

Uso de fotografias digitais como alternativa à fita e a suta na cubagem rigorosa

Use of digital photographs as an alternative to diameter tape and caliper in upper-stem diameter measurements

Uso de fotografías digitales como alternativa, de la cinta métrica y forcipula de brazo móvil, para la cúbicación rigurosa

Recebido: 11/11/2021 | Revisado: 19/11/2021 | Aceito: 24/11/2021 | Publicado: 06/12/2021

Cláudio Roberto Thiersch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1558-3168>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: crthiersch@ufscar.br

Carlos Juliano Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0610-9889>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: carlos.juliano.santos@gmail.com

Lucas Kröhling Bernardi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-989X>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: bernardilucas93@gmail.com

Franciane Andrade de Pádua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3349-8648>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: franciane@ufscar.br

Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8039-0253>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: monicathiersch@ufscar.br

Resumo

Em levantamentos do volume de povoamentos, o viés não deriva apenas do processamento dos dados e das estimativas, podendo ser de seleção, quando a amostra não garante a representatividade da população; de admissão, quando a amostra advém de uma população especial; de amostragem; ou ainda podem ser imensuráveis, como erros sistemáticos e decorrentes do operador ou do próprio instrumento. O volume de um povoamento pode ser obtido através do uso de expressões matemáticas que utilizam as variáveis altura e diâmetro, ou circunferência onde o diâmetro é obtido com uso da suta e a circunferência por meio da fita métrica e, ambas, incorrem em erros que dependem do formato e deformidade das seções transversais do tronco. Este trabalho propõe uma metodologia com base na utilização de imagens digitais das seções do tronco e do uso da técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA) para obtenção da área seccional na cubagem cuja estimativa de volume seja mais precisa e acurada do que a obtida por meio da suta e fita métrica, quando comparadas com os dados reais de volume obtidos pelo xilômetro. Com uma base de dados de plantios clonais de *Eucalyptus* sp., a metodologia proposta foi capaz de estimar com precisão a área seccional dos discos de madeira, resultando em estimativas de volume com apenas 0,26% de variação média em comparação com o xilômetro, enquanto suta e fita apresentaram, respectivamente, -1,41% e 4,08% de variação. Os resultados obtidos pelas fotos também demonstraram não ser tendenciosos, enquanto a fita métrica apresentou tendência a superestimar os volumes e a suta a subestimá-los.

Palavras-chave: Dendrometria; Smalian; Medição de diâmetro.

Abstract

In forest volume estimation, biases do not derive only from data processing and estimates but may be of selection when the sample does not guarantee the representativeness of population, of admission when the sample came from a special population, of wrong sampling, or it can be immeasurable such as systematic errors and caused by the operator or the instrument itself. The volume of a stand can be obtained using mathematical expressions that use the variables height and diameter, or circumference where the diameter is obtained using caliper and the circumference through diameter tape, and both incur errors that depend on the shape and deformity of the trunk cross sections. This paper proposes a new methodology based on the use of digital images of the trunk sections and the use of the Artificial Neural Networks technique to obtain the sectional area in upper-stem diameter measurements whose volume estimation is more precise and accurate than the obtained by caliper and diameter tape when compared to the real volume data obtained by the xylometer. With a database of *Eucalyptus* sp. clonal stands, the proposed methodology

was able to accurately estimate the sectional area of trunk cross sections, resulting in volume estimates with only 0.26% of average variation compared to the xylometer, while caliper and tape presented, respectively, -1.41% and 4.08% of variation. The results obtained from the digital images also proved not to be biased, while the diameter tape overestimated volumes and the caliper underestimated them.

Keywords: Dendrometry; Smalian's formula; Diameter measurements.

