

Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*Effect of salt solutions in dimensional stability of *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana* woodsJuarez Benigno Paes<sup>1</sup>, Pedro Lício Loiola<sup>2</sup>, José Tarcísio da Silva Oliveira<sup>1</sup>, Rafael Leite Braz<sup>3</sup> e Ricardo Jorge Klitzke<sup>4</sup>**Resumo**

O estudo teve por objetivo avaliar a influência de soluções salinas na estabilidade dimensional das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*. Amostras de madeira de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal) foram impregnadas com soluções a 5% de concentração de cloreto de sódio, cloreto de lítio, carbonato de sódio, sulfato de magnésio, sulfato de zinco e sulfato de cobre II, sob vácuo intermitente, e suas dimensões aferidas nos períodos de 24; 48; 72 e 96 horas de imersão, seguida da secagem em estufa nas temperaturas de 40, 60, 80 e 103 ± 2 °C, por intervalos de 24 horas e comparada com amostras controle imersas em água destilada mantidas nas mesmas condições. A impregnação das amostras de madeiras com a solução de cloreto de lítio promoveu a maior redução no inchamento e contração da madeira em relação às demais soluções salinas testadas, tendo a estabilidade no inchamento sido atingida após 48 a 72 horas de impregnação. As soluções de cloreto de lítio e de sulfato de cobre II proporcionaram à madeira de *Corymbia torelliana* os menores coeficientes anisotrópicos. Enquanto para o *Eucalyptus cloeziana*, os menores coeficientes foram obtidos com as soluções de sulfato de cobre II e cloreto de sódio.

**Palavras-chave:** madeira de eucalipto, soluções salinas, retratibilidade, coeficiente anisotrópico.

**Abstract**

The study aimed to evaluate the influence of salt solutions in the dimensional stability of *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana* wood. Wood test samples with 2.0 x 3.0 x 5.0 cm (tangential x radial x longitudinal) had been impregnated with 5% solutions of sodium chloride, lithium chloride, sodium carbonate, magnesium sulphate, zinc sulphate and copper II sulphate, under intermittent vacuum, and its dimensions measured in the intervals of 24; 48; 72 and 96 hours of immersion, followed by the drying in oven in the temperatures of 40, 60, 80 and 103 ± 2 °C, at intervals of 24 hours and compared with test samples immersed in distilled water and kept under the same conditions. The impregnation of wood samples with lithium chloride solution provided the biggest reduction in the swelling and shrinking of woods in relation to the other tested salt solutions, with stability in swelling reached after 48 to 72 hours of impregnation. Lithium chloride and copper II sulphate solutions provided to *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana*, the lower coefficients were obtained with copper II sulphate and sodium chloride solutions.

**Keywords:** Eucalypts woods, salt solutions, shrinkage, anisotropic coefficient.

**INTRODUÇÃO**

Uma das características da madeira de importância para aplicação em produtos sólidos é a sua estabilidade dimensional, que está relacionada com a sua capacidade de adsorver ou desorver água de acordo com a umidade rela-

tiva do meio (GLASS; ZELINKA, 2010; OLIVEIRA et al., 2010). Consequentemente ocorrem às variações dimensionais, o que podem limitar de forma considerável a utilização da madeira em situações que exijam maior estabilidade dimensional, como matéria-prima para indústria moveleira, molduras e pisos.

<sup>1</sup>Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Caixa Postal 16 - 29550-000 - Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: [jbp2@uol.com.br](mailto:jbp2@uol.com.br); [jtsilva@npd.ufes.br](mailto:jtsilva@npd.ufes.br).

<sup>2</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 631 - Jardim Botânico, Campus III - 80210-170 - Curitiba, PR. E-mail: [pedrlicio@hotmail.com](mailto:pedrlicio@hotmail.com).

<sup>3</sup>Professor Doutor do Departamento de Ciência Florestal. UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos - 52171-900 - Recife - PE.

<sup>4</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 631 - Jardim Botânico, Campus III - 80210-170 - Curitiba, PR. E-mail: [rklitzke@ufpr.br](mailto:rklitzke@ufpr.br).

Segundo Melo (2013), as variações dimensionais estão relacionadas com a espécie vegetal, teor de umidade, direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), posição dentro da árvore, massa específica, temperatura e grau de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade. Em função do fenômeno da anisotropia, ocorre o desenvolvimento de defeitos na madeira durante a fase de secagem ou de acondicionamento, como colapso, rachaduras e empenamentos (KLITZKE, 2007), havendo a necessidade do emprego de novas técnicas que melhorem o comportamento da madeira quanto a sua estabilidade dimensional.

A melhoria da estabilidade dimensional da madeira pode ser obtida pela redução da sua higroscopicidade, por meio da degradação térmica de seus constituintes mais hidrófilos (hemiceluloses), ruptura dos polímeros da lignina e celulose, criação de novas ligações químicas (reticulação) ou pela impregnação das paredes celulares da madeira com soluções salinas (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Para amenizar a instabilidade dimensional, Kollmann (1959) estudou o emprego de soluções alcalinas e ácidas, uma vez que promovem um inchamento da madeira menor que aquele resultante da adsorção de água pura. A estabilidade da madeira tratada com sais ocorre por causa da reação destes compostos com os constituintes da parede celular, formando um complexo, que impede a madeira de adsorver água, uma vez que sua estrutura já se encontra saturada com os sais (efeito "bulking") (KOLLMANN, 1959; KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

As madeiras do gênero *Eucalyptus* possuem elevada instabilidade dimensional, o que pode limitar sua aplicação para produção de produtos sólidos de madeira (GONÇALEZ et al., 2006; BATISTA et al., 2010), principalmente a madeira produzida por árvores com idade inferior a 18 anos. Assim, há a necessidade da realização de estudos específicos com novas técnicas para a melhoria da estabilidade dimensional das madeiras do gênero, principalmente daquelas produzidas por árvores jovens, a fim de melhorar a aplicação e uso da madeira.

Este estudo teve por objetivo avaliar a influência da impregnação com soluções salinas na estabilidade dimensional das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Obtenção da madeira e confecção das amostras

As madeiras utilizadas (pranchões) foram obtidas no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira (LUMBER), Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no Município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo. Os pranchões foram provenientes de árvores de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*, com idade de 15 anos, procedentes de uma propriedade do município de São João Evangelista, Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. O município se localiza na Latitude: 18° 32' 46" Sul, Longitude: 42° 45' 35" Oeste, clima tropical com estação seca (classificação climática de Köppen-Geiger: Aw). Altitude de 692 m, temperatura média anual de 22 °C e índice médio pluviométrico de 1.081 mm.

