

Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto

Using forest inventory and uniformity among trees to monitor silvicultural quality in *Eucalyptus* clonal plantationsRodrigo Eiji Hakamada¹, José Luiz Stape², Cristiane Camargo Zani de Lemos³, Adriano Emanuel, Amaral Almeida⁴ e Luis Fernando Silva⁵**Resumo**

O manejo silvicultural é um dos fatores determinantes da produtividade florestal. Falhas em operações silviculturais podem ocasionar perdas significativas ao povoamento. Um sistema de monitoramento que permita identificar a qualidade operacional em larga escala mostra-se essencial para minimizar essas ocorrências. Assim, o objetivo do trabalho foi propor uma metodologia para o monitoramento da qualidade silvicultural utilizando uma rede de inventário florestal e a uniformidade entre árvores. Para isso, foram realizadas duas etapas: i) Determinação do intervalo ótimo de uniformidade (IOU) e ii) Aplicação da metodologia de monitoramento da qualidade silvicultural utilizando o índice de uniformidade que expressa a porcentagem de volume acumulado por 50% das árvores plantadas de menor volume individual (PV50). Na primeira etapa utilizaram-se cinco testes clonais de eucalipto com distintos níveis de produtividade para padronizar o IOU. Na segunda etapa, o conceito foi aplicado em escala comercial em uma rede de parcelas de inventário florestal instalada em 12.000 hectares de plantios de um único clone de *Eucalyptus urophylla* no nordeste do estado de São Paulo, com cerca de 2 anos de idade, e plantados no período de 1995 a 2009. Não se detectou diferença estatística do índice de uniformidade PV50 entre os testes clonais a despeito de suas distintas produtividades, evidenciando que o índice de uniformidade pode ser generalizado, independentemente da capacidade produtiva do sítio. O IOU do PV50 foi de 37 a 50%, ou seja, parcelas amostrais que possuem o PV50 dentro deste intervalo podem ser consideradas satisfatoriamente “uniformes”. Na etapa de aplicação, observou-se uma forte evolução do PV50 ao longo do tempo. Nos plantios realizados em 1995 a média do índice foi de 29% e elevou-se para 42% em 2009, acompanhado pela mudança no manejo silvicultural ao longo dos anos. A metodologia se mostrou adequada para monitorar plantios em escala comercial por meio de índices de uniformidade utilizando a rede de inventário contínuo. **Palavras-chave:** Índices de uniformidade; Recomendações Silviculturais; Controle de Qualidade; Povoamentos Clonais; Qualidade Silvicultural.

Abstract

Silvicultural management is one of the determinants of forest productivity. Failures in silvicultural operations can cause significant losses in productivity to the stand. A monitoring system for identifying the operational quality at a large scale proves to be essential in minimizing the frequency of these failures. Therefore, the objective of the study was to propose a methodology for monitoring silvicultural quality using a forest inventory network. Two steps were performed: i) Determination of the optimal interval of uniformity (IOU) and ii) Apply the silvicultural quality monitoring methodology using a uniformity index which represents the accumulated volume in the smallest 50% of the planted trees (PV50) in an inventory plot. In the first stage we used five clonal tests of *Eucalyptus* with different levels of productivity to standardize the Optimum Range of Uniformity (IOU). In the second stage, the concept was applied on a commercial scale in a network of forest inventory plots installed in 12,000 hectares of plantations of a single clone of *Eucalyptus urophylla* in northeastern state of São Paulo, approximately 2 years old, and planted from 1995 to 2009.

¹Doutorando em Recursos Florestais. USP – Universidade de São Paulo - ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Pesquisador, International Paper, SP340, km171 - 13840-970, Mogi Guacu, SP. E-mail: rodrigo_hakamada@yahoo.com.br.

²PhD. Professor associado. North Carolina State University, 3108, Jordan Hall, 27695-8008, Raleigh, NC. E-mail: jlstape@ncsu.edu.

³Pesquisadora Doutora. International Paper, SP340, km171, CEP 13840-970, Mogi Guacu, SP. E-mail: cristiane.lemos@ipaper.com.

⁴Mestre. Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento. International Paper, SP340, km171 - 13840-970, Mogi Guacu, SP. E-mail: adriano.almeida@ipaper.com.

⁵Mestre. Gerente Geral Florestal. International Paper, SP340, km171 -13840-970, Mogi Guacu, SP. E-mail: lfernando.silva@ipaper.com.

There was no statistical difference in uniformity index PV50 among clonal tests despite their different productivities, showing that the uniformity index can be generalized, independent of the productive capacity of the site. The IOU of PV50 was from 37 to 50%, i.e., sample plots that have the PV50 within this range may be considered satisfactorily uniform. In the application phase, we observed a strong evolution of PV50 over time. In plantations established in 1995 the average rate was 29% and rose to 42% in 2009, accompanied by a change in silvicultural management over the years. The methodology was adequate to monitor forests on a commercial scale through uniformity indices using the network of continuous inventory. **Keywords:** Uniformity Index; Silvicultural recommendations; Quality Control; Clonal populations; Silvicultural quality.

