

ARTIGO ORIGINAL

Parâmetros genéticos para caracteres silviculturais em cedro australiano

Genetic parameters for silvicultural traits in cedro australiano

Heloisa Guimarães Santos¹ , Lucas Rodrigues Rosado¹ , Sebastião Carlos da Silva Rosado¹ ,
Lucas Amaral de Melo¹ , Flávia Maria Avelar Gonçalves¹ 

¹Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, Brasil

Como citar: Santos, H. G., Rosado, L. R., Rosado, S. C. S., Melo, L. A., & Gonçalves, F. M. A. (2021). Parâmetros genéticos para caracteres silviculturais em cedro australiano. *Scientia Forestalis*, 49(130), e3467. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.05>

Resumo

Os objetivos foram estimar os parâmetros genéticos e correlações para caracteres silviculturais, como diâmetro e altura em teste de progênies de cedro australiano em várias idades; visando a obtenção de genótipos superiores para produtividade de madeira em programas de melhoramento. Utilizou-se 66 progênies de 12 procedências oriundas da Austrália. O experimento foi implantado no delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições e 16 plantas por parcela. As progênies foram avaliadas quanto ao diâmetro à altura do peito e altura em quatro idades (31, 54, 74 e 99 meses). Os parâmetros genéticos e a predição dos valores genotípicos foram estimados pelo método REML/BLUP por meio do software Selegen. Foram também estimados, as correlações fenotípicas e genotípicas para todas as idades e entre os caracteres. O teste da razão de verossimilhança mostrou diferenças altamente significativas a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) para diâmetro à altura do peito e altura nas diferentes idades. As estimativas dos componentes de variância genética aditiva, variância fenotípica individual e a variância residual tiveram uma tendência a apresentarem valores mais elevados em idades mais avançadas para ambos os caracteres. O coeficiente de determinação devido ao ambiente comum da parcela variou de 8,8 a 12% para altura e 1,8 a 6% para diâmetro à altura do peito. A amplitude de variação da herdabilidade para altura foi de menor magnitude e mais estável (0,38 a 0,30) no decorrer do tempo do que para o caráter diâmetro à altura do peito (0,36 a 0,15). O coeficiente de variação genética individual que quantifica a magnitude da variação genética existente entre indivíduos apresentou estimativas maiores do que da variação genotípica entre progênies para ambos os caracteres analisados, assim a seleção dentro de progênies é preferencial à seleção entre progênies. As correlações foram altas e positivas para todos os caracteres e em diferentes idades, mostrando eficiência de seleção a partir dos 31 meses e indicando que a seleção de um caráter deve levar a consistentes respostas indiretas no outro caráter. Constatou-se também que as progênies avaliadas apresentaram variabilidade, porém a seleção deve ser realizada com cautela devido aos valores não tão expressivos de herdabilidade.

Palavras-chave: *Toona ciliata*; Correlações; Variabilidade.

Abstract

The objectives were to estimate genetic parameters and correlations for silvicultural traits such as diameter and height in Australian red cedar progeny test at different ages; aiming to obtain superior genotypes for wood yield in breeding programs. Sixty six progenies from 12 origins from Australia were used. The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications and 16 plants per plot. The progenies were evaluated for diameter at breast height and height at four ages (31, 54, 74 and 99 months). Genetic parameters and prediction of genotypic values were estimated by the REML / BLUP method using Selegen software. Phenotypic and genotypic correlations for all ages and among characters

Fonte de financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior _Brasil (CAPES) _ Código de Financiamento 001; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Empresa Bela Vista Florestal S.A.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: avelar@ufla.br

Recebido: 9 setembro 2019.

Aceito: 29 maio 2020.

Editor: Paulo Henrique Müller Silva.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

were also estimated. The likelihood ratio test showed highly significant differences at 1% probability ($p < 0.01$) for diameter at breast height and height at different ages. Estimates of the components of additive genetic variance, individual phenotypic variance and residual variance tended to have higher values at older ages for both traits. The coefficient of determination due to the common environment of the plot ranged from 8.8 to 12% for height and 1.8 to 6% for diameter at breast height. The heritability range for height was smaller and more stable (0.38 to 0.30) over time than diameter at breast height character (0.36 to 0.15). The coefficients of individual genetic variation that quantifies the magnitude of the genetic variation among individuals showed higher estimates than coefficient of genotypic variation between families for both traits analyzed, thus selection within progenies is preferable to that between progenies. Correlations were high and positive for all characters and at different ages, showing selection efficiency from 31 months and indicating that the selection of one character should lead to consistent indirect response in the other. It was also found that the progenies evaluated showed variability, but because of not very expressive values of heritability, progeny selection should be made with caution.

