

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE DUAS ESPÉCIES DE
BAMBU TERMORRETIFICADAS
Bambusa tuldoides Munro E *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière

Mayra Ferreira Alves de Oliveira

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE DUAS ESPÉCIES DE
BAMBU TERMORRETIFICADAS *Bambusa tuldoides* Munro E
Phyllostachis aurea Rivière & C. Rivière**

MAYRA FERREIRA ALVES DE OLIVEIRA

Sob a Orientação do Professor
Alexandre Miguel do Nascimento

e Co-orientação da Professora
Rosilei Aparecida Garcia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Maio de 2012

Ficha catalográfica

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

MAYRA FERREIRA ALVES DE OLIVEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM ----/----/-----

Alexandre Miguel do Nascimento. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Juarez Benigno Paes. Dr. UFES

Roberto Carlos Costa Leles. Dr. UFRRJ

Dedico

À Deus, por sua graça, poder e fidelidade.

*À minha melhor amiga e irmã, Mayara,
por me amar e me ensinar
incansavelmente.*

*Aos meus pais, Mario Lucio e Yara, por
serem a base forte na jornada da minha
vida.*

*Ao meu amado, Parfait, por seu apoio e
incentivo nesse estudo. E ainda por seu
companherismo, dedicação e amor.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Alexandre Miguel do Nascimento que teve grande peso na mudança para área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais. Além do apoio e paciência nos ensinamentos e instruções tanto profissionais quanto pessoais que levarei por toda vida.

À minha co-orientadora Rosilei A. Garcia por seus ensinamentos, atenção e paciência disponíveis sempre que precisei para tirar minhas dúvidas.

Ao professor Azarias Machado de Andrade pelo apoio e pelos ensinamentos na realização prática desse estudo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários Dinaldo, Apolinário, Daniel, Lucas e Fagner do Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira por toda ajuda na coleta e preparação do meu material para dar início ao meu trabalho.

Às minhas amigas Sara e Luana, pelo acolhimento e carinho.

À minha vizinha Vânia e sua família por me abrigarem com tanto amor nos momentos finais da minha dissertação e ainda pelo carinho e ensinamentos cristãos.

Aos meus amigos Milene, Juliana, Elaine, Giseli, Marcelly, Miriam, Paula, Victor “Monstrinho”, Cintia, Carlos Alho, Pablo, que nesses dois anos de pesquisa me apoiaram e ajudaram no laboratório, nos estudos, nas disciplinas, nos momentos de descontração.

À minha amiga Fernanda Ventrin pela amizade, pelos conselhos motivadores para meus estudos e minha vida.

Aos amigos e irmãos Valmirene, Patrícia, Pr.Aldomir, Pr.Guilherme, Mônica pelas incontáveis orações por minha vida.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma participaram desta importantíssima etapa de minha vida.

RESUMO

OLIVEIRA, Mayra Ferreira Alves de. **Propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu termorretificadas: *Bambusa tuldoides* Munro e *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière.** 2012. 64p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O bambu é um material muito versátil, com utilidades em diversas áreas como alimentação, movelaria, construção civil, artesanato e etc. No Brasil, o bambu é pouco utilizado, no entanto, recentemente elevou-se o interesse e os estudos sobre o assunto, principalmente a partir do fomento gerado pelo governo federal com sanção de lei de incentivo ao plantio, manejo e pesquisa sobre o bambu. Por se tratar de um material higroscópico, o bambu apresenta instabilidade dimensional, o que inviabiliza sua utilização em outras áreas e ainda sua curta vida útil. Tratamentos termorretificadores podem ser aplicados para propiciar melhorias na estabilidade dimensional, modificar a cor e as propriedades mecânicas do material. Neste contexto, os objetivos deste estudo foram: (1) avaliar as propriedades físicas, tais como: densidade básica e aparente, contração volumétrica, taxa de absorção de água e teor de umidade de equilíbrio; (2) avaliar as propriedades mecânicas, tais como: resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, módulo de elasticidade à flexão depois do tratamento térmico e a variação do módulo de elasticidade à flexão; (3) avaliar o efeito do tratamento de termorretificação sobre a cor. Foram utilizados colmos maduros das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*. As amostras foram confeccionadas com dimensões de acordo com os ensaios a serem empregados nas avaliações. A termorretificação foi realizada em um forno mufla elétrico laboratorial Linn Elektro Therm sob três temperaturas: 160, 180 e 200°C durante 15, 30 e 45 minutos. Os ensaios mecânicos foram realizados através da Máquina de Ensaio Universal Contenco. As medições de cor foram realizadas através do espectrofotômetro portátil CM 2600d no espaço CIE-L*a*b*. A densidade básica média da espécie *Phyllostachis aurea* foi de 0,53 g/cm³ e para *Bambusa tuldoides* de 0,70 g/cm³. Na espécie *Phyllostachis aurea* para maior temperatura a contração volumétrica foi maior, já para *Bambusa tuldoides* a menor contração volumétrica foi apresentada pela maior temperatura. A taxa de absorção de água, após o tratamento de termorretificação apresentou redução de cerca de 50% para a espécie *Phyllostachis aurea* e de 60% para *Bambusa tuldoides*. A temperatura de tratamento de termorretificação provocou redução no teor de umidade de equilíbrio para as duas espécies de bambu. A resistência à compressão reduziu entre as temperaturas de tratamento. A resistência ao cisalhamento reduziu em 47% em relação ao controle para a espécie *Bambusa tuldoides*, considerando o tempo de tratamento de 45 minutos e de 59% para a temperatura de 200°C. Já a espécie *Phyllostachis aurea* o efeito da temperatura de tratamento pode ser observado na temperatura mais agressiva, com redução de 31,5% de resistência ao cisalhamento em relação ao controle. O módulo de elasticidade à flexão (MOE) após o tratamento de termorretificação apresentou discreta elevação com o incremento da temperatura de tratamento. A variação do MOE antes e depois do tratamento de termorretificação que apresentou maior valor foi o da temperatura de 180°C, de 36,29%, para a espécie *Phyllostachis aurea*. Na variação do MOE para a espécie *Bambusa tuldoides* se notou a influência tanto do tempo quanto da temperatura de tratamento. A temperatura e o tempo de tratamento de termorretificação afetaram a cor das duas espécies de bambu.