INTRODUÇÃO

A produtividade de florestas plantadas é definida pelo ambiente de produção em que o povoamento está inserido (NAMBIAR, 1999; STAPE et al., 2010), pela seleção e implantação de materiais genéticos superiores (STANTURF et al., 2003; MCKEAND et al., 2006) e pelo seu adequado manejo silvicultural (GONÇALVES et al., 2008).

Como reflexo das práticas silviculturais mais adequadas associadas ao aumento no nível de melhoramento dos materiais genéticos, o Incremento Médio Anual (IMA) do eucalipto no Brasil aumentou de cerca de 10 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ obtido na década de 70 para 41 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em 2012 (ABRAF, 2013). Do ponto de vista silvicultural, a implementação do cultivo mínimo do solo, a adequação dos programas de fertilização e o efetivo controle de plantas daninhas consistiram nas principais mudanças de manejo ocorridas durante o período (GONÇALVES et al., 2008).

Apesar do significativo incremento em crescimento, diversos autores têm demonstrado que, considerando os materiais genéticos atuais, ainda há espaço para ganho de produtividade por meio da adequação no fornecimento de recursos ao crescimento via atividades silviculturais. Ferreira e Stape (2009) estimaram em até 130% (média de 20%) as oportunidades de incremento de produtividade com melhorias na fertilização e ausência de fatores redutores de crescimento (pragas e plantas daninhas) em povoamentos clonais de eucalipto no nordeste do estado de São Paulo. Carrero et al. (2011) encontraram resultados semelhantes em povoamentos de *Eucalyptus* na Venezuela, onde o controle de plantas daninhas em povoamentos adultos resultou em um aumento de 27% no Incremento Corrente Anual (ICA) ao final da rotação.

Assim, um sistema de monitoramento que permita identificar a qualidade silvicultural em escala espacial e temporal mostra-se essencial

para que o atual patamar de produtividade do eucalipto seja mantido ou elevado.

A maneira mais utilizada de se estimar a produtividade madeireira é por meio de redes de inventário florestal (CAMPOS; LEITE, 2006), porém, estas redes geralmente são subutilizadas para fins de monitoramento silvicultural. O inventário de plantios de eucalipto inicia-se entre 12 e 24 meses, idade que permitiria o seu uso como ferramenta de monitoramento silvicultural, uma vez que o povoamento ainda poderia responder em crescimento a tratamentos culturais corretivos.

Em um plantio clonal todas as plantas possuem a mesma capacidade de crescimento. Porém, o fornecimento parcial ou heterogêneo de recursos ao crescimento podem causar a heterogeneidade entre árvores (BINKLEY et al., 2010; RYAN et al., 2010; ASPINWALL et al., 2011), acarretando em perdas de produtividade (SILVA, 2006; STAPE et al., 2010). A uniformidade entre as plantas de uma mesma unidade amostral poderia, portanto, ser um indicador da adequação do fornecimento de recursos ao crescimento (STAPE et al., 2006; BINKLEY et al., 2010).

Sob esse contexto, o presente estudo teve como objetivo propor uma metodologia para o monitoramento da qualidade silvicultural utilizando uma rede de inventário florestal tendo como indicador a uniformidade entre árvores.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas, que cobriram os seguintes aspectos: i) determinação do intervalo ótimo de uniformidade (IOU), onde se investigou qual seria o comportamento da uniformidade de acordo com o potencial produtivo do sítio; e ii) avaliação da uniformidade nas escalas espacial e temporal, onde se utilizou a rede de inventário florestal para capturar a evolução da uniformidade ao longo do tempo e a

sua relação com as práticas silviculturais e a produtividade madeireira.

Caracterização da área em estudo

Para a determinação do chamado Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU), utilizaram-se cinco testes clonais situados no nordeste do estado de São Paulo, em sítios com diferentes potenciais produtivos. Os testes clonais foram selecionados por: i) possuírem plantas geneticamente idênticas, fazendo com que o padrão de uniformidade dentro da parcela seja resultado apenas da qualidade do manejo silvicultural e ii) serem áreas onde houve um acompanhamento detalhado do manejo silvicultural, garantindo que a máxima uniformidade do sítio fosse expressa.

Os ensaios abrangeram diferentes tipos de solo e condições climáticas (Tabela 1). O teor de argila, um dos principais indicadores de produtividade do sítio, variou de 11 a 48%. Embora estivessem sob a mesma classificação climática (Cwa, Köppen), há diferenças nas variáveis climáticas (Tabela 2), como o déficit hídrico, que variou de 35,7 a 110,3 mm.

A segunda etapa foi conduzida em plantios comerciais, onde as parcelas do inventário contínuo representaram em torno de 12.000 hectares de florestas plantadas de eucalipto. As parcelas estavam presentes em 10 fazendas no nordeste do estado de São Paulo em povoamentos com plantios realizados entre 1995 e 2009.

Para que não houvesse confundimento da evolução da qualidade dos materiais genéticos e da qualidade intrínseca do sítio com a qualidade silvicultural, foram selecionadas apenas as parcelas de um único clone de *Eucalyptus urophylla* plantados em Latossolos.

