

INTERAÇÃO ÁRVORES E VENTOS: ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS E SILVICULTURAIS

INTERACTION OF TREES AND WINDS: ECOPHYSIOLOGICAL ASPECTS AND FORESTRY

Glauciana da Mata Ataíde¹ Renato Vinícius Oliveira Castro² Anne Caroline Guieiro Correia³
Geraldo Gonçalves dos Reis⁴ Maria das Graças Ferreira Reis⁵ Antônio Marcos Rosado⁶

RESUMO

Em diversas partes do 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 troncos ou arrancando árvores. Tem sido constante a preocupação em entender tanto o fenômeno quanto a tolerância das espécies plantadas nos diferentes ambientes sujeitos à atuação dos ventos. Dessa forma, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a ação dos ventos em florestas, abordando os aspectos silviculturais e ecofisiológicos. O conhecimento das características anatômicas, físicas e mecânicas da madeira, assim como dos fatores do ambiente possibilita uma melhor compreensão do problema, de forma a facilitar a proposição de medidas que minimizem os danos.

Palavras-chave: danos por ventos; pesquisa e desenvolvimento florestal; adaptação fisiológica.

ABSTRACT

In many parts of the world, significant damage to forests are seen due to the action of strong winds, as they occur on tops of trees and can irreparably damage whole forest settlements, breaking or uprooting trees. It has been a constant concern to both understand the phenomenon as the tolerance of genotypes grown in different environments subject to performance of these meteorological phenomena. Thus, this work was carried out as a bibliographic research on the effect of wind on forests, addressing ecophysiological and silvicultural aspects. The knowledge of anatomical, physical and mechanical properties of wood, as well as the environmental factors, allows a better understanding of the problem in order to facilitate the proposal of measures to minimize damages.

Keywords: Wind damage; forestry research and development; physiological adaptation.

1 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba, Av. Dr. José Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP 36180-000, Rio Pomba (MG), Brasil. glaucianadamata@yahoo.com.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João del Rei, UFSJ, Campus Sete Lagoas, Rua Sétimo Moreira Martins, 188, Itapoã, CEP 35702-031, Sete Lagoas (MG), Brasil. castrorvo@ymail.com

3 Engenheira Florestal, Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, Av. PH Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. aguieirocorreia@yahoo.com.br

4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Av. PH Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. greis@ufv.br

5 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora Titular Voluntária do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Av. PH Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. mgfreis@ufv.br

6 Engenheiro Florestal, Doutor em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa, Av. PH Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. antonio.rosado@cenibra.com.br

INTRODUÇÃO

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 (TELEWISK, 2006). 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 do local (NIELSEN, 2005).

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. O presente trabalho objetivou realizar uma pesquisa bibliográfica sobre a formação dos ventos, os fatores associados ao ambiente e à planta que favorecem a ocorrência de danos, assim como seus possíveis efeitos sobre o crescimento e qualidade da madeira.

FORMAÇÃO DOS VENTOS

O vento é caracterizado como o movimento do ar em relação à superfície terrestre. Representa o deslocamento horizontal de uma massa de ar, e ocorre em consequência dos contrastes de pressão atmosférica em grandes espaços, quando duas massas de ar de densidades diferentes (pressões diferentes) interagem. Assim, forma-se um fluxo de ar da região da maior pressão para a região de menor pressão, até que as pressões entre essas regiões se estabilizem (GEIGER, 1990).

A força que leva o ar de uma região de alta para uma baixa pressão é chamada força de gradiente de pressão, sendo necessário dois fatores para especificar o vento: sua direção e sua força ou velocidade. A direção pode ser definida como a rota que o vento segue, ou seja, de e para qual ponto da bússola o vento sopra (norte, nordeste, sudoeste, etc.). Já a velocidade ou força refere-se à intensidade com que esses ventos são formados, que pode ser medida em metros por segundo, milhas por

hora, ou como força na Escala de Beaufort (FORSDYKE, 1981). A taxa de movimento do ar de uma área é geralmente expressa como a média da velocidade do vento em um intervalo de tempo (BURTON et al., 2011).

A direção e a intensidade do vento sofrem influências modificadoras ao longo de sua rota, citando-se como exemplos os movimentos de frentes atmosféricas do tipo ciclônicas, o movimento de rotação da terra e o atrito com a superfície terrestre e/ou objetos à sua frente (AYOADE, 2007). Segundo Burton et al. (2011), a velocidade do vento é afetada tanto pela configuração da topografia e massa vegetal, como pela posição do local em relação às linhas costeiras e pelos caminhos de circulação dos ventos. Sendo assim, o vento influencia diretamente, no microclima de uma área, podendo ter efeitos tanto favoráveis quanto desfavoráveis sobre culturas, dependendo da circunstância de sua ocorrência (PEREIRA et al., 2002).

Deve-se ponderar, também, que a presença de vegetação densa em dado local pode criar zonas protegidas e reduzir a velocidade do vento em até 85% do inicial, quando comparada a áreas sem árvores (ROSSETTI et al., 2010).

AÇÃO DOS VENTOS SOBRE AS ÁRVORES

O vento apresenta-se como fator ecológico com múltiplos efeitos para as espécies lenhosas. Sob baixas intensidades, o vento carrega as moléculas de vapor d'água sobre a superfície das folhas, favorecendo as trocas gasosas e sua refrigeração (TAIZ e ZEIGER, 2004), promovendo assim aumento na produção. Em maiores intensidades, no entanto, promove aumento na transpiração de tal maneira que chega a prejudicar o crescimento das plantas, que não seguem seu ritmo normal (DIXON e GRACE, 1984).

O vento prevalecente em uma região nunca é estável, mas geralmente ocorre em uma série de rajadas seguidas por momentos de calma, onde as rajadas fortes duram apenas alguns segundos, mas que devido às suas elevadas velocidades são capazes de provocar danos catastróficos às árvores (FORSDYKE, 1981). De acordo com a escala de Beaufort, que quantifica os ventos e indica suas consequências, velocidades do vento de

55 a 65 km/h já são capazes de provocar quebra das árvores, enquanto ventos de 78 a 90 km/h são responsáveis pelo arranquio, com consideráveis danos estruturais (DAVIES, 1972).