Resumen

En inventarios de volúmenes de plantaciones forestales, el sesgo no se deriva solo por el procesamiento de los datos y las estimaciones, puede ser por selección, cuando la muestra no garantiza la representatividad del plantío; por admisión, cuando la muestra proviene de una plantío especial; por muestreo, o incluso pueden ser inmensurables, como los producidos por errores sistemáticos derivados del operador o del propio instrumento. El volumen de un plantío se puede obtener mediante el uso de expresiones matemáticas que utilizan las medidas de alturas y diámetros, o circunferencias donde el diámetro se puede medir con forcipulas de brazo móvil y la circunferencia con cintas métrica, pero ambos incurrir en errores que dependen de la configuración y deformidades de las secciones transversales del tronco. Este trabajo propone una metodología basada en el uso de imágenes digitales de las secciones del tronco y el empleo de Redes Neuronales Artificiales (ANN) para obtener el área de la sección en la cubación, cuya estimativa de volumen es más precisa y exacta que la conseguida con la forcipula y cinta métrica, en comparación con los datos de volumen real obtenidos con xilómetros. Con una base de datos de plantíos clonados de *Eucalyptus* sp., la metodología propuesta fue capaz de estimar con precisión la área seccional de los discos de madera, resultando en estimativas de volumen con solo 0.26% promedio de variación al ser comparados con el xilómetro, mientras que la forcipula y cinta presentaron, respectivamente, -1,41% y 4,08% de diferencia. Los resultados obtenidos también por fotos demostraron no ser sesgados, mientras que la cinta métrica tendió a sobreestimar los volúmenes y la forcipula a subestimarlos.

Palabras clave: Dendrometría; Método Smalian; Medición del diámetro.

1. Introdução

No Brasil, as florestas plantadas ocupam 7,84 milhões de hectares, o que corresponde a 1% do seu território, sendo responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais, totalizando 1,1% de toda a riqueza gerada no País e 6,2% do PIB industrial (Indústria Brasileira de Árvores, 2020). Neste contexto, para o planejamento da produção florestal é crucial que os recursos florestais sejam quantificados de forma a prever a continuidade e escala no fornecimento de matéria-prima para o setor industrial.

Uma gestão eficiente do recurso florestal parte do conhecimento do estoque presente da população e do entendimento do padrão de variação deste ao longo do tempo. Por isso, é fundamental o uso de técnicas que produzam resultados confiáveis e livres de viés.

O volume de um povoamento é uma das variáveis quantitativas de maior interesse, podendo ser obtida com base em diversos métodos, onde a maioria concentra-se em estimativas a partir do uso de expressões matemáticas, como as equações volumétricas e de afilamento do tronco, por exemplo (Bernardi, 2020).

Durante a história da mensuração florestal autores como Figueiredo-Filho et al. (2000) e Young (1966), concentraram-se em demonstrar os erros relacionados a estimativa e a aplicação de fórmulas matemáticas de extrapolação. Porém, o viés relacionado ao levantamento do volume não deriva apenas do processamento dos dados e das estimativas, podendo ser de seleção, quando a amostra não garante a representatividade da população; de admissão, quando a amostra advém de uma população especial ou de amostragem, ou ainda, podem ser erros dados como imensuráveis ou de complexa determinação, como o viés de informação (erros sistemáticos) e o viés compensante, relacionados à medição das variáveis, podendo ser decorrentes do operador ou do próprio instrumento (Scolforo & Thiersch, 2004).

O volume é obtido por meio da medição do diâmetro (geralmente utilizando suta) (Bernardi et al., 2021; Diéguez-Aranda et al., 2006; Dobner Jr. et al., 2012; Mendonça et al., 2007; Özçelik & Crecente-Campo, 2016) ou circunferência (por intermédio da fita métrica) (Amorim et al., 2021; Bila, 2011; Correa et al., 2020; Fischer et al., 2001; Hao et al., 2020; Lumbres et al., 2014; Oliveira et al., 2015) e altura da árvore. A suta e a fita métrica incorrem em erros que dependem do

formato e deformidade das seções transversais do tronco das árvores.

É de suma importância o conhecimento dos erros intrínsecos à cubagem utilizando a fita e/ou a suta e o desenvolvimento de um método que não incorra nos mesmos erros, portanto, o objetivo do presente trabalho é propor uma metodologia para a obtenção da área seccional do tronco na cubagem cujo volume seja mais preciso e acurado do que o obtido por meio da suta e fita métrica.

2. Metodologia

Os dados foram coletados em plantios clonais de *Eucalyptus* sp. com idade aproximada de sete anos na região leste do estado de Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental consistiu no abate de 75 árvores, selecionadas de forma aleatória, para a realização da cubagem rigorosa. As amostras selecionadas foram divididas em cinco classes diamétricas (Tabela 1). As mensurações foram realizadas nas alturas 0,2; 0,7; 1,3; 2; 3; 4 m e assim sucessivamente, de 1 em 1 metro, até atingir o diâmetro mínimo de 5 cm com casca.