Preparo da área

Os testes clonais, por possuírem uma escala reduzida, foram plantados em 2004 através de um detalhado acompanhamento de cada uma das atividades silviculturais vigentes à época. Já os plantios em larga escala não passaram por esse acompanhamento, permitindo que o efeito do aprimoramento da qualidade silvicultural fosse capturado ao longo dos anos. As principais atividades silviculturais que sofreram modificações durante o período de estudo foram

Tabela 1. Características edáficas na profundidade de 0 a 40 cm (tipo de solo, pH, soma de bases, teor de argila e teor de matéria orgânica) e do sítio (município, latitude, longitude e altitude) dos cinco testes clonais.

Table 1. Edaphic characteristics at 0 to 40 cm (soil type, pH, sum of bases, clay content and organic matter content) and site (municipality, latitude, longitude and altitude) of the five clonal tests.

Sítio	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Número de clones	Tipo de solo	pH (0,1 M CaCl ₂)	Soma de bases (mmol _{c-1})	Argila (%)	Matéria orgânica (%)
1	São Simão	21°38'S	47°39'W	683	5	Neossolo quartzarênico	4,1	11	11	1,3
2	Aguai	22°10'S	47°06'W	660	7	Latossolo vermelho	4,2	10	21	1,0
3	Brotas	22°14'S	48°01'W	782	7	Neossolo quartzarênico	4,3	11	18	1,1
4	Mogi Guaçu	22°20'S	46°58'W	644	11	Latossolo vermelho	4,7	17	27	1,5
5	Mogi Guaçu	22°22'S	46°51'W	638	10	Argissolo vermelho amarelo	4,7	15	48	1,6

Tabela 2. Temperatura média, mínima e máxima anual, precipitação, capacidade de armazenamento de água (CAD) e Déficit Hídrico anual do período de 1961 a 1990 dos cinco testes clonais.

Table 2. Mean, minimum and maximum temperature, precipitation, soil water storage capacity and annual water deficit from 1961 to 1990 of the five clonal tests.

Sítio	Temperatura anual (°C)			Precipitação (mm ano ⁻¹)	CAD (mm)	Déficit Hídrico (mm)
	Média	Mínima	Máxima			
1	22,0	19,3	23,3	1.280	100	110
2	21,5	18,7	22,9	1.346	150	62
3	21,6	18,8	23,0	1.322	100	46
4	21,7	18,9	22,9	1.278	150	45
5	21,7	18,9	22,9	1.278	200	36

Fonte: Sentelhas et al. (2011)

o preparo de solo, espaçamento, fertilização e controle de plantas daninhas.

Até meados de 1996 o preparo de solo era realizado por meio de grade bedding. De 1997 a 1999 foi utilizada a subsolagem com três hastes e profundidade média de 50 cm nos solos argilosos e textura média. A partir de 2000, passou a ser realizada com uma haste central e na profundidade média de 70 cm.

A fertilização sofreu diversas alterações no período estudado. De 1995 a 1997 a mesma fertilização era recomendada para todos os talhões. Em 1998 implementou-se o método de recomendação da fertilização por meio de unidades de manejo operacionais, que consistiam no agrupamento de áreas com características de solo e clima semelhantes. A recomendação sítio-específica, baseada na análise de solo e na exportação dos nutrientes pelo ciclo anterior, entrou em vigor em 2008.

No período avaliado, a dose média de nitrogênio, fósforo e potássio aumentou significativamente, saindo, respectivamente, de 27, 28 e 86 kg ha⁻¹ no início do estudo para 54, 60 e 190 kg ha⁻¹ em 2009.

O espaçamento de plantio foi modificado ao longo do período. De 1995 a 1997 o espaçamento médio era de 3 x 2 metros, representando um estoque médio de 1.600 plantas por hectare. De 1998 a 2004 o espaçamento foi aumentado para 3 x 3 m, compondo um estoque de aproximadamente 1100 plantas por hectare. A partir de 2005 houve um ajuste no número de plantas por hectare, passando de 1100 para 1250, no espaçamento médio de 3 x 2,5 m.

A capina química, que até 1994 era realizada manualmente ou através do uso de grades e roçadeiras, passou por um período de transição e em meados de 1995 passou a ser realizada por meio de uso de herbicidas até os 9 meses de idade. Em 2008 o período de controle foi alongado, ocorrendo até os 12 meses de idade em área total.

Delineamento experimental

Os testes clonais foram plantados em espaçamento que variaram de 6 a 9 m² planta⁻¹ em parcelas de 7 x 7 plantas, totalizando 49 plantas. O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. O número de clones por ensaio variou de 5 a 11.

Na etapa de aplicação foram selecionadas 881 parcelas da rede de inventário florestal, distribuídas ao longo de 14 anos (média de 63 par-

celas por ano). As parcelas possuíam formato circular, com raio de 11,3 m, totalizando 400 m² por parcela.

Inventário e produtividade florestal

Os testes clonais foram mensurados aos 24 meses, obtendo-se o diâmetro à 1,3 m do solo (DAP) e a altura de todas as plantas das parcelas úteis. O cálculo do volume individual foi feito conforme o modelo de Schumacher e Hall (1933) e os parâmetros foram ajustados de acordo com cada material genético.