Palavras-chave: bambu, propriedades físicas e mecânicas, sistema CIE-L*a*b* termorretificação.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Mayra Ferreira Alves de. **Physical-mechanical properties of two heat-treated bamboo species: *Bambusa tuldoides* Munro e *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière.** 2012. 64p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Bamboo is a very versatile material with diversar utilities in areas such as food, furniture, construction, handicrafts and so on. In Brazil, bamboo is widely used, however, have recently increased the interest and studies on the subject, mainly generated by starting the promotion governo sanction of federal law to encourage the planting, management and research on bamboo. Because it is a hygroscopic material, bamboo has dimensional stability, which prevents their use in other areas and even his short life. Termorretificadores treatments can be applied to provide improvements in dimensional stability, modify the color and mechanical properties. In this context, the objectives of this study were: (1) evaluate the physical properties such as density and apparent shrinkage, water absorption rate and moisture content equilibrium, (2) evaluate the mechanical properties, such as: compressive strength, shear strength, flexural modulus after heat treatment and the change in flexural modulus of elasticity, (3) to evaluate the effect of treatment on the color termorretificação. We used mature culms of the species *Bambusa tuldoides* and *Phyllostachis aurea*. The samples were prepared with dimensions according to the tests to be used in evaluations. The heat treatment was performed in a laboratory electric muffle furnace Linn Elektro Therm under three temperatures: 160, 180 and 200 ° C for 15, 30 and 45 minutes. The mechanical tests were performed using the Universal Testing Machine Contenco. The color measurements were performed using the portable CM 2600d spectrophotometer within the CIE-L* a* b*. The average basic density of the species *Phyllostachis aurea* was 0.53g/cm³ and *Bambusa tuldoides* of 0.70 g /cm³. In *Phyllostachis aurea* species to higher temperature, the shrinkage was greater, but for *Bambusa tuldoides* the smallest shrinkage was presented by the higher temperature. The rate of water absorption, after heat treatment was reduced by about 50% for the species *Phyllostachis aurea* and from 60% to *Bambusa tuldoides*. The temperature heat treatment caused a reduction in equilibrium moisture content for the two species of bamboo. The reduced resistance to compression treatment between the temperatures. The shear strength at 47% reduced compared to control for *Bambusa tuldoides* considering the treatment time of 45 minutes and 59% for 200 ° C. Since the species *Phyllostachis aurea* the effect of treatment temperature can be observed in the temperature more aggressive, with a reduction of 31.5% of shear strength compared to control. The flexural modulus of elasticity (MOE) after treatment termorretificação slight increase with increasing treatment temperature. The variation of the MOE before and after treatment termorretificação highest values of temperature was 180 ° C of 36.29% for the species *Phyllostachis aurea*. In the variation of the MOE for *Bambusa tuldoides* noted the influence both time and temperature of treatment. The temperature and treatment time of termorretificação affect the color of the two bamboo species.

Keywords: bamboo, physical and mechanical properties, CIE-L* a* b* system, heat treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características da espécie <i>Phyllostachis aurea</i> Rivière & C. Rivière. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe dos colmos (Fonte: www.bambooweb.info).....	4
Figura 2. Características da espécie de <i>Bambusa tuldoides</i> Munro. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Folhas. (C) Detalhe do colmo (Fonte: www.bambooweb.info).....	5
Figura 3. Estrutura subterrânea do bambu de rizoma leptomorfo e paquimorfo ou entouceirantes (Fonte: VASCONCELOS, citado por: AKINA et. al., 2007).	6
Figura 4. Seção longitudinal do colmo de bambu (CRUZ, 2002).....	7
Figura 5. Estrutura anatômica de colmos de <i>Phyllostachys edulis</i> (Carrière) J. Houz., seção transversal (LIESE, 1998).....	7
Figura 6. Células parenquimáticas de <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i> (Carrière) Rivière & C. Rivière, com inclusões de amido - seção transversal (LIESE, 1998).....	8
Figura 7. Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie <i>Dendrocallamus giganteus</i> . A) Amostra controle apresenta grande quantidade de amido na sua forma típica globular. B) A 140°C as estruturas das células são ainda quase inalteradas. C) A 180°C mudanças estruturais verificadas são mais drásticas. D) ainda a 180°C, as células do parênquima são severamente contraídas (COLLA et al., 2011).....	12
Figura 8. Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie <i>Dendrocallamus giganteus</i> . A) A 220°C, grãos de amido com apresentam algumas fissuras e estão a ponto de romper. B) ainda na mesma temperatura, os grãos de amido já estão rompendo. C) O processo de degradação do parênquima continua, a 260°C. D) A 300°C, a estrutura do material se assemelha ao carvão vegetal. (COLLA et al., 2011).....	13
Figura 9. Diferença na cor das amostras termorretificadas de <i>Dendrocallamus giganteus</i> (BERALDO et al. 2009).....	14
Figura 10. (A) Povoamento de <i>Bambusa tuldoides</i> Rivière & C. Rivière. (B) Coleta dos colmos de <i>Phyllostachis aurea</i> Munro. (C) Colmos de <i>Bambusa tuldoides</i> seccionados nas dimensões dos ensaios físicos e mecânicos.....	16
Figura 11. A) Mufla elétrica laboratorial. B) Disposição das amostras no interior da mufla antes do tratamento de termorretificação. C) Disposição das amostras no interior da mufla depois do tratamento de termorretificação.....	17
Figura 12. Etapas do tratamento de termorretificação aplicado às espécies de bambu. Etapa 1: aquecimento até 100°C. Etapa 2: aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação. Etapa 3: tratamento de termorretificação. Etapa 4: resfriamento.....	17
Figura 13. Amostra de cisalhamento da espécie <i>Phyllostachis aurea</i> acoplada ao dispositivo de madeira. (A) Vista frontal. (B) Vista superior. (C) Vista lateral esquerda.....	20