Keywords: *Toona ciliata*; Correlations; Variability.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos florestais madeireiros e não-madeireiros aliada à preservação e à conservação ambiental tem despertado interesse por espécies de rápido crescimento, com alto potencial produtivo e elevado retorno econômico. Este fator torna-se mais relevante, devido à redução da oferta por madeiras nativas, decorrentes da elevada exaustão das florestas e as restrições legais do uso.

Um problema que às vezes não é levado em consideração pelos exploradores das florestas nativas é que existe uma quantidade muito variada de espécies com diâmetros e comprimentos diferentes, o que faz com que seja indispensáveis ajustes constantes nas máquinas utilizadas no processamento da madeira, a fim de que se tenha uma maior eficiência produtiva. Uma alternativa eficaz, é o plantio em larga escala de espécies florestais melhoradas, adequadas à produção de lâminas de madeira ou móveis que atendam às necessidades da indústria madeireira.

Diante do exposto, é necessário incessante estudo buscando novas espécies potenciais que se enquadrem nas demandas do mercado consumidor, em especial destinados à madeira serrada, uma vez que 92,5% da área plantada no país é composta apenas pelos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, destinados em grande parte para produção de celulose e energia (Indústria Brasileira de Árvores, 2017). Apenas uma ínfima parte é destinada à serraria e muitas vezes ela não possui as condições ideais para este uso, devido a densidade, padrão estético e forças de tração que atuam no crescimento, gerando rachaduras na madeira.

Neste cenário, a escolha da espécie adequada é de importância fundamental no planejamento da produção da matéria-prima. Assim, uma espécie que tem se mostrado promissora é a *Toona ciliata* M. Roem var. *australis*, popularmente conhecida como cedro australiano, pertence a uma das famílias tropicais mais valiosas do mundo, a Meliaceae (Bygrave & Bygrave, 2005). Essa espécie é amplamente conhecida pelo seu belo tom avermelhado e pela excepcional qualidade de sua madeira, com destaque pela granulação fina, cor e alta durabilidade, sendo ideal para ajudar a suprir a demanda por madeira serrada. É originária da Índia, sudeste da Ásia e Austrália e possui boa adaptação às condições de solo e clima em diferentes regiões, podendo ser considerada uma espécie pantropical (Pinheiro et al., 2003; Murakami, 2008). Entretanto, apesar do grande potencial, e de ser facilmente clonada, há poucos estudos sobre a espécie no país, sobretudo buscando obter indivíduos superiores, com alta produtividade de madeira. Ressalta-se também que qualquer programa de melhoramento, em especial, para espécies perenes, demandam tempo e dispêndio de recursos. Por essa razão, ele deve ser o mais eficiente possível. Parâmetros genéticos como herdabilidade, correlação genética e ganhos genéticos são de suma importância para o melhoramento uma vez que visam diminuir o tempo para completar um ciclo de seleção e possibilitam a maximização do ganho genético.

Avanços na estimação dos componentes de variância e a predição dos valores genotípicos têm proporcionado melhores estimativas de herdabilidade e dos ganhos genéticos, reduzindo custos e

permitindo a seleção precoce (White et al., 2014; Resende, 2016). Este fato é importante, uma vez que o tempo demasiadamente longo demandado para completar um ciclo seletivo em perenes e a impossibilidade de se pensar, em curto prazo, em muitos ciclos recorrentes de seleção, destacam a importância de uma seleção eficiente (Kageyama & Vencovsky, 1983). Assim, testes de progênies representam uma das mais importantes ferramentas do melhoramento florestal. Eles permitem a determinação do valor reprodutivo dos indivíduos selecionados e estimação dos parâmetros genéticos, visando a seleção de indivíduos superiores (Kageyama & Vencovsky, 1983; Resende, 2002). Também, por meio destes testes é possível obter maior eficiência da seleção, principalmente quando se trata de caracteres de baixa herdabilidade (Xavier et al., 2009).