A força exercida pelos ventos, ao incidir horizontalmente sobre a parte exposta da árvore, gera uma combinação de torques por torção e flexão na base desta, e, caso esse torque seja maior que a resistência do sistema de enraizamento da árvore, ocorre o arrancamento da mesma. Quando o sistema radicular da planta apresenta-se mais desenvolvido, o tronco se rompe previamente e ocorre a sua quebra (STATHERS et al., 1994). Para ventos de menores intensidades podem ocorrer danos como inclinação da árvore, quebra de galhos e desfolhamento (ZIELONKA et al., 2010).

Segundo Kozlowski (1962), mensurar o efeito do vento no crescimento das árvores pode ser complicado, uma vez que normalmente a exposição aos ventos é acompanhada de um aumento na evaporação da umidade do solo, e a redução do crescimento nas árvores pode ser devida também ao suprimento insuficiente de umidade no solo. No entanto, um dos fatores ambientais que mais significativamente influencia na quebra das árvores pelo vento é a presença do chamado vento climatológico, o qual é caracterizado como sendo o vento médio de uma região não associado às chuvas. As árvores nas bordas dos povoamentos ou isoladas na paisagem desenvolvem mecanismos de adaptação a esse esforço constante, conferindo maior resistência do tronco à quebra quanto maior for sua velocidade, além de desenvolverem sistema radicular mais extenso (ANDERSON e SMITH, 1976).

Como a presença do vento climatológico promove uma resistência do tronco, quanto maior for a diferença entre os ventos mais fortes da região em relação ao vento climatológico, maior será a chance dos ventos fortes danificarem as árvores. E, conseqüentemente, quanto menor for a diferença entre o vento climatológico e os ventos fortes, mais próximas estarão suas intensidades e menos sentirão as árvores os efeitos dos ventos mais fortes (ROSADO, 2006).

DANOS PROVOCADOS POR VENTOS EM PLANTIOS FLORESTAIS

Os danos florestais provocados pela ação de tempo severo e ventos fortes causam recorrentes perdas econômicas em todo o mundo. Em 1999, por exemplo, 175 milhões de metros cúbicos de floresta foram derrubados devido à ocorrência de tempestades na Europa (BOMERSHEIM, 2000).

Esses danos são caracterizados como modificações não hereditárias das plantas, que fazem com que a árvore assuma uma forma diferente de crescimento, desde a simples inclinação no tronco e desfolhamento, até a queda ou arranque das árvores. Quando as árvores são tombadas, quebradas ou arrancadas, os danos são considerados como irreversíveis, haja vista que ocorre a perda de dominância apical das árvores, com conseqüente perda na produção (ROSADO, 2006), enquanto as árvores inclinadas podem retornar ao seu aspecto normal, desde que cesse o evento climático prejudicial.

Além de penalizar a qualidade da madeira e a produtividade da extração comercial, elevando assim os custos com a colheita, tais danos também podem causar prejuízos às reservas biológicas, citando-se como exemplos: perda da qualidade visual, avarias à fauna (danos ao *habitat* e fontes de alimentação) e aumento das chances de erosão do solo descoberto.

Em florestas juvenis e povoamentos com crescimento rápido, o impacto e os danos econômicos provocados pelos ventos é particularmente mais severo (TALKKARI et al., 2000), estando o maior risco de dano também associado aos locais adjacentes às áreas onde houve corte raso ou desbaste das árvores vizinhas, considerando-se que as árvores restantes ainda não estão aclimatadas aos ventos da região (ALEXANDER, 1964; NEUSTEIN, 1965 *apud* TALKKARI et al., 2000). Em relação à estação e meses do ano, Belli et al. (2009) observaram aumento significativo na velocidade dos ventos na primavera e verão, no município de Campinas - SP, enquanto Bueno et al. (2011) destacaram os meses de setembro a fevereiro como os que apresentaram probabilidades superiores de ocorrências de ventos fortes em Lavras - MG.

A ocorrência de danos por ventos em plantações de eucalipto no Brasil é assunto

relativamente recente e pouco estudado, porém, já existem registros de danos causados por tempestades em várias regiões do país, como no oeste e no norte de Minas Gerais, sul da Bahia, Espírito Santo, vale do Paranaíba e oeste de São Paulo (ROSADO, 2006). O autor citou ainda que em algumas empresas florestais este dano pode alcançar valores superiores a 1000 ha em um ano (Figura 1).

Os ventos que causam danos às plantações brasileiras geralmente ocorrem associados a fortes tempestades e em estações chuvosas, estando os maiores prejuízos concentrados entre os meses de novembro e março, época em que o solo está mais saturado de água, e, conseqüentemente, as raízes têm um poder de fixação menos efetivo (ROSADO, 2006). As árvores que possuem aproximadamente 24 meses de idade são as mais afetadas, pela condição de que alcançaram um estágio de crescimento (relação copa/tronco) em que estão mais vulneráveis aos efeitos maléficis das condições ambientais.



FIGURA 1: Plantios clonais de eucalipto afetados pelo vento na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

FIGURE 1: Clonal eucalyptus plantations wind affected in Vale do Rio Doce, Minas Gerais state.

PESQUISAS VISANDO À COMPREENSÃO DAS RELAÇÕES ÁRVORES X VENTOS

A nível internacional, as pesquisas de implementação de técnicas de manejo visando a resistência das árvores aos ventos relacionam-se principalmente com o estudo de espécies de coníferas, as quais constantemente são afetadas pela ação dos ventos fortes. Cabe ressaltar, entretanto, que a análise da qualidade e quantidade da madeira afetada por essas injúrias é um estudo que envolve multidisciplinaridade,

e que é pouco explorada até o momento.

A União Internacional das Organizações de Pesquisas Florestais (IUFRO) vem atuando nesta linha de pesquisa, onde pesquisadores de várias partes do mundo se reúnem em congressos e seminários para discutirem sobre as causas, efeitos e possíveis soluções os danos provocados por ventos em florestas.