Foram empregados pranchões de 3 metros de comprimento, provenientes da primeira tora, os quais foram selecionados em função de seu aspecto fitossanitário e transformados em peças de 50 cm de comprimento, posteriormente, em corpos de prova nas dimensões 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal). As amostras foram provenientes do cerne externo (região fronteira com o alburno) e obtidas conforme recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190, Associação Brasileira de Normas Técnica - ABNT (1997). Conforme Loiola (2012), a densidade básica da madeira proveniente dessa posição foi de 0,55 e 0,63 g.cm<sup>-3</sup> para o *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*, respectivamente.

### Tratamento de impregnação e medições das amostras

As amostras foram secas em estufa com circulação de ar, mantida a 103 ± 2 °C, até massa constante, pesadas em balança com precisão de 0,01 g e suas dimensões radiais e tangenciais foram tomadas com micrômetro digital (0,001 mm de precisão) e as longitudinais com paquímetro digital (0,01 mm de precisão).

Procedeu-se a saturação das amostras com água destilada (controle, T1) e com soluções com 5% de concentração preparadas com os sais de cloreto de sódio (T2), cloreto de lítio (T3), carbonato de sódio (T4), sulfato de magnésio (T5), sulfato de zinco (T6) e sulfato cúprico

= sulfato de cobre II (T7), em um dessecador submetido a vácuo intermitente. Foram tomadas as suas dimensões e massa a cada 24 horas até a completa saturação ou impregnação das mesmas.

Para a determinação do inchamento volumétrico da madeira foi realizado o somatório da variação dimensional nas direções tangencial, radial e longitudinal a cada 24 horas de impregnação com as soluções salinas empregadas em relação à dimensão inicial.

Depois de saturadas as amostras foram transferidas para uma estufa e mantida nas temperaturas de 40, 60, 80, 103 ± 2 °C, por intervalos de 24 horas, sendo aferidas suas dimensões e massa a cada 24 horas para a determinação da contração. Os valores da variação dimensional foram calculados em relação às suas dimensões saturadas, conforme recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997). O coeficiente anisotrópico foi obtido pelo quociente entre a contração tangencial e a radial.

### Análise e avaliação dos resultados

Para avaliar o grau de significância das variáveis analisadas, bem como verificar a variação existente entre os efeitos das soluções salinas, realizou-se uma análise de variância com delineamento inteiramente casualizado, em que foram empregadas 10 repetições por tratamento, e para a comparação das médias, aplicou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. O coeficiente de anisotrópico foi avaliado por meio da média aritmética.

Em seguida, foi realizada a análise por meio de gráficos para verificação do efeito da impregnação de cada solução salina na estabilidade dimensional da madeira.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Inchamento das madeiras utilizadas

As soluções de cloreto de lítio e carbonato de sódio proporcionaram os menores valores do inchamento na direção tangencial para a madeira de *Corymbia torelliana* (Tabela 1). Ressalta-se que o inchamento causado pela solução de carbonato de sódio foi semelhante ao proporcionado pelas demais soluções, assemelhando-se também, ao da madeira saturada com água destilada.

Para a direção radial, as amostras impregnadas com a solução cloreto de lítio, seguidas por aquelas imersas nas soluções de cloreto de sódio, carbonato de sódio e sulfato de cobre II, foram as que tiveram os menores valores de inchamento. No entanto, dentre estas soluções, apenas a de cloreto de lítio proporcionou inchamento inferior ao causado pela água destilada.

Para o inchamento volumétrico, as soluções de cloreto de lítio, sulfato de magnésio e carbonato de sódio, proporcionaram os menores inchamentos. Novamente apenas a solução de cloreto de lítio proporcionou inchamento inferior ao causado pela água. Além disto, a solução de carbonato de sódio manteve o mesmo comportamento para todas as direções avaliadas na madeira, comparando-se à solução de cloreto de lítio.

**Tabela 1.** Inchamentos tangencial, radial e volumétrico máximos para as madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* nos diferentes tratamentos.

**Table 1.** Tangential, radial and volumetric maximum swelling to *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana* woods for the different treatments.

<i>Corymbia torelliana</i>							
Inchamento (%)	Controle	Cloreto de sódio	Cloreto de lítio	Carbonato de sódio	Sulfato de magnésio	Sulfato de zinco	Sulfato de cobre II
Tangencial	8,17 a	8,41 a	6,48 b	7,98 ab	8,09 a	8,50 a	8,82 a
CV	11,27	15,65	11,76	14,70	12,82	12,04	16,80
Radial	5,40 a	4,36 ab	4,02 b	4,51 ab	5,54 a	5,35 a	5,24 ab
CV	20,93	25,00	21,08	20,47	25,00	21,08	20,47
Volumétrica	15,35 a	14,33 a	11,05 b	13,68 ab	13,66 ab	14,09 a	14,84 a
CV	13,26	20,25	10,72	16,43	17,83	11,37	12,63
<i>Eucalyptus cloeziana</i>							
Inchamento (%)	Controle	Cloreto de sódio	Cloreto de lítio	Carbonato de sódio	Sulfato de magnésio	Sulfato de zinco	Sulfato de cobre II
Tangencial	12,13 a	11,39 ab	10,01c	10,54 bc	10,79 bc	10,96 bc	11,05 b
CV	6,32	4,47	8,20	8,80	3,74	10,26	5,13
Radial	7,76 a	7,13 ab	6,55 b	7,38 ab	7,16 ab	7,64 a	7,44 ab
CV	11,55	7,69	7,94	18,53	7,32	5,49	6,26
Volumétrica	20,91 a	19,51 ab	17,50 c	18,58 bc	18,52 bc	19,32 b	19,10 b
CV	4,41	4,77	4,79	10,71	5,18	6,03	4,74

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV=Coeficiente de variação.

A solução de cloreto de lítio proporcionou um decréscimo no inchamento das amostras de 1,69% (tangencial), 1,38 (radial) e 4,30% (volumétrico) em relação ao inchamento causado pela água pura. Enquanto o decréscimo produzido pela solução de carbonato de sódio foi de 0,19% (tangencial), 0,89% (radial) e 1,67% (volumétrico).

