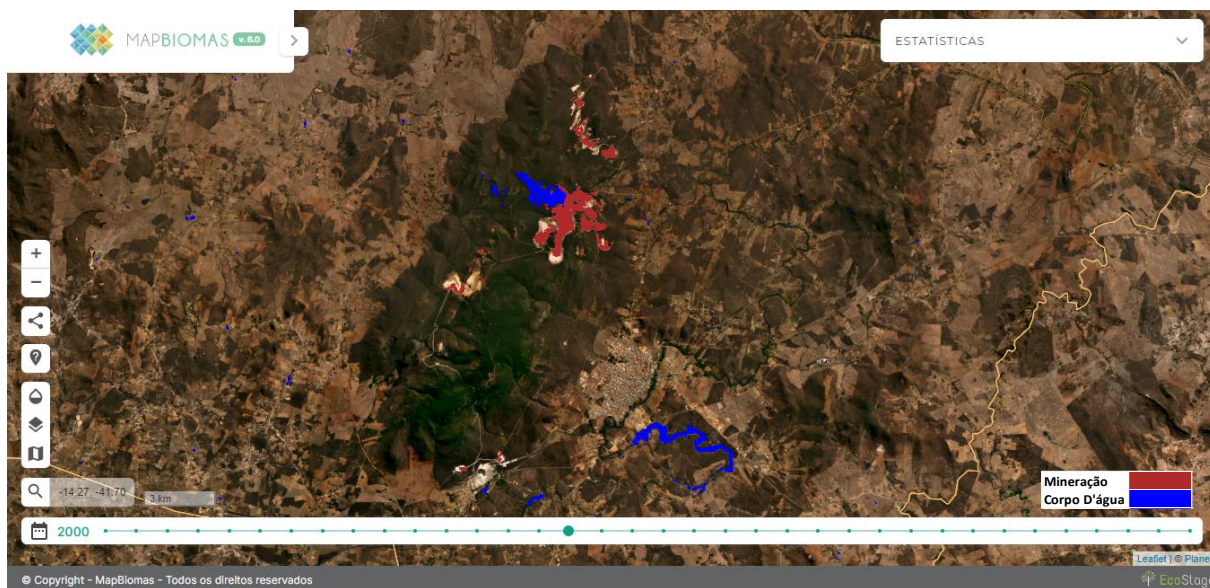
Figura 134 - Extração de Magnesita e Talco (1995)**Figura 135 - Extração de Magnesita e Talco (2000)**

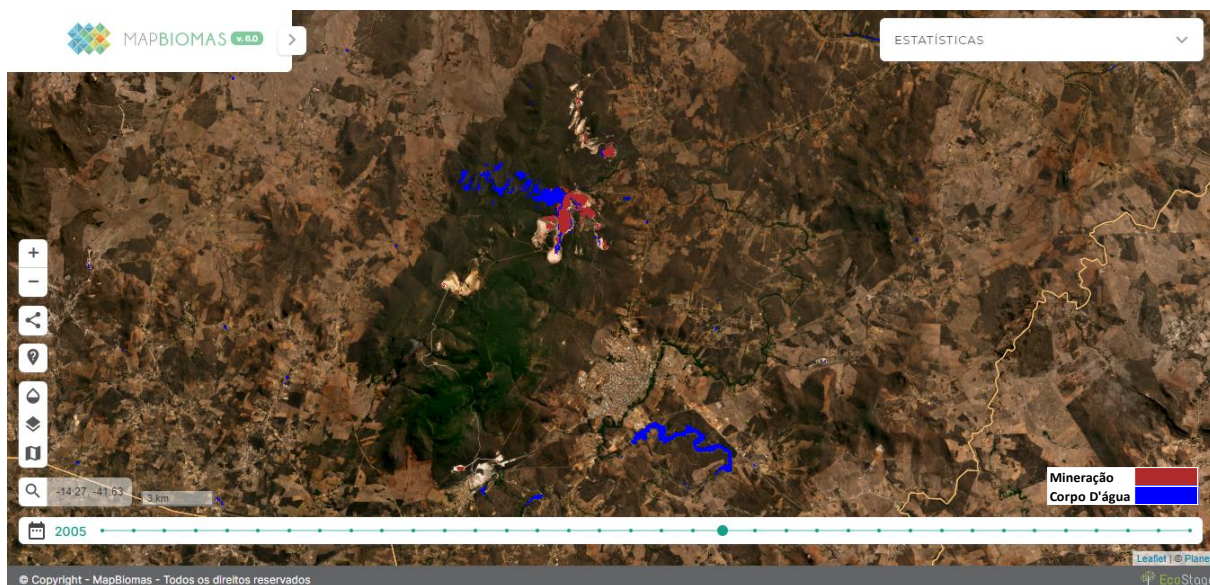
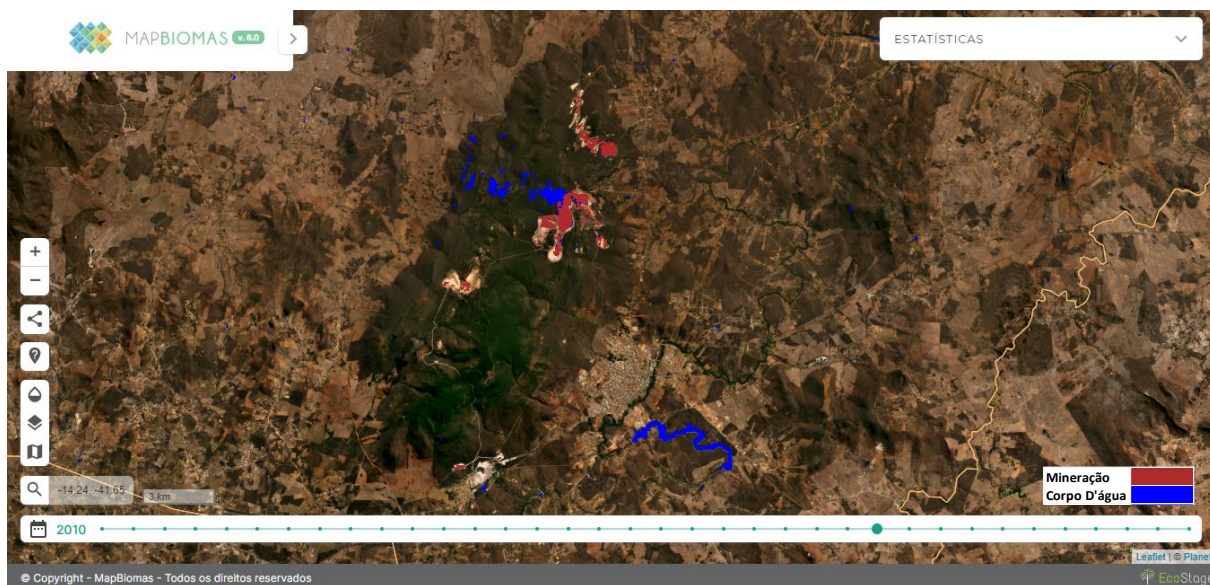
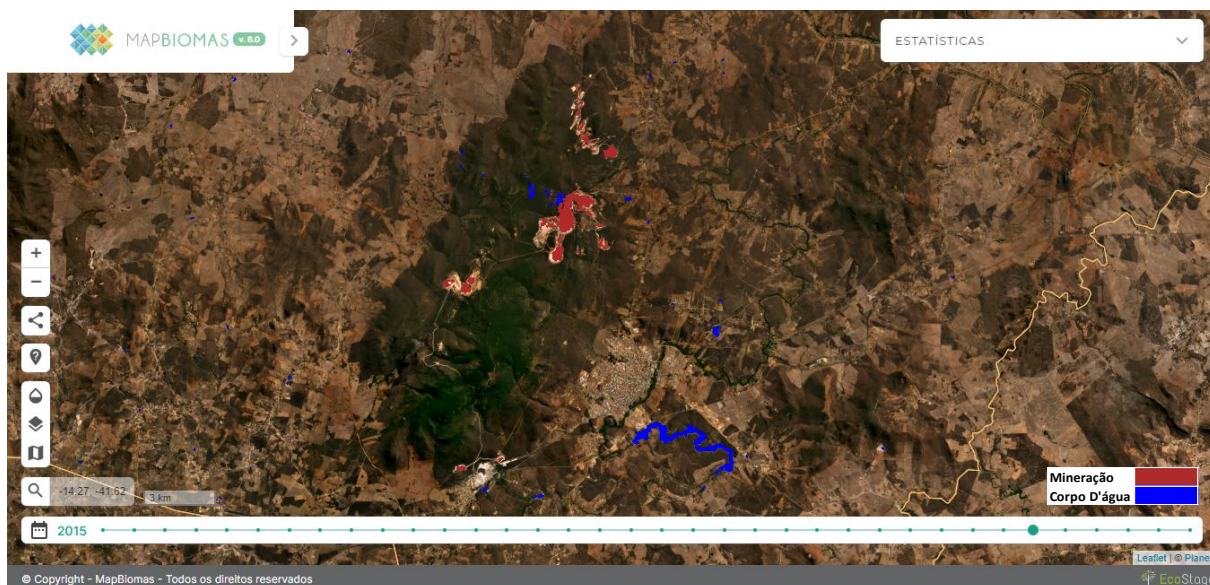
Figura 136 - Extração de Magnesita e Talco (2005)**Figura 137 - Extração de Magnesita e Talco (2010)**

Figura 138 - Extração de Magnesita e Talco (2015)**Figura 139 - Extração de Magnesita e Talco (2020)**

Para facilitar a visualização do avanço sofrido pela mineração de magnesita e talco ao longo da série histórica analisada, a visualização da classificação com mapa base de fundo escuro auxilia na percepção da classificação identificando as áreas que contém ações de extração mineral (Figura 140 e Figura 147).