Jaffe (1973, 1980) utilizou o termo *thigmomorphogenesis* para descrever as respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas das plantas aos ventos e a outras perturbações mecânicas. Pesquisas, estudando o tema, vêm sendo desenvolvidas com espécies arbóreas distintas (PRUYN et al, 2000; TELEWSKI e JAFFE, 2006; ANTEN et al., 2010).

O primeiro evento internacional realizou-se em 1993, na cidade de Edimburgo, Reino Unido, intitulado “Wind and Trees”, onde as sessões apresentadas foram publicadas no livro “Wind and Trees” (1995). Em 1998 ocorreu a conferência de Joensuu, na Finlândia, nomeada “Wind and other abiotic risks to forests”, seguida pela conferência de Karlsruhe (Alemanha) em 2003, que discutiu sobre “Wind effects on trees”. Recentemente, no período de 13 a 16 de outubro de 2009, realizou-se a segunda conferência “Wind and Trees” na Universidade de Freiburg, Alemanha.

FATORES QUE INFLUENCIAM NA SUSCEPTIBILIDADE AO VENTO

Fatores ambientais

O crescimento e o desenvolvimento de uma planta são regulados tanto por fatores endógenos quanto por fatores externos, sendo estes últimos de fundamental importância na compreensão das condições e limites para sua sobrevivência. Em microclimas favoráveis, ocorre o sincronismo do desenvolvimento da planta com as condições ambientais, favorecendo assim a velocidade e extensão do crescimento (LARCHER, 2006). Sendo assim, o grau de susceptibilidade das árvores à ação dos ventos está diretamente relacionado aos fatores ambientais e de localização das florestas.

Segundo Oliveira e Lopes (2007), dentre os fatores que influenciam a resistência das árvores a quedas destacam-se, além das características biofísicas e fitossanitárias

das árvores, as condições meteorológicas e as características dos locais onde se encontram as florestas. Neste contexto, árvores em locais inadequados apresentam maior susceptibilidade, com chances superiores de serem derrubadas pelos ventos (RICE e RONGZHOU, 2011).

Localização topográfica

As árvores que sofrem mais constantemente a ação dos ventos são aquelas situadas em locais onde a frequência e velocidades destes são mais elevadas. Esta localização depende da topografia do local, a qual pode afetar tanto a exposição das árvores ao vento quanto a velocidade, intensidade e turbulência das correntes de ar.

Os vales são geralmente conhecidos por oferecerem abrigo às árvores quando comparados às superfícies mais elevadas e escarpadas, como os topos de morro. Porém, o grau de abrigo varia com a forma do vale e a direção do vento (RUEL et al., 1998). Esses autores, ao avaliarem o comportamento dos ventos em diferentes topografias, concluíram que as colinas estão expostas a ventos mais fortes que outras regiões

topográficas, qualquer que seja o local de origem das massas de ar, uma vez que estas apresentaram pouca variação em sua velocidade quando consideradas as diferentes direções.

Segundo Alcoforado (1984), árvores situadas em locais com altitudes mais baixas e abrigadas dos ventos apresentam menor quebra e dobramento dos ramos, quando comparadas a árvores localizadas em terrenos inclinados e em maiores altitudes, onde foram observadas modificações no porte das árvores, com suas copas fortemente inclinadas na direção dos ventos predominantes.

No entanto, em plantios de eucalipto na região leste de Minas Gerais foram observados maiores danos por ventos em árvores localizadas em áreas de baixada ou fundo de vales, quando comparadas às árvores de mesmo material genético plantadas em locais de encosta. Tal diferença se deve principalmente à menor incidência de ventos climatológicos em regiões baixas, onde se pode observar que para plantios clonais em que as copas tendem a coincidir em altura os ventos climatológicos atuam principalmente nas árvores de bordadura, promovendo assim maior resistência nestas e pouca ou quase nenhuma nas árvores internas dos talhões, que passam a estar muito

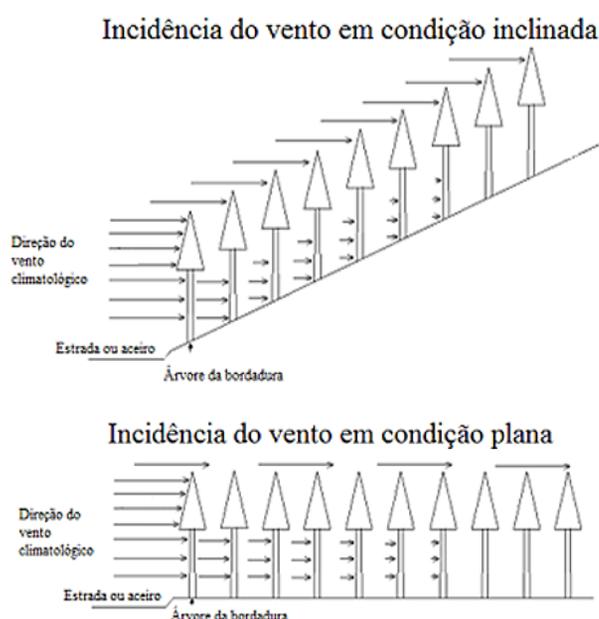


FIGURA 2: Estrutura esquemática da ocorrência de ventos climatológicos em diferentes condições topográficas (ROSADO, 2006).

FIGURE 2: Occurrence schematic structure of climatic winds in different topographic conditions (ROSADO, 2006).

vulneráveis aos ventos fortes, conforme mostra a Figura 2 (ROSADO, 2006).

Atenção especial deve ser dada à localização das árvores em lugares onde o vale se estreita, o que pode levar à canalização dos ventos. A canalização é um fenômeno que ocorre dos locais de baixa para alta altitude, quando os ventos percorrem um vale estreito, fazendo com que as linhas de fluxo das correntes de ar afunilem-se, acelerando o fluxo e aumentando significativamente sua velocidade. As áreas laterais das colinas e a parte inferior das encostas também são áreas preferenciais para um leve aumento da velocidade do vento e da turbulência (ALCOFORADO, 1984).

