

## Experimentação e seleção no melhoramento genético de TECA (*Tectona grandis* L.f.)

Reginaldo Brito da Costa<sup>1</sup>, Marcos Deon Vilela de Resende<sup>2</sup>,  
Versides Sebastião de Moraes e Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) - [rcosta@ucdb.br](mailto:rcosta@ucdb.br); <sup>2</sup>Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPf) - [deon@cnpf.embrapa.br](mailto:deon@cnpf.embrapa.br); <sup>3</sup>Programa de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) - [versides@ufmt.br](mailto:versides@ufmt.br)

Recebido em 23 de Outubro de 2006

---

### Resumo

A carência de programas de melhoramento genético da teca (*Tectona grandis* L.f.) no Brasil aponta para a necessidade premente de se estabelecer uma rede experimental, na qual parcerias seriam constituídas por instituições de ensino e de pesquisas associadas às empresas privadas envolvidas no cultivo da espécie. Com vistas à adequação dos procedimentos experimentais a serem utilizados nas pesquisas, alguns princípios devem ser observados. Neste contexto, os procedimentos experimentais apresentados ao longo do presente trabalho, poderão subsidiar as ações a serem desenvolvidas, considerando-se as peculiaridades das regiões de plantio no Brasil.

**Palavras-chaves:** Testes de procedência e progênes, procedimentos experimentais, métodos de seleção.

---

### Experimentation and selection in teak (*Tectona grandis* L.f.) genetic improvement

#### Abstract

The lack of teak breeding programs in Brazil shows a need for the establishment of a series of trials in a partnership enrolling private and public institutions for research with this species. With the aim to adequate experimental procedures for research, some fundamental aspects must be considered. In such a context, the experimental procedures presented with this paper can provide useful techniques for the research activities to be developed, considering the peculiarities of the different areas of Brazil.

**Key words:** Progenies and provenance tests, experimental procedures, selection methods.

## Introdução

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie arbórea decídua de floresta tropical, pertencente à família Verbenaceae (Pandey & Brown, 1999). Esta espécie em sua região de origem pode desenvolver indivíduos de até 60 metros de altura, dotados ou não de raízes tabulares (Krishnapillay, 1999).

As folhas da teca são opostas, elípticas, coriáceas e ásperas no tato, dotadas de pecíolos curtos ou ausentes e ápice e base agudos. Nos indivíduos adultos, as folhas em média possuem 30 a 40 cm de comprimento por 25 cm de largura. No entanto, nos indivíduos mais jovens, com até 3 anos de idade, as folhas podem atingir o dobro dessas dimensões (Angeli & Stape, 2007).

A teca possui flores brancas e pequenas, dotadas de pedúnculos curtos, dispostas em grande e eretas inflorescências do tipo panícula. Seus frutos consistem de drupas sub-globosas de mais ou menos 1,2 cm de diâmetro, envolvidas por uma compacta e densa cobertura de feltro marrom. Cada fruto possui em seu interior de 1 a 4 sementes. Este conjunto está incluso em um invólucro vesicular de consistência membranosa (Schubert, 1974).

A teca é uma espécie predominantemente alógama, com taxa de cruzamento da ordem de 95% a 98% (Kjaer & Suangtho, 1995; Kertadikara & Prat, 1995). Assim, as estratégias de melhoramento empregadas costumeiramente no melhoramento de outras espécies florestais alógamas (Resende, 1999) podem ser aplicadas à espécie.

Conforme Higuchi (1979), a madeira da teca possui alburno amarelado ou esbranquiçado, geralmente delgado, contrastando com o cerne que é castanho-amarelado. Apresenta anéis de crescimento nítidos e diferenciados nos cortes transversais. O lenho é moderadamente duro e oleoso ao tato (Matricardi, 1989).

Diversos autores, dentre eles, Berg (1953), Banijbthatana (1957), Mello (1963), Jacobs (1973), Schubert (1974), Ramakrishina (1978), Pandey & Brown (1999), Krishnapillay (1999), Killmann & Hong (1999), Balooni (1999), Enters (1999) e Mittelman (1999) ressaltam a importância econômica da teca e as qualidades físico-mecânicas, bem como as possibilidades de uso da madeira.

Matricardi (1989) relata que a madeira da teca

aceita secagem ao ar livre e em estufa, com perdas e depreciações mínimas decorrentes deste processo, tais como rachaduras e empenamentos, em função de seu baixo coeficiente de contração e excelente estabilidade. O mesmo autor salienta que o seu teor de sílica é variável (superior a 14%), entretanto, apesar disto, permite serragem, aplainamento, desenrolamento e laminação de maneira satisfatória.

A madeira da teca alcança bons preços e, compete, no momento em igualdade de situação com madeiras consideradas nobres mundialmente, em especial comparada ao mogno. No entanto, na indústria naval o preço da teca sobressai àquelas indicadas para esta utilização. Esses aspectos favoráveis à espécie são corroborados por Krishnapillay (1999), reconhecendo a durabilidade e trabalhabilidade da espécie, bem como, abordando aspectos silviculturais e manejo dos plantios.

No Brasil, especialmente no estado de Mato Grosso os primeiros plantios comerciais ocorreram no início da década de setenta, no município de Cáceres. Na primeira metade da década de noventa as áreas de florestas de teca não passavam de 2.000 hectares, sendo a quase totalidade de uma única empresa (Tsukamoto et al., 2003).

Conforme dados obtidos da Empresa Floresteca (Romio, 2006), a sua área plantada atualmente perfaz 20 mil hectares, sendo que as primeiras mudas foram estabelecidas em 1994.

Em relação ao melhoramento genético da espécie no Brasil, aparentemente não existem programas com a teca, de forma que a variação genética existente entre e dentro de populações não tem sido explorada adequadamente (Costa & Resende, 2001). De maneira geral, White (1991) relata a importância dos testes de procedência, de progênie e de clones para acelerar o melhoramento da teca.

O presente trabalho aborda a experimentação e a seleção no melhoramento da espécie, envolvendo as três ações referentes a testes de procedência, de progênie e de clones.

## Melhoramento Genético da Espécie

A teca apresenta certas peculiaridades que constituem obstáculos ao melhoramento genético, quais sejam: a produção de sementes por árvore é baixa (dificultando a realização de testes de progênies);

poucas, em torno de 5 mudas são produzidas a partir de 100 sementes; a polinização controlada é difícil nesta espécie; o período vegetativo longo antes do florescimento (10 a 15 anos), fato que alonga o ciclo do melhoramento (Kaosa-ard et al., 1998). Entretanto, os retornos de programas de melhoramento são altos tendo em vista o valor da madeira.

Os programas de melhoramento da teca na Tailândia vêm sendo conduzidos desde 1960 e foram intensificados a partir de 1965 com a criação do Teak Improvement Center – TIC, em Ngao, província de Lampang. Desde esta época, o TIC vem desenvolvendo as atividades de testes de procedências, seleção de árvores superiores, desenvolvimento de técnicas de propagação vegetativa, estabelecimento de áreas de produção de sementes, bancos clonais e pomares de sementes clonais (Rao et al., 2001).

Por outro lado, estudos em biologia reprodutiva têm sido conduzidos, os quais revelaram que as flores de teca são freqüentemente autopolinizadas por insetos, mas, os embriões autofecundados tendem a abortar logo após a fertilização causando a baixa produção de sementes por árvore (Kaosa-ard et al., 1998).