Para a solução de cloreto de lítio, os valores representam ganhos de 20,69; 25,55 e 28,01% (tangencial, radial e volumétrico, respectivamente) em relação ao inchamento das amostras imersas em água (controle). Enquanto para a solução de carbonato de sódio, os ganhos foram de 2,33; 16,48; 10,88% (tangencial, radial e volumétrico, respectivamente). Os valores indicam a superioridade da solução de cloreto de lítio na estabilidade dimensional da madeira de *Corymbia torelliana*.

Ao comparar o comportamento das amostras de madeira de *Eucalyptus cloeziana* nos diferentes tratamentos (Tabela 1), verificou-se que a solução de cloreto de lítio foi a que causou o menor inchamento nas direções tangencial e radial e na volumétrica, proporcionando a melhor estabilidade dimensional da madeira. Entretanto, as soluções de carbonato de sódio, sulfato de magnésio e sulfato de zinco (direção tangencial), as de cloreto de sódio, carbonato de sódio sulfato de magnésio e sulfato de cobre II (direção radial) e aquelas de carbonato de sódio e sulfato de magnésio (volumétrico) proporcionaram inchamento semelhante à solução de cloreto de lítio.

Ao avaliar o efeito das soluções empregadas na estabilidade dimensional da madeira nas direções tangencial, radial e volumétrica (Tabela 1), observa-se que as soluções de carbonato de sódio e sulfato de magnésio proporcionaram estabilidade semelhante à obtida pela solução de cloreto de lítio. Tendo a solução de cloreto de lítio proporcionado um decréscimo no inchamento das amostras de 2,12% (tangencial), 1,21% (radial) e 3,41% (volumétrico) em relação ao inchamento causado pela água pura. Estes valores representam ganhos na estabilidade dimensional da madeira de 17,48; 15,59 e 16,31% (tangencial, radial e volumétrico, respectivamente) em relação ao inchamento das amostras não impregnadas com solução salina (controle).

Os decréscimos proporcionados foram de 1,59% (tangencial), 0,38% (radial) e 2,33% (volumétrico), para a solução de carbonato de sódio e de 1,34% (tangencial), 0,60% (radial) e 2,39% (volumétrico) para a de sulfato de magnésio. Os

valores proporcionaram ganhos na estabilidade dimensional de 13,11; 4,90 e 11,14% (tangencial, radial e volumétrico) e de 11,05; 7,32 e 11,43% (tangencial, radial e volumétrico), para as amostras imersas nas soluções de carbonato de sódio e sulfato de magnésio, respectivamente em relação às amostras exposta a água destilada. Assim, o maior ganho na estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, a exemplo do ocorrido para a madeira de *Corymbia torelliana*, também foi proporcionado pela solução de cloreto de lítio.

Guerra (2010), em um estudo desenvolvido com as mesmas madeiras, obteve valores de extrativos solúveis em etanol: tolueno (2:1 v/v) de 4,65 e 5,40% para as madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*, respectivamente. Madeiras com elevados teores de extrativos são mais estáveis, em função da cristalização dos extrativos nas paredes celulares (OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA et al., 2010).

Uma vez que a madeira de *Eucalyptus cloeziana* teve maiores teores de extrativos que a de *Corymbia torelliana*, esperavam-se valores inferiores de inchamento para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, no entanto, isto não foi observado. Tal fato pode ser explicado em função da madeira dessa espécie possuir maior densidade, portanto, parede celular mais espessa, e maior área de acessibilidade para água. No entanto, a presença de extrativos pode mascarar esta relação, por diminuir o ponto de saturação das fibras (PANSWIN; De ZEEUW, 1980).

Chafe (1987) estudou a influência dos constituintes químicos da parede celular no inchamento da madeira de eucalipto e concluiu haver relação positiva entre os polissacarídeos e inchamento da madeira e negativa entre os teores de lignina e extrativos. O que corrobora com os resultados obtidos na pesquisa, em que a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, mesmo tendo uma maior densidade, também apresentou uma maior quantidade de extrativos que a madeira de *Corymbia torelliana*.

Como regra geral, uma grande quantidade de extrativos presentes na madeira contribuiria para redução do inchamento. Essa redução seria proporcional ao espaço ocupado pelos extrativos nas células vegetais. Por outro lado, a remoção de tais extrativos aumentaria o inchamento (BROWN et al., 1952; TSOUJIS, 1991).