Características do solo

As características do solo afetam o grau de susceptibilidade das árvores aos ventos fortes pela interação dos seguintes fatores: profundidade, drenagem e estrutura (densidade, textura e pedregosidade), uma vez que estes estão diretamente relacionados com a ancoragem do sistema radicular das árvores (STATHERS et al., 1994). Em solos bem drenados e com profundidade elevada, o sistema radicular apresenta-se melhor desenvolvido que em solos saturados, rasos ou com densidade elevada, sendo menos vulneráveis à queda provocada pelo vento.

As áreas de solo saturado com pouca capacidade de drenagem desestimulam o aprofundamento das raízes, e as árvores apresentam menor resistência ao tombamento pelo vento (MOORE et al., 2008). Segundo Coutts (1983), a distribuição e capacidade de fixação das raízes são afetadas pela textura e consistência do solo, sendo a queda das árvores menos provável em solos argilosos, que apresentam maior coesão. Além dos aspectos citados, a interação entre as propriedades físicas do solo e fatores como velocidade do vento e precipitação é determinante no risco de derrubada das árvores pelo impacto dos ventos.

Características das árvores

As características das árvores e sua posição sociológica na floresta são fatores determinantes na susceptibilidade aos danos por ventos fortes, uma vez que são relacionadas à sua resistência aos momentos tensor e flexor, assim como à sua estabilidade lateral (STATHERS et al., 1994),

destacando-se altura, diâmetro e a forma do tronco; a forma e o tamanho da copa; a área, a profundidade e a malha do enraizamento.

Plasticidade e elasticidade

A plasticidade fenotípica das espécies relaciona-se com a capacidade das árvores se adaptarem às condições ambientais sem sofrerem danos em sua estrutura, mediante ajustamentos morfológicos e/ou fisiológicos (SCHEINER, 1993). Essa característica é de fundamental importância na análise das respostas das árvores a diversos estresses ambientais, o que a torna também necessária na análise da resistência dos troncos aos danos por ventos. Assim, árvores com plasticidade elevada são também mais resistentes aos ventos fortes (NIELSEN, 2005), haja vista que tendem a possuir maior amplitude de estabilidade sob condições adversas, se ajustando às alterações do meio ambiente. Apenas quando a força dos ventos ultrapassa o limite de plasticidade que determinada espécie apresenta, esta perde sua estabilidade, quebrando ou sendo arrancada dos solos.

A elasticidade, por sua vez, reflete a força que é necessária ser aplicada sobre determinado material para provocar danos em sua estrutura. Quanto mais elástico for o material, porém, com elevada resistência, maiores deformações poderá sofrer sem chegar ao colapso, pois não apresentará ruptura frágil (MELO, 2004). Dessa forma, espécies e/ou materiais genéticos que apresentam

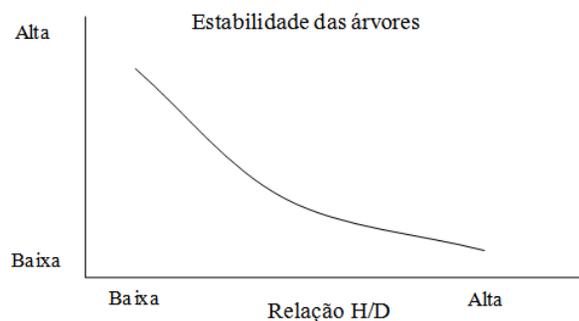


FIGURA 3: Relação altura/diâmetro das árvores em função de sua estabilidade (Adaptado de NIELSEN, 2005).

FIGURE 3: The relation height-diameter of trees according to their stability (Adapted from NIELSEN, 2005).

módulo de elasticidade superior possuem menores riscos de sofrerem a ação dos ventos fortes.

Altura e diâmetro das árvores

Com a exposição das árvores aos esforços mecânicos causados pela ação dos ventos ocorre uma tendência linear de redução no crescimento em altura com simultâneo aumento no crescimento radial do caule como forma de adaptação das árvores para aumentar sua estabilidade (NIELSEN, 2005). Segundo o autor, reduzindo-se a relação altura/diâmetro (H/D), as árvores tendem a ser mais estáveis, conforme apresentado na Figura 3.

Bruchert e Gardiner (2006) observaram que árvores de *Picea sitchensis* expostas aos ventos tendem a apresentar menor altura e serem mais afuniladas em direção ao tronco, permitindo rigidez à flexão da base do tronco. Essas árvores, por já estarem ajustadas para equilibrar a estabilidade contra as forças do vento, balançam com menor amplitude e frequência, o que ajuda a impedir que o sistema radicular se torne enfraquecido e ceda às pressões dos ventos, como também relatado por Telewski (2006). Em concordância, Schelhaas (2008), estudando povoamentos de *Pseudotsuga menziesii* submetidas a ventos fortes na Holanda, relatou que sistemas silviculturais com baixas relações altura/diâmetro (h/d) são mais bem sucedidos em evitar danos às estruturas das árvores, ou seja, com aumento na altura durante o crescimento é necessário que haja também incremento em diâmetro para manter a relação h/d satisfatória à estabilidade do plantio.

Silveira et al. (1986) observaram correlação positiva entre a forma do tronco e a resistência ao vento para procedências australianas de *Eucalyptus saligna*, onde foi observada uma menor frequência de árvores danificadas pelo vento nas classes em que estas apresentavam fuste mais reto.

Arquitetura de copa e sistema radicular

Árvores que apresentam densidade de copa grande ou média são mais vulneráveis aos impactos dos ventos quando comparadas a árvores com menores copas, devido principalmente à maior área de exposição (STATHERS et al., 1994).

Bruchert e Gardiner (2006) não observaram diferença significativa no comprimento da copa e na relação quantidade de copa/altura da árvore em árvores de *Picea sitchensis* quando submetidas a diferentes exposições ao vento, relatando que a estrutura da copa não influenciou na resistência das árvores. No entanto, a altura da base da copa apresenta-se menor nas árvores mais expostas aos ventos, seguindo uma tendência de crescimento à medida que se diminui a exposição ao vento.

