



Dados multitemporais do SAR Sentinel-1 para identificação das fases de crescimento do *Eucalyptus* spp. sob diferentes tipos de manejo

José Jorge Monteiro Junior^{1,2}
Mateus Tinôco Silva^{1,3}
Caio Ítalo de Oliveira Santos¹
Túlio Barroso Queiroz¹

¹Bracell Bahia Specialty Cellulose S.A. (tulio_queiroz@bracell.com), ²Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP)(jorgem@usp.br), ³Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)(mateus-tinoco@hotmail.com).

RESUMO: *O objetivo deste estudo é descrever o comportamento da variação do Radar Vegetation Index – RVI na eucaliptocultura, com o intuito de caracterizar o padrão de crescimento da área de estudo em diferentes tipos de manejo (Alto Fuste e Talhadia). Este estudo foi realizado e desenvolvido em plantios de eucalipto lotados no Litoral norte da Bahia – BR, em 50 talhões com idades limitantes entre 0 e 5 anos, e tratamentos divididos para alto fuste e talhadia. Para obtenção do índice foram utilizadas 756 imagens Sentinel-1 no período 09/2016 a 12/2022 e o processamento dos dados (construção da série histórica) foi realizado no Google Earth Engine e no software estatístico R. A série histórica aponta que os valores de talhadia são superiores aos apontados no alto fuste, para os períodos chuvosos e secos, períodos iniciais e finais de ciclo. De acordo com a mediana do RVI (talhadia), é possível notar que os valores já se apresentam elevados, devido ao desenvolvimento da cultura. O RVI dos dados Sentinel-1 foi capaz de detectar as diferenças entre os dois regimes de manejo florestal. Estes dados podem ser aplicáveis para diversos tipos de cultura, uma vez conhecida a forma de manejo.*

Palavras-chave: talhadia, alto fuste, sensoriamento remoto, radar

Introdução

A biomassa de plantações florestais é destaque como fonte valiosa de energia renovável (Hakamada et al., 2022). Demandas globais incentivaram a expansão das bases de florestas plantadas, e o Brasil tornou-se protagonista desta nova tendência, com 9,93 milhões de hectares (Ibá, 2023). Baseado nesta premissa, tecnologias descendentes do sensoriamento remoto (sensores hiperespectrais e multiespectrais), são facilitadoras para o entendimento da paisagem, em virtude de suas altas resoluções e disponibilidade de dados (Tesfaw et al., 2023).

O Radar de Abertura Sintética (SAR) é um dos sistemas sensores que utiliza a energia ativa de micro-ondas, tendo a capacidade de penetrar o dossel em diferentes profundidades e menor interferência de nuvens e precipitação (Jensen, 2011). A quantidade de energia retroespalhada pela vegetação e gravada pelo SAR, está relacionada a elementos estruturais do alvo, apresentando grandes possibilidades de uso para estimar parâmetros biofísicos desses ecossistemas.

O objetivo deste estudo é descrever o comportamento da variação do *Radar Vegetation Index*



– *RVI* na eucaliptocultura, com o intuito de caracterizar o padrão de crescimento da área de estudo em diferentes tipos de manejo (Alto Fuste e Talhadia). Esse estudo visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso de dados de radar no monitoramento de plantios florestais, além de fornecer subsídios para a gestão sustentável desses recursos naturais.

Material e métodos

O estudo foi desenvolvido em plantios de eucalipto localizados no Litoral Norte do estado da Bahia (Figura 1). A região possui precipitação média anual variando entre 1300 mm e 1600 mm, com clima tropical sem estação seca, de acordo com a classificação climática de Köppen. Para este ensaio, foram utilizados 50 talhões, com idades variando entre zero e cinco anos, dos quais 25 são em regime de alto fuste e 25 em regime de talhadia.

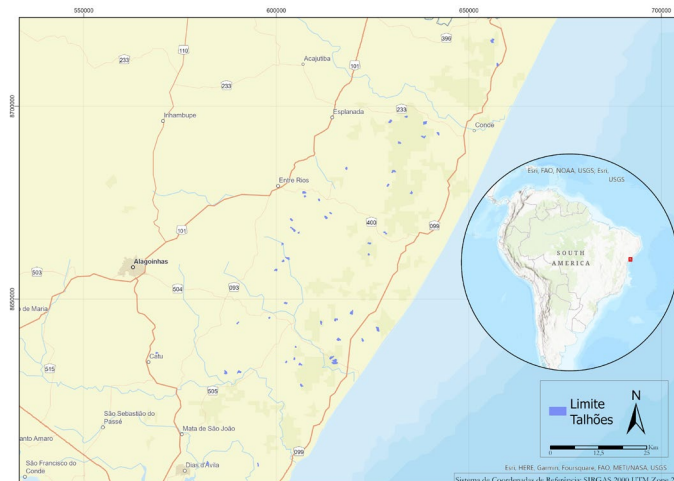


Figura 1- Localização da Área de Estudo.

