

Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência

Antônio Marcos Rosado¹, Glauciana da Mata Ataíde², Renato Vinícius Oliveira Castro³, Anne Caroline Guieiro Correia⁴

¹Empresa Celulose-Nipo-Brasileira S.A., Rodovia de Ligação, BR 381, CP 100, CEP 35195-000, Belo Oriente, MG, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Av. Dr. José Sebastião da Paixão, s/n, CEP 36180-000, Rio Pomba, MG, Brasil

³Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Asa Norte, Brasília, CEP 70910-900, DF, Brasil

⁴Universidade Federal de Viçosa, Av. P H Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil

*Autor correspondente:
antonio.rosado@cenibra.com.br

Termos para indexação:

Florestas
Eucalyptus
Danos florestais

Index terms:

Forest
Eucalyptus
Damage to forests

Resumo - A ação de ventos fortes frequentemente causa danos às árvores e florestas, ocasionando recorrentes perdas econômicas em todo o mundo. O objetivo desse trabalho foi apresentar um método para seleção de clones do gênero *Eucalyptus* tolerantes à ação de ventos. Para tanto, foram escolhidos dez clones amplamente plantados por uma empresa florestal, os quais estavam localizados nas áreas de maior incidência de tempestades e ventos. As árvores-amostra foram submetidas a um teste de resistência, simulando o efeito do vento. Os resultados obtidos permitiram constatar que existem diferenças estatísticas significativas entre os clones, no que diz respeito à resistência ao vento. A metodologia proposta neste trabalho vem como alternativa para seleção de clones quanto à resistência a ventos.

Histórico do artigo:

Recebido em 14/03/2013
Aprovado em 14/08/2013
Publicado em 30/09/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.75.500

Evaluation of wind tolerance in eucalyptus trees by resistance test

Abstract - The action of winds often cause damage to trees and forests, causing recurring economic losses worldwide. The objective of this study was to present a method for selection of *Eucalyptus* clones tolerant to winds. For that, ten clones widely planted by a forestry company located in areas of high incidence of storms and winds were selected. The sample trees were subjected to endurance resistance test, simulating the effect of the wind. The results show that there were no statistically significant differences among clones with regard to wind resistance. The methodology proposed in this paper comes as an alternative to select clones for resistance to winds.

Introdução

Em todo o mundo são observados danos significativos às florestas devido à ação de ventos fortes, que ao incidirem sobre as copas das árvores podem prejudicar irremediavelmente povoamentos inteiros, quebrando ou arrancando árvores, de acordo com a intensidade com que atuam (Silveira et al., 1986). O vento é um fator ambiental com considerável influência na taxa de crescimento e forma das árvores, afetando tanto a taxa

de transpiração quanto as características de resistência mecânica dos troncos (Stathers et. al., 1994).

A resistência ou susceptibilidade das árvores submetidas à ação dos ventos está relacionada tanto a fatores como tamanho da árvore, características de sua copa e sistema radicular, como a fatores externos, citando-se o grau de exposição ao vento e as condições ambientais e clima do local (Nielsen, 2005). Associado a estas informações, o conhecimento do comportamento dos ventos na região em que se deseja implantar os

povoamentos florestais é necessário, para um melhor entendimento dos impactos que o escoamento do ar causa sobre a vegetação local (Finnigan, 2000).

Para maior conhecimento do problema e proposição de alguma forma para reduzi-lo, é essencial que se investiguem os fatores que influenciam na susceptibilidade das árvores à ação dos ventos, assim como as características das madeiras produzidas, procurando identificar aquelas que melhor expliquem a resistência dos troncos aos ventos fortes (Langre, 2008).

As empresas e instituições de pesquisa vêm trabalhando intensamente com seleção e geração de materiais genéticos do gênero *Eucalyptus* mais produtivos, visando à melhoria da qualidade da madeira em razão do seu uso final, uma vez que grandes avanços são possíveis com o melhoramento genético da espécie. Todavia, a qualidade de um povoamento florestal não é resultado somente do melhoramento genético, mas da combinação do genótipo das árvores com o ambiente. Do ponto de vista comercial, uma vez identificados os melhores genótipos, é importante considerar que sua performance na plantação vai depender da ação do ambiente e de sua interação com este.