Vários estudos indicam que ocorrem maiores danos às árvores que possuem sistema radicular menos estruturado, resultante principalmente de solos saturados ou com profundidade de enraizamento restrita (COUTTS, 1983; NICOLL et al., 2008; STATHERS et al., 1994). Além disso, em algumas espécies ocorre um incremento em raízes estruturais como mecanismo de adaptação das árvores às condições a que estão sujeitas (NIELSEN, 2005; BRUCHERT e GARDINER, 2006; NICOLL et al., 2008).

Segundo Moore et al. (2008), um aumento da incidência de árvores derrubadas é devido à diminuição na relação raiz/parte aérea. Assume-se que as forças que agem para desestabilizar a árvore são proporcionais à biomassa acima do solo, enquanto aquelas que agem para resistir às cargas aplicadas são proporcionais à biomassa abaixo do solo. Portanto, uma redução na relação raiz: parte aérea irá resultar em um aumento do risco de queda. O autor citou ainda que altos níveis de fertilidade do solo refletem em um aumento na biomassa acima do solo maior que o aumento correspondente na biomassa radicular, levando a uma redução global da relação raiz: parte aérea.

CARACTERÍSTICAS DO PLANTIO E PRÁTICAS SILVICULTURAS

Escolha da espécie

Durante o desenvolvimento de um projeto de implantação florestal, uma característica de vital importância é a escolha adequada da espécie a ser utilizada. Variações entre espécies e entre materiais genéticos dentro da mesma espécie podem levar ao sucesso ou insucesso do empreendimento, visto que as espécies adaptam-se diferentemente às condições ambientais do local de plantio. Portanto, a utilização de espécies ou materiais

genéticos com informações prévias sobre sua silvicultura e necessidades pode proporcionar melhor aproveitamento de luz, nutrientes e água disponíveis no solo.

Neste contexto, torna-se fundamental a seleção de espécies que apresentam maior tolerância aos danos provocados por ventos fortes nos locais de maiores riscos de incidência. As espécies diferem em susceptibilidade aos ventos devido às diferenças nas propriedades da madeira, arranjo do sistema radicular e características de copa (SCHELHAAS, 2008). As principais características que predisõem as árvores à queda são: inclinação do tronco superior a 40°, presença de fungos e apodrecimento, troncos e galhos ocos, cavidades no tronco e danos de batidas ou lesões de casca no tronco (PEREIRA et al., 2011).

Asner e Goldstein (1997), ao avaliarem a porcentagem de árvores danificadas pelos ventos após uma tempestade no Havaí, observaram que as espécies *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii* foram muito susceptíveis aos ventos ocorridos, apresentando 64% e 57% de árvores quebradas, respectivamente. A espécie *Metrosideros polymorpha*, uma mirtácea endêmica das ilhas Havaianas, por sua vez, foi a menos afetada, com valor de apenas 8%.

Densidade e distribuição das árvores

O espaçamento a ser adotado durante a implantação de uma floresta deve ser escolhido em função de diversos fatores, tais como: a forma de copa e sistema radicular da espécie, a fertilidade do solo, as desramas naturais, a finalidade do plantio e a possibilidade de mecanização das operações (PAIVA, 2007). Ao definir sobre qual espaçamento utilizar, deve-se procurar oferecer a cada árvore do povoamento área suficiente para obter o máximo de produção e qualidade para o fim a que se destina.

A densidade do plantio afeta o fluxo do vento e, portanto, a força necessária para provocar danos às árvores. O aumento da densidade das árvores no povoamento reduz a estabilidade das mesmas, por possuírem menor área útil para crescimento em raiz e parte aérea. No entanto, Nielsen (2005) cita que espaçamentos grandes implicam em baixa qualidade da madeira de coníferas na Europa, apesar da alta estabilidade do povoamento. O mesmo autor sugere que espaçamentos maiores

que 2 x 2 metros já apresentam estabilidade satisfatória aos ventos. No entanto, Stathers et al. (2004) destacam que as populações de árvores plantadas com grande adensamento homogêneo podem aumentar a resistência aos danos por ventos, uma vez que diminuem a rugosidade aerodinâmica da superfície. Neste sentido, podas devem ser realizadas com planejamento para que o espaço liberado na floresta não aumente a exposição dos indivíduos aos ventos.

Desbaste

Tratamentos silviculturais são práticas realizadas em um povoamento florestal com a finalidade de potencializar o crescimento e desenvolvimento das árvores, apresentando-se como ferramenta importante para a conquista de bons mercados e para se obter um fluxo contínuo de matéria-prima.

Dentre esses tratamentos silviculturais destaca-se o desbaste, caracterizado como a remoção de uma proporção de árvores em um povoamento florestal, com o fim de proporcionar maior espaço para crescimento das árvores remanescentes (CAMPOS e LEITE, 2009), distribuindo assim o potencial de crescimento do sítio florestal em um número reduzido de indivíduos.

No entanto, povoamentos desbastados podem aumentar significativamente as chances de ocorrência de danos por ventos (STATHERS et al., 1994). Após a operação de desbaste e com o retorno do crescimento pelas árvores, ocorre uma gradual perda dos níveis de resistência do povoamento. Segundo Nielsen (2005), um povoamento de coníferas nunca atinge o mesmo nível de estabilidade que tinha antes do desbaste, e povoamentos mais velhos levam mais tempo para a reconstrução da estabilidade após o desbaste.

Efeito similar ocorre quando há a queda aleatória de árvores na borda dos povoamentos. As plantas restantes atingem um ponto de instabilidade e têm que se readaptar para não sofrerem danos pelos ventos, pois anteriormente à remoção das árvores vizinhas estavam abrigadas por estas, possuindo assim arquiteturas mecânicas menos robustas, e maior susceptibilidade à ação dos ventos fortes (ROWE e SPECK, 2005).