Um outro importante aspecto a ser elucidado é a existência de variabilidade entre procedências, famílias e indivíduos que permite ao melhorista selecionar genótipos adequados às alterações desejadas nas características sob seleção, de modo a suprir as necessidades industriais.

O presente trabalho teve como objetivo inferir se existe variabilidade entre as progênies, estimar parâmetros genéticos e correlação para caracteres de crescimento (diâmetro à altura do peito e altura) em teste de progênies de cedro australiano em várias idades visando a obtenção de genótipos superiores para produtividade de madeira em programas de melhoramento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi estabelecido no ano de 2008, em uma área pertencente à Empresa Bela Vista Florestal situada no município de Campo Belo, região sudoeste de Minas Gerais a 20°53'58" S de longitude e 45°17'33" W de latitude, apresentando clima temperado úmido com inverno seco e verão chuvoso, sendo a temperatura do mês mais quente maior que 22°C, precipitação média anual de 1250 mm e altitude média de 945 m.

O experimento foi constituído por 66 progênies de meios-irmãos oriundas de 12 procedências (Tabela 1) obtidas por meio de sementes, as quais foram coletadas em árvores matrizes de polinização livre. Estas matrizes foram selecionadas nos estados australianos de Queensland e New South Wales, entre 40 e 1000 m de altitude e precipitação de 790 a 2091 mm. O teste de procedências/progênies foi implantado no delineamento de blocos completos casualizados (DBCC), com três repetições e 16 plantas por parcela (4 linhas x 4 plantas) e espaçamento de plantio 3x2m.

Tabela 1 – Dados geoclimáticos das procedências de *Toona ciliata*.

Proc	Região/Estado*	Latitude/ Longitude	Altitude (m)	Nº de prog
1	Allyn River / NSW	32,11S/151,30E	280	7
2	Atherton / Q	17,19S/145,30E	700	9
3	Baldy Mountain /Q	17,18S/145,26E	1100	4
4	Coledale Wollongong /NSW	34,17S/150,56E	180	4
5	Dairy Flat /NSW	28,26S/152,47E	180	6
6	Pascoe River / Q	12,33S/143,04E	40	6
7	Kangaroo Valley/NSW	34,38S/150,36E	400	8
8	Kenilworth S.F. / Q	26,38S/152,38E	440	5
9	Marshall MountWoll/G /NSW	34,31S/150,44E	130	3
10	Sipton Flat / Q	15,50S/145,14E	300	5
11	Iron Range /Q	12,44S/143,17E	40	6
12	Ubobo – Q	24,28S/151,13E	250	3

*NSW - New South Wales; Q – Queensland

A correção do solo foi realizada utilizando 400 kg/ha de adubo com fosfato reativo e na adubação de plantio foram utilizados 250 gramas de superfosfato simples (00-18-00) por planta,

seguidas pela adubação de cobertura com 260 gramas de nitrogênio e potássio (20-00-20) divididos em três operações. Na adubação ocorrida aos 90 dias, adicionou 30g de FTE Br-12 (5,7% Enxofre; 0,0071 Cálcio; 1,8% Boro; 0,85% Cobre; 2% Manganês; 9% Zinco; 0,1% Molibdênio). Os tratos culturais foram os usuais em plantios comerciais, como a capina química entre as linhas e a capina mecânica dentro da linha. Sempre que necessário foi realizado o coroamento manual das plantas.

As avaliações do experimento foram realizadas aos 31 meses (2010), 54 meses (2012), 74 meses (2014) e 99 meses (2016) para as variáveis: diâmetro à altura do peito (DAP) que é medido a 1,30m do solo por meio de suta e altura (ALT) por meio de um clinômetro calibrado.

