



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos

Ana Maria Lopes Bragança Silva

**Ferramentas online de mapeamento para apoio à gestão de recursos
hídricos: estudo de caso de mapeamento temporal de uso e cobertura do
solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2022

Ana Maria Lopes Bragança Silva

Ferramentas online de mapeamento para apoio à gestão de recursos hídricos: estudo de caso de mapeamento temporal de uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

S586 Silva, Ana Maria Lopes Bragança.
Ferramentas online de mapeamento para apoio à gestão de recursos hídricos: estudo de caso de mapeamento temporal de uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro/ Ana Maria Lopes Bragança Silva. – 2022.
60 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis Dourado da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Recursos hídricos – Administração – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 2. Sensoriamento remoto – Processamento de dados– Teses. 3. Bacias hidrográficas – Administração – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 4. Guanabara, Baía de (RJ) – Teses. 5. Solo urbano – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. I. Silva, Francisco de Assis Dourado da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 556.18(815.3)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7: 5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ana Maria Lopes Bragança Silva

Ferramentas online de mapeamento para apoio à gestão de recursos hídricos: estudo de caso de mapeamento temporal de uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em 31 de agosto de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Hugo Portocarrero
Instituto de Geografia - UERJ

Prof. Dr. Tiago Badre Marino
Instituto de Geociências - UFRRJ

Rio de Janeiro

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer o apoio da minha família e amigos, especialmente do meu marido Saulo Francesconi do Valle. Seu suporte nos momentos mais delicados foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado, e a todos os professores e corpo técnico do ProfÁgua/UERJ que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.

Aos colegas do ProfÁgua/UERJ pelos conhecimentos que trocamos e apoio mútuo em todos os momentos, inclusive nos longos meses de pandemia, em especial à Juliana dos Anjos e ao Marcelo Danilo Bogalhão.

Aos meus colegas da Planet, em especial à Carolina Bermudez e à Jen Gusmann pela confiança que sempre depositaram em mim. Ad astra!

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

A utopia está lá no horizonte. Se eu caminho dez passos, ela se afasta dez passos. Quanto mais eu tento buscá-la, menos a encontrarei porque ela vai se afastando à medida que eu me aproximo. Para que serve a utopia? Pois a utopia serve para isso, para caminhar.

Fernando Birri

RESUMO

SILVA, Ana Maria Lopes Bragança. *Ferramentas online de mapeamento para apoio à gestão de recursos hídricos: estudo de caso de mapeamento temporal de uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro*. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

A bacia hidrográfica, como a unidade territorial para a gestão de recursos hídricos, pode sofrer impactos como consequência à ocupação humana e desenvolvimento de suas atividades, ligadas à produção agrícola e industrial, geração de energia, abastecimento humano, saneamento, entre outros. De modo complementar às alterações na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos, também se percebe alterações no uso e cobertura do solo na área das bacias hidrográficas. O estado do Rio de Janeiro, para fins de gestão, tem seu território dividido em nove regiões hidrográficas, cada uma possuindo um comitê de bacia e uma entidade delegatária exercendo a função de agência de água. A disponibilidade de recursos para realização da gestão nas regiões hidrográficas muitas vezes não é suficiente para condução de estudos a respeito do uso e cobertura do solo nessas áreas. Por outro lado, há uma variedade de ferramentas gratuitas e online para condução de análises ambientais diversas. Assim, a partir desse contexto, pretende-se implementar, no presente estudo, o uso de ferramenta online para mapeamento temporal do uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas do Rio de Janeiro como um instrumento de gestão local. A proposta parte do desenvolvimento de uma aplicação no Google Earth Engine (GEE), em que será elaborado um *script* no para que seja realizada a análise temporal do uso do solo com uso do repositório de imagens do Programa de Dados de Satélite da Iniciativa Internacional sobre Clima e Florestas da Noruega (do inglês, NICFI Satellite Data Program). O desenvolvimento dessa aplicação terá como área piloto a Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, que concentra a maior densidade populacional do estado. A partir dessa iniciativa, será desenvolvido um manual para que os gestores locais possam realizar suas próprias análises na plataforma, segundo os seus parâmetros de interesse, como área de análise, classes de uso de solo, entre outros. O desenvolvimento de uma ferramenta passível de ser aplicada diretamente pelos gestores locais pode auxiliar a superar um dos gargalos encontrados relacionados à falta de recursos e de mão de obra especializada para a condução de análises relacionadas a esse tipo de mapeamento. Assim, pretende-se contribuir para que as tecnologias atuais de sensoriamento remoto sejam cada vez mais incorporadas aos níveis locais de gestão.

Palavras-chave: Google Earth Engine. Uso e Cobertura do Solo. Região Hidrográfica. NICFI.

ABSTRACT

SILVA, Ana Maria Lopes Bragança. *Online mapping tools to support water resources management: a case study of temporal mapping of land use and land cover in the hydrographic regions of Rio de Janeiro*. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The hydrographic basin, as the territorial unit for the management of water resources, can suffer impacts because of human occupation and development of its activities, such as agricultural and industrial production, energy generation, and sanitation, among others. In addition to changes in the quality and quantity of water resources, changes in land cover and use in hydrographic basins can also be seen. The state of Rio de Janeiro, for management purposes, has its territory divided into nine hydrographic regions, each with a basin committee and a delegated entity acting as a water agency. Frequently, the availability of resources to carry out management in hydrographic regions is not enough to conduct studies on land use and land cover in these areas. On the other hand, there are a variety of free and online tools for conducting various environmental analyses. Thus, from this context, it is intended to implement, in the present study, the use of an online tool for temporal mapping of land use and land cover in the hydrographic regions of Rio de Janeiro as a local management tool. The proposal starts from the development of an application in Google Earth Engine (GEE), in which a script will be elaborated to carry out the temporal analysis of land use and land cover using the image repository of the Norway's International Climate and Forests Initiative (NICFI) Satellite Data Program. The development of this application will have the Hydrographic Region V - Guanabara Bay as a pilot area. Based on this initiative, a manual will be developed so that local managers can carry out their analyzes on the platform, according to their parameters of interest, such as analysis area, land use and land cover classes, among others. The development of a tool that can be applied directly by local managers can help to overcome one of the bottlenecks found related to the lack of technical and specialized human resources to conduct land use and land cover mappings. Thus, it is the purpose of this project to help ensure that current remote sensing technologies are increasingly incorporated at local management levels.

Keywords: Google Earth Engine. Land Use and Land Cover. Hydrographic Region. NICFI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ODS aplicados ao escopo do trabalho.....	12
Figura 2 – Plataformas em sensoriamento remoto	15
Figura 3 – Bandas espectrais	16
Figura 4 – Exemplos de uso dos dados do NICFI.....	19
Figura 5 – Geografias com disponibilidade dos dados do NICFI	20
Figura 6 – Esquema das árvores de decisão do modelo Random Forest.....	21
Figura 7 – Representação do funcionamento do GEE.....	22
Figura 8 – Painéis do GEE	23
Figura 9 – Principais temas em artigos com uso do GEE	24
Figura 10 – Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro.....	25
Figura 11 – Bacias Hidrográficas Compartilhadas.....	26
Figura 12 – Área de estudo.....	30
Figura 13 – Uso do solo na Região Hidrográfica V	32
Figura 14 – Pontos amostrais utilizados	33
Figura 15 – Dados de saída para a imagem selecionada em 2022	38
Figura 16 – Visualização da análise realizadas para os anos de 2016 a 2022.....	40
Figura 17 – Gráfico gerado a partir da classificação da imagem de 2022.....	40
Figura 18 – Variação do uso e cobertura do solo para os anos de 2016 a 2022.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices espectrais	17
Tabela 2 – Características gerais das imagens PlanetScope.....	18
Tabela 3 – Características gerais dos basemaps do NICFI.....	31
Tabela 4 – Índices utilizados no estudo.....	32
Tabela 5 – Valores médios matriz de confusão.....	36
Tabela 6 – Uso e Cobertura do Solo para 2018 após classificação no GEE	41
Tabela 7 – Uso e Cobertura do Solo segundo CAR 2018	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAR	Cadastro Ambiental Rural
CART	Classification & Regression Trees
EVI	Índice de Vegetação Realçado
GCVI	Índice de Vegetação de Clorofila Verde
GEE	Google Earth Engine
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Umidade por Diferença Normalizada
NICFI	Norway's International Climate and Forests Initiative
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PERHI-RJ	Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro
RF	Random Forest
RH	Região Hidrográfica
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SEGRHI	Sistema Estadual do Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Razão Simples
SVM	Support Vector Machines
UHP	Unidade Hidrológica de Planejamento

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1 Sensoriamento Remoto	14
1.2 Random Forest	20
1.3 Google Earth Engine e suas Aplicações	22
1.4 Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro	25
1.5 Uso e cobertura do solo nas Regiões Hidrográficas	27
2 METODOLOGIA	29
2.1 Área de Estudo	29
2.2 Dados Utilizados no Estudo	30
2.3 Procedimentos Metodológicos	32
3 RESULTADOS	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE – Manual para utilização da ferramenta	50

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica, como unidade territorial para a gestão de recursos hídricos, pode sofrer impactos como consequência da ocupação humana e do desenvolvimento de suas atividades, ligadas à produção agrícola e industrial, geração de energia, abastecimento humano, saneamento, entre outros. Verifica-se um impacto direto das alterações no uso e cobertura do solo na região das bacias hidrográficas na qualidade e quantidade dos recursos hídricos (MELLO et. al, 2020).

A gestão das águas no estado do Rio de Janeiro é realizada através da divisão do território em nove Regiões Hidrográficas (RHs), cada uma possuindo um comitê de bacia e uma entidade delegatária exercendo a função de agência de água (INEA, 2022). O modelo de gestão das águas adotado no país não garantiu uma boa governança dos recursos hídricos, sendo verificados, entre outros, a falta de recursos financeiros, dados e informações, assim como a ausência de integração da gestão com o conhecimento científico (MESQUITA, 2018).

Uma consequência disso é a falta de padrão nos mapeamentos e estudos a respeito do uso e cobertura do solo nas áreas das RHs, verificando-se a adoção de diferentes metodologias e periodicidades na produção das informações, como será demonstrado ao longo desse estudo.

Por outro lado, há recursos gratuitos e online para condução de análises ambientais, como o Google Earth Engine (GEE), que dispensam o uso de ferramentas complexas ou de uma infraestrutura robusta, dando maior agilidade e tempestividade na obtenção de informações espaciais relativas a uma determinada área.

Assim, a partir desse contexto, em que se verifica a necessidade de maior integração e sistematização dos recursos científicos disponíveis com a gestão dos recursos hídricos, o presente estudo tem como objetivo geral implementar o uso de ferramenta online para mapeamento temporal do uso e cobertura do solo nas Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro como um instrumento de gestão local.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- a) desenvolver uma aplicação no Google Earth Engine (GEE) para mapeamento temporal de uso e cobertura do solo;
- b) aplicar a ferramenta de análise temporal de uso e cobertura do solo na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro como teste piloto;

- c) elaborar um manual para o uso da tecnologia como um instrumento de gestão local nas Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.

Entre as diretrizes gerais citadas para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, segundo a Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997), consta a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo. Assim, o mapeamento temporal do uso e cobertura do solo torna-se relevante na gestão das bacias hidrográficas. Atua, portanto, de forma complementar à gestão da qualidade e da quantidade da água, à gestão ambiental, à gestão das diversidades locais, entre outros, impactando, conseqüentemente, na gestão que se faz do território, em nível municipal, estadual e federal.

O desenvolvimento de uma ferramenta passível de ser aplicada diretamente pelos gestores locais pode auxiliar a superar um dos gargalos encontrados relacionados à falta de recursos e de mão-de-obra especializada para a condução de análises relacionadas ao mapeamento do uso e cobertura do solo. Assim, pretende-se contribuir para que as tecnologias atuais de sensoriamento remoto sejam cada vez mais incorporadas aos níveis locais de gestão.

A cobertura vegetal possui um papel relevante no ciclo hidrológico, prestando diversos serviços relacionados à ciclagem de nutrientes, controle de enchentes, estabilização da linha de costa, manutenção da qualidade e quantidade de água, entre outros (BARENBLITT; FATOYINBO, 2020).

A ferramenta apresentada e sua aplicação para acompanhamento do uso e cobertura do solo nas regiões hidrográficas, possui, portanto, aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), constantes na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (IBGE; SECRETARIA ESPECIAL DE ARTICULAÇÃO SOCIAL, 2022). O objetivo 6, que trata de “Água Potável e Saneamento”, possui como indicador (6.6.1) a “Alteração dos ecossistemas aquáticos ao longo do tempo”, que pode ser monitorado através da ferramenta proposta. Além do ODS 6, a ferramenta também apoia o ODS 15, que trata da “Vida Terrestre”, e prevê, entre outros, a gestão e uso sustentável dos ecossistemas terrestres e da água doce e seus serviços (Figura 1).

Figura 1 – ODS aplicados ao escopo do trabalho



Fonte: adaptado de ONU, 2021.

O presente estudo possui cinco capítulos e um apêndice. No primeiro capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica, em que são abordados os conceitos necessários para o desenvolvimento e aplicação da ferramenta. Esse capítulo inicia com as características do produto de sensoriamento utilizado, seguindo para o Random Forest (RF), que é algoritmo usado no modelo de classificação do uso e cobertura do solo. Na sequência, é mostrado como o GEE tem sido utilizado em diferentes pesquisas e aplicações. Por fim, são apresentadas as características das RHs do Rio de Janeiro e a produção de estudos relacionados ao uso e cobertura do solo. No segundo capítulo, há a descrição da metodologia necessária para a concretização dos objetivos apresentados, com maior detalhamento da área de estudo, apresentação dos dados utilizados e descrição dos procedimentos adotados. No terceiro capítulo, são apresentados os resultados da aplicação da ferramenta para a Região Hidrográfica V, as classificações realizadas no GEE e os testes de acurácia conduzidos. No capítulo quatro, são apresentadas as conclusões e os desdobramentos possíveis para o estudo realizado. Por fim, encerrando o trabalho, o apêndice traz o manual para utilização da ferramenta.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

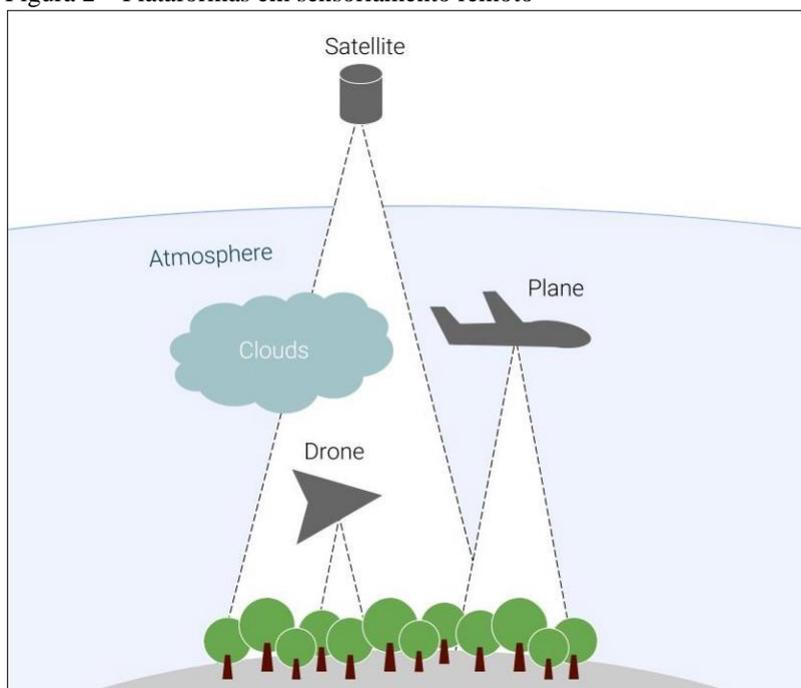
1.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto possibilita a observação de objetos, áreas ou fenômenos sem que se entre em contato direto com eles (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Através dos produtos de sensoriamento remoto, é possível obter informações de áreas extensas e de difícil acesso, observar a mudanças em determinado local ao longo do tempo e verificar as características físicas de uma dada área, entre outros, tendo ampla gama de aplicações.

A radiação eletromagnética capturada pela câmera dos sensores pode ocorrer de forma ativa ou passiva. Na forma ativa, é emitida radiação eletromagnética própria que será refletida pelo alvo e medida pelo sensor. Isso pode ser observado no uso de radares, por exemplo. Por outro lado, na forma passiva, a partir de uma fonte de geração de radiação eletromagnética, como o Sol, o sensor mede a reflexão do alvo (IBGE, 2022).