Por meio da soma do volume individual foi obtido o volume por hectare em cada idade. O Incremento Médio Anual (IMA) foi a taxa de crescimento utilizada para determinar a produtividade.

Na área comercial utilizaram-se os dados do inventário realizado entre 18 e 30 meses, que foi quando ocorreu a primeira mensuração.

Mediu-se a altura das 15 primeiras árvores da parcela e as quatro árvores dominantes. O volume individual e o IMA foram calculados idênticos à primeira etapa. A altura das árvores restantes foi estimada utilizando a equação hipométrica (1) ajustada previamente para a região de estudo (Ferreira, 2007).

$$H = -41,25 + 1,73 \cdot Hd + 9,75 \cdot \ln(DAP) + 154,89 \cdot \left(\frac{1}{Hd}\right) - 0,02 \cdot (Hd^2) \quad (1)$$

Sendo: H = altura individual total estimada (m); Hd = média das alturas dominantes da parcela (m); DAP = diâmetro à 1,3 m de altura do solo (cm); ln = logaritmo neperiano.

A estimativa de índice de sítio foi realizada através do modelo de Chapman e Richards (1959) ajustado para a região de estudo (Ferreira, 2007).

$$IS7 = Hd \{ [1 - \exp(-30,203 \cdot 7)] / [1 - \exp(-0,3539 \cdot I)] \}^{1/(1-0,2083)} \quad (2)$$

Onde:

IS7: índice de sítio na idade base de 7 anos (m); Hd: média das alturas dominantes da parcela (m); I: idade da parcela (anos).

Avaliação da uniformidade

A uniformidade da parcela foi calculada de acordo com o índice PV50 sugerido por Stape et al. (2006), e que consiste na porcentagem de volume acumulado por 50% das árvores com o menor volume individual plantadas na parcela amostral (Figura 1).

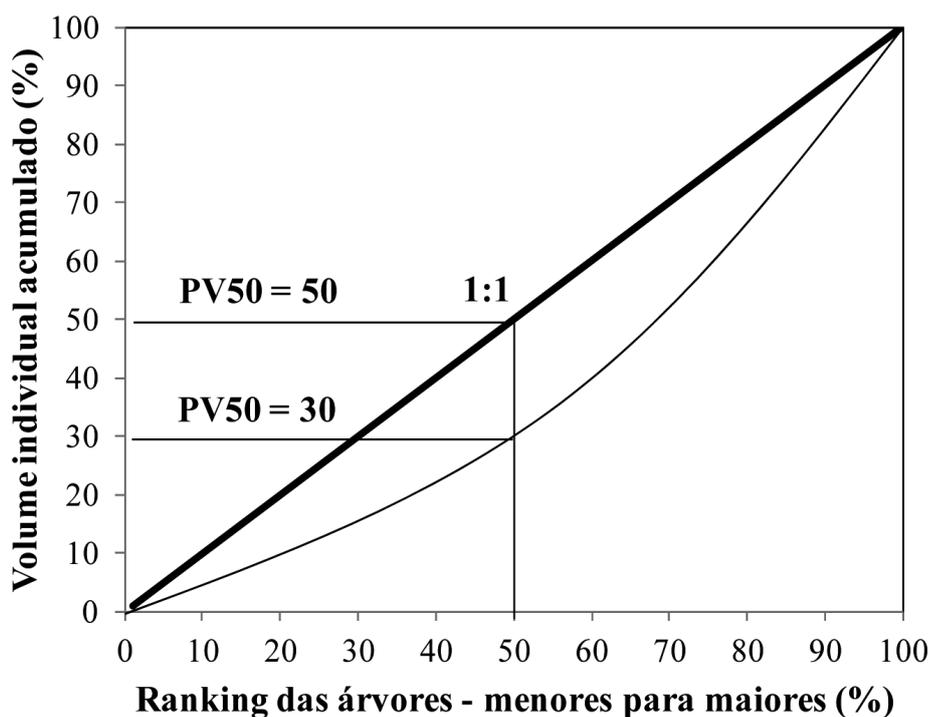


Figura 1. Representação esquemática do PV50. No eixo x são ranqueadas as árvores da menor para a maior e no eixo y são inseridos os valores de volume individual. A linha escura representa a linha da igualdade, onde 50% das árvores seriam responsáveis por 50% do volume da parcela. A linha preta representa um exemplo hipotético, onde 50% das árvores correspondem a apenas 30% do volume da parcela.

Figure 1. Schematic representation of PV50. On the x-axis trees are ranked from smallest to largest and on the y-axis values of individual volumes are entered (or cubic height). The darker line represents the line of equality, where 50% of the trees would be responsible for 50% of the volume of the plot. The black line represents a hypothetical example, where 50% of the trees correspond to only 30% of the volume of the plot.

O ordenamento das árvores da parcela da menor para a maior árvore em volume individual, necessário para o cálculo do PV50, é calculado de acordo com a equação (3).

$$PV50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} V_{ij}}{\sum_{k=1}^n V_{ij}} \quad (3)$$

Sendo: PV50 = Porcentagem acumulada do volume individual das 50% menores árvores plantadas; V = volume individual da parcela i na idade j; n = número de árvores plantadas ordenadas (da menor para a maior).