Para a realização das análises estatísticas, foi utilizado o procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança residual/melhor preditor linear não viesado). Deste modo, foi possível obter o BLUP individual a partir dos componentes de variância (Resende, 2002). As análises em nível de indivíduo foram realizadas para cada idade para os caracteres DAP e ALT, utilizando o modelo 5 do programa estatístico Selegen- REML/BLUP (Resende, 2007). O modelo utilizado foi $y = Xr + Za + Wp + Ts + e$, em que y é o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) e somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); p é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios); s é o vetor dos efeitos de população ou procedência (aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras X, Z, W, T, representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Foram realizadas as análises de deviance para cada caráter e idade, sendo utilizado o teste da razão da verossimilhança (*Likelihood Ratio Test - LRT*) para verificar a significância dos efeitos aleatórios dos modelos (Resende, 2007).

As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres em diferentes idades foram obtidas por meio do programa Selegen-REML/BLUP (Resende, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das análises de deviance (ANADEV) observa-se a presença de efeitos significativos de progênies e procedências, pelo teste da razão da verossimilhança (LRT) a 1% de probabilidade, para diâmetro à altura do peito (DAP) e para altura (ALT) nas diferentes idades (Tabelas 2 e 3). Deste modo, pode-se inferir que existe variabilidade entre e dentro das populações e que existe possibilidade de obter ganhos com a seleção para ambos os caracteres entre e dentro das populações.

Tabela 2 - Análise de deviance (ANADEV) para o diâmetro à altura do peito em diferentes idades em progênies de meios-irmãos de cedro australiano em Campo Belo-MG.

Efeito	31 meses		54 meses		74 meses		99 meses	
	DEV	LRT ¹						
Mod	7033,2		9886,7		10064,4		10807,9	
Proc⁺	7073,2	40,0*	9927,6	40,9*	10110,4	45,9*	10860,6	52,7*
Prog⁺	7066,9	33,7*	9919,8	33,1*	10084,2	19,7*	10823,1	15,2*

¹Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; *significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado; ⁺Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos.

Tabela 3 - Análise de deviance (ANADEV) para a altura em diferentes idades em progênies de meios-irmãos de cedro australiano em Campo Belo-MG.

Efeito	31 meses		54 meses		74 meses		99 meses	
	DEV	LRT ¹						
Mod	3799,2		6601,1		6683,6		7469,1	
Proc⁺	3837,9	38,7*	6623,7	22,5*	6704,9	21,3*	7487,6	18,4*
Prog⁺	3827,2	28,0*	6618,3	17,2*	6699,2	15,6*	7485,4	16,2*

¹Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; * significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado; ⁺Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos.

As estimativas dos componentes de variância genética aditiva (V_A), variância fenotípica individual (V_F) e variância residual (V_E) para o caráter altura apresentaram valores mais elevados em idades mais avançadas (Tabela 4). O que pode-se inferir que houve liberação mais expressiva da variabilidade genética ao longo dos anos. Mas, quando se observa o coeficiente de variação genotípica entre progênies (CV_{gp}) e o coeficiente da variação genética individual (CV_{gi}), verifica-se que tal hipótese não se confirma, uma vez que essas estimativas apresentaram pouca variação (Tabela 4). Essa tendência também foi observada em procedências de *Dipterix alata* (Santos et al., 2014). Já para DAP, V_A apresentou maior incremento de 2010 (31 meses) para 2012 (54 meses) e nos anos seguintes houve pouca variação (Tabela 5). Entretanto para V_E e V_F os valores aumentaram consistentemente no decorrer do tempo. (Tabelas 4 e 5).

O coeficiente de determinação devido ao ambiente comum da parcela (c_{parc}^2) quantifica a variação dentro dos blocos. A variação de c_{parc}^2 foi 8,8 a 12%, para altura (Tabela 4) e de 1,8 a 6,0% para DAP (Tabela 5), mostrando que, em média, a variação ambiental entre as parcelas foi de baixa magnitude, pois segundo Resende (2002) o ideal é que toda a variação ambiental entre parcelas não seja superior a 10%. Caso o c_{parc}^2 seja superior a 10%, recomenda-se diminuir o número de plantas por parcela e aumentar o número dos blocos, modificando a estrutura experimental (Kubota et al., 2015). Assim, pode-se inferir que o delineamento experimental, neste caso, foi favorável, indicando bom controle ambiental.