A estratégia de melhoramento da espécie na Tailândia é descrita em detalhes por Wellendorf & Kaosa-ard (1988). O TIC tem conduzido testes clonais visando avaliar melhor as árvores superiores selecionadas. No caso, os testes clonais são utilizados em lugar dos testes de progênies, tendo em vista as dificuldades na produção mudas relatadas anteriormente. Testes de procedências e estimativas de parâmetros genéticos têm sido reportados nos trabalhos em andamento na Índia (Rao et al., 2001).

De maneira geral, existem consideráveis diferenças no crescimento em condições naturais, bem como expressivas variações genéticas entre origens de teca. As referidas variações têm sido investigadas em uma rede internacional de ensaios de procedências. Para a Tailândia, os ensaios internacionais indicaram que fontes de sementes locais devem ser utilizadas com vistas aos plantios comerciais (Kaosa-ard et al., 1998). Em relação a teste de procedência da espécie, Hardiyanto et al., (1992) relata superioridade entre 21 procedências na Indonésia para caracteres de crescimento, apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Avaliação de altura (cm) e diâmetro (mm) de procedências de teca, em Wanagama (Indonésia).

**Table 1.** Avaluation of height (cm) and diameter (mm) of teak provenances, in Wanagama (Indonesia).

Procedência	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
Malabar (Índia)	32.5	41.4
Godavari (Índia)	30.4	41.2
Kay (Lao-Vietnã)	33.9	43.5
Kouai ((Lao-Vietnã)	25.6	36.2
Central Prov.(Ind.)	28.0	44.2
Thailand	25.2	33.4
Kouoc ((Lao-Vietnã)	28.9	38.2
Myanmar	29.4	46.2
Muna (Celebes)	31.1	42.3
Soe (West Timor)	20.5	31.5
Cepu (Ind.)	32.5	46.3
Margasari (Irã)	29.1	51.0
Gundih (Ind.)	31.7	44.7
Java (Ind.)	33.3	34.8
Pati (Ind.)	23.1	36.9
Bangilan (Filipinas)	34.6	42.8
Ngliron (Ind.)	30.6	46.0
Ponorogo (Ind.)	30.2	45.2
Deling	27.5	39.0
Blora (Ind.)	28.1	44.2
Randublatung (Ind.)	30.6	41.8

Fonte: Hardiyanto et al., 1992

Entretanto, pouco se conhece sobre a variação genética dentro de populações, uma vez que os testes de progênies e clonais encontram-se ainda em fase inicial de desenvolvimento; não obstante, confirmam a existência de variação genética entre e dentro de procedências para os caracteres de crescimento e forma (Wellendorf & Kaosa-ard, 1988).

Na Costa Rica (América Central), com o avanço das plantações industriais de teca na região, tornou-se imprescindível incorporar o melhoramento genético como ferramenta fundamental para alcançar os objetivos de produção. A partir do final dos anos 80 e início de 90, o Centro Agrícola Cantonal de Hojanacha (CACH) conseguiu estabelecer um banco de sementes (Merayo & Murillo, 1990).

O CACH, através do seu banco de sementes florestais, tem organizado e mantido a liderança no

abastecimento do mercado de sementes melhoradas de teca. Em relação à implantação de povoamentos clonais, a empresa MACORI, é a líder neste campo promissor, trabalhando em parceria com pesquisadores do Centro de Investigações em Biotecnologia do Instituto Tecnológico da Costa Rica (TEC), no cultivo *in vitro* do material selecionado (Viquez, 1998).

Atualmente, há um programa consistente de melhoramento genético da espécie, que merece destaque e refere-se àquele desenvolvido pela Cooperativa de Melhoramento e Conservação Genética Florestal da Costa Rica (GENFORES), o qual iniciou um programa de melhoramento genético de teca, baseado em clonagem (Murillo et al., 2007). O autor relata que nos últimos dois anos, quatro das organizações que compõem o GENFORES conseguiram selecionar 218 árvores plus nas diferentes zonas de produção de sementes do país, das quais 80% estão estabelecidos em seus jardins clonais comerciais, com vistas no início dos plantios clonais comerciais que ocorreu a partir de 2004. Uma rede de ensaios de progênies foi também estabelecida em 1999 na qual vem sendo convertida em pomares de sementes por mudas (Rojas, 1999; Montero, 2000).

Para o Brasil, recomenda-se, em caráter urgente, a realização de testes de procedências, progênies e clonais repetidos em alguns locais, visando formar uma rede experimental como base para um programa de melhoramento genético.

### **Delineamentos Experimentais para a Teca**

Com vistas à adequação dos procedimentos experimentais a serem utilizados nas pesquisas com a espécie, alguns princípios devem ser observados. Um delineamento experimental apropriado deve obedecer aos princípios fundamentais da experimentação: repetição, casualização e controle local. A importância do número de repetições é capital, significando que, com baixo número de repetições, até a casualização é prejudicada ou comprometida. Como controle local deve ser enfatizada a homogeneidade dentro de estratos ou blocos, sendo, em princípio, recomendados os delineamentos em blocos casualizados e látice. A casualização e a repetição é que propiciam uma comparação não viciada dos tratamentos, ao passo que o controle local e a

repetição possibilitam reduzir o erro experimental médio. Um erro experimental menor permite inferir como significativa uma diferença real pequena entre médias de tratamentos.

A repetição refere-se ao número de vezes que o tratamento aparece no experimento. Tem por finalidade a estimação do erro experimental, o aumento do poder dos testes estatísticos como o F e dos demais testes de médias e o aumento da precisão das estimativas das médias dos tratamentos. Neste último caso, quanto maior o número de repetições menor é a variância da média dos tratamentos (Dias & Resende, 2001).

A casualização consiste em se dispor os tratamentos ao acaso no experimento de modo que todas as parcelas tenham a mesma chance de receber um determinado tratamento. É portanto, recomendada para se evitar fatores sistemáticos que venham a beneficiar alguns tratamentos em detrimento de outros. Seu grande benefício é validar e dar confiabilidade às estimativas do erro experimental e das médias de tratamentos. O controle local destina-se a controlar a heterogeneidade ambiental e implica em restringir a casualização. Em termos da avaliação genética e da estimação de componentes de variância, a casualização é essencial como forma de evitar a correlação entre efeitos genéticos e ambientais, fato que afetaria todo o modelo básico de estimação e predição, o qual assume independência entre os referidos efeitos. Blocos nos delineamentos em blocos casualizados e linhas e colunas nos quadrados latinos, por exemplo, são estratégias de controle local que possibilitam agrupar parcelas homogêneas e casualizar os tratamentos dentro deles. A uso da análise de covariância é também um tipo de controle local (Dias & Resende, 2001).

O delineamento em quadrado latino, provavelmente, é o que propicia melhor controle local, visto que permite controlar a heterogeneidade ambiental em duas direções, no sentido das linhas e das colunas. Entretanto, tal delineamento não tem sido recomendado para os trabalhos de melhoramento (Ramalho et al., 2000) ou na experimentação em geral (Pimentel Gomes, 1987), devido à restrição do número de repetições ter que ser igual ao número de tratamentos ou progênies. Dessa forma, não há relatos de sua utilização no melhoramento. No entanto, com o advento da utilização de parcelas de

uma planta no melhoramento de plantas perenes, tal delineamento passa a ter grande potencial de utilização. Como se utiliza em torno de 60 plantas por progênie (60 repetições de uma planta), quadrados latinos de 60 x 60 com 60 progênies poderiam ser perfeitamente utilizados, em associação com o procedimento BLUP (melhor predição linear não viciada). No caso, os dados seriam corrigidos para dois gradientes ambientais (linhas e colunas), pelo método BLUP ou do índice multiefeitos derivado por Resende & Higa, (1994). Segundo Panse & Sukhatme (1963), quando existem tendências simultâneas de variações em fertilidade em duas direções em ângulos retos (que equivale a uma tendência diagonal em fertilidade), é provável que o quadrado latino seja mais eficiente que o delineamento em blocos. O delineamento em quadrado latino é também recomendado quando não se conhece a priori os gradientes de fertilidade.