Figura 140 - Extração de Magnesita e Talco (1985)

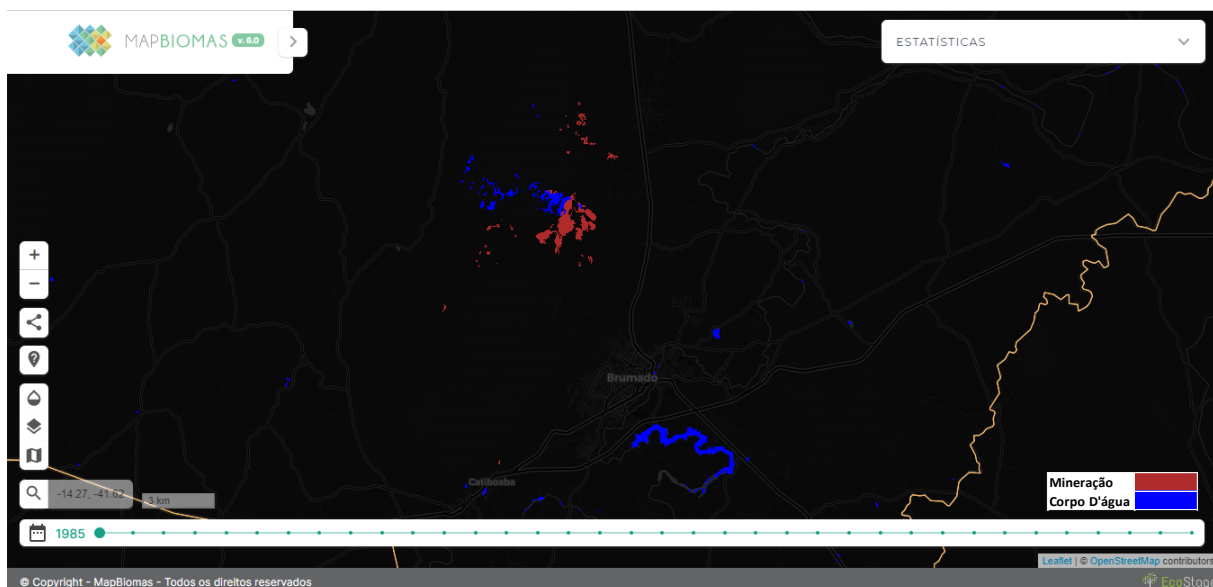


Figura 141 - Extração de Magnesita e Talco (1990)

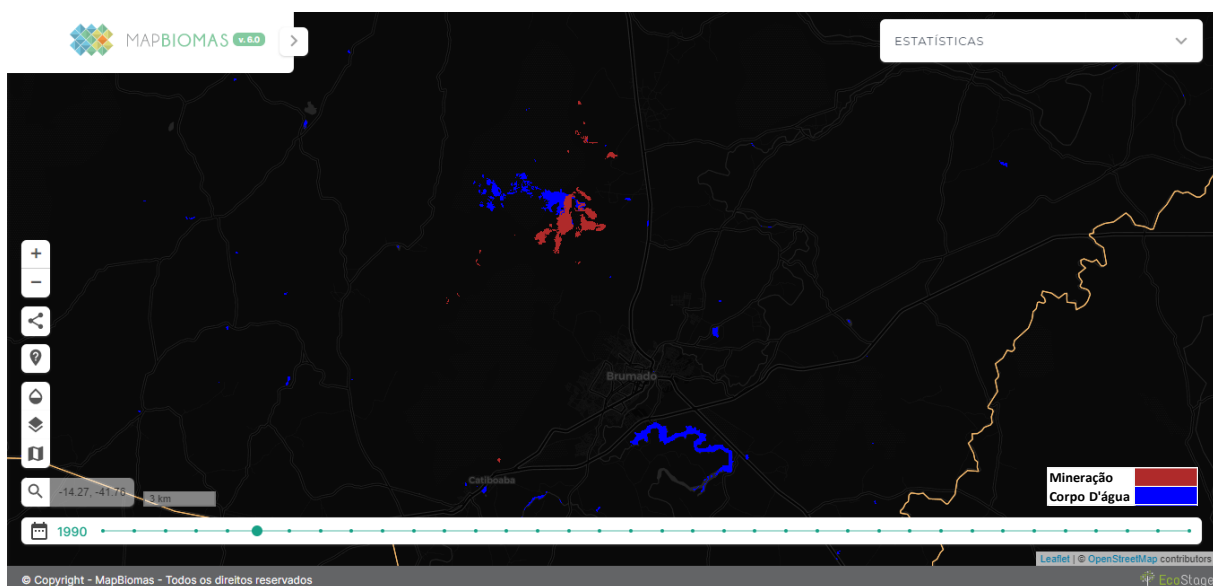


Figura 142 - Extração de Magnesita e Talco (1995)

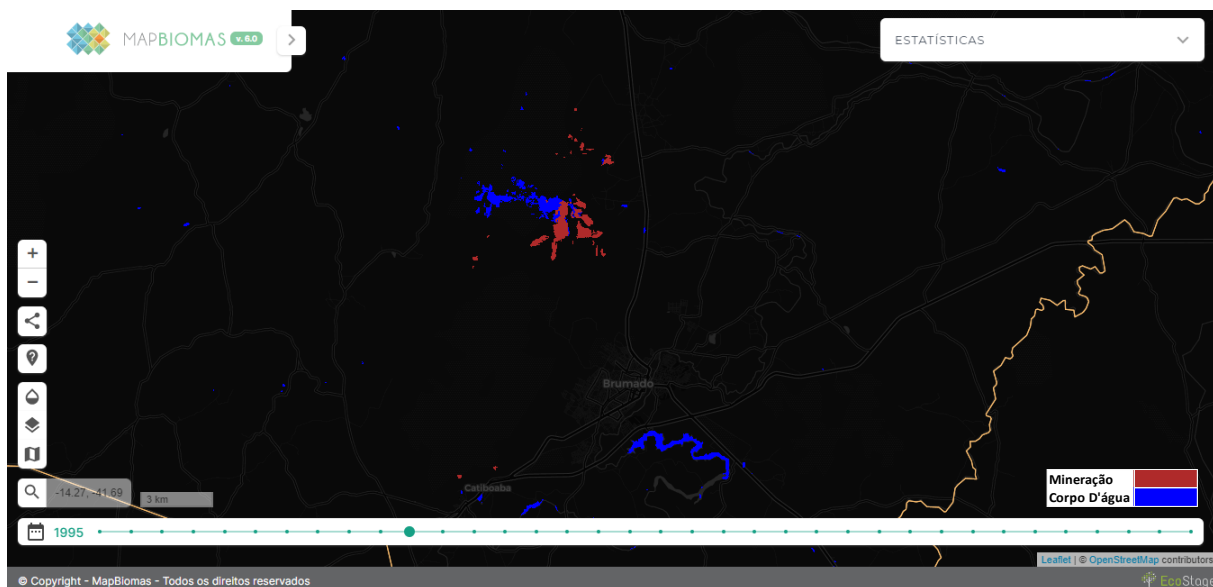


Figura 143 - Extração de Magnesita e Talco (2000)

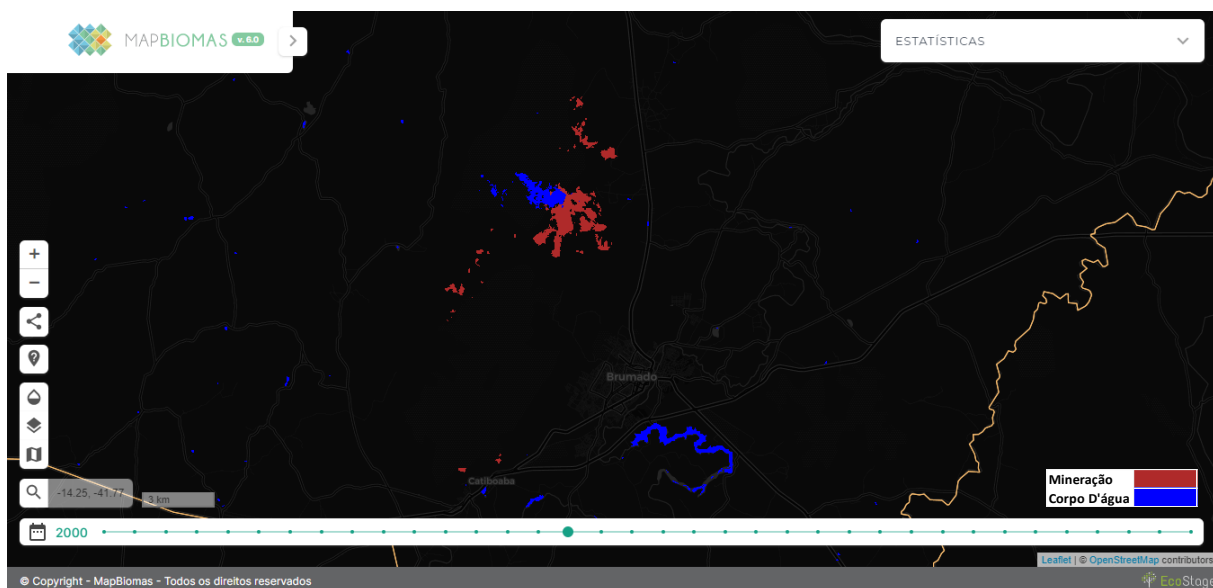


Figura 144 - Extração de Magnesita e Talco (2005)

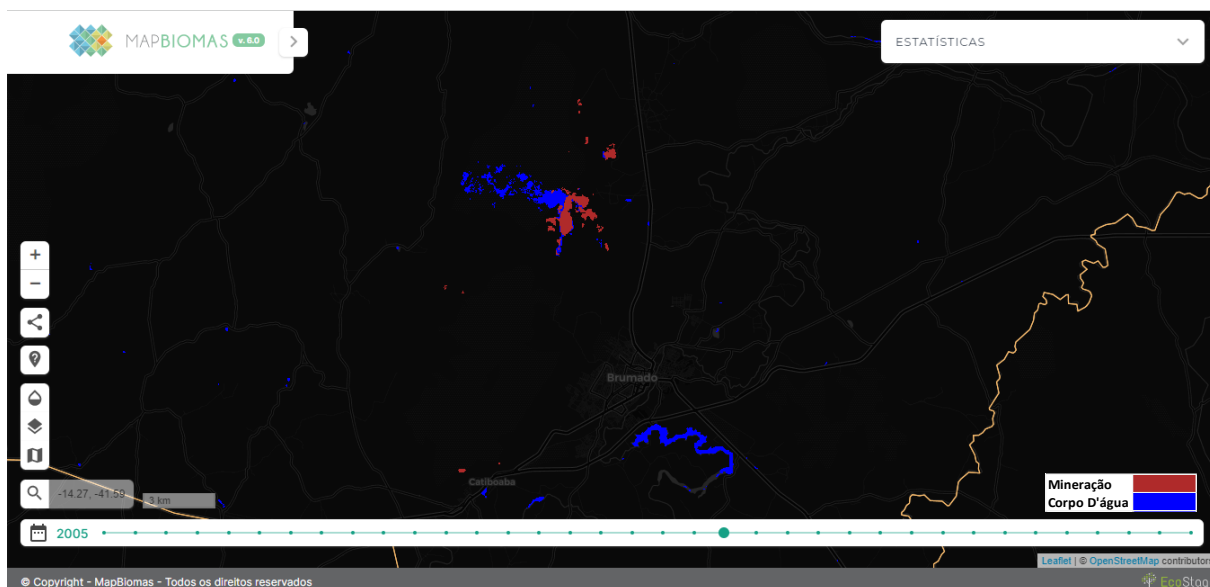


Figura 145 - Extração de Magnesita e Talco (2010)