Os coeficientes de determinação dos efeitos de procedência (c_{proc}^2) foram menores em idades mais avançadas para os dois caracteres avaliados, variando de 0,23 a 0,18 e 0,25 a 0,11 para DAP e altura, respectivamente. Já os valores da variação genética entre procedências variaram de 1,68 a 7,11 e 0,59 a 1,06. Esses resultados evidenciam que existente variabilidade entre procedências, e portanto, deve-se realizar seleção entre procedências afim de obter maiores ganhos genéticos.

As estimativas de herdabilidade individual, no sentido restrito (h_a^2), ou seja, dos efeitos aditivos, foram de baixa à média magnitude para todas as características avaliadas. A amplitude de variação da herdabilidade para altura foi de menor magnitude e mais estável (0,38 a 0,30) no decorrer do tempo do que para o caráter DAP (0,36 a 0,15) (Tabelas 4 e 5). Diante desses resultados depreende-se que para o cedro australiano, o DAP foi mais afetado pela idade do que o caráter altura. Essa redução nas estimativas, provavelmente, é decorrente da competição entre plantas que se expressa com o aumento da idade, acentuando, deste modo, os efeitos ambientais, principalmente para o caráter DAP.

Resultados apresentados por Rocha et al. (2006) em progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis* aos 58 meses de idade, corroboram com os resultados do presente trabalho, no qual eles encontraram que a maior parte da variação fenotípica é influenciada por fatores ambientais. Vários autores ressaltam que apesar da herdabilidade ser de baixa magnitude, ganhos genéticos podem ser obtidos caso se adote uma alta intensidade de seleção, porém isto pode comprometer o tamanho efetivo populacional e assim afetar a diversidade genética do teste de progênies (Pereira & Vencovsky, 1988; Oda et al., 1989; Borém & Miranda, 2013). Diante do exposto, a intensidade de seleção deve ser mediana, de modo a obter ganhos sem afetar a diversidade genética do teste de progênies. De maneira geral, acredita-se que as características que se desenvolvem por um longo período de tempo estão mais sujeitas ao efeito do ambiente e, deste modo, apresentariam menor herdabilidade do que aquelas sujeitas a menor período (Borém & Miranda, 2013), como foi o caso do DAP e ALT em cedro australiano no presente trabalho. É importante salientar também que caracteres mais complexos geralmente apresentam menores herdabilidades (Cruz et al., 2012).

As estimativas de coeficiente de variação genotípico (CV_g) são importantes, pois quanto maior o seu valor, maior é a heterogeneidade dos genótipos para as características estudadas e maior é a possibilidade de se obter indivíduos superiores. O CV_{gi} % que quantifica a magnitude da

variação genética existente entre indivíduos apresentou estimativas maiores do que do CV_{gp} para ambos os caracteres analisados, sendo o valor mínimo de 17,35% para altura (Tabela 4) e 17,11% para DAP (Tabela 5). Essas estimativas estão coerentes com as obtidas por Miranda et al. (2015), em testes de progênies de *Eucalyptus grandis* e indicam que a seleção entre e dentro das famílias promova maiores ganhos do que somente a seleção entre famílias.

O coeficiente de variação residual ($CV_e\%$) apresentou pouca variação para ambos os caracteres, variando de 11,04 a 13,29% para altura (Tabela 4) e de 11,33 a 13,00% para DAP (Tabela 5). Valores altos decorrentes das respostas diferenciadas dos genótipos aos estresses de temperaturas e seca, incidência de pragas e doenças, longo ciclo das culturas e devido a erros nas avaliações de campo podem ocasionar maiores magnitudes de $CV_e\%$. Para experimentos onde ocorre competição entre plantas, Pimentel-Gomes & Garcia (2002) recomendam que este coeficiente fique na ordem de 10 a 20%, sendo considerado baixo. Assim, diante das estimativas obtidas, pode-se confirmar um satisfatório controle ambiental, de modo a diminuir o erro e gerar resultados mais precisos neste caso.