Foram utilizadas imagens Sentinel 1 (S1) no modo *Interferometric Wide Swath* (IW), polarizações VV e VH, com resolução espacial nominal de 10-m, disponibilizadas no *Google Earth Engine* (GEE) (Gorelick et al., 2017). Tais imagens são disponibilizadas após passarem por processamento detalhado em: <https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1>.

Foram obtidas 756 cenas S1, entre setembro de 2016 e dezembro de 2022. As imagens diárias foram reduzidas para um agregado da mediana mensal e submetidas a um filtro *boxcar* (3x3 pixels) para evitar interferência de fatores externos e ruídos (Vreugdenhil et al., 2018; Xulu et al., 2020). Foi calculado ainda o *Radar Vegetation Index* (RVI) por meio da Equação 1 (Nasirzadehdizaji et al., 2019).

$$RVI = \frac{4\sigma^{VH}}{\sigma^{VH} + \sigma^{VV}}$$



Em que: RVI = *Radar Vegetation Index*; $\sigma^{\circ}VH$ = coeficiente de restroespalhamento na polarização VH em unidades de potência; $\sigma^{\circ}VV$ = coeficiente de restroespalhamento na polarização VV em unidades de potência.

Para caracterização do comportamento RVI ao longo do ciclo, foram utilizadas variáveis para descrever a série histórica após a data de plantio, adaptadas de Marsden et al. (2010) e descritas na Tabela 1. Foram construídas ainda, duas séries históricas (para os talhões em talhadia e alto fuste), iniciando na idade zero (data de plantio) até a idade de cinco anos, em que as observações correspondem aos valores medianos do RVI mensal para os 25 talhões em cada regime de manejo. Os dados foram processados utilizando a linguagem R.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, observa-se as variáveis que permitem descrever o comportamento do RVI ao longo do ciclo para a área de estudo. Percebe-se, uma notável diferença entre as áreas em regime de alto fuste e talhadia. Até 2 anos, o índice apresenta os resultados esperados para a talhadia, onde os valores, relacionados à produtividade e presença de estruturas florestais são maiores, no comparativo com os talhões de alto fuste, já que a talhadia possui cobertura do solo mais rápida que a alto fuste (Rocha et al., 2019).

Tabela 1- Comportamento das variáveis calculadas a partir da série histórica RVI do S1 para os talhões avaliados.

Regime	Variável	Min	Max	SD	CV
Alto Fuste	RVI acumulado (0-1 anos)	0,87	1,79	0,22	15,81
	RVI acumulado (0-2 anos)	1,58	2,56	0,28	13,20
	Mínimo RVI da rotação	0,43	0,79	0,10	15,35
	Máximo RVI da rotação	0,83	1,08	0,06	5,94
	RVI médio das estações secas após a data de plantio	0,83	0,98	0,04	4,08
	RVI médio das estações úmidas após a data de plantio	0,80	0,96	0,04	3,85
Talhadia	RVI acumulado (0-1 anos)	1,42	1,87	0,12	7,42
	RVI acumulado (0-2 anos)	2,16	2,79	0,17	6,81
	Mínimo RVI da rotação	0,66	0,87	0,06	8,25
	Máximo RVI da rotação	0,91	1,07	0,04	3,82
	RVI médio das estações secas após a data de plantio	0,87	1,02	0,04	3,96
	RVI médio das estações úmidas após a data de plantio	0,86	0,98	0,04	4,27

Em que: RVI: *Radar Vegetation Index*; Min: Mínimo; Max: máximo, SD: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

Para cultivares agrícolas, o RVI é utilizado como uma alternativa no monitoramento da vegetação, sendo um substituto do Normalized Difference vegetation Index (NDVI), já que não apresenta saturações oriundas de fatores climáticos (nuvens e sombras), e, no entanto, não representa tão bem os níveis de verde (Kumar et al., 2013). A mediana do RVI produzido pelo Sentinel-1 mais próximos de 0 são relacionados ao solo exposto, ou a uma superfície sem vegetação, e ao longo do



crescimento da vegetação este valor aumenta até a cultivar atingir o final de seu ciclo. Estes valores (Figura 2) são influenciados também pelo conteúdo de água na planta, além da sensibilidade do RVI ao teor de biomassa (Nasirzadehdizaji et al., 2019).

