



V2n1_2021

Plataforma de Monitoramento e Suporte à Decisão para o Planejamento Territorial do Circuito das Águas Paulista

Monitoring and Decision Support Platform for the Territorial Planning of the Paulista Water Circuit

Plataforma de Supervisión y Soporte para las Decisiones de Planificación Territorial del Circuito Paulista del Agua.

Juliana Campos Degenario Ribeiro

Bacharelanda Sist de Informação
Inst de Ciências Matemáticas e
de Comp_ICMC-USP
julianadegenario@usp.br

Breno Malheiros de Melo

Graduando em Eng Civil
Escola de Eng de São Carlos
_EESC-USP
breno_malheiros@usp.br

Marcel Fantin

Doutor em Geociências
Prof. e Pesq. no Inst de
Arquitetura e Urbanismo_USP
mfantin@sc.usp.br

Jeferson Cristiano Tavares

Doutor em Arquitetura e
Urbanismo
Prof. e Pesq. no Inst de
Arquitetura e Urbanismo-USP
jctavares@usp.br

Julio Cesar Pedrassoli

Doutor em Geografia Humana
Prof. e Pesq. na Univ Federal da
Bahia_UFBA
pedrassoli.julio@gmail.com

Marcos Roberto Martines

Doutorado em Geografia Física
Prof. e Pesq. na Univ Federal de
São Carlos_UFSCar
artines@ufscar.br

Data da Submissão:
07junho2021

RESUMO

Este artigo apresenta um protótipo de plataforma de monitoramento territorial para os municípios que compõem a região do Circuito das Águas Paulista. Desenvolvido a partir de uma API (Application Programming Interface), do Google Earth Engine (GEE), esse protótipo utiliza programação em javascript para detectar, quantificar e avaliar tendências de uso e ocupação da terra em escala intraurbana de maneira rápida e contínua. Para essa tarefa foram utilizados o classificador de aprendizagem de máquina SVM (Support Vector Machine) e o catálogo atualizado de imagens do Satélite Sentinel II, ambos disponibilizados gratuitamente na infraestrutura em nuvem do GEE. O baixo custo computacional e a boa performance obtida credenciam o protótipo desenvolvido como uma ferramenta adequada às necessidades de municípios de pequeno porte e baixo orçamento que, por sua vez, podem se consorciar para desenvolver uma plataforma comum, autônoma e customizada de inteligência geográfica para suporte à decisão.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, SVM, Planejamento Urbano

ABSTRACT

This paper presents a prototypical platform of monitoring territorial from towns that belong to Circuito das Águas Paulistas' region (Paulista Water Circuit). The prototype was developed from an API (Application Programming Interface), of Google Earth Engine (GEE), and it uses javascript programming to detect, quantify and evaluate tendencies of land use and occupation in interurban scale quickly and constantly. For that task was used a machine learning classifier SVM (Support Vector Machine), and an updated catalog of Satellite images Sentinel II, both of them are available at no cost in the GEE cloud infrastructure. The low computational cost and the good performance achieved make the prototypical development be a tool that attends necessities of towns, which are small and has a low budget and, furthermore, they can join in an association of towns to develop an ordinary, independent and customized intelligence geographic system to support decision.

Keywords: Remote Sensing, SVM, Urban Planning

RESUMEN

Este trabajo demuestra un prototipo de una plataforma de supervisión territorial para las ciudades que componen la región del Circuito das Águas Paulistas (Circuito Paulista del Agua). El prototipo fue desarrollado pela utilización de un API (Application Programming Interface), del Google Earth Engine, y se emplea programación en javascript para detectar, cuantificar y evaluar movimiento de uso y ocupación de lo solo en escala interurbana de forma ágil y constante. Para esa tarea han usado el clasificador de aprendizaje de máquina SVM (Support Vector Machine) y el catálogo actualizado de imágenes del Satélite Sentinel II, ambos son disponibilizados gratuitamente en infraestructura en nube del GEE. Lo bajo costo computacional y el buen desempeño obtenido Este trabajo demuestra un prototipo de una plataforma de supervisión territorial para las ciudades que componen la región del Circuito das Águas Paulistas (Circuito Paulista del Agua). El prototipo fue desarrollado pela utilización de un API (Application Programming Interface), del Google Earth Engine, y se emplea programación en javascript para detectar, cuantificar y evaluar movimiento de uso y ocupación de lo solo en escala interurbana de forma ágil y constante. Para esa tarea han usado el clasificador de aprendizaje de máquina

SVM (Support Vector Machine) y el catálogo actualizado de imágenes del Satélite Sentinel II, ambos han disponibilizado gratuitamente en infraestructura en nube del GEE. Lo bajo costo computacional y el buen desempeño obtenido posibilitan que el prototipo desarrollado sea una herramienta propicia a las necesidades de las ciudades con pequeño porte y, además, ellas pueden agremiarse para construir una plataforma común, independiente y personalizada de inteligencia geográfica para soporte a decisión.

Palabras-Clave: Teledetección, SVM, Planeamiento Urbanístico

1. INTRODUÇÃO

As dificuldades técnicas e o alto custo que se materializa na aquisição de equipamentos e softwares, treinamento de recursos humanos e aquisições contínuas de imagens orbitais de sensoriamento remoto acaba por desencorajar a maioria dos municípios brasileiros a adotarem ferramentas de monitoramento e planejamento do território para suporte à decisão.

