

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Variáveis dendrométricas sob efeito de espaçamentos e materiais genéticos na modelagem volumétrica e produção de madeira de eucalipto

Kálita Luis Soares

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2023**

Kálita Luis Soares
Bacharelada em Engenharia Florestal

Variáveis dendrométricas sob efeito de espaçamentos e materiais genéticos na modelagem volumétrica e produção de madeira de eucalipto

Orientador:
Prof. Dr. **JOÃO LUIS FERREIRA BATISTA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2023

RESUMO

Variáveis dendrométricas sob efeito de espaçamentos e materiais genéticos na modelagem volumétrica e produção de madeira de eucalipto

O volume de madeira de um povoamento é uma das variáveis mais importantes no planejamento florestal. A modelagem volumétrica para indivíduos florestais é recorrente na área florestal, havendo necessidade de reavaliar métodos e técnicas para mensurar volume e buscar melhores informações para as variáveis dendrométricas. As hipóteses deste estudo foram: (1) As variáveis dendrométricas e produtividade de eucalipto variam para diferentes espaçamentos e clones. (2) A precisão dos modelos volumétricos está condicionada ao uso de variáveis no modelo que representa as características silviculturais do povoamento florestal. O objetivo geral do estudo foi analisar a influência do material genético e espaçamento de plantio nas variáveis dendrométricas e avaliar se os modelos de volume são expressões capazes de detectar o efeito (material genético e espaçamento) a partir de atributos da árvore na estimativa de volume para floresta de *Eucalyptus*. O estudo foi conduzido em plantio de *Eucalyptus* spp. na Estação Experimental de Ciências Florestais, em Itatinga-SP. Os dados avaliados são oriundos de um experimento em esquema fatorial com três espaçamentos de plantio (3x1m, 3x2m e 3x4m), seis materiais genéticos (clones) e seis blocos. Foram avaliadas a influência do espaçamento e material genético sob variáveis dendrométricas e volume de madeira. Os modelos volumétricos de Schumacher-Hall e Spurr foram ajustados em diferentes estruturas a fim de identificar os melhores desempenhos dos modelos para estimativa de volume que consiga refletir o efeito de espaçamento e material genético. As variáveis diâmetro a 1,3m a altura do solo (DAP), altura total, altura de Pressler, diâmetro de Hossfeld, volume sólido por árvore e volume por área apresentaram variação significativa entre os espaçamentos e clones. O espaçamento 3x4m apresentou os maiores valores de diâmetro e altura total. Por outro lado, no espaçamento 3x1m resultou nos menores valores de volume sólido por árvore, entretanto, apresentou os maiores valores de volume por área devido ao alto número de árvores por hectare. A utilização do espaçamento e material genético como fator no ajuste do modelo não apresentou ganho na estimativa de volume quando comparado ao modelo geral sem os fatores. A inserção das variáveis de forma altura de Pressler e diâmetro de Hossfeld aumentou a precisão do modelo volumétrico e com erros menores que 10%. Altos valores de diâmetro e altura são observados em espaçamentos menos adensados por haver maior área útil por árvore e, assim, maior disponibilidade de recursos para a planta desenvolver. A estimativa por modelos volumétricos com uso de variáveis que refletem a forma do tronco pode resultar em maior precisão e representar variações do povoamento que influenciam diretamente no volume de madeira.

Palavras-chave: Biometria Florestal; Equação de volume; Modelos Volumétricos; Quantificação de Madeira.

ABSTRACT

Dendrometric variables under the effect of spacings and genetic materials in volumetric modeling and eucalyptus wood production

The wood volume of a forest stand is one of the most crucial variables in forest planning. Volumetric modeling for individual trees is a common practice in forestry, necessitating a reassessment of methods and techniques to measure volume and seek better information for dendrometric variables. The hypotheses of this study were: (1) Dendrometric variables and eucalyptus productivity vary according to different spacings and clones. (2) The accuracy of volumetric models is contingent upon using variables in the model that represent silvicultural characteristics of the forest stand. The main objective of this study was to analyze the influence of genetic material and planting spacing on dendrometric variables and evaluate if volume models can detect the effect (genetic material and spacing) based on tree attributes in estimating volume for Eucalyptus forests. The study was conducted in a Eucalyptus spp. plantation at the Experimental Station of Forestry Sciences in Itatinga-SP, Brazil. The evaluated data originated from an experiment with a factorial design comprising three planting spacings (3x1m, 3x2m, and 3x4m), six genetic materials (clones), and six blocks. The influence of spacing and genetic material on dendrometric variables and wood volume was assessed. The Schumacher-Hall and Spurr volumetric models were adjusted in different structures to identify the best model performances that could reflect the effect of spacing and genetic material. The variables, Diameter at Breast Height (DBH), total height, Pressler height, Hossfeld diameter, solid volume per tree, and volume per area, exhibited significant variation among the different spacings and clones. The 3x4m spacing showed the highest values for diameter and total height. On the other hand, the 3x1m spacing resulted in the lowest values for solid volume per tree, but it showed the highest values for volume per area due to the high number of trees per hectare. Incorporating spacing and genetic material as factors in model fitting did not improve volume estimation compared to the general model without these factors. However, including trunk form variables such as Pressler height and Hossfeld diameter enhanced the precision of the volumetric model, yielding errors below 10%. Higher values of diameter and height were observed in less dense spacings due to the greater useful area per tree and, consequently, a higher availability of resources for plant development. Estimating volume through volumetric models using variables that reflect trunk shape can result in greater precision and represent variations in the stand that directly influence wood volume. .