EFEITO DO VENTO SOBRE AS ÁRVORES

Efeito dos ventos na fisiologia das árvores

Os ventos, ao incidirem sobre as árvores, aumentam a transpiração das árvores, uma vez que removem as camadas de ar úmido que tendem a se acumular sobre a superfície da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004). No entanto, à medida que se aumenta a intensidade e a exposição das árvores ao vento, a transpiração é diminuída, provocando redução no metabolismo devido ao fechamento dos estômatos, e prejudicando a fixação de dióxido de carbono e fotossíntese. A diminuição da transpiração também traz como consequência a redução do *status* hídrico das plantas, que resulta em menor incremento em matéria seca (SATO, 1962).

A velocidade do fluxo de seiva no xilema das árvores acompanha a velocidade do fluxo transpiracional da planta à medida que não hajam resistências ao processo de absorção, onde o fluxo transpiracional está diretamente ligado à composição anatômica dos vasos condutores (LARCHER, 2006). Dessa forma, sob condições de estresses por ventos e menor atividade fisiológica, ocorre a produção de elementos vasculares menores e em menor diâmetro, o que prejudica a velocidade de condução de água para as folhas. Como mecanismo para manter a árvore ereta e resistir aos impactos negativos causados por ventos fortes, as folhosas produzem lenho de reação no lado exposto ao vento, no qual foram observados elementos vasculares menores e menos frequentes em árvores de *Eucalyptus* submetidas à ação dos ventos (SOUSA, 2004).

O aumento da transpiração das árvores nos momentos iniciais de exposição aos ventos implica também em um aumento nas pressões negativas da água dentro dos vasos xilemáticos, que ficam mais susceptíveis à obstrução do conduto devido à formação de bolhas em seu interior (JANSEN et al., 2004). Neste contexto, os vasos de menor diâmetro formados por árvores que apresentam lenho de reação tendem a reunir os fatores segurança e eficiência, por apresentarem menores riscos de quebra da continuidade da coluna de água devido ao fenômeno da cavitação.

No entanto, cabe ressaltar que essas interações entre o transporte de água e nutrientes pela planta e sua adaptação às interrupções e mudanças no ambiente precisam ser mais bem

estudadas, com enfoque principalmente nos aspectos fisiológicos e anatômicos das espécies, com a finalidade de compreender melhor os processos que regem o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Formação de madeira de tração

O crescimento das árvores é devido à presença de tecidos designados meristemas, dotados de capacidade de produzir novas células (KOZLOWSKI, 1962). O crescimento em altura é devido ao meristema apical, que se localiza no ápice do tronco e ramos, enquanto o crescimento em diâmetro deve-se à atividade dos meristemas secundários (câmbio vascular e felogênio ou câmbio da casca), tecido constituído por uma camada de célula que se localiza entre o floema e o albúrnio (GLÓRIA e GUERREIRO, 2003).

O crescimento em diâmetro do caule é realizado graças às iniciais fusiformes, que se dividem tangencialmente em duas células, uma delas permanece meristemática como a cambial inicial e a outra cresce, divide-se uma ou mais vezes, diferenciando-se em célula madura do floema ou xilema secundário. A adição de novos tecidos vasculares e o consequente aumento do diâmetro do caule ocorrem de forma mais acentuada durante as estações de primavera e verão, quando a árvore produz maior quantidade de hormônios, formando os anéis de crescimento de forma simétrica nas árvores (BURGER e RITCHER, 1991).

No entanto, quando forças como ventos fortes atuam no tronco das árvores, estas reagem formando um tipo especial de lenho na madeira, chamado lenho de reação, que visa compensar o esforço imposto pelo agente externo, oferecendo estabilidade ao tronco e mantendo assim as árvores eretas (MONTEIRO et al., 2010). Nas coníferas, o lenho de reação situa-se geralmente na região de compressão, sendo chamado lenho de compressão, enquanto as folhosas desenvolvem o lenho de tração, por ocorrer mais na parte que é tracionada. A formação do lenho de reação é devido ao estímulo ao crescimento radial, ocasionado pelo aumento da atividade cambial nessas regiões, que resultam na formação de anéis de crescimento assimétricos (GLÓRIA e GUERREIRO, 2003).

Sousa (2004), ao avaliar parâmetros

físicos, químicos e anatômicos da madeira de tração em árvores de *Eucalyptus grandis* inclinadas pela ação dos ventos aos quatro anos de idade, observou que a madeira de tração possui maior densidade básica e maior contração volumétrica que a madeira normal, ocorrendo um aumento da densidade básica com a altura da árvore. Tais resultados indicam que a madeira de tração está concentrada na parte mais alta das árvores, justamente em locais de maior curvatura pelos ventos. Foram observados também menores teores de lignina e de extrativos na madeira de tração, cabendo ressaltar que menores teores de lignina nas árvores resultam em troncos mais sensíveis à quebra e inclinação pela ação de esforços externos.

A madeira de tração contém uma quantidade menor de vasos que a madeira normal, sendo esses vasos de menor diâmetro e geralmente bem lignificados, porém, às vezes podem apresentar pequena lignificação (KOZLOWSKI, 1971). O mesmo autor cita que a formação da madeira de reação tanto nas angiospermas quanto nas gimnospermas parece ser internamente controlada pela redistribuição de hormônios reguladores de crescimento nos caules inclinados, com a auxina exercendo um controle primário. Dessa forma, a madeira de compressão é normalmente associada a altos níveis de auxina, enquanto a madeira de tração possui baixos níveis do hormônio.

Melo (2004) concluiu que existem diferenças significativas nas tensões de crescimento formadas pelo lenho de reação entre clones de *Eucalyptus* e maiores tensões de crescimento com consequente maior madeira de reação presente resultaram em maiores níveis de tolerância das árvores aos ventos fortes. Sendo assim, o estudo anatômico e fisiológico das árvores submetidas à ação dos ventos e que formam madeira de tração pode ter relação direta com a resistência das mesmas, sendo ferramenta indispensável à compreensão de possíveis formas de minimizar os efeitos negativos que os ventos fortes exercem sobre as árvores.