Os sensores podem ser utilizados em diferentes plataformas, como drones, aviões e satélites. Como pode ser visto na figura a seguir (Figura 2), essas plataformas se posicionam em diferentes altitudes, possuindo também diferentes velocidades. Essas características influenciam nos produtos obtidos, principalmente no que diz respeito à celeridade na obtenção do dado (um drone pode sobrevoar uma área de interesse a qualquer momento, enquanto um satélite não tem tanta flexibilidade), área de captura (a capacidade de cobertura de um satélite é maior que a de um drone, por exemplo), e resolução espacial (WATSON, 2018), que tem avançado cada vez mais nos sensores orbitais, os quais tem gerado produtos com grande nível de detalhe.

Figura 2 – Plataformas em sensoriamento remoto



Fonte: adaptado de WATSON, 2018.

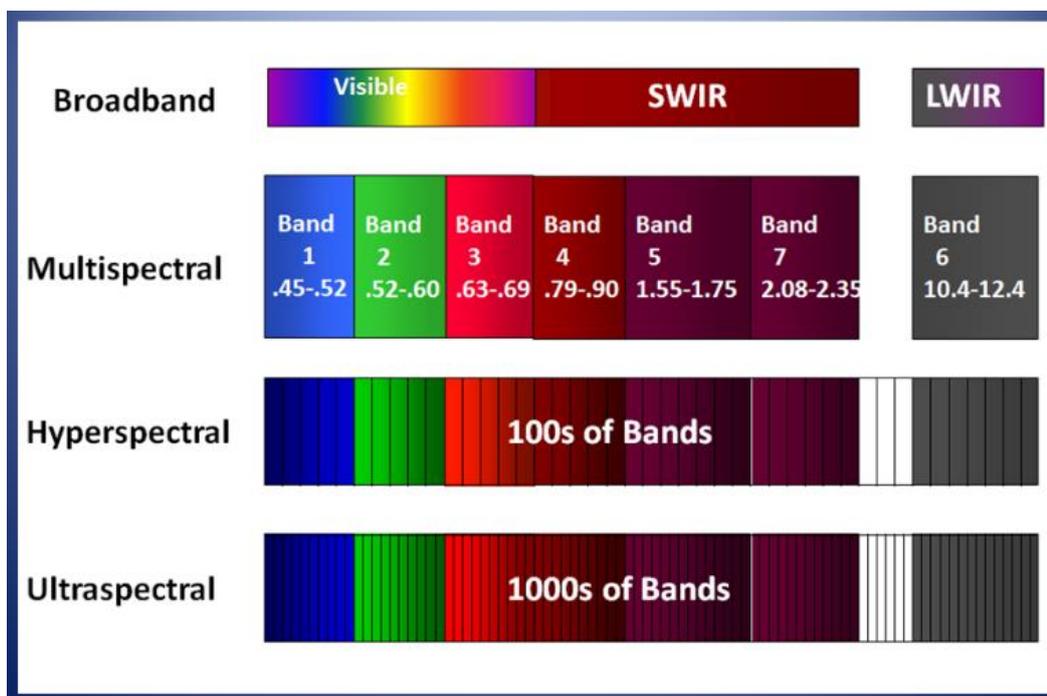
Os produtos gerados em sensoriamento remoto possuem três características principais que devem ser consideradas no momento da escolha do produto de acordo com a aplicação que se pretende fazer, que são: resolução espacial, resolução temporal e resolução espectral.

A resolução espacial é o nível de detalhamento que a imagem apresenta, sendo medida pelo tamanho do *pixel* da imagem. Esse nível de detalhe está intimamente relacionado com os objetos que podem ser diferenciados em uma imagem. Quanto mais alta a resolução espacial, mais nitidez terá a imagem para diferenciação dos objetos na imagem. Por exemplo, imagens com 30 m de resolução espacial permite diferenciar uma área de floresta de uma área agrícola, enquanto em imagem com resolução espacial de 0,50 m é possível quantificar o número de árvores em uma plantação, pois há nível de detalhe muito maior na imagem (RIEBEEK, 2013).

Já a resolução temporal é o tempo de revisita que leva o sensor a fazer capturas de imagens de uma mesma área. Também chamada de cadência, essa frequência de revisita também deve ser considerada na seleção de uma imagem para acompanhamento de determinada atividade. A dinâmica de construção de uma grande infraestrutura, como uma hidrelétrica, talvez não exija grande frequência de revisita para acompanhamento com imagens de satélite. No entanto, atividades ilegais de desmatamento na Amazônia exigem alta cadência de imagens para monitoramento, pois é uma área com cobertura de nuvens frequente (VOILAND, 2019).

Por fim, a resolução espectral relaciona-se a que faixas do espectro eletromagnético o sensor é capaz de obter. As faixas do espectro mais comuns em sensoriamento remoto estão relacionadas aos comprimentos de onda onde está localizado a faixa do visível e do infravermelho em sensores passivos (QUARTAROLI; VICENTE; ARAUJO, 2014). Quanto maior a subdivisão dessas faixas do espectro, maior o número de bandas que o sensor é capaz de gerar (Figura 3), sendo os sensores multiespectrais (com mais de quatro bandas) muito utilizados para diversos tipos de análises e aplicações a partir da combinação de suas bandas espectrais. Já os sensores hiperespectrais e ultraespectrais contam com um número ainda maior de bandas, conferindo maior nível de detalhe aos alvos, podendo revelar a composição dos materiais (INPE, 2022).

Figura 3 – Bandas espectrais



Fonte: adaptado de ALTIGATOR, 2022.

A utilização das bandas espectrais em equações matemáticas, também chamada de álgebra ou matemática de bandas, possibilita a obtenção de índices espectrais com diferentes objetivos. O resultado dessa operação gera novos valores de *pixel* para área em estudo, que podem ser representados em uma nova imagem (QUARTAROLI; VICENTE; ARAUJO, 2014).

Um dos índices espectrais mais conhecidos é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido por Compton Tucker, um pesquisador da NASA, em

1977, visando diferenciar as áreas com vegetação saudável das que não possuem (PLANET, 2022b).

Segundo Jensen (2009), os índices têm como objetivos, entre outros, normalizar ou modelar efeitos externos e internos, como, por exemplo, interferências atmosféricas e variações abaixo do dossel da vegetação, respectivamente, permitindo comparações espaciais e temporais. Alguns desses índices e a matemática de bandas correspondente podem ser visualizados a seguir (Tabela 1):

Tabela 1 – Índices espectrais

Índice	Equação	Referências
Razão Simples (SR)	$SR = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}}$	BIRTH; MCVEY, 1968 apud JENSEN, 2009
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$	ROUSE et al., 1974
Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI)	$NDWI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	MCFEETERS, 1996 apud CHAVES; PICOLI; SANCHES, 2020
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L}$	HUETE, 1988
Índice de Vegetação Realçado (EVI)	$EVI = G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L}$	HUETE et al., 2002
Índice de Vegetação de Clorofila Verde (GCVI)	$GCVI = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{green}} - 1$	GITELSON et al., 2003

Fonte: elaboração própria

Sendo as bandas,

RED = Vermelho

GREEN = Verde

BLUE = Azul

NIR = Infravermelho Próximo

Sendo as constantes,

L (SAVI) = 0,5

L (EVI) = 1

G = 2,5

C₁ = 6

C₂ = 7,5

Diferentemente dos primeiros satélites de imageamento da superfície da Terra, como os satélites Landsat, lançados a partir da década de 1970, que tinham custo bastante elevado e

capacidade limitada de imageamento, os nanossatélites, e, mais recentemente, os CubeSats começaram a ser uma realidade após os anos 2000 (CÉSAR, 2019).

A companhia Planet Labs, criada em 2010 pelos cientistas Chris Boshuizen, Will Marshall e Robbie Schingler, que fizeram parte da NASA, possui atualmente duas constelações de satélite, e tem como filosofia o conceito de *agile aerospace*, ou seja, a companhia utiliza uma tecnologia mais enxuta e com menor custo, permitindo que se inove mais rapidamente em soluções para a indústria aeroespacial (PLANET, 2022f). Resultado direto disso, a constelação constituída pelos satélites Dove, possui cerca de 200 satélites em órbita, tendo somente 10x10x30 centímetros de tamanho, e sendo constantemente renovada por lançamentos periódicos.

As imagens obtidas por essa constelação de satélites são as imagens PlanetScope, que revisitam diariamente toda a superfície da Terra e possuem as características a seguir (Tabela 2):

Tabela 2 – Características gerais das imagens PlanetScope

Característica da Missão		Órbita Sincronizada com o Sol	
Instrumentos	PS2	PS2.SD	PSB.SD
Altitude da Órbita (Referência)	450 - 580 km (~98° inclinação)		475 - 525 km (~98° inclinação)
Hora de Cruzamento no Equador	7:30 - 11:30 (Horário Solar Local)		
Bandas Espectrais	Blue: 455 - 515 nm Green: 500 - 590 nm Red: 590 - 670 nm NIR: 780 - 860 nm	Blue: 464 - 517 nm Green: 547 - 585 nm Red: 650 - 682 nm NIR: 846 - 888 nm	Coastal Blue: 431 - 452 nm Blue: 465 - 515 nm Green I: 513 - 549 nm Green: 547 - 583 nm Yellow: 600 - 620 nm Red: 650 - 680 nm Red-Edge: 697 - 713 nm NIR: 845 - 885 nm
Ground Sample Distance (Nadir)	~3.0 m - 4.1 m		~3.7 m - 4.2 m
Tempo de Revisita	Diário no Nadir		
Capacidade de Captura de Imagens	200 milhões de km ² /dia		
Profundidade de Bits de Imagem	12-bit		
Data de Disponibilidade	Julho 2014 - Abril 2022	Março 2019 - Abril 2022	Março 2020 - presente

Fonte: adaptado de PLANET, 2022g

Sendo as bandas,
Coastal Blue = Azul Costeiro
Blue = Azul
Green I = Verde I
Green = Verde

Yellow = Amarelo
Red = Vermelho
Red-Edge = Borda do Vermelho
NIR = Infravermelho Próximo

Essas imagens são utilizadas para a construção de *basemaps*, que são mosaicos de imagens que contêm os melhores *pixels* de um determinado período. Os *basemaps* mensais construídos a partir das imagens PlanetScope obtidas diariamente são disponibilizados pelo Programa de Dados de Satélite da Iniciativa Internacional sobre Clima e Florestas da Noruega (do inglês, NICFI Satellite Data Program). O programa teve início em 2020, e garante acesso aos dados da Planet para os usuários que se cadastrarem no programa (usuários de nível 1), os quais possuem uma licença para uso não comercial dos dados em apoio à missão do NICFI (PLANET, 2022d). O uso dos dados inclui, entre outros (Figura 4):

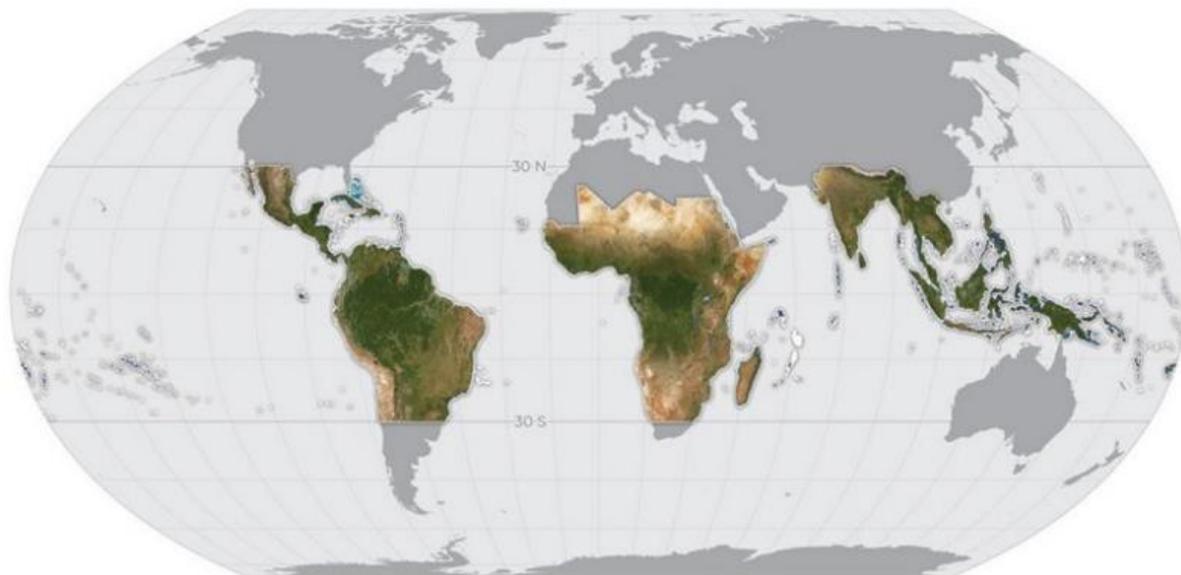
Figura 4 – Exemplos de uso dos dados do NICFI



Fonte: adaptado de PLANET, 2022e.

Os dados disponibilizados pelo NICFI abrangem os países que possuem cobertura florestal na região dos trópicos (entre as latitudes 30° norte e 30° sul), estando disponível nas localidades da figura a seguir (Figura 5). No Brasil, somente o estado do Rio Grande do Sul possui cobertura parcial dos dados, tendo abrangência total em todos os outros estados.

Figura 5 – Geografias com disponibilidade dos dados do NICFI



Fonte: adaptado de PLANET, 2022a.

Conforme mencionado anteriormente, o processamento das imagens diárias PlanetScope em mosaicos gera os *basemaps*, os quais são oferecidos pelo programa através de dois produtos, um visual e outro de analítico normalizado.

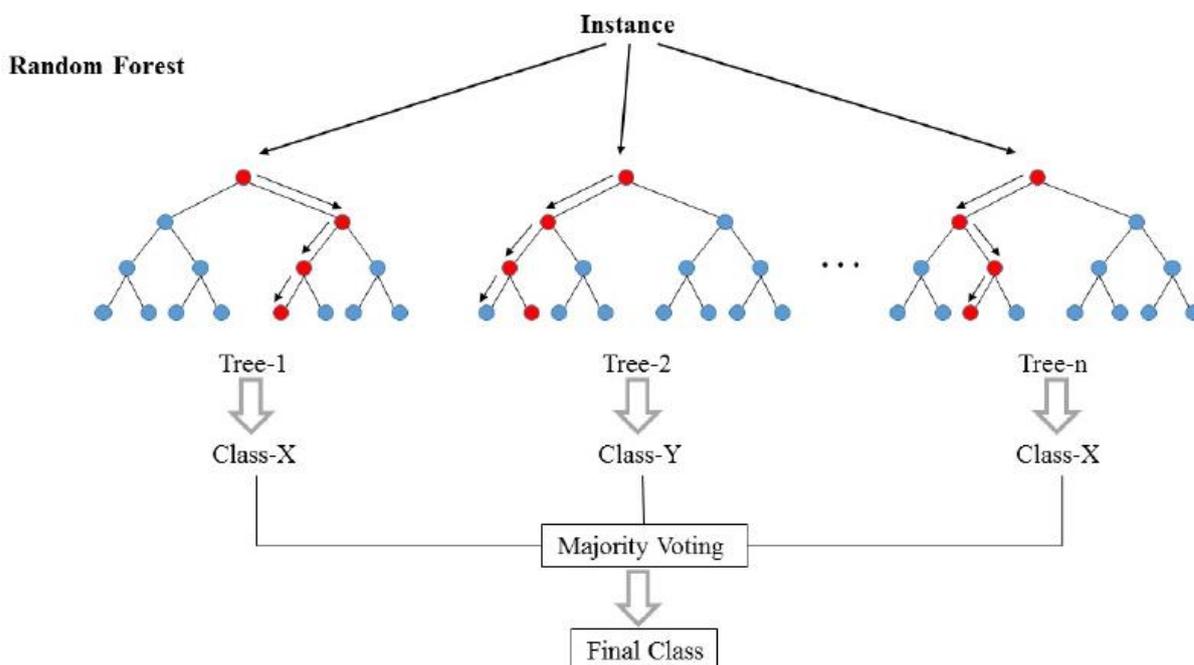
Há uma diferença relevante entre os dois produtos, pois o *basemap* analítico passa por um processo de normalização, o qual reduz a variabilidade na comparação entre cenas, e de remoção da linha de costura, minimizando os limites da cena. Como são técnicas empíricas, os dados não possuem uma precisão radiométrica absoluta, no entanto são dados adequados para usos em que a consistência espacial é prioridade e/ou para uso de dados para treinamento algoritmos de aprendizagem de máquina, como em análises científicas (PLANET, 2022a).

