# AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA PRESENÇA DE LIANAS EM ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DO DOSSEL DE FLORESTAS TROPICAIS DERIVADOS DE DADOS HIPERESPECTRAIS E LIDAR

*Isabella D. Lima*[1], *Danilo R. A.de Almeida*[2], *Pedro H. S. Brancalion*[2], *Ricardo A. G. Viani*[3], *Matheus P. Ferreira*[1]

[1]Seção de Engenharia Cartográfica, Instituto Militar de Engenharia-IME, Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-270, isabella.lima;matheus@ime.eb.br; [2]Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ, Universidade de São Paulo-USP, Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba-SP, 13418-900, daniloflorestas; pedrobrancalion@gmail.com e [3]Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal. Rodovia Anhanguera (SP-330), KM 174, Araras, SP, 13600970, viani@ufscar.br

## RESUMO

Lianas são trepadeiras lenhosas presentes em florestas tropicais e, geralmente, são abundantes em fragmentos florestais alterados. O sensoriamento remoto (SR) vem sendo utilizado para o monitoramento de lianas. Entretanto, pouco se sabe acerca do efeito da dessa presença em atributos químicos e estruturais do dossel estimados por SR. Neste trabalho, buscou-se avaliar o efeito da presença de lianas em atributos químicos e estruturais do dossel derivados de dados hiperespectrais e *LiDAR* obtidos nas estações seca e chuvosa sobre um fragmento florestal em Santa Rita do Passa-Quatro-SP. Utilizou-se índices de vegetação de bandas estreitas para extrair atributos químicos, enquanto com os dados *LiDAR* se estimou o índice de área foliar (do inglês, *LAI*) de áreas com e sem a presença de lianas. Os resultados mostram que o impacto dessa presença é maior na estação seca do que na chuvosa. Constatou-se que os atributos estruturais foram mais impactados do que atributos químicos.

***Palavras-chave –*** sensoriamento remoto, lianas, aeronave remotamente pilotada, hiperespectral, *LiDAR*.

## *ABSTRACT*

*Lianas are woody vines present in tropical forests and are generally abundant in altered forest fragments. Remote sensing (RS) has been used to monitor lianas. However, little is known about the effect of this presence on the chemical and structural attributes of the canopy estimated by RS. In this work, we sought to evaluate the effect of the presence of lianas on chemical and structural attributes of the canopy derived from hyperspectral and LiDAR data obtained in the dry and rainy seasons on a forest fragment in Santa Rita do Passa-Quatro-SP. Narrow band vegetation indices were used to extract chemical attributes, while with LiDAR data the leaf area index (LAI) of areas with and without the presence of lianas was estimated. The results show that the impact of this presence is greater in the dry season than in the rainy season. It was found that the structural attributes were more impacted than the chemical attributes.*

***Key words –*** *remote sensing, lianas, remotely piloted aircraft, hyperspectral, LiDAR.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, existe uma crescente preocupação com o monitoramento das florestas nativas brasileiras. Ao longo dos anos, observou-se a destruição expansiva da Mata Atlântica que, hoje, é internacionalmente reconhecida como um *hotspot* de biodiversidade. A Mata Atlântica abriga de 1-8% das espécies terrestres e possui uma das mais altas taxas de endemismo de plantas e animais [1].

Diante da degradação florestal, tornou-se necessário o desenvolvimento de técnicas de monitoramento das florestas tropicais, visando obter informações sobre sua estrutura e composição, de modo a estimar a qualidade e funções ecossistêmicas. Uma das formas de se detectar alterações em florestas tropicais é por meio do acompanhamento de lianas. Lianas são trepadeiras lenhosas, cuja maior ocorrência se dá nessas florestas e, geralmente, são mais abundantes em florestas alteradas e em fragmentos florestais - definidos como áreas de vegetação natural interrompida por barreiras antrópicas ou naturais.

Estas plantas podem ser monitoradas através de inventários florestais e, mais recentemente, vem sendo detectadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto [2–6] que permitem a obtenção de informações espacialmente explícitas acerca de características biofísicas e bioquímicas da vegetação.

Dentre as principais técnicas para o monitoramento de lianas pode-se destacar a utilização de dados hiperespectrais e *LiDAR*. O *LiDAR* consiste em um laser que estima distâncias, dando origem a uma nuvem de pontos capaz de gerar insumos para estudos estruturais do dossel da floresta [7]. Enquanto o imageamento hiperespectral permite a detecção de sutis diferenças no comportamento espectral da vegetação, possibilitando a determinação de sua composição bioquímica tanto a nível foliar, quanto a nível de dossel. Dados hiperespectrais e LiDAR podem ser utilizados para avaliar o impacto da presença de lianas no comportamento espectral e atributos estruturais do dossel, fornecendo informações importantes para o monitoramento de lianas por sensoriamento remoto.