O processamento de informações espaciais a partir de computação em nuvem pode reduzir de forma considerável esses custos ao permitir a manipulação de um grande volume de dados com baixo investimento tanto em infraestrutura computacional quanto em treinamento de recursos humanos, contribuindo assim para um efetivo monitoramento do uso e ocupação da terra por municípios de pequeno porte com foco no planejamento municipal e regional (quando implementada por iniciativa de um consórcio de municípios).

É dentro desse contexto que o presente trabalho apresenta um protótipo de plataforma de monitoramento territorial em nuvem, com destaque para as escalas regional e intraurbana dos municípios que compõem o Circuito das Águas Paulista.

Para tanto, a opção para o desenvolvimento do protótipo de plataforma de monitoramento territorial de baixo custo foi a adoção

do classificador SVM (*Support Vector Machine*), baseado em aprendizagem de máquina, e a incorporação do catálogo atualizado de imagens do Satélite *Sentinel II*, ambos disponíveis gratuitamente e embarcados no sistema de computação em nuvem do GEE.

Atualmente, o GEE é a alternativa gratuita mais popular para garantir o fornecimento de informações espaciais atualizadas de forma a prover suporte ao desenvolvimento de ações de planejamento e gestão territorial em escala local e regional, incluindo um olhar integrado das áreas verdes urbanas ao sistema macro de preservação da biodiversidade.

Ao avançar em uma escala intraurbana para além dos índices meramente quantitativos de áreas verdes urbanas¹, o protótipo de plataforma desenvolvido buscou, a partir do referencial de Spirn (1995) e do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável n. 11² (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis), desenvolver uma ferramenta de monitoramento da natureza que permeia as cidades objeto do presente estudo, assim como as suas áreas de expansão, fornecendo assim subsídios para um planejamento que dialogue tanto com os biomas regionais quanto com o fornecimento de subsídios para projetos de cidades que reconheçam as potencialidades naturais locais.

1 Pode-se citar, por exemplo, o Programa Município VerdeAzul – PMVA (Governo do Estado de São Paulo) que visa medir e apoiar a eficiência da gestão ambiental com a descentralização e valorização da agenda ambiental nos municípios (ESTADO DE SÃO PAULO, 2019). Em sua Diretiva 8, Arborização Urbana (AU), a métrica de resultado está restrita ao índice de cobertura vegetal no perímetro urbano, sem maiores delimitações, em que pese as métricas de gestão exigirem a implantação de um Plano Municipal de Arborização Urbana e de um Piloto de Floresta Urbana.

2 Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015. Essa Agenda é composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030 (ONU, 2019).

Além do método adotado, são apresentados também os entraves e desafios, considerando aspectos técnicos, institucionais e especificidades locais, para a construção de uma cultura de cooperação entre desenvolvedores e usuários desse sistema, principalmente gestores municipais, com foco na construção de políticas públicas integradas.

A proposta deste projeto se insere no âmbito da pesquisa, do ensino e da extensão. Seu financiamento se deu a partir do Edital de Apoio a Projetos que Façam Uso de Sistemas Digitais Inteligentes da Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo, sendo o seu desenvolvimento realizado em conjunto com as disciplinas de graduação Métodos e Técnicas de Planejamento Regional e Cultura, Ambiente e Sustentabilidade, ambas oferecidas pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU - USP). Ao final, os trabalhos dos alunos e o presente projeto foram apresentados aos gestores do Circuito das Águas para problematização e debate.

2. OBJETIVOS

Esse projeto foi concebido a partir de dois objetivos principais.

O primeiro foi o de promover o desenvolvimento e o uso de sistemas digitais inteligentes direcionados ao monitoramento do uso e ocupação

da terra na região do Circuito das Águas Paulista, muito em função das lacunas geoinformacionais existentes e que precisam ser preenchidas para um suporte adequado à decisão por parte da administração pública.

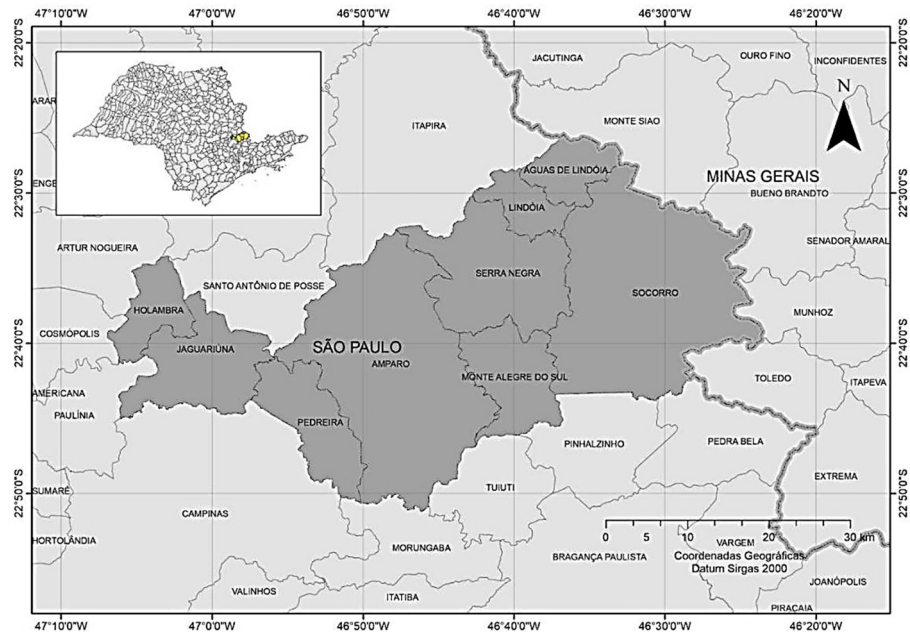
O segundo objetivo visa, a partir da técnica de aprendizagem de máquina denominada Support Vector Machine (SVM), construir um banco de dados para a região e consolidar um método que possa ser apropriado com pouco investimento pelo poder público, considerando as demandas da sociedade civil.