1.2 Random Forest

O algoritmo Random Forest (RF) é utilizado no Google Earth Engine (GEE) com o objetivo de realizar classificação de imagens baseada em *pixel*. O algoritmo utiliza o aprendizado de máquina para a realização da classificação. Com base em estudos realizados em diferentes regiões do mundo em áreas de cultivo, o algoritmo apresenta bons resultados na classificação do uso do solo, inclusive em comparação com outros algoritmos de aprendizado de máquina, como o Support Vector Machines (SVM) e o Classification & Regression Trees (CART) (PHALKE, A. R. et. al, 2020).

O modelo baseado na utilização do algoritmo prevê a definição do número de árvores de decisão (Figura 2) para que seja realizada a classificação, sendo a escolha desse número uma decisão inerente a cada tipo de projeto, área e recursos disponíveis. Depois da geração de um número elevado de árvores, as mais recorrentes (mais votadas) são as selecionadas para classificação (BREIMAN, L., 2001).

Figura 6 – Esquema das árvores de decisão do modelo Random Forest



Fonte: adaptado de PAWAR, 2020.

O algoritmo usa a agregação de *bootstrap*, ou ensacamento, que otimiza o aprendizado de máquina, encontrando a melhor divisão da árvore de decisão e minimizando a correlação entre as árvores. A aplicação do RF fornece uma avaliação interna de acurácia, através da técnica “*out-of-bag*” (OOB), em que cerca de um terço dos dados é utilizado como um conjunto de dados de validação. Os dados resultantes da aplicação do RF podem ser utilizados na condução de uma validação cruzada com dados provenientes de outras fontes independentes (TELUGUNTLA et. al, 2018).

Ainda segundo o mesmo autor, os classificadores do GEE que utilizam o RF realizam a análise com base em seis parâmetros:

- a) número de árvores de classificação;
- b) número de variáveis utilizadas em cada árvore de classificação;
- c) população mínima de “folhas” (nó de término);

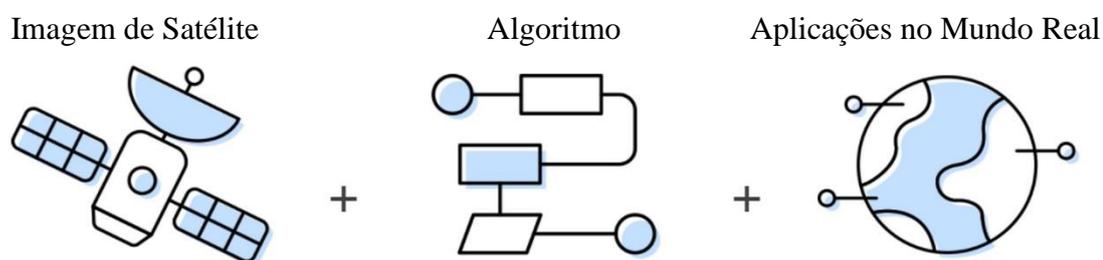
- d) fração ensacada das variáveis de entrada por árvore de decisão;
- e) modo “*out-of-bag*”;
- f) variáveis “semente” aleatórias para a construção da árvore de decisão.

As amostras de entrada são fundamentais para que se obtenha dados de saída satisfatórios em relação à acurácia e à matriz de confusão, sendo importante que se leve em consideração não somente a quantidade de amostras de entrada, mas sua representatividade.

1.3 Google Earth Engine e suas Aplicações

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma online que possui um grande catálogo de imagens de satélite, como Landsat, Sentinel e MODIS, e outros dados geoespaciais hospedados em nuvem, como dados vetoriais, dados de clima, temperatura da atmosfera e modelos digitais de elevação, possibilitando diversas análises em toda a superfície terrestre. Conforme pode ser observado na Figura 7, a plataforma permite que sejam desenvolvidos algoritmos para a implementação de análises nos dados disponíveis. Assim, pode-se obter informações com diferentes objetivos, como para realizar previsões e verificar tendências relacionadas ao clima e temperatura, detectar e quantificar mudanças observadas na cobertura da superfície da Terra, entre outros (GORELICK et. al, 2017). Desta forma, a ferramenta permite universalizar entre cientistas, pesquisadores e usuários de dados resultados de análises e pesquisas espaciais com diferentes objetivos.

Figura 7 – Representação do funcionamento do GEE

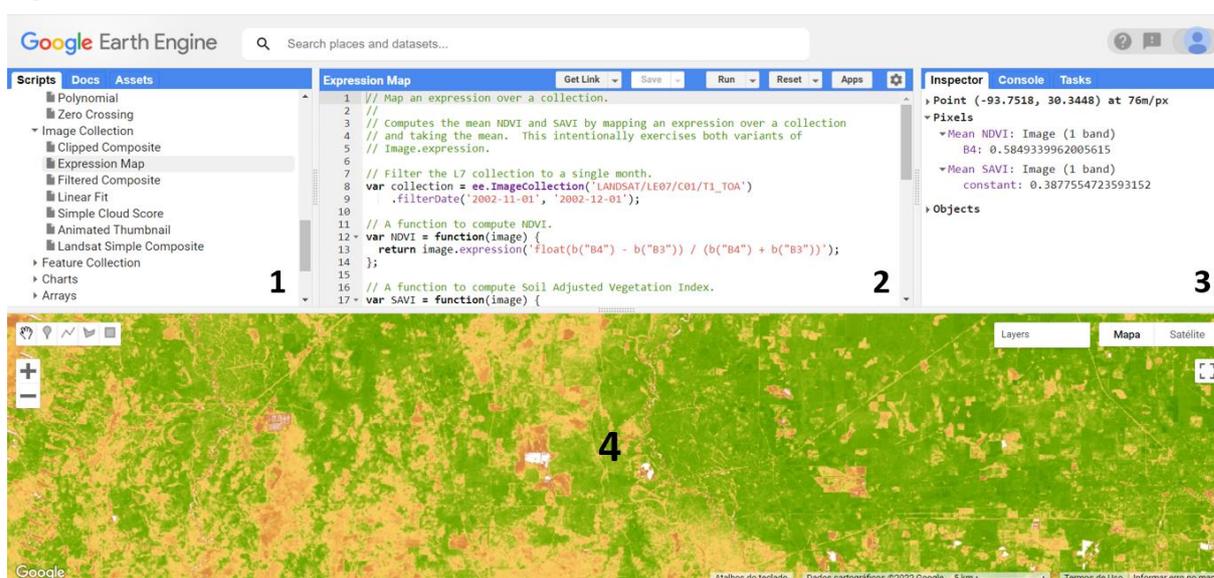


Fonte: adaptado de GOOGLE EARTH ENGINE, 2020.

O ambiente do GEE pode ser visualizado na figura a seguir (Figura 8). Em linhas gerais, há quatro painéis com diferentes funções e que foram numerados na figura para facilitar sua localização. O painel 1 possui três guias, e podem ser visualizados alguns *scripts*

salvos pelo usuário, exemplos, documentação e arquivos (como rasters e arquivos vetoriais) que foram enviados pelo usuário e ficam armazenados em sua conta. O painel 2 é o chamado “code editor” (editor de código) e é o local onde são desenvolvidos os *scripts*. Nesse ambiente, a linguagem de programação utilizada pelo GEE é o Javascript. No painel 3 é possível visualizar os dados de saída após o *script* ser rodado. Por fim, no painel 4, tem-se a informação espacial, que pode ser, por exemplo, uma imagem de satélite em cor natural ou uma imagem classificada (GOOGLE EARTH ENGINE, 2021).

Figura 8 – Painéis do GEE

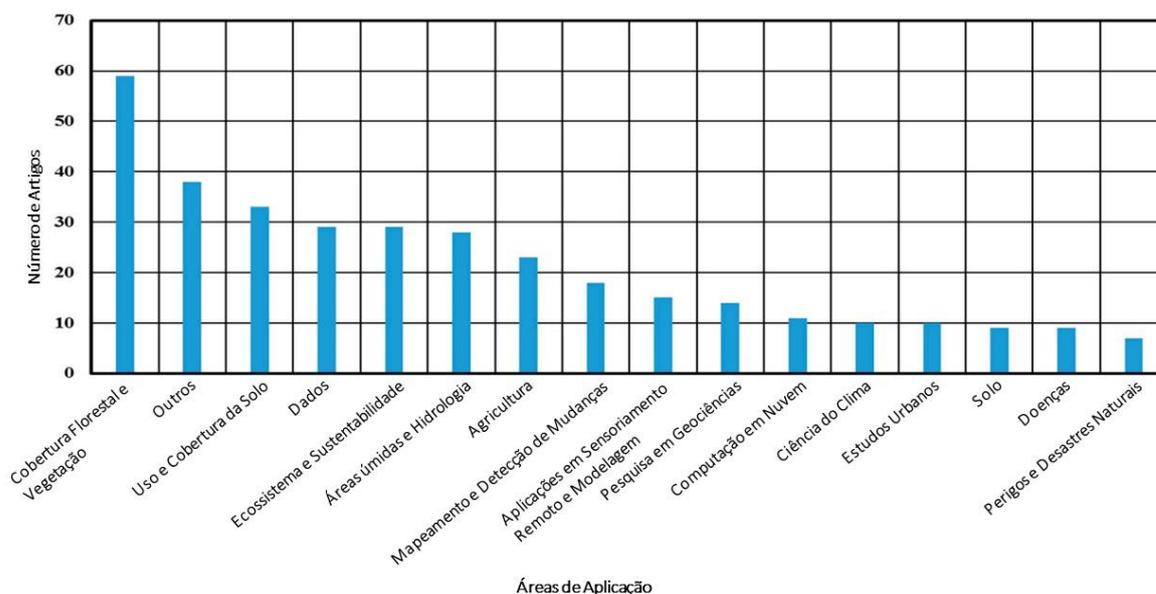


Fonte: elaboração própria, 2022.

A plataforma é gratuita para usos relacionados à pesquisa, educação e atividades sem fins lucrativos, garantindo uma grande capacidade e velocidade de processamento de dados na nuvem, dispensando uso de servidores, *softwares* específicos e processadores locais. Sendo necessário somente um computador básico e uma conexão à Internet. Essa facilidade garante, inclusive, que pessoas em diferentes realidades no mundo tenham oportunidades similares no desenvolvimento de suas análises, mesmo vivendo em contextos totalmente diferentes (KUMAR E MUTANGA, 2018).

Atualmente, há grande quantidade de trabalhos produzidos com a utilização da plataforma. Os temas que se destacam na produção de artigos em nível mundial são relacionados à floresta e vegetação, uso do solo/cobertura da superfície, ecossistema e sustentabilidade e zonas úmidas e hidrologia (Figura 9).

Figura 9 – Principais temas em artigos com uso do GEE



Fonte: adaptado de KUMAR E MUTANGA, 2018.

No contexto nacional, pode-se citar o trabalho de Vale et. al (2020) utilizando o GEE para classificar o uso e cobertura da terra no bioma Amazônia, mais especificamente no município de Conceição do Araguaia, no Pará. Neste estudo, foi utilizado o algoritmo RF na plataforma para a classificação, verificando-se o recrudescimento da fronteira agrícola em detrimento da vegetação nativa.

O estudo conduzido em municípios do estado da Bahia e do Tocantins (RODRIGUES et. al, 2019) atesta a possibilidade de uso de imagens Sentinel-1A (imagens de radar), disponibilizadas no GEE, para verificar áreas de desmatamento no Cerrado utilizando como base a interpretação de imagens Landsat-8.

Já Cavalcante, Almeida e Castelo (2020), utilizam o Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no GEE em imagens Landsat e MODIS para verificar, ao longo de alguns anos, para verificar a atividade fotossintética em áreas de savana amazônica e floresta secundária no município de Vigia/PA.

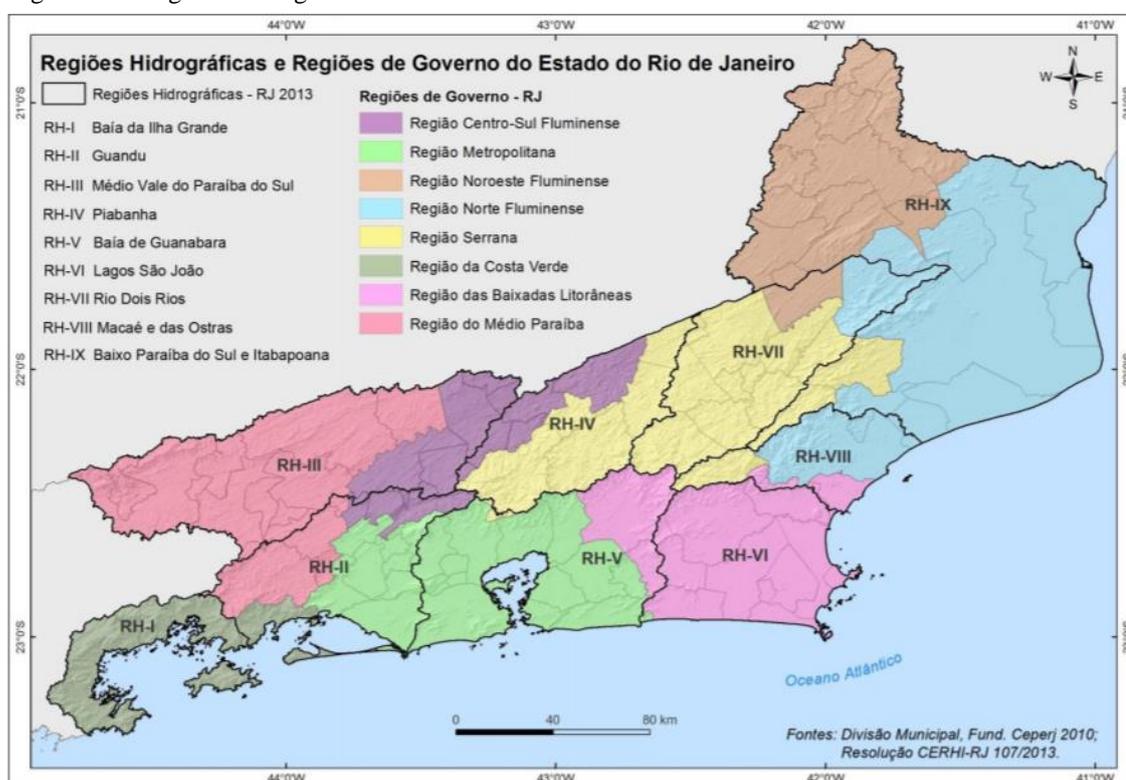
Mais voltado à área de gestão de recursos hídricos, Mota et. al (2020) realizam um estudo de caso no âmbito do Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que abrange os municípios de Rio Grande e de Pelotas, ambos no Rio Grande do Sul. Utilizando as ferramentas da plataforma, o estudo relaciona o uso do solo com o índice de precipitação na região.

Observa-se também o uso da plataforma em projetos de organizações não governamentais e institutos de pesquisa. No Brasil, o Projeto MapBiomias desenvolveu uma metodologia de análise do uso e cobertura do solo, a partir de algoritmos desenvolvidos no GEE para todo o território nacional, utilizando imagens Landsat em uma série temporal que vai de 1985 a 2019. O projeto tem a participação de universidades, instituições de pesquisa, organizações não governamentais e tem sido amplamente referenciado ao se falar em desmatamento e queimadas nos biomas brasileiros, apontando a substituição das fitofisionomias naturais por outros tipos de cobertura, como pastagem.

1.4 Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro

Para fins de gestão, o estado do Rio de Janeiro é dividido em nove Regiões Hidrográficas (RHs), definidas na Resolução nº 107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-RJ). Como pode ser verificado na Figura 10, os limites das Regiões Hidrográficas não necessariamente coincidem com os limites dos municípios do estado.