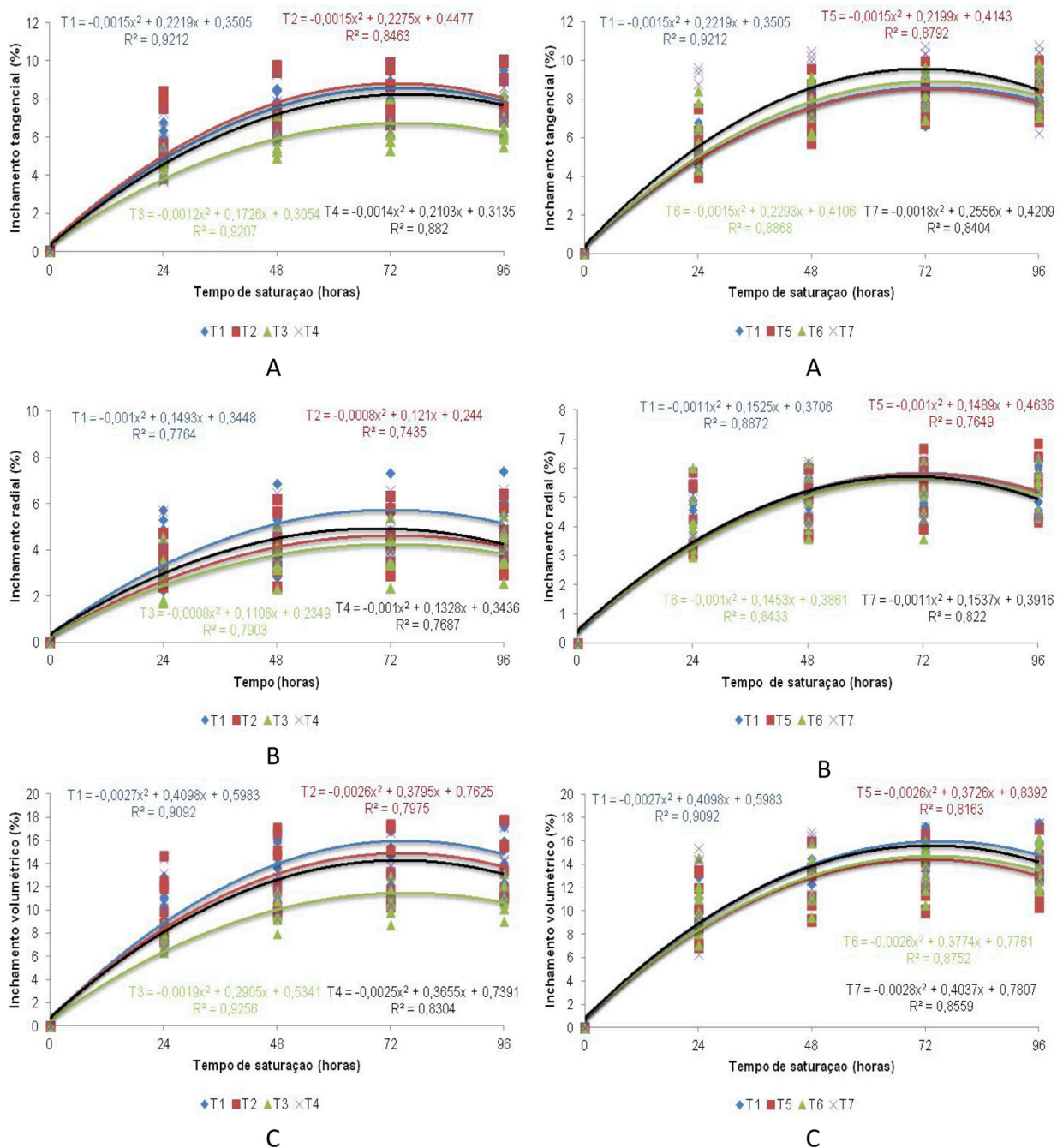
A madeira de *Eucalyptus cloeziana*, para todas as soluções empregadas, obteve valores superiores de inchamento que a madeira de *Corymbia torelliana*. Isto pode ser explicado em decorrên-

cia da maior densidade da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. Oliveira et al. (2010) afirmaram que madeiras mais densas por terem maior concentração de células de paredes mais espessas, tendem a expandir mais do que aquelas de menor densidade e mascarar o efeito proporcionado pelo ter de extrativos presente nas mesmas.

Nota-se ainda que a madeira de *Corymbia torelliana* teve um melhor comportamento que a madeira de *Eucalyptus cloeziana* para o inchamento, obtendo menores valores de inchamento volumétrico.

Na direção tangencial (Figura 1A), observa-se que a solução de cloreto de lítio proporcionou o menor inchamento na madeira de *Corymbia torelliana*, enquanto a solução de sulfato de cobre II promoveu o maior inchamento.

Para a seção radial (Figura 1 B) observou-se uma homogeneidade no inchamento das amostras proporcionadas pelas soluções salinas preparadas com sulfatos. As soluções de cloreto de lítio e carbonato de sódio proporcionaram inchamentos inferiores ao causado pela água destilada.



T1 – Controle, T2 - cloreto de sódio, T3 - cloreto de lítio, T4 - carbonato de sódio, T5 - sulfato de magnésio, T6 - sulfato de zinco e T7 - sulfato de cobre II.

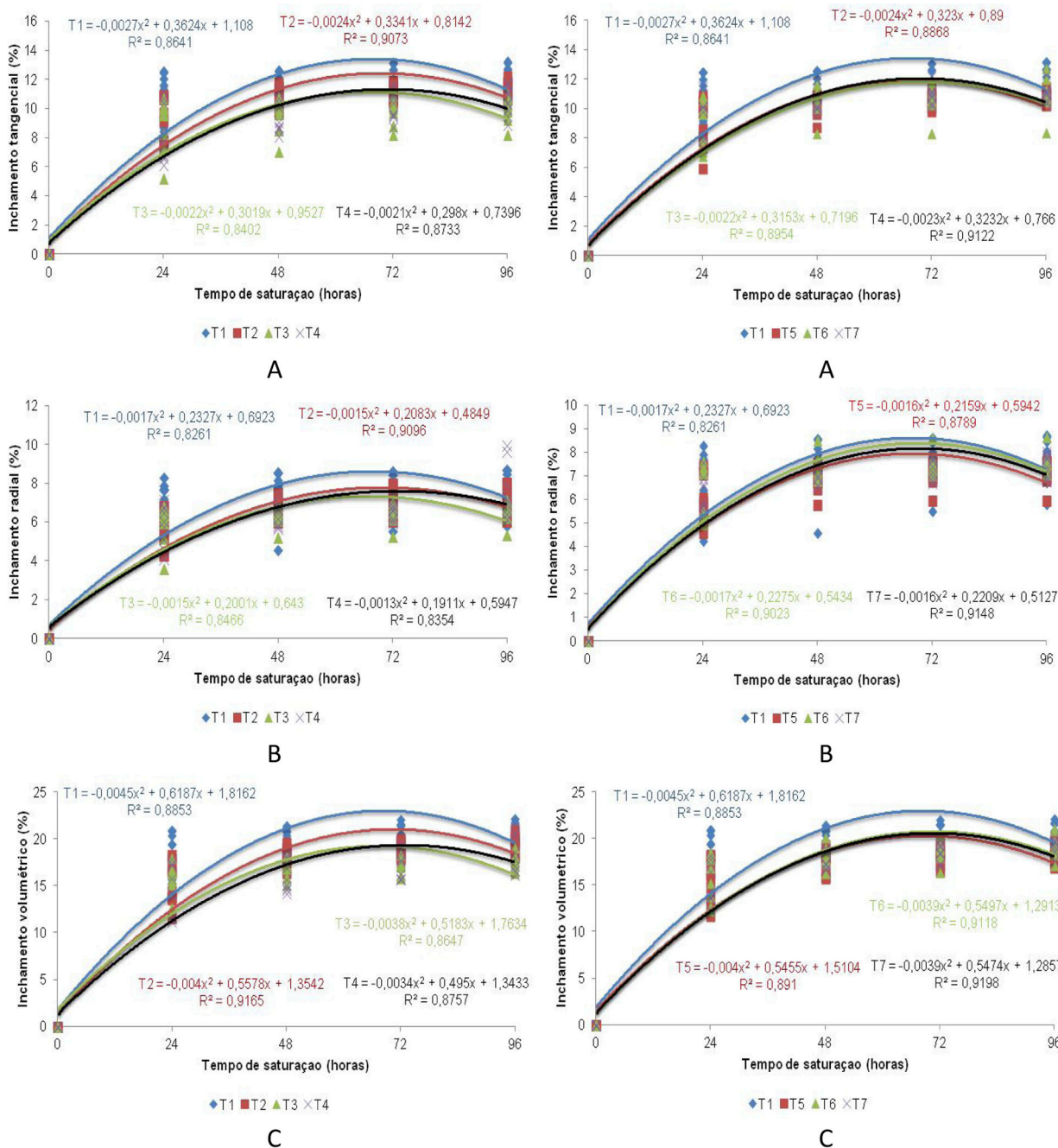
**Figura 1.** Inchamentos tangencial (A), radial (B) e volumétrico (C) para a madeira de *Corymbia torelliana*.  
**Figure 1.** Tangencial (A), radial (B) and volumetric swelling (C) to *Corymbia torelliana* wood.