Os delineamentos de blocos incompletos (látice, por exemplo) são especialmente indicados na situação de grande número de tratamentos e alta variabilidade ambiental na área experimental. No melhoramento de espécies florestais, o delineamento de blocos casualizados tem sido o mais utilizado na América do Norte (Fu et al., 1998), os blocos incompletos são os mais utilizados na Austrália, África do Sul e Ásia (Williams & Matheson, 1994) e, no Brasil, ambos os tipos de delineamentos são empregados.

A eficiência relativa entre os delineamentos experimentais depende, sobretudo, do nível de variação ambiental espacial na área experimental. Empregando um modelo geoestatístico espacial, o qual permite a especificação de vários níveis de variação ambiental, Fu et al. (1998) concluíram pela pluri-idade dos delineamentos de blocos incompletos (látice e alfa) em um grande número de situações, em termos de eficiência estatística para a estimação de médias de tratamentos.

Os delineamentos de blocos incompletos balanceados e parcialmente balanceados não são ortogonais. Neste caso, o uso destes delineamentos para seleção conduz, via análise intrablocos, as médias de tratamentos imprecisas, mesmo quando a sobrevivência for 100% (Resende & Fernandes, 2000). Isto não significa que estes delineamentos não possam ser usados, mas que estejam associados ao pro-

cedimento BLUP, o qual ajusta as médias para as estimativas BLUP (melhor estimativa linear não viciada) dos efeitos fixos ou efeitos ambientais identificáveis.

Entretanto, os delineamentos em blocos baseiam-se na premissa de conhecimento a priori da heterogeneidade da área experimental de forma que seja possível alocar todas as parcelas (tratamentos) em blocos homogêneos (Lotodé, 1971). Caso esta heterogeneidade não seja conhecida a priori, a delimitação dos blocos tornar-se arbitrária, fato que poderá implicar em forte heterogeneidade dentro de blocos. Com base no exposto, uma alternativa é a alocação aleatória de parcelas de uma planta no campo experimental e posterior controle da heterogeneidade ambiental, empregando métodos tais como o da análise de covariância associando uma covariável à variável estudada (Método de Papadakis: Papadakis, 1984), ou das variáveis regionalizadas ou espaciais (Métodos Geoestatísticos, conforme Lecoustre & Reffye, 1986).

O ajustamento a posteriori para os gradientes ambientais em testes de progênies apresenta um potencial para um aumento significativo da eficiência na estimação de parâmetros genéticos e seleção. Neste contexto, o uso de parcelas de uma planta completamente aleatorizadas (delineamento inteiramente ao acaso) tem sido novamente comum (Lotodé & Lachenaud, 1988). Entretanto, Gilmour (2000) adverte para o fato de que a blocagem a posteriori não deve ser baseada apenas na significância estatística de contrastes arbitrários. O experimentador necessita identificar as causas físicas e ambientais que levaram a determinado tipo de blocagem. É importante relatar que o próprio uso do delineamento em quadrado latino pode reduzir a necessidade do uso de técnicas (como a análise espacial) de ajustamento a posteriori.

Os vários delineamentos são, em geral, adequados para a estimação de parâmetros genéticos e para a seleção de genitores com base no comportamento de suas progênies. Para estes objetivos, o delineamento experimental de blocos casualizados, com famílias de meios-irmãos e uma planta por parcela, é especialmente recomendado (White, 1996) como o mais apropriado também para a estimação de correlações genéticas e estudos de interação genótipo x ambiente.



Especificamente no melhoramento da teca, o delineamento de “parejas” dentro de blocos foi proposto por Olman Murillo, pesquisador do Instituto Tecnológico da Costa Rica, com o objetivo de avaliar espécies madeireiras como a Teca, por longo período, antes e após desbaste deixando apenas uma planta do par ou “pareja”. O objetivo é permitir que se estime a interação famílias x blocos de forma não confundida com os efeitos ambientais de parcela e também permitir que o experimento permaneça aproximadamente balanceado e com plantas aproximadamente equidistantes após o desbaste. Isto tende a minimizar os efeitos da competição diferenciada após o desbaste (Badilla & Murillo, 1999). Esse delineamento com parejas tem sido usado tanto em associação com os delineamentos em blocos completos quanto incompletos, descritos anteriormente.

No Brasil, pouca experiência existe sobre experimentação com teca. Nenhum teste de procedências, progênies ou clones são relatados em literatura. Os aspectos técnicos aqui discutidos servirão de importante referência para a experimentação com a espécie.

### Testes de procedências e progênies de Teca

Uma situação experimental peculiar refere-se à avaliação de progênies pertencentes a várias populações, no delineamento em blocos ao acaso. A aleatorização de todas as progênies (independentemente de populações) nos blocos é um procedimento que permite tanto uma comparação entre populações quanto entre progênies dentro de populações. Entretanto, o termo de erro para comparação entre progênies/populações pode ser subestimado para algumas e superestimado para outras progênies, pois tal erro pode diferir dentro das populações. Um arranjo experimental especial denominado “blocos de famílias compactas” foi proposto por Panse & Sukhatme (1963), o qual permite reduzir o erro na comparação entre progênies dentro de populações. Tal arranjo é análogo, porém não idêntico ao arranjo em parcelas subdivididas. Trata-se de um arranjo hierárquico no qual as populações são sorteadas nas parcelas e as progênies dentro de populações são sorteadas nas subparcelas. A diferença para o arranjo em parcelas subdivididas é que, no caso dos blocos de famílias compactas, os tratamentos das subparcelas (as pro-

gênies dentro de populações) são diferentes de uma parcela (população) para outra.

O arranjo experimental de blocos de famílias compactas permite realizar análises de variância individuais para cada população e, portanto, considerar um termo de erro (variância residual) específico para cada população. Quando existir homogeneidade de variância do erro dentro de populações, um termo de erro comum pode ser utilizado para testar as fontes de variação de progênies dentro de cada população e também a fonte de variação progênies/população em geral (Resende, 2002 a).

O uso apenas da fonte de variação global progênie/população é recomendado quando se dispõe de um reduzido número de progênies dentro de cada população, fato que não permite análises dentro de cada população, para fins de estimação de parâmetros genéticos. Neste caso, o procedimento mencionado aumenta consideravelmente o número de graus de liberdade da fonte de variação progênies/populações, permitindo a estimação de uma herdabilidade única, válida para todas as populações. A análise das progênies de todas as populações como sendo uma única população é reprovável, pois tem gerado superestimativas da herdabilidade, uma vez que tal procedimento distribui a variação entre populações como se fosse variação genética aditiva entre progênies, o que não é verdadeiro.

Na prática, o uso deste arranjo é especialmente recomendado quando as populações apresentam diferenças substanciais em taxas de crescimento. Os blocos de famílias compactas permitem minimizar os efeitos de competição e também contornar o problema da heterogeneidade de variâncias entre populações. Maiores detalhes da análise de experimentos no delineamento de blocos de famílias compactas são apresentados por Resende (2002a).

Especificamente no caso da teca, vários testes de procedências têm sido realizados em nível mundial. No Brasil, entretanto, as informações para escolha das procedências a serem plantadas, baseiam-se na utilização de dados gerados em outros países. Basicamente, existem duas procedências de teca utilizadas no Brasil. A primeira e mais importante em área plantada é da variedade Tennasserim, originária da Birmânia e estabelecida inicialmente em Trinidad e Tobago. A segunda, em importância, é proveniente do Sri Lanka e foi plantada inicialmente no Panamá

(Figueiredo, 2001).