Figura 10 – Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro



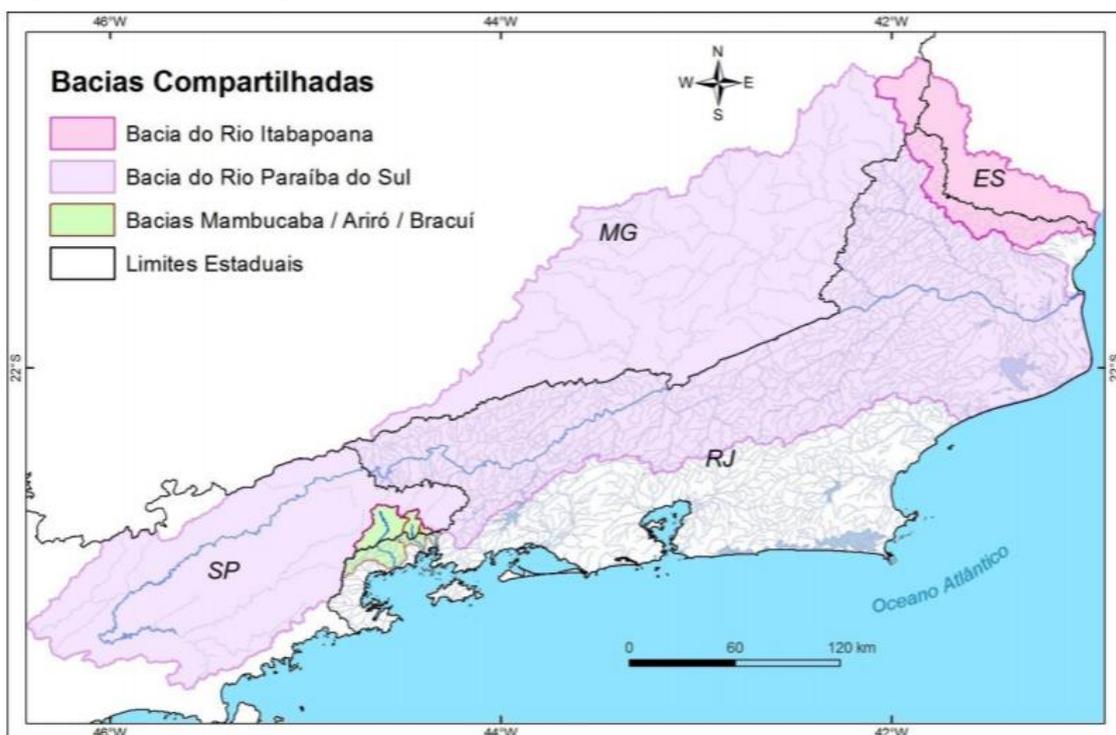
Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) – Relatório Síntese, 2014.

Cada uma das RHs possui um Comitê de Bacia, os quais foram criados entre 2000 e 2012. Os comitês fazem parte da estrutura do Sistema Estadual do Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRHI) e deliberam sobre a utilização dos recursos provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no atendimento aos programas e às ações constantes nos Planos de Bacias.

Para fins de planejamento, as RHs são subdivididas em Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), levando-se em consideração as disponibilidades hídricas, as demandas de recursos hídricos e o balanço hídrico das regiões.

A gestão dos recursos hídricos na área de algumas RHs ainda convive com o fato de que algumas bacias hidrográficas são compartilhadas com outros estados (Figura 11). Isso impõe desafios adicionais na gestão dos recursos hídricos e ocorre nas seguintes bacias hidrográficas: na bacia do rio Itabapoana, compartilhada com os estados do Espírito Santo e de Minas Gerais; na bacia rio Paraíba do Sul, que possui o principal manancial de abastecimento da população do estado e é compartilhada com São Paulo e Minas Gerais; e, por fim, nas bacias dos rios Mambucaba, Ariró e Bracuí, compartilhadas com o estado de São Paulo.

Figura 11 – Bacias Hidrográficas Compartilhadas



Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) – Relatório Síntese, 2014.

O estado do Rio de Janeiro está totalmente contido no Bioma Mata Atlântica. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ) (2014), o estado possui menos de 20% de cobertura florestal, sendo a RH-I (Baía da Ilha Grande) a Região Hidrográfica que possui maior percentual de cobertura florestal, cerca de 90%. No polo oposto, a RH-IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) é a que possui menor percentual, somando cerca de 10% de cobertura florestal. Muito pressionada pela expansão antrópica, os remanescentes florestais encontrados se localizam em áreas de relevo acidentado (situação verificada na RH-V).

1.5 Uso e cobertura do solo nas Regiões Hidrográficas

O portal de bases de dados geoespaciais do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) apresenta monitoramento do uso e cobertura do solo nas seguintes situações:

- a) em escala 1:100.000:
 - para toda área do estado, com uso de imagens Landsat, nos anos de 2007, 2013, 2015 e 2018.
- b) em escala 1:25.000:
 - Região Hidrográfica I (Baía da Ilha Grande), ano 2012;
 - Bacias Hidrográficas dos Rios Macacu e Caceribu, ano 2012;
 - Regiões Hidrográficas III, IV, VII e parte da IX, ano de 2015.
- c) em escala 1:10.000:
 - Unidades de Conservação estaduais.

Os dados são disponíveis para visualização e download por qualquer usuário no portal GEOINEA.

Em um nível mais aproximado de gestão, nos comitês de bacia referentes a cada RH, são encontradas também algumas informações relacionadas ao mapeamento da cobertura e uso do solo. As informações relativas aos sistemas de informação muitas vezes se encontram nos sites das agências de água (entidades delegatárias), os quais podem possuir um portal mais estruturado com um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

No Quadro 1, é possível verificar a situação encontrada em cada RH. Percebe-se que não há um padrão no tipo de informação que é produzida e disponibilizada. Onde há mapeamentos disponíveis, pode haver falta de dados, como ano de produção do mapeamento, escala, metodologia. De todo modo, mesmo quando há uma informação mais estruturada,

verifica-se a falta de periodicidade nos mapeamentos. Em quatro RHs (III, IV, VII e IX), há utilização parcial dos dados provenientes do Projeto MapBiomias (mencionado no item 6.1), mas não na sua coleção mais atual (5.0, relativa aos dados de 2019).

Quadro 1 – Mapeamento e cobertura do uso do solo nas RHs

Região	Nome	Agência de Água	SIG	Mapeamento do uso do solo	Site do Comitê
RH-I	Baía da Ilha Grande	AGEVAP	Não há	"Relatório de Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo", de 2018, com base em informações produzidas pelo INEA	www.cbhbig.org.br
RH-II	Guandu	AGEVAP	SIGA Guandu	Uso e cobertura da terra (PERH-2018)	www.comiteguandu.org.br
RH-III	Médio Paraíba do Sul	AGEVAP	SIGA web (CEIVAP)	Mapeamento em escala 1:250.000 e MapBiomias Coleção 3.1 (1985, 1986 e 2017)	www.cbhmedioparaiba.org.br
RH-IV	Piabanha	AGEVAP	SIGA web (CEIVAP)	Mapeamento em escala 1:250.000 e MapBiomias Coleção 3.1 (1985, 1986 e 2017)	www.comitepiabanha.org.br
RH-V	Baía de Guanabara	AGEVAP	SIG-RHBG	Há alguns mapeamentos, mas sem detalhamento	www.comitebaiadeguanabara.org.br
RH-VI	Lagos São João	CILSJ	SIG Lagos São João	Há mapeamento de uso e ocupação do solo, mas não é precisado o ano de realização do levantamento	cbhlagossaojoao.org.br
RH-VII	Rio Dois Rios	AGEVAP	SIGA web (CEIVAP)	Mapeamento em escala 1:250.000 e MapBiomias Coleção 3.1 (1985, 1986 e 2017)	www.cbhriodoisrios.org.br
RH-VIII	Macaé e das Ostras	CILSJ	Não há	Não há	cbhmacae.eco.br
RH-IX	Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana	AGEVAP	SIGA web (CEIVAP)	Mapeamento em escala 1:250.000 e MapBiomias Coleção 3.1 (1985, 1986 e 2017)	www.cbhbaixoparaiba.org.br

Fonte: elaboração própria com base nas informações dos comitês, 2020.

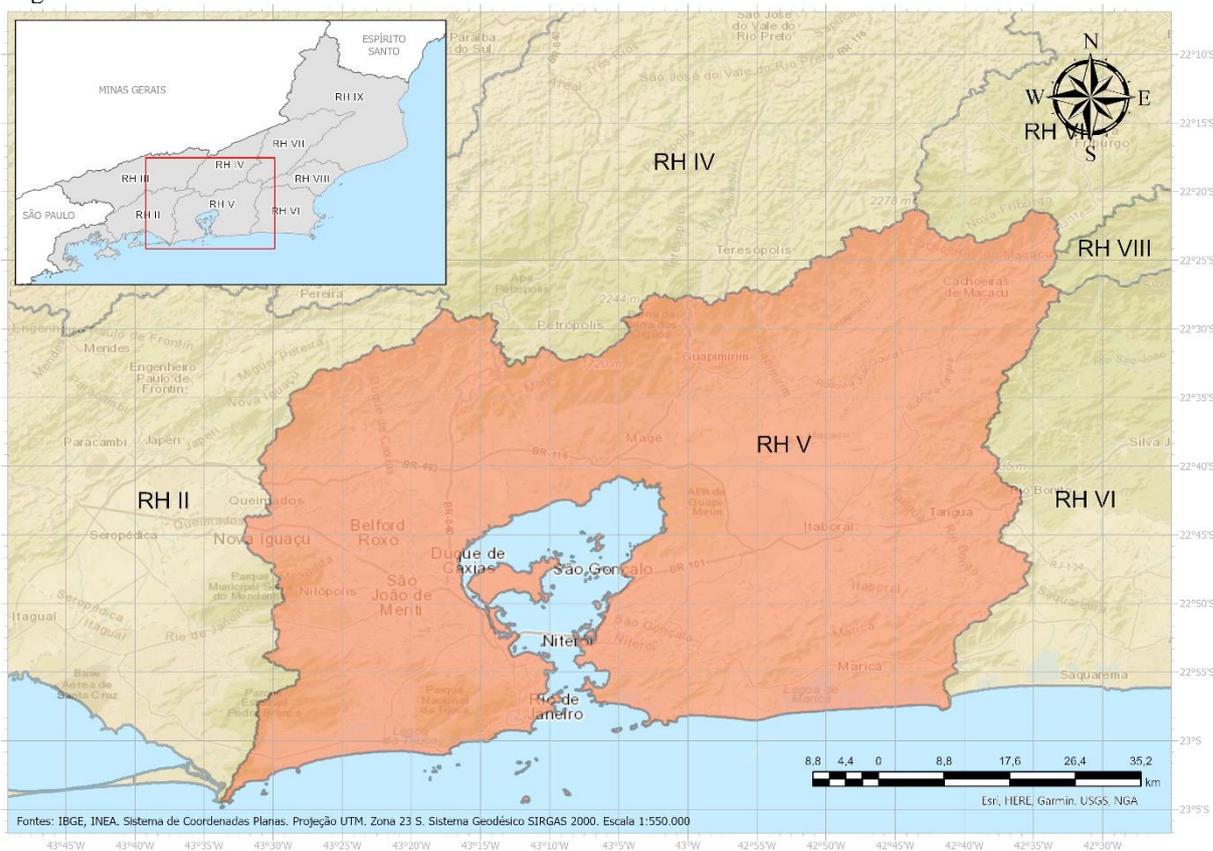
2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área de aplicação do manual elaborado como produto final do presente trabalho corresponde a todas as Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. No entanto, para fins de teste da ferramenta, aplicabilidade e verificação de acurácia, optou-se pela seleção de uma das RHs.

Assim, a área utilizada como piloto para aplicação corresponde à Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara (Figura 12). A RH em estudo possui pouco mais 4.800 km² de área, abrangendo parcial ou totalmente 17 municípios, quais sejam: Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis, Maricá, Rio Bonito, Cachoeiras de Macacu, Petrópolis, Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. Possui população predominantemente urbana, de mais de 10 milhões de habitantes (IBGE, 2010). Assim, por ser uma região densamente povoada, abrangendo a capital do estado e boa parte dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (sendo a segunda maior Região Metropolitana do Brasil), foi a área escolhida para teste da ferramenta.

Figura 12 – Área de estudo



Fonte: elaboração própria, 2021.

2.2 Dados Utilizados no Estudo

O estudo utiliza a informação espacial em *shapefile* relativa às Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, disponível no portal GeoINEA, vinculado ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA). A informação foi produzida no ano de 2017 em escala 1:50.000.

Os *basemaps* do programa da Iniciativa Internacional do Clima e Florestas da Noruega (em inglês, Norway's International Climate and Forests Initiative – NICFI) foram utilizados no GEE através da integração oferecida pela Planet para os seus usuários. Esses *basemaps* são mosaicos históricos gerados com imagens da Planet da constelação PlanetScope a partir de dezembro de 2015 a agosto de 2020 em cadência bianual e dados de monitoramento mensais a partir de setembro de 2022.

O produto é multiespectral, com correção atmosférica e reflectância de superfície, possuindo as bandas do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo, e resolução espacial de 4,77 m. A tabela a seguir (Tabela 3) sintetiza as características desses produtos.

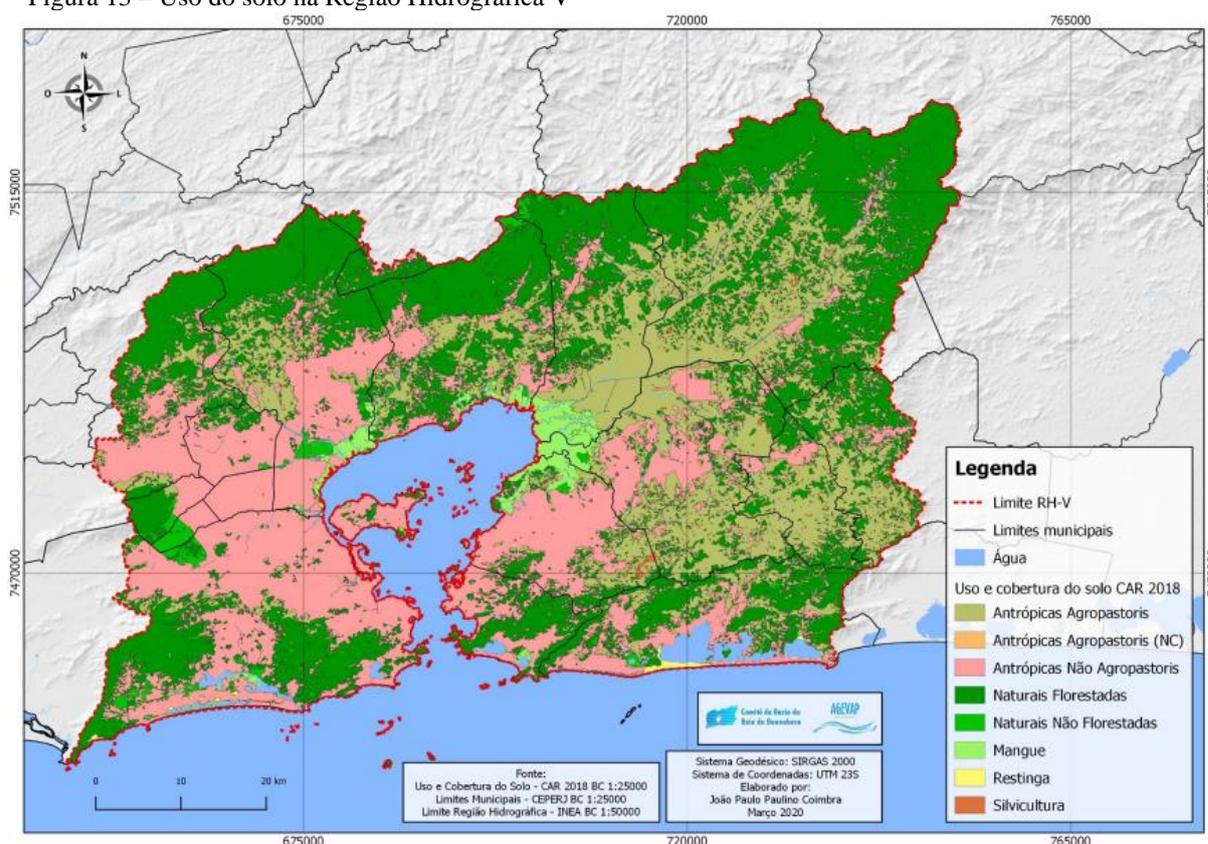
Tabela 3 – Características gerais dos *basemaps* do NICFI

	Visual	Analítico Normalizado
Cenas de entrada	3 bandas (Red, Green, Blue)	4 bandas (Red, Green, Blue, NIR) Reflectância de superfície
Profundidade de Bits de Imagem	8	16
Otimizado para	Análise estética e visual	Uso em análises científicas (uso e cobertura do solo, cicatrizes de queimadas por incêndios florestais, análise de risco de inundação etc.) Radiometricamente preciso
Processos adicionais	Equilíbrio de cores Melhoria de nitidez	Normalização Remoção da linha de costura Correção atmosférica
Resolução espacial	4,77 m por pixel	
Resolução temporal	Arquivo (Dezembro 2015 - Agosto 2020): BIANUAL Monitoramento (Setembro 2020 - presente): Mensal	

Fonte: adaptado de PLANET, 2022a, 2022c.