Tabela 1: Classes diamétricas utilizadas no trabalho.

Classe	Limite inferior (cm)	Limite Superior (cm)
I	12,0	14,0
II	14,0	16,0
III	16,0	18,0
IV	18,0	20,0
V	20,0	22,0

Fonte: Autores (2021).

A medição de circunferência foi realizada com fita métrica de graduação de 0,1mm, sendo feita uma medição a cada seção. Para a obtenção do diâmetro foi utilizada uma suta de graduação de 0,1mm, sendo duas medições ortogonais em cada seção. Em todos os casos, as medições até 1,3m foram obtidas com a árvore em pé e as demais medições foram feitas com o indivíduo abatido. A espessura da casca foi obtida por meio de um paquímetro com graduação de 0,001 mm, sendo feita em todas as seções com o indivíduo abatido.

Foram retirados discos em cada seção de medição de circunferência e diâmetro. Estes discos foram fotografados no campo em Studio Box com fundo contrastante e uma placa de dimensão conhecida, como visto na Figura 1.

Figura 1: Fotografia digital, feita em todos os discos com diâmetro maior que a diagonal da placa de dimensão conhecida.



Fonte: Autores (2021).

Para as estimativas da área seccional dos discos e, por conseguinte, o diâmetro dos mesmos a partir das fotos foi utilizada a técnica de redes neurais artificiais (RNA), com o treinamento da rede Perceptron de camada única, proposta por Rosenblatt (1958).

O xilômetro foi utilizado para a obtenção do volume real, o qual foi usado para comparar os volumes encontrados pelos três meios de medição (fita, suta e fotografias digitais dos discos (foto)). Na medição com o xilômetro, as árvores foram previamente seccionadas e descascadas com o intuito de determinar o volume real sem casca. Ao mergulhar as toras no equipamento, mediu-se a variação do nível de água. A relação entre o volume de água deslocado e o volume da tora segue a proporção 1:1.

A partir dos dados obtidos na cubagem, foi calculado o volume comercial das árvores sem casca utilizando o método de Smalian. Os volumes obtidos para os três procedimentos de coleta (suta, fita e foto) foram comparados com o volume obtido pelo xilômetro a partir da raiz do quadrado médio do erro (RMSE – Equação 1). Esta medida expressa o quão, em média, o volume observado varia em relação ao volume estimado.

$$RMSE(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

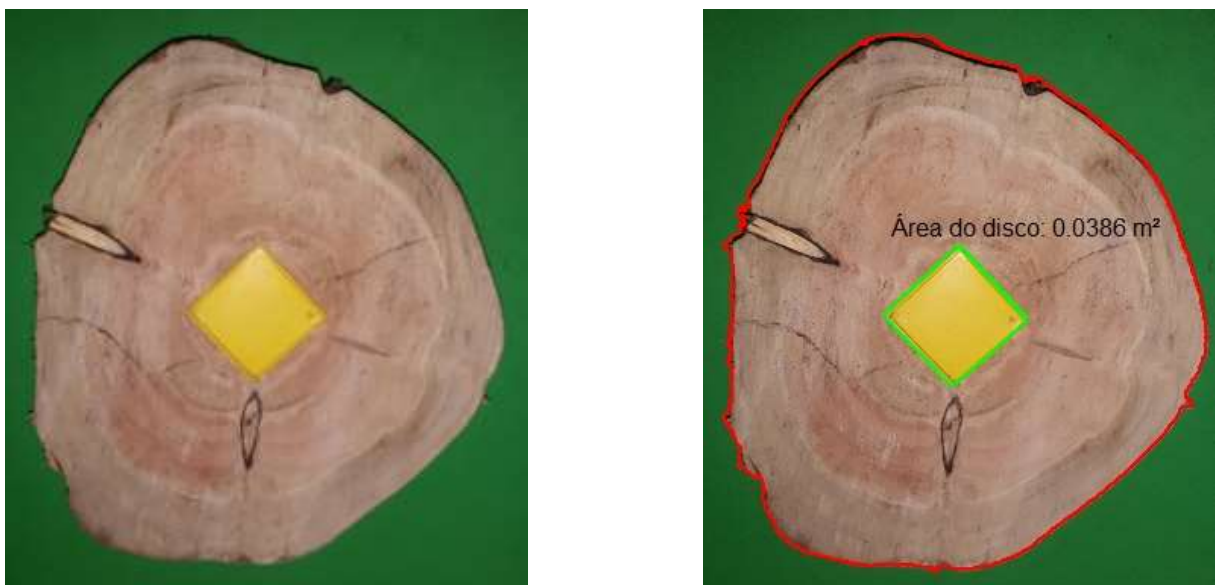
onde, \bar{Y} é o volume médio observado, n o número total de dados, Y volume observado e \hat{Y} é o volume estimado.

