

# RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CAULES DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

Sérgio Ferreira<sup>1</sup>, José Tarcísio Lima<sup>2</sup>, Paulo Fernando Trugilho<sup>2</sup>, José Reinaldo Moreira da Silva<sup>2</sup>,  
Antonio Marcos Rosado<sup>3</sup>, Thiago Campos Monteiro<sup>4</sup>

**RESUMO:** Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o momento na ruptura das árvores e sua relação com a densidade básica, a contração volumétrica, o módulo de elasticidade em flexão estática e o módulo de ruptura. A resistência mecânica das árvores foi determinada a partir da simulação do efeito do vento sobre as mesmas, medindo-se a força necessária para produzir a quebra ou a deformação permanente. Para as árvores dos quatro clones estudados, pôde-se concluir que: *i*) a altura média de quebra das árvores foi igual a 2,5 m, a força de quebra média foi igual a 69,6 kgf e o módulo na ruptura médio foi igual a 464,1 kgf.cm<sup>-2</sup>; *ii*) a força de quebra média aumenta com a inclinação do terreno, enquanto o módulo na ruptura apresenta-se maior na encosta leve do que na encosta forte e na baixada; *iii*) o clone 129 apresentou, destacadamente, o mais alto momento na ruptura e *iv*) várias associações entre módulo na ruptura das árvores e as características da madeira foram identificadas. A associação mais evidente foi a contração volumétrica, que se relaciona inversamente com o módulo na ruptura.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, resistência e propriedades mecânicas, topografia.

## MECHANICAL RESISTANCE OF THE *Eucalyptus* STEM CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the failure moment of the stem from trees and its relationship with the basic density, volumetric shrinkage, modulus of elasticity in static bending and modulus of rupture. The mechanical resistance of the trees was determinate trying to simulate the wind action on them, measuring the necessary strength to produce the rupture of the tree or their permanent deformation. For the trees of the four clones it can be concluded that: *i*) the average height of rupture was equal to 2.5 m; the average force of rupture was equal to 69.6 kgf; the modulus of the rupture was 464.1 kgf.cm<sup>-2</sup>; *ii*) the average rupture force increased with the land slope; while the modulus of the rupture presented itself higher for slight slope than for heavy slope or flat land; *iii*) clone 129 stands out as the most strong; *iv*) several associations between the modulus in the rupture and the characteristics of wood were identified. The most evident was the volumetric shrinkage, which is related inversely with the modulus in the rupture.

Key words: *Eucalyptus*, mechanical resistance and properties, topographies.

### 1 INTRODUÇÃO

Entre os principais danos causados pelas tempestades estão o arrancamento e a quebra de árvores em áreas florestadas. Acredita-se que, devido ao aquecimento global, os riscos de tempestades mais fortes e frequentes estejam aumentando (AGSTER et al., 2003).

Tem sido relatado (MELO, 2004) que árvores de clones de *Eucalyptus* plantadas na região do Vale do

Rio Doce, expostas à ação de tempestades, sofrem esta influência, principalmente quando atingem a idade de dois anos. As propriedades da madeira sofrem influência das características genéticas e ambientais, como também da interação desses dois fatores.

O conhecimento das características dos lenhos relacionadas aos fatores ambientais é importante na identificação da causa dos colapsos ocorridos em clones plantados em diferentes topografias. A compreensão do fenômeno da destruição de árvores e de florestas, causada

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – madcorreabarros@hotmail.com

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Ciência e Tecnologia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 - 37200-000 – Lavras, MG – jtlima@dcf.ufla.br, trugilho@dcf.ufla.br, jreinaldo@dcf.ufla.br

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Doutor em Genética e Melhoramento – Setor de Pesquisa e Desenvolvimento – Celulose Nipo Brasileira S.A. – www.cenibra.com.br

<sup>4</sup>Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciência e Tecnologia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – tcmforest@yahoo.com

por tempestades, depende de esforços multidisciplinares envolvendo conhecimentos sobre aerodinâmica, física, engenharia florestal, engenharia civil, fisiologia e ecologia (AGSTER et al., 2003). As abordagens e as metodologias a serem empregadas permitirão o desenvolvimento no campo da interação entre árvores e ventos. A relação entre as propriedades da madeira e a força necessária para provocar o colapso das árvores pode contribuir para elucidar as causas das quebras das mesmas, quando expostas à ação de tempestades.

