Recital

Revista de Educação,
Ciência e Tecnologia de Almenara/MG.

ANÁLISE DE ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL A PARTIR DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE NA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE

Analysis of changes in vegetation cover from the processing of satellite imagens on Google Earth Engine

Rafael Lara Mazoni ANDRADE
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais
rafael_l_mazoni@hotmail.com

DOI: https://doi.org/10.46636/recital.v3i3.199

Resumo

Esse estudo utilizou alguns bancos de dados presentes no *Google Earth Engine*, importados para dentro da cena de análise. A primeira base inserida no *Engine* foi um *dataset* de áreas protegidas – que são disponíveis em polígonos das áreas protegidas em todo o mundo do Banco de Dados Mundial de Áreas Protegidas, conhecido em inglês como *World Database on Protected Areas* (WDPA). Ao ser importada para o mapa, essa base se apresenta na forma de uma imagem em preto e vermelho – pixels pretos representam locais onde não há cobertura vegetal; e o vermelho, cobertura vegetal, *per se*. A base dispõe de informações, para cada pixel, de perda e ganho de cobertura vegetal no ínterim analisado – com valores 0 ou 1 para *loss* e *gain* em cada pixel, respectivamente, perda e ganho. A partir desse mapeamento, foi possível quantificar as áreas em que houve alteração na cobertura vegetal.

Palavras-chave: Geotecnologias. Sensoriamento remoto. *Google Earth Engine*.

Abstract

The aim of this research is to exemplify the potential analysis of changes in vegetation cover over time through *Google Eath Engine* for the South APA area in the Metropolitan Region of Belo Horizonte. This study used some databases present in the GEE, imported into the analysis scene. The first base inserted in the Engine was a dataset of protected areas – which are available in polygons of protected areas around the world from the World Protected Areas Database, known as the World Database on Protected Areas (WDPA). When imported into the map, this base is presented in the form of a black and red image – black pixels represent places where there is no vegetation cover; and red, vegetation cover, *per se*. The base provides information, for each pixel, of loss and gain of vegetation cover analyzed in the meantime– with values 0 or 1 for *loss* and *gain in* each pixel. From this mapping, it was possible to quantify the areas in which there was a change in vegetation cover.

Keywords: Geotechnologies. Remote sensing. Google Earth Engine.

INTRODUÇÃO

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem para monitoramento e análise ambiental em larga escala. Essa plataforma fornece acesso gratuito a imagens de sensoriamento remoto disponíveis publicamente, para processamento paralelo de alta velocidade e aprendizado de máquina usando a infraestrutura computacional do Google, além de uma biblioteca de APIs (*Application Programming Interfaces*) que suportam o desenvolvimento de aplicações em linguagens populares de programação, como *Python* e *Java Script* (TAMIMINIA *et al*., 2020).

Uma das aplicações da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) é a visualização de dados geoespaciais e imagens de satélite históricas da Terra e o tratamento de imagens a partir da combinação de diferentes bandas (GORELICK *et al*., 2017; MUTANGA; KUMAR, 2019; TAMIMINIA *et al*., 2020).

Pela plataforma é possível acessar e analisar eficientemente várias bases de dados espaciais *open-source*, como imagens de sensoriamento remoto dos satélites Landsat e MODIS, *datasets* da Mudança Florestal Global, estradas, áreas protegidas, entre outras bases livres (GORELICK *et al*., 2017; MUTANGA; KUMAR, 2019; TAMIMINIA *et al*., 2020).

Ao utilizar o GEE é possível responder perguntas de pesquisas em larga escala de uma maneira eficiente, a partir do uso de grandes conjuntos de dados (*datasets*) geoespaciais para abordar uma infinidade de perguntas e desafios que a humanidade enfrenta no mundo moderno. (GORELICK et al., 2017; MUTANGA; KUMAR, 2019; TAMIMINIA, *et al*., 2020).

Além disso, uma das grandes vantagens de se utilizar o GEE é o fato de utilizarem servidores remotos do *Google* – o que aumenta a rapidez com que se processam bases de dados de grande porte, cuja análise demoraria semanas em um computador pessoal (GORELICK *et al*., 2017). Juntos, esses recursos permitem que os usuários descubram, analisem e visualizem *big data* geoespacial de maneiras poderosas sem precisar de acesso a supercomputadores ou conhecimento especializado em programação (TAMIMINIA *et al*., 2020).

O objetivo deste trabalho é exemplificar a potencialidade de análise de mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo, através do GEE para a área da APA Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

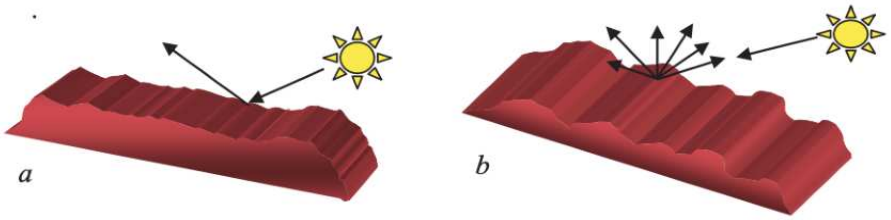
Com sua gênese em meados do século XIX, crescendo no século posterior, diante do contexto de aprimoramento de técnicas bélicas, e aprimorando-se no final do século passado, diante da revolução tecnológica própria desse tempo, o Sensoriamento Remoto relaciona-se à tecnologia de obtenção de imagens da superfície da Terra à distância, a partir de sensores remotos (CAMPBELL; WYNNE, 2011; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