### Maximização da Acurácia Seletiva em Testes Clonais e de Progênes de Teca

Os materiais a serem avaliados em testes clonais procedem das populações-base para seleção ou de seleção individual em áreas de ocorrência natural ou plantios comerciais. A primeira alternativa é preferível, pois permite maior acurácia neste primeiro estágio de seleção. Plantas individuais apresentam maior interação genótipo x ambiente e, portanto, os testes clonais devem ser instalados no maior número possível de ambientes. Dependendo da quantidade de material disponível, os testes clonais poderão ser realizados em dois estágios: (i) estágio inicial, visando à eliminação de clones com menor potencial produtivo; (ii) estágio final ou de recomendação de materiais para plantios comerciais.

O estágio inicial é recomendado quando se dispõe de um grande número de materiais genéticos para testes. Ele deve ser instalado em parcelas lineares e em um menor número de locais. Por outro lado, o estágio final exige maior rigor experimental, muitas vezes sendo necessária a utilização de parcelas quadradas, com bordaduras e com maior número de plantas. Todos esses fatores visam minimizar os efeitos de competição nas avaliações dos clones. Em ambos os estágios, os delineamentos a serem utilizados devem ser o de blocos casualizados (quando o número de materiais for pequeno) ou látice (quando o número de materiais for elevado).

Na Tabela 2 são apresentados os números adequados de indivíduos por clone em testes clonais, em função da herdabilidade individual no sentido amplo.

Verifica-se pela Tabela 2, que 100 plantas por clone conduzem a acurácias pluses a 90%, independentemente da herdabilidade no sentido amplo. Assim, não se justifica empregar mais de 100 rames por clone. Entretanto, conhecendo-se a herdabilidade do caráter, pode-se optar por um número mais adequado. Por exemplo, com herdabilidade de 20%, consegue-se uma acurácia de 95% na seleção, empregando-se em torno de 40 plantas por clone e, acurácia de 90%, utilizando-se em torno de 18 rames por clone.

**Tabela 2.** Número (nb) adequado de indivíduos por clone em testes clonais de teca, em função da herdabilidade individual ( ) no sentido amplo, para que sejam obtidas acurácias (r) de 90% e 95%.

**Table 2.** Suitable number (nb) of individuals per clone in teak clone tests as a function of broad-sense individual heritability ( ) to obtain 90% and 95% accuracy.

$h_g^2$	r = 90%	r = 95%	r para nb = 100
0,05	81	176	0,917
0,10	39	84	0,958
0,15	25	53	0,973
0,20	18	38	0,981
0,25	13	28	0,985
0,30	10	21	0,989
0,35	8	17	0,991
0,40	7	14	0,993
0,45	6	12	0,994
0,50	5	10	0,995
0,60	3	7	0,997
0,70	2	4	0,998
0,80	2	3	0,999
0,90	1	2	0,998

Fonte: Resende (1995).

Para a maximização da acurácia seletiva com a seleção de indivíduos em testes de progênie, não se justifica usar mais de 60 indivíduos por progênie quando a herdabilidade individual no sentido restrito do caráter for igual ou plus a 15%. Valores dessa herdabilidade na faixa de 0,20 a 0,40 têm sido observadas para a maioria dos caracteres em espécies florestais (Resende, 2002a).

### Tamanho da Parcela

A questão do tamanho de parcelas experimentais em espécies perenes tem sido abordada por uma série de autores (Coterill & James, 1984; Pimentel Gomes, 1984; Resende, 1995; Bonnot, 1995, dentre outros).

Empregando-se a metodologia padrão baseada

no coeficiente (b) de heterogeneidade do solo (Smith, 1938) (o qual é maior quanto maior for a heterogeneidade do solo), Bonnot (1995) indica os tamanhos de parcela: (i) 1 planta quando b for próximo de 0 ( $b < 0,30$ ); (ii) pelo menos seis plantas quando b for próximo de 1 ( $b > 0,70$ ). Como  $0 < b < 1$ , pode-se inferir que quando  $0,3 < b < 0,7$ , tamanhos de parcela entre 1 e 6, seriam recomendados.

Empregando, a metodologia do coeficiente de correlação intraclasse (relação variância entre parcelas/ (variância entre parcelas + variância dentro de parcelas)), Pimentel Gomes (1984), concluiu pelo uso de uma planta por parcela. Considerando a precisão experimental e a probabilidade de detecção de diferenças significativas entre médias de tratamentos, Cotterill & James (1984) também concluíram pelo uso de uma planta por parcela.

No contexto da predição de valores genéticos, Resende (1995) realizou estudo avaliando a acurácia seletiva, para diferentes condições experimentais e níveis de herdabilidade: 5 diferentes valores da relação variância dentro de parcela/variância entre parcelas (5; 10; 20; 40; 80); 14 níveis de herdabilidade (5% a 90%); 30 diferentes combinações de tamanho (n) de parcela e número (b) de blocos (tamanhos de parcela variando de 1 a 10 plantas e número de blocos variando de 1 a 100).

Fixando um número total (nb) de indivíduos, verificou-se que parcelas com um indivíduo e várias repetições sempre conduzem à maior acurácia em relação a parcelas com vários indivíduos e menos repetições. Este fato ocorreu para todos os valores de herdabilidade e da relação (variância dentro de parcelas/variância entre parcelas) testados.

As parcelas de uma planta podem acarretar o problema da perda de parcela, fato esse indesejável para a análise estatística, embora de menor efeito para a predição de valores genéticos. Por isso, a utilização de parcelas pequenas, porém com mais de uma planta, pode ser desejável. Outra alternativa, sugerida por Libby & Cockerham (1980), refere-se ao emprego de parcelas com várias plantas, mas não contíguas e sim com plantas distribuídas aleatoriamente no bloco. Segundo esses autores, este delineamento propicia eficiência comparável àquela obtida com parcelas de uma planta. Em cacauieiro, esta estratégia tem sido utilizada: considerando uma taxa de mortalidade de 10% durante os dois primei-

ros anos, Cilas (1995) recomenda a utilização de quatro plantas por tratamento, aleatorizados dentro de cada bloco.

Em resumo, parcelas de uma a seis plantas devem ser empregadas na experimentação com espécies perenes, embora alguns autores recomendem com ênfase (White, 1996) o uso de apenas uma planta por parcela. O uso de apenas uma planta por parcela permite a avaliação de 100 a 150 entradas por bloco, enquanto mantém o bloco em tamanho aceitável de cerca de 0,1 ha conforme recomendado para as condições tropicais (Matheson, 1989).

O único problema da perda de parcelas de uma planta, em termos de avaliação genética, refere-se à perda de representatividade de alguns genitores em determinados níveis dos efeitos fixos (blocos), o que pode tornar as comparações genéticas viciadas, se não for adotado o procedimento BLUP.

Com relação ao fator competição entre tratamentos (entre clones e entre progênes), o uso de parcelas de uma planta é muito vantajoso. Isto porque a planta de um tratamento é circundada por plantas de 8 tratamentos distintos, de forma que os efeitos da competição intergenotípica sobre uma planta tendem a serem cancelados, uma vez que tal planta central tem a chance de ser circundada por plantas de tratamentos mais e também menos agressivos. Este resultado é similar àquele obtido quando se usam parcelas (com bordaduras) de 9 plantas, avaliando-se apenas a planta central. Porém, o uso de parcelas de uma planta é mais indicado, pois permite avaliar 8 vezes o número de plantas, na mesma área, permitindo, assim, a análise de um maior número de tratamentos. Os efeitos da competição intragenotípica podem ser considerados utilizando plantios piloto com apenas um genótipo (clone), ou seja, por meio de plantios monoclonais para a confirmação da seleção.