Foi realizada a análise de variância (ANAVA) e o teste de Tukey com o objetivo de verificar a existência de diferença significativa entre os volumes obtidos por meio dos três métodos de coleta. Os valores utilizados na ANAVA e no teste de Tukey foram obtidos por meio das diferenças dos volumes reais (xilômetro) e estimados (suta, fita e foto). Por fim, foram realizadas análises gráficas de dispersão dos resíduos para comparar os métodos de obtenção do volume.

3. Resultados e Discussão

A área seccional dos discos foi obtida por meio de redes neurais artificiais (RNA). Após o treinamento da RNA foi possível estimar a área seccional de cada disco referente às alturas de medição na cubagem e, mediante a área seccional (Figura 2), obter o diâmetro cuja área seccional fosse igual a estimada pela RNA, tendo assim um diâmetro mais próximo do valor real.

Figura 2: Disco de madeira retirado na altura de medição antes e depois do processamento pela RNA.

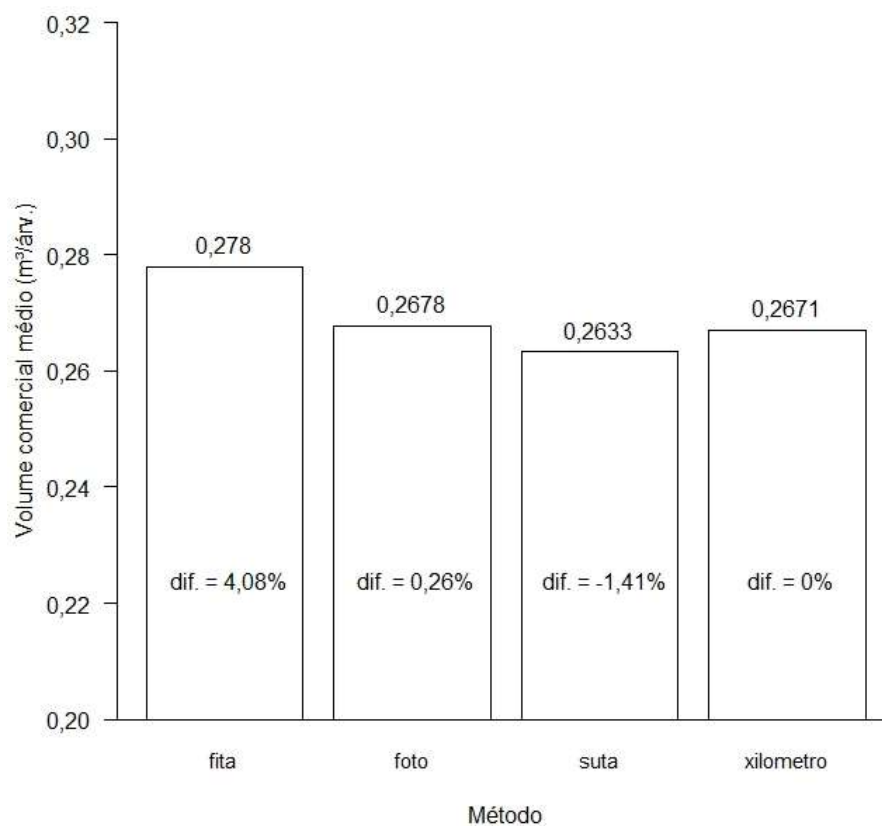


Fonte: Autores (2021).

Observa-se que a RNA foi capaz de entender e desenhar perfeitamente cada detalhe do disco de madeira e, utilizando uma placa de dimensões conhecidas (quadrado amarelo na Figura 2), obteve-se a área seccional real da seção e, conseqüentemente o diâmetro. Outras técnicas de interpretação de imagens digitais para estimativa de área de objetos também foram utilizadas em trabalhos de outras áreas como os de Godoy et al. (2007), Lucena et al. (2018), Sabliov et al. (2002), e Vieira Junior et al. (2006).