Para o inchamento volumétrico (Figura 1 C), a solução cloreto de lítio proporcionou o menor inchamento, tendo causado melhor estabilidade dimensional da madeira, quando comparado com a água pura e demais soluções salinas empregadas. Para as soluções de sulfatos, aquelas preparadas com sulfato de magnésio e de zinco proporcionaram um menor inchamento às amostras, quando comparadas com a água destilada.

Observou-se na direção tangencial (Figura 2 A) para as amostras de madeira de *Eucalyptus cloeziana* saturadas com as soluções de cloretos e de carbonato, que as soluções de carbonato e

de cloreto de lítio proporcionaram inchamentos inferiores ao da água destilada, o mesmo ocorrendo para as amostras saturadas com as soluções de sulfatos.

O inchamento na direção radial (Figura 2B), proporcionado pelas soluções salinas de cloretos e carbonato de sódio promoveram inchamentos inferiores ao causado pela água destilada. Já para as soluções de sulfatos, as curvas de inchamento apresentaram tendência homogênea entre as soluções testadas e a água destilada, e para o inchamento volumétrico (Figura 2C), a água destilada causou inchamento superior ao das soluções de cloretos, sulfatos e carbonatos testadas.



T1 – Controle, T2 - cloreto de sódio, T3 - cloreto de lítio, T4 - carbonato de sódio, T5 - sulfato de magnésio, T6 - sulfato de zinco e T7 - sulfato de cobre II.

**Figura 2.** Inchamentos tangencial (A), radial (B) e volumétrico (C) para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*.

**Figure 2.** Tangencial (A), radial (B) and volumetric swelling (C) of *Eucalyptus cloeziana* wood.

Nota-se que os inchamentos tangencial, radial e volumétrico para as madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* para todas as soluções testadas, tiveram uma tendência de estabilização depois de 48 a 72 horas de imersão. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações ajustadas para as curvas de inchamento variaram de 0,76 a 0,93 para a madeira de *Corymbia torelliana* (Figura 1) e de 0,83 a 0,92 para a de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 2). Assim as curvas geradas descreveram de forma aceitável o comportamento das madeiras durante o inchamento.

### Contração das madeiras utilizadas

Observou-se para as contrações na direção tangencial e volumétrica para a madeira de *Corymbia torelliana*, que as amostras tratadas com solução de cloreto de sódio, cloreto de lítio e sulfato de zinco (volumétrica) apresentaram comportamento semelhante ao causado pela água destilada (controle). Enquanto a solução de carbonato de sódio proporcionou a maior contração da madeira. As amostras tratadas com solução de sulfato de magnésio, sulfato de zinco (tangencial) e sulfato de cobre II, causaram contração intermediária entre a água e as demais soluções testadas (Tabela 2).

No entanto, para a direção radial, não foi observada diferença entre a contração das amostras tratadas com as soluções testadas e aquela em que se empregou água destilada pura.

Observa-se que a solução de cloreto de lítio proporcionou redução da contração da madeira de 0,36% (tangencial), 0,22% (radial) e 0,30% (volumétrica) em relação à água destilada. Estes valores representaram ganho na estabilidade dimensional da madeira da ordem de 5,03; 5,10 e 2,41% (tangencial, radial e volumétrico, respectivamente) em relação à contração das amostras não tratadas com solução salina (controle). Estes resultados comprovam a eficiência da solução de cloreto de lítio na melhoria da estabilidade da madeira de *Corymbia torelliana*.

Verifica-se (Tabela 2) que a solução de cloreto de sódio proporcionou, na direção tangencial, contrações na madeira de *Eucalyptus cloeziana* menor que a causada pela água destilada. As soluções de cloreto de lítio, sulfato de magnésio, sulfato de zinco e sulfato de cobre II promoveram nas amostras contrações intermediárias entre a solução de cloreto de sódio e a água destilada.

Para a direção radial, a solução de cloreto de lítio, apresentou a menor contração, assemelhando-se a causada pela água e diferindo apenas da obtida pela solução de carbonato de sódio. Para a contração volumétrica, as soluções de cloreto de sódio, cloreto de lítio, sulfato de zinco e sulfato de cobre II proporcionaram contrações semelhantes às amostras de madeira e inferiores as causadas pela solução de carbonato de sódio. As amostras impregnadas com solução de sulfato de magnésio e aquelas expostas à

**Tabela 2.** Contrações tangencial, radial e volumétrica máxima para as madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* nos diferentes tratamentos.

**Table 2.** Tangential, radial and volumetric maximum shrinking to *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana* woods with different treatments.