Os valores do coeficiente de variação relativa (CV_r) foram superiores a 1,0 para ambos caracteres e idades (Tabela 4 e 5), isto pode ser evidenciado uma vez que os coeficientes de variação genotípico do indivíduo (CV_{gi}) foram sempre maiores que o coeficiente de variação experimental (CV_e). Valores superiores ou iguais a 1,0 indicam que a variação genética supera a ambiental, fato desejável no processo de seleção (Vencovsky, 1987; Massaro et al., 2010). A magnitude desse parâmetro juntamente com o número de repetições, segundo Resende & Duarte (2007), pode ser utilizada para inferir sobre a acurácia. Os autores afirmam que elevada acurácia e precisão podem ser conseguidas com CV_r inferior a 1,0, desde que o número de repetições seja superior a cinco.

Tabela 4 – Estimativa dos coeficientes de variância genética aditiva (V_A), variância residual (V_E), variância fenotípica individual (V_F), variância genética entre procedências (V_{proc}), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas (c_{parcel}^2), coeficiente de determinação dos efeitos de procedência (c_{proc}^2), herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2), coeficiente de variação genética aditiva individual ($CV_{gi}\%$), coeficiente de variação genotípica entre progênies ($CV_{gp}\%$), coeficiente de variação residual (CV_e), coeficiente de variação residual (CV_r), média geral (m) para o caráter altura aos 31, 54, 74 e 99 meses de idade em progênies de cedro australiano.

Parâmetro	31 meses	54 meses	74 meses	99 meses
V_A	0,8827	1,9410	2,4353	3,0251
V_E	0,6658	2,2978	3,4876	4,9482
V_F	2,3432	5,7494	7,7735	10,0096
V_{proc}	0,5873	0,8116	0,9907	1,0561
c_{parcel}^2	0,0885	0,1216	0,1106	0,0979
c_{proc}^2	0,2506	0,1411	0,1274	0,1055
h_a^2	0,3766 ± 0,0669	0,3375 ± 0,0633	0,3132 ± 0,0647	0,3022 ± 0,0633
$CV_{gi}\%$	19,2487	19,1567	17,3483	17,6107
$CV_{gp}\%$	9,6244	9,5783	8,6742	8,8054
$CV_e\%$	11,0405	13,2861	12,1375	12,1136
CV_r	1,7435	1,4419	1,4293	1,4538
Média	4,8809	7,2726	8,9954	9,8763

Tabela 5 – Estimativa dos coeficientes de variância genética aditiva (V_A), variância residual (V_E), variância fenotípica individual (V_F), variância genética entre procedências (V_{proc}), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ($c^2_{parcela}$), coeficiente de determinação dos efeitos de procedência (c^2_{proc}), herdabilidade individual no sentido restrito (h^2_a), coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi} %), coeficiente de variação genotípica entre progênies (CV_{gp} %), coeficiente de variação residual (CV_e), coeficiente de variação residual (CV_r), média geral (m) para o diâmetro à altura do peito aos 31, 54, 74 e 99 meses de idade em progênies de cedro australiano.

Parâmetro	31 meses	54 meses	74 meses	99 meses
V_A	2,6070	6,5928	6,5843	5,9890
V_E	2,5380	8,1325	17,9852	25,9106
V_F	7,2638	20,2372	31,6380	39,7316
V_{proc}	1,6828	4,5074	6,0906	7,1077
$c^2_{parcela}$	0,0600	0,0496	0,0309	0,0182
c^2_{proc}	0,2317	0,2227	0,1925	0,1789
h^2_a	0,3588 ± 0,0653	0,3257 ± 0,0622	0,2081 ± 0,0528	0,1507 ± 0,0447
CV_{gi} %	24,2978	24,7283	19,7109	17,1126
CV_{gp} %	12,1489	12,3642	9,8554	8,5563
CV_e %	12,7416	12,9988	11,9263	11,3282
CV_r	1,9070	1,9024	1,6527	1,5106
Média	6,6451	10,3835	13,0182	14,3008

A amplitude de variação das correlações fenotípicas (r_F) entre as idades de avaliação foi bastante semelhante para ALT (0,3485) e DAP (0,3443). Já as correlações genotípicas (r_G) mostraram a mesma tendência, porém com amplitudes menores 0,12 para ALT e 0,11 para DAP e com valores acima de 0,83. As maiores correlações observadas estão entre as medidas aferidas aos 74 e 99 meses (0,96 ALT e 0,96 DAP) e as correlações mais baixas entre 31 e 99 meses (Tabela 6). Nota-se também que, os coeficientes de correlação genotípica apresentam uma tendência de superarem os coeficientes de correlação fenotípica. Esse fato, se deve provavelmente a influência do ambiente sobre o fenótipo de forma que a correlação fenotípica seja afetada pelo ambiente, reduzindo essa correlação, conforme observado por Santos et al. (2014).