Falhas de compressão podem ser causadas por ventos fortes e ou frequentes, e aparecem quando ocorrem deflexões de grandes caules (ARNOLD, 2003). Neste caso, a resultante da deflexão excede a resistência à compressão do lenho, levando à sua ruptura. Árvores ou madeiras serradas com essas falhas tornam-se enfraquecidas e mais suscetíveis a futuros esforços, quando podem se romper bruscamente.

A força para arrancar uma árvore de sitka spruce (*Picea sitchensis*) morro acima requer um momento de derrubada 25% maior do que o necessário para derrubar árvores equivalentes puxadas morro abaixo (ACHIM et al., 2003).

Em várias regiões, onde plantações de eucalipto são estabelecidas, como, por exemplo, no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, terrenos inclinados e a ação de ventos dominantes favorecem a formação do lenho de tração, conforme evidências apresentadas por Melo (2004).

As dimensões e os arranjos celulares das fibras estão diretamente relacionados com o comportamento físico e mecânico da madeira. Melo (2004), estudando clones de *Eucalyptus* aos dois anos de idade, verificou que a maior resistência à ação de tempestades está relacionada a fibras mais longas e a lumes mais estreitos. Conforme Lima (1999), a espessura da parede e o diâmetro da fibra apresentam tendência de se relacionarem com a densidade e com as propriedades mecânicas da madeira.

As árvores de *Eucalyptus*, em geral, apresentam um formato cônico e, para analisar o momento na ruptura de elementos engastados-livres de seção circular cônica, pode ser utilizado o módulo de ruptura desses materiais, conforme Schiel (1984).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a resistência mecânica das árvores com outras propriedades de sua madeira, em quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, provenientes da região de Belo Oriente, no Vale do Rio Doce, MG. Essa região apresenta locais de baixada, encosta leve e encosta forte. Os clones 57, 386 e 1274 são híbridos de *E. grandis* × *E. urophylla* e o clone 129 é *Eucalyptus grandis*.

As baixadas são áreas de solos aluviais com alta fertilidade natural e, geralmente, apresentam declividade menor que 4%. Nas áreas de encosta, os solos predominantes são Latossolos ou Cambissolos com baixa fertilidade e têm declividade entre 10% e 30% na encosta leve e maior que 30% na encosta forte.

A distribuição de ventos na região estudada baseia-se em dados registrados na estação meteorológica da fábrica de celulose da Cenibra, em Belo Oriente. A origem predominante da direção dos ventos é norte-nordeste (NNE) e a dos ventos mais fortes é da direção sul-sudoeste (SSO), atingindo velocidades entre 2,5 a 5,5 m/s, representando 0,9% das ocorrências de ventos registradas.

Foram amostradas quatro árvores por clone, plantadas nos três tipos de topografia (baixada, encosta leve e encosta forte). As árvores foram selecionadas entre as eretas, sadias, fora da bordadura e que possuíam DAP próximo à média de 20 árvores do talhão.

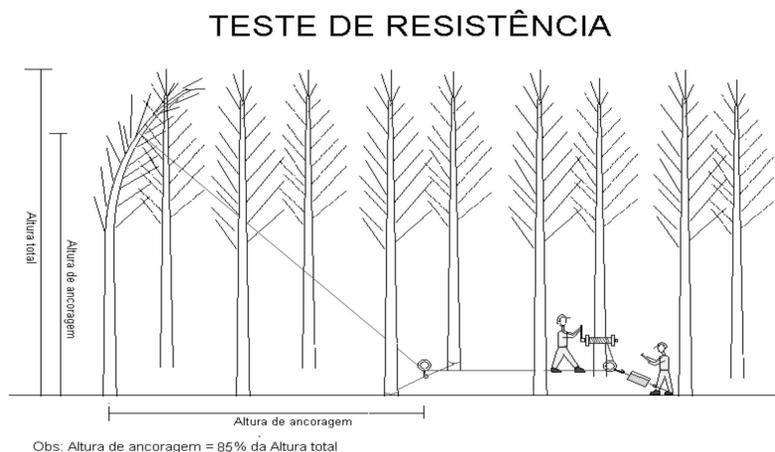
Mediram-se o diâmetro com casca e sem casca e a altura total da árvore e retirou-se um torete com 2,20 m de comprimento, medidos a partir de 1,10 m da base da árvore, de onde foram retirados os corpos-de-prova e as demais amostras para as outras análises.