3. ÁREA DE ESTUDO

Composto pelos municípios de Águas de Lindóia, Amparo, Holambra, Jaguariúna, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Serra Negra e Socorro, o Circuito das Águas Paulista é uma rota turística com diferentes atrativos associados ao artesanato, ecoturismo, turismo rural e patrimônio histórico. Esses municípios integram o Consórcio Intermunicipal do Pólo Turístico do Circuito das Águas Paulista, que foi constituído com objetivo de divulgar os atrativos turísticos da região e colaborar para o seu desenvolvimento econômico e social. A figura 1 traz a configuração territorial da área de estudo (Figura 1).³

3 Link para o Estatuto do Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento do Pólo Turístico do Circuito das Águas Paulista: <https://www.ircuitodasaguaspaulista.sp.gov.br/images/estatuto.pdf>.

Figura 1- Configuração atual do Circuito das Águas.



Fonte: Autores, 2019

A formação de circuitos turísticos se apresenta como um suporte importante em regiões que abarcam municípios de pequeno porte e que apresentam dificuldades técnicas e operacionais para formar órgãos e ferramentas que auxiliem as administrações municipais no planejamento, na definição de prioridades e no monitoramento de ações voltadas para o desenvolvimento do turismo e a proteção da biodiversidade e da paisagem.

O Circuito das Águas Paulista está localizado a aproximadamente 120 km da cidade de São Paulo, capital estadual, fazendo divisa com o sul do estado de Minas Gerais. O acesso é feito a partir das rodovias Bandeirantes/Anhanguera, com início em Jaguariúna, e pela rodovia Fernão Dias, com início em Socorro. Essas rodovias se conectam com a rodovia Presidente Dutra a partir

do Município de São Paulo, principal acesso rodoviário entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Dos nove municípios que compõem o circuito, seis são considerados estâncias hidrominerais, excluindo-se Holambra, Pedreira e Jaguariúna (BANTIM DE SOUZA, 2010).

Em sua grande maioria, os municípios da região estão localizados na Serra da Mantiqueira, numa faixa de 800 m a 1000 m de altitude, excetuando-se Holambra, Jaguariúna e Pedreira, localizados na Bacia do Paraná e com média altimétrica de 600 m (IBGE, 2010).

Em função de sua localização, o Circuito das Águas tem período seco bem definido de abril a setembro, com médias de temperatura abaixo dos 22 °C, com ocorrência de geadas e nevoeiros associados ao resfriamento noturno durante o inverno. Além disso, a região

é cortada pelos rios do Peixe, Camanducaia, Jaguari e Atibaia, que apresentam quedas d'água, praias fluviais e ilhas, a maioria de seus núcleos urbanos se desenvolveu ao longo dos vales destes rios, que correm de leste para oeste, em uma região com predominância de áreas muito acidentadas (declividades entre 20% e 40%) (SÃO PAULO, 1982).

Devido a este conjunto de fatores morfoclimáticos, a cobertura florística original apresenta caráter semidecíduo (perda temporária das folhas) e associações de coníferas (araucárias e podocarpus). Entretanto, o avanço do café na região entre os séculos XIX e XX deixou apenas fragmentos dessa cobertura vegetal original nas vertentes serranas. O subsequente aumento de pastagens também empobreceu o solo, desencadeando processos erosivos. Com vistas ao desenvolvimento turístico da região, o primeiro plano turístico para o Circuito das Águas Paulista, elaborado nos anos 1970, estabeleceu como diretriz selecionar faixas e sítios adequados ao tratamento paisagístico, levando em conta os eixos de circulação. Esse plano associou também a sustentabilidade econômica do turismo à preservação das encostas da Serra da Mantiqueira e de sua vegetação (SÃO PAULO, 1982)⁴.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1 AMBIENTE E ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO

Como definido por Martines et al. (2019, p. 569), a Classificação Supervisionada é "o processo de extrair informações de imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos usados para mapear

áreas na superfície da Terra, associando cada pixel da imagem com um 'rótulo' descrevendo um objeto real".

Através da Classificação Supervisionada é possível gerar mapas que englobam áreas de interesse como manchas urbanas, hidrografia regional e diferentes classes de vegetação. Com isso, diversos classificadores surgiram ao longo do tempo, entre eles alguns conhecidos como o *Maximum Likelihood Classification (MLC)*, *Random Tree (RT)* e *Support Vector Machine (SVM)*, sendo este último o utilizado neste trabalho.

O SVM é embasado pela Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE), desenvolvida e explicada no conjunto de obras do matemático Vladimir Vapnik, que visa o controle da capacidade de classificação correta de padrões não treinados, chamada de habilidade de generalização. Assim, a teoria para controlar a capacidade de generalização de aprendizagem de máquina é dedicada à construção de um princípio indutivo que minimiza o risco funcional usando uma pequena amostra de instâncias de treinamento (VAPNIK, 1995).

Seu funcionamento se dá através do Aprendizado Indutivo e Supervisionado, tipo de aprendizado de máquina que tem como analogia a figura de um professor ensinando um aluno. Segundo Santos (2002, p. 4), "o sistema tenta induzir uma regra geral a partir de um conjunto de instâncias observadas." Dessa forma, para que a técnica funcionasse, foi preciso fornecer para o algoritmo exemplos de entradas e saídas desejadas.

