# COMPARAÇÃO DE ABORDAGENS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SP UTILIZANDO DRONE MULTIESPECTRAL

**Thais Cristina Colacio, Maria Regina de Aquino Silva, Nathan David Vogt.**

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, thaiscolacio@gmail.com, mregina@univap.br, ndvogt@gmail.com.

**Resumo**

A pesquisa explorou a aplicação de índices espectrais obtidos por drone multiespectral na avaliação de abordagens de restauração ecológica em áreas degradadas inseridas na bacia do Rio Paraíba do Sul na região do Vale do Paraíba, SP, nesse caso áreas degradadas pela mineração de areia na Universidade do Vale do Paraíba UNIVAP. A pesquisa utilizou os índices NDVI, GNDVI e NDRE para comparar a saúde de quatro áreas florestais em regeneração que seguiram diferentes abordagens de tratamento e uma área de mata nativa remanescente com base em imagens capturadas em agosto de 2023. Os resultados mostraram que os índices espectrais aplicados nos ortomosaicos captados pelo drone obtiveram sucesso ao separar as áreas de estudo em ordem de qualidade vegetativa, evidenciando a eficácia da metodologia desenvolvida na avaliação das áreas em processo de restauração ecológica em São José dos Campos – SP.

**Palavras-chave**: GNDVI. NDRE. NDVI. Índices.

**Área do Conhecimento:** Planejamento Urbano e Regional

## Introdução

A ONU estabeleceu até 2030 a década de restauração como o principal foco mundial no cenário ambiental, com a meta de restaurar 350 milhões de hectares de terras degradadas até 2030. Ao promover a restauração de ecossistemas será possível combater a degradação irreversível dos solos, a erosão e seca, além de perda de biodiversidade que são vistos como grandes desafios econômicos e socioambientais.

A bacia do rio Paraíba do Sul, na porção paulista abriga grandes reservatórios que fornecem água para as principais cidades e indústrias da região, porém a degradação da cobertura florestal é um fator crítico que atualmente compromete a capacidade de infiltração de água no solo e reduzir o escoamento.

Diversos planos de uso e ocupação do solo identificaram a restauração florestal como uma ação fundamental na bacia do rio Paraíba, visando melhorar a regulação da qualidade e do suprimento de água e, dessa forma, a implementação de estratégias de recuperação da vegetação nativa é imprescindível para restaurar os serviços ecossistêmicos essenciais, contribuindo para a sustentabilidade hídrica e ambiental da região (Pereira; Francelino; Queiroz, 2017).

No Vale do Paraíba grandes porções de áreas foram degradadas, incluindo áreas entre as cidades de Jacareí e São José dos Campos com o desenvolvimento da mineração de areia pelo método de cavas. Tal atividade alavancou a economia regional a partir do seu início no ano de 1949, impulsionado pela somatória de fatores como a necessidade da areia como matéria prima para construção civil no mercado em ascensão da capital estadual, a facilidade de transporte pela implementação da Rodovia Presidente Dutra e a formação fluvial e topográfica favorável para extração de grande quantidade de areia (Becker, Valério, 2018)

A atividade de extração promove ainda hojecriou alterações na paisagem regional e os impactos são seguidos de uma recuperação vegetal lenta pela ausência de um solo que favoreça o restabelecimento de matéria orgânica. Para minimizar os impactos dessas ações foi necessário desenvolvimento de medidas públicas que visassem reverter deterioração das áreas degradadas, como ocorre no Plano de Recuperação de Área Degradadas (PRAD) e através de resoluções, que foram elaboradas pela Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo a partir de 1989. Tais resoluções sofreram alterações desde então que evoluíram a metodologia dos processos de restauração com a adição da

exigência de diversidade de espécies compatível com a vegetação nativa, técnicas de plantio e manejo de solo, como é abordado na SMA 08 de 2008 e posteriormente analisada com os indicadores descritos na SMA 32 de 2014.