Neste trabalho, utilizamos dados hiperespectrais e *LiDAR* obtidos por aeronave remotamente pilotada (ARP) para avaliar como a presença de lianas no dossel altera atributos estruturais e químicos derivados de sensoriamento remoto em uma área de floresta estacional semidecidual no estado de São

Paulo, pertencente ao Bioma Mata Atlântica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende 18 (dezoito) parcelas no parque Estadual de Vassununga, de área média aproximada de 1900m$^2$ cada, conforme apresentado na Figura 1, em Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo, com estágios diferentes de corte de lianas - o tratamento controle sem corte de trepadeira, com um corte por ano e com dois cortes por ano.

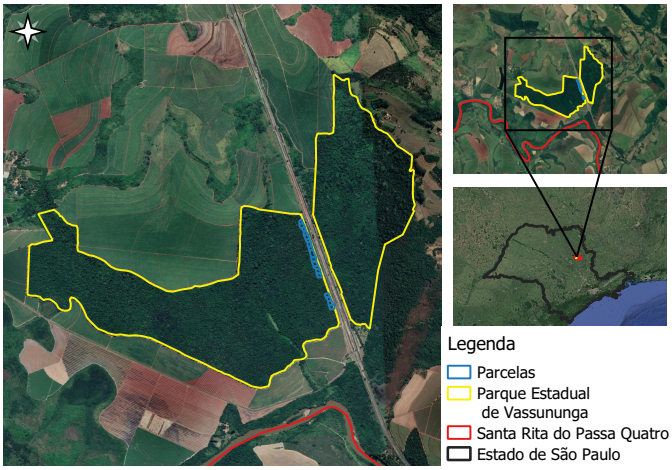


**Figura 1: Localização da área de estudo.**

O clima da região caracteriza-se como quente e de inverno seco, com temperaturas aproximadas de 18°C no inverno e superiores a 22°C no verão. No mês mais seco, agosto, o total de precipitação é de 18,6 mm e a precipitação média anual varia de 1300 a 1700 mm. A temperatura média anual da região é de 23,3°C, sendo a média das temperaturas máximas, de dezembro a fevereiro, de aproximadamente 26°C e das mínimas 19,4°C, de junho a agosto. A temperatura máxima absoluta alcança 26,2°C e a mínima absoluta, 18,7°C [8].

Portanto, na localidade há dupla estacionalidade climática, com uma estação de chuvas intensas de verão seguida por um período de estiagem, compreendendo uma área de vegetação de Floresta Estacional Semidecidual [8] - formação florestal tropical que é submetida a uma estação seca bem definida, na qual parte das árvores desfolha - pertencente ao Bioma da Mata Atlântica.

Foram realizadas duas campanhas de campo, uma em julho de 2021 e outra em março de 2022, nas quais foram utilizadas a ARP DJI M600, equipada com o sensor hiperespectral Nano-Hyperspec (Headwall Inc.), capaz de coletar 270 bandas espectrais no intervalo do visível ao infravermelho próximo (VNIR, 400-1000 nm) e o sensor *LiDAR* Velodyne Puck, com alcance efetivo de 100 m, precisão de alcance de ±3cm e geração de até 600.000 pontos por segundo (Fig. 2).

### 2.1. Pré-processamento dos dados

Primeiramente, realizou-se a calibração radiométrica dos dados hiperespectrais em que os valores brutos de cada pixel foram convertidos para radiância (W.m$^{-2}$.sr$^{-1}$.$\mu$m$^{-2}$). Em seguida, os cubos hiperespectrais em radiância foram




**Figura 2: ARP com sensores hiperespectral e LiDAR.**

convertidos para reflectância de superfície utilizando um tapete de calibração. A reflectância foi obtida pela razão entre a radiância de uma pixel do tapete com reflectância conhecida de 56% e a radiância de cada pixel da imagem.

Paralelamente, foi selecionado o intervalo de interesse do levantamento com o *LiDAR*, uma vez que este começa a emitir e receber pulsos antes de adentrar a área de estudo. De posse dos dados *LiDAR* e com o auxílio da ferramenta *LiDARTools* (HeadWall Inc.), foi gerado o modelo digital do terreno (MDT), que serviu para ortorretificar os dados hiperespectrais. Procedeu-se, então, a correção geométrica e ortorretificação dos dados hiperespectrais com o programa *HyperspecIII* (HeadWall Inc.), onde as distorções geométricas devido ao sensor foram minimizadas empiricamente.