A partir disso, o SVM mapeia o

4 Exceções são Jaguariúna e Holambra, localizadas na Bacia do Paraná e que apresentam relevo mais suave, clima mais quente e vegetação típica predominante de cerrado.

conjunto de treinamentos do seu espaço inicial e, utilizando a TAE e métodos de Otimização Matemática, separa seus dados por meio de um hiperplano, conseguindo assim prever corretamente, com base em novas entradas, suas respectivas saídas.

Para a utilização do SVM, foi escolhida a plataforma *Google Earth Engine (GEE)*. Além de fornecer o classificador, a plataforma permite o processamento geoespacial por meio da infraestrutura em nuvem do Google, que reúne imagens de satélite e possibilita a visualização, manipulação, edição e criação de dados espaciais de forma fácil e rápida.

A escolha do SVM está relacionada à uma pesquisa anterior desenvolvida por Martines et al. (2019) que comparou a eficiência dos classificadores *Maximum Likelihood Classification (MLC)*, *Support Vector Machine (SVM)* e *Random Tree (RT)* a partir de classificação supervisionada de imagens do Satélite *Sentinel II*. Os resultados indicaram que o algoritmo SVM conduziu à maior precisão para a classe fragmentos florestais em relação aos demais classificadores considerados nessa pesquisa. Este melhor desempenho do algoritmo SVM na classificação dos fragmentos florestais também foi identificado pela pesquisa de Kavzogluand e Colkesen (2009) para as imagens dos satélites *Landsat ETM +* e *Terra ASTER image*.

De acordo com Gorelick et al. (2017), o *Google Earth Engine* é uma plataforma embarcada na nuvem *Google* para análise geoespacial em escala global e que traz excelentes serviços de computação de alto desempenho para lidar com uma

variedade de temas associados, por exemplo, ao gerenciamento dos recursos hídricos e ao monitoramento climático e ambiental. Ela pode ser acessada e controlada por meio de uma interface de programação de aplicativos (API) e por um ambiente de desenvolvimento interativo (IDE) acessíveis pela internet que permite criar protótipos e visualizar rapidamente os resultados.

Esse processamento de dados em nuvem possibilita a utilização de métodos com alto custo computacional sem a necessidade de aquisição de equipamentos robustos especializados para essa área, sendo possível acessar códigos e produtos desenvolvidos nessa estrutura por meio de computadores domésticos. Em conjunto, o catálogo disponível na plataforma conta com imagens de satélite em constante atualização com latência típica de 24h, como é o caso do *Sentinel II* com período de revisita de 10 dias (5 dias na constelação combinada) e produtos produzidos por organizações como *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *World Wide Fund for Nature (WWF)*, *University of Idaho*, entre outras, com base em imagens de satélite e outros sensores neles instalados. (GORELICK et al., 2017)

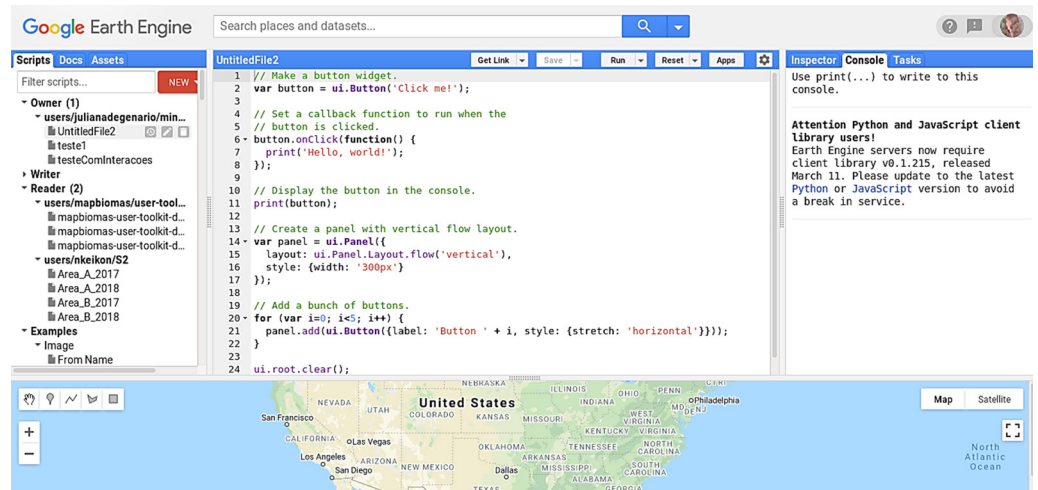
Uma dentre as diversas vantagens presentes na plataforma está em seu layout. O *Code Editor*, ambiente de programação da plataforma, permite em uma única tela o desenvolvimento, execução do código desenvolvido, visualização dos dados geográficos produzidos, acesso ao portfólio de códigos exemplos e documentação de funções implementadas na plataforma. Esse conjunto de informações permite o desenvolvimento fluido de aplicações

e averiguação de possíveis falhas presentes.

Devido a ampliação de possibilidades dentro da API, o Google se reserva ao direito de estabelecer limites de consumo de sua capacidade de

processamento e armazenamento em nuvem, esses mesmo que existentes são altos o suficiente para competir com a utilização de workstations desenvolvidas para tratamento de informações geográficas (Figura 2).

Figura 2- Code Editor.



Fonte: Autores, 2019

Para o desenvolvimento da plataforma protótipo alguns produtos externos à API foram utilizados para recortes e leitura visual, como limites municipais e arquivos *Shapefile* e *GeoTIFF* produzidos com o auxílio do software QGIS a partir de fontes de dados governamentais contendo informações sobre geodiversidade, relevo e pedologia.