<i>Corymbia torelliana</i>							
Contração (%)	Controle	Cloreto de sódio	Cloreto de lítio	Carbonato de sódio	Sulfato de magnésio	Sulfato de zinco	Sulfato de cobre II
Tangencial	7,16 b	7,08 b	6,80 b	8,55 a	7,80 ab	7,65 ab	7,62 ab
CV	10,21	13,50	13,00	12,42	10,39	8,87	12,61
Radial	4,31 a	4,09 a	4,25 a	5,08 a	4,64 a	4,52 a	4,70 a
CV	17,08	29,37	22,93	17,02	20,85	14,90	14,73
Volumétrica	12,47 b	10,94 b	12,17 b	14,92 a	13,01 ab	12,61 b	12,90 ab
CV	8,03	14,97	15,20	12,82	13,44	8,65	10,41
<i>Eucalyptus cloeziana</i>							
Contração (%)	Controle	Cloreto de sódio	Cloreto de lítio	Carbonato de sódio	Sulfato de magnésio	Sulfato de zinco	Sulfato de cobre II
Tangencial	10,16 ab	9,13 c	9,45 bc	10,68 a	9,66 bc	9,71 bc	9,43 bc
CV	6,47	2,63	5,79	9,82	5,25	6,53	6,70
Radial	7,19 ab	6,90 ab	6,62 b	7,61 a	6,93 ab	7,05 ab	7,17 ab
CV	6,08	12,21	9,93	5,45	6,42	3,44	6,69
Volumétrica	17,81 ab	16,74 b	16,99 b	18,90 a	18,11 ab	17,28 b	17,19 b
CV	5,07	5,97	6,42	7,19	6,94	3,83	7,39

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV=Coefficiente de variação.

água destilada, tiveram contrações intermediárias entre as causadas pela solução de carbonato de sódio e as demais soluções empregadas.

A solução de cloreto de lítio proporcionou redução da contração da madeira de 0,71% (tangencial), 0,57% (radial) e 0,82% (volumétrica) em relação à água destilada. Tendo proporcionado ganhos na estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus cloeziana* da ordem de 6,99; 7,93 e 4,60% (tangencial, radial e volumétrica) em relação à água destilada pura.

Dentre as soluções testadas, a de cloreto de lítio foi a que apresentou resultados satisfatórios na melhoria da estabilidade dimensional, tanto no inchamento quanto na contração, para ambas as madeiras testadas.

A elevada taxa de retratibilidade da madeira de *Corymbia torelliana* para as madeiras impregnadas com solução de sulfato de cobre II, pode ser justificada pelo efeito "bulking" da solução salina nas paredes celulares da madeira. Este efeito está relacionado ao termo "estabilização dimensional da madeira" e se refere a tratamentos químicos efetuados com a finalidade de reduzir a tendência da madeira à contração ou inchamento, quando ocorrem mudanças no seu teor de umidade (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

A variação de umidade ocasiona um inchamento da peça de madeira pela retenção de umidade pelos cristais de sais impregnados no interior das paredes celulares, assim, ocorre minimização do fenômeno de adsorção de molécula de água nos espaços submicroscópicos entre as micelas. Para as madeiras impregnadas com sulfato de cobre II, observou-se, no processo de secagem, uma percolação de sal no sentido axial da madeira.

A mudança de volume da madeira que ocorre em função da dessorção e adsorção de água é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, uma vez que afeta e limita consideravelmente o seu uso industrial principalmente para produtos serrados (GONÇALEZ et al., 2006; BATISTA et al., 2010).

Para a direção tangencial (Figura 3 A), observou-se para a madeira de *Corymbia torelliana*, que a solução de carbonato de sódio proporcionou a maior contração na madeira, enquanto as demais soluções de cloretos tiveram comportamentos semelhantes ao causada pela água destilada. Já as soluções de sulfatos, causaram contrações semelhantes entre as mesmas, sendo superiores à da água destilada.

Na direção radial (Figura 3 B), as soluções de cloretos proporcionaram contrações semelhantes entre si e inferiores as promovidas pela água destilada, enquanto a solução de carbonato de sódio foi superior a da água destilada. Já para as soluções de sulfatos, as contrações foram semelhantes à proporcionada pela água destilada.

Para a contração volumétrica (Figura 3 C) a solução de carbonato de sódio promoveu contração superior à da água destilada, enquanto as contrações causadas pelas soluções de cloretos foram homogêneas e inferiores a da água destilada. No entanto, as soluções de sulfatos proporcionaram contrações semelhantes entre as mesmas e inferiores à causada pela água destilada.

Observou-se na direção tangencial (Figura 4 A), para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* que as soluções de cloretos proporcionaram menores contrações que a água destilada e a solução de carbonato de sódio. Entretanto, para as soluções de sulfatos, as contrações foram semelhantes entre as mesmas, assemelhando-se a causada pela água destilada.

Para a contração radial (Figura 4 B) as soluções de cloretos apresentaram comportamento semelhante ao observado para a contração tangencial. O mesmo ocorrendo para as contrações causadas pelas soluções de sulfatos.