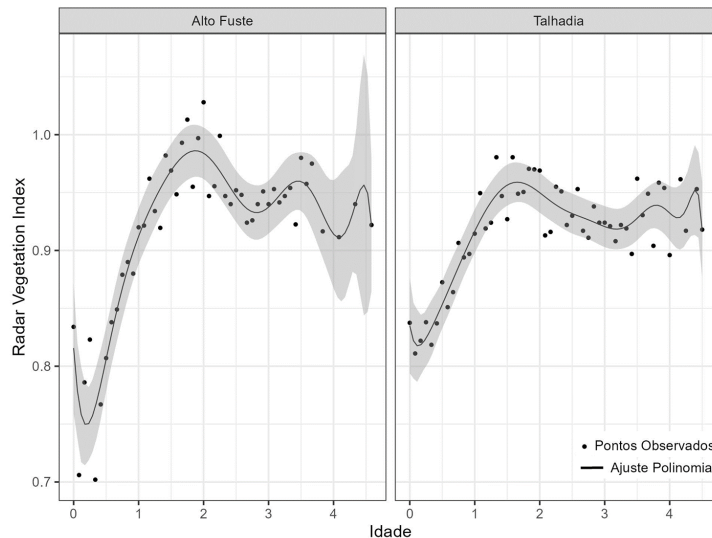


Figura 2- Padrão do RVI do Sentinel-1 (S1) para os 25 talhões em Alto Fuste e 25 talhões em Talhadia.

Na Figura 2, pode-se visualizar o comportamento referente à mediana do RVI mensal para a área de estudo. É possível perceber que o padrão de evolução do RVI para as áreas regime de alto fuste e talhadia é diferente, sendo que já no início do ciclo, os valores do índice já se encontram elevados. Percebe-se ainda, um pico seguido de uma diminuição nos valores do RVI para os dois tipos de manejo.

Conclusão

Os dados Sentinel-1 são robustos e capazes de gerar séries históricas que identificam o comportamento do ciclo da eucaliptocultura em suas formas de manejo mais utilizadas pelo mercado florestal contemporâneo (alto fuste e talhadia).

Através deste estudo foi possível gerar uma curva padrão do Radar Vegetation Index – RVI que proporciona o conhecimento sobre os conteúdos de água na planta e a biomassa. Os dados apontam que os valores acumulados do RVI para talhadia são sempre maiores, em relação ao comparativo com o alto fuste. Sendo assim, os autores sugerem a implantação de novos estudos, com séries históricas maiores com a finalidade de compreender em maior escala o comportamento dos tipos de manejo ao longo do tempo e como estes valores são apresentados por outros tipos de sistemas sensores de Radar.



Referências Bibliográficas

- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.
- HAKAMADA, R. E.; MOREIRA, G. G.; FERNANDES, P. G.; MARTINS, S. D. S. Legacy of harvesting methods on coppice-rotation Eucalyptus at experimental and operational scales. *Trees, Forests and People*, v. 9, p. 100293, 2022.
- IBA. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2022. Brasília, 96p., 2023.
- KUMAR, D.; RAO, S.; SHARMA, J. Radar Vegetation Index as an alternative to NDVI for monitoring of soyabean and cotton. In: *Proceedings of the XXXIII INCA International Congress (Indian Cartographer)*, Jodhpur, India. 2013. p. 19-21.
- MARSDEN, C.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; SEEN, D. L.; ROUPSARD, O.; CABRAL, O.; EPRON, D.; LIMA, A. M. N.; NOUVELLON, Y. Relating MODIS vegetation index time-series with structure, light absorption and stem production of fast-growing Eucalyptus plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 259, n. 9, p. 1741-1753, 2010.
- NASIRZADEHDIZAJI, R.; BALIK SANLI, F.; ABDIKAN, S.; CAKIR, Z.; SEKERTEKIN, A.; USTUNER, M. Sensitivity analysis of multi-temporal Sentinel-1 SAR parameters to crop height and canopy coverage. *Applied Sciences*, v. 9, n. 4, p. 655, 2019.
- ROCHA, J. H. T.; WENZEL, A. V.; MELO, E. A.; LIMA, Â. S. F.; HAKAMADA, R. E.; VICENTE FERRAZ, A.; Gonçalves, A. N. Responses of coppiced Eucalyptus to macro-and micronutrient application. *New Forests*, v. 50, p. 717-731, 2019.
- TESFAW, A.; TEFERI, E.; SENBETA, F.; ALEMU, D. The spatial distribution and expansion of Eucalyptus in its hotspots: Implications on agricultural landscapes. *Heliyon*, v. 9, n. 3, 2023.
- VREUGDENHIL, M.; WAGNER, W.; BAUER-MARSCHALLINGER, B.; PFEIL, I.; TEUBNER, I.; RÜDIGER, C.; STRAUSS, P. Sensitivity of Sentinel-1 backscatter to vegetation dynamics: An Austrian case study. *Remote Sensing*, v. 10, n. 9, p. 1396, 2018.
- XULU, S.; MBATHA, N.; PEERBHAY, K.; GEBRESLASIE, M. Detecting harvest events in plantation forest using sentinel-1 and-2 data via google earth engine. *Forests*, v. 11, n. 12, p. 1283, 2020.