Os danos florestais provocados pela ação de condições climáticas extremas e ventos fortes causam recorrentes perdas econômicas em todo o mundo (Alcoforado, 1984; Bomersheim, 2009). Esses danos vão desde o desfolhamento e quebra de galhos até a queda ou arranquio das árvores. Além de penalizar a qualidade e a produtividade da extração comercial da madeira e elevar os custos com a colheita, tais danos também causam prejuízos às reservas biológicas, deterioração da qualidade visual e o aumento das chances de erosão do solo descoberto.

Segundo Caruzo (2004), o tipo e a extensão dos danos dependem tanto de fatores meteorológicos, tais como a intensidade e duração do vento, como também de fatores intrínsecos à floresta, dentre os quais cita-se a densidade da distribuição das árvores, a idade, o tamanho da copa, o tipo de solo e a resistência mecânica dos troncos. O autor menciona ainda que tais fatores podem ser separados em: a) características da árvore: densidade da distribuição das árvores, idade, tamanho da copa, resistência mecânica dos troncos; b) características do plantio: densidade das árvores; c) características do solo: tipo de solo e drenagem; d) exposição topográfica: declividade, localização na encosta e; e) condições meteorológicas: intensidade e duração do vento.

Dessa forma, existem diferenças na tolerância à ação de tempestades entre clones de *Eucalyptus* de mesma idade, da mesma forma que árvores do mesmo clone quando plantadas em áreas de baixada e/ou fundo de vales são mais suscetíveis aos danos do que quando plantadas em encosta (Rosado, 2006). Também é importante considerar que a própria arquitetura da árvore, relacionada à forma e dimensões da copa, pode ser fator preponderante no seu comportamento mecânico.

Para maior conhecimento do problema e proposição de meios para reduzi-lo, é essencial que se investiguem o fenômeno do vento envolvido e as características dos clones, procurando identificar aquelas que melhor expliquem a susceptibilidade ou a resistência à ação dos ventos. Esse trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para avaliação da tolerância de árvores de eucalipto à ação dos ventos, visando principalmente à seleção de clones para plantios em áreas de maior risco de ocorrência de tempestades associadas a ventos fortes.

Material e métodos

Área de estudo e materiais utilizados

O presente trabalho foi desenvolvido em plantios da empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. A altitude nos locais de plantio varia de 230 m a 500 m, a latitude é de 19° 17' e a longitude de 42° 23'. O tipo de clima, de acordo com a classificação de Köppen é Aw, Tropical Chuvoso de Savana, com precipitação média anual de 1.205 mm. A temperatura média é em torno de 25 °C e a umidade relativa média anual é de 67,3%.

Foram utilizados 10 clones de *Eucalyptus*, híbridos entre as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*, com idades de 24 meses, plantados em locais de baixada e de encosta em espaçamento de 3,0 m x 3,33 m. As baixadas foram classificadas como as áreas de solos aluviais com alta fertilidade natural, que ocorrem ao longo dos cursos d'água, e também áreas de fundos de vales, que são aqueles solos de origem colúvio-aluvial. Esses locais geralmente apresentam uma declividade menor que 4%. Nas áreas de encosta, os solos predominantes são latossolos ou cambissolos, com baixa fertilidade e possuem uma declividade maior que 10%.

Caracterização dos clones quanto à tolerância a ventos fortes

Para caracterização do nível de tolerância de cada clone aos danos causados pela ação de tempestades, foi feita uma avaliação das árvores após a incidência de ventos na

região, classificando-se o número de árvores danificadas, conforme representado na Figura 1A. Foram considerados como danos irreversíveis as formas tombada, quebrada e arrancada, já que as árvores não voltavam à sua forma original quando atingiam esta posição.