Para a compreensão de como funciona o Sensoriamento Remoto, necessita-se de um entendimento acerca de o que é a radiação eletromagnética – REM. Com comportamento duplo, sendo, concomitantemente, onda e energia, a radiação eletromagnética sai de sua fonte (que pode ser o Sol, a Terra, dentre outros), se propaga pelo vácuo e interage com os alvos na superfície terrestre, retornando ao sensor (KARAM; FUNG; ANTAR, 1988; CAMPBELL e WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

De acordo com os pressupostos do chamado modelo ondulatório, a REM seria uma onda senoidal (em forma de sino) e harmônica (regular, com o mesmo comportamento em toda sua extensão). Assim, as ondas possuem comprimento de onda (a distância entre dois picos sucessivos da onda) e frequência (o número de picos de onda que passa por um ponto fixo de referência), propriedades inversamente proporcionais: quanto maior o comprimento de onda (representado pela letra grega λ), menor a frequência. Com base no modelo ondulatório, as características das imagens são explicadas com base na relação entre o tamanho da onda e o tamanho do objeto (KARAM, FUNG; ANTAR, 1988; CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

A partir daí, pode-se apresentar a interação macroscópica da REM com os objetos: a resposta da intensidade com que um objeto reflete a radiação eletromagnética em razão do tamanho da onda e a textura (a rugosidade topográfica) da superfície do objeto (KARAM, FUNG; ANTAR, 1988; CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021). A superfície pode ser difusora ou lisa, e essas características determinam a resposta, como se vê na Figura 1.

Figura 1 – Relação entre a superfície e a resposta da radiação

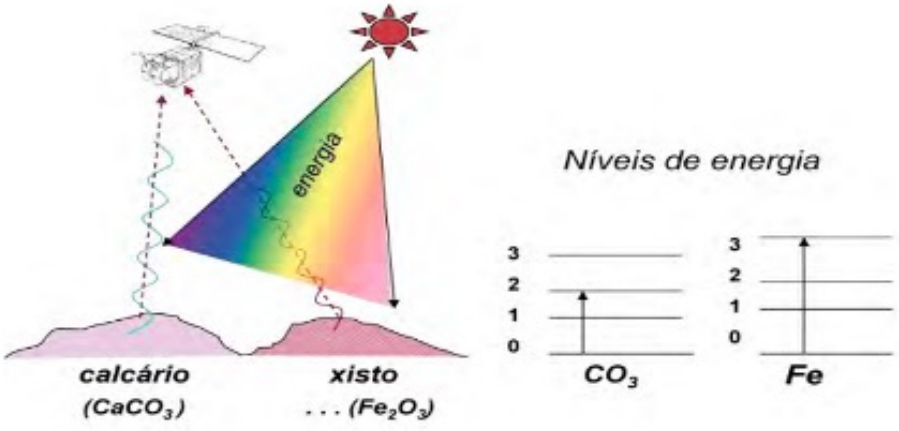


Fonte: Meneses; Almeida (2012, p. 7).

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

O modelo corpuscular (também chamado de modelo quântico) considera a REM como energia. Assim sendo, há interação entre a REM e o alvo, o que se chama de troca de energia, sendo parte da REM absorvida pelos elétrons ou moléculas. A partir daí, pode-se medir a quantidade de REM que é perdida, ou seja, que é absorvida pelo alvo. Logo, pode-se afirmar que essa absorção difere entre distintas composições químicas (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021). A partir disso, pode-se afirmar qual é o material do alvo, como se vê na Figura 2:

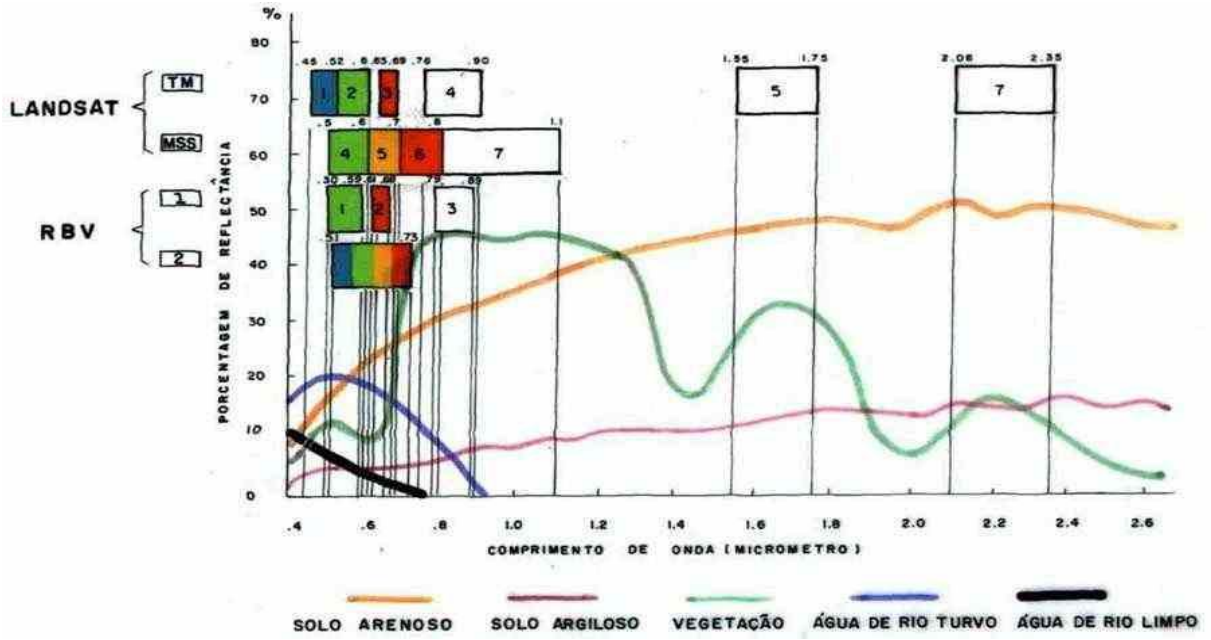
Figura 2 – Relação entre o material e a resposta da radiação



Fonte: Meneses; Almeida (2012, p. 10).

