

## Uso de imagens do satélite ALOS para estimativa do volume de madeira em plantações de *Eucaliptos*

Fernando Soares de Oliveira<sup>1</sup>  
Vicente Paulo Soares<sup>1</sup>  
Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro<sup>1</sup>  
José Marinaldo Gleriani<sup>1</sup>  
Sady Junior Martins da Costa de Menezes<sup>1</sup>  
André Quintão de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa - UFV  
36570-000 - Av. P. H. Rolfs, s/n - Viçosa - MG, Brasil  
{fernandosoaresdeoliveira, sadymenezes}@yahoo.com.br  
{ andre.almeida, vicente, cribeiro, gleriani}@ufv.br

**Abstract.** The availability of orbital data has brought new perspectives to both academic and corporative sectors solving demands in forestry science. The main objective of this work was to evaluate the potential of radar data for estimating the timber volume in *Eucalyptus spp* stands. For this, the correlations between spectral data and timber volume were performed following the use of Multiple Linear regression models as the descriptors of the relationships established. Images were obtained from radar sensors PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) aboard the ALOS satellite in areas of eucalyptus production located in Vale do Rio Doce - State of Minas Gerais, Brazil, belonging to CENIBRA. Trees between 4 and 8 years old were selected for the study. The results pointed out that the volume from the stands were correlated with the biomass index -BMI (-65%) and total power -Pt (-69). The final results pointed out that the volume variable was better explained by the regression with the combination of Pt and BMI index. The correlation coefficient showed a median value of 0.49. The results achieved in this study support the hypothesis that data coming from PALSAR, sensors can be used to quantify volume variable in eucalyptus plantations.

**Palavras-chave:** sensor palsar, sensoriamento remoto, variáveis biofísicas, palsar sensor, remote sensing, biophysical variables.

### 1. Introdução

Imagens de Satélites e fotografias aéreas são os produtos de sensoriamento mais conhecidos e utilizados nas diversas áreas comunidade científica. As duas principais desvantagens associadas ao uso destes sensores são a necessidade de uma fonte externa de iluminação (sensor passivo) e a grande dependência das condições climáticas.

Entretanto, os sensores que operam na faixa do micro-ondas possuem como principais vantagens a capacidade de poderem adquirir dados independentemente da iluminação solar e de serem pouco influenciados pelas condições atmosféricas, uma vez que a transmitância atmosférica é praticamente total para a faixa de microondas. Segundo Freitas (2005), Esta característica é particularmente interessante para regiões tropicais, onde sensores ópticos sofrem grande restrição devido à alta probabilidade de ocorrência de nuvens.

Nos inventários nacionais, devido a grande extensão territorial, os dados de sensoriamento remoto têm sido utilizados com sucesso, segundo Hyppa et al. (2000). Devido as restrições ocasionada pela constante presença de nuvens e neblina no imageamento óptico, os dados de radar de abertura sintética (SAR) se tornam especialmente úteis, de acordo com Rosenqvist et al. (2003).

Desde a década de 90 a quantificação de determinadas variáveis biofísicas da cobertura florestal vem sendo realizada com abordagens que empregam dados de radar de abertura sintética polarimétrica. No que se refere à estimativa volumétrica, alguns estudos já foram conduzidos em plantios de coníferas e florestas boreais, segundo Israelsson et al. (1994).

De acordo com Henderson e Lewis (1998), os estudos de variáveis biofísicas da cobertura florestal são frequentemente baseados apenas nas medidas de potência do radar, adquiridas nas três polarizações lineares (HH, VV e HV).