### 2.2. Índices de vegetação

Para avaliar como a presença de lianas impacta parâmetros bioquímicos do dossel, foram calculados os seguintes índices de vegetação a partir das imagens hiperespectrais: *Anthocyanin Content* (ACI) [9], *Chlorophyll Absorptionin Reflectance Index* (CARI) [10], *Chlorophyll Red-Edge* (CIred) [11], *Enhanced Vegetation Index* (EVI) [12], *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) [13], *Photochemical Reflectance Index* (PRI) [14], *Red-edge Vegetation Index* (RVSI) [15], apresentados na Tabela 1 a seguir.

| Índice | descrição |
|---|---|
| Antocianina | |
| ACI | $\rho531 / \rho941$ |
| Clorofila | |
| CARI | $(\rho700 - \rho670) - 0.2 \times (\rho700 - \rho550)$ |
| CIred | $\rho851 / \rho730–1$ |
| Estrutural | |
| EVI | $2.5\times((\rho865-\rho672)/(\rho865+6 \times \rho672–7.5\times\rho464+1))$ |
| NDVI | $(\rho865-\rho672)/(\rho865+\rho672)$ |
| Fisiologia | |
| PRI | $(\rho531-\rho571)/(\rho531+\rho571))$ |
| RVSI | $(\rho712+\rho753)/2-\rho733)$ |

**Tabela 1: Descrição dos índices hiperespectrais.**

Os índices foram calculados por meio das operações aritméticas entre bandas espectrais. Em seguida, foi calculada a média dos índices para cada parcela da área de estudo, sendo estas agrupadas de acordo com o tratamento, ou seja, sem corte de lianas, com um corte de lianas ao ano e com dois corte de lianas ao ano.

Visando avaliar o impactos das lianas em parâmetros estruturais do dossel, foram calculados o índice de área foliar, do inglês *leaf area index* (LAI), *gap fraction* e o *Canopy High Model* (CHM) por meio dos dados *LiDAR*. O LAI foi calculado a partir da soma do perfil de densidade área foliar, utilizando a função *lad.voxels* do pacote *"leafR"* do R [16]. Enquanto o *gap fraction* foi calculado a partir da fração da altura de vegetação abaixo de 5 m e com e área superior ou igual a $1m^2$ [17] e o CHM foi calculado a da diferença entre o modelo digital de superfície (MDS) e o modelo digital do terreno (MDT). O LAI e o CHM foram gerados para cada pixel da imagem hiperespectral, sendo posteriormente calculadas as médias de cada tratamento.

O *gap fraction* foi calculado por parcela e seus dados foram dispostos em uma tabela com o número identificador da parcela e sua classe (sendo a classe "0"para nenhum corte ao ano, "1"para um corte ao ano e "2"para dois cortes ao ano). Da mesma forma se procedeu com índices de vegetação e o LAI, gerando uma tabela com o número identificador da parcela, sua classe, as médias dos índices de vegetação para cada parcela, a média do LAI para cada parcela e o *gap fraction* da mesma.

Os valores da médias dos índices de vegetação, das médias do LAI, do CHM e do *gap fraction* de cada parcela foram normalizados e dispostos em um *boxplots* para visualização e análise dos resultados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4, estão apresentados os *boxplot* produzidos.

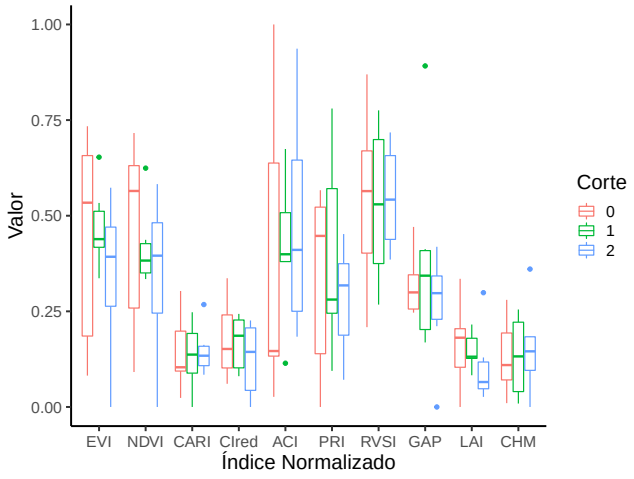


**Figura 3: Julho de 2021 (estiagem); corte 0 - sem corte anual de lianas; corte 1 - com um corte anual de lianas; corte 2 - com dois cortes anuais de lianas.**