Tabela 6 – Correlações entre as idades para altura (ALT) e para diâmetro à altura do peito (DAP) em cedro australiano. Acima da diagonal encontram-se as correlações genotípicas e abaixo as correlações fenotípicas em progênies de cedro australiano.

ALT	ALT				DAP	DAP			
	31	54	74	99		31	54	74	99
31 meses	1	0,91	0,85	0,84	31 meses	1	0,94	0,92	0,86
54 meses	0,93	1	0,93	0,91	54 meses	0,95	1	0,95	0,90
74 meses	0,62	0,67	1	0,96	74 meses	0,64	0,67	1	0,96
99 meses	0,63	0,67	0,96	1	99 meses	0,64	0,67	0,98	1

As estimativas das correlações fenotípicas e genotípicas possibilitam selecionar genótipos por meio de características que sejam de fácil medição e que apresentem alta herdabilidade, desde que possuam alta correlação com outra característica que seja de difícil mensuração. As estimativas das r_F entre os caracteres nas diferentes idades variaram de

0,56 (entre 31 e 74 meses) a 0,94 (entre 74 e 74; 99 e 99 meses) e as r_G de 0,80 (entre 31 e 74; 31 e 99 meses) a 0,92 (entre 31 e 31; 54 e 54 meses) (Tabela 7). Verifica-se que todas as correlações estimadas foram altas e positivas, fato desejável neste trabalho, pois indica que a seleção de um caráter deve levar a consistentes respostas indiretas no outro caráter.

Tabela 7 – Correlações fenotípicas (r_F) e genotípicas (r_G) aos 31, 54, 74 e 99 meses entre diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (ALT) em progênies de cedro australiano.

ALT	DAP							
	31 meses		54 meses		74 meses		99 meses	
	r_F	r_G	r_F	r_G	r_F	r_G	r_F	r_G
31 meses	0,93	0,92	0,91	0,87	0,64	0,88	0,63	0,84
54 meses	0,89	0,87	0,92	0,92	0,67	0,91	0,66	0,86
74 meses	0,56	0,80	0,58	0,85	0,94	0,89	0,92	0,85
99 meses	0,57	0,80	0,59	0,85	0,93	0,89	0,94	0,88

Altas correlações genotípicas e fenotípicas entre caracteres de DAP e altura em diferentes idades foram observadas para eucalipto (Massaro et al., 2010; Moraes et al. 2014; Pinto et al. 2014), para baru (Santos et al., 2014). As principais causas desta correlação segundo Falconer & Mackay (1996) são decorrentes da ligação gênica ou pleiotropia. No primeiro caso, ela é transitória, uma vez que o desequilíbrio de ligação é perdido ao longo dos ciclos de reprodução; já no segundo, ela é permanente, sendo, desta forma, a principal causa da correlação.

CONCLUSÃO

As progênies avaliadas apresentaram variabilidade para DAP e altura, entre e dentro das populações, porém a seleção deve ser realizada com cautela, uma vez que a herdabilidade não foi tão expressiva para estes caracteres, principalmente para as idades mais avançadas. O CV_{gi} foi maior que o CV_{gp} , o que indica que a seleção entre e dentro deve ser preferível à seleção apenas entre famílias. Todas as correlações estimadas foram altas e positivas, fato desejável neste trabalho, pois indica que a seleção de um caráter deve levar a consistentes respostas indiretas no outro caráter. Evidencia-se que pelas correlações obtidas, aos 31 meses já se tem boa eficiência da seleção de indivíduos superiores para produtividade de madeira.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001. Os autores agradecem à Empresa Bela Vista Florestal S.A. pela concessão dos dados.