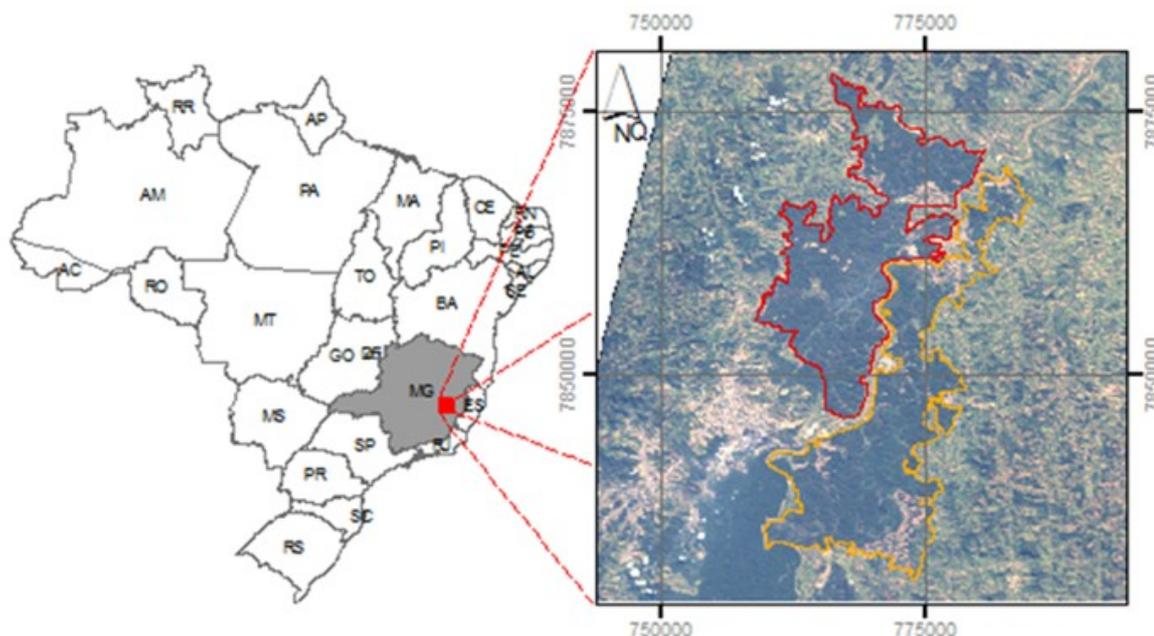
Variáveis biofísicas são importantes descritores de florestas nativas ou implantadas. Por exemplo, altura e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores, são utilizados em equações alométricas para o cálculo de volume de madeira.

Apesar deste contexto, o entendimento da dinâmica de interação do sinal de radar (microondas) com a estrutura complexa das florestas ainda é incipiente. Neste sentido, tornam-se também necessários estudos que busquem relacionar as informações registradas por estes sensores com a informação estrutural destas florestas.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação de resposta do radar PALSAR, abordo do satélite japonês ALOS quanto a radiometria (VN) na banda L nas quatro polarizações, a interferometria, e os parâmetros biofísicos volume da madeira em povoamentos de *Eucalyptus spp.*

## 2. Área de estudo

A área de estudo pertence à empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA), onde foram lançadas 210 parcelas amostrais de aproximadamente 350 m<sup>2</sup> em áreas de produção de eucalipto para fabricação de celulose. Ela engloba parte dos municípios de Belo Oriente e Ipaba, ambos situados em Minas Gerais (Figura 1). A área é delimitada pelas coordenadas UTM N=7834835,357m e N=7870201,440m e E=759129,678m e E=777583,285m.



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

### 3. Materiais e métodos

O inventário florestal foi realizado pela empresa CENIBRA, no período de 25 de fevereiro a 5 de setembro de 2009, onde foram realizadas medidas dos parâmetros idade, altura dominante, altura média, DAP, área basal, número de fustes, volume e biomassa.

As características polarimétricas de um determinado alvo podem ser descritas por uma série de atributos extraídos da matriz de espalhamento complexa (amplitude e fase). No caso específico das imagens PALSAR esta matriz foi obtida para cada elemento de resolução. Neste estudo, foram analisados atributos baseados somente nas medidas de potência do radar (atributos incoerentes).