É possível observar que as medianas do EVI e o NDVI são significativamente mais altas durante a época chuvosa, quando comparadas à estiagem, o que de fato é de se esperar,

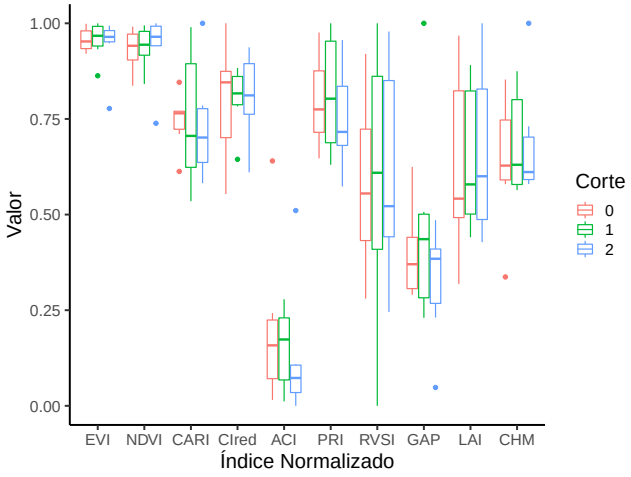


**Figura 4: Março de 2022 (época chuvosa); corte 0 - sem corte anual de lianas; corte 1 - com um corte anual de lianas; corte 2 - com dois cortes anuais de lianas.**

uma vez que que o primeiro está relacionado à quantidade de biomassa e o segundo à saúde das plantas, e nesta região há a queda das folhas na estiagem. Ainda é possível observar que ambos os índices das parcelas na época da estiagem possuem medianas mais altas nas classes "0", "1"e "2", respectivamente, o que ocorre porque essas trepadeiras não perdem as folhas nas secas, sendo sua resposta espectral captada pelo sensor.

Os índices relacionados à clorofila CARI e CIred, possuem as medianas mais altas durante o período chuvoso, comparativamente à estiagem. Entretanto, não é possível observar o aumento nas medianas das parcelas sem o corte de lianas, durante a estiagem. Na época de seca as lianas se tornam evidentes com a queda das folhas das árvores, mas é importante destacar que o máximo das amostras das parcelas de classe "0"é maior que o máximo das demais parcelas, salientando a presença de lianas.

O índice relacionado a antocianina (ACI), responsável pela grande variedade de cores observadas em folhas, caules e raízes [18], apresenta máximos e medianas de classes "1"e "2"maiores durante a estiagem comparativamente à época chuvosa, o que pode se dar pela exposição dos caules diante da perda das folhas. Todavia, é importante destacar que nas parcelas de classe "0"a mediana do *boxplot* praticamente não se altera em época de estiagem, fato que pode evidenciar uma menor exposição de galhos devido à presença de lianas.

Os índices de fisiologia PRI e RVSI descrevem comportamentos semelhantes em ambas as épocas de coleta. A abundância de lianas gera o mesmo estresse na vegetação tanto na estiagem, quanto na época chuvosa, isso pode ser explicado pelo fato de as lianas competirem diretamente por recurso com as árvores

O *gap fraction* é similar em ambas as campanhas, entretanto, os máximos na classe "0"durante a época chuvosa são maiores que os máximos na mesma classe durante a estiagem, o que pode ser um indício do desenvolvimento de lianas entre uma campanha e outra.

Já o LAI é, de forma geral, menor para a campanha feita durante a estiagem. Sendo possível observar que as

classes "0", "1, e "2"aparecem em ordem decrescente durante a estiagem e em ordem crescente durante época chuvosa. Lianas competem por nutrientes com as árvores, o que explicaria um menor LAI durante a época chuvosa. No entanto, lianas não perdem as folhas durante a estiagem como ocorre com a vegetação da região, justificando um maior LAI durante esta época.

O CHM é mais alto durante a estação chuvosa quando comparado à estiagem. A abundância de água favorece o desenvolvimento da vegetação durante essa estação não sendo aparente o efeito da presença de lianas neste índice.

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível verificar que, em geral, os atributos estruturais são mais impactados pela presença de lianas do que os químicos quando se comparam as duas campanhas. Entretanto, vale destacar que nos índices de clorofila não é possível observar o aumento nas medianas em parcelas sem o corte de lianas em comparação com as parcelas com corte de lianas; os máximos do *boxplot* durante a estiagem são maiores durante a estiagem, evidenciando a presença das trepadeiras. Nos índices de fisiologia e *gap fraction* não foram identificadas significativas diferenças ocasionadas pela presença de lianas. Enquanto no LAI foi identificado um inversão da ordem das medianas de classe "0", "1"e "2". Não foram observados efeitos da presença de lianas no CHM.