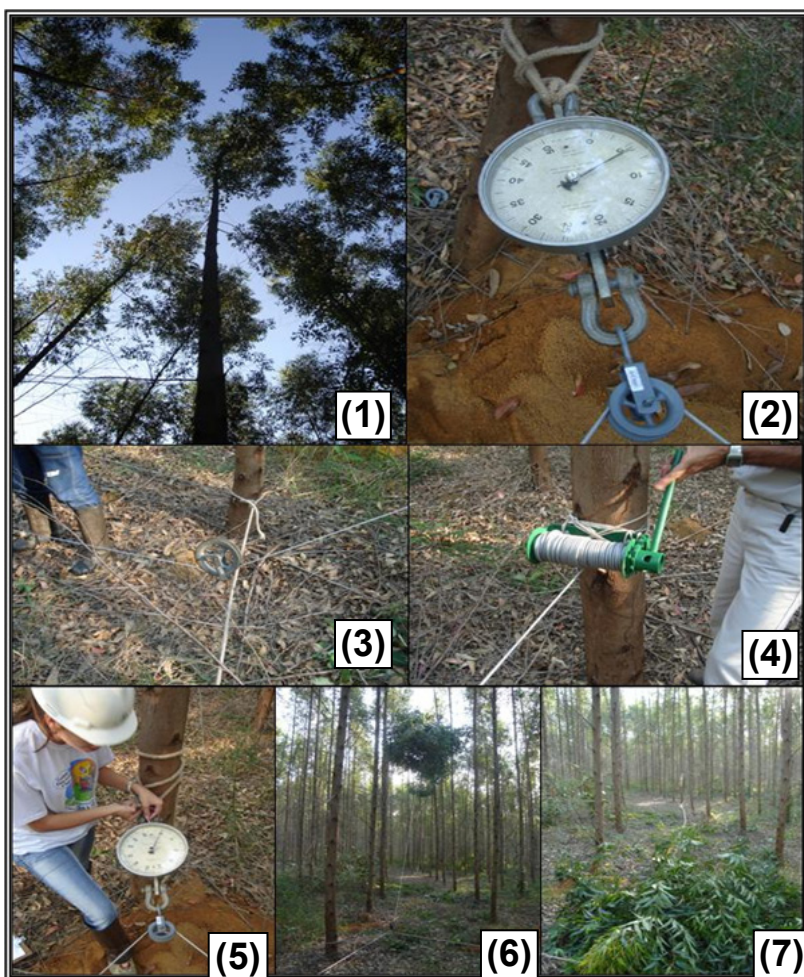
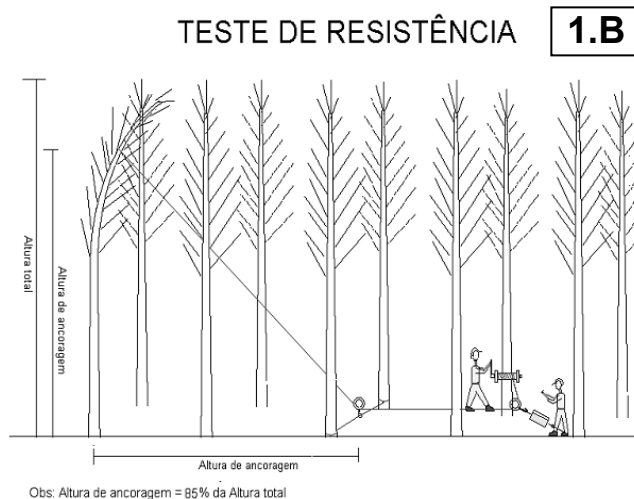
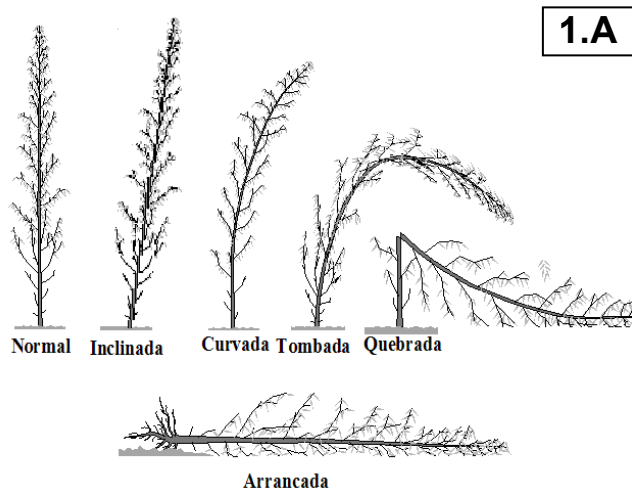