O volume médio calculado pode ser visto na Figura 3, onde pode-se observar que dentre os três métodos de coleta, o que mais se aproxima do volume real (xilômetro) é o obtido por meio da foto, com uma diferença de apenas 0,26% de variação média. A suta mostra uma variação de -1,5%, ou seja, tem em média 1,5% a menos de volume previsto do que o volume real (xilômetro), enquanto a fita, superestima o volume em 4,08%.

Figura 3: Volume comercial médio ($m^3/\text{árv.}$) obtido pelo método de Smalian.



Fonte: Autores (2021).

Visando verificar a significância estatística das diferenças entre o volume real e os estimados considerando os três métodos de coleta, foi realizada Análise de Variância (Tabela 2).

Tabela 2: Análise de variância para a diferença de volume (real - estimado) obtido por meio do método de Smalian. Onde: Tratamentos: fita, suta e foto; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; F: F calculado; $Pr(>F)$: Nível de significância.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	$Pr(>F)$
Tratamentos	2	0.007898	0.003949	51.05	<2e-16
Resíduo	207	0.016012	0.000077		

Fonte: Autores (2021).

É possível verificar na Tabela 2 que houve diferença significativa (<5%) entre os tratamentos. Assim sendo, aplicou-se o teste de média proposto por Tukey ao nível de 5% de significância com o objetivo de encontrar o melhor tratamento (Tabela 3).

Tabela 3: Teste de Tukey para a diferença de volume (real - estimado) obtido pelo método de Smalian. Tratamentos seguidos da mesma letra são, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, iguais estatisticamente.

Tratamento	Diferença média
foto	-0.0007011102 a
suta	0.0037570072 b
fita	-0.0108949518 c

Fonte: Autores (2021).

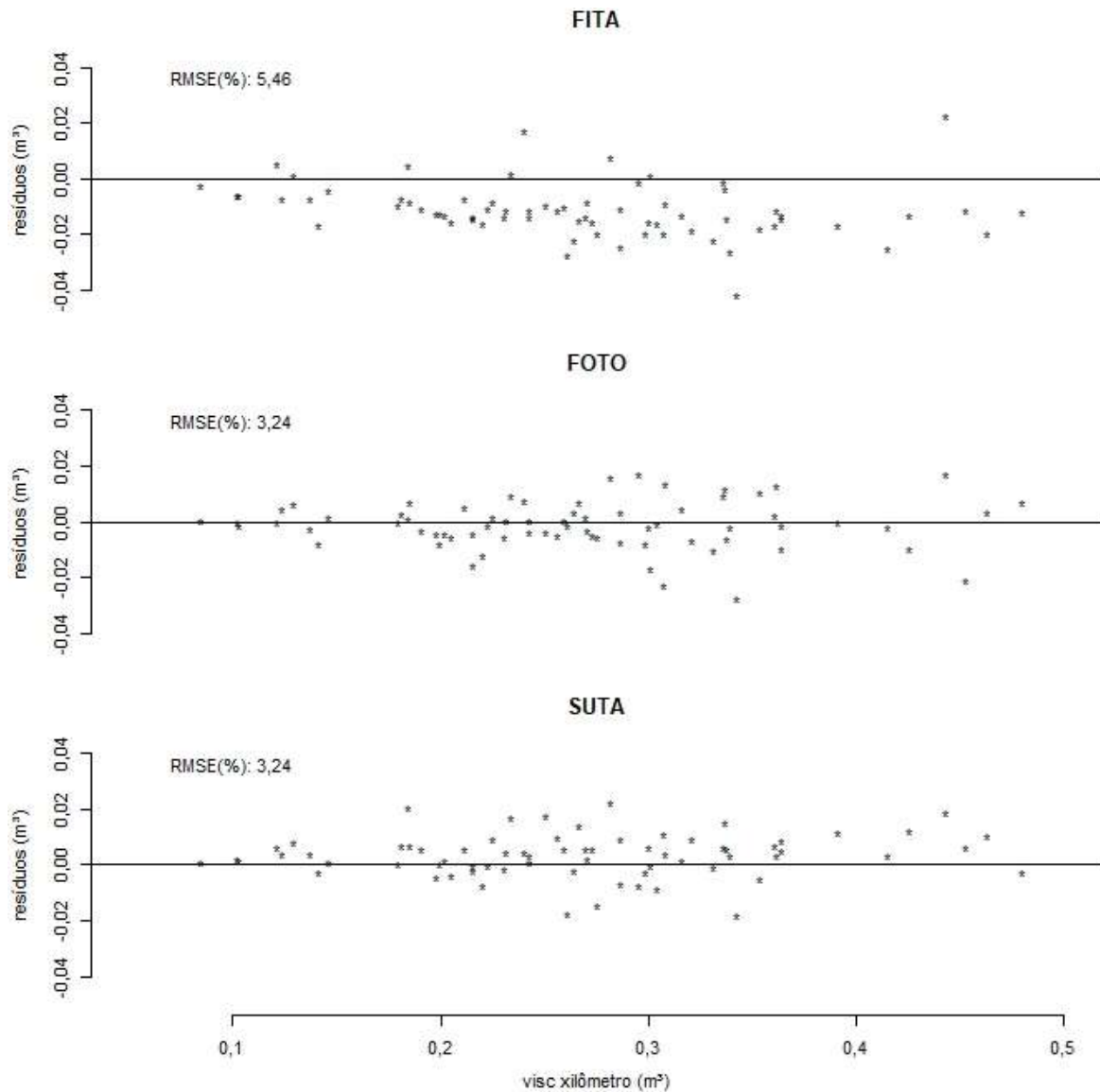
O teste de Tukey indicou, ao nível de 5% de confiança, que os três tratamentos (foto, suta e fita) são diferentes entre si, sendo a foto superior aos demais por possuir uma menor diferença em relação ao volume real (Xilômetro), seguida pela suta. Este resultado também pode ser observado na Figura 3.