Por fim, conclui-se que dados hiperespectrais e *LiDAR* obtidos por sensores em ARPs são capazes de detectar alterações causadas pela presença de lianas em atributos químicos e estruturais de florestas tropicais, constituindo-se em uma importante ferramenta o monitoramento de lianas

## 5. AGRADECIMENTOS

MPF agradece o financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo n. 306345/2020-0.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Norman Myers, Russell A Mittermeier, Cristina G Mittermeier, Gustavo AB Da Fonseca, and Jennifer Kent. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772):853–858, 2000.

[2] Arturo Sanchez-Azofeifa, Jennifer S Powers, Geraldo W Fernandes, and Mauricio Quesada. *Tropical dry forests in the Americas: ecology, conservation, and management*. CRC Press, 2013.

[3] Sandra M Durán and GA Sánchez-Azofeifa. Liana effects on carbon storage and uptake in mature and secondary tropical forests. In *Biodiversity of lianas*, pages 43–55. Springer, 2015.

[4] David C. Marvin, Gregory P. Asner, and Stefan A. Schnitzer. Liana canopy cover mapped throughout a tropical forest with high-fidelity imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 176:98–106, 2016.

[5] Sruthi M Krishna Moorthy, Yunfei Bao, Kim Calders, Stefan A Schnitzer, and Hans Verbeeck. Semi-automatic extraction of liana stems from terrestrial lidar point clouds of tropical rainforests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 154:114–126, 2019.

[6] Jose A Guzman Quesada. Remote sensing tools for detecting and quantifying lianas and trees at the tropical dry forest. 2021.

[7] Danilo Roberti Alves De Almeida, Bruce Walker Nelson, Juliana Schietti, Eric Bastos Gorgens, Angelica Faria Resende, Scott C Stark, and Ruben Valbuena. Contrasting fire damage and fire susceptibility between seasonally flooded forest and upland forest in the central amazon using portable profiling lidar. *Remote Sensing of Environment*, 184:153–160, 2016.

[8] GovernoSP. Parque estadual de vassununga. `https://www.wikiparques.org/wiki/Parque_Estadual_de_Vassununga#Relevo_e_clima`, 2021. (Acessado em 10/11/2021).

[9] Abby K van den Berg and Timothy D Perkins. Nondestructive estimation of anthocyanin content in autumn sugar maple leaves. *HortScience*, 40(3):685–686, 2005.

[10] Moon Sung Kim. *The Use of Narrow Spectral Bands for Improving Remote Sensing Estimations of Fractionally Absorbed Photosynthetically Active Radiation*. PhD thesis, 1994.

[11] Anatoly A Gitelson, Galina P Keydan, and Mark N Merzlyak. Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical research letters*, 33(11), 2006.

[12] Alfredo Huete, Kamel Didan, Tomoaki Miura, E Patricia Rodriguez, Xiang Gao, and Laerte G Ferreira. Overview of the radiometric and biophysical performance of the modis vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2):195–213, 2002.

[13] JW Rouse, RH Haas, JA Schell, and DW Deering. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts: Proceedings of the third earth resources technology satellite-1 symposium. *NASA SP-351*, pages 301–317, 1974.

[14] JAm Gamon, L Serrano, and JS Surfus. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4):492–501, 1997.

[15] Ray Merton and Jon Huntington. Early simulation results of the aries-1 satellite sensor for multi-temporal vegetation research derived from aviris. In *Proceedings of the Eighth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, Pasadena, CA, USA*, pages 9–11, 1999.

[16] DRA Almeida, Eben North Broadbent, Angelica M Almeyda Zambrano, Benjamin E Wilkinson, Manuel Eduardo Ferreira, R Chazdon, P Meli, EB Gorgens, Carlos Alberto Silva, Scott C Stark, et al. Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 79:192–198, 2019.

[17] Carlos A Silva, Ruben Valbuena, Ekena R Pinagé, Midhun Mohan, Danilo RA de Almeida, Eben North Broadbent, Wan Shafrina Wan Mohd Jaafar, Daniel de Almeida Papa, Adrian Cardil, and Carine Klauberg. Forestgapr: An r package for forest gap analysis from canopy height models. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(8):1347–1356, 2019.

[18] Florinda O Bobbio, Janice I Druzian, Patricia A Abrao, Paulo A Bobbio, and Sandra Fadelli. Identificação e quantificação das antocianinas do fruto do açaizeiro (euterpe oleracea) mart. *Food Science and Technology*, 20:388–390, 2000.