Figura 14. Esquema para o ensaio de resistência à flexão (SANT'ANNA, 2008).....	21
Figura 15. Densidades aparentes em função da temperatura de tratamento da espécie <i>Bambusa tuldoides</i>	28
Figura 16. Índice de contração volumétrica das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> , em função das temperaturas de termorretificação.....	29
Figura 37. Taxa de absorção de água das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> , em função dos tempos e temperaturas de termorretificação..	31
Figura 48. Teor de umidade de equilíbrio das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> , em função dos tempos e temperaturas de termorretificação..	32
Figura 19. Resistência à compressão das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> , em função dos tempos e temperaturas de termorretificação..	34
Figura 20. Resistência ao cisalhamento da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos de termorretificação e resistência ao cisalhamento das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.....	35
Figura 21. Módulo de elasticidade após os tratamentos de termorretificação das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorretificação e da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função apenas do tempo de termorretificação.....	36
Figura 22. Variação do módulo de elasticidade antes e depois dos tratamentos de termorretificação das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.....	38
Figura 23. Coordenada L* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.....	39
Figura 24. Coordenada a* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.....	41
Figura 55. Coordenada a* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.....	42
Figura 26. Determinação da cor da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> , considerando os fatores tempo e temperatura.....	43
Figura 27. Determinação da cor da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> , considerando os fatores tempo e temperatura.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Redução do teor de celulose na espécie de bambu termorretificada <i>Gigantochloa scortechinii</i> , segundo Salim & Wahab (2008).....	14
Tabela 2. Redução do teor de amido na espécie de bambu termorretificada <i>Gigantochloa scortechinii</i> , segundo Salim & Wahab (2008).....	15
Tabela 3: Métodos de análise estatística das variáveis estudadas das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> , considerando os fatores tempo e temperatura.....	23
Tabela 4. Resultado de densidade básica da espécie de bambu <i>Bambusa tuldoides</i> e <i>Phyllostachis aurea</i>	25
Tabela 5. Resultados obtidos para as densidades básica e aparentes da espécie <i>Phyllostachis aurea</i> em função do tempo de termorretificação.....	26
Tabela 6. Resultados obtidos para as densidades básicas e aparentes da espécie <i>Phyllostachis aurea</i> em função da temperatura de termorretificação.....	26
Tabela 7. Resultados obtidos para as densidades básicas e aparentes da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo de termorretificação.....	27
Tabela 8. Resultados obtidos para as densidades básica e aparentes da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorretificação.....	27
Tabela 9. Resultados obtidos de índice de contração volumétrica das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	29
Tabela 10 Resultados obtidos de taxa de absorção de água das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	31
Tabela 11. Resultados obtidos de teor de umidade de equilíbrio das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	32
Tabela 12. Resultados obtidos de resistência à compressão das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	33
Tabela 13. Resultados obtidos de resistência ao cisalhamento das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	34
Tabela 14. Resultados obtidos do módulo de elasticidade depois ao tratamento térmico das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	36
Tabela 15. Resultados obtidos da variação do módulo de elasticidade antes e depois do tratamento térmico das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	37

Tabela 16. Resultados obtidos da coordenada L* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	39
Tabela 17. Resultados obtidos da coordenada a* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	40
Tabela 18. Resultados obtidos da coordenada b* das espécies <i>Phyllostachis aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	42

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades sobre o bambu.....	3
2.2 Espécies estudadas.....	4
2.2.1 <i>Phyllostachis aurea</i> Rivière & C. Rivière.....	4
2.2.2 <i>Bambusa tuldoides</i> Munro.....	4
2.3 Características e propriedades do bambu.....	5
2.3.1 Características dos colmos.....	5
2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas.....	7
2.4 Tratamento de termorretificação.....	8
2.4.1 Características do material termorretificado.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Coleta e preparo do material.....	15
3.2 Tratamento de termorretificação.....	15
3.3 Ensaio físicos.....	16
3.3.1 Densidade aparente.....	17
3.3.2 Teor de Umidade de equilíbrio.....	17
3.3.3 Coeficiente de contração	17
3.3.4 Taxa de absorção de água (ta).....	18
3.4 Ensaio mecânicos.....	18
3.4.1 Resistência à compressão.....	18
3.4.3 Resistência ao cisalhamento.....	18
3.4.4 Módulo de elasticidade à flexão.....	19
3.5 Determinação da cor no sistema CIE-L*a*b*.....	20
3.6 Análises estatísticas.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Propriedades físicas.....	23
4.1.1 Densidade básica.....	24
4.1.3 Índice de contração volumétrica.....	27
4.1.2 Taxa de absorção de água	29
4.1.3 Teor de umidade de equilíbrio.....	31
4.2 Propriedades mecânicas.....	32
4.2.1 Resistência à compressão.....	32
4.2.2 Resistência ao cisalhamento.....	33
4.2.3 Módulo de elasticidade à flexão.....	35
4.3. Determinação da cor.....	37
4.3.1 Luminosidade – coordenada L*.....	37
4.3.2 Coordenada a*.....	38
4.3.3 Coordenada b*.....	40
5. CONCLUSÕES.....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
7. ANEXOS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A utilização de recursos renováveis abre grande perspectiva de aptidão e sustentabilidade. O bambu, por exemplo, é um recurso florestal que apresenta excepcional desenvolvimento, podendo ser utilizado na indústria da construção por apresentar propriedades físico-mecânicas adequadas, quando respeitadas suas melhores orientações estruturais, e alta durabilidade, quando tratado com substâncias químicas preservativas ou à altas temperaturas, podendo ser uma interessante alternativa à madeira nativa, ao concreto e ao aço.

As pesquisas voltadas para o desenvolvimento tecnológico de materiais e processos de construções sustentáveis receberam nas últimas décadas investimentos crescentes, estimulados por agências governamentais, instituições de pesquisa e pelo setor privado de diversos países, como estratégia de minimizar o uso de recursos não renováveis, economizar energia e reduzir perdas, visto que a indústria da construção civil – particularmente construção, operação e demolição de edifícios – é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente (INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 1997).