Por outro lado, com parcela de várias plantas, cada tratamento é circundado por praticamente apenas dois tratamentos, o que pode permitir a manifestação dos efeitos (na média geral do tratamento) de competição, se poucas repetições forem utilizadas. Com pequeno número de clones, parcelas quadradas e com muitas plantas são recomendadas, devendo-se avaliar todas as plantas da parcela.

O programa de melhoramento de teca na Costa Rica, conduzido por uma cooperativa de melhora-



mento genético florestal, composta por 12 empresas membros, baseia-se em rede experimental constituída de 4 experimentos instalados no delineamento experimental de blocos ao acaso com 6 repetições, 28 famílias de meios irmãos e 3 pares de plantas por repetição. Aos três anos de idade cada pareja é desbastada para 1 planta, permanecendo 3 plantas por progênie por bloco (Murillo & Badilla, 2003; Murillo et al., 2003; Murillo & Badilla, 2004; Murillo et al., 2004).

### **Análise Ambiental de Experimentos no Delineamento em Blocos**

A análise ambiental deve enfatizar pelo menos três fatores: (i) a eficiência do delineamento em termos do controle local; (ii) a variabilidade espacial dentro dos estratos ambientais homogêneos (blocos); (iii) a interação genótipo x ambiente dentro de um mesmo sítio. O fator (i) pode ser estudado com base na significância do teste F de Snedecor associado à fonte de variação blocos na análise de variância e também com base no coeficiente de correlação intraclasse entre parcelas dentro dos blocos ( $\rho_b$ ). A variabilidade espacial dentro dos blocos pode ser estudada por meio do coeficiente de correlação intraclasse entre indivíduos de uma mesma parcela, devido ao ambiente comum da parcela ( $c_2$ ) o qual pode alternativamente, ser denominado coeficiente de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas. Por sua vez, o fator (iii) pode ser investigado com base na correlação genética intraclasse ( $\rho_g$ ), dos materiais genéticos ao longo das repetições, ou seja, de uma repetição para outra (Resende, 2002 a).

A significância dos efeitos de blocos deve ser analisada em conjunto com o parâmetro  $c_2$ . Assim, têm-se quatro situações: (a) F para blocos significativo e  $c_2$  alto; (b) F para blocos significativo e  $c_2$  baixo; (c) F para blocos não significativo e  $c_2$  baixo; (d) F para blocos não significativo e  $c_2$  alto. Um  $c_2$  alto significa alta variabilidade entre parcelas no bloco e um  $c_2$  baixo significa baixa variação entre parcelas no bloco (Resende, 2002 a). Considerando o conceito de capacidade de teste como a capacidade de o experimento propiciar aos materiais genéti-

cos experimentar diferentes condições ambientais, é possível fazer as inferências apresentadas a seguir (Resende, 2002a).

Na situação (a), pode-se dizer que o delineamento não foi totalmente eficiente, mas a capacidade de teste foi adequada. Isto porque, embora os blocos tenham apresentado diferenças significativas entre eles, uma grande heterogeneidade ambiental dentro dos blocos permaneceu. Em (b), pode-se inferir que o delineamento foi eficiente e a capacidade de teste adequada. Em (c), existe uma grande homogeneidade ambiental na área experimental e, neste caso, qualquer delineamento é eficiente, porém não existe uma capacidade de teste adequada, podendo-se incorrer no risco de selecionar materiais genéticos com pequena plasticidade fenotípica. A situação (d), por sua vez, denota que o delineamento não foi eficiente e a capacidade de teste inadequada. Neste último caso, o melhorista deve procurar métodos mais sofisticados de análise, tais como uma análise espacial visando à realização de uma blocagem a posteriori. As causas dos resultados associados à situação (d) podem ser atribuídas a: (i) blocos muito grandes foram alocados, de forma que a variação dentro de blocos tendeu a ser próxima da magnitude da variação entre blocos (a correlação intraclasse entre parcelas dentro de bloco, ( $\rho_b$ ), foi muito baixa); (ii) o gradiente ambiental (de fertilidade, por exemplo) ocorre em vários sentidos. As quatro situações mencionadas encontram-se sintetizadas na Tabela 3.

Em resumo, este tipo de análise deve ser realizada e têm-se as seguintes implicações práticas: a): o melhorista deve utilizar métodos mais sofisticados de análise. b) é a situação ideal ao melhorista; c): o melhorista deve prever maior perda de ganho genético realizado devido à interação genótipo x ambiente; e d) o melhorista deve lançar mão de métodos mais sofisticados de análise, mas não necessariamente conseguirá uma capacidade de teste adequada (nas situações (a) e (d), o melhorista deveria ter usado outro delineamento, como o látice ou o quadrado latino).

**Tabela 3.** Inferências práticas sobre eficiência de delineamento e capacidade de teste, em função das estatísticas F de Snedecor para blocos e coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $c_2$ ).

**Table 3.** Practical inferences of experimental design and test capacity as a function of F Snedecor blocks design and parcel effects determination coefficient ( $c_2$ ).

Situação	F	$c^2$	Eficiência de delineamento	Capacidade de teste
(a)	Significativo	Alto	Não	Sim
(b)	Significativo	Baixo	Sim	Sim
(c)	Não significativo	Baixo	Sim	Não
(d)	Não significativo	Alto	Não	Não

É importante mencionar que os métodos de blocagem a posteriori tenderão a propiciar maiores eficiências de delineamento e capacidades de teste, quando os experimentos forem implantados no delineamento inteiramente casualizado e com uma planta por parcela.

O parâmetro  $\rho_g$  é útil na inferência sobre a interação materiais genéticos x blocos, revelando que tanto menor é a interação quanto maior for  $\rho_g$ . Por extensão, tal parâmetro permite inferir, também, sobre a interação genótipo x ambiente dentro do próprio sítio ou fazenda de plantio. Imaginando que toda a área de plantio em uma fazenda comporta um grande número de blocos diferentes ( $b \rightarrow \infty$ ), o interesse do melhorista é indagar sobre a capacidade de a média de um genótipo sobre os b blocos do experimento correlacionar-se com a média dos mesmos genótipos sobre os  $b \rightarrow \infty$  blocos, ou seja, com o valor genotípico real do indivíduo. Esta correlação é dada por

$$r_{\hat{g}g\infty} = \left[ \frac{bp_g}{1+(b-1)\rho_g} \right]^{1/2}$$

Segundo Simmonds (1989), para seringueira, a produção dos clones em plantios comerciais é sempre inferior à produção nos ensaios. Este fato pode ser atribuído a perdas decorrentes da interação genótipo x ambiente. A correção dos valores genotípicos preditos, usando, pode contribuir para melhor inferência sobre a produtividade comercial esperada dos clones (Resende, 2002a).

No melhoramento da teca na Costa Rica, a interação bloco x família tem-se mostrado não significativa para os caracteres de crescimento, revelando que a experimentação adotada é bastante adequada.

Por outro lado, a interação progênies x locais mostrou-se significativa, embora a correlação da performance genotípica através dos ambientes tenha sido alta. Isto revela que a interação genótipo x ambiente não é problemática para o melhoramento da teca naquele país (Murillo & Badilla, 2004).