Entre os atributos incoerentes, foram avaliados o valor numérico das imagens nas quatro polarizações (HH, VV, HV e VH), a razão de polarização paralela ( $R_p$ ) e a razão de polarização cruzada ( $R_c$ ), descritos em Henderson e Lewis (1998); a potência total (PT), apresentada por Boerner et al. (1991); e os índices de biomassa (BMI, biomass index), de estrutura do dossel (CSI, canopy structure index) e de espalhamento volumétrico (VSI, volume scattering index), desenvolvidos por Pope et al. (1994). Foi empregada técnica de regressão múltipla para a escolha das variáveis candidatas aos modelos.

Para a determinação do conjunto das variáveis que poderiam contribuir para a regressão, foi utilizado critérios forward Stepwise, sugeridos por Neter et al. (1996). O procedimento forward stepwise consiste acrescentar gradualmente uma nova variável ao modelo, e retirar aquela cuja contribuição parcial não foi considerada significativa através de um teste F.

Para a avaliação da heterocedasticidade (constância da variância dos resíduos) foi empregado o teste de Levene, que realiza a comparação do teste t de dois subgrupos de amostras do conjunto de dados, para determinar se a média dos desvios absolutos de um subgrupo difere do outro.

Para a avaliação da existência de outliers no conjunto de dados, empregou-se o método de distância de Cook, que considera a influência de uma determinada observação em todos os outros valores ajustados. Um caso é considerado um outlier quando o seu percentil de uma distribuição F ultrapassa 20%.

### 4. Resultados

A análise da correlação da variável volume da vegetação com os dados obtidos por radar nas quatro polarizações mostrou que a maior correlação (69%) foi obtida com a variável potência total (PT), sendo a variável candidata e com maior possibilidade de contribuição ao modelo de regressão. Verifica-se também na Tabela 1, que a variável BMI apresenta uma correlação de 65% em relação ao volume da vegetação, indicando que esta variável poderia também ingressar no modelo de regressão. Verifica-se que as variáveis CSI e P41 apresentam também uma alta correlação entre si (96%), indicando que a presença de uma delas seria suficiente para o modelo.

As primeiras análises do método estatístico para determinar as variáveis que comporiam a regressão para o volume indicou que as variáveis Pt4 e P44(VH), seriam as melhores candidatas a regressão. O modelo de regressão utilizado apresentou valores de p-valor inferior a 0,926%; A Tabela 2 apresenta os resultados da regressão realizada pelo programa Statistica. Para identificação de existência de outliers foi utilizado o teste de distância de Cook, cujo resultado obtido não indicou a presença de nenhum caso como candidato. De acordo com a Tabela 3, a parcela candidata que possui a maior distância de cook, apresentar um valor de percentil de 3,08%, abaixo do limite de influência no modelo de 20% (Neter et al., 1996). Para verificação de interação entre variáveis candidatas do modelo final, foi inserida um nova variável no modelo, resultante do produto entre Pt4 e P4(VH), e realizou-se um teste F, de forma a avaliar a existência de interação entre as variáveis (Neter et AL, 1996). A Tabela 4, apresenta o resultado da regressão utilizando este novo conjunto de variáveis.

Tabela 1. Matriz de correlação para o volume.