Enfim, o modelo ondulatório se relaciona às propriedades texturais dos objetos, enquanto o modelo corpuscular relaciona-se às propriedades composicionais. Todavia, não se pode separar onda e energia. As imagens dos objetos sempre são respostas em função do tamanho da onda e da intensidade de sua energia – as interações macro e microscópicas manifestam-se conjuntamente (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021). Essas interações determinam a assinatura espectral dos alvos, ou a resposta única de cada material a cada onda, como se vê abaixo:

Figura 3 – Assinatura espectral de diversos alvos



Fonte: Sausen (s.d.).

Acerca das fontes de REM, pode-se afirmar que todos os objetos que possuem temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin, ou -273°C) apresentam movimentação de átomos e moléculas. Quando essas partículas se colidem, elas emitem radiação eletromagnética. Quanto maior a temperatura da fonte, maior a potência de sua irradiação (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

Todavia, há interferências atmosféricas. Durante sua passagem pela atmosfera, a REM interage com as moléculas dos constituintes gasosos e com o material particulado suspenso, ocorrendo interferência na intensidade do fluxo radiante, na distribuição espectral e na direção dos raios incidentes (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

A absorção pela atmosfera e por aerossóis é um dos efeitos mais prejudiciais ao uso do Sensoriamento Remoto, condicionando a emissão de REM pelas suas fontes, de acordo com bandas e regiões do espectro eletromagnético (FRASER; KAUFMAN, 1985; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

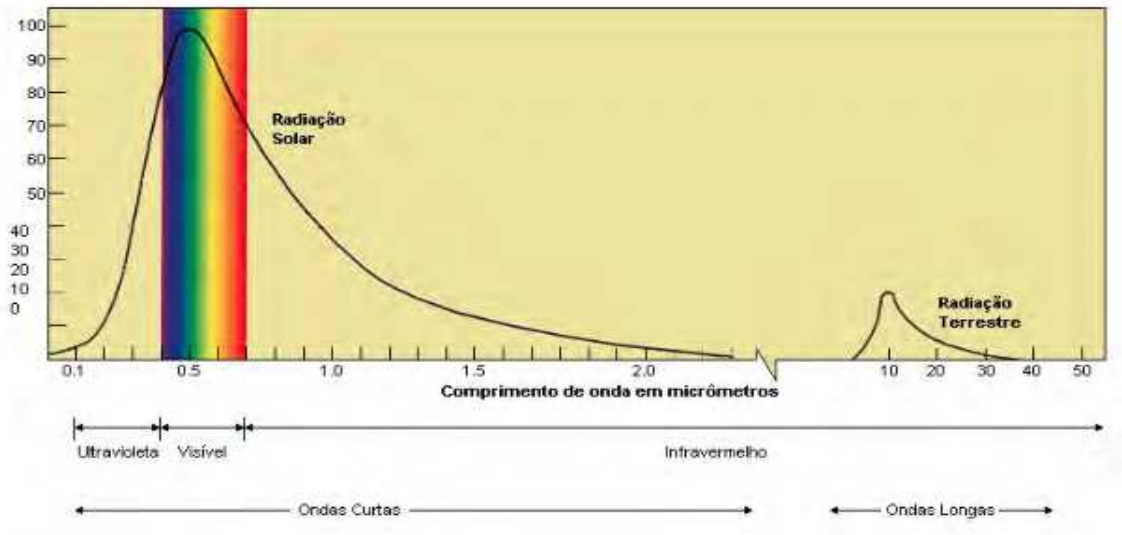
Quanto ao espalhamento, ele corresponde à mudança de direção da REM. Uma forma comum de espalhamento é o espalhamento Rayleigh, a causa de o céu ser azul ou vermelho (DUCIC; ARTRU; LOGNONNÉ, 2003; CAMPBELL; WYNNE, 2011; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021). Outra forma de espalhamento é o Mie, que causa perda de contraste em todas as regiões espectrais de imagens de satélite, dada a presença de aerossóis (gases, vapor de água e poeira) em suspensão na atmosfera (MISHCHENKO *et al*., 1995; AGGARWAL, 2003; CAMPBELL; WYNNE, 2011; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021). Por fim, há o espalhamento não-seletivo, que ocorre quando o tamanho das partículas é muito maior que

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

o comprimento de onda da faixa espectral entre visível e termal. Ele é responsável pela cor branca das nuvens (CAMPBELL; WYNNE, 2011).

Um conceito já citado acima é o de espectro eletromagnético, as regiões espectrais de REM conhecidas pelo homem. Cada região tem propriedades e interações distintas, condicionando o seu uso para Sensoriamento Remoto (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ELACHI; VAN ZYL, 2021):

Figura 4 – Espectro eletromagnético



Fonte: Meneses; Almeida (2012, p. 50).