Percebe-se na Figura 3 e nas Tabelas 2 e 3 que, em média, o volume obtido com a foto é mais acurado do que o obtido por meio da fita e da suta. Comparando apenas a fita e a suta, pode-se concluir que a suta é mais acurada do que a fita, uma vez que a variação em relação ao volume real gira em torno de -1,5% e a fita de 4,08%, ou seja, a suta subestima em torno de 1,5% em média e a fita superestima 4,08% em média.

É importante verificar não somente a variação média, mas também se existe tendências nos resultados. Essa tendência pode ser vista nos gráficos de resíduos (Figura 4). Na Figura 4 nota-se que os valores obtidos por meio da fita métrica tendem a superestimar o volume das árvores, fato esse também visualizado no gráfico da Figura 3, onde a superestimativa foi de 4,08%.

Comparando os três métodos de coleta dos dados (fita métrica, suta e foto) e obtendo o volume por meio do método de Smalian, o volume obtido por meio da foto obteve melhor desempenho por ser não tendencioso e preciso (RMSE (%) = 3,24).

Figura 4: Dispersão dos resíduos da estimativa de volume pelo método de Smalian para cada método de coleta de dados (fita métrica, suta e foto).



Fonte: Autores (2021).

4. Conclusão

Os usos da fita métrica, da fotografia digital e da suta geram resultados distintos na estimativa do volume em comparação com o Xilômetro.

Em média, aproximadamente a fita superestima 4%, a suta subestima 1,5% e a foto não apresenta tendência, quando o método de Smalian é aplicado para obtenção do volume.