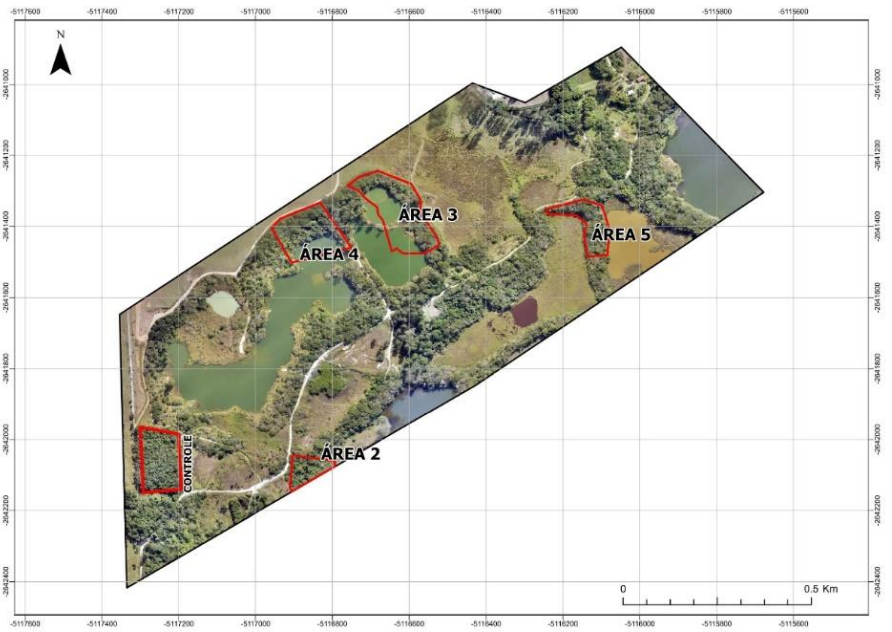
Em 2003 a Fundação Valeparaibana de Ensino (FVE) adquiriu área de mineração denominada "Fazenda do Poço" (Pereira *et al.* 2018) na região entre as cidades de Jacareí e São José dos Campos – SP, na área do campus Urbanova. A área de mineração de areia denominada popularmente como "Cavas UNIVAP" teve seu processo de restauração iniciado no mesmo ano de sua aquisição, 2003, seguindo a Resolução SMA 47/03. Sua extensão total é subdivida em 5 áreas menores para melhor acompanhamento do processo de recuperação ambiental, sendo uma delas de mata nativa remanescente classificada como controle.

O propósito deste estudo foi de comparar a saúde de cinco áreas florestais em processo de restauração, utilizando medições de índices espectrais obtidas por drone multiespectral DJI Phantom 4 e compará-los com dados presentes na literatura.

**Metodologia**

A área de estudo (Figura 1) é localizada no município de São José dos Campos, região do Vale do Paraíba – SP, abrangendo as coordenadas 23°12' e 23°13' S a 45°57' e 45°58' W, com maior índice pluviométrico no verão e solo com característica franco-arenoso e franco-argiloso-arenoso (Pereira *et al.* 2018).

Figura 1: Área de estudo total "Cavas UNIVAP" São José dos Campos – SP




Fonte: Thais Cristina Colacio (2023)

A captação de imagens ocorreu no dia 4 de agosto de 2023 quando foram realizados voos sobre as áreas de análise denominadas, genericamente, como "Cavas UNIVAP", totalizando 5 voos previamente cadastrados e liberados pela plataforma SARPAS, sendo 4 voos das áreas de estudo e 1 voo da área controle que foi definida como vegetação nativa remanescente no ano de 2003 pelos responsáveis técnicos do projeto através de levantamento botânico.

O drone Phantom 4 Multiespectral (Figura 2) é dotado de seis sensores de imagem distintos, compreendendo cinco sensores multiespectrais, que capturam informações nas bandas azul, verde, vermelho, borda vermelha e infravermelho próximo, além de um sensor RGB. Todos os sensores apresentam uma resolução de 2 MP e utilizam obturador global. A câmera possui uma distância focal

de 5,74 mm, uma resolução de imagem de 1600 × 1300 pixels e o tamanho do sensor é de 4,87 × 3,96 mm. A tabela 1 apresenta as informações fornecidas pela empresa Dà-Jiāng Innovations (DJI) sobre as configurações de comprimentos de onda.

Figura 2: Drone DJI Phantom 4 Multiespectral em campo

Fonte: Thais Colacio (2023)

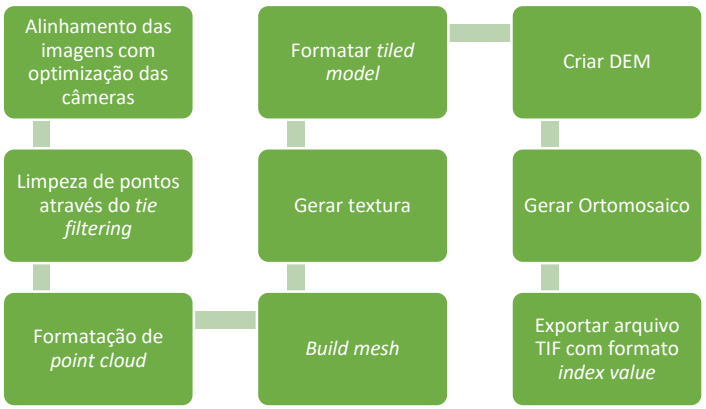
Tabela 1: Informação comprimento de onda Dà-Jiāng Innovations (DJI) Phantom 4 Multispectral