Efeito dos ventos nas características anatômicas e propriedades mecânicas da madeira

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), existem diversas características na madeira, as quais são resultantes da interação entre o potencial

hereditário da árvore e os fatores ambientais. Essas características possuem relação direta com a dinâmica de crescimento das espécies e afetam significativamente a qualidade e o uso final dado às madeiras. Dessa forma, vários estudos têm sido conduzidos visando analisar a influência dos fatores ambientais sobre as características anatômicas e propriedades mecânicas das madeiras, assim como suas relações com técnicas silviculturais e atributos do povoamento.

Melo (2004), estudando clones de eucalipto aos dois anos de idade, concluiu que, em geral, árvores consideradas mais tolerantes à ação das tempestades produzem fibras mais longas, mais finas e com lumes mais estreitos. Entretanto, apenas a largura das fibras e o diâmetro do lume das fibras se correlacionaram significativamente com a tolerância das árvores, apresentando valores de 75,5% e 60,0%, respectivamente. O mesmo autor, ao avaliar a influência dos ventos nas propriedades mecânicas da madeira, observou que árvores mais tolerantes à ação dos ventos apresentam maiores valores de resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática; a tolerância das árvores às tempestades mostrou-se ser razoavelmente dependente das propriedades mecânicas da madeira mediante estimativa por relações lineares positivas.

ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAR O EFEITO DOS VENTOS SOBRE AS ÁRVORES

De acordo com as condições ambientais e características do povoamento, as árvores podem apresentar maior ou menor exposição ao risco de danos por ventos. Sendo assim, as práticas de manejo que visem minimizar ou evitar perdas devem ser direcionadas para atender às especificações de cada caso.

Por conseguinte, em locais com maior incidência de ventos devem-se priorizar ações que considerem cuidadosamente a influência de ventos fortes sobre o crescimento das árvores, haja vista que o risco de ocorrência de danos durante a rotação florestal é superior às outras áreas. Em locais com risco moderado e baixo, as ações devem ter prioridade menor, visando principalmente à manutenção do povoamento em condições adequadas de estabilidade (STATHERS et al., 1994).



FIGURA 4: Aplicação do tratamento silvicultural denominado “wind proofing” em árvore de *Pinus radiata* aos dois anos de idade: antes da retirada dos ramos (à esquerda) e após a retirada dos ramos (à direita) (DAVIES-COLLEY e TURNER, 2001).

FIGURE 4: Application of silvicultural treatment termed “wind proofing” in *Pinus radiata* tree at two years old: before the removal of branches (left) and after removal of branches (right) (Davies-Colley and TURNER, 2001).

Práticas silviculturais

As principais estratégias citadas na literatura para diminuir os danos por ventos nas árvores referem-se à localização adequada do povoamento, que podem determinar a exposição ao vento e as características do solo. Outra opção potencial para reduzir os riscos é direcionar as espécies mais resistentes a ventos para os locais de maior incidência.

O objetivo principal dos tratamentos silviculturais é reduzir o impacto do vento sobre as copas e aumentar o poder de fixação do sistema radicular das árvores (STATHERS et al., 1994), que estarão menos sujeitas à quebra ou arranque quando ventos fortes incidirem sobre sua superfície. Davies-Colley e Turner (2001) observaram que o tratamento chamado “wind proofing” (Figura 4), no qual é feita uma redução do comprimento de ramos na metade superior da copa mostrou-se efetivo para reduzir os danos provocados pelos ventos. Em árvores de *Pinus radiata* com dois anos de idade não foram observadas quebras nas árvores submetidas ao

tratamento, enquanto cerca de 50% das árvores controle foram derrubadas. Os autores ressaltam ainda que, dois anos depois de efetuado o tratamento, este não mostrou nenhum efeito negativo sobre o crescimento em altura e diâmetro das árvores.

A poda de copa também é uma ferramenta útil para aumentar a resistência das árvores à ação dos ventos, uma vez que diminui a área de exposição das copas, reduzindo assim a ação das forças aplicadas pelos ventos (STATHERS et al., 1994). O custo relativamente baixo desta técnica e a vantagem de não resultar em perda significativa de crescimento a torna potencial para mitigar as quebras por ventos em florestas plantadas.

Nielsen (2005) sugere como prática a ser aplicada para aumentar a estabilidade das florestas o “espaçamento diferenciado”, que consiste em dividir o povoamento espacialmente em áreas de produção e áreas de estabilização, organizando o plantio nas bordas e no interior do talhão de forma a garantir suporte aos locais expostos aos ventos.

Melhoramento genético

O melhoramento genético florestal consiste na aplicação de técnicas de seleção e recombinação, com vistas ao aumento da frequência dos genes favoráveis às características de interesse, em uma dada população (PIRES, 2006). Assim, o melhoramento florestal associa a genética à seleção da característica de interesse, por espécie ou material genético.

No que tange ao melhoramento das espécies florestais visando aumentar a resistência das árvores à ação dos ventos, as pesquisas ainda são incipientes. Diante da importância desse cenário, as empresas e instituições de pesquisa precisam trabalhar intensamente no desenvolvimento de tecnologias para seleção e geração de materiais genéticos mais produtivos, visando à melhoria da qualidade da madeira em função do seu uso e das condições climáticas do local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ação de ventos fortes tem causado extensivos danos sobre as florestas em várias partes do mundo, com efeitos diretos tanto no crescimento