	Volume m <sup>3</sup>	p41 HH	P42 HV	P43 VV	P44 VH	Rp	Rc	Pt	BMI	CSI	VSI
Volume m <sup>3</sup>	1	-0,59	-0,56	-0,58	-0,54	0,37	0,36	-0,69	-0,65	0,36	-0,24
p41	-0,59	1	0,53	0,55	0,49	-0,87	-0,85	0,79	0,96	-0,87	-0,06
P42(HV)	-0,56	0,53	1	0,82	0,47	-0,17	-0,02	0,74	0,69	-0,15	0,29
P43(VV)	-0,58	0,55	0,82	1	0,44	-0,08	-0,17	0,73	0,78	-0,07	0,12
P44(VH)	-0,54	0,49	0,47	0,44	1	-0,36	-0,31	0,88	0,53	-0,35	0,81
Rp4	0,37	-0,87	-0,17	-0,08	-0,36	1	0,93	-0,54	-0,69	1,00	0,09
Rc4	0,36	-0,85	-0,02	-0,17	-0,31	0,93	1	-0,50	-0,71	0,93	0,21
Pt4	-0,69	0,79	0,74	0,73	0,88	-0,54	-0,50	1	0,86	-0,53	0,50
BMI4	-0,65	0,96	0,69	0,78	0,53	-0,69	-0,71	0,86	1	-0,68	0,00
CSI4	0,36	-0,87	-0,15	-0,07	-0,35	1,00	0,93	-0,53	-0,68	1	0,11
VSI4	-0,24	-0,06	0,29	0,12	0,81	0,09	0,21	0,50	0,00	0,11	1

Tabela 2. Resultado do modelo de regressão.

	$\beta$	p-valor	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>
Intercept	595,198	0,000%	99038,4	49,10%	48,60%
Pt	-187,586	0,000%			
P44(VH)	0,386	0,926%			

Tabela 3. Resultado do teste de distância de Cook.

	Parcela 199
Distância de Cook	0,0313
Percentil de F(parâmetros, casos)	3,08%
Outlier	NÃO
R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	48,60%

Tabela 4. Teste de interação entre variáveis.

	$\beta$	t*	p-valor	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>
Intercept	587,75	12,17	0,00%	99020,8	49,11%	48,36%
Pt4	0,455	1,15	24,87%			
P44(VH)	-184,38	-6,83	0,00%			
Pt4 * P44(VH)	-0,030	-0,15	84,49%			

Verificou-se a possibilidade de eliminação da variável “Pt4 \* P44(VH)”, realizando-se um teste F, em que as hipóteses de decisão são:

$$H_0: \beta_3 = 0 \text{ se } F^* \leq F(1-\alpha; g f_R - g f_F; g f_F)$$

$$H_1: \beta_3 \neq 0 \text{ se } F^* > F(1-\alpha; g f_R - g f_F; g f_F)$$

Onde:

$$1-\alpha = 0,975; n=206 \text{ casos} \rightarrow F_{(0,975;1; 203)} = 5,099 \text{ (programa Statística 7,0)}$$

$$F^* = \frac{SSE(R) - SSE(F)}{df_R - df_F} \div \frac{SSE(F)}{df_F}$$

Onde:

SSE(F) = Soma dos quadrados dos resíduos com todas as variáveis;

SSE(R) = Soma dos quadrados dos resíduos sem as variáveis sob estudo.

$F^* = 0,0361$  [SSE(F) = 99020,8; SSE(R) = 99038,4;  $n=206$ ;  $df_R=204$ ;  $df_F=203$

Como  $F^* < F$ , conclui-se a hipótese de  $\beta_3$  ser nula, indicando que a variável interação “Pt4 \* P44(VH)”, pode ser removida do modelo de regressão por não ser significativa ao modelo, indicando inexistência de interação entre elas.

O teste VIF de multicolinearidade realizado através do software Statistica com as variáveis P44(VV) e Pt4 obtiveram um valor (VIF = 4,3083) inferior ao limite 10 indicado por Neter et al. (1996), indicando a inexistência de colinearidade entre as variáveis.

Analisando os resíduos do modelo de regressão obtido, verificou-se que eles se mostram simétricos, não apresentando heterocedasticidade, conforme se observa na Figura 2.