Figura 1. (A) Situação de árvores classificadas em áreas afetadas pela ação do vento; (B) esquema do sistema de avaliação de resistência de árvores ao vento; (C) etapas do esquema de avaliação da resistência a vento, em que 1) árvore selecionada; 2) dinamômetro instalado corretamente; 3) primeira roldana; 4) carretilha; 5) ajuste do dinamômetro; 6) árvore tombada devido à tração; 7) árvore quebrada após a tração.

Em seguida, fez-se um levantamento dos danos ocasionados pelo vento por clone, considerando-se somente aqueles irreversíveis, ponderados pela sua área plantada na região, classificação que deu origem à Tabela 1. Essa passou a servir de base para as comparações com novos métodos. O clone menos danificado (menor registro de danos irreversíveis) recebeu a nota de tolerância 100 e os demais notas proporcionais a esse (quanto maior o valor menor o percentual de área danificada e consequentemente mais resistente o clone).

Tabela 1. Níveis de tolerância dos clones de *Eucalyptus* aos danos causados por tempestades.

Clone	Tolerância aos danos causados por tempestades
001	54
002	100
003	82
004	66
005	68
006	64
007	61
008	87
009	74

Avaliação da tolerância dos clones via teste de resistência

O objetivo do método é simular o efeito do vento sobre as árvores, e identificar a resistência das mesmas à quebra ou deformações em sua estrutura que impeçam o retorno à forma ereta, o que, consequentemente, causa a perda da dominância apical. Uma de suas principais aplicações consiste na avaliação de clones mais resistentes à ação do vento, para que possam ser utilizados em programas de seleção para plantios comerciais em áreas de risco de danos por tempestades.

Para a condução do teste foram instaladas parcelas de 30 árvores de cada clone avaliado, em áreas com boa representatividade do ambiente e da forma de condução da floresta. Foram feitas avaliações da altura e da circunferência à altura do peito (CAP) de todas as árvores das parcelas, determinando-se o diâmetro médio. Em cada parcela foram selecionadas quatro árvores com valores de diâmetro mais próximos à média para o teste. Cada uma das quatro árvores foi puxada em uma direção diferente em relação aos pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste).

Conforme ilustrado na Figura 1b, o método consiste em amarrar inicialmente uma corda na copa da árvore, a uma altura pré-determinada de 85% da altura total da copa. Em seguida, a corda é puxada num ângulo fixo de 45°, sendo avaliadas a força necessária para tombar a árvore e a força necessária para perda permanente de dominância apical, registrada quando a copa da árvore tocava o chão ou quebrava durante o teste. Os testes foram realizados com o auxílio de um dinamômetro (Figura 1C).

Para testar a hipótese da existência de variância entre as médias dos clones quanto à resistência das árvores à ação do vento, foi realizada a análise de variância das características força necessária para tombar a árvore e força necessária para perda de dominância apical, considerando os dados de indivíduos dentro das parcelas e utilizando o software GENES, conforme Cruz (2001). Foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + E_{ij} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: $i = 1, 2, \dots, c$ = número de clones testados; $j = 1, 2, \dots, r$ = número de repetições; Y_{ij} = variável resposta da i -ésima planta, do j -ésimo clone; μ = média geral; C_i = efeito do i -ésimo clone e; E_{ij} = erro experimental.