### Seleção via uso do método REML/BLUP e critérios de seleção aplicados ao melhoramento da teca

O termo seleção é definido como a reprodução diferencial dos genótipos na natureza ou sob intervenção do homem. A seleção natural opera independentemente das ações humanas e se realiza por meio de diferenças em fertilidade e sobrevivência (viabilidade) das progênies dos diferentes indivíduos, tendo como consequência a evolução orgânica. A seleção artificial é praticada pelo homem e é baseada em critérios definidos pelo próprio melhorista, sendo assim, fator primordial para o melhoramento genético (Harville & Carriquiry, 1992).

Essencialmente, a seleção atua promovendo a alteração das frequências alélicas nos locos que controlam o caráter sob seleção, conduzindo a alteração na média genotípica da população, na direção desejada. Em princípio, na prática da seleção, o melhorista atua em duas etapas básicas: (i) a predição do valor genético dos indivíduos; (ii) a decisão sobre a melhor forma de utilização dos indivíduos com os maiores valores genéticos preditos (Patterson & Thompson (1971).

Ao praticar a seleção, o melhorista de plantas perenes (por exemplo, a teca) pode ter como alvo dois tipos de população melhorada de referência: (i) uma formada por descendentes dos indivíduos selecio-

gados e (ii) outra formada pelos próprios indivíduos selecionados, propagados clonalmente. O primeiro tipo referenciado em (i) corresponde à população da geração seguinte à seleção e o segundo tipo (ii) corresponde à população na mesma geração e clonada (Resende, 2002 a).

Assim, é relevante a predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos, para atender as populações-alvo relatadas em (i) e (ii), respectivamente. Isto porque somente os efeitos aditivos dos alelos são transmitidos à descendência via reprodução sexuada - população de referência (i) - e porque na propagação clonal dos indivíduos selecionados - população de referência (ii) capitalizam-se os efeitos aditivos e de dominância.

No melhoramento de plantas perenes, as técnicas de avaliação genética desempenham papel fundamental, pois permite a predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos dos candidatos a seleção, propiciando uma seleção mais acurada.

As técnicas ótimas de avaliação genética envolvem, simultaneamente, a predição de valores genéticos e a estimação de componentes de variância (herdabilidades, por exemplo). De maneira genérica, o procedimento ótimo de predição de valores genéticos é o BLUP (melhor predição linear não viciada) ao nível individual (Resende & Fernandes, 1999). Para o caso balanceado, os preditores BLUP em nível individual equivalem aos índices de seleção multi-efeitos (Resende & Higa, 1994), os quais envolvem todos os efeitos aleatórios do modelo estatístico associado às observações fenotípicas. A predição usando BLUP ou os índices multi-efeitos assume que os componentes de variância são conhecidos. Entretanto, na prática são necessárias estimativas fidedignas dos componentes de variância (parâmetros genéticos) de forma a se obter o que se denomina BLUP empírico (Harville & Carriquiry, 1992). Atualmente, o procedimento padrão de estimação de componentes de variância é o da máxima verossimilhança restrita (REML), desenvolvido por Patterson & Thompson (1971).

A estimação de parâmetros genéticos associados a seleção no contexto do melhoramento de plantas anuais é bem descrito em várias obras publicadas no Brasil (Vencovsky, 1987; Vencovsky & Barriga, 1992; Cruz & Regazzi, 1994; Ramalho et al., 2000). Por outro lado, a estimação e predição no contex-

to do melhoramento de plantas perenes demandam o uso da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) em nível individual (Resende, 2002 a e b). As técnicas de estimação baseadas no método de quadrados mínimos tais como a análise de variância não são mais recomendadas para aplicação ao melhoramento de plantas perenes.

A metodologia de modelos mistos é uma ferramenta flexível para a estimação de parâmetros e predição de valores genéticos e apresenta as seguintes vantagens: a) permite a simultânea correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos; b) compara indivíduos através do tempo e do espaço; c) pode ser aplicada a dados desbalanceados; d) não exige dados obtidos sob estruturas rígidas de experimentação, com possibilidade e aplicação para informações dos programas de melhoramento, os quais não precisam estar associados a delineamentos, desde que contenham informações sobre a genealogia dos indivíduos; e) torna possível a estimação dos efeitos de dominância e epistáticos, além dos aditivos, pois utiliza maior número de relações de parentesco; f) permite o desenvolvimento de programas nacionais de avaliação genética, fato que pode elevar a taxa global de melhoramento da espécie; g) ajusta vários modelos alternativos, podendo-se escolher o que melhor explica os dados e, ao mesmo tempo, é parcimonioso (apresenta menor número de parâmetros); h) admite lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos).

Em função dessas vantagens, a estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos devem basear-se no procedimento REML/BLUP sob modelo individual, para todas as espécies perenes em que os dados são obtidos em nível de indivíduo. As propriedades teóricas desejáveis da metodologia de modelos mistos com vistas à estimação de componentes de variância e à predição de valores genéticos, bem como as fórmulas adequadas para as várias situações de testes de procedências, progênes e clones, são apresentadas com mais detalhes por Resende (2002 a). O software Selegen-Re/ml/Blup (Resende, 2002b) permite a seleção genética computadorizada por estes procedimentos, conduzindo a uma eficiente análise dos dados experimentais e à maximização do ganho genético nos programas de

melhoramento.

Na Costa Rica, estimativas de herdabilidades individuais de boas magnitudes, variando de 25% a 30%, tem sido obtidas para os caracteres de crescimento e qualidade da madeira. Estes valores revelam uma situação muito favorável para a seleção e ótimas perspectivas para o programa de melhoramento genético naquele país. Predições de valores genéticos pela metodologia BLUP tem sido adotada e ganhos genéticos na ordem de 20% foram estimados (Murillo & Badilla, 2004).

Tão importantes quanto os procedimentos de predição de valores genéticos são os critérios de seleção multivariados contemplando vários caracteres de importância econômica. Estudo relevante sobre esse tema foi realizado por Maeda et al. (2001), que descreveram vários métodos de construção de índices de seleção, com aplicação na espécie madeireira nativa *Virola surinamensis*. Trabalho similar necessita ser realizado com a teca.

## Considerações Finais

A carência de programas de melhoramento genético da teca no Brasil aponta para a necessidade premente de estabelecer uma rede experimental, na qual parcerias seriam constituídas por instituições de ensino e pesquisas associadas a empresas privadas envolvidas no cultivo da espécie.

A partir desta rede, vários resultados relevantes poderão ser obtidos tais quais: produção de propágulos melhorados para os plantios comerciais em média e larga escala, ajuste dos materiais genéticos aos diferentes sítios, estudos sobre interação genótipo x ambiente, estudo do controle genético dos caracteres, estabelecendo uma estratégia segura para o programa de melhoramento.

Na Tabela 4 apresenta-se as ações relacionadas à teca que estão em andamento ou já realizadas no Brasil.

**Tabela 4** – Ações relacionadas à teca no Brasil.

**Table 4** – Initiatives related to teak in Brazil.

Fonte	Local/data	Ação desenvolvida
EMBRAPA FLORESTAS (2004)	Colombo-PR	Software de predição de crescimento e de estabelecimento de sistema de manejo para a teca, visando aumentar a produtividade e renda para os produtores da espécie.
Figueiredo, E.D; Oliveira, L.C; Barbosa, L.K.P. (2005)	EMBRAPA-ACRE Rio Branco-AC	Produção de mudas, replantio, análise econômica e desempenho silvicultural de povoamentos de teca no Estado do Acre.
Figueiredo, E.D. (2005)	EMBRAPA-ACRE Rio Branco-AC	Produção de mudas tipo toco (através de raiz nua).
Figueiredo, E.D. (2005)	EMBRAPA-ACRE Rio Branco-AC	Determinação de método da variável fictícia para ajuste de modelos volumétricos estáveis compatíveis em povoamentos de teca.
Viet, L.F (1996)	Cáceres Florestal Cáceres - MT	Análise de demanda e oferta de madeira de teca.
Passos, C.A.M. (2000)	Cáceres - MT	Crescimento inicial de teca em diferentes espaçamentos.
FLORESTECA (2007)	Cáceres (MT) Várzea Grande (MT) Jangada (MT) Tangará da Serra (MT)	Programa de melhoramento genético com base em seleção, clonagem e plantio de árvores geneticamente superiores.
Tsukamoto Filho, A.A. (2003)	Cáceres – MT	Análise econômica de plantio de teca submetido a desbaste.