Como dados de referência para cobertura e uso do solo na Região Hidrográfica V foi utilizada a camada produzida com dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em 2018, presente no Atlas da Região Hidrográfica V de 2021. O *shapefile* com as classes de uso do solo está disponível no Portal do Sistema de Informações Geográficas do Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (SIGA Baía de Guanabara). A camada possui nove classes de uso do solo, quais sejam (Figura 13): Água, Antrópicas Agropastoris, Antrópicas Agropastoris Não Consolidadas, Antrópicas Não Agropastoris, Naturais Florestadas, Naturais Não Florestadas, Mangue, Restinga e Silvicultura.

Figura 13 – Uso do solo na Região Hidrográfica V



2.3 Procedimentos Metodológicos

Com a delimitação espacial já definida para o teste piloto, procede-se à elaboração dos *scripts* na plataforma do GEE.

Optou-se por utilizar seis índices como parte dos dados de entrada para o aprendizado de máquina do algoritmo. Os índices utilizados e a matemática de bandas correspondente às bandas disponíveis nos *basemaps* do NICFI podem ser visualizados na tabela a seguir (Tabela 4). A utilização da razão entre bandas visa reduzir, entre outros, efeitos da variação sazonal do comportamento espectral dos alvos (CESAR, 2019).

Tabela 4 – Índices utilizados no estudo

Índice	Equação
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED})$
Índice de Vegetação Realçado (EVI)	$2,5(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+6\text{RED}-7,5\text{BLUE}+1)$
Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI)	$(\text{GREEN}-\text{NIR})/(\text{GREEN}+\text{NIR})$

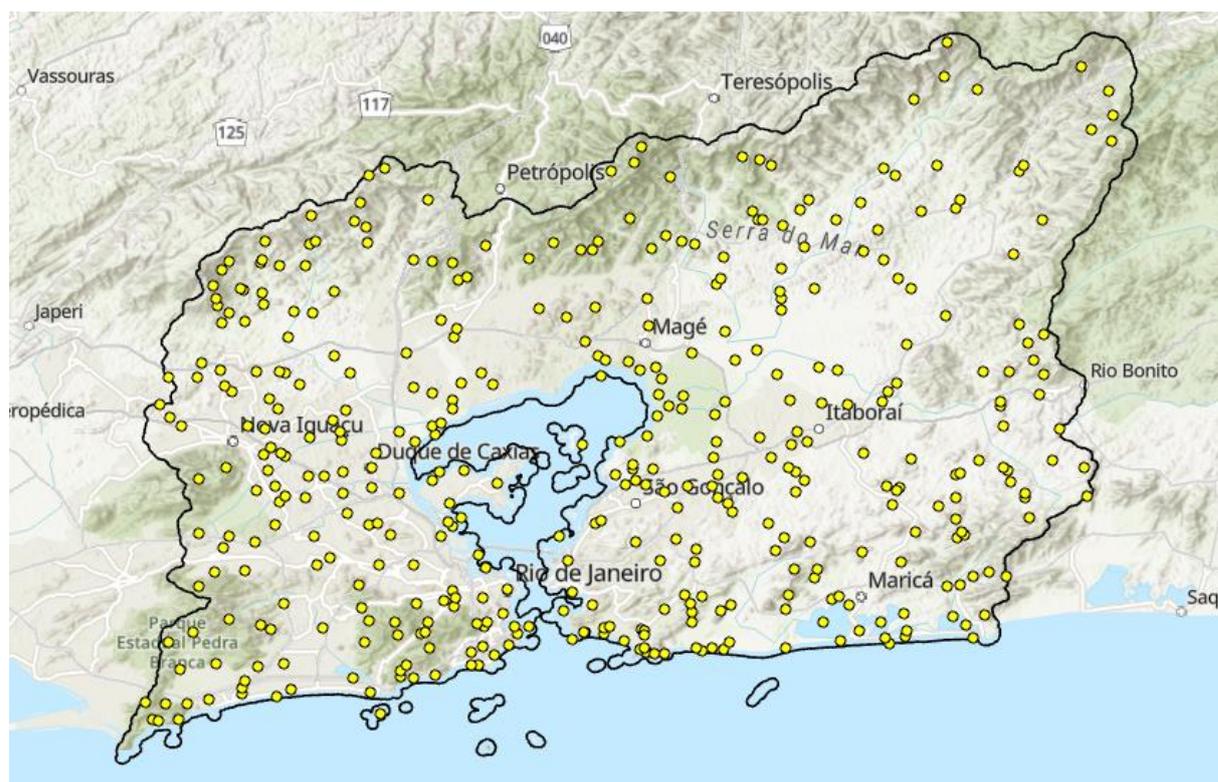
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	$((\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}+0.5))1.5$
Razão Simples (SR)	NIR/RED
Índice de Vegetação de Clorofila Verde (GCVI)	$(\text{NIR}/\text{GREEN})-1$

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Sendo as bandas,
 RED = Vermelho
 GREEN = Verde
 BLUE = Azul
 NIR = Infravermelho Próximo

Foram selecionados 420 pontos amostrais com a utilização do *shapefile* disponível no SIGA Baía de Guanabara com o uso e cobertura do solo para a Região Hidrográfica V (Figura 14), de modo a abranger as classes de uso do solo contidas nesse mapeamento.

Figura 14 – Pontos amostrais utilizados



Fonte: elaboração própria, 2022.

Algumas adaptações foram realizadas nas classes utilizadas como referência para a obtenção das amostras (Quadro 2). Essa decisão foi tomada de modo a se obter classes com valores de *pixel* mais homogêneos, visando-se mitigar alguma confusão na classificação. Dessa forma, foram utilizadas sete classes no estudo, as quais também foram utilizadas como dado de entrada no modelo.

Quadro 2 – Classes de Uso e Cobertura do Solo Utilizadas

Classes Utilizadas	Camada Original
Áreas Antrópicas Agropastoris	Áreas Antrópicas Agropastoris e Áreas Antrópicas Agropastoris Não Consolidadas
Áreas Antrópicas Não Agropastoris	Áreas Antrópicas Não Agropastoris
Cobertura Florestal	Áreas Naturais Florestadas e Silvicultura
Praia	Restinga e Áreas Naturais Não Florestadas (parte)
Mangue	Mangue
Água	Água
Afloramento Rochoso	Áreas Naturais Não Florestadas (parte)

Fonte: elaboração própria, 2022.

As etapas cumpridas na elaboração do *script* seguiram a seguinte sequência, (1) definição das classes de uso do solo e das amostras de treinamento, (2) definição das datas de interesse e da cobertura de nuvens desejada, (3) cálculo dos índices espectrais, (4) configuração do classificador e número de árvores de decisão, (5) testes de acurácia, (6) definição das informações e camadas a serem disponibilizadas ao usuário.

Após a validação do modelo e da estrutura a ser disponibilizada, segue-se a etapa de elaboração do manual a ser disponibilizado ao final desse estudo. O manual visa utilizar as informações obtidas no teste piloto de modo a serem utilizadas no âmbito de todas as regiões hidrográficas, de acordo com as necessidades do usuário final.

3 RESULTADOS

Com base nos procedimentos metodológicos descritos no item anterior, o modelo definido para a realização do teste piloto foi delimitado com as seguintes informações:

- Seleção de 420 amostras em 7 classes de uso do solo, com a utilização do *shapefile* de uso e cobertura do solo disponibilizado no Portal do Sistema de Informações Geográficas do Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (SIGA Baía de Guanabara).

- Seleção um mosaico anual do mesmo período do ano, de 2016 a 2022. O período compreende os meses de dezembro (do ano anterior) a maio de cada ano.

- Cálculo dos índices para cada imagem (NDVI, EVI, NDWI, SAVI, SR, GCVI).

- Seleção dos dados de imagem de entrada para aplicação do modelo, que são, além dos índices, as bandas oferecidas nas imagens (vermelha, verde, azul e infravermelho próximo).

- Utilização de 100 árvores de decisão no modelo.

Dessa forma, o resultado obtido para esses parâmetros, trouxe um nível de acurácia elevado para as amostras (mais de 97%). Conforme explicitado no item 1.2 deste estudo, o modelo utiliza 20% das amostras para realização da validação cruzada. Assim, a estatística calculada para a matriz de confusão (estatística Kappa), também é elevada (mais de 96%). Como mencionado anteriormente, é avaliada a acurácia das amostras (de treinamento e de validação) dentro do próprio modelo, não há relação entre esses resultados e o que é encontrado na realidade.

Assim, verificou-se também a acurácia dos dados fora do GEE. Foi exportada uma amostra com 150 por classe, totalizando 1500 pontos para análise. Segundo Lillesand, Kiefer e Chipman (2015), pode-se usar como referência a utilização de 50 pontos amostrais por classe de uso do solo. Sendo uma área maior que cerca de 4050 km², a recomendação é de que o mínimo seja entre 75 e 100 amostras (CONGALTON; GREEN, 2009, apud LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Assim, optou-se por exportar uma amostra com 150 por classe, totalizando 1500 pontos para análise.

O cálculo da matriz de confusão para cada ano mostrou um valor para estatística Kappa considerado mediano, entre 48,3% e 56,6%. A seguir (Tabela 5), é possível visualizar os resultados médios das matrizes de confusão para todos os anos, de 2016 a 2022:

Tabela 5 – Valores médios matriz de confusão

	Classes de Uso e Cobertura do Solo							Total	UA	Kappa
	AAA	ANA	FLO	PRA	MAN	ÁGUA	ROC			
AAA	103	24	19	0	1	1	3	150	68,38%	-
ANA	12	133	2	0	1	1	1	150	88,67%	-
FLO	9	3	133	0	3	0	2	150	88,95%	-
PRA	5	91	2	47	0	5	0	150	31,24%	-
MAN	29	17	62	2	29	2	9	150	19,62%	-
ÁGUA	0	3	1	0	0	146	1	150	97,24%	-
ROC	35	56	14	2	5	8	31	150	20,76%	-
Total	191	326	233	51	39	163	46	1050	-	-
PA	53,86%	41,09%	57,31%	91,65%	75,57%	89,81%	66,18%	-	59,27%	-
Kappa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52,48%

Fonte: elaboração própria, 2022.

Sendo,

AAA = Áreas Antrópicas Agropastoris

ANA = Áreas Antrópicas Não Agropastoris

FLO = Cobertura Florestal

PRA = Praia

MAN = Mangue

ÁGUA = Água

ROC = Afloramento Rochoso

UA = User's Accuracy

PA = Producer's Accuracy

Os valores destacados em cinza na diagonal são os valores coincidentes entre o que foi classificado e os dados utilizados como verdade de campo. O valor de acurácia média geral foi de 59,27%, sendo o valor de Kappa médio igual a 52,48%. Segundo Landis e Koch (1977), esse nível de concordância no resultado da análise de acurácia é considerado moderado.

Pode-se verificar na tabela os valores de *User's Accuracy* (Acurácia do Usuário), que seriam os valores de falso positivo ou erros de comissão, ou seja, valores que foram incorretamente classificados, sendo a razão entre os *pixels* corretamente classificados (em cinza) pela soma da linha da classe correspondente. Também é referido como erro de tipo 1

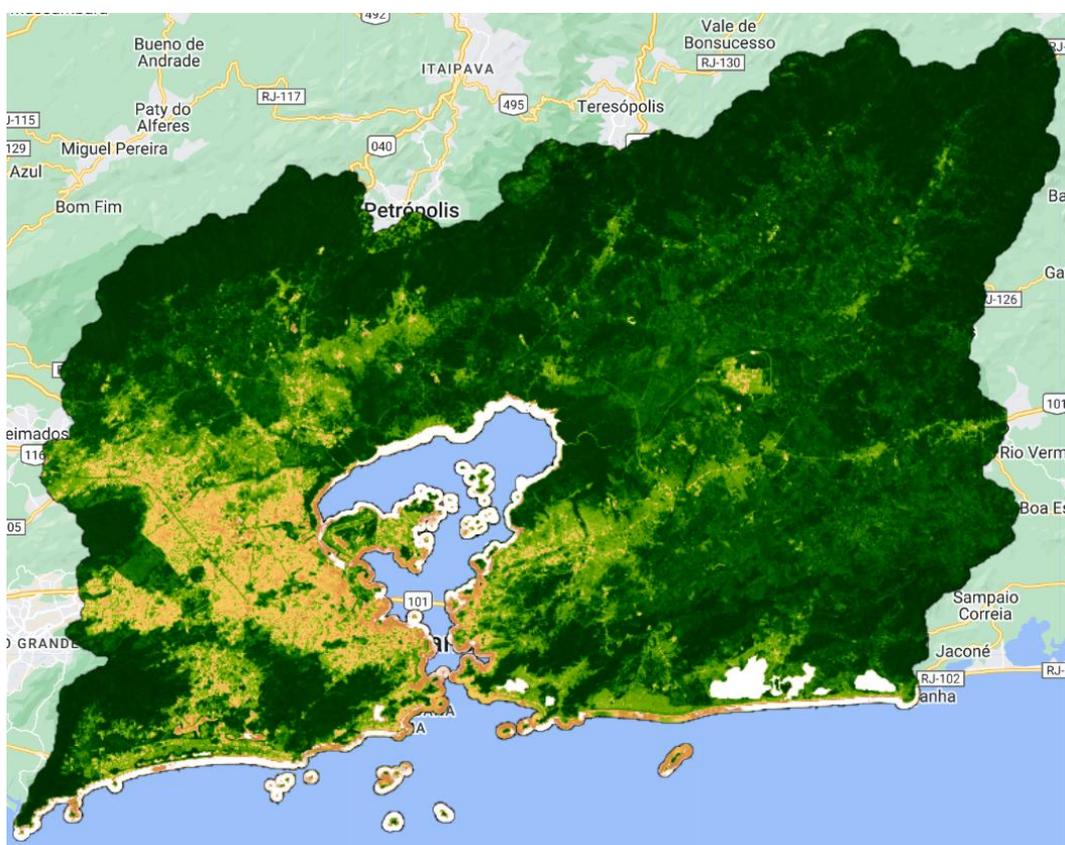
(ESRI, 2022) e estão associados com a confiabilidade das classes mapeadas (MAPBIOMAS, 2022). Já os valores de *Producer's Accuracy* (Acurácia do Produtor) são falso negativos ou erros de omissão, e mostram o quanto a classificação encontrou a expectativa do autor da análise, sendo a divisão dos valores corretamente classificados pela soma das colunas de cada classe. Adicionalmente, esse erro também é referido como erro de tipo 2, estando associado nível de sensibilidade da classificação, ou seja, a capacidade de uma classe ser corretamente distinguida.

Entre os dados de saída disponibilizados, o produto principal é a imagem classificada para cada ano, mas pode-se verificar também as imagens em cor natural e o NDVI. A imagem a seguir, apresenta as três camadas para o período de 2022 (Figura 15).