As comparações entre as médias foram realizadas em nível de 1% de probabilidade de erro, por meio do teste Scott Knott, que tem por finalidade dividir o grupo original de médias em subgrupos, em que as médias não diferem estatisticamente entre si. Para verificar a eficiência do teste de resistência proposto, foram ajustadas equações de regressão entre os valores de força necessária para tombar e força necessária para perda de dominância apical em razão dos níveis de tolerância dos clones apresentados na Tabela 1. Foram estimadas correlações de Person entre as características altura, circunferência à altura do peito, força necessária para tombar e força necessária para perda de dominância apical, conforme a seguinte expressão:

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{V(X)V(Y)}} \quad (\text{Eq.2})$$

Em que: $\text{Cov}(X, Y)$ = covariância entre X e Y ; e $V(X)$ e $V(Y)$ = variância de X e Y , respectivamente.

Resultados e discussão

Os valores obtidos para as características força necessária para tombar a árvore e força necessária para promover a perda permanente da dominância apical (tocar a copa no solo ou quebrar) apresentaram variação significativa: Força para tombar (kgf) - \bar{X} = 49,967; CV = 3,238%; $p < 0,01$. Força para promover a perda permanente da dominância apical (kgf) - \bar{X} = 66,837; CV = 2,616%; $p < 0,01$.

Observa-se evidência de variabilidade entre os clones, o que indica a possibilidade de sucesso na seleção de materiais genéticos para estas características, as quais podem ser relacionadas à resistência das árvores aos ventos fortes. Dessa forma, as espécies de eucalipto a serem plantadas devem ser selecionadas em razão da sua resistência a este tipo de evento climático (Auer & Santos, 2011).

Na comparação entre as médias da força necessária para tombar a árvore e força necessária para promover a perda da dominância apical observa-se que o clone 001 apresentou os menores valores tanto para tombar quanto para perder a dominância, sendo este considerado mais susceptível a danos pela ação de ventos em relação aos demais (Tabela 2). Maiores valores de força necessária para tombar a árvore foram observados no clone 008, enquanto o clone 010 apresentou médias superiores na característica força necessária para perda permanente de dominância apical. Os valores observados para força necessária para causar a perda de dominância apical foram superiores aos observados para a característica força exercida para tombar as árvores, de forma que são necessários ventos mais fortes para promover a perda de dominância apical nas árvores.

Na análise de regressão entre as características nível de tolerância dos clones de *Eucalyptus* à ação dos ventos e força para perda de dominância foi observada relação linear positiva ($R^2 = 0,82$), proporcionando evidência de que essa característica pode ser um critério a ser utilizado para escolha de clones resistentes aos efeitos de ventos e tempestades na área de estudo (Figura 2A). Por outro lado, não foi possível encontrar relação linear significativa entre os valores de força necessária para tombar a árvore e tolerância dos clones, de forma que o tombamento das árvores não está diretamente associado à suscetibilidade ou resistência dos clones à ação dos ventos (Figura 2B).

A intensidade da força exercida para perda permanente de dominância apical parece ter sido o principal fator

influenciador na resposta dos materiais genéticos distintos, a qual aumenta à medida em que se aumentam as dimensões diamétricas da árvores. Foram observados nos coeficientes de correlação linear de 0,91 e 1,0 para força necessária para tombar e força necessária para perda de dominância apical, respectivamente, indicando relação diretamente proporcional entre a circunferência das árvores e a resistência à ação dos ventos fortes. Para a variável altura não foi observada correlação significativa com tais características.

Tabela 2. Agrupamento de médias pelo teste Scott Knott, para as características: força necessária para tombar a árvore, e força necessária para promover a perda permanente da dominância apical dos clones de *Eucalyptus*.

Tombamento (kgf)			Perda de dominância(kgf)		
Clone	Média	Scot Knott	Clone	Média	Scot Knott
008	62,38	a	010	87,50	a
009	57,75	b	002	82,75	b
005	57,75	b	003	77,63	c
002	54,37	c	008	72,63	d
004	53,55	c	005	67,38	e
006	51,12	d	006	66,13	e
003	51,00	d	004	63,38	f
010	41,50	e	009	63,00	f
007	34,00	f	007	47,75	g
001	30,25	g	001	40,25	h

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si, em nível de 1% de probabilidade de erro.