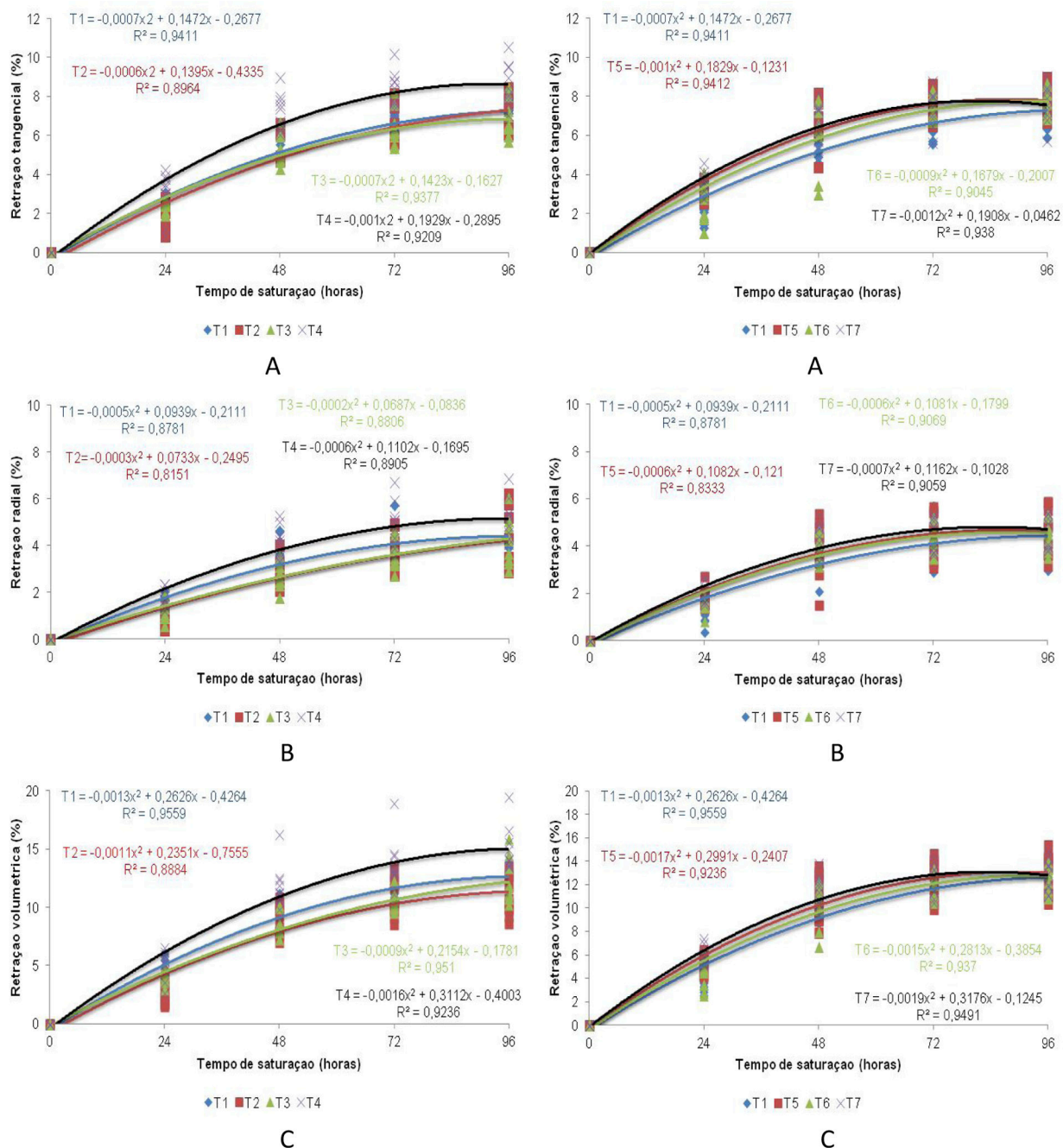
Na contração volumétrica (Figura 4 C) as soluções de cloretos e as de sulfatos exibiram comportamento semelhante ao observado para as contrações tangencial e radial.

Como verificado para o inchamento, as equações ajustadas para as curvas de contração das madeiras de *Corymbia torelliana* ( $R^2$  variando de 0,82 – 0,96, Figura 3) e *Eucalyptus cloeziana* ( $R^2$  de 0,89 – 0,96, Figura 4) se demonstraram de forma satisfatória o comportamento das madeiras durante a contração.

Na Tabela 3 consta o coeficiente anisotrópico de contração para as madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* impregnadas com as soluções salinas. Nota-se que a madeira de *Eucalyptus cloeziana* exibiu os maiores valores absolutos para as direções tangencial e radial da madeira, no entanto, os coeficientes anisotrópicos foram inferiores ao da madeira de *Corymbia torelliana*, fato este, que pode ser explicado em função da maior densidade apresentada pela madeira de *Eucalyptus cloeziana*, conforme valores obtidos por Loiola (2012).

Apesar de Kollmann e Coté Junior (1968) afirmarem que, quanto mais elevada a densidade da madeira, maior seria a sua contração ou





T1 – Controle, T2 - cloreto de sódio, T3 - cloreto de lítio, T4 - carbonato de sódio, T5 - sulfato de magnésio, T6 - sulfato de zinco e T7 - sulfato de cobre II.

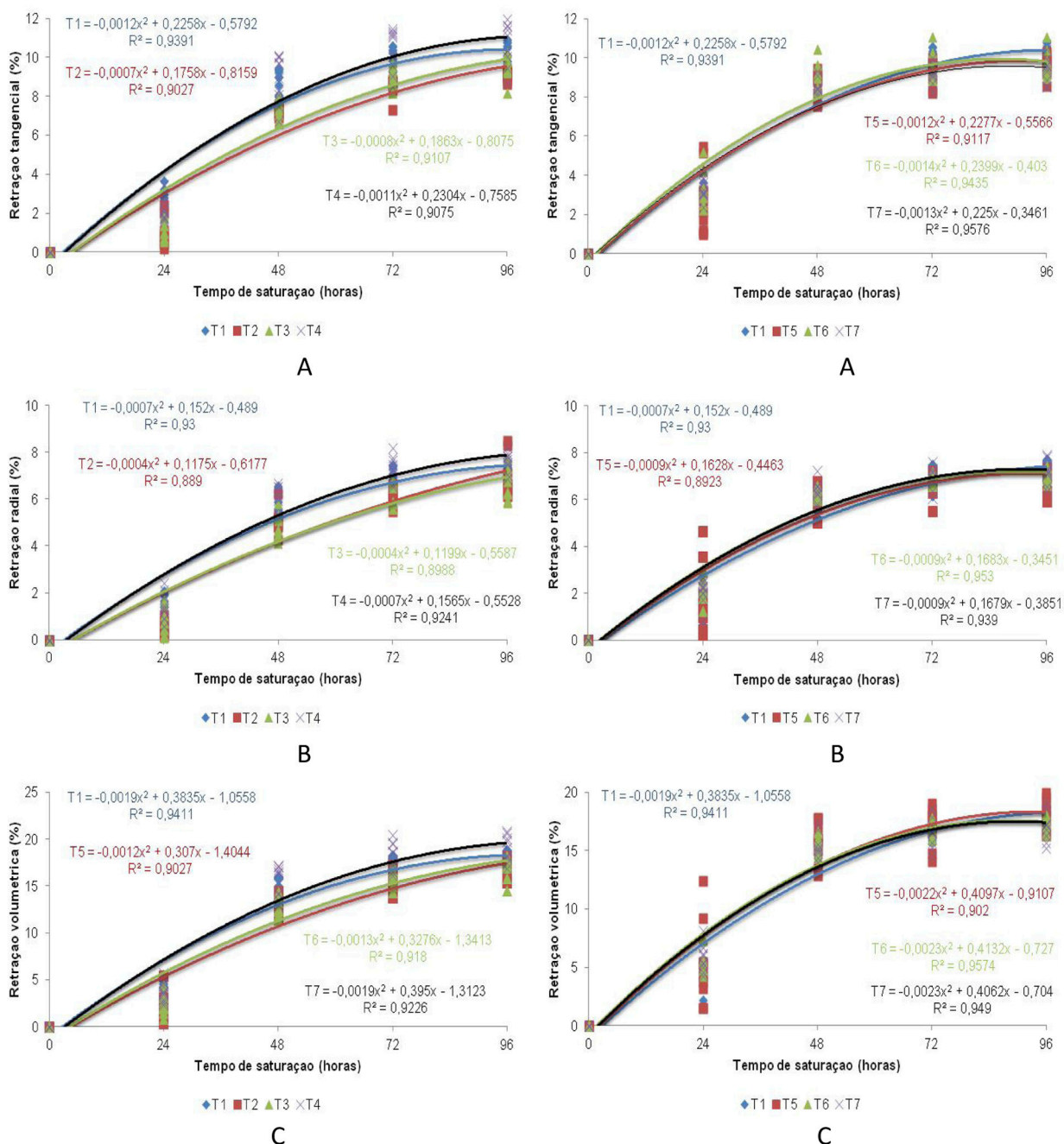
**Figura 3.** Contração tangencial (A), radial (B) e volumétrica (C) para a madeira de *Corymbia torelliana*.