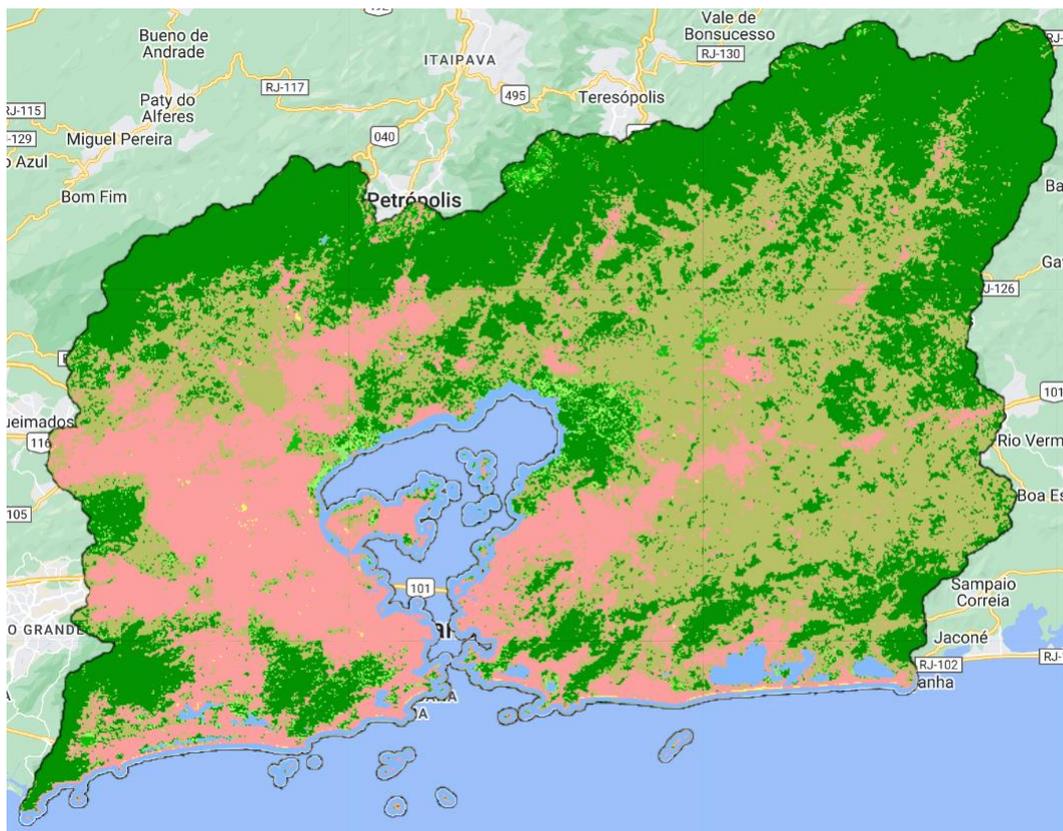
Figura 15 – Dados de saída para a imagem selecionada em 2022



(a)



(b)



(c)

Legenda: (a) – Imagem de 2022 em cor natural; (b) – Imagem 2022 após cálculo do NDVI;

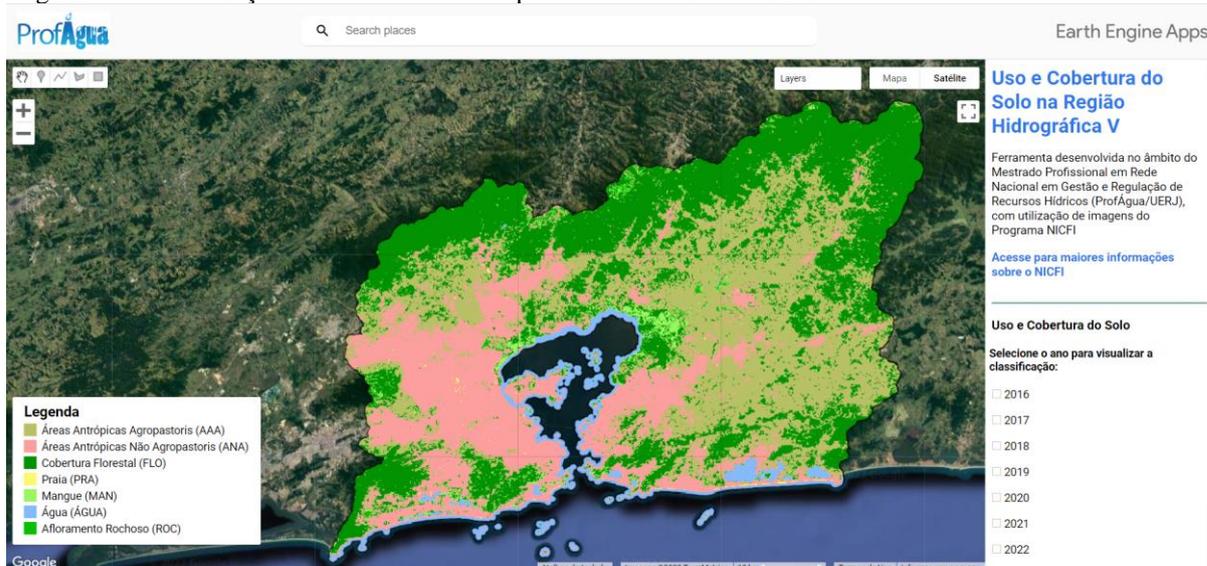
(c) – Imagem de 2022 classificada

Fonte: elaboração própria, 2022.

Uma maneira de disponibilizar os dados é através da criação de apps do próprio GEE, sendo uma forma possível de apresentar as análises fora do ambiente de programação. Dessa forma, foi criado um app para essa análise (Figura 16)¹. Os itens que serão agregados ao app são definidos no *script*. Dessa forma, a adição de legenda, do texto explicativo e da possibilidade de seleção pelo usuário da camada (imagem anual classificada) que será visualizada, foram itens incorporados ao *script*.

¹App disponível em: <<https://geegestaorh.users.earthengine.app/view/uso-e-cobertura-do-solo---rhv>>

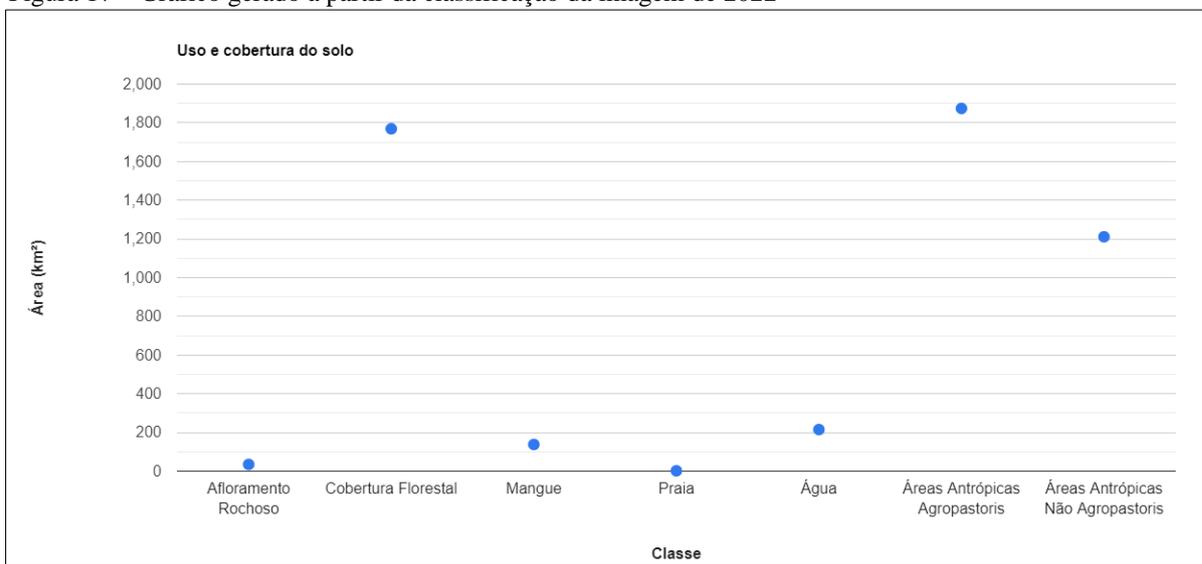
Figura 16 – Visualização da análise realizadas para os anos de 2016 a 2022



Fonte: elaboração própria, 2022.

Além disso, como item de saída também foi incluído um gráfico (Figura 17) com a quantidade, em km², relativa a cada uso do solo para cada ano. É possível fazer download desse gráfico em alguns formatos, como em um arquivo tabular, que permite a realização de análises a partir dos quantitativos encontrados.

Figura 17 – Gráfico gerado a partir da classificação da imagem de 2022

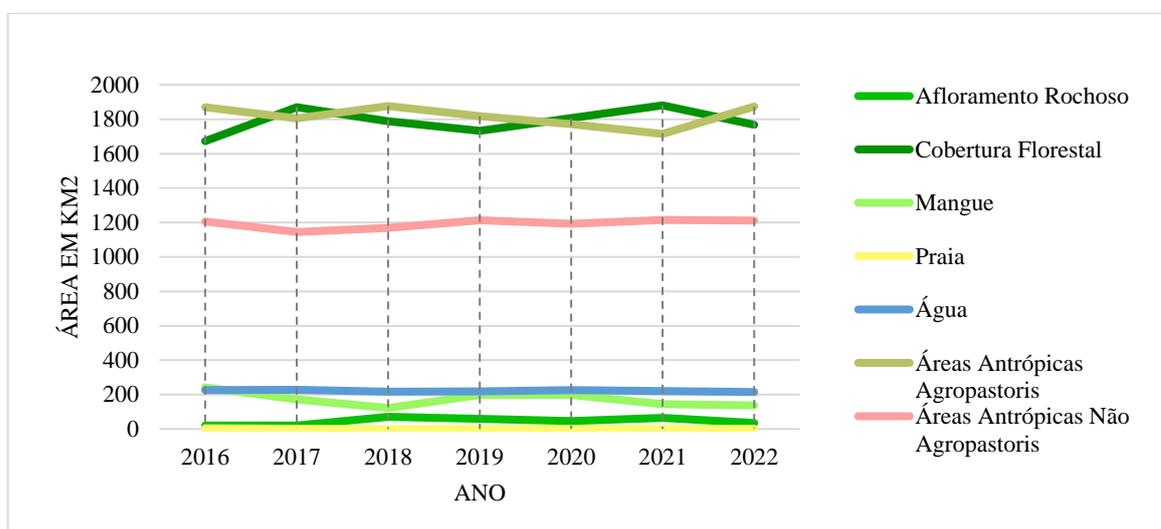


Fonte: elaboração própria, 2022

A partir do quantitativo de uso e cobertura do solo para cada um dos sete anos, foi possível gerar o gráfico da figura a seguir (Figura 18). Verifica-se alguma variação para cobertura vegetal ao longo dos anos, como a classe de cobertura vegetal, áreas antrópicas

agropastoris e de mangues, enquanto verifica-se certa constância nos quantitativos das outras classes.

Figura 18 – Variação do uso e cobertura do solo para os anos de 2016 a 2022



Fonte: elaboração própria, 2022.

Por fim, de modo a comparar os resultados obtidos com os dados apresentados pelo Comitê de Bacia da Baía de Guanabara, as tabelas apresentadas na sequência apresentam, respectivamente, os quantitativos do uso e cobertura do solo para o ano de 2018 obtidos após a classificação do algoritmo no GEE (Tabela 6) e a partir dos dados originais, obtidos a partir do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em 2018, presente no Atlas da Região Hidrográfica V de 2021 (Tabela 7).

Tabela 6 – Uso e Cobertura do Solo para 2018 após classificação no GEE

Uso e Cobertura	Área (km ²)	Área %
Áreas Antrópicas Agropastoris	1956	38,79
Áreas Antrópicas Não Agropastoris	1133	22,47
Cobertura Florestal	1750	34,70
Praia	2	0,04
Mangue	123	2,44
Água	23	0,46
Afloramento Rochoso	56	1,11
Total	5043	100

Fonte: elaboração própria, 2022.

Apesar algumas diferenças nas classes utilizadas, conforme mencionado no item 2.3 de Procedimentos Metodológicos, em que algumas classes de uso do solo foram adaptadas

para o presente estudo, pode-se observar algumas semelhanças, como a predominância das áreas antrópicas agropastoris e não agropastoris e da cobertura florestal.

Tabela 7 – Uso e Cobertura do Solo segundo CAR 2018

Uso e Cobertura	Área (km ²)	Área (%)
Antrópicas agropastoris	1295,14	26,90
Antrópicas agropastoris não consolidadas	5,02	0,10
Antrópicas não agropastoris	1310,07	27,21
Naturais florestadas	1900,91	39,48
Naturais não florestadas	97,76	2,03
Mangue	107,47	2,23
Restinga	12,28	0,25
Silvicultura	12,34	0,26
Água (Massa D'água)	73,89	1,53
TOTAL	4814,87	100,00%

Fonte: COIMBRA (Org.), 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto cumpre o seu objetivo de implementar o uso de ferramenta online para mapeamento temporal do uso do solo nas Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro como um instrumento de gestão local através da aplicação desenvolvida no Google Earth Engine (GEE) para a Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara. No apêndice a esse trabalho encontra-se o manual para utilização da ferramenta por gestores locais.

Verificou-se que é possível gerar informação a respeito do uso e cobertura do solo rapidamente a partir dos dados gratuitos e online a que os gestores podem ter acesso facilmente, não sendo necessária a espera de anos para que novos estudos sejam realizados e as informações sejam atualizadas.

A resolução espacial das imagens utilizadas permite que áreas pequenas, que necessitam uma escala grande, como fragmentos florestais, sejam monitorados. Além disso, a cadência na geração dos *basemaps* permite que os estudos sejam atualizados quase que na ocorrência de algum fenômeno observável. Essas duas características diferenciam de forma substancial o que é proposto nesse estudo de outras iniciativas, como por exemplo, o MapBiomass, que conduz um mapeamento anual da cobertura e uso da terra desde a década de 80 para todo o Brasil utilizando imagens provenientes do satélite Landsat. A flexibilidade para seleção de classes, datas e áreas de interesse também é um diferencial.

Como próximos passos, verifica-se a necessidade de realização do estudo com um novo conjunto amostral, pois não há informação sobre a metodologia e a acurácia dos dados usados como referência (dados obtidos no SIG do Comitê de Bacia da Baía de Guanabara). Durante a manipulação das amostras, verificou-se algumas inconsistências nos dados, o que pode ter influenciado no resultado da análise de acurácia.

Além do conjunto amostral utilizado como verdade de campo, a integração das imagens PlanetScope com imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 no GEE também podem ser um fator de melhora na acurácia das análises em uso e cobertura do solo, conforme proposto por Vizzari (2022).

Por fim, conforme mencionado no capítulo introdutório desse trabalho, a ferramenta possui aderência com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, que trata de “Água Potável e Saneamento” e 15, que trata da “Vida Terrestre”. Uma forma de auxiliar na concretização das metas associadas a esses objetivos é a incorporação dessa iniciativa como parte do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que já possui

um portal de metadados sob gestão da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Um dos objetivos do SNIRH é prover informações para a gestão de recursos hídricos, sendo, inclusive, um instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), tendo como um dos públicos-alvo os entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), do qual fazem parte os conselhos, órgãos gestores e órgãos vinculados de recursos hídricos, comitês de bacias e agências de águas (MDR, 2022).

REFERÊNCIAS

- ALTIGATOR. *Multispectral and hyperspectral drone imagery*. Disponível em: <<https://altigator.com/en/multispectral-and-hyperspectral-drone-imagery/>>. Acesso em: 2 jul. 2022.
- BARENBLITT, A.; FATOYINBO, T. *Remote Sensing for Mangroves in Support of the UN Sustainable Development Goals*. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET), 2020. Disponível em: <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training?program_area=All&languages=All&source=All&page=1>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- BIRTH, G. S.; MCVEY, G. R. *Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer*. Agronomy Journal, 1968 apud JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) et al.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- BREIMAN, L. *Random Forests*. Machine Learning, 45, 5–32, 2001.
- CAVALCANTE, J. C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELOS, T. B. *Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do GOOGLE EARTH ENGINE em área de savana amazônica e floresta secundária, no município de Vigia – PA*. Revista de Geociências do Nordeste, v. 6, nº 1, 2020.
- COIMBRA, J. P. P. (Org.). *Atlas da Região Hidrográfica V (livro eletrônico)*. Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. 1. ed. Resende, RJ: AGEVAP, 2021. 229 p.
- COMITÊ DA BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL (CBH-MÉDIO PARAÍBA DO SUL), 2020. Disponível em: <<http://www.cbhmedioparaiba.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE (CBH-BIG), 2020. Disponível em: <<http://www.cbhbig.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAQUEQUER E PRETO (COMITÊ PIABANHA), 2020. Disponível em: <<http://www.comitepiabanha.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- COMITÊ DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA E DOS SISTEMAS LAGUNARES DE MARICÁ E JACAREPAGUÁ (COMITÊ DE BACIA DA BAÍA DE GUANABARA), 2020. Disponível em: <<http://www.comitebaiadeguanabara.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DAS LAGOAS DE ARARUAMA, SAQUAREMA E DOS RIOS SÃO JOÃO, UNA E OSTRAS (CBHLSJ), 2020. Disponível em: <<http://cbhlagossaojoao.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS GUANDU, DA GUARDA E GUANDU-MIRIM (COMITÊ GUANDU-RJ), 2020. Disponível em: <<http://www.comiteguandu.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS (Comitê de Bacia do Rio Macaé), 2020. Disponível em: <<https://cbhmacae.eco.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

COMITÊ DE BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA (COMITÊ BAIXO PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA), 2020. Disponível em: <<http://www.cbhbaixoparaiba.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

COMITÊ DE BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO DOIS RIOS (COMITÊ RIO DOIS RIOS), 2020. Disponível em: <<http://www.cbhriodoisrios.org.br>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

CONGALTON, R.; GREEN, K., *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, 2. ed., Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, 2009, apud LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7. ed. United States of America: Wiley, 2015.