Em específico, para o funcionamento do classificador SVM, uma série de amostras foi desenvolvida com o intuito de promover o aprendizado da máquina com a otimização dos fatores tempo de processamento e custo computacional.

Dentro de toda a estrutura de processamento requerida pelo SVM, as etapas de aprendizado e classificação consumiram a maior

parte da cota de processamento disponível, isso ocorre em virtude do estabelecimento de um método de classificação para os mais distintos períodos de tempo com as imagens do *Sentinel II* (de resolução espacial de 10m), onde é necessário recorrer ao produto de nível 1C, o qual não conta com um robusto pós-processamento como os de nível 2A, mas possui imagens com período de revisita de 5 dias, enquanto os de nível 2A pode não possuir imagens para uma determinada região em períodos superiores a 1 ano.

O produto nível 2A fornece imagens de refletância de *Bottom Of Atmosphere* (BOA) derivadas dos produtos Nível 1C associados. Cada produto Nível 2A é composto por blocos de 100x100 km² em geometria cartográfica (projeção

UTM / WGS84). Os produtos Nível 2A são gerados sistematicamente no segmento terrestre na Europa desde março de 2018 e a produção foi estendida para global a partir de dezembro de 2018. A geração Nível 2A também pode ser realizada pelo usuário por meio da caixa de ferramentas do *Sentinel II*, usando como entrada os produtos de nível 1C (ESA, 2020).

Uma vez que a classificação tem como base o reconhecimento de padrões, a qualidade do ortomosaico tem impacto direto na acuidade do produto final. Assim, visando tornar mais clara a visualização tanto para usuário quanto para a máquina, foi aplicado no processo de produção dos ortomosaicos utilizados a filtragem dos pixels pelo índice de nebulosidade, permitindo minimizar a quantidade de nuvens e sombras que encobrem os elementos a serem classificados.

Sobre toda estrutura já citada até o momento foram definidos os limites do classificador por meio de testes, averiguando quais tipos de elementos de interesse para o processo de planejamento regional poderiam ser classificados com base nos produtos gerados.

O sistema de visualização de informações da plataforma se organiza por camadas, sendo a classificação de áreas edificadas e da vegetação os seus principais pilares. Nesse sistema foram produzidas e inseridas camadas adicionais de informação como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) extraído das imagens *Sentinel II*, que no contexto do projeto corresponde a resposta reflexiva da superfície mediante emissão de luz, a qual auxilia na identificação de áreas

com vegetação e avaliação da saúde dessa cobertura vegetal.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um índice de estado da vegetação que indica a produção primária (produção de clorofila) e umidade local por meio de um indicador numérico obtido por sensoriamento remoto. Ele é calculado a partir das bandas correspondentes ao vermelho (parte do espectro visível com comprimento, onde a clorofila demonstra baixa reflectância) e ao infravermelho próximo (parte do espectro infravermelho, onde a clorofila demonstra alta reflectância) (ENGESAT, 2020).

Também foram adicionadas camadas em *GeoTIFF* contendo as cartas topográficas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - PC-ESP⁵, além de camadas em formato vetorial *Shapefile* contendo o Domínio Geológico e Litoestratográfico⁶, e a hidrografia da região provenientes das Cartas Topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)⁷, assim como os pontos turísticos levantados pelos alunos a partir das disciplinas de graduação Métodos e Técnicas de Planejamento Regional. Com isso se espera possibilitar uma análise multifinalitária ao se consultar a plataforma, permitindo uma visão geral sobre a realidade do meio físico biótico e toponímias associadas aos diferentes usos da terra, com especial atenção para os fragmentos de vegetação nativa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O principal resultado da plataforma desenvolvida foi a construção de uma ferramenta gratuita, com material cartográfico atualizado, de fácil assimilação pelos técnicos da gestão

5 Domínio Geológico Litoestratográfico do Estado de São Paulo na escala 1:750.000, CPRM, 2006: http://datageo.ambiente.sp.gov.br/datageo/files/Estudos/spaulo_lito_nota_explicativa.pdf.

6 Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, 2017: <http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>.