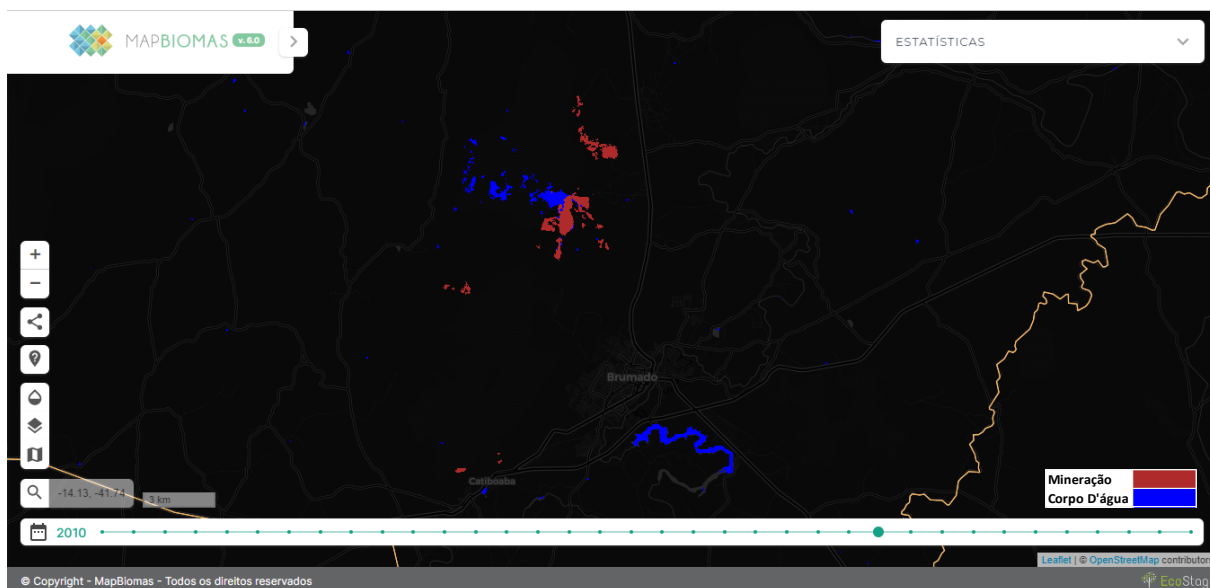
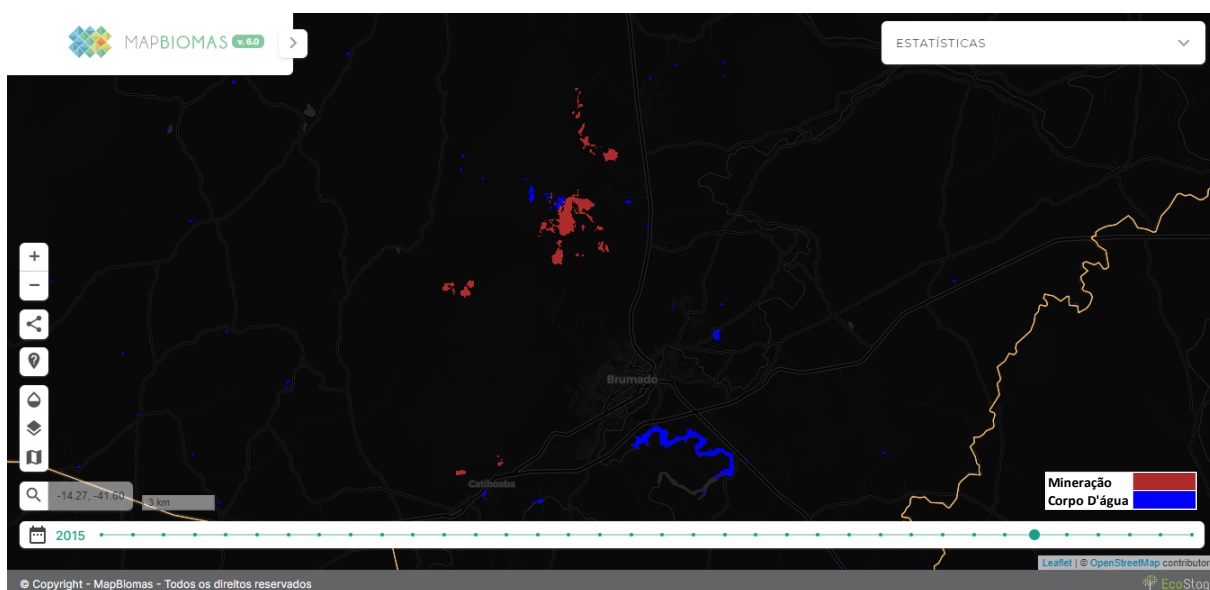
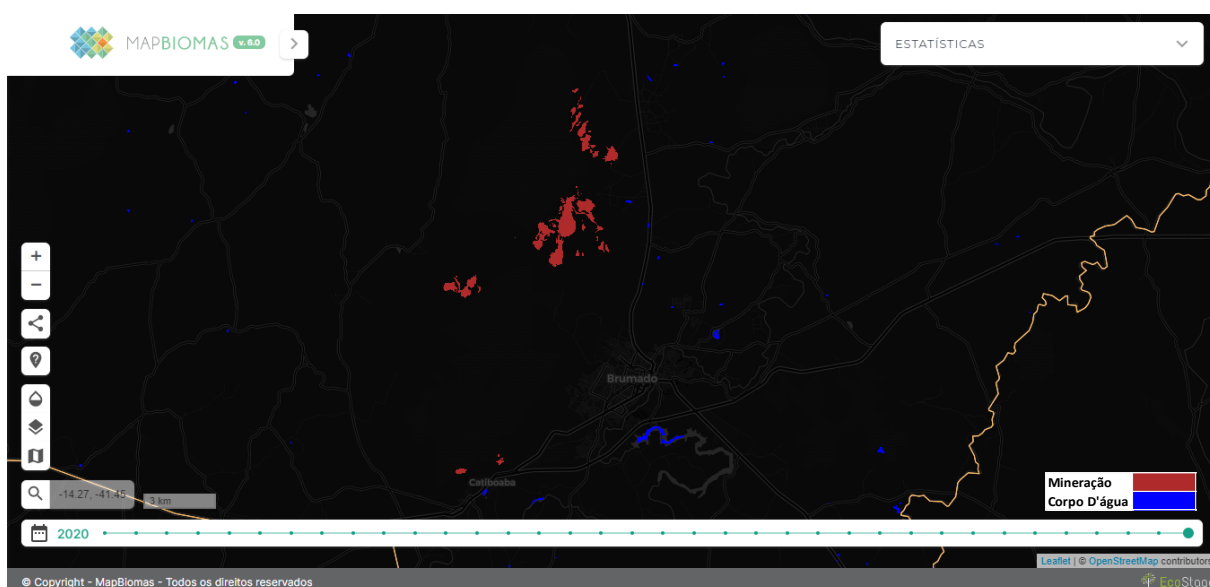


Figura 146 - Extração de Magnesita e Talco (2015)**Figura 147 - Extração de Magnesita e Talco (2020)**

A identificação de alvos minerais como água ocorre sempre que há o registro de acúmulo de precipitação ou água de processo em barragens de rejeito e nas cavas de extração de minério. Esse acúmulo de água na região do sertão produtivo, Brumado/BA, é um aspecto importante para a operação pois contribui ambientalmente na redução de captação de recurso hídrico em fontes primárias, como rios, e poços.

As edificações e estruturas de construção civil foram identificadas na classificação do Mapbiomas também como “área urbanizada”, não causando assim interferência na análise desta mineralização. Para melhor visualização nos mapas, a classe “área urbanizada” foi suprimida, por possuir cor próxima com a cor utilizada na legenda para a classe “mineração”.

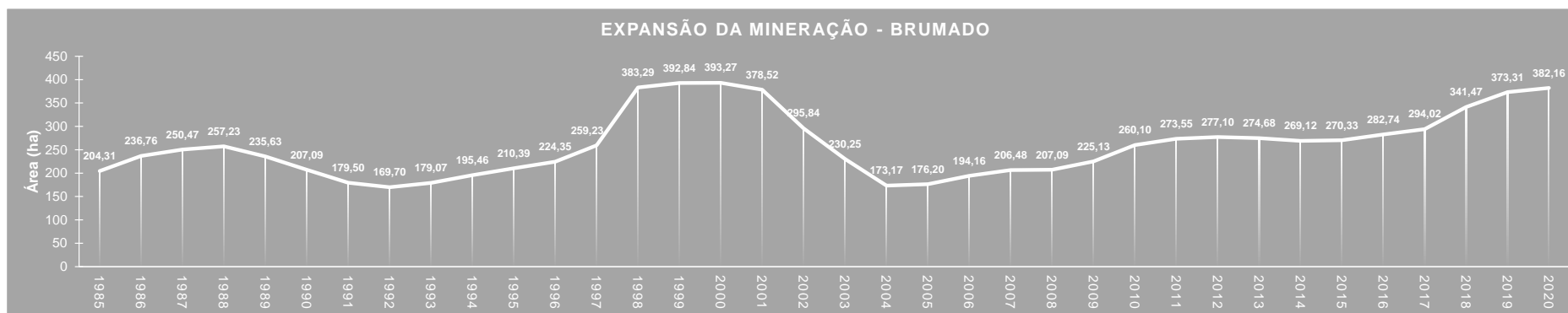
Além das instalações da operação da empresa, a região possui uma vila de casas contendo, portaria, clube e área de lazer construída e administrada pela RHI Magnesita e que se configura passivo da operação mineira. Apesar de não possuir relação direta com a produção do minério é a vila é considerada como passivo, no momento de seu fechamento, e deve ser avaliada a fim de dimensionar uso futuro. Nas Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22 são mostradas as áreas obtidas a partir da classificação trazida pelo Mapbiomas. Nestas tabelas constam todas as classes identificadas no município de Brumado/BA ao longo da série temporal analisada, para fins estatísticos no cálculo de áreas com mineração, as regiões, no site da mina, identificadas como “água” e “área urbanizada” não foram contabilizadas.

3.4.2. Taxa de expansão da mineração de Magnesita e Talco

A análise histórica mostra que a mineração em Brumado tem sua extração anterior ao registro por imagens de satélite. Se trata de minas muito antigas com registro de extração em 1974, sendo que a Mahnegita, hoje RHI Magnesita tem registros de fundação em 1939 após a descoberta da Serra das Éguas. Todas as minas possuem métodos de lavra a céu aberto, beneficiamento por processos de queima de minério, calcinação e disposição de rejeito a seco.

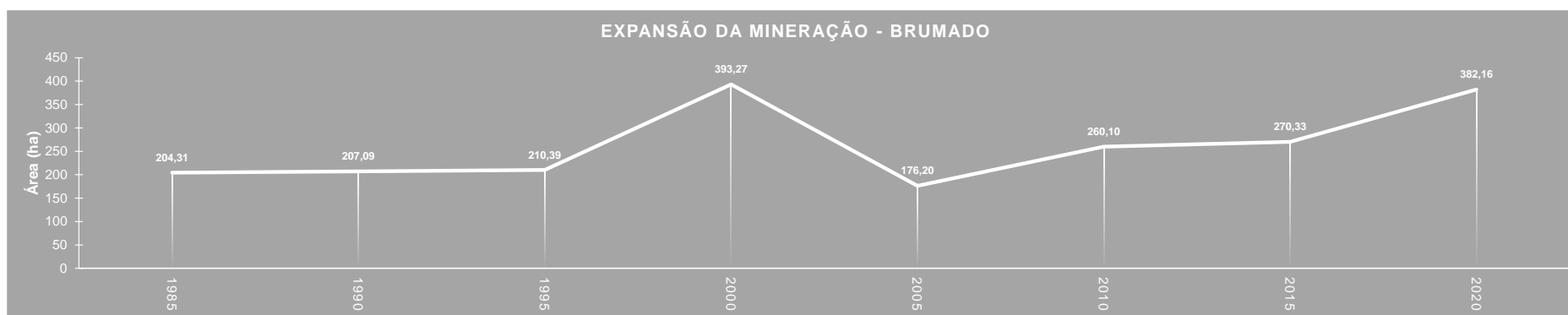
Na Figura 148 é mostrado os valores de expansão, em área, que a extração de magnesita e talco apresentam em Brumado ao longo dos 36 anos de análise. Além da análise de expansão anual, na Figura 149 é mostrada a expansão da área minerada na extração dos mesmos bens minerais em intervalos de 5 em 5 anos entre o período de 1985 a 2020.