Há ainda outros conceitos que devem ser apresentados. A energia radiante é a energia que se propaga da fonte. O fluxo radiante é a taxa de transferência da energia por período de tempo. A irradiância é o fluxo radiante solar incidente sobre a superfície do terreno por área da superfície. A radiância é a densidade do fluxo radiante que deixa a superfície do terreno. Enfim, quanto à reflectância, pode-se dizer que é a razão entre a energia que sai da fonte e a energia que incide na superfície (CAMPBELL; WYNNE, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012; ISHIMARU, 2017; ELACHI; VAN ZYL, 2021).

Para atingir o objetivo do Sensoriamento Remoto, há quatro diferentes acepções de resolução: (i) resolução espacial, (ii) resolução espectral, (iii) resolução radiométrica e (iv) resolução temporal.

a) RESOLUÇÃO ESPACIAL: um objeto só pode ser resolvido se o seu tamanho for, no mínimo, igual ao tamanho do elemento de resolução (Pixel).

b) RESOLUCÃO ESPECTRAL: tem a ver com o número de bandas que o sensor possui, a largura das bandas – medida em comprimento de onda – e as posições das bandas no espectro eletromagnético. É melhor um sensor se ele tiver grande número de bandas estreitas em diferentes regiões do espectro eletromagnético.

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

c) RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA: relaciona-se à capacidade que o detector tem de medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância, medida em *bits*, ou número de tons de cinza, dada pela função $y = 2^x$ na qual y é a quantidade de tons de cinza e x é o número de *bits*. Os *bits* são uma maneira de transformar a realidade espacial em valores numéricos discretos para uso digital.

d) RESOLUÇÃO TEMPORAL: a resolução temporal relaciona-se à frequência que o sensor revisita uma área. Essa resolução é fundamental para acompanhar fenômenos em sua evolução temporal.

Assim, a partir da obtenção de imagens, é possível passar à análise visual dos dados. A textura apresenta os padrões de arranjo espacial a partir de sua rugosidade ou suavidade. A cor (ou tonalidade) é mostrada pela intensidade de energia refletida. A sombra pode oferecer uma noção tridimensional do objeto (por exemplo, de uma forma de relevo), ou ainda pode ser confundida com água, o que ocasiona certa perda de qualidade. A forma é percebida através de pontos, linhas, polígonos e padrões de repetição.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Tal estudo utilizou alguns bancos de dados presentes no GEE, importados para dentro da cena de análise. A primeira base inserida no *Engine* foi um *dataset* de áreas protegidas – que estão disponíveis em polígonos das áreas protegidas em todo o mundo do Banco de Dados Mundial de Áreas Protegidas, conhecido em inglês como World Database on *Protected Areas* (WDPA).

O Banco de Dados Mundial sobre Áreas Protegidas (WDPA) é a fonte mais atualizada e completa de informações sobre áreas protegidas, atualizada mensalmente com submissões de governos, organizações não governamentais, proprietários de terras e comunidades. É gerenciado pelo Centro Mundial de Monitoramento da Conservação do Meio Ambiente (PNUMA-WCMC) do Programa das Nações Unidas com o apoio da IUCN e da Comissão Mundial de Áreas Protegidas (WCPA). O WDPA possui duas classes de recursos com dados espaciais e tabulares associados em mais de 200 mil áreas protegidas.

Tal base de dados é importada e plotada no ambiente de mapa, como uma camada. A partir disso, é possível clicar sobre feições e obter informações sobre elas no console do programa, na guia "*Inspector*". A fim de exemplificar e aplicar a técnica em uma realidade local, a partir do zoom sobre as adjacências de Belo Horizonte, destaca-se uma área de grande extensão – a Área de Preservação Ambiental (APA) Sul da RMBH, selecionada para análise (Figura 5).

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Figura 5 – Base da WCPA sobre imagem de satélite das adjacências da Região Metropolitana de Belo Horizonte; e área de estudo destacada com o *pin* em vermelho (APA Sul)



Fonte: Autoria própria.

Outra base de dados importada é base global de mudanças na cobertura vegetal – *Global Forest Change* (GFC). Tal base, desenvolvida por Hansen e colaboradores (2013), apresenta resultados da análise em série temporal das imagens Landsat na caracterização da extensão e mudança da cobertura vegetal no globo.