Neste contexto, os procedimentos experimentais apresentados ao longo do presente trabalho, poderão subsidiar as ações a serem desenvolvidas, naturalmente, considerando-se as peculiaridades das regiões de plantio no Brasil. Portanto, toda a metodologia, argumentações e detalhamentos dos procedimentos visam maximizar os resultados, tendo em vista a seleção de germoplasmas mais produtivos e adaptados às diferentes áreas.

Para dados desbalanceados, já existe e tem sido utilizado o software Selegen Reml/Blup, o que pode ser aplicado ao melhoramento genético da teca.

## Referências Bibliográficas

- ANGELI, A.; STAPE, J.L. *Tectona grandis* (Teca). **IPEF**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis/asp>>. Acesso em: 22 mar. 2007.
- BADILLA, Y.; MURILLO, O. Propuesta de un diseño de parcela para la investigación con espécies nativas en Costa Rica. **Kurú**, V. 25, p.4-5, 1999.
- BALOONI, K. Teak investment programmes: Indian perspective. **Unasyuva**, V. 51, n. 201, p. 83-94, 1999.
- BANIJBTHATANA, D. Teak forests of Thailand. **Tropical Silviculture**. Roma, V. 13, n.2, p.193-205, 1957.
- BERG, T. A madeira e sua utilização nas construções navais. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**. Rio de Janeiro, V.3, n.6, p.50-51, 1953.
- BONNOT, F. Dispositifs expérimentaux et taille des parcelles dans les essais de sélection sur plantes pérennes. In: CIRAD (Montpellier). **Traitements statistiques des essais de sélection**: stratégies d'amélioration des plantes pérennes. Montpellier, 1995. p. 161-172. Actes du Séminaire de Biométrie et Génétique Quantitative.
- CILAS, C. Dispositifs expérimentaux adaptés aux essais de sélection chez le cacaoyer. In: CIRAD (Montpellier). **Traitements statistiques des essais de sélection**: stratégies d'amélioration des plantes pérennes.. Montpellier, 1995. p.151-160. Actes du Séminaire de Biométrie et Génétique Quantitative.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies alternativas para o Centro-Oeste – Teca. In: RESENDE, M.D.V. (Ed.). **Workshop sobre melhoramento de espécies florestais e palmáceas no Brasil**. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 153-167. (Documentos 62).
- COTERILL, P. P.; JAMES, J. Number of offspring and plot sizes required for progeny testing. **Silvae Genetica**, Frankfurt, V. 23, n. 6, p. 203-208, 1984.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, O. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 390p.
- DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. Experimentação no melhoramento. In: DIAS, L. A. S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacauzeiro**. Viçosa: FUNAPE, 2001. p. 439-492.
- EMBRAPA FLORESTAS. Teca: *Tectona grandis*. **CNPf**. Disponível em: <[www.cnpf.embrapa.br/publica/folders/Teca\\_2004.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/folders/Teca_2004.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2007.
- ENTERS, T. Site, technology and productivity of teak plantations in Southeast Asia. **Unasyuva**, V. 51, n. 201, p.55-61, 1999.
- FIGUEIREDO, E.O. **Reflorestamento com teca** (*Tectona grandis* L.f.) no Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 28 p. (Documentos, 65).
- FIGUEIREDO, E.O. **Método da variável fictícia para ajuste de modelos volumétricos estáveis e compatíveis em povoamentos florestais**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2005. 31p. (Embrapa Acre. Documentos 95).
- FIGUEIREDO, E.O. **TECA** (*Tectona grandis* L.f.): **produção de mudas tipo toco**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2005. 24p. (Embrapa Acre. Documentos 101).



- FIGUEIREDO, E.O.; OLIVEIRA, L.C.; BARBOSA, L.K.P. Teca (*Tectona grandis* L.f.): **principais perguntas do futuro empreendedor florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2005. 89p. (Embrapa Acre. Documentos 97).
- FLORESTECA. Pesquisa e desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.floresteca.com.br/contents.asp?id=17>>. Acesso em: 25 set. 2007.
- FU, Y.; CLARKE, G. P. Y.; NAMKOONG, G.; YANCHUK, A. D. Incomplete block designs for genetic testing: statistical efficiencies of estimating family means. **Canadian Journal of Forest Research**, V. 28, n. 7, p. 977-986, 1998.
- GILMOUR, A. R. Post blocking gone too far! Recovery of information and spatial analysis in field experiments. **Biometrics**, V. 56, p. 944-946, 2000.
- HARDIYANTO, E.B.; SUSENO, O.H.; DANAR-TO, S. Tree improvement programs in Indonesia. **Dalam Prosiding Seminar Nasional Status Silvicultura di Indonesia Saat**. Wanagama, Yogyakarta, p. 63-78, 1992.
- HARVILLE, D. A.; CARRIQUIRY, A. L. Classical and Bayesian prediction as applied to unbalanced mixed linear models. **Biometrics**, V. 48, p. 987-1003, 1992.
- HIGUCHI, N. **Informações básicas para o manejo florestal da *Tectona grandis* (Teca) introduzida no Alto Jauru**. Universidade Federal de Mato Grosso/ Departamento de Engenharia Florestal. Cuiabá, 1979. 92p.
- KAOSA-ARD, A.; SUANGTHO, V.; KJAER, E.D. Genetic improvement of teak (*Tectona grandis*) in Thailand. **Forest Genetic Resources Roma, FAO** n. 26, p. 21-29, 1998.
- KERTADIKARA, A.W.S.; PRAT, D. Genetic structure and mating system in teak (*Tectona grandis*) provenances. **Silvae Genetica**, V. 44, p. 104-110, 1995.
- KILLMANN, W.; HONG, L.T. Rubberwood – the success of an agricultural by-product. **Unasylyva**, v. 51, n. 201, p. 66-72, 1999.
- KJAER, E.D.; SUANGTHO, V. Outcrossing rate of teak (*Tectona grandis*). **Silvae Genetica**, V. 44, p. 175-177, 1995.
- KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasylyva**, V. 51, n. 201, p. 14-21, 1999.
- JACOBS, M.R. **Desenvolvimento e pesquisa florestal no Brasil**. PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. Série Técnica/IBDF. Rio de Janeiro, 1973. 150p.
- LECOUSTRE, R.; REFFYE, P. La théorie des variables régionalisées, des applications possibles dans le domaine épidémiologique aux recherches agronomiques, en particulier sur le palmier à huile et le cocotier. **Oléagineux**, V. 41, n. 12, p. 541-548, 1986.
- LIBBY, W. J.; COCKERHAM, C. C. Random non-contiguous plots in interlocking field layouts. **Silvae Genetica**, V. 29, p. 183-190, 1980.
- LOTODÉ, R. Possibilités d'amélioration de l'expérimentation sur cacaoyers. **Café Cacao Thé**, n. 15, p. 91-104, 1971.
- LOTODÉ, R.; LACHENAUD, P. Méthodologie destinée aux essais de sélection du cacaoyer. **Café Cacao Thé**, V. 32, n. 4, p. 275-292, 1988.
- MAEDA, J.M.; PIRES, I.E.; BORGES, R.C.G.; CRUZ, C.D. Critérios de seleção uni e multivariados no melhoramento genético da *Virola surinamensis* Warb. **Floresta e Ambiente**, V. 8, n. 1, p. 61-69, 2001.
- MATRICARDI, W. A. T. Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.f.) cultivada na Grande Cáceres – Mato Grosso. Piraciacaba, ESALQ, 1989, 135p. (Dissertação de Mestrado).
- MATHESON, A. C. Statistical methods and problems in testing large numbers of genotypes across