Determinação do Intervalo Ótimo de Uniformidade

Os testes clonais foram utilizados para a definição do IOU por representarem a máxima uniformidade atingida por plantios de eucalipto para as condições do estudo. O limite superior do IOU é de 50% e o limite inferior é representado pela média do PV50 subtraída de um des-

vio padrão (equação 4), para que o IOU representasse mais de 95% dos materiais genéticos contidos nos testes clonais.

$$50\% > IOU_{ij} > \bar{x}_{ij} - 1 * s_{ij} \quad (4)$$

Onde: IOU = Intervalo Ótimo de Uniformidade da parcela i na idade j; \bar{x}_{ij} = média do PV50 da parcela i na idade j; s_{ij} = desvio padrão da média do PV50 da parcela i na idade j

Análise estatística

Nos testes clonais foram feitas análises de variância seguido do teste de média (Tukey, 5%) para as variáveis PV50, IMA e Índice de sítio. Na aplicação comercial foram utilizadas regressões para obtenção da correlação entre o tempo em anos após o ano-base de análise (1995) com as seguintes medidas i) a uniformidade, representada pelo PV50; ii) o percentual de parcelas dentro do IOU e iii) a produtividade florestal.

As análises estatísticas foram realizadas com o uso do software Statística 8.1 (STAT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos cinco ensaios clonais de eucalipto, a produtividade aos 2 anos variou de 21 a 46 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 2a) e o índice de sítio na idade base de 7 anos de 26 a 33 m (Figura 2b). De acordo com o teste de médias os cinco testes clonais se dividiram em três classes de produtividade, definidos neste estudo como sítios de baixa, média e alta produtividade.

A diferença de produtividade pode ser atribuída principalmente às características físicas do solo (Tabela 1), como o teor de argila. Quando os extremos são comparados, o sítio mais argiloso, com 48% de argila, apresentou produtividade aos 2 anos de 46 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto no sítio com o menor teor de argila (11%) a produtividade aos 2 anos foi de 21 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. O resultado foi semelhante ao observado por Gava (2005), que encontrou em povoamentos de eucalipto plantados na região centro-sul do estado de São Paulo uma relação positiva entre o teor de argila e o potencial produtivo do sítio. Uma das principais características relacionadas ao teor de argila do solo é a capacidade de retenção de água. Stape et al. (2010) em estudo sobre a produtividade potencial do eucalipto no Brasil mostraram que a água é o fator mais limitante da produtividade florestal no Brasil. Além da questão hídrica, também devem ser consideradas as características químicas do solo. Munhoz (2011) relatou uma

relação positiva de crescimento em povoamento de pinus no sul do Brasil com a matéria orgânica e a quantidade de nitrogênio disponível, relação também observada nos testes clonais. No sítio mais produtivo o teor de matéria orgânica foi cerca de 60% superior aos sítios menos produtivos (Tabela 1).

O PV50 médio de volume individual aos 2 anos nos cinco ensaios variou de 39% a 43%, não havendo diferença significativa entre os ensaios (Figura 3). O IOU pôde, portanto, ser estabelecido como um único intervalo para todos os sítios e materiais genéticos, tendo como limites inferior e superior os valores de 37% e 50%, respectivamente. Diversos trabalhos relataram que quando há o fornecimento parcial ou heterogêneo de recursos ao crescimento há o aumento da competição entre os indivíduos, resultando no aumento da heterogeneidade entre árvores (BINKLEY et al., 2010, RYAN et al., 2010; SILVA, 2006; STAPE et al., 2010). O fornecimento adequado de recursos ao crescimento, como foi o caso dos testes clonais, evidenciou que a uniformidade não é dependente do potencial produtivo e ocorre dentro de um intervalo ótimo para povoamentos clonais, podendo ser utilizada como ferramenta para detecção da qualidade silvicultural.

Aspinwall et al. (2011) relataram em um estudo sobre influência do nível de melhoramento genético na uniformidade e produtividade de povoamentos de *Pinus taeda* no sudeste dos Estados Unidos que a uniformidade em povoamentos clonais são dependentes da qualidade silvicultural e que árvores geneticamente idênticas não garante uma uniformidade adequada.