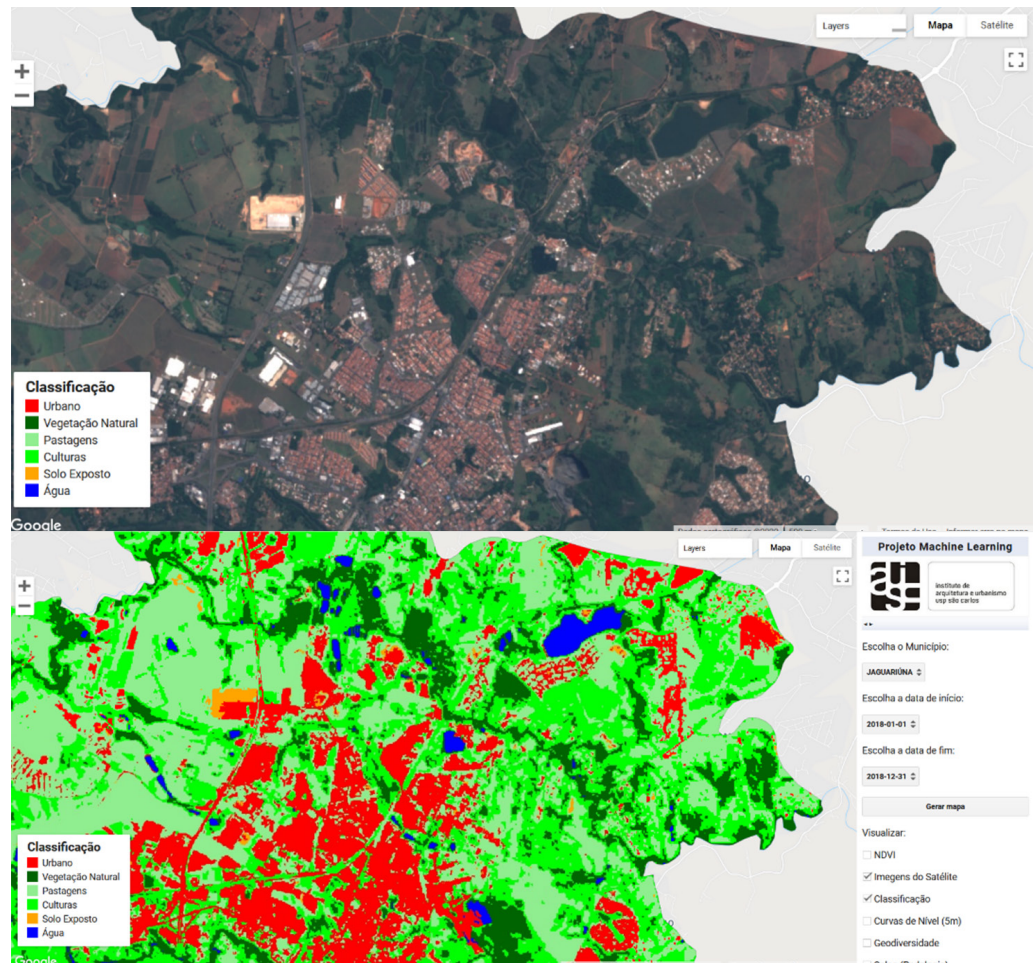
7 Hidrografia do Estado de São Paulo da UGRHI 05, vetorizada a partir das Cartas Topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2016/04/relatorio-tecnico-base-geografica-020516.pdf>.

pública e aplicável sem custos por trabalhar com plataformas abertas. O papel social dessas ações, sobretudo pela possibilidade de reprodução dessas soluções sem custos e pela atualização dos recursos humanos das prefeituras, reforça a importância da integração entre universidade e sociedade.

Através do uso do Support Vector Machine (SVM) foi possível garantir uma classificação precisa e de qualidade para os diferentes objetos de estudo do Circuito das Águas Paulista. Ao longo do projeto, alguns desafios foram encontrados, esses

se referiam principalmente ao desenvolvimento dos scripts para classificação das imagens e para implementação de uma interface interativa, desde a dificuldade de se encontrar informações atualizadas até os problemas de incompatibilidade de tipos de arquivos durante a implementação. Ainda assim, foi possível encontrar soluções tecnológicas eficazes, cumprindo os objetivos inicialmente designados, gerando uma eficiente classificação de imagens na região do Circuito das Águas, como apresentado na Figura 3.

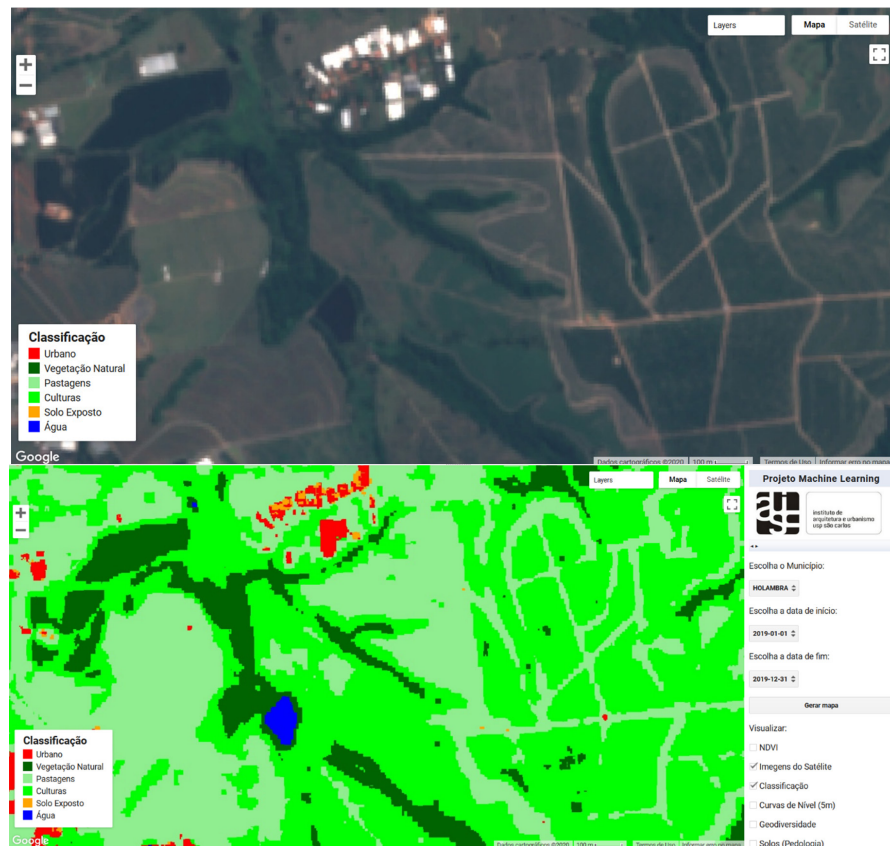
Figura 3- Classificação (2018) da cidade de Jaguariúna.