Keywords: Forest Biometrics; Volume Equation; Volumetric Models; Wood Quantification.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque na produção de produtos provenientes de florestas plantadas de eucalipto. Atualmente, a área plantada de florestas no país ocupa cerca de 9,5 milhões de hectares, destes, 76,9% são áreas ocupadas por espécies do gênero *Eucalyptus*, 19,1% de *Pinus* e 4% de outras espécies (IBGE, 2021). O gênero *Eucalyptus* tem sido plantado em larga escala no Brasil em função da alta adaptabilidade nas condições edafoclimáticas do país e especialmente por sua madeira ser utilizada em diversas finalidades, como por exemplo, na produção de carvão, celulose, postes, e na serraria (Tavanti et al., 2018).

Com o avanço da expansão dos plantios de eucalipto no Brasil e a busca de altas produtividades, houve a necessidade do desenvolvimento de novos materiais genéticos que se adequem especialmente as diferentes condições climáticas do país. Flexas et al. (2002) afirmam que o fator que mais limita a produtividade da espécie de eucalipto é o estresse hídrico. Por isso, é fundamental a escolha correta do material genético de forma específica para cada região, somada também ao uso correto das práticas silviculturais como, por exemplo, a escolha do espaçamento, adubação e controle de pragas e doenças.

Dentre os fatores que influenciam a produtividade da floresta, destaca-se o espaçamento. O espaçamento inicial de plantio possui influência direta na produtividade, pois está relacionada com a mortalidade de plantas, o volume de copa e galhos, a qualidade da madeira, colheita e, sobretudo com o manejo florestal em geral (Balloni; Simões, 1980). Além disso, a escolha do espaçamento deve ser pautada especialmente pelos níveis de precipitação da área. Elli et al. (2020) em seu trabalho afirmam que para cada árvore por hectare deve haver 1 mm de precipitação anual, ou seja, em um espaçamento 3x2m teremos 1666 plantas por hectare, assim, deveria haver na área uma precipitação anual de 1666 mm.

A densidade de árvores por unidade de área influencia tanto no crescimento individual das árvores quanto no crescimento total da floresta. Espaçamentos menores produzem árvores com diâmetro menor, e conseqüentemente volume individual menor, mas em relação a produção total por área, estes espaçamentos menores apresentam maior área basal e volume por hectare (Berger et al., 2002). Já espaçamentos maiores apresentam maior produção de biomassa de madeira individual, porém, apresentam menor volume por hectare (Leles et al., 2001).

Além da influência do material genético, espaçamento e tratos silviculturais, a quantificação precisa do volume de madeira da floresta é uma etapa importante para garantir maior eficiência na colheita e na destinação do uso dessa madeira. Dentre os métodos utilizados, a cubagem rigorosa é o procedimento de maior precisão para obter o volume do tronco ou lenho de um uma árvore (Batista et al., 2014). As metodologias de cubagem, ainda usuais, necessitam da derruba da árvore para realizar a quantificação do volume, porém, em alguns casos não há disponibilidade de árvores a serem cubadas, mas nestes casos específicos tem a alternativa de aplicar métodos de estimativa de volume de árvores em pé.

Os instrumentos dendrométricos viabilizam a medição de árvore em pé podendo proporcionar informações da forma das árvores e eliminar o custo da cubagem rigorosa tradicional. Posteriormente, é necessária uma equação de volume para realizar a predição de volume por árvore individual. Os modelos volumétricos são gerados por meio de dados de cubagem, e estes podem ser utilizados na estimativa de volume por área. Os modelos volumétricos nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições. É importante que sejam desenvolvidas equações de volume específicas para cada tipo ecológico, topografia, solo, e, após testá-los por meio de estatísticas adequadas, verificar a possibilidade de agrupá-los ou não em uma única equação (Finger, 1992).