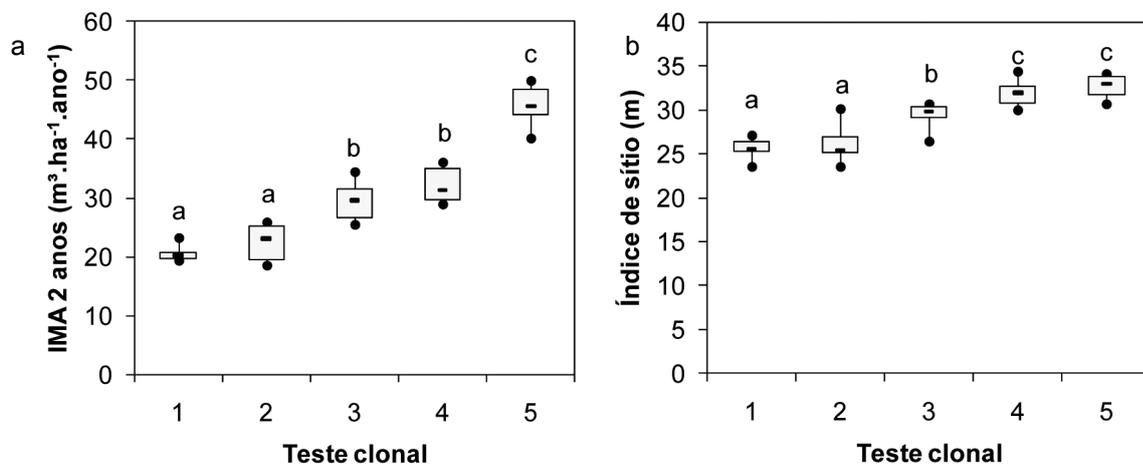


Figura 2. (a) Incremento médio anual aos 2 anos e (b) Índice de sítio (Idade base 7 anos) em cinco testes clonais de eucalipto na região nordeste do estado de São Paulo.

Figure 2. (a) Mean annual increment at two years and (b) site index (base age 7 years) in five clonal eucalypt tests in northeastern São Paulo state.

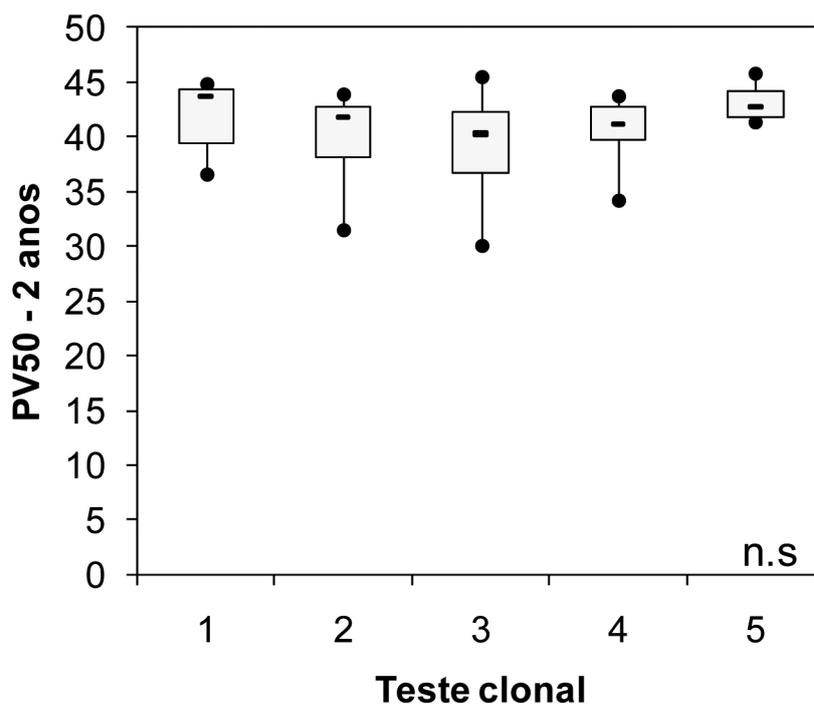


Figura 3. PV50 aos 2 anos dos cinco testes clonais de eucalipto. A faixa cinza delimita o intervalo ótimo de uniformidade (IOU) correspondente à média do PV50 menos 1 desvio padrão dos cinco testes clonais.

Figure 3. PV50 at age two years of five eucalypt clonal tests. The grey strip limits the Optimum Range of Uniformity according to the PV50 mean minus one standard deviation in the five clonal tests.

Uniformidade em escala operacional e temporal

O PV50 médio aos 2 anos de idade foi de 29% no primeiro ano da análise (1995) e atingiu o valor de 42% em 2009 (Figura 4a). O percentual de parcelas dentro do IOU, ou seja, com o PV50 acima de 37%, também aumentou significativamente, passando de 24% no início do acompanhamento para 91% no último ano avaliado (Figura 4b), mostrando que o aumento médio da uniformidade refletiu na escala da população.

A evolução do percentual de parcelas dentro do IOU apresentou três fases distintas (Figura 4b). Na primeira fase, há um crescimento acentuado desse percentual, que passou de 24% para 78% de 1995 a 1998. Uma segunda fase é caracterizada pela manutenção deste patamar, com uma média de 76% de 2000 a 2004. A partir de 2005, deu-se início à terceira fase, onde o patamar foi elevado para uma média de 84% das parcelas dentro do IOU. Mesmo havendo uma interação entre as mudanças silviculturais ao longo dos anos, o monitoramento em larga escala permitiu a identificação de atividades silviculturais na evolução da uniformidade. Durante os 14 anos de acompanhamento dos povoamentos comerciais o IMA aumentou em $10,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 5a) e a uniformidade obteve um aumento de 12,7% no PV50 (Figura

5b). Em termos percentuais, houve um aumento de 28% em produtividade e 44% em uniformidade (Figura 5b).