| BANDA | COMPRIMENTO DE ONDA CENTRAL (nm) | LARGURA COMPRIMENTO DE ONDA (nm) |
|---|---|---|
| AZUL | 450 | 32 |
| VERDE | 560 | 32 |
| VERMELHA | 650 | 32 |
| RED-EDGE | 730 | 32 |
| NEAR-INFRARED | 840 | 52 |

Fonte: Dà-Jiāng Innovations (DJI) (2024)

O processamento foi realizado no software Agisoft Metashape versão 2.0.2 build 16404 (64bit) a partir dos passos presentes na figura 3.

Figura 3: Workflow metodologia de processamento de imagens




Fonte: Thais Colacio (2023)

A análise multiespectral das imagens e cálculo dos índices foram realizados no software *Agisoft Metashape*, após foram aplicados os índices NDVI (Rouse *et al*. 1973), GNDVI (Gitelson AA, Kaufman YJ, Merzlyak MN, 1996) e NDRE, através das fórmulas apresentadas na figura 4.

Figura 4: Índices espectrais utilizadas na pesquisa

| índice | Fórmula |
|---|---|
| GNDVI | $\frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$ |
| NDRE | $\frac{NIR - RedEdge}{NIR + RedEdge}$ |
| NDVI | $\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ |

Fonte: Thais Colacio (2024)

O índice NDVI de vegetação por diferença normalizada é utilizado como indicador do teor de clorofila na vegetação, fornecendo informações sobre o crescimento da vegetação e nutrientes, principalmente do nitrogênio. GNDVI pode mostrar se a vegetação está carente de água ou nutrientes ou se está sofrendo com recessão da biomassa, característica útil na análise de restauração ambiental. Já o NDRE pode ser usado para o manejo da vegetação com base em variáveis como clorofila e teor de açúcares (Gallardo-Salazar; Pompa-García, 2020).

Após a aplicação dos índices, os ortomosaicos foram exportados para o *software ArcPro*, presente no Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde foram recortados com base em polígonos vetorizados. Esses arquivos vetoriais podem delimitar dentro do SIG áreas, linhas ou pontos, e na pesquisa foram criados para representar as áreas de pesquisa das "Cavas UNIVAP". No ArcPro, utilizou-se a ferramenta de gráfico de perfil espectral, gerando boxplots para cada um dos três índices em quatro áreas de estudo, resultando em um total de 12 gráficos que mostram valores como mínimo, máximo, média e mediana. Os dados obtidos foram exportados em formato CSV para o Excel, onde foram tratados e organizados em tabelas comparativas entre os índices.

**Resultados**

Os dados foram organizados no quadro apresentado na figura 5, divididos pelos índices e áreas correspondentes.

Figura 5: Dados de desempenho de restauração ambiental obtidos nas Cavas UNIVAP 2023

| | Controle | A2 | A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|
| GNDVI | 0.68146 | 0.51095 | 0.60001 | 0.6819 | 0.5681 |
| NDRE | 0.20578 | 0.11872 | 0.18049 | 0.20042 | 0.14839 |
| NDVI | 0.76637 | 0.5358 | 0.64163 | 0.7502 | 0.62003 |

Fonte: Thais Colacio (2023)

Os dados da área denominado “Controle” foram utilizados como parâmetro para avaliação das demais amostras. Dentre as 4 áreas em processo de restauração a que apresentou resultados mais satisfatórios foi a A4, seguido em ordem decrescente pela A3, em sequência A5 e a com menor desempenho foi área A2.

**Discussão**

Os valores de GNDVI para a área controle (0.68146) e A4 (0.68190) indicam uma vegetação saudável e vigorosa, refletindo a capacidade das plantas de realizar fotossíntese de maneira eficiente. Em contraste, as áreas A2 (0.51095) e A5 (0.56810) apresentam GNDVI mais baixos, sugerindo que essas plantas podem estar enfrentando estresse hídrico ou de nitrogênio (Pereira, 2022).