Em vários países asiáticos, como a Indonésia, mas precisamente na ilha de Bali, em 2010, foi construída uma Escola Ecológica com estrutura inteiramente de bambu. Ainda nessa ilha, há o maior edifício comercial construído inteiramente com bambu. Essa construção é uma fábrica de chocolates orgânicos. Na província de Vinh Phuc, no Vietnã, pode-se ver um bom exemplo de arquitetura exclusivamente, com bambu. O projeto que tinha como objetivo principal explorar as oportunidades na área de projetos estruturais feitos somente com bambu ganhou o Prêmio Internacional de Arquitetura do Chicago Athenaeum Museum, nos Estados Unidos.

Na América do Sul, também se encontra com facilidade construções feitas de bambu. Alguns exemplos de construções com bambu idealizadas pelo arquiteto Simón Vélez, foram: como são chamadas casas construídas com esse material “casas de baixo custo”, além de serem baratas, são extremamente resistentes aos sismos. O arquiteto também projetou outras estruturas como o Museu do México, uma igreja privada em Cartagena, na Colômbia.

Nascido na Colômbia, Hidalgo López é outro arquiteto que também tem sua vida de dedicação ao bambu, em seu primeiro projeto construiu um quiosque com 23 metros de diâmetro usando bambu.

No Brasil o interesse na utilização do bambu veio, ao longo dos anos, crescendo tanto que agências financiadoras de pesquisas lançaram editais no intuito de promover a pesquisa e o governo federal, esse ano, sancionou a lei 12.484 de 8 de setembro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao cultivo do Bambu e dá outras providências.

As espécies observadas no Brasil são na sua maioria exóticas provenientes do continente asiático, tais como *Bambusa vulgaris*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys aurea* (AZZINI et al., 1997). As nativas carecem de estudos mais aprofundados e concentram-se em alguns fragmentos de mata atlântica, e na região amazônica, notadamente no estado do Acre (*Guadua taquara*).

Segundo Azzini et al. (1997), a planta apresenta elevada resistência físicomecânica, além de leveza e flexibilidade. O bambu apresenta excepcional vigor vegetativo, que resulta no rápido desenvolvimento axial dos colmos (7,88 e 22,0 cm/dia para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e apresenta desenvolvimento máximo em altura no período de 80 a 110 dias.

No entanto, o bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente até atingir sua umidade de equilíbrio higroscópico

e também é suscetível ao ataque de fungos apodrecedores e insetos, e de difícil tratamento com preservativos (LIESE, 1998; WANG et al., 1998).

Diversos materiais usados na construção civil necessitam investimentos nos processos de tratamentos como o aço, que necessita de uma camada protetora para evitar a oxidação, o concreto, com sua impermeabilização, evitando agressões proporcionadas quimicamente por intempéries, a madeira precisa de secagem e preservação. E o bambu para garantir sua durabilidade e prolongar sua vida útil não seria diferente. Principalmente, porque esse material possui grande teor do polímero de amido em suas células parenquimáticas, o que o torna atrativo ao ataque de carunchos e fungos após a coleta.

Existem muitos tipos métodos de tratamentos em bambu, como os métodos tradicionais de cura na touceira, por emersão em água, por ação do fogo e por ação de fumaça. Há também os processos químicos: imersão em sais hidrossolúveis, substituição da seiva por sais hidrossolúveis através da transpiração e ainda os tratamentos sob pressão: autoclave e o método de Boucherie modificado. Cada um dos métodos têm suas peculiaridades e restrições, e os mais usados para larga escala são os sob pressão, no entanto o método de autoclave usa-se principalmente em taliscas e ripas. Já o método de Boucherie modificado tem restrições quanto a utilização de elementos químicos como preservativo, finalizando um produto agressivo ao ambiente.

Com o aumento de pesquisas sobre o processo de modificação térmica da madeira, sendo esse processo o que mais tem evoluído em termos comerciais nos últimos anos, devido principalmente ao custo do processo e ao forte apelo ambiental já que não são utilizados produtos químicos. A termorretificação ou retificação térmica é um processo em que o calor é aplicado e que provoca o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são os mais sensíveis à ação do calor, resultando na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado com madeira em condições normais, algumas delas podendo tornar-se interessantes para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al., 2006).

Dessa forma, o tratamento térmico surge como alternativa para melhorar a utilização de madeiras e materiais lignocelulósicos com características indesejáveis do ponto de vista tecnológico, diversificando seus usos, e ampliando seu potencial econômico, questão onde se encaixam as espécies de bambu, que apesar de disponíveis, sofrem limitações quanto ao seu amplo emprego, devido à inadequação de uma ou mais propriedades para um fim específico.

Porém, o grau das transformações sofridas pelos polímeros constituintes da madeira e no bambu e, conseqüentemente, dos efeitos atribuídos ao tratamento de retificação térmica, é condicionado por fatores como temperatura e duração do tratamento, taxa de aquecimento, atmosfera circundante, como uso de pressão, água ou apenas ar quente e também da sua interação com a espécie utilizada. Da mesma maneira, condicionam os efeitos negativos, advindos do emprego de temperaturas elevadas, que promovem a degradação da estrutura interna da madeira assim como do bambu e, conseqüente, perda de resistência mecânica.

Neste sentido, o presente trabalho cujo objetivo principal é avaliar os efeitos do tratamento térmico sobre as propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu: *Bambusa tuldoides* Munro e *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière. Tendo como objetivos específicos: avaliar as propriedades físicas, tais como: densidade básica e aparente, índice de contração, taxa de absorção de água e teor de umidade de equilíbrio. Avaliar as propriedades mecânicas, tais como: resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, módulo de elasticidade à flexão depois do tratamento térmico e a variação do módulo de elasticidade à flexão. Avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a cor.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre o bambu

Botanicamente, o bambu pertence à família *Gramineae* (*Poaceae*), sub-família das *Bambusoideae*, apresenta-se com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1.300 espécies espalhadas pelo mundo, concentrando-se na Ásia e ilhas adjacentes e, no Hemisfério Ocidental, desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina e Chile (HIDALGO, 2004).