REFERÊNCIA

- Borém, A., & Miranda, G. (2013). *Melhoramento de plantas* (6. ed., 523 p.). Viçosa: UFV.
- Bygrave, P., & Bygrave, F. (2005). Growing Australian Red Cedar. *Rirdc*, 4(135), 1-60.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (4. ed., 514 p.). Viçosa: UFV.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed., 480 p.). London: Pearson.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2017). *Relatório anual* (80 p.). São Paulo. Recuperado em 9 setembro de 2019, de http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf
- Kageyama, P. Y., & Vencovsky, R. (1983). Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. *Ipef*, (24), 9-26.

- Kubota, T. Y. K., Moraes, M. A., Silva, E. C. B., Pupin, S., Aguiar, A. V., de Moraes, M. L. T., Freitas, M. L. M., Sato, A. S., Machado, J. A. R., & Sebbenn, A. M. (2015). Variabilidade genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Balfourodendron riedelianum* (Engler). *Scientia Forestalis*, 43(106), 407-415.
- Massaro, R. A. M., Bonine, C. A. V., Scarpinati, E. A., & Paula, R. C. (2010). Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. *Ciência Florestal*, 20(4), 597-609. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982418>.
- Miranda, A. C., Moraes, M. L. T., Silva, P. H. M., & Sebbenn, A. M. (2015). Ganhos genéticos na seleção pelo método do índice multi-efeitos em progênies polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*, 43(105), 203-209.
- Moraes, C. B., Freitas, T. C. M., Pieroni, G. B., Resende, M. D. V., Zimback, L., & Mori, E. S. (2014). Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. *Scientia Forestalis*, 42(102), 219-227.
- Murakami, C. H. G. (2008). Boletim Florestal: cedro Australiano, valorização de espécies nobres. *Boletim Florestal: Informativo Florestal do Norte Pioneiro*, 7, 2-4.
- Oda, S., Menck, A. L. de M., & Vencovsky, R. (1989). Problemas no melhoramento genético clássico do eucalipto em função da alta intensidade de seleção. *Ipef*, 41-42, 8-17.
- Pereira, M. B., & Vencovsky, R. (1988). Limites da seleção recorrente: fatores que afetam o acréscimo das frequências alélicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 23(7), 769-780.
- Pimentel-Gomes, F., & Garcia, C. H. (2002). *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos* (309 p.). Piracicaba: FEALQ.
- Pinheiro, A. L., Lani, J. L., & Couto, L. (2003). *Cedro australiano: cultivo e utilização* (47 p.). Viçosa: NEPUT.
- Pinto, D. S., Resende, R. T., Mesquita, A. G. G., Rosado, A. M., & Cruz, C. D. (2014). Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 42(102), 251-257.
- Resende, M. D. V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes* (975 p.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Resende, M. D. V. (2007). *Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos* (360 p.). Colombo: Embrapa Florestas.
- Resende, M. D. V. (2016). Software Selegen-REML / BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(4), 330-339. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>.
- Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(3), 182-194.
- Rocha, M. G. B., Pires, I. E., Rocha, R. B., Xavier, A., & Cruz, C. D. (2006). Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. *Scientia Forestalis*, (71), 99-107.
- Santos, A. M., Rosado, S. C. S., & Oliveira, A. N. (2014). Estimation of genetic parameters and verification of early selection efficiency in baru (*Dipteryx alata*). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 14(4), 238-243. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4a37>
- Vencovsky, R. (1987). Melhoramento e produção de milho no Brasil. *Paterniani*, 2, 137-214.
- White, T., Davis, J., Gezan, S., Hulcr, J., Jokela, E., Kirst, M., Martin, T. A., Peter, G., Powell, G., & Smith, J. (2014). Breeding for value in a changing world: past achievements and future prospects. *New Forests*, 45(3), 301-309. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-013-9400-x>.
- Xavier, A., Wendling, I., & Silva, R. L. (2009). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas* (272 p.). Viçosa: UFV.

Contribuição dos Autores: HGS: conceituação; curadoria de dados; análise formal, obtenção de financiamento, metodologia, escrita- primeira redação; LRR: curadoria de dados, análise formal, obtenção de financiamento; SCSR: curadoria de dados, obtenção de financiamento, administração do projeto; LAM: obtenção de financiamento; escrita – Revisão e Edição, FMAG: curadoria de dados; obtenção de financiamento; administração do projeto; supervisão, escrita – Revisão e Edição.