Figura 148 - Expansão da mineração de Magnesita e Talco em Brumado de 1985 a 2020



O gráfico mostra a expansão da área minerada em Brumado com sua trajetória crescente ao longo dos últimos 17 anos, sem registro de ininterruptão no funcionamento durante a vida das minas. Importante destacar que a extração de magnesita e talco ocorre por demanda de mercado, ou seja, quando os setores industriais aumentam sua necessidade por matéria prima, a extração também aumenta. As empresas abastecem o mercado interno e externo de: refratários, automobilismo, medicamentos e cosméticos, sendo a demanda por refratários com maior constância.

Figura 149 - Expansão da mineração de Magnesita e Talco em Brumado em intervalos de 5 anos

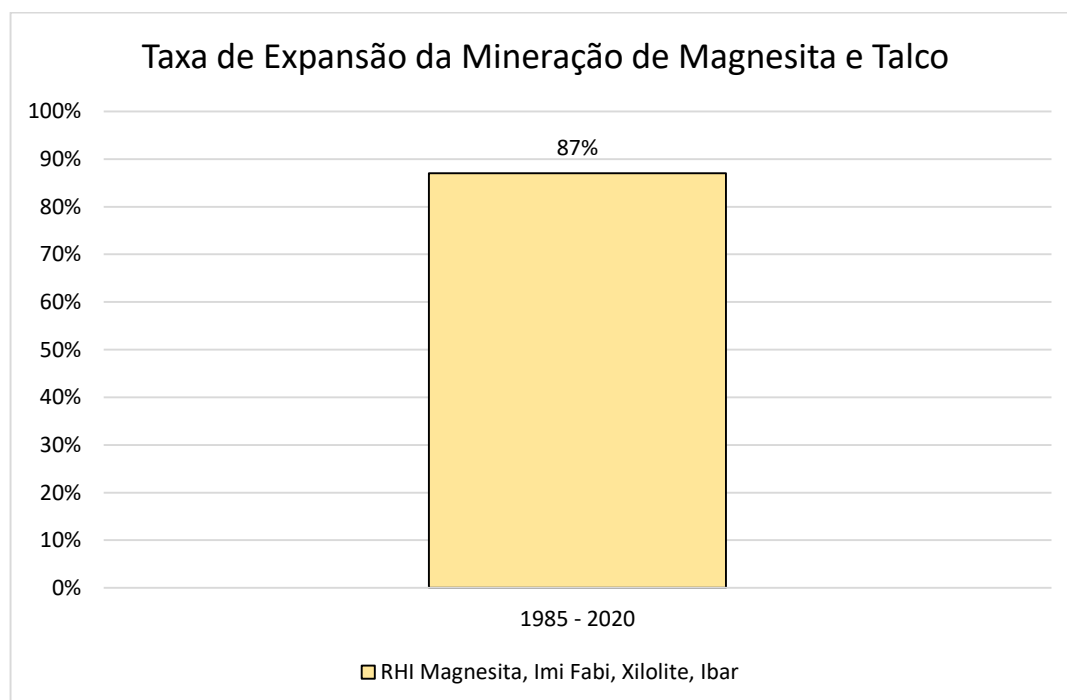


Ao longo dos anos de vida das minas de magnesita e talco fatores mercadológicos influenciaram em sua expansão da operação. As empresas fazem a lavra baseada nos pedidos dos fornecedores, o que se determina como extração por demanda. Possíveis crises econômicas e de algum setor industrial, que utilizam a matéria prima destas empresas, exemplo: indústria automotiva, de plásticos e de cosméticos, promovem uma queda na demanda por insumos e conseqüentemente redução da operação, desaceleração do crescimento e queda na taxa de expansão.

Considerando o avanço da área operacional da mineração em Brumado observado no período de 1985 a 2020, foi calculada a taxa de variação percentual da expansão da área minerada entre 1985 e 2020 (Figura 150). A taxa de expansão da área minerada de magnesita e talco foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Taxa de expansão} = \frac{\text{área final} - \text{área inicial}}{\text{área inicial}} \times 100$$

Figura 150 – Taxa de Expansão da Mineração de Magnesita e Talco em Brumado/BA



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada tipo de extração mineral tem suas características na movimentação de terra e mudança de superfície. Independentemente do método de lavra utilizado, algumas feições são características da atividade de mineração: pilhas de material, instalações de beneficiamento, áreas de disposição de rejeito, estrutura administrativa e vias de acesso, são alguns exemplos de feições que, a depender do porte do empreendimento são visíveis através de imagem de satélite.

As técnicas convencionais de processamento digital de imagens, muitas vezes confundem as áreas de mineração com solo exposto, áreas urbanas e intervalo entre cultivos agrícolas. A utilização de um método que seja rápido, preciso e de fácil acesso, é um grande passo para a tomada de decisões e avaliação de impactos causados pela atividade.

O SIGMINE, plataforma pública e gratuita, utilizada pela agência reguladora do setor mineral no Brasil (ANM), para gestão dos processos minerários, apresenta informações georreferenciadas sobre os polígonos objetos de processos minerários, além de dados dos responsáveis, fase do empreendimento, tramitação do processo etc. A ferramenta não traz a dimensão da área minerada de maneira precisa, ela quantifica pela poligonal do processo apresentada a ANM pelo minerador, desconsiderando a característica de impacto local causado pela atividade mineradora.

O Mapbiomas, plataforma colaborativa e gratuita que nasceu da iniciativa de pesquisadores e ONG, apresenta um mapa interativo do uso e cobertura do solo a partir da análise de série temporal com imagens de satélite. A plataforma utiliza machine learning para realizar o processamento de imagens de forma automatizada e em nuvem, através de Google Earth Engine. Suas atualizações de classificação e metodologia são anuais, através do lançamento de Coleções. A plataforma, disponibiliza para download as estatísticas da região analisada, e os gráficos de transição contendo as mudanças de uso e cobertura. Além da classe “Mineração”, o Mapbiomas traz na Coleção 6 um Dashboard específico para o detalhamento desta classe e a distinção entre a “mineração industrial” e “garimpo”.

O Global Forest Watch (GFW) é uma plataforma online que apresenta um mapa global de paisagens de florestas em todo o mundo, e a emissão de alertas de

desmatamento, para o Brasil não há suporte para os alertas de desmatamento precisos e instantâneos realizados por radar (RADD). Além do mapa de cobertura florestal a plataforma disponibiliza para download dados de análise estatística referente a área analisada. A plataforma não identifica áreas que perderam vegetação pela influência da mineração, mas permite identificar o setor responsável pela perda de cobertura arbórea: desmatamento causado por commodities, agricultura itinerante, silvicultura, incêndio e urbanização. No Dashboard de análise de cobertura da terra, para o território brasileiro, o GFW utiliza dados da Coleção 3.1 do Mapbiomas, o que o torna menos preciso e atual que o próprio Mapbiomas.

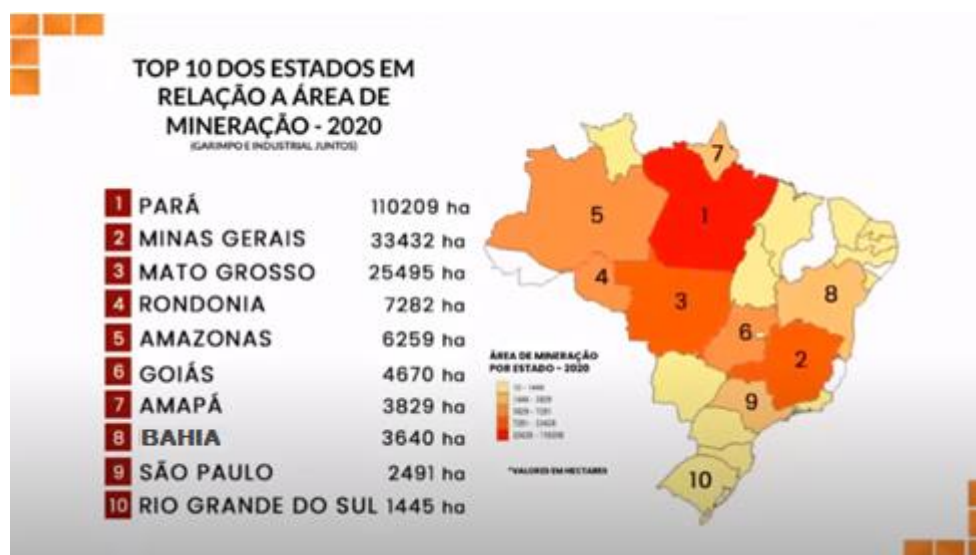
A Delimitação por Região de Interesse (ROI), é um método manual de identificação de objetos em imagens de satélite através do uso de softwares de processamento digital de imagem (PDI). Método lento, e que não é 100% gratuito, apesar de existir programas e imagens de acesso gratuito, para análises mais precisas é necessário investir em equipamentos robustos, softwares de PDI e aquisição de imagens de alta resolução. A metodologia requer habilidade do usuário e é composta por múltiplas etapas, além de depender de bons recursos de conectividade, capacidade de processamento e armazenamento em computadores. A análise de série temporal, bem como a de extensão da mineração são realizadas de forma manual, repetindo o PDI para diferentes datas, e fazendo a sobreposição dos polígonos traçados na delimitação da mineração investigada. Este método por se tratar de um método manual, possui baixa capacidade de processamento.

Dentre os métodos apresentados o Mapbiomas é o que apresentou melhores características para a finalidade pretendida, demonstrou ser uma excelente ferramenta para identificação de áreas mineradas e análise de sua expansão. Especialmente a coleção 6, a última lançada até o momento, que apresenta classificação de alvos mais próximos a realidade, como menos confusão entre as classes que possuem mesma resposta espectral. Isso se deve a mudança de metodologia aplicada na nova coleção, com utilização de imagens de refletância de superfície ao invés de imagens TOA (topo de atmosfera), além da adição do classificador U-NET e o cruzamento de informações com outros bancos de dados sobre mineração já consolidados no país.

Segundo análise trazida pela equipe desenvolvedora do Mapbiomas durante a apresentação sobre “A Expansão da Mineração no Brasil”, durante os eventos de

lançamento da Coleção 6, a Bahia ocupa o 8º lugar no ranking dos estados brasileiros que possuem maior área de exploração mineral identificada pela plataforma no ano de 2020. Na Figura 151 é mostrado o ranking contendo os 10 estados que possuem maior área com extração mineral no país.

Figura 151 – Área ocupada pela mineração no Brasil



Fonte: BRASIL1985-2020 A expansão da mineração, 2021.