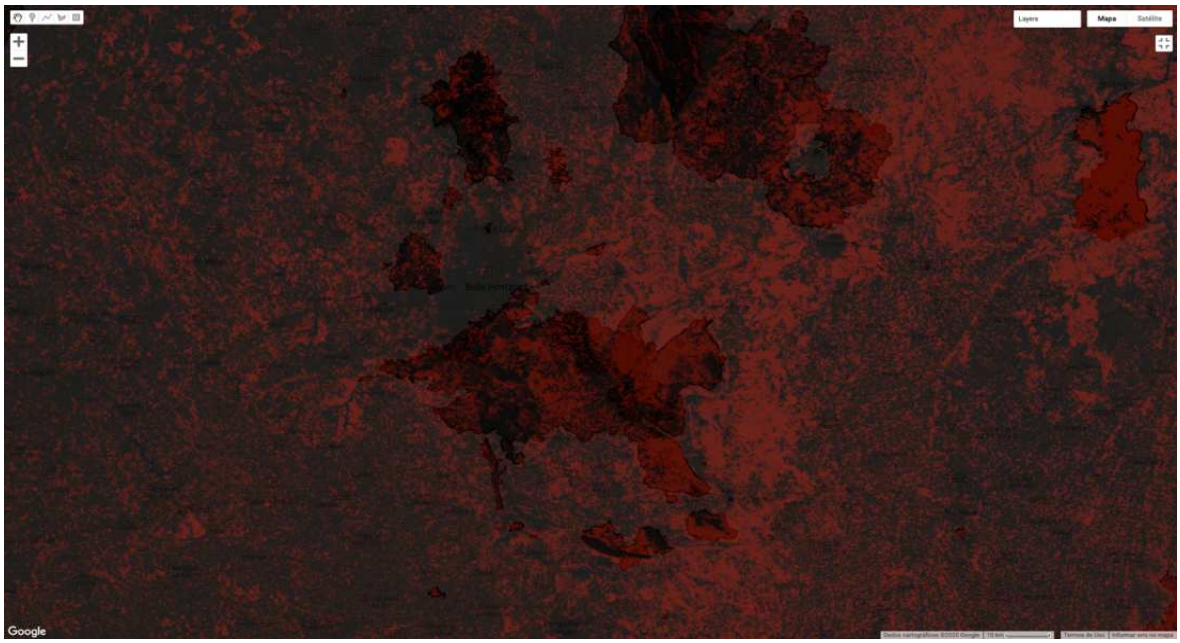
A base do GFC apresenta imagens compostas com a mediana de um conjunto de observações de temporada de crescimento – ponderadas pela qualidade para cada uma dessas bandas – para imagens do satélite Landsat – o que permite a comparação de dois cenários: 2000 e 2019 (HANSEN *et al*., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao ser importada para o mapa, essa base se apresenta na forma de uma imagem em preto e vermelho (Figura 5). Ao se explorar na guia "*Inspector*", infere-se que os pixels pretos representam locais onde não há cobertura vegetal; e o vermelho, cobertura vegetal, *per se*. A base dispõe de informações, para cada pixel, de perda e ganho de cobertura vegetal no ínterim analisado – com valores 0 ou 1 para *loss* e *gain* em cada pixel, respectivamente, perda e ganho.

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Figura 6 – Base GFC sobre base da WCPA nas adjacências da Região Metropolitana de Belo Horizonte, incluindo a área de estudo (destacada com transparência)



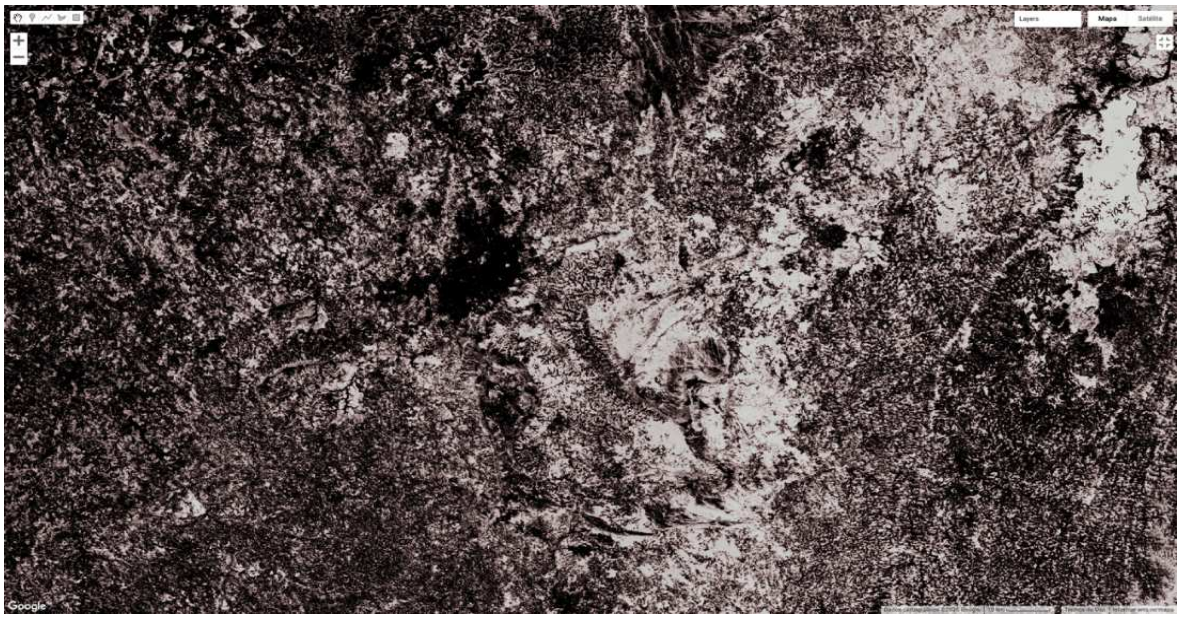
Fonte: Autoria própria.

Na sequência, foi feito um ajuste da escala de análise. A resolução espacial do *dataset Global Forest Change*, por utilizar imagens de Landsat, é de 30 m. Isso significa que a menor unidade de análise é um quadrado de 30 m x 30 m.

A partir daí, criaram-se variáveis para a cobertura vegetal no período inicial (2000), colorida com cinza claro; para a perda de cobertura vegetal até 2019, colorida de rosa; e para ganho, verde claro. Cada uma dessas variáveis é apresentada na forma de uma camada no mapa:

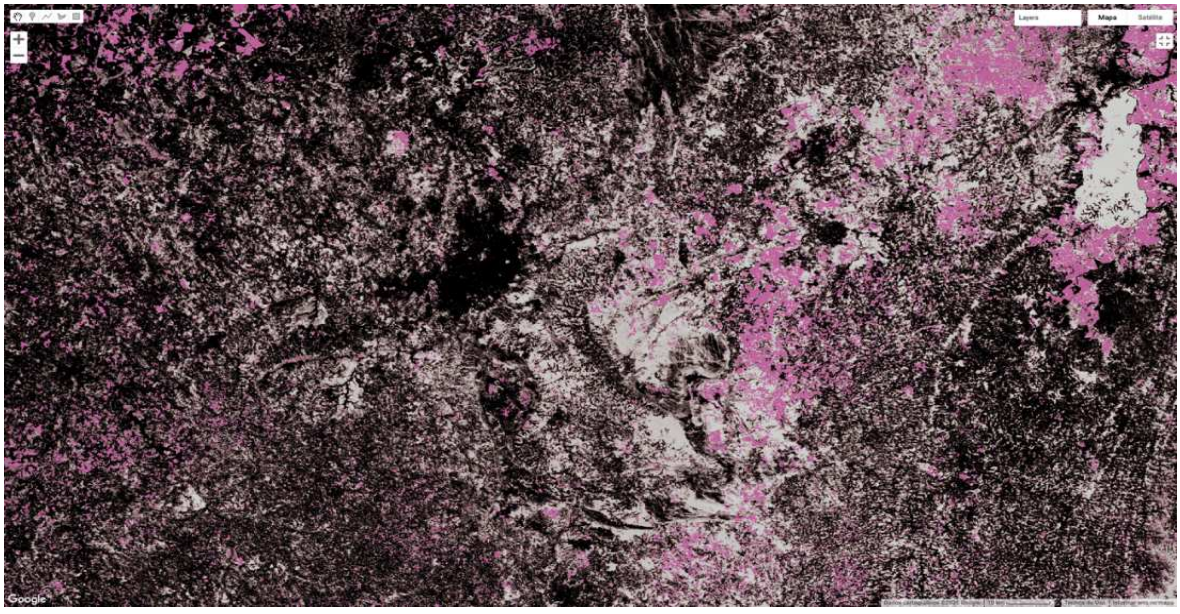
RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Figura 7 – Camada de cobertura vegetal em 2020 na área de estudo



Fonte: Autoria própria.

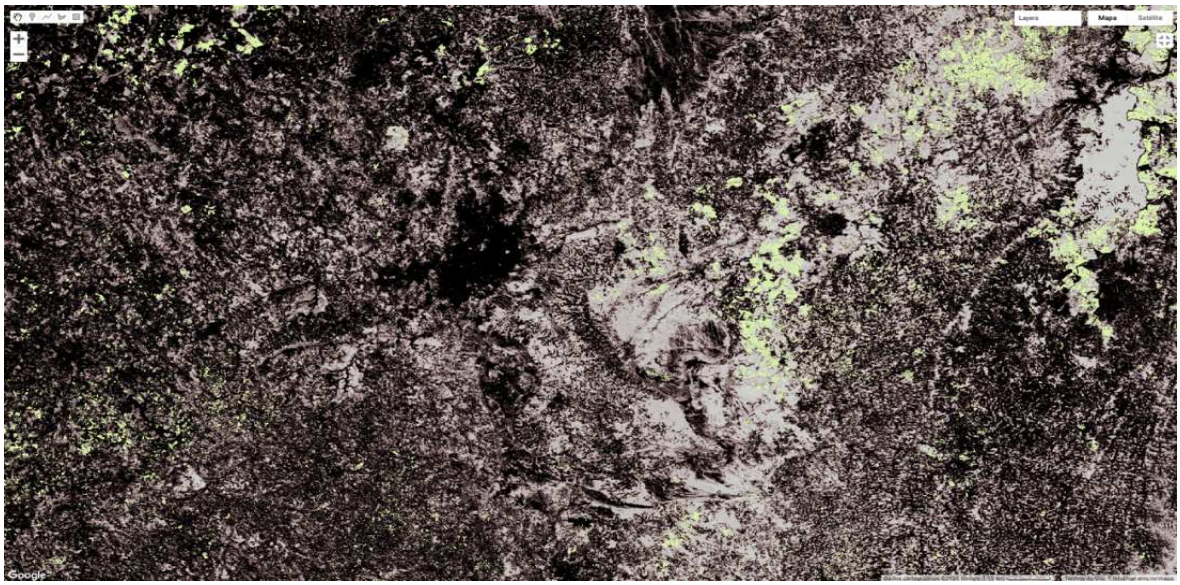
Figura 8 – Perda de cobertura vegetal na área de estudo, destacada com cor rosa



Fonte: Autoria própria.

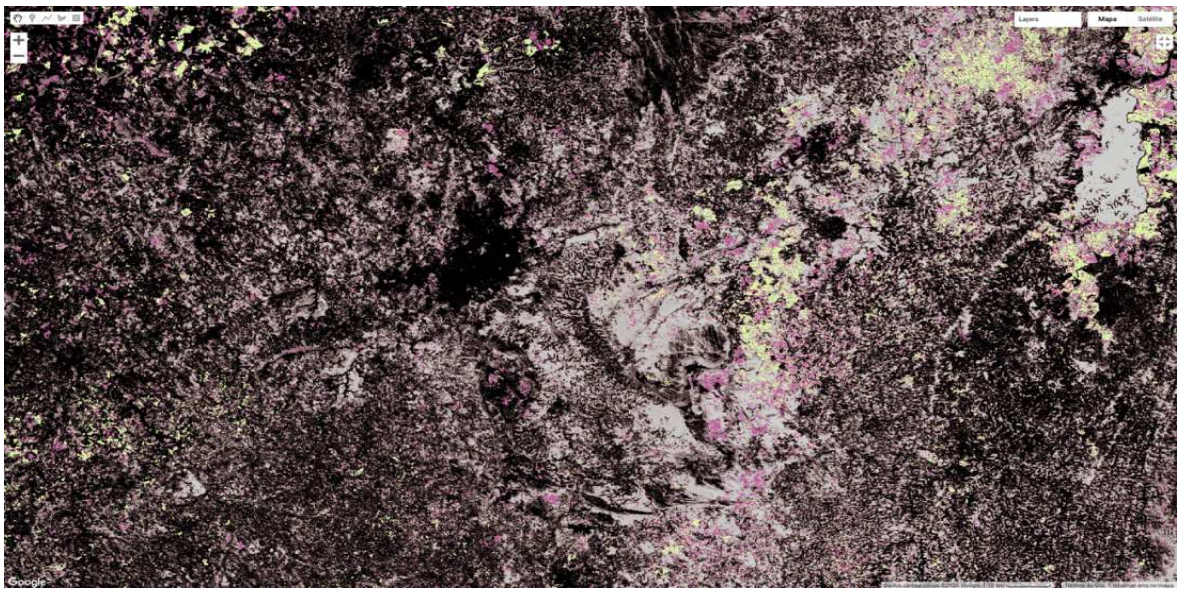
RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Figura 9 – Ganho de cobertura vegetal na área de estudo, destacada com a cor verde