Fonte: Autores, 2019

É visível a boa capacidade do método empregado em separar vegetação, edificações e cursos d'água. No entanto, a classificação gerada nas bordas de regiões de vegetação natural, composta principalmente por espécies arbóreas de grande porte, revelou alguma classificação equivocada dessas regiões com relação aos limites com áreas de plantio. O mesmo ocorre em áreas de solo exposto intercalado com vegetação, levando a uma classificação de área urbanizada (Figura 4).

Figura 4- Classificação área rural de Holambra (2019) com presença de confusão nos limites de vegetação arbórea.



Fonte: Autores, 2019

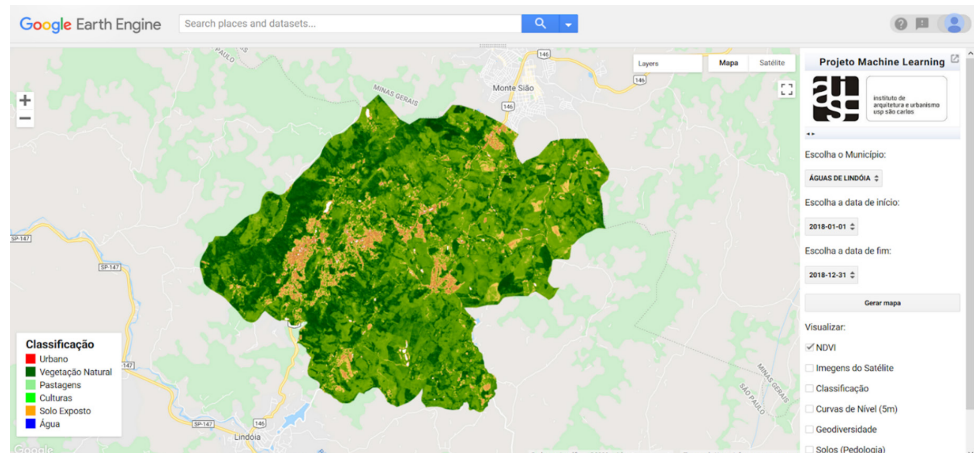
Tal fato corrobora com a pesquisa desenvolvida por Martines et al. (2019), em que o classificador SVM apresentou a menor suscetibilidade a erros de ruído em relação aos classificadores pesquisados, mas também classificou erroneamente áreas isoladas. Nesse sentido, vale mencionar que o sucesso do SVM depende do processo sistemático

de treinamento relacionado ao funcionamento classificador para encontrar um resultado ótimo de forma a minimizar o limite superior do erro de classificação (ADAM, 2014).

Além disso, também foi possível

analisar a Região do Circuito em relação ao seu NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Figura 5). Permitindo a identificação de áreas de vegetação, assim como avaliar sua saúde a partir de imagens geradas por sensores remotos.

Figura 5- NDVI (2018) de Águas de Lindóia e menu de camadas

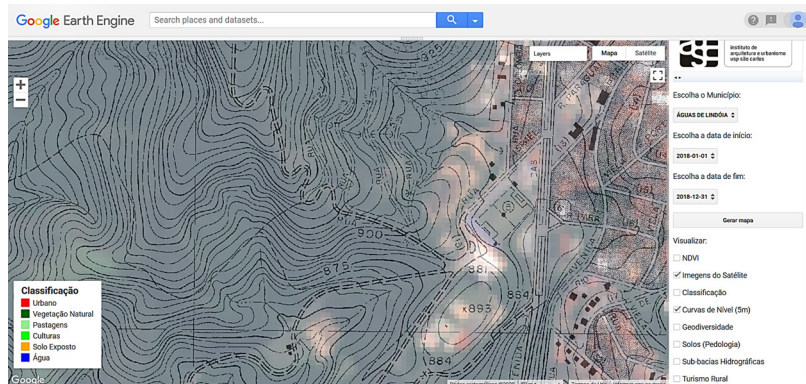


Fonte: Autores, 2019

A possibilidade de constante produção de material cartográfico atualizado com o uso do NDVI, somado a classificação do uso e ocupação da terra e de dados censitários abre espaço para uma extensa análise de desigualdade ambiental na região que engloba o Circuito das Águas. Ao analisar as condições ambientais dos diferentes setores socioeconômicos, torna-se possível estabelecer relações entre as condições étnicas e financeiras da população com a precariedade do ambiente, possibilitando a administração pública a identificação desses fatores que têm impacto na saúde e bem-estar da população.

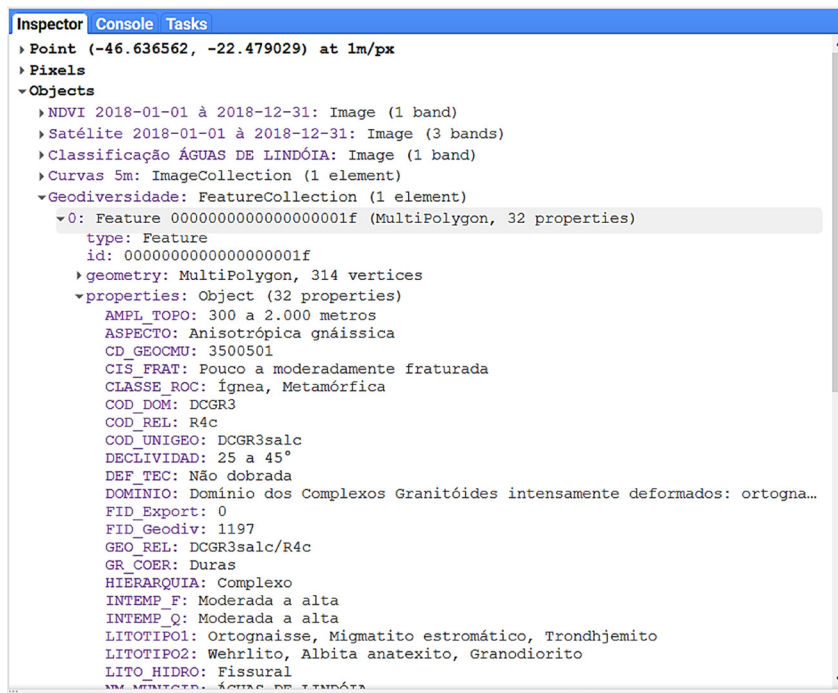
Para facilitar a interface do usuário com a plataforma também foi desenvolvida uma série de menus que permitem ao operador escolher o município a ser classificado, período para coleta de imagens para a formação do ortomosaico de classificação e exibição da legenda com as classes adotadas. A observação das camadas de informação se dá por meio da aba *layers* ou das caixas de seleção onde o usuário pode encontrar, por exemplo, o ortomosaico da região no ano de interesse, a camada NDVI e as cartas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (PC-ESP) (Figuras 6 e 7).