Segundo Londono (2000), o Brasil conta com a maior diversidade e mais alto índice de florestas endêmicas de bambu em toda a América Latina, contando com 137 espécies em 17 gêneros, o que representa 32% das espécies e 85% dos gêneros da América Latina. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná, possuem a maior diversidade de florestas de bambu, sendo a Floresta Atlântica a principal responsável por essa diversidade, estendendo-se desde a Paraíba até o Rio Grande do Sul.

Erroneamente, o bambu é considerado por muitas pessoas como uma árvore, entretanto, trata-se de uma herbácea lenhosa gigante. É uma planta predominantemente tropical e de crescimento mais rápido do que qualquer outra planta do planeta, necessitando em média de 3 a 6 meses para atingir sua altura máxima, de até 30 m (JARAMILLO, 1992).

Os bambus nascem com o diâmetro que terão por toda a sua vida. Este diâmetro é maior perto da base e vai diminuindo, com a altura, em direção à ponta (ou seja, o bambu é geometricamente um tronco de cone), mas nunca aumenta com o passar dos anos, o que ocorre normalmente com as espécies arbóreas. Atinge o seu diâmetro máximo por volta do quarto ou quinto ano após o plantio. O comprimento de seus internós aumenta da base até o meio do colmo, diminuindo daí em direção ao topo, tendo em média de 20 a 35 cm, na maioria das espécies (PEREIRA & BERALDO, 2007).

Não há nenhuma outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992). Por se tratar de uma planta tropical, perene, renovável e que produz colmo anualmente sem necessidade de replantio, o bambu apresenta um grande potencial agrícola. Além disso, é um eficiente sequestrador de carbono e apresenta ótimas características físicas, químicas e mecânicas.

Atualmente, o bambu vem sendo reconhecido como uma espécie florestal de grande valor, em decorrência de suas amplas possibilidades agronômicas e tecnológicas, tais como matéria-prima fibrosa industrial, artesanal e como material estrutural para construções rurais. Como matéria-prima industrial a maior utilização do bambu é para produção conjunta de fibras celulósicas para papel e energia.

Apesar das suas excelentes propriedades e do interesse crescente pela sua utilização por parte de pesquisadores e empresários, o potencial do bambu tem sido pouco explorado. Entre as principais qualidades do bambu está a rápida propagação e o crescimento acelerado da planta. O bambu cresce 30% mais rápido do que as espécies de árvores consideradas de rápido crescimento, e graças a esse crescimento vigoroso, seu rendimento em peso por hectare ao ano é 25 vezes maior que o da madeira. Isto significa que o bambu é um recurso altamente renovável, o que não ocorre com outros materiais, que estão se tornando escassos e já ameaçam inviabilizar alguns sistemas de produção por falta de matéria-prima e conseqüente aumento dos preços.

2.2 Espécies estudadas

2.2.1 *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière

A espécie *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière, conhecida vulgarmente como cana-da-Índia, vara de pescar ou bambu-jardim, é nativa da China, mas também é encontrada no Japão, Taiwan, América Central e América do Sul. Esta espécie pertence à família poacea, sub família *Bambusoideae*, tribo *Bambuseae*, subtribo *Shibataeinae*, gênero *Phyllostachys*, espécie *aurea*. É uma das espécies mais conhecidas em todo o mundo e a que melhor tem se adaptado ao clima temperado, devido aos seus rizomas leptomorfos. Sua altura varia em média de 6 a 12 m, e o diâmetro entre 2 e 7 cm. Seus colmos se apresentam verdes quando jovem tornando-se amarelo-esverdeados com o passar do tempo. O comprimento dos internódios aumenta da base para o topo (OHRNBERGER, 1999 citado por CRUZ, 2002) (Figura 1).

No Brasil é uma das espécies mais utilizadas para a fabricação de móveis, varas de pescar e estruturas trançadas. Diferentemente da Ásia, aqui ela é usada em detrimento das espécies de diâmetros maiores. Sua aplicação se deve à alta resistência ao ataque de *Dinoderus minutus*, inseto que ataca bambus, e pelo fato de se curvar facilmente quando suas fibras são expostas ao aquecimento. Segundo Cruz (2002), é uma espécie pouco estudada do ponto de vista de suas propriedades físicas, mecânicas e mesoestruturais.



Figura 1. Características da espécie *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe dos colmos (Fonte: www.bambooweb.info).

2.2.2 *Bambusa tuldoides* Munro

A espécie *Bambusa tuldoides* possui colmos de paredes grossas em relação ao seu diâmetro, dando ao mesmo uma resistência mecânica alta (ALVES et al., 2003 citado por TEIXEIRA, 2006). O diâmetro varia de 3 a 8 cm e sua altura de 8 a 12 m. Tem cor verde e apresenta uma notável linearidade em seus colmos. É bastante empregada no Vietnã para produção de móveis. No Brasil, é conhecida em algumas regiões como bambu crioulo e é uma das espécies preferidas como tutor no cultivo de tomate (SILVA, 2005).

Segundo Nascimento (2002), a espécie apresenta valores de resistência à compressão paralela às fibras variando de 65,8 à 88,2 MPa, e de resistência ao cisalhamento de 11,5 à 15,8

MPa. O valor médio de resistência à compressão dessa espécie pode ser comparado ao da madeira de aroeira do sertão (*Astronium urundeuva*). Nascimento (2002) encontrou valores de compressão equivalente à 75,4 MPa para *Bambusa tuldoides*, enquanto que Brotero (1956) encontrou valores de 77,1 MPa à 15% de umidade para a madeira de aroeira do sertão. O valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras encontrado por Nascimento (2002), de 13,8 MPa para essa espécie de bambu foi similar ao valor médio encontrado também por Brotero (1956) para a madeira de ipê-roxo (*Tecoma inpetiginosa*) de 14,2 MPa. Em relação à densidade, Nascimento (2002) encontrou valores de 0,65 à 0,82 g/cm³, com média de 0,71 g/cm³, valores estes, que o autor afirma serem comparáveis aos valores encontrados em madeiras de folhosas tropicais.



Figura 2. Características da espécie de *Bambusa tuldoides* Munro. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Folhas. (C) Detalhe do colmo (Fonte: www.bambooweb.info).