ESRI. *Accuracy Assessment*. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/accuracy-assessment.htm>>. Acesso em: 16 jul. 2022.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. *Remote Estimation of Leaf Area Index and Green Leaf Biomass in Maize Canopies*. *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n. 5, 1248, 2003.

GOOGLE EARTH ENGINE. *Earth Engine Code Editor*, 2021. Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/guides/playground>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

GOOGLE EARTH ENGINE. *A planetary-scale platform for Earth science data & analysis*. Disponível em: <<https://earthengine.google.com>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. *Remote Sensing of Environment*, 2017.

HUETE, A. R. *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. *Remote Sensing of Environment*, 25, p. 295-309, 1988.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. *Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices*. *Remote Sensing of Environment*, 83, p. 195-213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Atlas Escolar*, 2022. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sensoriamento-remoto.html>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

_____. *Censo Demográfico*, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-2020-censo4.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); SECRETARIA ESPECIAL DE ARTICULAÇÃO SOCIAL. *Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/>>. Acesso em: 07 ago. 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Gestão das Águas no Estado do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/gestao-das-aguas-no-estado-do-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

_____. *Biodiversidade e Território. Monitoramento do Uso e Cobertura*, 2020. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/monitoramentousocobertura/>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) et al.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. *Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential*. Remote Sensing, 2018.

LANDIS, J.R.; KOCH, G. *The Measurement of Observer Agreement For Categorical Data*. Biometrics, v. 33, p. 159-174, 1977.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7. ed. United States of America: Wiley, 2015.

MAPBIOMAS. *Análise de Acurácia*. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/analise-de-acuracia>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

MCFEETERS, S. K. *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing 17(7), 1425-1432, 1996 apud CHAVES, M. E. D.; PICOLI, M. C. A.; SANCHES, I. D. *Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review*. Supplementary Material. Remote Sensing, 12, 3062, 2020.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. *Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil*. Journal of Environmental Management, v. 270, 110879, 2020.

MESQUITA, L. F. G. *Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 45, p. 56-80, 2018.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). *Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/cnrh/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MOTA, F.; GONÇALVES, M.; AGUIAR, M.; ADAMATTI, D. *Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos*. Anais do XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Porto Alegre (RS), 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 06 jun. 2021.

PAWAR, U. *Lets Open the Black Box of Random Forests*. Analytics Vidhya, 2020. Disponível em: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/12/lets-open-the-black-box-of-random-forests/>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

PHALKE, A. R.; OZDOĞAN, M.; THENKABAIL, P. S.; ERICKSON, T.; GORELICK, N.; YADAV, K.; CONGALTON, R. G. *Mapping croplands of Europe, Middle East, Russia, and Central Asia using Landsat, Random Forest, and Google Earth Engine*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 167, 104-122, 2020.

PLANET. *Addendum to Planet Basemaps Product Specifications*, 2022a. Disponível em: <https://assets.planet.com/docs/NICFI_Basemap_Spec_Addendum.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

_____. *Calculate an NDVI in Python*, 2022b. Disponível em: <<https://developers.planet.com/docs/planetschool/calculate-an-ndvi-in-python/>>. Acesso em: 3 jul. 2022.

_____. *NICFI Data Program. Frequently Asked Questions*, 2022c. Disponível em: <https://assets.planet.com/docs/NICFI_General_FAQs.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

_____. *NICFI Program Resource Center*, 2022d. Disponível em: <<https://developers.planet.com/nicfi/>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

_____. *Norway's International Climate and Forests Initiative Satellite Data Program*, 2022e. Disponível em: <<https://www.planet.com/nicfi/>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

_____. *Our Constellation*, 2022f. Disponível em: <<https://www.planet.com/our-constellations/>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

_____. *Planet Imagery Product Specifications*, 2022g. Disponível em: <https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAUJO, L. S. de. Sensoriamento remoto. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed. 1). *Geotecnologias e geoinformação*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 4, p. 61-79.

RIEBEEK, H. *How to Interpret a Satellite Image: Five Tips and Strategies*. The Earth Observatory, 2013. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/ColorImage>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). *Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ)*. Relatório Síntese, 2014.

RODRIGUES, T.; SANO, E. E.; ALMEIDA, T.; CHAVES, J. M.; DOBLAS, J. *Detecção de mudanças na cobertura vegetal natural do Cerrado por meio de dados de radar (Sentinel-1A)*. Sociedade e Natureza, Uberlândia (MG), v.31, p.1-22, 2019.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume 1: Technical Presentations, section A, 1974.

TELUGUNTLA, P.; THENKABAIL, P. S.; OLIPHANT, A.; XIONG, J.; GUMMA, M. K.; CONGALTON, R. G.; YADAV, K.; HUETE, A. *A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform*.

VALE, J. R. B.; PEREIRA, J. A. A.; CEREJA, S. S. A.; SOUZA, L. F. P. *Análise multitemporal do uso e cobertura da terra do município de Conceição do Araguaia-Pará através do Google Earth Engine*. Revista Cerrados. Montes Claros (MG), v. 18, n. 02, p. 297-318, jul./dez., 2020.

VIZZARI, M. *PlanetScope, Sentinel-2, and Sentinel-1 Data Integration for Object-Based Land Cover Classification in Google Earth Engine*. Remote Sensing, v. 14 (11), 2628, 2022.

VOILAND, A. *Mapping the Amazon*. The Earth Observatory, 2019. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/ColorImage>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

WATSON, A. *Remote Sensing for Forest Landscapes*. Open Forests, 2018. Disponível em: <<https://blog.openforests.com/remote-sensing-for-forest-landscapes/>> Acesso em: 19 jun. 2022.

APÊNDICE – Manual para utilização da ferramenta

O manual a seguir se propõe a dar orientações gerais com relação ao uso da ferramenta, não sendo um passo-a-passo exaustivo, pois é incontável a gama de possibilidades e ajustes que podem ser realizados de modo a atender determinado uso específico.

Foram incorporados ao *script* diversos comentários que auxiliam nas adaptações necessárias.

O *script* foi dividido em duas partes, uma primeira em que é rodado o algoritmo de classificação, e uma segunda parte em que são agregados alguns itens ao mapa, como legenda e gráfico.

1 – Preparação: acessos necessários

1.1 – Google Earth Engine (GEE):

O cadastro no GEE pode ser feito em <http://signup.earthengine.google.com>. É recomendável que se utilize um e-mail do Google para cadastro.

O usuário verá o formulário a seguir:



Sign up for Earth Engine

If you'd like to become an Earth Engine developer, please sign up by providing the following information. We can't accept all applications, so please fill out all fields as best you can so we can approve your request for access. If you are accepted, you will receive an email within one week.

If you are interested in commercial use of Earth Engine, you can [find out more](#).

To facilitate the approval process, we suggest that you sign up with an email associated with your organization. Tip: You don't need a Gmail account to create a Google Account. You can [use your non-Gmail email address to create one instead](#).

Após preenchimento e aceite dos termos de serviço, o usuário receberá um e-mail com a confirmação do acesso em poucos minutos.



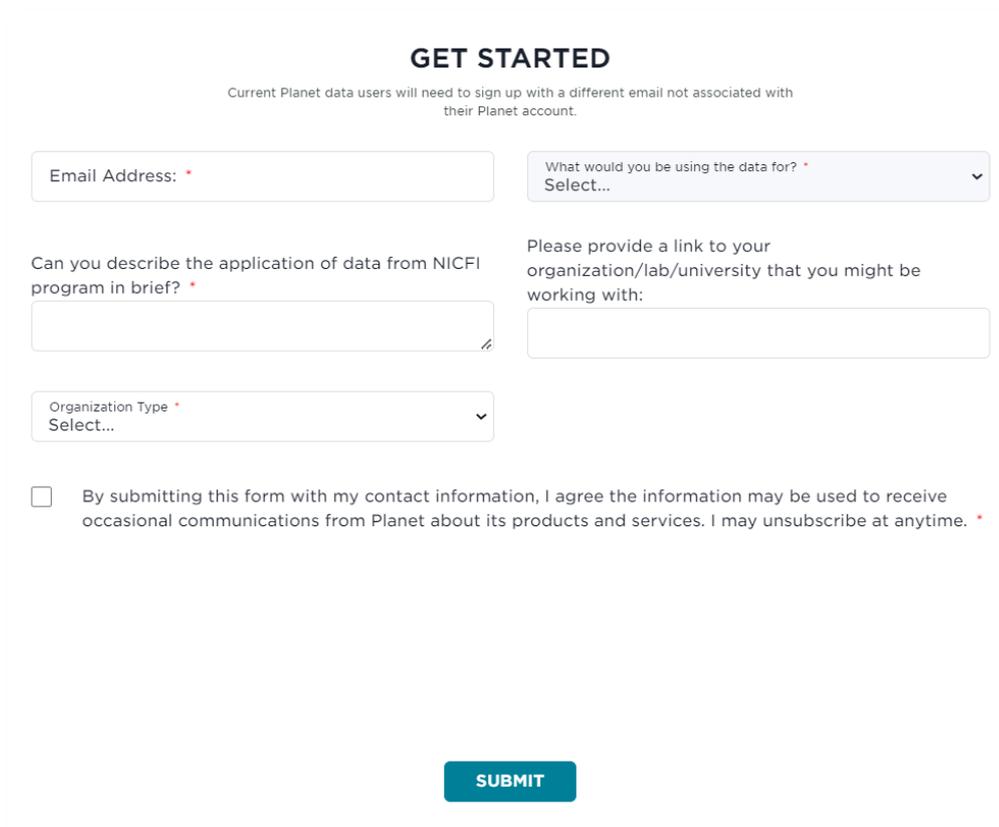
We're glad you're interested.

Keep an eye on your inbox for [redacted]@gmail.com. We'll let you know when you're good to go.

[KEEP EXPLORING](#) [LOG OUT](#)

1.2 – Acesso aos dados do Programa de Dados de Satélite do NICFI:

O cadastro no programa do NICFI pode ser feito em www.planet.com/nicfi/#sign-up. Caso o usuário já faça uso de algum dado da Planet que não seja do NICFI, o e-mail cadastrado no programa deverá ser diferente.



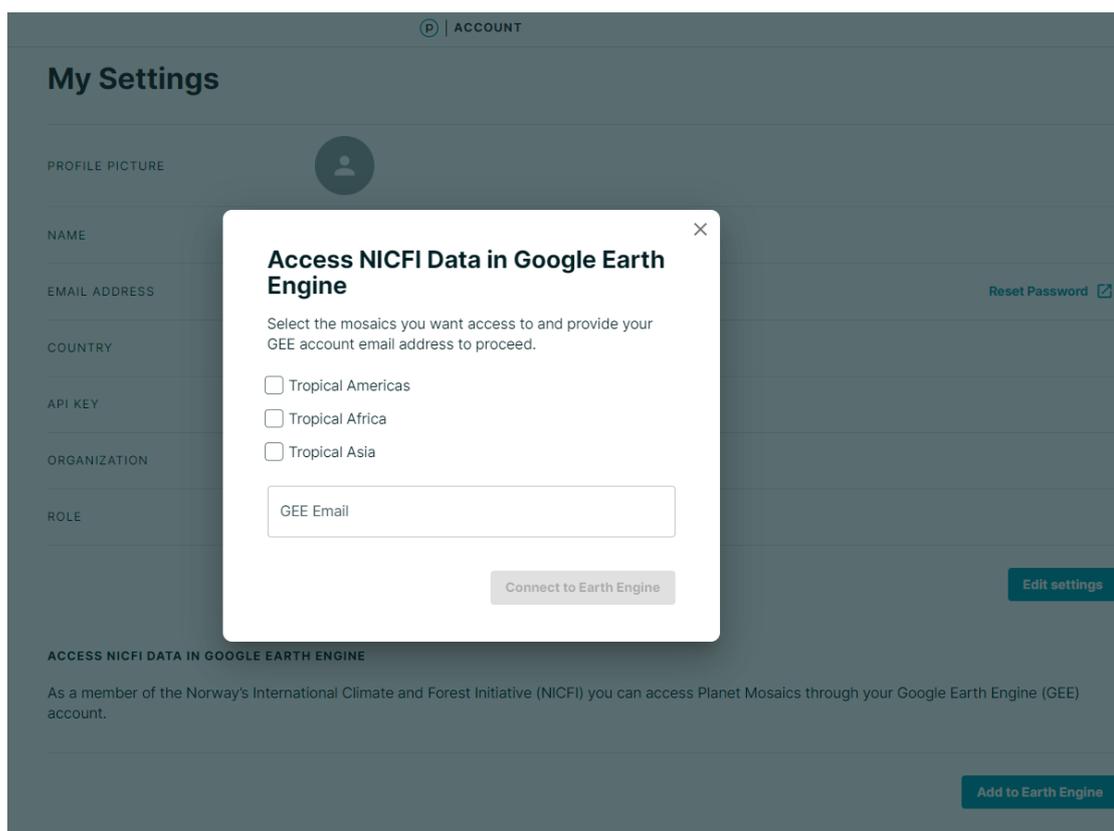
The screenshot shows a sign-up form for Planet's NICFI program. The form is titled "GET STARTED" and includes a note: "Current Planet data users will need to sign up with a different email not associated with their Planet account." The form contains the following fields and elements:

- Email Address:** A text input field with a red asterisk indicating it is required.
- What would you be using the data for?:** A dropdown menu with "Select..." as the current selection.
- Can you describe the application of data from NICFI program in brief?:** A text input field with a red asterisk.
- Please provide a link to your organization/lab/university that you might be working with:** A text input field.
- Organization Type:** A dropdown menu with "Select..." as the current selection.
- Agreement:** A checkbox followed by the text: "By submitting this form with my contact information, I agree the information may be used to receive occasional communications from Planet about its products and services. I may unsubscribe at anytime." with a red asterisk.
- SUBMIT:** A blue button at the bottom of the form.

Após cadastro, o usuário receberá um e-mail para que a conta seja ativada.

1.3 – Integração dos dados do NICFI ao GEE

O último passo antes de iniciar com o uso dos dados, é habilitar a ferramenta de integração do NICFI com o GEE. Isso é realizado através de www.planet.com/account/#/user-settings. Deverá ser informado a conta cadastrada no GEE para realização da integração.

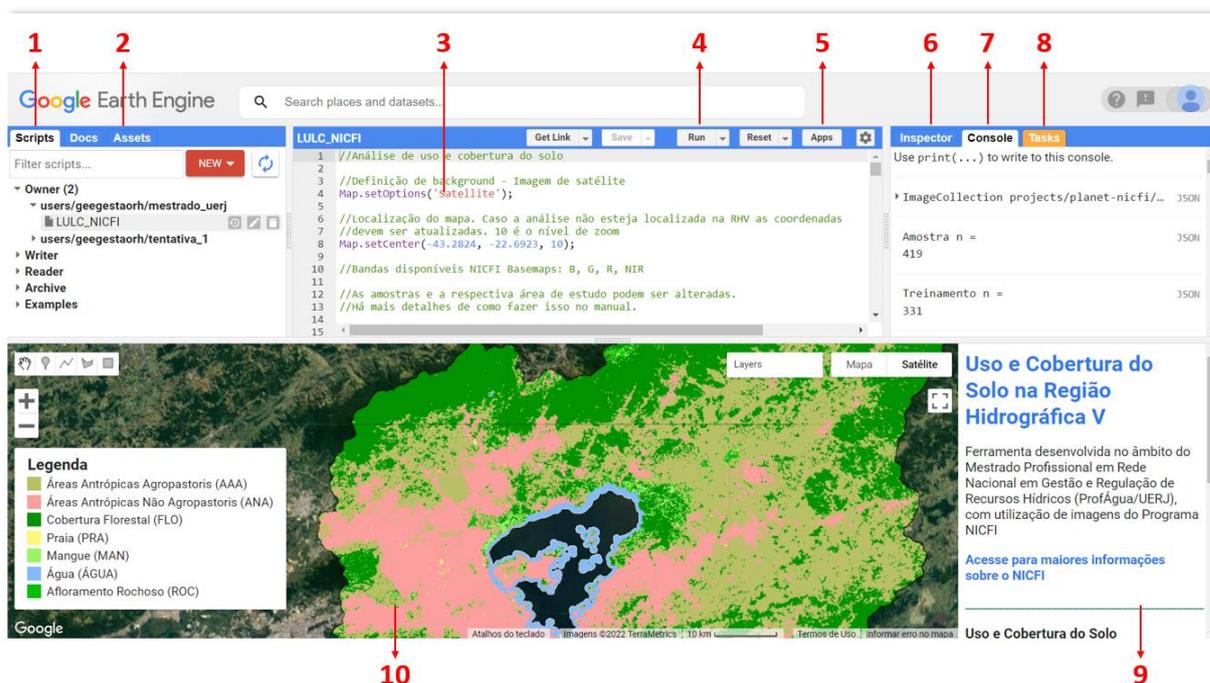


Ao menos uma das regiões deverá ser selecionada para que os dados sejam trabalhados no GEE, quais sejam Américas, África ou Ásia. Como o foco da utilização dos dados é o estado do Rio de Janeiro, pelo menos os mosaicos “Tropical Americas” deverá ser selecionado. O estabelecimento da integração pode levar alguns dias.