Outras duas árvores por clone, plantadas nos três tipos de topografia, foram selecionadas para serem quebradas pelo seguinte método:

- com o auxílio de uma régua marcada a 85% de sua altura, identificou-se a posição na copa da árvore onde deveria ser amarrada uma corda;
- projetou-se, então, a altura da árvore no solo (altura de ancoragem), determinando-se o local onde a sua copa tocaria o solo no momento da queda. Neste local, amarrou-se outra corda grossa em duas árvores vizinhas (Figura 1);
- nesta corda grossa, colocou-se uma roldana, pela qual passou a corda que prendia a copa da árvore a ser derrubada;

- numa árvore distanciada  $a$ , aproximadamente, 3 m a frente das duas árvores vizinhas, foi amarrado um dinamômetro com outra roldana, pela qual passava a corda que prendia a árvore a ser derrubada (Figura 1), conforme esquema apresentado por Rosado (2006);  
- a partir daí, a corda foi tracionada, até quando a copa da árvore atingia o solo ou quando ela se quebrava. A força indicada no dinamômetro foi anotada (Figuras 1 e 2).

A força de deformação permanente foi considerada no momento da quebra da árvore, antes da sua copa tocar o solo ou quando a sua copa tocava o solo. Nessas duas situações, a árvore adquiria uma deformação permanente, não retornando à sua posição original. Após esse procedimento, foram anotadas a altura total da árvore, a altura de amarração da corda ou altura de ancoragem e a altura de quebra, caso esta ocorresse.



**Figura 1** – Esquema de quebra da árvore.

*Figure 1* – Schem of breaking tree.



**Figura 2** – Processo de quebra da árvore.

*Figure 2* – Process of breaking tree.

O momento na ruptura (MR), em kgf/cm<sup>2</sup>, foi calculado pelo módulo de ruptura para elementos engastados-livres de seção circular cônica, pela equação:

$$MR = 32 \times \pi^2 \times \frac{P \times L}{C^3}$$

em que

*P* = força aplicada na ruptura da peça;

*L* = altura do engastamento até a aplicação da força;

*C* = circunferência no engastamento.

A análise estatística foi feita utilizando-se o software Sisvar, utilizando-se o modelo estatístico de delineamento em blocos ao acaso, em que a topografia representa o efeito de bloco.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das características das duas árvores coletadas por clone, nos três tipos de inclinação do terreno, encontram-se na Tabela 1. Observa-se que a altura média dos clones foi de 17,54 m, tendo o clone 1274 apresentado a maior altura (18,59 m) e a menor sido observada no clone 57 (16,62 m). O diâmetro médio das árvores foi de 11,7 cm, tendo o clone 129 apresentado o maior diâmetro entre os clones (12,37 cm) e o menor, o clone 57 (11,20 cm).

A altura média de amarração dos clones foi de 12,69 m, tendo o clone 1274 sido o que apresentou o maior valor médio (13,94 m) e o menor, o clone 57 (11,40

**Tabela 1** – Médias das características das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

*Table 1* – Means of characteristics of clones of *Eucalyptus* trees grown at different terrain slopes.

CL	T	HT	HA	CE	D	FQD	MR
57	B	17,25	11,70	38,12	11,43	45,0	296,6
	EL	16,01	10,85	37,17	11,07	57,5	383,3
	EF	16,60	11,65	36,90	11,11	75,0	549,3
	Média	16,62	11,40	37,39	11,20	59,2	409,7
129	B	16,44	11,26	38,77	11,62	92,5	567,6
	EL	16,67	12,01	43,75	13,06	87,5	395,2
	EF	17,16	12,56	41,46	12,42	90,0	508,2
	Média	16,75	11,94	41,33	12,37	90,0	490,3
386	B	17,46	12,93	35,79	10,83	55,0	491,3
	EL	18,98	13,81	38,41	11,70	65,0	501,4
	EF	18,19	13,72	39,34	11,86	62,5	444,2
	Média	18,21	13,48	37,84	11,46	60,8	479,0
1274	B	19,36	14,34	37,90	11,54	57,5	477,3
	EL	17,78	12,83	40,06	11,91	72,5	448,9
	EF	18,63	14,67	40,95	12,18	75,0	506,4
	Média	18,59	13,94	39,63	11,88	68,3	477,5
Média geral		17,54	12,69	39,05	11,73	69,6	464,1
Cv		6,0	10,7	1,8	2,9	20,4	7,9

CL = clone; T = topografia; B = baixada; EL = encosta leve; EF = encosta forte; cv = coeficiente de variação (%); HT = altura total (m); HA = altura de amarração (m); CE = circunferência no engastamento (cm); D = diâmetro à altura de 1,30 m (cm); FQD = força de quebra ou deformação (kgf); MR = momento na ruptura (kgf.cm<sup>2</sup>).

m). No clone 57, a maior média de altura de amarração foi obtida na baixada (11,70 m); no clone 129, foi obtida na encosta forte (12,56 m); no clone 386, na encosta leve (13,81 m) e, no clone 1274, na encosta forte (14,67 m).