**Figure 3.** Tangential (A), radial (B) and volumetric shrinking (C) of *Corymbia torelliana* wood.

**Tabela 3.** Coeficiente anisotrópico das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana* saturadas com as diferentes soluções salinas.

**Table 3.** Anisotropic coefficient of the *Corymbia torelliana* and *Eucalyptus cloeziana* saturated woods with the different salt solutions.

Soluções	<i>Corymbia torelliana</i>			<i>Eucalyptus cloeziana</i>		
	Tangencial (T)(%)	Radial (R)(%)	T/R	Tangencial (T) (%)	Radial (R) (%)	T/R
Controle	7,16	4,31	1,66	10,16	7,19	1,41
Cloreto de sódio	7,08	4,09	1,73	9,13	6,90	1,32
Cloreto de lítio	6,80	4,25	1,60	9,45	6,62	1,43
Carbonato de sódio	8,55	5,08	1,68	10,68	7,61	1,40
Sulfato de magnésio	7,80	4,64	1,68	9,66	6,93	1,39
Sulfato de zinco	7,65	4,52	1,69	9,71	7,05	1,38
Sulfato de cobre II	7,62	4,70	1,62	9,43	7,17	1,31



T1 – Controle, T2 - cloreto de sódio, T3 - cloreto de lítio, T4 - carbonato de sódio, T5 - sulfato de magnésio, T6 - sulfato de zinco e T7 - sulfato de cobre II.

**Figura 4.** Contração tangencial (A), radial (B) e volumétrica (C) para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*.

**Figure 4.** Tangencial (A), radial (B) and volumetric shrinking (C) of *Eucalyptus cloeziana* wood.

expansão, no entanto, principalmente para o gênero *Eucalyptus*, existem controvérsias para essa afirmação, tendo Oliveira et al. (2010) verificado valores inferiores de contração para as madeiras de mais alta densidade. De acordo com Klitzke (2007) madeiras com o coeficiente de anisotropia inferior a 1,5 é considerada muito estável, sendo destinadas geralmente para usos que não permitem empenamentos, rachaduras e torções, como em janelas, portas, pisos e móveis. Um coeficiente anisotrópico entre 1,6 e 1,9 as madeiras consideradas normais e indicadas para a construção civil.

A madeira de *Corymbia torelliana* impregnada com solução de cloreto de lítio promoveu o menor coeficiente anisotrópico (1,60) dentre as demais soluções empregadas, seguida pela tratada com sulfato de cobre II. A solução de cloreto de sódio, não proporcionou comportamento satisfatório à estabilidade dimensional da madeira de *Corymbia torelliana*, sendo a solução que causou maior coeficiente anisotrópico (1,73).

Para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* impregnada com as soluções de sulfato de cobre II e cloreto de sódio observaram-se os menores fatores anisotrópicos (1,31 e 1,32, respectivamente). As

demais soluções empregadas proporcionaram valores de fator anisotrópico superiores, porém todos inferiores a 1,5, demonstrando a maior estabilidade dimensional dessa madeira, quando comparada com a de *Corymbia torelliana*.

## CONCLUSÕES

A impregnação das amostras de madeiras com a solução de cloreto de lítio promoveu a maior redução no inchamento e contração da madeira em relação às demais soluções salinas testadas, tendo a estabilidade no inchamento sido atingida após 48 a 72 horas de impregnação.

As soluções salinas de cloreto de lítio e de sulfato de cobre II promoveram melhoria da estabilidade dimensional da madeira de *Corymbia torelliana* por promoverem o menor coeficiente anisotrópico. Já para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* as melhores estabilidades dimensionais foram proporcionadas pelas soluções de cloreto de sódio e sulfato de cobre II.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. *Textbook of wood technology*. New York: McGraw-Hill, 1952. v. 2, 783 p.
- CHAFE, S. C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. *Wood Science and Technology*, Berlin, v. 21, n. 1, p. 27-41, 1987.
- GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madson, 2010. Cap. 4., p. 1-20. (USDA. FPL-GTR, 190).
- GONÇALEZ, J. C.; BRENDA, L. C.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALLE, A.T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muelll visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.
- GUERRA, S. C. S. **Influência do teor de extrativos na resistência natural de cinco madeiras a cupins xilófagos**. 2010. 72 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.
- KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, N. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.
- KOLLMANN, F. E. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 675 p.
- KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.
- LOIOLA, P. L. **Efeitos de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira de eucalipto e na corrosividade de chapas de aço carbono**. 2012. 52 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.
- MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. *Ciência da Madeira*, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 152-175, 2013.
- OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, N. (Orgs.). **Tecnologia aplicada ao setor madeireiro III**. Vitória: Gráfica Aquarius Ltda, 2007, v. 1, p. 129-164.
- OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.
- PANSIN, A. J.; De ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4.ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 722 p.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

Recebido em 12/03/2014

Aceito para publicação em 15/03/2014