Figura 6- Curvas de Nível do PC-ESP para Águas de Lindóia.



Fonte: Autores, 2019

Figura 7- Informações sobre geodiversidade na área da Figura 6.



Fonte: Autores, 2019

6. CONCLUSÕES

A plataforma apresentada neste trabalho coloca-se como uma solução acessível, customizável, personalizável e de baixo custo para a problemática relacionada à produção e sistematização de informações espaciais para municípios de pequeno

porte (e consórcio de municípios) com o objetivo de auxiliar no suporte à decisão pela administração pública.

Ela permite não só orientar ações de planejamento urbano e regional como, também, ampliar o conhecimento sobre o território

onde se deseja intervir visando o desenvolvimento urbano e rural sustentável, provendo assim a instrumentalização necessária para a edificação de uma gestão pública que contemple uma visão sistêmica para o território.

A adequação e customização dessa plataforma, de forma a consolidar a sua apropriação pelo poder público (por exemplo, porque as bordas da vegetação não são tão perceptíveis em escalas reduzidas), é importante para construir parcerias visando não só um olhar operacional da ferramenta, mas o seu contínuo desenvolvimento com transferência de tecnologia, assim como sua assimilação em métodos e técnicas de planejamento no âmbito da administração pública.

É a partir desse contexto que deve-se valorizar a construção de uma cultura de cooperação entre desenvolvedores e usuários desse sistema, principalmente gestores municipais e universidades, com foco na construção de políticas públicas integradas e aplicadas de desenvolvimento tecnológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao 9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável.

REFERÊNCIAS

ADAM, E. *et al.* Land-Use/Cover Classification in a Heterogeneous Coastal Landscape Using Rapid Eye Imagery: Evaluating the Performance of Random Forest and Support Vector Machines Classifiers. *International Journal of Remote Sensing* [s.l.] v. 35, n. 10, p. 3440-3458, abr. 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.903435>. Acesso em: 30 mai. 2021.

BANTIN DE SOUZA, N. R. *As políticas públicas no processo de formação e gestão do circuito das Águas Paulista*. Orientador: Aguinaldo Fratucci. 2010. Monografia (Graduação em Turismo), Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Turismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2010. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/1577>. Acesso em: 30 mai. 2021

ENGESAT. Imagens de Satélites e Geotecnologia. NDVI: criando índice de vegetação no global mapper. 2020. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/softwares/global-mapper/calculo-do-indice-de-vegetacao-ndvi-no-global-mapper/#:~:text=NDVI%20%20C3%A9%20a%20abrevia%C3%A7%C3%A3o%20da,imagens%20geradas%20por%20sensores%20remotos>. Acesso em: 18 agosto 2020.

ESA. European Space Agency. *Sentinel-2 User Handbook*. 2020. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-2a>. Acesso em: 29 agosto 2020.

GORELICK, N. et al. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 30 mai. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico*

- de 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 10 agosto 2020.
- KAVZOGLU, T; COLKESEN, I. A Kernel Functions Analysis for Support Vector Machines for Land Cover Classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 11, n. 5, p. 352-359, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.06.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243409000464>. Acesso em: 30 mai. 2021.
- MARTINES, M. et al. Separability Analysis of Atlantic Forest Patches by Comparing Parametric and Non-Parametric Image Classification Algorithms. *Journal Of Geographic Information System (jgis)*. [s.l.] p. 567-578. out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2019.115035>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=95805>. Acesso em: 30 mai. 2021.
- ONU. Organização das Nações Unidas. *Agenda 2030*. ONU Brasil. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.
- SANTOS, E. M. *Teoria e Aplicação de Support Vector Machines à Aprendizagem e Reconhecimento de Objetos Baseado na Aparência*. Orientador: Herman Martins Gomes. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologia, Coordenação de Pós Graduação em Informática, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 2002. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4265>. Acesso em: 30 mai. 2021.
- SÃO PAULO. Estado. *Plano Regional de Desenvolvimento Turístico do Circuito das Águas - SP (1972 A 1980)*. São Paulo: SERETE, 1982.
- SÃO PAULO. Estado. *Programa Município VerdeAzul*. 2019 Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/verdeazuldigital/>. Acesso em: 07 de novembro de 2019.
- SPRIN, A. W. *O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade*. Trad. Paulo Renato Mesquita Pellegrino. São Paulo: Edusp. 1995.
- VAPNIK, V. N. *The nature of Statistical learning theory*. New York: Springer. 1995.