Para o estado da Bahia foram selecionados alguns empreendimentos mineiros de grande porte que extraem Ouro, cobre, ferro, magnesita e talco, preferencialmente por método de lavra a céu aberto ou híbrido e, que possuem validação de campo; para serem quantificadas as áreas das minerações ao longo dos 36 anos analisados. Na aplicação do Mapbiomas, seguindo os critérios estabelecidos, foram analisadas as expansões das seguintes minerações:

Tabela 23 – Empresas de mineração analisadas através do Mapbiomas

Bem Mineral	Mineração	Método de Lavra	Crescimento em área	Taxa de Expansão
Ouro	FBDM - Fazenda Brasileiro Desenvolvidos Minerais	híbrido	320,94	3736%
Ouro	Santaluz Desenvolvidos Minerais	céu aberto	243,43	4699%
Cobre	MCSA - Mineração Caraiba	híbrido	729,13	104%
Ferro	FERBASA - Companhia de Ferros e Ligas da Bahia	subterrâneo	72,93	488%
Ferro	Largo Resources - Vanádio de Maracás	céu aberto	0,00	0%
Ferro	BAMIN - Bahia Mineração	céu aberto	0,00	0%
Magnesita e Talco	RHI Magnesita, Imi Fabi, Xilolite, Ibar	céu aberto	177,85	87%

A taxa de expansão calculada levou em consideração o intervalo temporal de 36 anos, e foram considerados como ano inicial o ano de início de extração a partir de 1985. Os empreendimentos que apresentaram taxa de expansão igual a 0% são aqueles em que a plataforma não identificou a classe “mineração” durante a classificação realizada pelos algoritmos da Coleção 6, mesmo estando as feições das minerações visíveis na imagem de satélite.

Observando o comportamento da extração de ouro ao longo do período notou-se que a expansão da exploração possui ligação direta com o valor comercializado da commodity. Apesar das condições mercadológicas ditarem o avanço ou recuo da extração, fatores internos, como dificuldades no processo de beneficiamento e recuperação do ouro, podem também impactar severamente no empreendimento.

A extração de cobre no estado da Bahia tem registro muito antigo, com extração iniciada em 1979. Em 1986 a área ocupada pelo empreendimento teve forte expansão devido ao aumento de produção em virtude da mudança do método de lavra para lavra subterrânea. O reaproveitamento de material estocado para abastecer a planta de lixiviação, possível graças ao desenvolvimento de novas rotas de processo, proporcionou a estagnação da área ocupada pela Caraíba Mineração no período de processamento do material. Observou-se também que investimento em pesquisa geológica proporciona aumento de reserva. As ações realizadas pela empresa ao longo da vida útil do empreendimento corroboram para o princípio da conservação dos recursos minerais: ativa descoberta, completa extração e adequada utilização.

Das minerações que extraem minério de Ferro investigadas, a mina de Ipueira em Andorinha/BA, pertencente a Ferbasa, é a mais antiga, com extração iniciada em 1973. A mina de Vanádio em Maracás apesar de possuir 7 anos de operação, não foi identificada pelo classificador do Mapbiomas como área de mineração. O mesmo acontece com a mina da BAMIN em Caetité. Diferentemente da mina de Maracás, a BAMIN tem exploração recente, extração comercial iniciada em 2021, mas existe registro de interferência com remoção da vegetação na região desde 2015. Apesar de não serem identificadas pela plataforma, as minas de Maracás e Caetité são visíveis através da imagem de satélite a partir da busca pela coordenada geográfica de cada uma delas.

A extração do minério de ferro obedece a demanda mundial por aço, sofrendo influência direta de nações e setores emergentes. Por ser um metal cuja produção nacional é quase que totalmente exportada, a expansão da mineração desse bem mineral obedece ao preço comercializado no mercado internacional. Tendo assim momentos de retração e crescimento de acordo com o valor de venda.

Ao analisar a mineração de magnesita e talco realizada na Serra da Éguas em Brumado/BA, notou-se que a atividade tem registros anteriores a 1985. Apesar da longa vida da mineração na região, não existe registro de fechamento e paralização da atividade durante os 36 anos analisados. A expansão da operação é influenciada diretamente pelo mercado consumidor, pois a extração é realizada por demanda, não havendo a formação de estoque de concentrado de minério. Momentos de baixa demanda, como em crises econômicas, setores industriais impactados reduzem a necessidade por matéria prima, promovendo queda na produção, desaceleração do crescimento da mina e queda na taxa de expansão.

No *Dashboard* específico criado para mineração o Mapbiomas traz a distinção entre as classes: garimpo, industrial e outros. A definição do termo “garimpo” aplicada pela plataforma tem significado divergente do que trata a legislação mineral brasileira. Segundo as legislações que versam sobre as definições, regimes de aproveitamento minerário e restrições para as atividades de garimpo, a definição de “garimpo” é mais restrita a forma de execução e ao tipo de substância extraída, que está deve ser uma substância garimpável.

O Código de Mineração trazido pelo Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, em seu Art. 72 caracteriza a garimpagem como:

- Art. 72. Caracteriza-se a garimpagem, a faiscação e a cata:
- I - pela forma rudimentar de mineração;
 - II - pela natureza dos depósitos trabalhados; e,
 - III - pelo caráter individual do trabalho, sempre por conta própria.

Ratificado pelo Decreto nº 9406 de 12 de junho de 2018 em seu Art. 11 que define o regime de permissão de lavra garimpeira (PLG) aprovado pela ANM.

- Art. 11. Considera-se lavra garimpeira o aproveitamento imediato de substância mineral garimpável, compreendido o material inconsolidado, exclusivamente nas formas aluvionar, eluvionar e coluvial, que, por sua natureza, seu limite espacial, sua localização e sua utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de

trabalhos prévios de pesquisa, segundo os critérios estabelecidos pela ANM.

Onde determina a lei que regulamenta o PLG, através do Decreto nº 9406 de 12 de junho de 2018 em seu Art. 40.

Art. 40. O aproveitamento de recursos minerais sob o regime de permissão de lavra garimpeira obedecerá ao disposto na [Lei nº 7.805, de 1989](#), e em Resolução da ANM.

No § 1º do art. 10 da Lei nº 7.805 de 1989, define quais os minerais são considerados garimpáveis:

Art. 10 - Considera-se garimpagem a atividade de aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis, executados no interior de áreas estabelecidas para este fim, exercida por brasileiro, cooperativa de garimpeiros, autorizada a funcionar com empresa de mineração, sob o regime de permissão de lavra garimpeira.

§ 1º - São considerados minerais garimpáveis o ouro, o diamante, a cassiterita, a columbita, a tantalita e wolframita, nas formas aluvionar, eluvional e coluvial; a sheelita, as demais gemas, o rutilo, o quartzo, o berilo, a muscovita, o espodumênio, a lepidolita, o feldspato, a mica e outros, em tipos de ocorrência que vierem a ser indicados, a critério do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

Apesar da discordância de definição do termo “garimpo”, a criação do *Dashboard* de mineração com a distinção entre as classes: garimpo, industrial e outros; traz ainda maior funcionalidade para o Mapbiomas, quando utilizado para análises de área minerada.

5. CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

O Mapbiomas comprovou ser a melhor entre as plataformas avaliadas, para identificação de área minerada. Ela apresenta maior precisão, mais facilidade de manusear, é gratuito, de fácil interação e ágil. Além disso, a plataforma Mapbiomas permite ao usuário explorar e aprofundar seus estudos a partir das ferramentas colaborativas que ela traz através dos scripts.

Apesar do ganho com o lançamento da coleção 6, em agosto de 2021, o Mapbiomas ainda está em adequação e atualização das funcionalidades trazidas pela última coleção, o que está causando instabilidades e algumas inconsistências nos primeiros meses após o lançamento. Isso se deve ao fato de que novos dados estão sendo alimentados no site durante os meses iniciais. A expectativa é que em breve a

plataforma disponibilize para os usuários todas as funcionalidades apresentadas pela equipe desenvolvedora.

Um exemplo claro é o mosaico RGB formado com imagens Landsat para cada ano classificado. Esta função não está disponível para o usuário, após o lançamento da coleção 6, mesmo depois de passados quatro meses da atualização da plataforma. Por se tratar de uma plataforma colaborativa e em constante aperfeiçoamento, a equipe desenvolvedora está trabalhando na melhoria da qualidade dos mosaicos disponibilizados para o usuário.

Durante a exploração da plataforma alguns dos alvos de mineração selecionados não foram classificados adequadamente pelo algoritmo utilizado no Mapbiomas. Foi observado que este erro de classificação era apresentado pelo em regiões que possuíam alteração da paisagem em pequenas dimensões, e curto espaço de tempo. Podendo o erro de classificação estar relacionado a metodologia utilizada para filtragem e melhoramento da imagem, além de aspectos como: qualidade da confecção dos mosaicos, tipo de classificador e de filtros utilizados.

Os mosaicos utilizados para compor a coleção de imagens (*feature collection*) representativas para um ano, são montados a partir da coleta de pixels contendo menos ruídos e baixo índice de nuvens. Essa montagem é feita a partir da comparação de todos os pixels de todas as imagens obtidas para cada ano. Ou seja, é montado um quebra cabeça com pixels de datas distintas, pertencentes ao mesmo ano e mesma região a fim de se obter uma imagem livre de nuvens e interferência atmosférica. Só após a montagem desse mosaico é realizada a classificação. É possível que neste processo haja a exclusão de pixels contendo áreas pequenas de mineração.

Durante a classificação pelo *Random Forests* é usado o comportamento de cada alvo no pixel para definir a classe que ele pertence. Já o *Deep Learning* (U-NET) utiliza o padrão da forma do entorno para determinar a classe pertencente de cada objeto. Os dois métodos são complementares. Além da classificação a aplicação de filtros espaciais e temporais para garantir a estabilidade do mapa, pode interferir também no resultado da identificação de pequenas áreas mineradas.

Os filtros espaciais removem pixels isolados retirando assim da análise áreas com menos de seis pixels isolados, o que equivale a aproximadamente 0,5 hectare.

Esse pode ser mais um motivo pelo qual o Mapbiomas não identifica áreas de mineração com pouca alteração na imagem.

O filtro temporal Gap Fill, preenche áreas não observadas onde não se tem informação de mudanças no ano anterior, ou seja, no ano atual repete o dado da última informação obtida no ano anterior. Esse filtro pode influenciar na identificação do ano cujo ocorre os primeiros sinais da atividade de mineração em uma região.

O filtro de Janela móvel, retira ruídos na classificação através da eliminação de classificação de 1, 2 ou 3 anos de forma isolada, deixando os mapas mais estáveis. Esse filtro pode provocar omissão a partir da possibilidade de suprimir dados de pequenas atividades de extração mineral que possuem poucos anos de operação, minas pequenas de até três anos, podendo proporcionar uma análise tardia para a atividade mineral, principalmente se esta for ilegal.

Outro problema na classificação de mineração trazida pelo Mapbiomas é a identificação de água e área urbanizada dentro de regiões de mineração. A presença de água dentro de cavas e bacias/barragens de contenção de rejeito é subtraída da área classificada como mineração. Uma sugestão possível para reduzir essa subtração é a criação de uma subclasse (4.3.1 Água de mineração) para enquadrar alvos “água” identificados sobrepostos a alvos “mineração” no momento da integração dos dados classificados. As áreas administrativas e aquelas que possuem edificações civis dentro do site da mineração no Mapbiomas quase sempre são classificadas como a classe “área urbanizada”, subtraindo assim essas áreas daquela classificada como área de mineração. Uma sugestão possível para reduzir essa subtração é a criação de uma subclasse (4.3.2 Edificações da mineração) para enquadrar alvos de área urbanizada identificados sobrepostos a alvos mineração no momento da integração dos dados classificados.