Analisando os dados obtidos de NDRE, é observado que são significativamente mais baixos em todas as áreas em comparação com o GNDVI e NDVI. A área controle apresenta um NDRE de 0.20578, enquanto A2 tem o valor mais baixo (0.11872). Esses valores sugerem que, embora a vegetação possa parecer saudável em termos de GNDVI e NDVI, a clorofila disponível para a fotossíntese pode ser limitada, especialmente nas áreas A2 e A5. O NDRE é conhecido por ser mais sensível a estresses hídricos e nutricionais, o que pode explicar os valores mais baixos observados (Jones; Vaughan, 2010).

Finalizando as comparações, os índices de NDVI naturalmente variam entre -1 e 1, quanto mais próximo de 1 o valor, maior a quantidade de clorofila e maior potencial produtivo da vegetação (Rissini; Kawakami; Genú, 2015), é um índice amplamente utilizado para avaliar a saúde da vegetação, mas pode saturar em áreas com alta densidade foliar, o que limita sua eficácia em algumas situações. Na área de estudo os valores variam de 0.53580 em A2 a 0.76637 na área controle. O NDVI da área controle é indicativo de vegetação densa e saudável, enquanto os valores em A2 e A5 sugerem estresse nas plantas. A comparação entre os índices revela que, apesar de A2 e A5 apresentarem valores de NDVI relativamente baixos, eles ainda podem não refletir completamente o estado de saúde das plantas, uma vez que o NDVI pode não captar variações sutis na saúde da vegetação (Cordeiro *et al.* 2017).

**Conclusão**

É de grande importância no processo monitoramento utilizando índices espectrais a avaliação do contexto biofísico que influencia o desempenho do processo de restauração, como a declividade, fluxo de nutriente e o histórico do uso do solo, fatores que interferem na regeneração e saúde da mancha analisada.

Dessa forma, conclui-se que os resultados obtidos indicam eficiência da metodologia em avaliar áreas em processo de restauração e que as áreas estão dentro do espectro de saúde satisfatório apresentado pela literatura e, futuramente, os resultados serão comparados com os dados recolhidos *in situ*.

**Referências**

BECKER, G. Y. R. S.; VALÉRIO FILHO, M. A EXPLORAÇÃO DE AREIA NA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE E A GESTÃO MINERÁRIA NOS MUNICÍPIOS DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS E JACAREÍ – SP. **Revista Univap**, v. 24, n. 44, p. 111, 2018.

CORDEIRO, A. P. A. *et al*. REGIÕES HOMOGÊNEAS DE VEGETAÇÃO UTILIZANDO A VARIABILIDADE DO NDVI. **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883–896, 2017.

GALLARDO-SALAZAR, J. L.; POMPA-GARCÍA, M. Detecting individual tree attributes and multispectral indices using unmanned aerial vehicles: Applications in a pine clonal orchard. **Remote sensing**, v. 12, n. 24, p. 4144, 2020.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 289–298, 1996.

GONZALO, D. A. D.; GARCIA, R. J. F.; GOMES, E. P. C. Avaliação de área recuperada sobre cava de areia em São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 695–701, 2015.

JONES, H. G.; VAUGHAN, R. A. **Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications**. Londres, England: Oxford University Press, 2010.

PEREIRA, D. C. *et al*. **DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO DA FAZENDA DO POÇO - ÁREA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA UNIVAP - URBANOVA**. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2018/anais/arquivos/RE_0401_0625_01.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2024.

PEREIRA, A. J. **RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ATRIBUTOS BIOFÍSICOS DO SOLO E DA PLANTA EM VINHEDO IRRIGADO.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1143893/1/TS-RELACAO-ENTRE-INDICES-DE-VEGETACAO-E-ATRIBUTOS-BIOFISICOS-DO.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2024.

PEREIRA, MP DOS S.; FRANCELINO, SENHOR; QUEIROZ, JM A Cobertura Florestal em Paisagens do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Floresta e Ambiente**, v. 0, 2017.

REIS, B. J.; BATISTA, G. B. **RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE AREIA NO VALE DO PARAÍBA PAULISTA**. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/downloads/Beneditoeoutros.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2024.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO. **Revista brasileira de ciencia do solo**, v. 39, n. 6, p. 1703–1713, 2015.

ROUSE, J. W. *et al*. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Earth Resources Tecnology Satellite- 1 Symposium**, v. 3, p. 309–317, 1973.

RIBEIRO, R. M.; VALÉRIO, M. **UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**. Disponível em: <https://biblioteca.univap.br/dados/000003/00000318.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

**Agradecimentos**

Como acadêmica, gostaria de agradecer a Profa. Dr. Maria Regina de Aquino Silva pelo imenso apoio, ao orientador Dr. Nathan David Vogt pelo suporte e a FAPESP por apoiar o presente trabalho realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo de processo de número 2023/05231-2.