A altura média de quebra das árvores foi de 2,5 m e a maior média entre os clones foi encontrada no clone 1274 (3,1 m), que foi também o mais alto; a menor altura de quebra foi do clone 129 (1,9 m), que foi apenas ligeiramente mais alto do que o clone 57, que foi considerado o mais baixo.

A força de quebra ou de deformação (Tabela 1) apresentou média entre clones e topografias igual a 69,6 kgf, tendo o clone 129 apresentado a maior média (90,0 kgf) e o clone 57, a menor (59,2 kgf). De acordo com Melo (2004), o clone 129, embora não avaliado diretamente em seu estudo, apresenta o melhor comportamento frente às tempestades. De acordo com a mesma autora, o clone 57, entre cinco avaliados, apresenta tolerância às tempestades medianamente baixa.

Entre topografias, observou-se tendência de a força de quebra aumentar com a inclinação do terreno (Tabela 1). No clone 57, a maior força ocorreu na encosta forte, com 75,0 kgf e a menor, na baixada, com 45,0 kgf. Já no clone 129, a maior força ocorreu na baixada com 92,5 kgf e a menor, na encosta leve, com 87,5 kgf. No clone 386, a maior força de quebra ou deformação ocorreu na encosta leve, com 65,0 kgf e a menor, na baixada, com 55,0 kgf. Já no clone 1274, a maior força ocorreu na encosta forte, com 75,0 kgf e a menor, na baixada, com 57,5 kgf.

O momento na ruptura médio, indicativo da resistência à flexão, entre clones e topografias, foi igual a 464,1 kgf.cm<sup>-2</sup> (Tabela 1). O maior momento na ruptura da madeira ocorreu no clone 129 e o menor, no clone 57.

Entre topografias, o maior momento na ruptura foi apresentado para as árvores de encosta forte. O clone 129 se destaca em baixada com alto momento na ruptura, com 567,6 kgf.cm<sup>-2</sup>, o maior valor apresentado pelos clones, enquanto o clone 57 apresentou a menor média com 296,6 kgf.cm<sup>-2</sup>. Nos clones 57 e 1274, o maior valor do momento na ruptura ocorreu na encosta forte; no clone 386, o maior MR ocorreu na encosta leve, com 501,4 kgf.cm<sup>-2</sup>.

O resumo dos resultados da análise de variância do momento na ruptura entre clones e topografias é apresentado na Tabela 2. Observa-se que os momentos na

**Tabela 2** – Resumo dos resultados da análise de variância do momento na ruptura (MR) entre clones (C) de *Eucalyptus* e topografias (T) (g.l. topografia = 2; g.l. clone = 3; g.l. topografia × clone = 6; g.l. erro = 12).

**Table 2** – Summary of results of analysis of variance of the moment at rupture (MR) among clones (C) of *Eucalyptus* and topography (T) (df = 2 topography; clone df = 3; df topography x clone = 6; df error = 12).

Característica	Fontes de variação		
	Topografia	Clone	T x C
MR	Ns	Ns	Ns

Em que: ns – não significativo.

ruptura das árvores plantadas nos três tipos de inclinação do terreno, nos quatro clones e na interação topografia × clone, não diferem entre si.

Verifica-se, pelos gráficos das Figuras 3 e 4, a relação do momento na ruptura com as características físico-mecânicas da madeira. Os valores dessas características são as médias dos clones na baixada, na encosta leve e na encosta forte.

Os gráficos da Figura 3 representam a comparação entre o momento na ruptura, a densidade básica e a contração volumétrica da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Verifica-se que, no clone 57, o momento na ruptura foi menor na baixada e o mesmo ocorreu com a densidade básica. Para o clone 129, o momento na ruptura foi maior na baixada que nas encostas, relacionando-se com a densidade básica em que ocorreu o mesmo comportamento. Para os clones 386 e 1274, o momento na ruptura apresentou comportamento semelhante nos tipos de topografia e o mesmo ocorreu na densidade básica.