- sites. In: IUFRO CONFERENCE ON BREEDING TROPICAL TREES, Pattaya, 1989. **Proceedings...** Oxford: Oxford Forestry Institute, 1989, p. 93-105.
- MELLO, H. do A Alguns aspectos da introdução da teca (*Tectona grandis* L.F.) no Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**. Rio de Janeiro, V. 15, n.15, p.113-119, 1963.
- MERAYO, O.; MURILLO, O. **Establecimiento de rodales semileros de *Tectona grandis* y *Panchota quinatum* em la Península de Nicoya, Guanacaste**. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Informe Técnico, 1990.
- MITTELMAN, A. **Teak planting by smallholders in nakhon Sawan**, Thailand. *Unasyuva*, n. 201, p., 1999.
- MONTERO, P.G. **Contribución al desarrollo del Programa de Mejoramiento Genético del CACH**. Práctica de Especialidad. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, 2000. 92p.
- MURILLO, O.; ROJAS, J.L.; BADILLA, Y. **Reforestación Clonal**. 2.ed. Taller Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 2003.
- MURILLO, O.; BADILLA, Y.. Potencial de mejoramiento genético de la Teca em Costa Rica. In: Simpósio sobre la teca. ISBN 9968-9996-3-6, 2003, Heredia, Costa Rica, **Anais...** Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales, 1 CD – Rom.
- MURILLO, O.; BADILLA, Y. Breeding teak in Costa Rica. In: FOREST GENETICS AND TREE BREEDING IN THE AGE OF GENOMICS – PROGRESS AND FUTURE, 2004, Gainesville. **Proceedings...** NC State University, Charleston, South Carolina, U.S.A., 2004. p. 105-110.
- MURILLO, O.; OBANDO, G.; BADILLA, Y.; ARAYA, E. GENFORES, A Costa Rica Tree Improvement and Gene Conservation Cooperative. In: FOREST GENETICS AND TREE BREEDING IN THE AGE OF GENOMICS – PROGRESS AND FUTURE, 2004, Gainesville. **Proceedings...** NC State University, Charleston, South Carolina, U.S.A., 2004. p. 174-183.
- MURILLO, O.; OBANDO, G.; BADILLA, Y.; AZOFEIFA, M. Creación de GENFORES, uma Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal em Costa Rica. **Publicaciones: 1ª Jornada de Reforestación**. Disponível em: <<http://www.una.ac.cr/inis/docs/refor/murilloetal2.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2007.
- NEWMAN, D. The distribution of range in samples from a normal population, expressed in terms of an independent estimate of standard deviation. **Biometrika**, V. 31, p. 20-30, 1939.
- PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. *Unasyuva*, n. 201, V. 51, p. 3-13, 1999.
- PANSE, K.; SUKHATME, P. V. **Métodos estadísticos para investigadores agrícolas**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1963. 349p.
- PAPADAKIS, J. Advances in the analysis of field experiments. **Commun. Acad. Athenes**, V. 59, p. 326-342, 1984.
- PASSOS, C. A. M.; GONÇALVES, M. R.; PERES FILHO, O & MIYAKAWA, Y. M. Crescimento inicial de Teca - *Tectona grandis*, em diferentes espaçamentos no município de Cáceres, Estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 6., 2000, Porto Seguro: 2000. p. 84-87.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, V. 58, p. 545-554, 1971.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1987.
- PIMENTEL GOMES, F. O problema do tamanho das parcelas em experimentos com plantas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V. 19, n. 12, p.

1507-1512, 1984.

RAMAKRISHNA, A. **Farewell to teak**. Indian Forester. Dehra Dun, V. 104, n. 9, p. 646-647, 1978.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: Editora UFLA, 2000. 303p.

RAO, P.S.; VENKAI AH, K.; MURALI, V.; MURT, S.S.N.; SATTAR, S.A Evaluation of international teak provenance plot trial in Índia. **Indian Forester**, V. 127, n.4, p.415-422, 2001.

RESENDE, M. D. V. de. Delineamento de experimentos de seleção para a maximização da acurácia seletiva e progresso genético. **Revista Árvore**, V. 19, n. 4, p. 479-500, out./dez. 1995.

RESENDE, M.D.V. de. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. Editora UFV. Viçosa, 1999, p.589-648.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002a. 975p.

RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN-REML/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002b. 65p. (Embrapa Florestas. Documentos).

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C. Análises alternativas envolvendo o procedimento BLUP e o delineamento experimental de blocos incompletos ou látice. **Revista de Matemática e Estatística**, V. 18, p.103-124, 2000.

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, V. 17, p. 89-107, 1999.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênes de

Eucalyptus através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, V. 28/29, p. 37-55, 1994.

ROJAS, J.L. **Contribuciones al fortalecimiento del Programa de Mejoramiento Genético del CACH**. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, 1999. 100p.

ROMIO, D. L. Floresteca fecha plantio em 3 mil hectares. **Informativo Floresteca**. Disponível em: <<http://www.floresteca.com.br/news.asp>>. Acesso em: 11 out. 2006.

SCHUBERT, T.H. **Teak: *Tectona grandis* L.F.** In: USDA. Forest Service. Seeds of Woody Plants in the United States. Washington, p.803-804, 1974.

SIMMONDS, N. W. Rubber breeding. In: WEBSTER, C.C.; BAULKWILL, W.J. (Ed.). **Rubber**. New York: Longman, 1989. p. 85-124.

SMITH, F. H. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. **Journal of Agricultural Science**, n. 28, p. 1-23, 1938.

TSUKAMOTO FILHO, A.A.; SILVA, M. L. da, COUTO, L., MÜLLER, M. D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**. V. 27, n. 4. p. 487-494, 2003.

VEIT, L. F. Plante seu fundo de aposentadoria. **Revista Silvicultura**, São Paulo, V. 17, n. 68, p. 20-22, 1996.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATTERNI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.) **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987a. V. 1, p. 137-214.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VIQUEZ, E. **Programa de mejoramiento genético de MACORI**. In: Seminário sobre “Aumento de la rentabilidad de las plantaciones forestales” (Oficina

Nacional de Semillas/MINAE/Câmara Costarricense Forestal). San José, Costa Rica, Mayo, 1998.

WELLENDORF, H.; KAOSA-ARD, A. Teak improvement strategy in Thailand. **Forest Tree Improvement**, V. 21, p. 1-43, 1988.

WHITE, T. Genetic parameters estimation and breeding value predictions: issues and implication in tree improvement programs. In: DIETERS, M. J.; MATHESON, A. C.; NIKLES, D. G.; HARWOOD, C. E.; WALKER, S. M. Tree improvement for sustainable tropical forestry. **Proceedings...** Caloundra: QFRI / IUFRO, 1996. p. 110-117.

WILLIAMS, E.; MATHESON, A. C. **Experimental designs and analysis for use in tree improvement**. Victoria: CSIRO, 1994. 174p.