A variação entre os clones de *Eucalyptus* quanto à resistência mecânica dos troncos para as características avaliadas demonstra a vulnerabilidade de alguns materiais genéticos para a ocorrência de danos causados por ventos, nos quais intensidades de força leves já são prejudiciais aos povoamentos. Segundo Schelhaas (2008), as espécies diferem em susceptibilidade aos ventos devido às diferenças nas propriedades da madeira, arranjo do sistema radicular e características de copa. Assim, as variáveis climáticas presentes influenciam o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Menezes et al., 2011). Provavelmente, a dinâmica estrutural de cada material genético responde diferentemente às variações ambientais, conforme relatado por Alcoforado (1984) e Oliveira & Lopes (2007).

O teste de resistência de árvores à ação do vento proposto neste trabalho se mostrou aplicável para a seleção dos clones, permitindo-se elaborar uma escala de resistência entre os clones testados, dividida como segue: a) clones com alta resistência à ação dos ventos fortes, composta pelos clones 010, 002, 003 e 008; b) clones com média resistência: 005, 006, 004 e 009 e; c) clones com baixa resistência: 001 e 007.

Segundo Resende & Fantini Junior (2001), fenótipos de eucalipto que não cedem facilmente aos ventos ou que cedem mas retornam à posição normal são adequados para serem selecionados em programas de melhoramento, enquanto os fenótipos que quebram ou se curvam excessivamente sem retornar à posição ereta são indesejáveis nas etapas de seleção dos materiais genéticos.

Sellier & Fourcard (2005) demonstraram que a resposta das árvores a ventos fortes é mais sensível a

alterações na geometria dos eixos das árvores, incluindo diâmetro e os ângulos de inserção, e apresenta menor relação com as alterações nas propriedades da madeira. Diâmetros superiores refletem maior translocação de nutrientes advindos da fotossíntese (Gonçalves et al., 2000) e, portanto, considerando árvores de mesma altura, uma menor relação altura/diâmetro implica em maior estabilidade, sendo tais árvores mais resistentes aos ventos (Nielsen, 2005).

Entretanto, o grau de susceptibilidade das árvores ao vento pode ser influenciado também pelo tipo de sistema radicular, tamanho da copa e tratos culturais na floresta. Novos estudos devem ser feitos visando associar as características dos clones à força necessária para tombar a árvore e à força necessária para promover a perda permanente da dominância apical nas árvores de *Eucalyptus*.

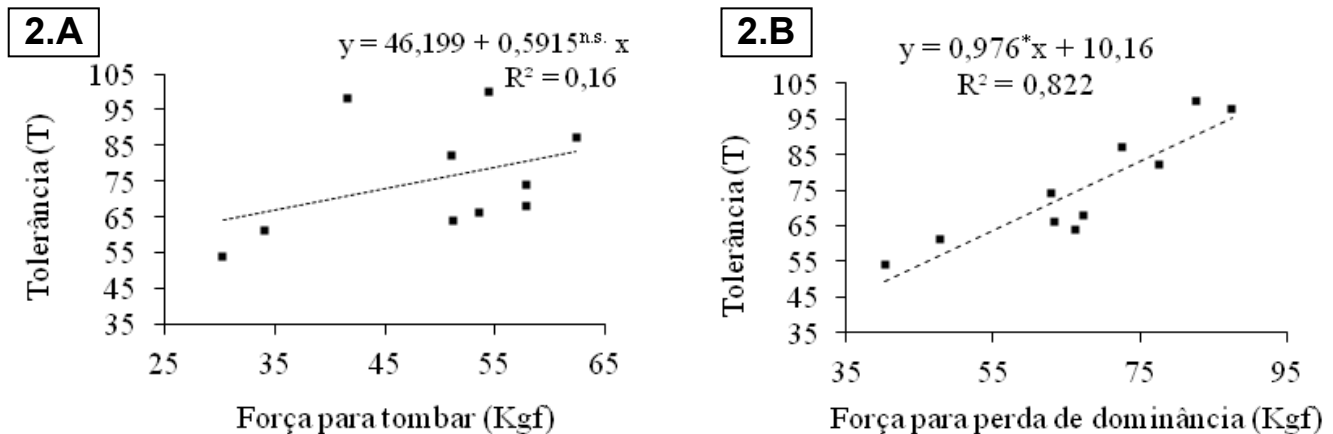


Figura 2. Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados pelos ventos em função de: (A) força obtida no teste de resistência para tombar; (B) força obtida no teste de resistência para a perda de dominância apical.