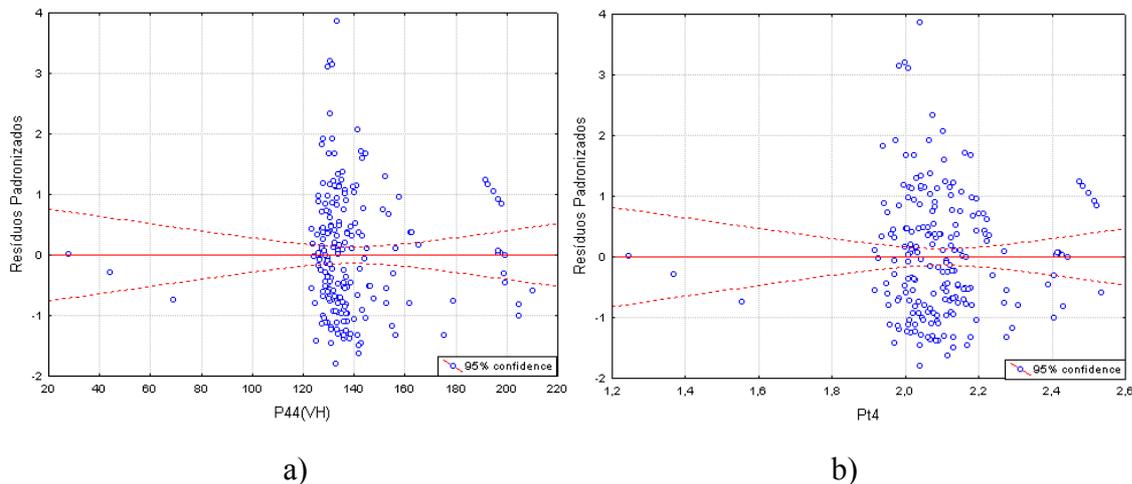


Figura 2 – Resíduos padronizados para: a) P44(VH) e b) Pt4.

Verificando a normalidade dos resíduos, observa-se no gráfico da Figura 3 que eles se alternam sobre a reta de indicação de normalidade, apresentando uma distribuição normal para todos os casos.

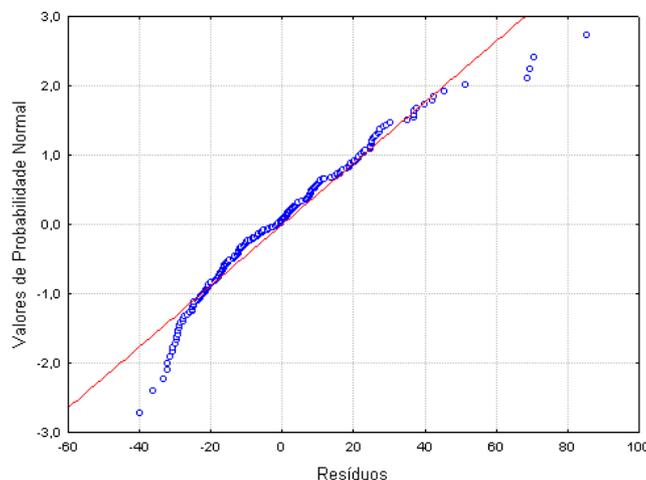


Figura 3. Gráfico da probabilidade normal.

Realizando o teste de normalidade proposto por Neter et al. (1996), que compara o coeficiente de determinação dos resíduos e os seus valores normalizados com os valores críticos tabelados para a normalidade, verificou-se que o valor de R<sup>2</sup> obtido (0,7007) foi superior ao valor crítico para o caso de 206 amostras para um nível de significância de 5%, indicando assim a existência de normalidade para todos os casos.

Aplicando o teste de Levene (t\*L) ao modelo obtido, verificou-se que os resultados foram superiores aos da distribuição de F para 5% de confiança (F(0,975;1;203)), para todas as variáveis integrantes do modelo, indicando que os resíduos não eram homocedásticos. A Tabela 5, apresenta os resultados obtidos do teste de Levene.