O manejo silvicultural possui a função de aumentar a disponibilidade de recursos de crescimento, como água, luz e nutrientes (NYLAND, 2007). Estudos realizados com plantios florestais que exploraram melhorias em práticas de preparo de solo (NILSSON; ALLEN, 2003; ORLANDER et al., 2002), fertilização (NILSSON et al., 2002), ajuste de espaçamento (SILVA, 2006) e controle de plantas daninhas (LITTLE et al., 2003), evidenciaram o aumento da uniformidade quando houve um aumento de disponibilidade de recursos, resultado da menor competição entre os indivíduos (BINKLEY et al., 2002).

A relação do aumento da uniformidade do povoamento, para um mesmo clone, numa ampla área ao longo do tempo de maneira significativa mostra fortes indícios da melhoria da qualidade silvicultural, tanto em termos de recomendações mais ajustadas de forma a considerar as diferenças sítio-específicas, como na qualidade da execução das operações.

A evolução da produtividade obtida se assemelha ao levantamento realizado pela ABRAF (2013), que relata a evolução da produtividade média em povoamento de eucalipto no Brasil, partindo de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na década de 90

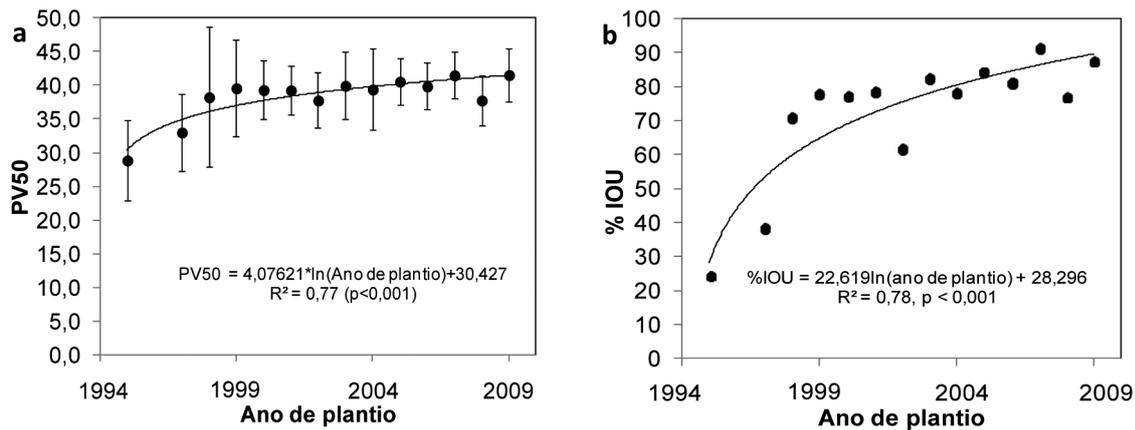


Figura 4. (a) Uniformidade dos plantios realizados entre 1995 a 2009 mensurada por meio do PV50 aos 2 anos. A barra representa o desvio padrão. (b) Percentual de parcelas dentro do Intervalo Ótimo de Uniformidade (%IOU).

Figure 4. (a) Uniformity of stands planted between 1995 and 2009 measured through PV50 at age two years. Bars represent standard deviation. (b) Percentage of plots within Optimum Range of Uniformity (%ORU).

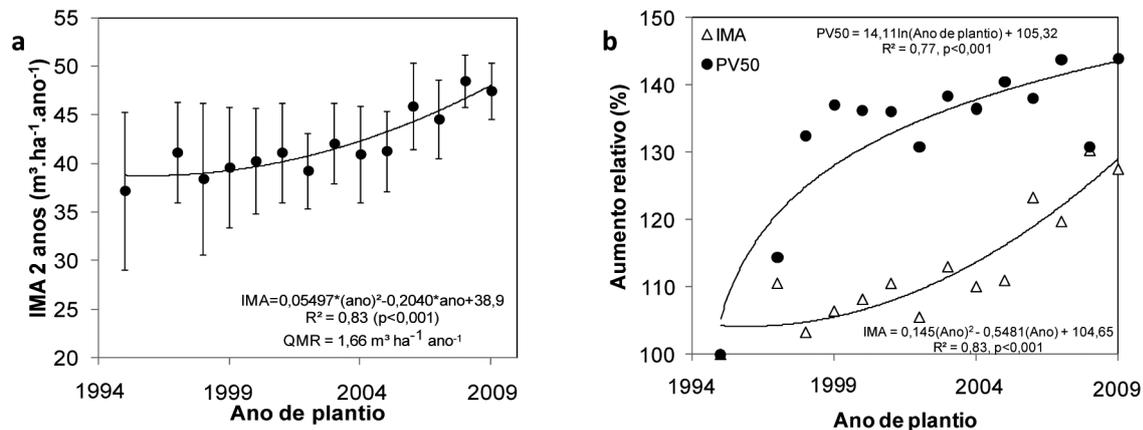


Figura 5. (a) Evolução do Incremento Médio Anual – IMA ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) aos 2 anos de um único clone plantado em latossolos de acordo com o ano de plantio no período entre 1995 e 2009. O ano de 1995 representa o ano 1 na equação. (b) Aumento relativo da produtividade (IMA) e da uniformidade (PV50) em relação ao ano 1.