Outro aspecto interessante que deve ser levado em consideração é que áreas mineradas que passaram por processo de recuperação ambiental e regeneração da vegetação, não deixaram de ser áreas mineradas. Não havendo assim a retração e/ou encolhimento da área afetada pela atividade mineira, uma vez que os impactos causados pela mineração são irreversíveis. É importante identificar na plataforma essas regiões como sendo áreas de mineração em fase de recuperação ambiental. Sendo contabilizadas como área minerada em recuperação. Uma sugestão possível

é a criação de uma subclasse (4.3.3 Recuperação ambiental de área minerada) para atender a regiões onde antes eram minerações e passaram a ser classificadas como algum tipo de vegetação.

Uma possibilidade para a diferenciação entre uma área degradada de uma área minerada em recuperação estaria na ordem que estas classes apresentam após o processamento com o algoritmo. Se ao longo de um período de tempo houver vegetação e mudar para mineração, e em seguida retorna a ser classificado como vegetação, esta área pode ser denominada como área recuperada. Porém se existe numa região área vegetada e passa a ser classificada pelo algoritmo do Mapbiomas como qualquer outra atividade antrópica, essa poderia ser classificada como área degradada.

Apesar de o Mapbiomas apresentar a possibilidade de disponibilização de gráficos de transição entre as classes, nos primeiros meses de lançamento da coleção 6 só encontravam disponíveis a transição para as classes de nível 1 da legenda. Não estando acessível o gráfico de transição para a mineração, pertencente ao nível 2 das classes, onde se enquadra a atividade de extração mineral.

Como proposta de sugestões de melhoria para o Mapbiomas, sugere-se maior agilidade na atualização da plataforma online, quando lançadas novas coleções. Bem como maior estabilidade do site de acesso direto, ele apresenta várias oscilações desde o lançamento da Coleção 6, a quatro meses atrás.

Outra sugestão é a possibilidade de permitir que o mapa visualizado faça um giro de 360° a partir da inserção de botão com a orientação espacial mostrando o Norte e os demais pontos cardeais. Esta ferramenta facilitará ao usuário enquadrar dentro da janela de classificação disponível (em layout paisagem) a visualização de alvos menores e alongados explorando a escala de visualização para uma melhor análise.

Mais uma sugestão é a inserção da distinção entre minas que utilizam métodos de lavra a céu aberto, métodos de lavra subterrâneo e métodos de lavra híbrido. Esta distinção pode ser apresentada no *Dashboard* específico criado para mineração dentro da plataforma.

6. CONCLUSÃO

A atividade de mineração tem características singulares e de uso e ocupação da terra. A variabilidade pode estar relacionada ao método de extração, tipo de substância, porte do empreendimento, mas independentemente destes aspectos algumas feições, sob um olhar treinado, são sempre identificáveis através do sensoriamento remoto.

O uso de plataformas e técnicas de identificação de áreas mineradas traz um ganho em precisão e agilidade quando comparadas as técnicas convencionais de processamento digital de imagens. Dentre os métodos de identificação apresentados neste trabalho o Mapbiomas comprovou ser a melhor entre os demais, por apresentar maior facilidade de interação, maior precisão e fidelidade no dimensionamento da área minerada e *Dashboard* específico para tratar da atividade de mineração.

Na aplicação realizada com o uso da plataforma Mapbiomas foi possível fazer análises com diversos bens minerais: ouro, cobre, ferro, talco e magnesita. Trazendo resultados qualitativos e quantitativos a respeito do avanço desses empreendimentos no território baiano. Para os usuários interessados em contribuir e aprofundar as análises realizadas diretamente na plataforma há a possibilidade de utilizar e compartilhar os scripts através do *Google Earth Engine*.

Este trabalho trouxe a comparação entre quatro diferentes métodos de identificação de áreas mineradas a partir de sensoriamento remoto, realizando uma análise sobre o mais adequado entre eles e sua aplicação. Demonstrou as potencialidades e limitações apresentadas pela plataforma Mapbiomas, a partir da aplicação em diferentes minerações no estado da Bahia e, sugeriu algumas melhorias para a plataforma.

7. REFERÊNCIAS

AMARAL, Rafael Quevedo do. – **Talco e Pirofilita**. Balanço mineral. ANM/PR, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-5-2013-talco-pirofilita>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

ANM. **Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE)**. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/acesso-a-sistemas/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

ARAÚJO, Wagner. **Descaracterização e Descomissionamento de Barragens de Rejeitos**. Instituto Minere, Belo Horizonte/MG, 20 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/descaracterizacao-e-descomissionamento-de-barragens-de-rejeitos-uma-tendencia-ou-realidade>. Acesso em 12/05/2021.

BAMIN – **Bahia Mineração**. Página oficial da empresa. Disponível em: <https://www.bamin.com.br/>. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

Brasil 1985-2020: **A Expansão da Mineração e do Garimpo no Brasil nos últimos 36 anos**. Transmitido ao vivo em 30 de ago. de 2021. 1 vídeo (1h58min). Publicado pelo Mapbiomas Brasil. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0LEwXnGNf6c> Acesso em: 30 de ago. de 2021.

Brasil 1985-2020: **As transformações do território brasileiro nos últimos 36 anos (Coleção 6)**. Transmitido ao vivo em 27 de ago. de 2021. 1 vídeo (1h55min). Publicado pelo Mapbiomas Brasil. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KcDpfpkPVtq4&t=1997s>. Acesso em: 27 de ago. de 2021.

Brasil. **Decreto nº 9406 de 12 de junho de 2018**. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Brasília, DF, 12 de junho de 2018; 197º da Independência e 130º da República. MICHEL TEMER. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm. Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

Brasil. **Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Brasília, DF, 28

de fevereiro de 1967; 146º da Independência e 79º da República. H. CASTELLO BRANCO. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm. Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

BRASIL. **Lei nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017**. Altera as Leis nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e 8.001, de 13 de março de 1990, para dispor sobre a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Brasília, DF: Presidência da República, [2017]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13540.htm#art4. Acesso em: 07 de maio de 2021.

Brasil. **Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989**. Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências. Brasília, DF, 18 de julho de 1989; 168º da Independência e 101º da República. JOSÉ SARNEY. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7805.htm. Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

CAVALCANTI NETO, M. T. O.; ROCHA, A. M. R. - **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. Editora do IFRN-RN. Natal/RN, 2010.

CETESB. **Vanádio e seus compostos**. Ficha de Informações toxicológicas. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Atualizado em maio de 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Vanadio.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2021.

CURI, Adilson. - **Lavra de Minas**. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 2017.

CURI, Adilson. - **Minas a céu aberto**: planejamento de lavra. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 2014.

CUTIS, P.G., C.M. Slay, N.L. Harris, A. Tyukavina, and M.C. Hansen. 2018. **“Classifying Drivers of Global Forest Loss.”** *Science*. Accessed through Global Forest Watch on 13/04/2021. www.globalforestwatch.org.

DINIZ, Juliana Maria Ferreira de Souza *et all.* **Detecção da expansão da área minerada no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto.** Bol. Ciênc. Geod., Curitiba, v. 20, n. 3, p. 683-700, set. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702014000300683&lng=pt&nrm=iso. Acessos em 29 ago. 2019. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702014000300039>.

Estudos Econômicos - **Estimativas de Impactos Econômicos da Pandemia do Coronavírus no Brasil e em Minas Gerais.** FIEMG, março de 2020. Disponível em: <https://www7.fiemg.com.br/fiemg/noticias/detalhe/fiemg-divulgaestudo-de-impactos-economicos-do-coronavirus>. Acesso em 23 de maio de 2021.

FERBSASA – **Cia de Ferro Ligas da Bahia.** Página oficial da empresa. Disponível em: http://www.ferbasa.com.br/default_pti.asp?idioma=0&conta=45. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; ALAMINO, Renata de Carvalho Jimenez; ARAÚJO, Eliane Rocha - **Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos.** CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2014, 392p. ISBN 978-85-8261-003-9

GANEM, Khalil Ali; BAPTISTA, Gustavo Macedo. de M.; ROCHA, Washington de Jesus S. F; VASCONCELLOS, Rodrigo Nogueira *et all:* - **Impacto da correção atmosférica na classificação da cobertura da Terra a carta topográfica SC-24-V-C (Petrolina) Utilizando Google Eath Engine e Imagens Lamdsat-8.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, vol. 42-2/2019, pág. 100-116. ISSN 0101-9759 e- ISSN 1982-3908.

GARCIA, Luís Rodrigues Armôa, BRANDÃO, Paulo Roberto Gomes, LIMA, Rosa Malena Fernandes. **Magnesita.** in: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. CAPÍTULO 27, 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 605-631. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1116>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

GEOSCAN. **Minério de Cobre:** Entenda como ele é encontrado e suas propriedades. 16/07/2020. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/minerio-de-cobre/>. Acesso em: 03 de maio de 2021.

GEOSCAN. **Minério de Ferro:** Conheça sua história e as principais jazidas do Brasil. 16/05/2021. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/minerio-de-ferro/>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

GLOBAL FOREST WATCH – **Monitoramento de florestas e execução.** Acessado em 05 de abril de 2021 através do link: <https://www.globalforestwatch.org>

GORELICK, Noel; HANCHER, Matt; DIXON, Mike *et al.*: **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing of Environmentl, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

HARTMAN, H. L.- **Introductory Mining Engineering.** New York: John Wiley & Sons, New York,1987.

IBAR, Nordeste - **Indústrias Brasileiras de Artigos Refratários.** Página oficial da empresa. Disponível em: <http://ibarnordeste.com.br/>. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

IBRAM, **Mineração em Números:** 1º Semestre de 2021. Disponível em: <file:///E:/MEGA/PPGM/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20mestrado/Dissertacao%20identificacao%20de%20area%20minerada/Infografico-Mineracao-em-Numeros-1S2021.pdf>. Acesso em 17/09/2021.

IBRAM, **Produção Mineral,** 1º Trimestre de 2020. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/PDF_DADOS_1oTRIM20_16ABR20_FINAL.pdf, Acesso em 05/05/2021.

IMIFABI - Página oficial da empresa. Disponível em: <https://www.imifabi.com/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

INB – **Indústrias Nucleares do Brasil**. Página oficial da empresa. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.

LARGO, Resources – **MARACÁS MENCHEN MINE**. Disponível em: <https://www.largoinc.com/>. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

LIMA, Valdivino Borges de - **Minérios e mineração: a rigidez locacional e a exploração industrial**. IX EREGEO – Encontro Regional de Geografia. Novas territorialidades – integração e redefinição regional. Observatório Geográfico de Goiás. Porto Nacional, julho de 2005.

LOBO, Felipe de Lucia; SOUZA FILHO, Pedro Walfir M; NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes *et all.*: **Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery**. *mdpi, Remote Sens*, 10, 1178. 2018.
DOI:10.3390/rs10081178

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando A. Freitas - Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 1 – pág. 3–20. CETEM, Rio de Janeiro, 2010.

MCSA – **Mineração caraíba S/A**. Página oficial da empresa. Disponível em: <http://minacaraiba.com/quem-somos/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

MELFI, Adolpho José; MISI, Aroldo; CAMPOS, Diogenes de Almeida *et all.*: **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Ed. Academia Brasileira de Ciência. 420p. Rio de Janeiro/RJ, 2016. ISBN: 978-85-85761-40-0

MME. **Desempenho do setor mineral em 2020 supera expectativas**. Economia e Gestão Pública, Mineração, fevereiro/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas>. Acesso em 20 de abril de 2021.