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 – Sobreposição de perda e ganho na área de estudo – em rosa, a perda; verde, o ganho



Fonte: Autoria própria.

A partir dessa análise, foi selecionada a área específica da APA Sul-RMBH, a partir de filtro em seu atributo “NAME”. O GEE permite, então, o cálculo das áreas de perda e ganho de cobertura vegetal dentro da APA em questão. As tabelas com os cálculos foram exportadas para o Google Drive, onde podem ser acessadas e tratadas. Os resultados foram sintetizados no quadro abaixo:

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

Tabela 1 – Resultados dos cálculos de área na APA Sul entre 2000 e 2019

Ganho de cobertura vegetal (em ha)	Perda de cobertura vegetal (em ha)	Saldo (ganhos – perda, em ha)
35.629,11066	318.838,4416	**-283.209,3309**

Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das aplicações da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) é a visualização de dados geoespaciais e imagens de satélite históricas da Terra e o tratamento de imagens a partir da combinação de diferentes bandas (GORELICK *et al*., 2017; MUTANGA; KUMAR, 2019; TAMIMINIA, *et al*., 2020).

Isso se dá com grandes vantagens no que diz respeito ao ganho de escala: a plataforma fornece acesso gratuito a imagens e bases de dados de todo o globo, fazendo processamento paralelo de alta velocidade em servidores do *Google*. Além disso, por operar a partir de linhas de códigos de programação, o GEE permite interoperabilidade e automações, conforme apresentam Tamiminia e colaboradores (2020).

Ao utilizar o GEE, é possível responder perguntas de pesquisas em larga escala de uma maneira eficiente, a partir do uso de grandes conjuntos de dados (*datasets*) geoespaciais para abordar uma infinidade de perguntas e desafios que a humanidade enfrenta no mundo moderno. (GORELICK *et al*., 2017; MUTANGA; KUMAR, 2019; TAMIMINIA *et al*., 2020).

Ao fazer o processamento das bases de dados utilizadas na ferramenta, foi possível mapear e, especialmente, quantificar as alterações em termos de área de perda e ganho de cobertura vegetal. A área em questão, na APA Sul da RMBH, apresentou perda de grande volume de cobertura vegetal no ínterim em análise, de 2000 a 2019. A despeito de se observar um incremento de mais de 35 mil hectares de cobertura vegetal, observa-se, em contrapartida, a perda de mais de 318 mil hectares, o que resulta em um saldo negativo de pouco mais de 283 mil hectares.

Pode-se resumir tal análise afirmando que os achados do processamento no *Google Earth Engine* corroboram o que se discute acerca do crescimento urbano no vetor sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Em síntese, a ocupação dessa região acentua-se a partir do esgotamento da capacidade de extração de minérios na década de 1970. As mineradoras, proprietárias de grande parte das terras, passaram a explorar a urbanização dessas áreas na forma de moradias unifamiliares de alto padrão voltadas a pessoas interessadas em sair de Belo Horizonte, mas continuar vivendo perto da capital, em condomínios fechados que transformam a paisagem através da *mercantilização* e *artificialização* da exuberante natureza (COSTA *et al*., 2006).

RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

REFERÊNCIAS

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing.** 5. ed. Nova Iorque: Guilford Press, 2011.

COSTA, H. S. M. (org); COSTA, G. M.; MENDONÇA, J. G.; MONTE-MÓR, R. L. M. **Novas Periferias Metropolitanas**: a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul. Belo Horizonte: C/ Arte, 2006.

DUCIC, V.; ARTRU, J.; LOGNONNÉ, P. Ionospheric remote sensing of the Denali Earthquake Rayleigh surface waves. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 18, 2003. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2003GL017812 Acesso em 13 set. 2021.

ELACHI, C.; VAN ZYL, J. **Physics and techniques of remote sensing.** 3. ed. Hoboken (Nova Jérsei), Wiley, 2021.

FRASER, R. S.; KAUFMAN, Y. J. The Relative Importance of Aerosol Scattering and Absorption in Remote Sensing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 23(5), pp. 625–33. 1985. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4072356 Acesso em 13 set. 2021.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MORRE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, 202, dez. 2017, pp. 18-87. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900 Acesso em 13 set. 2021.