* = significativo e n.s. = não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Conclusões

Foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os clones, no que diz respeito à resistência ao vento.

Os clones 010, 002, 003 e 008 possuem alta resistência à ação dos ventos fortes; os clones 005, 006, 004 e 009 possuem média resistência e os clones 001 e 007, baixa resistência.

A metodologia proposta nesse trabalho vem como alternativa para seleção de clones quanto à resistência a ventos.

Sugere-se a aplicação dessa metodologia para seleção de clones de eucaliptos resistentes, em regiões com problemas de danos florestais devido a ventos.

Referências

- ALCOFORADO, M. J. Representação cartográfica das árvores deformadas. *Finisterra*, v. 19, n. 38, p. 137-169, 1984.
- AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Doenças em eucaliptos destinados à produção de energia na região sul do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Brasília, DF, v. 31, n. 68, p. 373-379, 2011.
- BOMERSHEIM, W. P. **After the storms**: impact of the December 1999 storms which hit Europe. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/ffpd/wood-circulars/jun00/europe.pdf>>. Acesso em 12 out. 2009.
- CARUZO, A.; ITO, E. R. K. IDE, F.; MOREIRA, D. S.; ROCHA, H. R. **Danos provocados por ventos em florestas plantadas**: identificação de alternativas para mitigação de efeitos: relatório climático. Belo Oriente: WM7 Meteorologia & Laboratório de clima e biosfera USP, 2004, 131 p.

- CRUZ, C. D. **Programa genes**: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 648 p.
- FINNIGAN, J. Turbulence in plant canopies. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 32, n. 1, p. 519-571, 2000.
- GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.310-350.
- LANGRE, E. Effects of wind on plants. **Annual Review of Fluid Mechanics**, Palo Alto, v. 40, p. 141-168, 2008.
- MENEZES, S. J. M.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; ANDRADE, R. G. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração em plantios de eucalipto utilizando o algoritmo sebal e imagem landsat 5 – tm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 649-657, 2011.
- NIELSEN, C. N. Forest management for improved wind stability. In: _____. **Adaptive physiology and tree management**. [S.l.]: Samfundslitteratur Life Sciences, Thorvaldsensvej Denmark, 2005.
- OLIVEIRA, S.; LOPES, A. **Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes**: o caso de Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 6., 2007, Lisboa. Anais... Lisboa, 2007. p. 1-21.
- RESENDE, M. D. V.; FANTINI JUNIOR, M. **Bifurcação e quebra de copa em eucalipto**: efeitos genéticos, ambientais e silviculturais. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 63).
- ROSADO, A. M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006. 43 f. Monografia (Especialista em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SCHELHAAS, M. J. The wind stability of different silvicultural systems for Douglas-fir in the Netherlands: a model-based approach. **Forestry**, Oxford, v. 81, n. 3, p. 399-412, 2008.
- SELLIER D.; FOURCAUD T. A mechanical analysis of the relationship between free oscillations of *Pinus pinaster* Ait. saplings and their aerial architecture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 1, p. 1563–1573, 2005.
- SILVEIRA, R. A.; MONTAGNER, L. H.; ONUKI, M. Variação da resistência a ventos em procedências de *Eucalyptus saligna* na região de Guairá, RS. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 13, p. 1-8, dez. 1986.
- STATHERS, R. J.; ROLLERSON, T. P.; MITCHELL, S. J. **Windthrow handbook for British Columbia forests**. Victoria, B.C.: Ministry of Forests Research Program, 1994. 31 p.