2.3 Características e propriedades do bambu

2.3.1 Características dos colmos

Assim com as árvores, o bambu é constituído de duas partes, uma aérea e outra subterrânea. A parte aérea é chamada de colmo, sendo normalmente oca, enquanto que a parte subterrânea é formada por rizomas (caule subterrâneo) e raízes.

Referente ao sistema radicular, os bambus classificam-se em três grupos. O primeiro grupo é dos paquimorfos ou entouceirantes (ex.: *Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*), os quais são de origem tropical, apresentam-se em forma de bulbo (parecem batatas) com rizomas curtos e grossos com gemas laterais, e geram um colmo no pescoço do rizoma. As moitas são compactas, e geralmente se encontra dificuldades ao caminhar entre os bambus (HIDALGO LOPEZ, 2003; VASCONCELOS, 2004) (Figura 3).

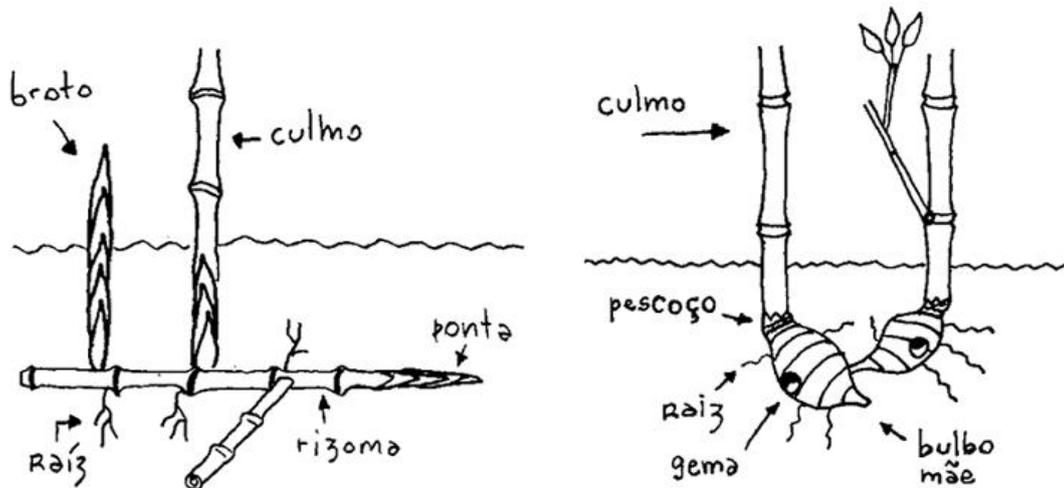


Figura 3. Estrutura subterrânea do bambu de rizoma leptomorfo e paquimorfo ou entouceirantes (Fonte: VASCONCELOS, citado por: AKINA et. al., 2007).

O segundo grupo é dos leptomorfos ou alastrantes (ex.: *Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*), os quais apresentam rizomas que se desenvolvem no solo de forma a ocupar grandes áreas. O terceiro grupo é chamado de anfipodiais, que combinam características dos dois tipos (*Chusquea*), conforme observado por Hidalgo Lopez (1974).

A estrutura anatômica dos colmos é relativamente simples, já que os bambus, diferentemente das árvores não apresentam crescimento secundário. Entretanto, sua estrutura determina suas propriedades tecnológicas, daí a importância em entender sua composição.

Os colmos apresentam um formato cilíndrico, normalmente ocos, sendo caracterizados pelos nós e nos internós ou internódios, as células são orientadas axialmente. Por se tratarem de peças ocas, os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma (Figura 4). Devido à ausência de elementos radiais no bambu, movimento de distribuição transversal de nutrientes ou líquidos é dificultado (LIESE, 1998).

O tecido do colmo é composto por células parenquimáticas, onde estão embebidos os feixes fibrovasculares compostos de vasos (metaxilema), tubos de seiva e células acompanhantes (floema) e fibras (Figura 5). Geralmente, apresentam-se na proporção de 52% de parênquima, 40% de fibras e 8% de tecidos de condução (GROSSER & LIESE, 1971).

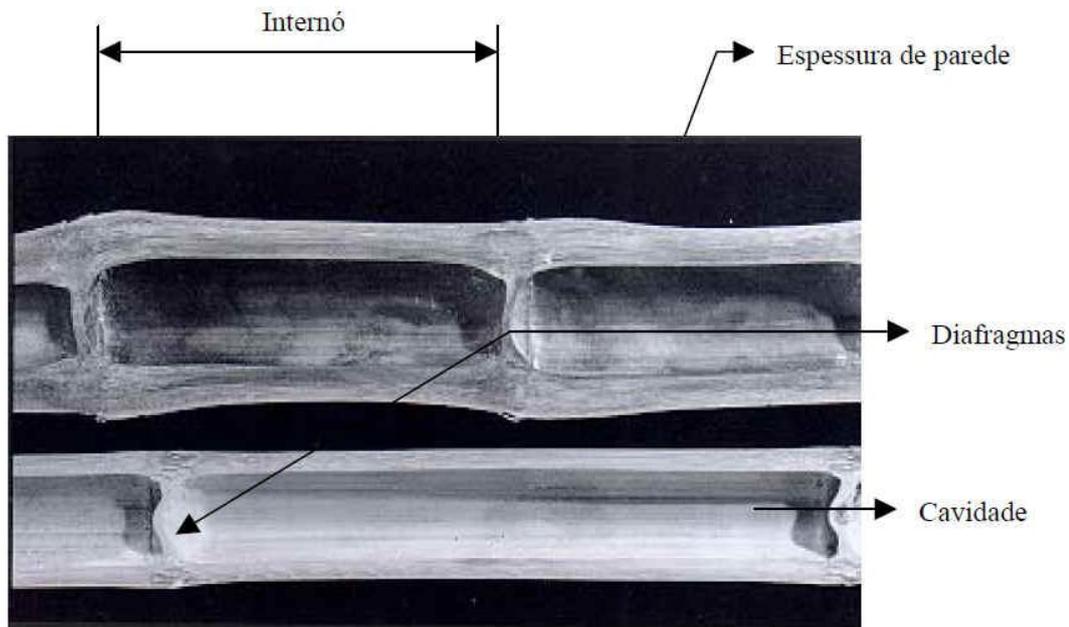


Figura 4. Seção longitudinal do colmo de bambu (CRUZ, 2002).