Tabela 5. Resultados do teste de Levene

Variável	F*L	$F_{(0,975;1;203)}$
P44(VH)	36,39	5,099
Pt4	8,01	

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que os coeficientes do modelo de regressão final para a altura comercial são os descritos na Tabela 2, cuja equação pode ser representada por :

$$\text{Volume} = 595,196 + 0,386 * \text{P44(VH)} - 187,586 \text{ Pt4}$$

O gráfico da Figura 4 apresenta o resultado da regressão do volume com dois ângulos de visada, em que se verifica que o modelo apresentou um comportamento inversamente proporcional quanto a Pt4 e o volume, isto ocorreu devido a correlação de 69% entre as variáveis. O modelo apresentou um comportamento diretamente proporcional quanto a P44(VH).

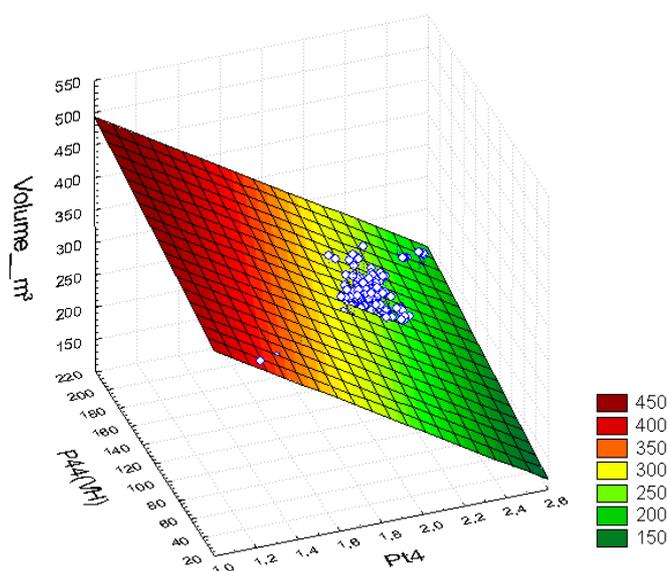


Figura 4. Gráficos do modelo de regressão para o volume.

## 5. Considerações finais

Os resultados obtidos indicaram que a o BMI e Pt foram as melhores variáveis para o modelo de regressão. A provável razão para este efeito seria o fato de que o Eucalyptus ter um fuste ereto, com copa de pequeno porte, e os seus parâmetros biofísicos ser estreitamente relacionados com a altura do indivíduo e a interação do feixe do radar ser maior com os troncos das árvores, que são os elementos estruturais dominantes da vegetação estudada.

O R2 encontrado foi mediano, entretanto, a regressão não apresentou valores elevados dos erros, fato evidenciado pelo não aparecimento de outlier. A provável razão para este efeito seria a dimensão dos pixels, o qual abrange várias árvores de *Eucalyptus* além do solo. Os resultados obtidos para os modelos de predição dos parâmetros biofísicos foram, de um modo geral, satisfatórios, evidenciando o grande potencial do uso de sensores radar para esse fim.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos a empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA) pelo financiamento e apoio que permitiram a execução deste trabalho.

## Referências

- BOERNER, W. M. *et al.* On the basic principles of radar polarimetry: the target characteristic polarization state theory of Kennaugh, Huynen's polarization fork concept, and its extension to the partially polarized case. **Proceedings of the IEEE**, v. 79, n. 10, p. 1538-1550, 1991.
- Freitas, S. R.; Mello, M. C. S.; Cruz, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 218, n. 1-3, p. 353-362, 2005.
- HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radars**. 3.ed. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1998. 866 p.
- HYYPPA, J. *et al.* Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. **Forest Ecology and Management**, v. 128, n. 1-2, p. 109-120, 2000.
- ISRAELSSON, H. *et al.* Potential of SAR for forest bole volume estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 14, p. 2809-2826, 1994.
- Neter, J., Kutner M.H., Nachtsheim, C.J., Wasserman, W. **Applied Linear Statistical Models**, Boston, MA, McGraw-Hill, 1996.
- POPE, K. O. *et al.* Radar remote sensing of forest and wetland ecosystems in the Central American tropics. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. 2, p. 205-219, 1994.
- ROSENQVIST, A. *et al.* A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. **Environment Science and Policy**, v. 6, p. 441-455, 2003.