Diante disso, é importante entender a influência do espaçamento de plantio e material genético sobre as variáveis dendrométricas e a produtividade do povoamento e, assim, identificar o método mais preciso e menos oneroso para quantificação da produção de madeira da floresta. Assim, as hipóteses dos autores desta pesquisa foram:

- I) as variáveis dendrométricas e produtividade de eucalipto variam para diferentes espaçamentos e clones;
- II) II) a precisão dos modelos volumétricos está condicionada ao uso de variáveis no modelo que representa as características silviculturais do povoamento florestal.

Para responder as hipóteses, o objetivo geral do estudo foi analisar a influência do material genético e espaçamento de plantio nas variáveis dendrométricas e avaliar se os modelos de volume são expressões capazes de detectar o efeito (material genético e espaçamento) a partir de atributos da árvore na estimativa de volume para floresta de *Eucalyptus*.

REFERÊNCIAS

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

ELLI, E. F.; SENTELHAS, P. C.; BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on *Eucalyptus* plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 474, p.118-365, 2020.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J. M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 29, p. 461-471, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Notas Técnicas**, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. v. 36, 2021. 18p.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. F. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, 2001.

TAVANTI, R. F. R.; CARVALHO, J. B.; TROLEIS, M. J. B.; BELLOTE, J. L. M.; SENA, K. N.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Eficiência da adubação boratada no desenvolvimento de mudas de eucalipto. **Revista Ciências Agrárias**, v. 61, n. 1, p. 1-7, 2018.

2. INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E MATERIAL GENÉTICO DE EUCALIPTO EM VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E NA PRODUÇÃO DE MADEIRA

2.1. Introdução

O gênero *Eucalyptus* tem sido plantado em larga escala no Brasil em consequência das suas características de rápido crescimento, adaptabilidade, menor rotação e alta produtividade. A área de florestas plantadas no Brasil é aproximadamente 9,5 milhões de hectares, desse total 7,3 milhões de hectares são plantações de Eucalipto, o que representa 76,9% de toda a área planta no País (IBGE, 2021).

Os povoamentos de *Eucalyptus* spp. no Brasil com alta produtividade são resultados dos investimentos contínuos do melhoramento e aprimoramento do manejo florestal (Alfenas et al., 2009; Ferreira et al., 2014). As espécies apresentam alta estabilidade genética, e assim são muito utilizadas para a obtenção de híbridos e na clonagem de árvores selecionadas (Mora; Garcia, 2000).

Outros fatores importantes que influenciam na produtividade da floresta são as práticas silviculturais aplicadas na implantação do povoamento. O espaçamento inicial de plantio do ponto de vista silvicultural interfere diretamente não apenas na produção de madeira, bem como na sobrevivência das plantas, no volume de copa e galhos, na qualidade da madeira e nas práticas de colheita e manejo florestal (Balloni; Simões, 1980).

A escolha correta da densidade de árvores por unidade de área influenciará tanto no crescimento individual das árvores como também no crescimento total da floresta. Espaçamentos menores produzem árvores com diâmetro menor, e consequentemente um volume individual menor, mas em termos de produção total por área, estes espaçamentos menores apresentam maior área basal e volume por hectare (Berger et al., 2002). Espaçamentos mais amplos apresentam produção de biomassa de madeira e da parte área por árvore superior a espaçamentos mais adensados (Leles et al., 2001).

Dentro desse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a influência do material genético e espaçamento de plantio nas variáveis dendrométricas e volume de madeira de eucalipto.

2.2. Conclusão

As variáveis dendrométricas e o volume estimado de madeira tem influência do material genético e espaçamento de plantio. A volume sólido por árvore é diferente entre espaçamentos e entre clones, sendo observado valores de volumes diferentes entre os clones para um mesmo espaçamento. O espaçamento mais denso proporciona maior produção volumétrica por área, e os mais amplos por árvore individual. Assim, é imprescindível a avaliação para cada situação específica e analisar quais características influenciam no volume da árvore.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A.; ZAUZA, E.; MAFIA, R.; ASSIS, T. **Clonagem de doenças de eucalipto**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 500 p.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BERNARDO, A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, n. 1 - 3, p. 1 - 3, 1998.
- FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; MACHADO, E. C.; ABREU, A. H. M.; ABILIO, F. M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; GONÇALVES, T. D.; MOREIRA, R. M.; MENDES, J. C. T.; GAVA, J. L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.
- HSING, T. Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 273-283, 2016.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura (PEVS)**. Rio de Janeiro: IBGE, v.33, 2018.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. F. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Sci. For.**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, 2001.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 755 - 762, 2010.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n. 2-3, p. 215 - 227, 2003.