De maneira geral, a densidade básica não confirmou os resultados do momento na ruptura nos clones. Era esperado que quanto maior fosse a densidade, maior seria o módulo na ruptura. É possível que outros fatores, associados ou não com a densidade, estejam afetando o módulo na ruptura.

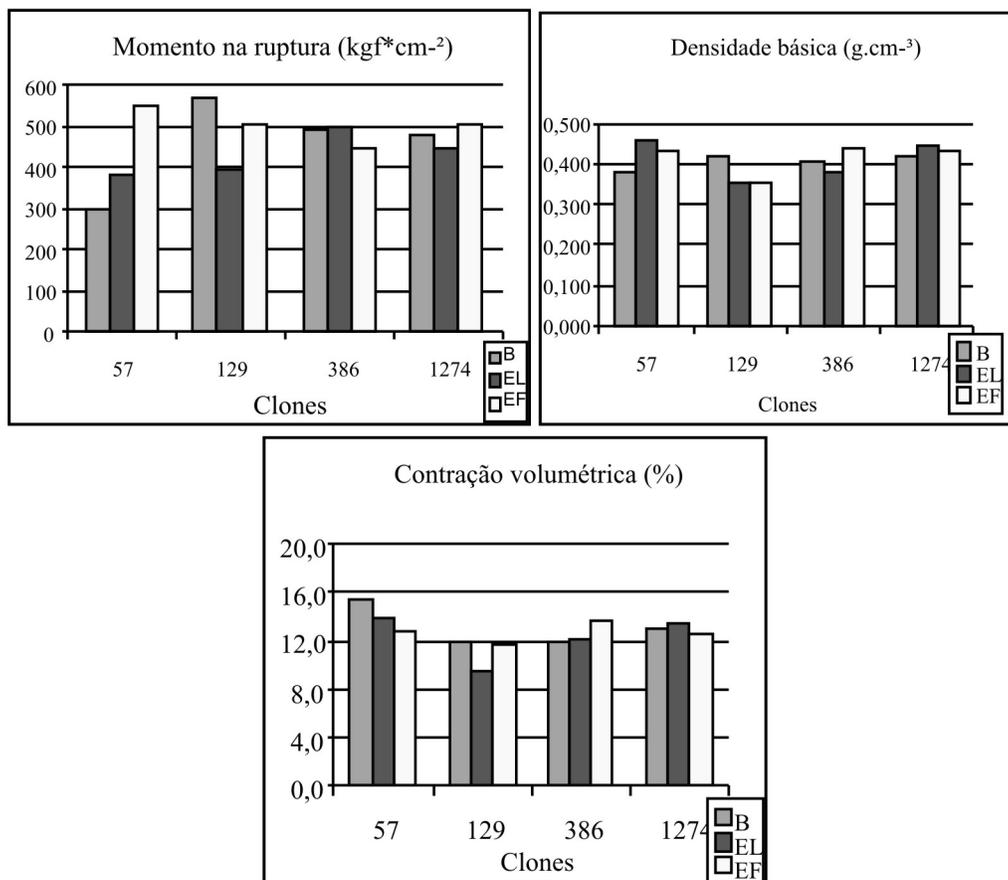
Pelos gráficos observa-se que, para os clones 57, 386 e 1274, as contrações apresentaram comportamento

inverso ao do momento na ruptura, enquanto no clone 129, a contração apresentou comportamento semelhante ao momento na ruptura. Nos clones 57 e 1274, a contração volumétrica apresentou tendência de aumentar da encosta forte para a baixada e, no momento na ruptura, houve tendência de aumentar, da baixada para a encosta forte. No clone 386, as contrações apresentaram tendência de aumentarem da baixada para a encosta forte e, no momento da ruptura, ocorreu o inverso.