HANSEN, M. C., P. V. POTAPOV, R. MOORE, M. HANCHER, S. A. TURUBANOVA, A. TYUKAVINA, D. THAU, S. V. STEHMAN, S. J. GOETZ, T. R. LOVELAND, A. KOMMAREDDY, A. EGOROV, L. CHINI, C. O. JUSTICE, AND J. R. G. TOWNSHEND. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." **Science,** 342 850–53, 2013. Disponível em: http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest Acesso em 28 maio 2021.

ISHIMARU, A. **Electromagnetic wave propagation, radiation, and scattering:** from fundamentals to applications. 2. ed. Hoboken (Nova Jérsei), Wiley, 2017.

KARAM, M. A.; FUNG, A. K.; ANTAR, Y. M. M. Electromagnetic wave scattering from some vegetation samples. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 26, no. 6, pp. 799-808, nov. 1988. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7711 Acesso em 13 set. 2021.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati (orgs**.). Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/CNPQ, pp. 1-33; pp. 77-9, 2012.

MISHCHENKO, M. I.; LACIS, A. A.; CARLSON, B. E.; TRAVIS, L. D. Nonsphericity of dust-like tropospheric aerosols: Implications for aerosol remote sensing and climate modeling. **Geophysical Research Letters**, 22(9), pp. 1077–80, 1995. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/95GL00798 Acesso em 13 set. 2021.

MUTANGA, O.; KUMAR, L. Google Earth Engine Applications. **Remote Sensing**. 2019, 11, 591. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/5/591#cite Acesso em 13 set. 2021.

SAUSEN, T. M. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. INPE: São José dos Campos, s.d. Disponível em: http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#top Acesso em 28 maio 2021.

TAMIMINIA, H.; SALEHI, B.; MAHDIANPARI, M.; QUACKENBUSH, L.; ADELI, S.; BRISCO, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 164, jun. 2020, pp 152-70. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271620300927 Acesso em 13 set. 2021.

APÊNDICE 1 – CÓDIGO UTILIZADO NO GEE

```
// Análise de alterações na cobertura vegetal em todas as áreas protegidas no estado de Minas Gerais, Brasil

// R. L. Mazoni Andrade et al., IFNMF

// 2020_ago_27

// Este layer contém polígonos de áreas protegidas:

Map.addLayer (parks);

// Este layer contém informações sobre mudanças na cobertura vegetal do planeta (Global Forest Change), cf Hansen e colaboradores:

Map.addLayer (gfc)

// Ajusta a escala para cálculos à escala utilizada por Hansen e colaboradores, de 30 m

var scale = gfc.projection().nominalScale();

// Cria uma variável para a cobertura vegetal original em 2000

var treeCover = gfc.select(['treecover2000']);

// Converte o layer de cobertura vegetal, de centenas de hectares para hectares, a fim de compatibilizar com o padrão da base de dados

treeCover = treeCover.divide(100);

// Cria uma variável para perda de cobertura vegetal

var loss = gfc.select(['loss']);

// Cria uma variável para ganho de cobertura vegetal

var gain = gfc.select(['gain']);

// Colore de cinza claro o layer de cobertura vegetal

Map.addLayer(treeCover.updateMask(treeCover),

   {palette: ['D0D0D0', '00FF00'], max: 100}, 'Forest Cover');

// Colore de rosa o layer de perda de cobertura vegetal

Map.addLayer(loss.updateMask(loss),

        {palette: ['#BF619D']}, 'Loss');

// Colore de verde claro o layer de ganho de cobertura vegetal

Map.addLayer(gain.updateMask(gain),

        {palette: ['#DAF7A6']}, 'Gain');

// As unidades das variáveis são seu número de pixels, que precisam ser convertidos em área real, dividindo os por 10 000, para que seu resultado sejam em km2
```


RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

```
var areaCover = treeCover.multiply(ee.Image.pixelArea())
 .divide(10000).select([0],["areacover"]);
var areaLoss = loss.gt(0).multiply(ee.Image.pixelArea()).multiply(treeCover)
            .divide(10000).select([0],["arealoss"]);
var areaGain = gain.gt(0).multiply(ee.Image.pixelArea()).multiply(treeCover)
            .divide(10000).select([0],["areagain"]);
// Adiciona layer de cobertura vegetal em cinza claro
Map.addLayer(treeCover.updateMask(treeCover),
    {palette: ['D0D0D0', '00FF00'], max: 100}, 'Forest Cover');
// Adiciona layer de perda de cobertura vegetal em rosa
Map.addLayer(loss.updateMask(loss),
          {palette: ['#BF619D']}, 'Loss');
// Adiciona layer de ganho de cobertura vegetal em verde claro
Map.addLayer(gain.updateMask(gain),
          {palette: ['#DAF7A6']}, 'Gain');
Map.addLayer (imageCollection);
// Cria uma variável com apenas a área da APA Sul
var parks = parks.filter(ee.Filter.or(
    ee.Filter.eq("NAME", " Área De Proteção Ambiental Sul-Rmbh")));
  // Soma os valores de pixels de perda de cobertura vegetal:
var statsLoss = areaLoss.reduceRegions({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  collection: parks,
  scale: scale
});
// Soma os valores de pixels de ganho de cobertura vegetal:
var statsGain = areaGain.reduceRegions({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  collection: parks,
  scale: scale
});
// Exporta tabelas:
```


RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, v. 3, n. 3, set./dez. 2021.
ISSN: 2674-9270. Disponível em: http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital

```
Export.table.toDrive({
  collection: statsLoss,
  description: 'NP_forest_loss'});
  Export.table.toDrive({
  collection: statsGain,
  description: 'NP_forest_gain'});
```

Recebido em: *28 de maio 2021*
Aceito em: *3 de dezembro 2021*