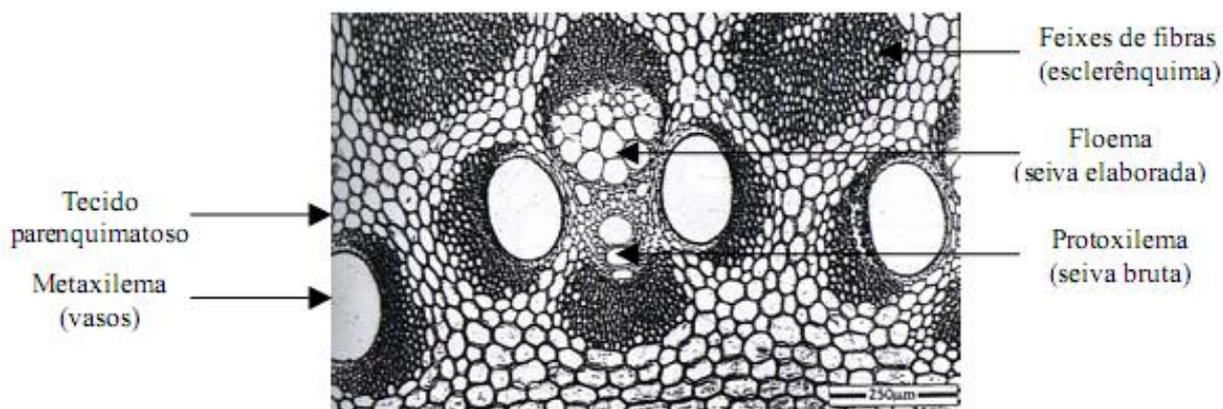


Figura 6. Estrutura anatômica de colmos de *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz, seção transversal (LIESE, 1998).

Segundo Beraldo & Zoulalian (1995), a estrutura anatômica do bambu proporciona resistência devido à concentração de fibras na região externa e flexibilidade devido à concentração de vasos e células de parênquima na região interna.

As células de parênquima dos nós e diafragmas têm alto teor de amido (Figura 6), e as fibras e o protoxilema podem apresentar também inclusões deste (LIESE, 1998). O amido fornece energia para o espessamento das paredes celulares, e é altamente atrativo a organismos xilófagos, conferindo ao bambu baixa durabilidade natural.

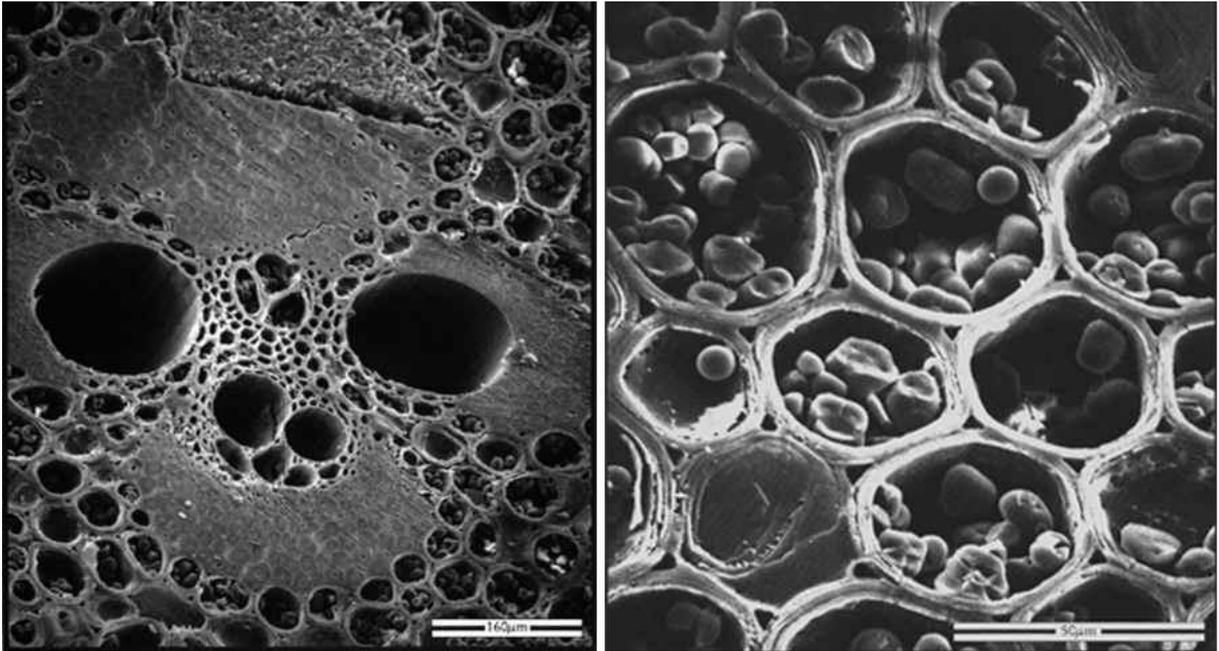


Figura 7. Células parenquimáticas de *Phyllostachys viridiglaucescens* (Carrière) Rivière & C. Rivière, com inclusões de amido - seção transversal (LIESE, 1998).

Nas células pode-se observar a presença de perfurações (“pits” ou pontuações), de fundamental importância para que seja eficiente a transferência transversal dos líquidos. Essas características anatômicas são responsáveis pela penetração do óleo durante o processo de tratamento térmico com óleo quente, pois, embora os elementos de vasos sejam bem mais permeáveis, o fluxo lateral é restrito devido à ausência de células radiais (LEPAGE, 2008).

Os estômatos, com suas células-guarda, estão uniformemente distribuídas ao longo da epiderme, embora mais comum na porção basal do colmo do que para o alto. Eles são quase quadrangular em vista frontal. Muitas grandes células parenquimáticas de paredes finas, existem no âmbito dos estômatos. Abaixo da epiderme encontra-se a hipoderme, composta de várias camadas de células de paredes espessas esclerenquimáticas.