Pelos gráficos da Figura 4 observa-se a comparação entre o momento na ruptura e o módulo de elasticidade em flexão da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus*

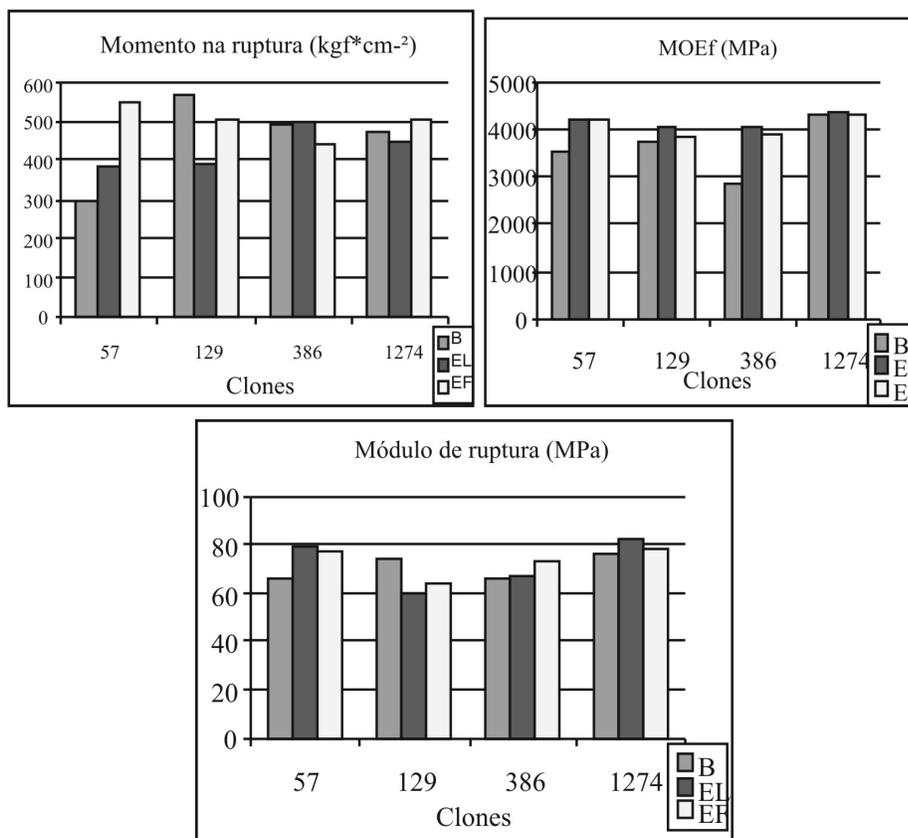
cultivados na baixada, na encosta leve e na encosta forte. Nota-se que, no módulo de elasticidade em flexão, houve tendência de comportamento semelhante do clone 57 com o momento na ruptura das árvores. Já nos clones 129 e 386, o módulo de elasticidade em flexão se comportou de maneira inversa ao momento na ruptura, nos três tipos de topografia. Para o clone 1274, parece que não existe efeito da topografia para as duas características.

A comparação entre o momento na ruptura e o módulo de ruptura revela que, para os clones 57 e 129, ocorre relação direta entre as características, enquanto para os clones 386 e 1274, a relação parece ser inversa (Figura 4).



**Figura 3** – Momento na ruptura, densidade básica e contração volumétrica da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

*Figure 3* – Moment at rupture, basic density and shrinkage of wood of clones of *Eucalyptus* grown on different slopes of terrain.



**Figura 4** – Momento na ruptura, módulo de ruptura e de elasticidade em flexão da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

*Figure 4* – Moment at rupture, basic density and shrinkage of wood of clones of *Eucalyptus* grown on different slopes of terrain.

#### 4 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos pode-se concluir que:

- a altura média de quebra das árvores foi de 2,5 m, a força de quebra média foi de 69,6 kgf e o módulo na ruptura médio foi de 464,1 kgf.cm<sup>-2</sup>;

- a força de quebra média aumenta com a inclinação do terreno, enquanto o módulo na ruptura apresenta-se maior na encosta leve do que na encosta forte e na baixada;

- o clone 129 apresentou, destacadamente, o mais alto momento na ruptura;

- a associação mais evidente foi que a contração

volumétrica se relaciona inversamente com o módulo na ruptura.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À Celulose NipoBrasileira S.A., CENIBRA, Belo Oriente MG, pelo apoio logístico e fornecimento do material.

#### 6 REFERÊNCIAS

ACHIM, A. et al. Wind stability of trees on slopes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe,

Alemanha: University of Karlsruhe, 2003. p. 231-238.

AGSTER, W. et al. Preface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, 2003. 375 p.

ARNOLD, M. Compression failures in wind-damaged spruce trees. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, 2003. p. 253-260.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Thesis (Doctor in wood science)

– University of Wales, Bangor, 1999.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da Madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

ROSADO, A. M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006. 43 p. Monografia (Especialista) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2006.

SCHIEL, F. **Introdução à resistência dos materiais**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1984. p. 108-112.