A obtenção da área seccional do tronco na cubagem por meio de fotografias digitais dos discos (foto) mostrou-se mais eficiente do que os métodos tradicionais (suta e fita métrica). Portanto, recomenda-se o uso das fotografias digitais, em detrimento da fita e da suta, para obtenção do diâmetro.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Amorim, L. M., Leite, E. da S., Souza, D. R. de, Silva, L. F. da, Mello, C. R. de, & Lima, J. M. de. (2021). Artificial neural networks and regression analysis for volume estimation in native species. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(10), 664–669. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n10p664-669>
- Bernardi, L. K. (2020). *Inferência Multimodelos na predição de multiprodutos em povoamentos de Eucalyptus sp* [Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, 65 f. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12384>
- Bernardi, L. K., Thiersch, M. F. B. M., Arteaga, A. J. M., Almeida, A. A. A., Pádua, F. A., & Thiersch, C. R. (2021). Diferentes modelos para o afilamento do tronco de Eucalyptus sp. para o cenário florestal brasileiro. *Ciência Florestal*, 31(3), 1364–1382. <https://doi.org/10.5902/1980509840376>
- Bila, J. M. (2011). Relações hipsométricas de ecossistemas de mopane Colophospermum mopane em Mabalane, Província de Gaza, Moçambique. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31(66), 155–160. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.155>
- Correa, A. P. M., Lima, A. P. L. de, Lima, S. F. de, Silva, W. G. da, Stolle, L., & Silva, A. A. P. da. (2020). Spacing effect on growth and yield of fast rotation Eucalyptus at 24 months of age. *Research, Society and Development*, 9(6), e49963404. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3404>
- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(5), 1190–1205. <https://doi.org/10.1139/x06-008>
- Dobner Jr., M., Higa, A. R., & Urbano, E. (2012). Determinação da idade e intensidade ótimas para realização do primeiro desbaste em um povoamento de Eucalyptus dunnii. *FLORESTA*, 42(3), 485. <https://doi.org/10.5380/ufv.v42i3.21028>
- Figueiredo-Filho, A., Machado, S. A., & Carneiro, M. R. A. (2000). Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). *Canadian Journal of Forest Research*, 30(6), 990–997. <https://doi.org/10.1139/x00-006>
- Fischer, F., Scolforo, J. R. S., Acerbi-Júnior, F. W., Mello, J. M., & Maestri, R. (2001). Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de Pinus taeda. *Ciência Florestal*, 11(1), 167–188.
- Godoy, L. J. G. de, Yanagiwara, R. S., Villas Bôas, R. L., Backes, C., & Lima, C. P. de. (2007). Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “Pêra.” *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 420–424. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300004>
- Hao, Y., Widagdo, F. R. A., Liu, X., Quan, Y., Dong, L., & Li, F. (2020). Individual Tree Diameter Estimation in Small-Scale Forest Inventory Using UAV Laser Scanning. *Remote Sensing*, 13(1), 24. <https://doi.org/10.3390/rs13010024>
- Indústria Brasileira de Árvores, I. (2020). *Relatório Anual 2020*. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>
- Lucena, L. R. R., Leite, M. L. M. V., Cruz, M. G., & De Sá Júnior, E. H. (2018). Estimativa da área foliar em Urochloa mosambicensis por dimensões foliares e imagens digitais. *Archivos de Zootecnia*, 67(259), 408–413. <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3798>
- Lumbres, R. I. C., Pyo, J. K., & Lee, Y. J. (2014). Development of stem taper equations for Pinus kesiya in Benguet province, Philippines. *Forest Science and Technology*, 10(1), 22–28. <https://doi.org/10.1080/21580103.2013.821094>
- Mendonça, A. R., Silva, G. F., Oliveira, J. T. da S., & Assis, A. L. (2007). Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de Eucalyptus sp. para multiprodutos. *Cerne*, 13(1), 71–82.
- Oliveira, G. M. V., Mello, J. M. de, Altoé, T. F., Scalon, J. D., Scolforo, J. R. S., & Pires, J. V. (2015). Equações hipsométricas para Eucalyptus spp. não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. *CERNE*, 21(3), 483–492. <https://doi.org/10.1590/01047760201521031740>
- Özçelik, R., & Crecente-Campo, F. (2016). Stem Taper Equations for Estimating Merchantable Volume of Lebanon Cedar Trees in the Taurus Mountains, Southern Turkey. *Forest Science*, 62(1), 78–91. <https://doi.org/10.5849/forsci.14-212>
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
- Sabliov, C. M., Boldor, D., Keener, K. M., & Farkas, B. E. (2002). Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties*, 5(3), 641–653. <https://doi.org/10.1081/IJFP-120015498>
- Scolforo, J. R. S., & Thiersch, C. R. (2004). *Biometria Florestal: medição, volumetria e gravimetria*. UFLA/FAEPE.
- Vieira Junior, P. A., Dourado Neto, D., Cicero, S. M., Jorge, L. A. C., Manfron, P. A., & Martin, T. N. (2006). Estimativa da Área Foliar em Milho Através de Análise de Imagens. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 5(1), 58–66. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p58-66>
- Young, H. E. (1966). Forest measurement accuracy. *The Forestry Chronicle*, 42(4), 438–443. <https://doi.org/10.5558/tfc42438-4>