NADELLA, Satya. **Microsoft + GitHub = Empowering Developers** - The Official Microsoft Blog, 2018. Disponível em:

<https://blogs.microsoft.com/blog/2018/06/04/microsoft-github-empowering-developers/>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

NERY, Miguel Antonio Cedraz; SILVA, Emanuel Apolinário da. – **Ouro**. Balanço Mineral Brasileiro 2001. O bem mineral. ANM, Salvador/BA, 2002. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-ouro>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

NOGUEIRA, Adeilson. **História Das Moedas De Ouro**. Clube de Autores (managed), 2019

NUNES, Paulo Henrique Faria. **Mineração, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: Aspectos Jurídicos e Socioeconômicos**. 1. Ed. Curitiba: Juruá, 2006.

OLIVEIRA JR., José Baptista. **Desativação de empreendimentos mineiros: Estratégias para diminuir o passivo ambiental**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 197f., 2001.

PONTES, I. F.; ALMEIDA, S. L. M. **Talco**. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 793-816.

PORTO, Claudio Gerheim; PALERMO, Nely; PIRES, Fernando Roberto Mendes. – **Extração de ouro, princípios tecnologias e meio ambiente**. Capítulo 1. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, maio/2002.

PROJECT MAPBIOMAS - **Collection 3.1 of Brazilian Land Cover & Use Map Series**, accessed on 13/04/2021 through Global Forest Watch.
www.globalforestwatch.org

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Acessado em 30 de janeiro de 2021 através do link: <http://Mapbiomas.org>.

RHI MAGNESITA. Página oficial da empresa. Disponível em: <https://www.rhimagnesita.com/pt/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

RIMA. Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente: Projeto C1-Santaluz. Yamana Gold, 2005. Disponível em: http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/RIMA_projeto_santa_luz_parte1.pdf. Acesso em 20 de setembro de 2021

RODRIGUES, Antônio Fernando da Silva; HEIDER, Mathias; FONSECA, David Siqueira. **O bem mineral: Cobre.** DNPM. Brasília/DF. 2010. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3982. Acesso em: 03 de maio de 2021.

SANT'AGOSTINO, Lilia Mascarenhas. **Boletim do Setor Mineral 2020,** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia (MME), 5ª edição, Brasília, 2020.

SANTANA, Paulo Ribeiro de - **Arrecadação da CFEM 2018 até julho.** Arrecadação da CFEM por superintendência, ANM, DF. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/planilhas/estatisticas/arrecadacao-cfem/arrecadacao-da-cfem-por-superintendencias-2018-ate-janeiro>, 2018. Acesso em: 13 de agosto de 2018

SIGMINE - **Sistema de Informações Geográficas da Mineração,** Acesso em: 26/04/202, através do link: <https://geo.anm.gov.br>

SILVA, Ricardo Gaiotti. - **As atividades de mineração e o desenvolvimento sustentável.** Direito ambiental, Conteúdo Jurídico, 2016. Disponível em: <http://conteudojuridico.com.br/consulta/Artigos/47749/as-atividades-de-mineracao-e-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

SONTER, Laura J.; HERRERA, Diego; BARRETT, Damian J. *et all.:* - **Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon.** Nature Communications, DOI: 10.1038/s41467-017-00557-w, 2017.

SONTER, Laura J.; MORAN, Chris J.; BARRETT, Damian J.; *et al.*: **Processes of land use change in mining regions**. Journal of Cleaner Production, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.084>

SOUZA, Camila Reis; PORTO, Paula Marques B. V.; CHAVES, Joselisa Maria; CASTRO, Paulo de Tarso A. *et al.*: - **Estudo bibliométrico sobre a identificação de áreas mineradas utilizando Google Earth Engine**. in: anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. Anais eletrônicos: São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/estudo-bibliometrico-sobre-a-identificacao-de-areas-mineradas-utilizando-google-earth-engine>> Acesso em: 28 de janeiro de 2020.

TRADINGVIEW. **Gold**. Disponível em: <https://br.tradingview.com/chart/7FT7zxAs/?symbol=TVC%3AGOLD>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

TURUBANOVA, S., POTAPOV, P.V., TYUKAVINA, A. and HANSEN, M.C., 2018. **Ongoing primary forest loss in Brazil, Democratic Republic of the Congo, and Indonesia**. Environmental Research Letters, 13(7), p.074028. Accessed through Global Forest Watch on 13/04/2021. www.globalforestwatch.org.

WINGE, M. et. al. 2001 - **Glossário Geológico Ilustrado**. SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. CPRM. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/> Acesso em: 06 de maio de 2021.

XILOLITE. Página oficial da empresa. Disponível em: <https://www.xilolite.com.br/produto.html>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 2.3 do MapBiomas

LEGENDA	LEGEND	Valor do Pixel
1. Floresta	1. Forest	1
1.1. Florestas Naturais	1.1. Natural Forests	2
1.1.1. Formações Florestais	1.1.2. Forest Formations	3
1.1.2. Formações Savânicas	1.1.2. Savanna Formations	4
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5
1.2. Florestas Plantadas	1.2. Forest Plantation	9
2. Formações Naturais não Florestais	2. Non-Forest Natural Formations	10
2.1. Áreas Úmidas Naturais não florestais	2.1. Non-forest wetlands	11
2.2. Vegetação Campestre (Campos)	2.2. Grasslands	12
2.3. Outras formações não florestais	2.3. Other non-forest natural formations	13
3. Uso Agropecuário	3. Farming	14
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18
3.3. Agricultura ou Pastagem	3.3. Agriculture or Pasture	21
4. Áreas não vegetadas	4. Non-vegetated areas	22
4.1. Praias e dunas	4.1. Dunes and Beaches	23
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24
4.3. Outras áreas não vegetadas	4.3. Other non-vegetated areas	25
5. Corpos D'água	5. Water bodies	26
6. Não observado	6. Non Observed	27

Nota: No processo da construção da Coleção 2.3 houveram algumas interações e testes antes de fechar a legenda final. Numa das interações haviam mais classes na legenda em teste. Foi identificado que em algumas cartas de alguns anos sobraram resíduos da legenda da versão intermediária. Caso identifique os códigos 6, 7 e 8 eles correspondem ao código 3 (Formações Florestais)

Note: In the process of constructing Collection 2.3 there were some interactions and tests before closing the final legend. In one of the interactions there were more classes in the legend under test. It was identified that in some letters of a few years left residues of the legend of the intermediate version. If you identify codes 6, 7 and 8 they correspond to code 3 (Forest Formations).

Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 3 do MapBiomas

COLEÇÃO 3 - PORTUGUÊS	COLLECTION 3 - ENGLISH	NEW ID
1. Floresta	1. Forest	1
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3
1.1.2. Formação Savanica	1.1.2. Savanna Formation	4
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10
2.1. Área Úmida Natural não Florestal	2.1. Wetland	11
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland Formation	12
2.3. Apicum	2.3. Salt flat	32
2.4. Outra Formação Natural não Florestal	2.3. Other non forest natural formation	13
3. Agropecuária	3. Farming	14
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18
3.2.1. Cultura Anual e Perene	3.2.1. Annual and Perennial Crop	19
3.2.2. Cultura Semi-Perene	3.2.2. Semi-Perennial Crop	20
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21
4. Área não vegetada	4. Non vegetated area	22
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24
4.3. Afloramento Rochoso	4.3. Rocky outcrop	29
4.4. Mineração	4.4. Mining	30
4.5. Outra Área não Vegetada	4.5. Other non vegetated area	25
5. Corpos D'água	5. Water	26
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31
6. Não observado	6. Non Observed	27

Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 4 do MapBiomas

COLEÇÃO 4 - PORTUGUÊS	COLLECTION 4 - ENGLISH	NEW ID
1. Floresta	1. Forest	1
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3
1.1.2. Formação Savânica	1.1.2. Savanna Formation	4
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10
2.1. Área Úmida Natural não Florestal	2.1. Wetland	11
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29
2.5. Outra Formação Natural não Florestal	2.5. Other Non Forest Natural Formation	13
3. Agropecuária	3. Farming	14
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18
3.2.1. Cultura Anual e Perene	3.2.1. Annual and Perennial Crop	19
3.2.2. Cultura Semi-Perene	3.2.2. Semi-perennial Crop	20
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21
4. Área não vegetada	4. Non vegetated area	22
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24
4.3. Mineração	4.3. Mining	30
4.4. Outra Área não Vegetada	4.4. Other Non Vegetated Area	25
5. Corpos D'água	5. Water	26
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31
6. Não observado	6. Non Observed	27



Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 5 do MapBiomass

COLEÇÃO 5		ID	Hexadecimal code	COLOR
1. Floresta	1. Forest	1	129912	
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2	1F4423	
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3	006400	
1.1.2. Formação Savânica	1.1.2. Savanna Formation	4	32CD32	
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5	687537	
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9	935132	
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	BBFCAC	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	45C2A5	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	B8AF4F	
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32	968c46	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#FF8C00	
2.5. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13	BDB76B	
3. Agropecuária	3. Farming	14	FFFFB2	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	FFD966	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	E974ED	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	D5A6BD	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soy bean	39	c59ff4	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar Cane	20	C27BA0	
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.3. Other Temporary Crops	41	e787f8	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	f3b4f1	
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21	fff3bf	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	EA9999	
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23	DD7E6B	
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24	aa0000	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	af2a2a	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other Non Vegetated Areas	25	FF99FF	
5. Corpos D'água	5. Water	26	0000FF	
5.1. Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	0000FF	
5.2. Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	29EEE4	
6. Não Observado	6. Non Observed	27	D5D5E5	

[continua na próxima página com mapas de desmatamento e regeneração, qualidade da pastagem e irrigação]

Desmatamento e Regeneração / Deforestation and Regeneration

O valor de cada pixel é calculado pela seguinte fórmula:

$$("Classe\ do\ desmatamento") * 100 + ("id\ da\ classe\ de\ uso")$$

Os códigos representados no algarismo da centena são:

- 1 - **Antrópico** - não era vegetação nativa nos três anos anteriores
- 2 - **Vegetação Secundária** - área de vegetação secundária existente até o ano anterior (acumulado)
- 3 - **Vegetação Primária** - área de vegetação primária - existente pré 1988
- 4 - **Supressão Vegetação Primária** - área de supressão de vegetação nativa primária no ano
- 5 - **Recuperação** - área de recuperação/regeneração de vegetação nativa secundária/plantada detectada no ano
- 6 - **Supressão Vegetação Secundária** - área de supressão de vegetação nativa secundária no ano
- 7 - **Não se aplica**

Exemplos do Código:

- 115 = antrópico na classe de pastagem
- 203 = vegetação primária na classe de floresta
- 212 = vegetação primária na classe de formações campestres
- 303 = vegetação secundária na classe de floresta
- 404 = supressão de vegetação primária da classe de savana
- 503 = recuperação para vegetação secundária para classe de floresta
- 604 = supressão de vegetação secundária de savana
- 703 = ruído de transição (todas as classes acima 700 devem ser desprezadas)

The value of each pixel is calculated using the following formula:

$$("Deforestation\ class") * 100 + ("use\ class\ id")$$

The codes represented in the hundredth digit are:

- 1 - **Anthropic** - it was not native vegetation in the previous three years
- 2 - **Secondary Vegetation** - area of secondary vegetation existing up to the previous year (accumulated)
- 3 - **Primary Vegetation** - area of primary vegetation - existing pre 1988
- 4 - **Suppression of Primary Vegetation** - area of suppression of primary native vegetation in the year
- 5 - **Recovery** - area of recovery / regeneration of secondary / planted native vegetation detected in the year
- 6 - **Suppression of Secondary Vegetation** - area of suppression of secondary native vegetation in the year
- 7 - **Not applicable**

Code Examples:

- 115 = anthropic in the pasture class
- 203 = primary vegetation in the forest class
- 212 = primary vegetation in the class of rural formations
- 303 = secondary vegetation in the forest class
- 404 = suppression of primary vegetation of the savanna class
- 503 = recovery for secondary vegetation for forest class
- 604 = suppression of secondary savanna vegetation
- 703 = transition noise (all classes above 700 should be disregarded)

Irrigação (BETA) / Irrigation (BETA)

- [1] Center-pivot irrigation
- [2] Other irrigation systems

Qualidade da Pastagem (BETA) / Quality of Pasture (BETA)

- [1] Strong
- [2] Medium
- [3] Low
- [4] Absent



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomás	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
Floresta	Floresta Natural	Formação Florestal	Amazônia	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.	Da, Db, Ds, Dm, Ha, Hb, Hs, Ld, La, Aa, Ab, As, Am, Fa, Fb, Fs, Fm, Ca, Cb, Cs, Cm, Vsp	FDP, FEP, FSP, FEM, FDM, FSM	FMN, FM, FSec	
			Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.	Td, Cs, Cm, Fm, Fs, Pa, As, Fb, Pf, Pm, Fa, Cb, Ds, Am, Ab, Sd	FEP, FEM	FMN, FM	
			Cerrado	Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008), além de florestas estacionais semidecíduais.	Aa, Ab, As, Cb, Cm, Cs, Da, Dm, Ds, F, Ml, Mm, P, Sd, Td	FEP, FDP, FSP	FMN, FM	
			Mata Atlântica	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.	D, A, M, F, C, Pma	FEP, FSP	FMN, FM	
			Pampa	Vegetação com espécies arbóreas ou arbóreo-arbustivas, com predomínio de dossel contínuo. Inclui as tipologias florestais: ombrófila, decidual e semidecidual e parte das formações pioneiras.	Da, Db, Ds, Dm, Ma, Ms, Mm, Ml, Fa, Fb, Fs, Fm, Ca, Cb, Cs, Cm, P, Pa, Pm	FEP, FDP, FSP	FMN, FM	
			Pantanal	Árvores altas e arbustos no estrato inferior: Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, Savana Florestada, Savana-Estépica Florestada e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre.	Ca, Cb, Cs, Fa, Fb, Fs, SN, Sd, Td, Pa	FEP, FSP	FMN, FM	
		Amazônia	Formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente (classe mapeada somente no Ecótono Amazônia/Cerrado).	Sa, Ta	WS	FMN, FM		



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomias	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
	Formação Savânica			Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo - Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.	Ta, Sa,	FDP, FSP, FDM, FSM	FMN, FM
				Cerrado	Formações savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).	Sa, Ta	WS	FMN, FM
				Mata Atlântica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.	Sd, Td, Sa, Ta	FDP, FSP, WS	FMN, FM
				Pantanal	Espécies arbóreas de pequeno porte, distribuídas de forma esparsa e dispostas em meio à vegetação contínua de porte arbustivo e herbáceo. A vegetação herbácea se mistura com arbustos eretos e decumbentes.	Sa, Sp, Sg, Td, Ta, Tp	FDP, FSP, WS	FMN, FM
	Mangue	Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal	Pf	FEP, FEM	FMN, FM			
	Floresta Plantada				Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária)	R	FPB, FPC, FPM	Ref
Campo Alagado e Área Pantanosa				Mata Atlântica	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	Pa	OM	GNM, GM, GSec
				Pampa	No Pampa esta classe corresponde às áreas pantanosas, denominadas regionalmente de banhados ou marismas (influência salina). Caracterizam-se pela ocorrência de plantas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes. Ocupam planícies e depressões do terreno com solo encharcado e também as margens rasas de lagoas ou reservatórios de água.	P, Pa, Pm	OM	GNM, GM, GSec
				Pantanal	Vegetação herbácea com predomínio de gramíneas sujeitas ao alagamento permanente ou temporário (pelo menos uma vez ao ano) de acordo com os pulsos naturais de inundação. O elemento lenhoso pode estar presente sobre a matriz campestre formando um mosaico com plantas arbustivas ou arbóreas (ex: cambarazal, paratudal e carandazal). As áreas pantanosas ocorrem geralmente nas margens das lagoas temporárias ou permanentes ocupadas por plantas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes (ex: brejos e baceiros). Áreas com superfície de água, mas de difícil classificação devido a quantidade de macrófitas, eutrofização ou sedimentos, também foram incluídas nesta categoria.	Tg, Sp, Pa, Tp	OM	GNM, GM, GSec



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomás	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
Formação Campestre				Amazônia	Savana, Savana Parque (Marajó), Savana-Estépica (Roraima), Savana Gramíneo-Lenhosa, Campinarana, para regiões fora do Ecótono Amazônia/Cerrado. E para regiões dentro do Ecótono Amazônia/Cerrado predominância de estrato herbáceo.	Sa, Sp, Sg, Ta, Tp, Tg	WG, OG, WS	GNM, GM, GSec
				Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva).	Tp, Sg, Rm, Sp, Tg, RI	WG, OG, WS	GNM, GM, GSec
				Cerrado	Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como Parque de Cerrado e Cerrado rupestre.	Sp, Sg, Tp, Tg	WG, OG	GNM, GM, GSec
				Mata Atlântica	Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.	Sp, Sg, Tp, Tg, E, Pa	WS,OG	GNM, GM, GSec
				Pampa	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de dicotiledôneas herbáceas e subarbustivas. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Ocorrem em solos profundos até solos rasos, incluindo terrenos rochosos (campos rupestres) e arenosos (campos arenosos ou psamófilos). Ocupam desde solos bem drenados (campos mésicos), até solos com maior teor de umidade (campos úmidos - com presença marcante de ciperáceas). Na maioria dos casos corresponde à vegetação nativa, mas podem estar presentes manchas de vegetação exótica invasora ou exóticas de uso forrageiro (pastagem plantada).	E, Ea, Ep, Eg, T, Ta, Tp, P, Pa, Pm	WG, OG	GNM, GM, GSec



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomás	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
				Pantanal	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de arbustivas isoladas e lenhosas raquíticas. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada) podem estar presentes formando mosaicos com a vegetação nativa.	Sg, Sp, Ta, Tg	WG, OG	GNM, GM, GSec
	Apicum				Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.	Pf, Pfh	OM, OX	O
	Afloramento Rochoso			Caatinga	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade	Ar	OX	
				Mata Atlântica	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade	Ar	OX	
				Pampa	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola	Ar	OX	
	Outras Formações não Florestais			Mata Atlântica	Vegetação herbácea com influência fluviomarinha	Pfh	WS	GNM, GM, GSec
	Pastagem				Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.	AP, PE, PS	OP, OG	Ap
	Lavoura Temporária	Soja		Áreas cultivadas com a cultura da soja (a partir do ano de 2000)	AMc (s)	OCA	Ac	
		Cana		Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar	AMc (c)	OCA	Ac	
		Outras Lavouras Temporárias		Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir. Os mapas anteriores ao ano de 2000 incluem lavouras de soja.	AMc	OCA	Ac	



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomias	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
Agropecuária	Agricultura	Lavoura Perene (versão BETA)			Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Essa primeira versão é proveniente de um esforço inicial para separar as classes com tipos de lavouras, com dinâmicas distintas, que estavam unificadas na coleção 4.1 como "Cultura Anual e Perene". Desta forma, a área inicial do mapeamento dessa classe limita-se a mesma área da classe "Agricultura" publicada na coleção 4.1.	AMp	OCP	Ac
		Mosaico de agricultura e pastagem		Caatinga	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc	OCA, OCM, OP, OG	Ac, Ap
	Mata Atlântica			Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc	OCA, OCM, OP, OG	Ac, Ap	
	Área Não Vegetada	Praia e Duna				Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.	Dn	
Infraestrutura Urbana				Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.	AU		S	
Mineração				Áreas referentes a extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ação de maquinário pesado. Somente são consideradas áreas próximas a referencia da digital da AhkBrasilien (AHK) e do CPRM.	MCA	OQ	O	
Outras Áreas não Vegetadas			Amazônia	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes	AU, MCA		S, O	
			Cerrado	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entresafra.	AU, MCA		S, O	
			Mata Atlântica	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.	AU, MCA		S, O	
			Pampa	Classe mista que contempla áreas naturais e áreas antropizadas. As áreas naturais incluem superfícies arenosas expostas incluindo principalmente praias fluviais e areais. As áreas antropizadas incluem superfícies não permeáveis (estradas e infra-estrutura de empreendimentos rurais).	Dn, AU	OX, OB	S, O	



MAPBIOMAS [BR]

DESCRIÇÃO DA LEGENDA - COLEÇÃO 5.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomias	Descrição	Classes IBGE	Classes FAO	Classes Inventário Nacional de Emissões de GEE
				Pantanal	Áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificadas na classe de Formação Campestre ou Pastagem.	PE, Sg	OX	Ap, GNM, GSec
Corpos D'água	Rio, Lago e Oceano				Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água		IRP, IRS, IL, ID	A, Res
	Aquicultura				Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura			
Não Observado					Áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação			NO

Referências: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico de uso da terra, IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 1999, 58p.; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira, 2nd ed., IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 2012. pp.157-160; Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Manual for integrated field data collection. FAO: Rome, Italy, 2012, 175p.; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Brasília, 2016, Volume 3, 333p.



**Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas
na Coleção 5 do MapBiomias**

COLEÇÃO 6 - PORTUGUÊS	Collection 6 Classes	NEW ID	Número da Cor	
1. Floresta	1. Forest	1	#129912	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#006400	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#00ff00	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#687537	
1.4. Restinga Arborizada (beta)	1.4. Wooded Restinga	49	#6b9932	
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	#bbfcac	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#45c2a5	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#b8af4f	
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32	#968c46	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#665a3a	
2.5. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13	#f1c232	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#ffffb2	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#ffd966	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#e974ed	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#d5a6bd	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#e075ad	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#c27ba0	
3.2.1.3. Arroz (beta)	3.2.1.3. Rice	40	#982c9e	
3.2.1.4. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.4. Other Temporary Crops	41	#e787f8	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#f3b4f1	
3.2.2.1. Café (beta)	3.2.2.1. Coffee	46	#cca0d4	
3.2.2.2. Citrus (beta)	3.2.2.2. Citrus	47	#d082de	
3.2.2.3. Outras Lavouras Perenes	3.2.2.3. Other Perennial Crops	48	#cd49e4	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#ad4413	
3.4. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.4. Mosaic of Agriculture and Pasture	21	#fff3bf	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	#ea9999	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#dd7e6b	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#aa0000	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#af2a2a	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#ff3d3d	
5. Corpo D'água	5. Water	26	#0000ff	
5.1. Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#0000ff	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#02106f	
6. Não observado	6. Non Observed	27	#D5D5E5	