2 – Informações gerais sobre o GEE

Assim que a conexão entre os dados do NICFI e GEE for estabelecida, pode-se acessar os dados através do seguinte repositório, que ficará como um item de leitura na guia de *scripts* do usuário, conforme será explicado na sequência: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/geegestaorh/mestrado_uerj.

A imagem na sequência possui explicação para algumas funcionalidades do GEE que serão mencionadas nesse manual:



Sendo:

1: Guia de Scripts a que o usuário terá acesso. Em “Reader” ficará salvo o acesso ao repositório com o código desse estudo. Para que o *script* seja incorporado ao code editor, basta clicar no nome (no caso, “LULC_NICFI”).

2: Em “Assets” o usuário tem acesso aos uploads que foram realizados no GEE, como por exemplo os arquivos vetoriais.

3: Code editor ou editor de código, local onde é desenvolvido o *script*.

4: Clicando em “Run” o *script* é rodado.

5: “App” permite a criação de um aplicativo a partir do código gerado, facilitando o compartilhamento para usuários que não necessitam fazer alterações no *script*.

6: Em “Inspector” o usuário pode clicar em um ponto do mapa que terá os valores de *pixel* das camadas presentes no mapa.

7: Na guia “Console” estarão alguns dados de saída do *script*, como informações sobre as amostras e dados de acurácia, por exemplo.

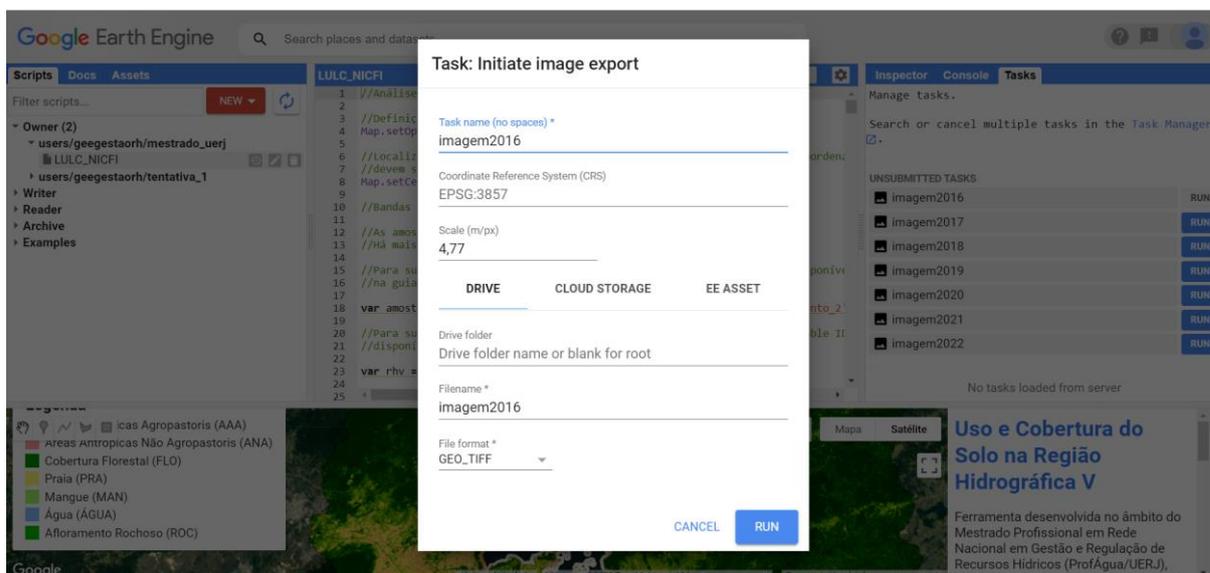
8: Em “Tasks” o usuário poderá exportar a imagem classificada.

9: Quadro com algumas informações do estudo. Rolando a barra o usuário poderá selecionar o ano da imagem classificada, assim como o gráfico com os quantitativos de cada uso do solo.

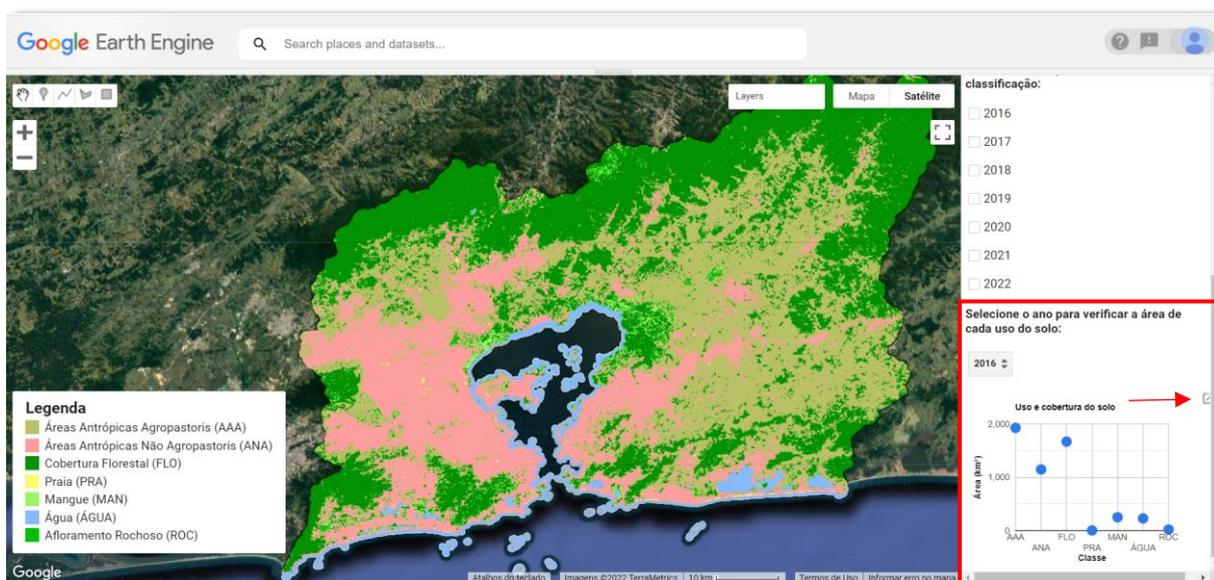
10: Local em que será carregado o mapa classificado.

3 – Utilização dos dados sem alterações no *script*

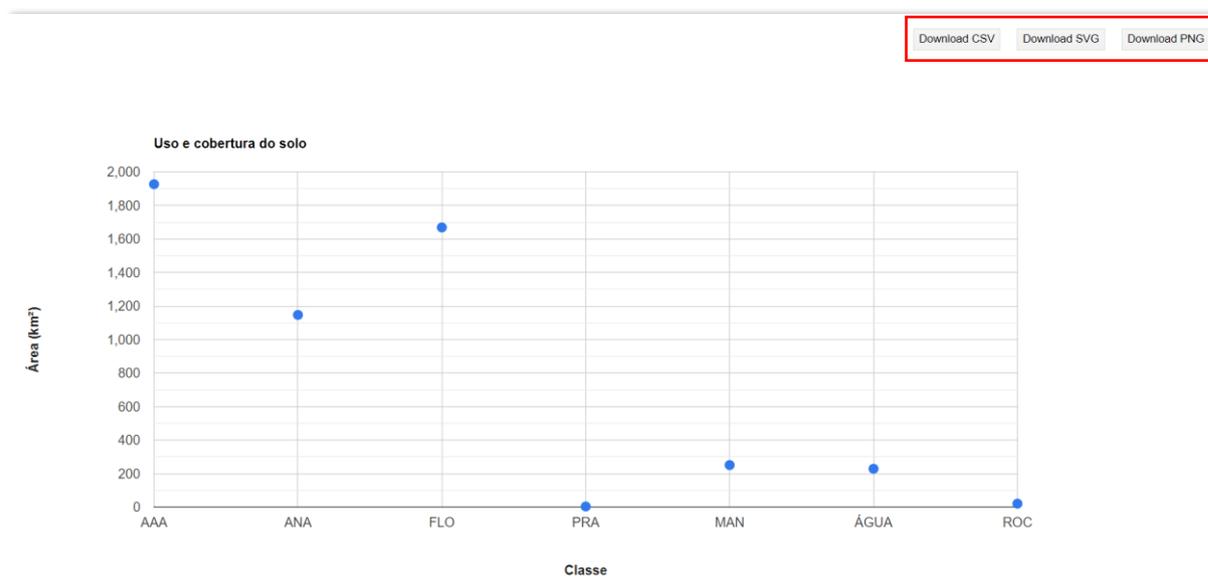
Após rodar o *script*, se o usuário quiser exportar das imagens classificadas, deverá selecionar a guia “Tasks”, clicar em “Run” ao lado do nome de cada arquivo e selecionar entre as opções disponíveis, quais sejam exportar para o google drive, cloud ou agregar como um arquivo (asset) do GEE.



O usuário pode também gerar os gráficos com os quantitativos relativos a cada ano. Basta selecionar o ano no canto inferior do mapa e clicar no ícone destacado na imagem a seguir.



Além de visualizar o gráfico com maior nível de detalhe, o usuário poderá também exportar os quantitativos em diferentes formatos, como em formato tabular (csv).



4 – Visualização no App

A visualização no app faz com o que o código seja rodado automaticamente por qualquer pessoa interessada, não sendo necessário ter uma conta cadastrada no GEE ou no NICFI. Nesse caso, as linhas de código não ficam visíveis, sendo disponibilizada somente a janela do mapa do GEE: <https://geegestaorh.users.earthengine.app/view/uso-e-cobertura-do-solo---rhv>.

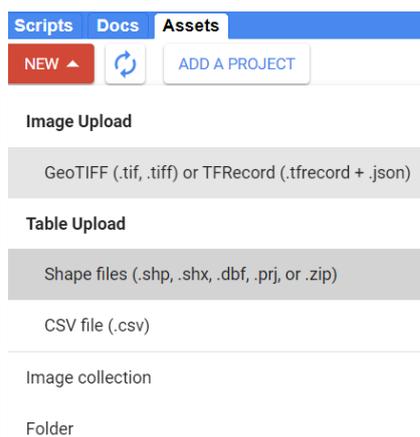
5 – Utilização dos dados com alteração do *script*

Conforme já mencionado, foram adicionados ao código vários comentários em partes que podem ser manipuladas de acordo com o uso pretendido. A utilização de barra dupla (//) no início de uma linha de código, faz com que o código não seja lido. Assim, é possível suprimir comandos sem a necessidade de apagar linhas de *script*.

5.1 – Carregando dados de área

Caso a área de interesse para análise seja diferente da RHV, deve ser carregado um arquivo em *shapefile* (ou outro formato permitido) no GEE. O arquivo deve estar referenciado ao Sistema de Referência WGS 84.

Isso é feito no painel da esquerda do code editor, na guia “Assets”, depois em “New” e, por fim, em “Table Upload”:



Após o carregamento do arquivo, ele ficará disponível em assets. Ao clicar no arquivo, será aberta uma janela com os detalhes do asset. A informação contida em “Table ID” será necessária para substituir a informação da linha de código a seguir (substituir XXX pela informação de Table ID):

```
var rhv = ee.FeatureCollection('XXX');
```

Asset details DELETE SHARE IMPORT Edit

Table: rh_baia_guanabara

DESCRIPTION FEATURES PROPERTYIES

No description.

Table ID

Date
 Start date: NA dt
 End date: NA dt

File Size 165.66KB

CLOSE

É recomendável alterar somente essa informação e não o nome da variável (var rhv), pois esse nome será utilizado em outras operações da sequência.

5.2 – Carregando dados de amostra

Deve-se seguir os mesmos passos com relação ao carregamento da dados de área. No entanto, ao preparar o shapefile das amostras em um ambiente de SIG (como QGIS ou ArcGIS, por exemplo) deve-se atentar ao nome da coluna que terá o número das classes de uso.

Essa coluna deve ser denominada como ID_Classe, sendo cada tipo de uso representado por um número. Por exemplo, o usuário quer verificar a cobertura de Floresta, que será representada pelo número 1 e assim sucessivamente para cada classe de interesse. Não há um número pré-definido de classes de uso e cobertura do solo. Essa definição é feita pelo usuário.

Assim como feito para a área de interesse no item anterior, após o carregamento do arquivo, ele ficará disponível em assets. Ao clicar no arquivo, será aberta uma janela com os detalhes do asset. A informação contida em “Table ID” será necessária para substituir a informação da linha de código a seguir (substituir XXX pela informação de Table ID):

```
var amostras = ee.FeatureCollection('XXX');
```

Asset details DELETE SHARE IMPORT Edit

Table: amostras_treinamento_2

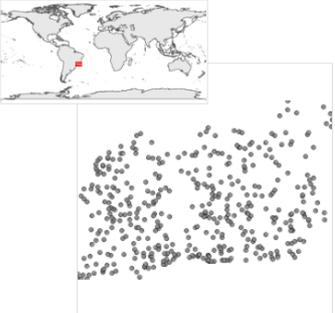


Table ID 
 users/geegestaorh/amostras_treinamento_2

Date
 Start date: NA dt
 End date: NA dt

File Size 24.98KB

Feature Index	Classe_2 (String)	ID_Classe (Long)	OBJECTID_1 (Long)	system:index (String)
0	Praia	4	10	
1	Praia	4	16	
2	Praia	4	23	
3	Praia	4	24	
4	Praia	4	28	
5	Praia	4	29	
6	Praia	4	30	
7	Praia	4	34	
8	Praia	4	37	
9	Praia	4	38	

*limited to the first 10 features

CLOSE

Novamente, não se recomenda modificar o nome da variável (var amostras), pois ela será utilizada na sequência em outras linhas do código.

5.3 – Ajuste dos gráficos e legenda para novas classes de uso e cobertura do solo

Se o usuário não deseja adaptar a legenda e o gráfico para novas classes de uso do solo, basta suprimir a parte 2 do código (ou inserir // nas linhas de código).

Caso o usuário queira que o gráfico e a legenda reflitam as alterações nas classes, é necessário alterar o número e nome das classes nas seguintes linhas de código (esses passos estão comentados no *script*):

```
//Construindo o gráfico
//Definindo um dicionário para as classes
var classes_solo = {
  '1': {v: 1, f: 'AAA'},
  '2': {v: 2, f: 'ANA'},
  '3': {v: 3, f: 'FLO'},
  '4': {v: 4, f: 'PRA'},
  '5': {v: 5, f: 'MAN'},
  '6': {v: 6, f: 'ÁGUA'},
  '7': {v: 7, f: 'ROC'}
};
```

Lembrando que essas classes foram as escolhidas para o estudo, de acordo com a legenda a seguir:

Legenda	
	Áreas Antrópicas Agropastoris (AAA)
	Áreas Antrópicas Não Agropastoris (ANA)
	Cobertura Florestal (FLO)
	Praia (PRA)
	Mangue (MAN)
	Água (ÁGUA)
	Afloramento Rochoso (ROC)

As alterações na legenda podem ser feitas nas seguintes linhas de código:

```
//Nomes na legenda
var names = ['Áreas Antrópicas Agropastoris (AAA)', 'Áreas Antrópicas Não Agropastoris (ANA)', 'Cobertura Florestal (FLO)', 'Praia (PRA)', 'Mangue (MAN)', 'Água (ÁGUA)', 'Afloramento Rochoso (ROC)'];

//Adicionando cores e nomes
for (var i = 0; i < 7; i++) { //i < número de classes. Substituir o 7 pelo número de classes caso seja diferente
  legend.add(makeRow(palette[i], names[i]));
}
```