R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R. A.; LOOS R. A. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684 1694, 2010.

VERA, D. E.; LAURA, V. A.; FERREIRA, A. D.; COUTO, A. M. Crescimento e forma do eucalipto em função da densidade de plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 504-522, 2022.

3. DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E MATERIAIS GENÉTICOS EM FLORESTA DE *Eucalyptus* spp. SOBRE A MODELAGEM VOLUMÉTRICA DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

3.1. Introdução

A comercialização de produtos florestais desempenha um papel significativo no desenvolvimento socioeconômico do país. Portanto, é essencial conduzir estudos que avaliem as metodologias para estimar as características das florestas plantadas, especialmente no que se refere ao conhecimento do estoque de madeira.

Vários fatores que influenciam na produtividade da floresta estão diretamente relacionados às práticas silviculturais aplicadas na implantação do povoamento. A área de plantios clonais de *Eucalyptus* tem se expandido progressivamente em todo o território brasileiro, principalmente devido às vantagens do processo de multiplicação e à capacidade de contornar os problemas de heterogeneidade nos plantios florestais. Além disso, a clonagem tem demonstrado avanços consideráveis nos programas de melhoramento genético, que visam o aumento da produtividade de madeira (Fonseca et al., 2010).

O espaçamento inicial de plantio do ponto de vista silvicultural interfere diretamente não apenas na produção de madeira, bem como na sobrevivência das plantas, no volume de copa e galhos, na qualidade da madeira e nas práticas de colheita e manejo florestal (Balloni; Simões, 1980).

Diante da influência do material genético e como a densidade de plantio tem na produção madeireira, faz-se necessária a quantificação precisa e menos onerosa da produtividade volumétrica, a fim de determinar técnicas eficientes de manejo e otimizar a produção. A cubagem rigorosa é o procedimento de maior precisão para obter o volume do tronco ou lenho de um uma árvore (Batista et al., 2014).

A necessidade de realização de cubagem rigorosa é devido à dificuldade da definição exata de onde inicia e termina na árvore a porção de madeira semelhante ao sólido geométrico, porém, para contornar essa dificuldade foram desenvolvidas diferentes metodologias de cubagem para a quantificação de volume da árvore (Scolforo; Thiersch, 2004).

As metodologias de cubagem, ainda usuais, necessitam da derruba da árvore para realizar a quantificação do volume, porém, em alguns casos não há disponibilidade de árvores a serem cubadas, mas nestes casos específicos tem a

alternativa de aplicar métodos de estimativa de volume de árvores em pé. As novas tecnologias em instrumentos dendrométricos viabilizaram a medição de árvore em pé podendo proporcionar informações da forma das árvores e eliminar o custo da cubagem rigorosa tradicional.

A equação de volume é a forma mais usual para realizar a predição de volume por árvore individual. Comumente utilizados, os modelos volumétricos são gerados por meio de dados de cubagem, e estes podem ser utilizados na estimativa de volume por área.

Os modelos volumétricos nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições. É importante que sejam desenvolvidas equações de volume específicas para tipo ecológico, topografia, solo, e, após testá-los por meio de estatísticas adequadas, verificar a possibilidade de agrupá-los ou não em uma única equação (Finger, 1992).

Nesse âmbito, é importante entender a influência do espaçamento e material genético sobre a produtividade do povoamento e, identificar o método mais preciso e menos oneroso para quantificação da produção. Assim, neste capítulo, objetivou verificar se o espaçamento e o material genético, e sua interação, tem influência marcante sobre o ajuste das equações volumétricas e se a inclusão de medidas da forma do tronco nas equações volumétricas pode neutralizar essa influência.

3.2. Conclusão

A inserção de variáveis nos modelos volumétricos que estão associadas a forma do fuste da árvore é eficiente para estimativa de volume e representam as variações silviculturais do povoamento florestal.

REFERÊNCIAS

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2 ed. Fort Collins, CO: Springer Science & Business Media, 2002. 488p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/FATEC/CEPEF, 1992, 296p.

FONSECA, S.M. da; RESENDE, M.D.V. de; ALFENAS, A.C.; GUIMARÃES, L.M. da S.; ASSIS, T.F. de; GRATTPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa:UFV, 2010. 200p.

MCTAGUE, J.P.; SCOLFORO, H.F.; SCOLFORO, J.R.S. Early volume formulas, taper, implicit volume ratio, and auxiliary information: A new system of volume equations invariant to silvicultural practices, site, and genetic pedigree. **Forest Ecology and Management**, 475, 2020.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004, 284p.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press Company, 1952. 476p.

R CORE TEAM (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>