Figure 5. (a) Evolution of Mean Annual Increment – MAI ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) at age two years of a single clone planted in Oxisol according to the planted year between 1995 and 2009. The year 1995 represents year 1 in the equation. (b) Relative increase in productivity (MAI) and of uniformity (PV50) compared to year 1.

e atingindo $45 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ nos povoamentos atuais. Essa constatação nos permite inferir que uma fração considerável do aumento da produtividade do eucalipto no Brasil ocorrido nesse período tenha uma contribuição significativa do manejo silvicultural.

CONCLUSÕES

A porcentagem de volume acumulado pelas 50% menores árvores plantadas na parcela amostral (PV50) mostrou-se como um índice capaz de capturar a uniformidade e ser utilizado

de maneira imediata na interpretação da qualidade silvicultural da parcela

O Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU) do PV50 se mostrou não influenciado pela capacidade produtiva do sítio, sendo possível recomendar que para os plantios clonais o PV50 acima de 37% representam povoamentos de adequada uniformidade;

O uso da rede de inventário florestal, utilizando o PV50, pode servir como ferramenta para capturar a evolução da qualidade de plantios comerciais sobre uma ampla região, possibilitando sua indicação para o monitoramento da qualidade silvicultural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2012. Brasília, 2013. 148 p.
- ASPINWALL, M. J.; KING, J. S.; MCKEAND, S. E.; BULLOCK, B. P. Genetic effects on stand-level uniformity and above- and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 4, p. 609-619, 2011.
- BINKLEY, D., STAPE, J. L., BAUERLE, W. L., RYAN, M. G. Explaining growth of trees and stands: changes in efficiency of light use through a rotation of *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p.1704-1713, 2010.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BARNARD, H.; FOWNES, J. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, n. 1, p. 58-67, 2002.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 470 p.
- CARRERO, O.; STAPE, J. L.; ALLEN, L.; ARREVILLAGA, M.; LADEIRA, M. Monitoring silvicultural and genetic improvements of *Eucalyptus* plantation using inventory data. In: IUFRO CONFERENCE ON IMPROVEMENT AND CULTURE OF *EUCALYPTUS*, 1., 2011, Porto Seguro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ, 2011. p.167-170.
- FERREIRA, J. M. A. **Ganhos de produtividade de plantações clonais de *Eucalyptus urophylla* e suas correlações com variáveis edafoclimáticas e silviculturais**. 2007. 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- FERREIRA, J. M. A.; STAPE, J. L. Productivity gains by fertilization in *Eucalyptus urophylla* clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Menlo Park, v. 71, n. 4, p. 253-258, 2009.
- GAVA, J. L. **Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* para produção de celulose**. 2005. 55 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J-P. ; BOUILLET, J-P. ; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Menlo Park, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.
- LITTLE, K. M.; VAN STADEN, J.; CLARKE, G. P. Y. *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* variability and intra-genotypic competition as a function of different vegetation management treatments. **New Forests**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 227-242, 2003.
- MCKEAND, S. E.; JOKELAE, J.; HUBER, D. A.; BYRAM, T. D.; ALLEN, H. L.; MULLEN T. J. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 227, n.1-2, p. 178-184, 2006.
- MUNHOZ, J. S. B. **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil por meio de análise de tronco**. 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- NAMBIAR E. K. S. Productivity and sustainability of plantation forests. **Bosque**, Valdivia, v. 20, n. 1, p. 9-21, 1999.
- NILSSON, U.; ALBAUGH, T.; ALLEN, H. L. Development of size hierarchies prior to the onset of density-dependent mortality in irrigated and fertilized loblolly pine stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 32, n. 6, p. 989-996, 2002.
- NILSSON, U.; ALLEN, H. L. Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1-3, p. 367-377, 2003.

- NYLAND, R. D. **Silviculture: concepts and applications**. 2.ed. Long Grove: Waveland press, 2007. 682 p.
- ORLANDER, G.; NORDBORG, G.; GEMMEL, P. Effects of complete deep-soil cultivation on initial forest stand development. **Studia Forestalia Suecica**, Upsala, n. 213, p. 1-20, 2002.
- RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: how resource availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balances Hídricos Climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: Núcleo de Monitoramento Agroclimático, 2003. Disponível em: . Acesso em: 12 dez. 2011.
- SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e do arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região Nordeste do Estado de São Paulo**. 2006. 51 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- STANTURF, J. A.; KELLISON, R. C.; BROERMAN, F. S.; JONES, S. B. Productivity of southern pine plantations: Where are we and how did we get here? **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 101, n.3, p. 26-31, 2003.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1686-1694, 2010.
- STAPE, J. L.; ROCHA, J. C.; DONATTI, Z. **Indicadores de qualidade silvicultural na Aracruz: 2000 a 2005**. 1.ed. Piracicaba: IPEF, 2006. 25p.
- STATSOFT. **STATISTICA (sistema de análise de dados)**: versão 8.1, 2011. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso: 12 mar. 2012.

Recebido em 07/10/2013
Aceito para publicação em 15/09/2014