e fisiologia das árvores quanto na ecologia da floresta como um todo. O entendimento do fenômeno de formação dos ventos e as características das árvores e das madeiras produzidas possibilitam adequar as espécies aos locais de maior exposição e riscos de danos por ventos, assim como planejar as práticas silviculturais que melhor se enquadrem para determinado ambiente. Entretanto, são necessários maiores esforços no desenvolvimento de pesquisas nesta área, de forma a alcançar um grau de precisão maior na proposição de meios para reduzir os impactos negativos sobre a vegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOFORADO, M. J. Representação cartográfica das árvores deformadas. **Finisterra**, v. 19, n. 38, p. 137-169, 1984.
- ANDERSON, D. A.; SMITH, W. A. **Forests and Forestry**. Dainville: The interstate printers and publishers, 1976, 432 p.
- ANTEN, N. P. R. et al. Wind and mechanical stimuli differentially affect leaf traits in *Plantago major*. **New Phytologist**, v. 188, p. 554-564, 2010.
- ASNER, G. P.; GOLDSTEIN, G. Correlating stem biomechanical properties of Hawaiian Canopy trees with hurricane wind damage. **Biotropica**, v. 29, n. 2, p. 145-150, 1997.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- BELLI, A. A. et al. Estudo dos riscos de acidentes causados pela arborização do campus agravados pela velocidade dos ventos. **Revista Ciências do Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 1-4, 2009.
- BOMERSHEIN, W. P. After the storms: impact of the december 1999 storms which hit Europe. **Forest and Fishery Products Division**. US Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/ffpd/woodcirculares/jun00/europe.pdf>. Acesso em 12/10/2009.
- BRUCHERT, F.; GARDINER, B. The effect of wind exposure on the aerial architecture and biomechanics of sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae). **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1512-1521, 2006.
- BUENO, R. C. et al. Estudo de rajadas de ventos e direções predominantes em Lavras, Minas Gerais, por meio da distribuição gama. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n. 4, p. 789-796, 2011.
- BURGER, L. M.; RITCHER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- BURTON, T.; JENKINS, N.; SHARPE, D.; BOSSANYI, E. **Wind energy handbook**. Nova York: John Wiley & Sons, 2011. 729 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2009. 548 p.
- CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975, 259 p.
- COUTTS, M. P. Root architecture and tree stability. **Plant and Soil**, v. 71, p. 171-188, 1983.
- DAVIES, J. L. **Geographical Variation in Coastal Development**. New York: Longman, 1972, 204 p.
- DAUBENMIRE, R. F. **Plants and environment: A textbook of plant autecology**. New York: John Wiley and Sons, 1948. 424 p.
- DAVIES-COLLEY, P.; TURNER, J. The effects of a crown lightning technique on growth and form, and topple in two-year-old *Pinus radiata*. **N. Z. J. For.**, v. 46, p. 23-29, 2001.
- DIXON, M.; GRACE, J. Effect of wind on the transpiration of young trees. **Annals of Botany**, v. 53, n. 6, p. 811-819, 1984.
- FORSDYKE, A. G. Previsão do tempo e clima. São Paulo: Melhoramentos, 1981, 159 p.
- GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1960.
- GLORIA, B. A.; GUERREIRO, S. M. C. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 438 p.
- JANSEN, S. et al. Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vestured pits. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, p. 8833-8837, 2004.
- KOZLOWSKI, T. T. **Tree Growth**. The Ronald Press, New York, 1962.
- KOZLOWSKI, T. T. Growth and development of trees. **Physiological Ecology**. v. 2. 1971
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006, 550 p.
- MELO, V. M. **Variação nas produtividades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitas a tempestade**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

- MONTEIRO, T. C. et al. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2010.
- MOORE, J. R. et al. Wind effects on juvenile trees: a review with special reference to toppling of radiate pine growing in New Zealand. **Forestry**, v. 81, n. 3, p.377-387, 2008.
- NICOLL, B. C.; GARDINER, B. A.; PEACE, A. J. Improvements in anchorage provided by the acclimation of forest trees to wind stress. **Forestry**, v. 81, n. 3, 2008. p. 389-398
- NIELSEN, C. N. Forest management for improved wind stability. In: **Adaptive physiology and tree management**. 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 DE GEOGRAFIA PORTUGUESA6., 2006, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2007. 21 p.
- PAIVA, H. N. Implantação de florestas econômicas. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed.) **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro, ES, 2007, p.61-106.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**, 4th ed. New York,: McGraw Hill, 1980, 722 p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCIL, R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002, 478 p.
- PEREIRA, P. H. et al. Estudo de caso do risco de queda de árvores urbanas em via pública na cidade de Dois Vizinhos-PR. **Synergismus scyentifica**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2011.
- PIRES, I. E. **Melhoramento Florestal – Módulo II**. Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 2006.
- PRUYN, M. L.; EWERS, B. J.; TELEWSKI, F. W. Thigmomorphogenesis: changes in the morphology and mechanical properties of two *Populus* hybrids in response to mechanical perturbation. **Tree Physiology**, v. 20, p. 535-540, 2000.
- RICE, J. A.; RONGZHOU, M. Wind damage in a partially harvested boreal mixedwood stand in northeastern Ontario. **Forest Research Report**, v. 14, n. 175, p. 1-14, 2011.
- ROSADO, A.M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006. 43 p. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. N.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. **REVSBAU**, v. 5, n. 1, p. 1-24, 2010.
- ROWE, N.; SPECK, T. Plant growth forms: an ecological and evolutionary perspective. **New Phytologist**, v. 166, p. 61-75, 2005.
- RUEL, J. C.; PIN, D.; COOPER, K. Effect of topography on wind behavior in a complex terrain. **Forestry**, v. 71, n. 3, p. 261-265, 1998.
- SATOO, T. Wind, transpiration and tree growth. In: KOZLOWSKI, T. T. (ed.). **Tree Growth**. New York: Ronald Press, 1962. p. 299-310.
- SCHEINER, S. M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. **Annual Review of Ecology e Systematics**, v. 24, p. 35-68, 1993.
- SCHELHAAS, M. J. The wind stability of different silvicultural systems for Douglas-fir in the Netherlands: a model-based approach. **Forestry**, v. 81, n. 3, p. 399-412, 2008.
- 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.
- SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. 2004. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- STATHERS, R. J.; ROLLERSON, T. P.; MITCHELL, S. J. **Windthrow handbook for British Columbia forests**. Vitória: B. C., 1994. 31 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.
- TALKKARI A. et al. Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. **Forest ecology and management**, v. 135, p. 303-313, 2000.
- TELEWSKI, F. W. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1466-1476, 2006.
- WILSON, B. F.; ARCHER, R. R., Reaction wood: introduction and mechanical action. **Annual review Plant Physiology**, v. 28, p. 23-43,

1977.

ZIELONKA, T. et al. A tree-ring reconstruction of wind disturbances in a forest of the Slovakian

Tatra Mountains, Western Carpathians. **Journal of Vegetation Science**, v. 21, n. 1, p. 31-42, 2010.