A composição compacta do córtex e do revestimento de cera evitam a perda de água do colmo, semelhante à casca de árvores. Ela também impede que a captação lateral de líquidos, o que restringe o tratamento por imersão simples em conservante (LIESE, 1980, 1997; WU 1994).

Segundo alguns autores (LIESE, 1998; HIDALGO LOPEZ, 2003), o teor de lignina e a espessura das paredes celulares afetam as propriedades físicas e mecânicas do bambu. O processo de lignificação do *Phyllostachys heterocycla* foi estudado por ITOH (1990), acompanhando o desenvolvimento de colmos até a idade de 2 anos. Segundo o autor, a lignificação ocorre do ápice para a base, e de fora para dentro do colmo. As células da epiderme e as fibras antecedem o parênquima neste contexto, o qual só é intensamente lignificado após o surgimento das hastes laterais.

2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas

O estudo das propriedades físicas do bambu é de grande importância para a área da construção civil, já que a densidade influencia a resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade.

As alterações dimensionais do bambu, devido à desorção e/ou adsorção de água, estão entre as propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando consideravelmente o seu

uso industrial em vários ramos de utilização. Contrações elevadas podem trincar o bambu, e expor o seu interior à infestação de agentes patogênicos, comprometendo sua durabilidade. Os colmos jovens apresentam contrações maiores do que os colmos já maduros, com cerca de 3 a 4 anos de idade (HIDALGO-LOPEZ, 1974).

A retratibilidade é influenciada ainda pelo estágio de maturação das fibras e densidade dos feixes fibrovasculares, sendo que colmos mais velhos apresentam-se mais estáveis.

A massa específica do bambu aumenta da camada interna para a externa, e ao longo do colmo, conforme constatado por diversos autores (LIESE, 1998; HIDALGO-LOPEZ, 2003).

Nascimento et al. (2002) estudaram o *Bambusa tuldoides*, e concluíram que ocorre aumento da densidade da base para o ápice do colmo, diminuição do teor de umidade da base para o ápice e maiores contrações na área basal, em função de sua menor massa específica, ao contrário do que acontece com as angiospermas dicotiledôneas.

O teor de umidade é definido como a porcentagem entre a massa de água contida no bambu pela massa do bambu seco. O teor de umidade é um fator importante que define as propriedades mecânicas do bambu. Segundo LEE et al (1994) citado por Berndsen (2008), o teor de umidade a resistência à flexão e compressão mostrou variações significantes do estado verde do seco.

O conhecimento prévio das diferentes propriedades mecânicas do bambu pode servir de subsídio para os projetistas, no que tange a atribuição de funções específicas para cada espécie, no contexto da construção civil. Por exemplo, espécies com elevada resistência a compressão poderiam ser utilizadas como apoios, enquanto as que se comportam bem a tração como tirantes.

As propriedades mecânicas dos colmos de bambu devem ser observadas de acordo com os seguintes fatores: clima, topografia, solo, altitude, idade do colmo e a parte do colmo em questão, ou seja, se a amostra é de nó ou internódio, se provém da base, meio ou ápice, e ainda se é referente à parte interna ou externa da parede do colmo (HIDALGO LOPEZ, 2003). ZHOU (1981) também afirma que as propriedades mecânicas dos colmos de bambu são determinadas pela sua massa específica, a qual varia, em média de 0,50 a 0,90 g.cm⁻³.

O bambu, assim como a madeira, é um material heterogêneo e anisotrópico, ou seja, apresenta módulos de elasticidade que variam conforme o sentido de aplicação das cargas. Segundo Hidalgo Lopez (1974), a resistência à compressão do bambu é aproximadamente 4 vezes menor que a resistência à tração, sendo o módulo de elasticidade à compressão ligeiramente inferior ao módulo de resistência à tração.

A idade dos colmos também afeta as suas propriedades mecânicas. Salgado et al. (1994) afirmam que os colmos maduros apresentam melhor resistência à flexão e à compressão, em relação à colmos jovens, por tratarem-se de peças já totalmente lignificadas.

Apesar de todas as vantagens, o uso do bambu esbarra em sua baixa durabilidade natural. De acordo com Liese (1998), o bambu não produz substâncias tóxicas durante sua vida diferentemente da maioria das árvores, o que favorece a sua degradação por agentes biológicos. Os principais organismos responsáveis pela degradação da madeira são fungos, insetos, bactérias e crustáceos (HIGHLEY, 1999). Dentre estes, os coleópteros podem causar graves prejuízos econômicos, destacando-se aí o gênero *Dinoderus sp.*

2.4 Tratamento de termorreificação

Existem algumas limitações quando se trabalha com a madeira e materiais lignocelulósicos, sendo a maioria associada às propriedades higroscópicas em combinação com a anisotropia de contração e inchamento, além da degradação biológica, também relacionada às mudanças no teor de umidade (JOHANSSON, 2008). Apesar de existir a

séculos, o tratamento térmico, ou termorretificação, é uma metodologia que vem sendo bastante utilizada para melhoria dessas limitações tecnológicas da madeira.

Segundo Rodrigues (2009), o tratamento térmico dado à madeira, varia desde a secagem (eliminação de água livre) até a gaseificação (produção de gás), sendo que, no gradiente entre esses dois extremos, há eliminação e formação de diversas substâncias, segundo reações simples e complexas, resultando em alterações químicas, físicas e mecânicas tão mais significativas com o aumento da temperatura.

A termorretificação ou retificação térmica é um processo em que o calor é aplicado e que provoca o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são os mais sensíveis à ação do calor, resultando na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado com madeira em condições normais, algumas delas podendo tornar-se interessantes para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al., 2006).

Segundo BROWN et al. (1952), a degradação térmica da madeira pode ser dividida em quatro fases. A primeira fase situa-se entre a temperatura ambiente e 100°C, na qual ocorre uma baixa liberação de gases, com produção de água e óleos voláteis, e uma pequena quantidade de ácido acético e traços de metanol. A segunda fase é caracterizada pela formação de ácido pirolenhoso, ocorre entre 100 e 175°C. Nesta fase ocorre a liberação de água higroscópica e de constituição, sendo que a última acarreta uma degradação irreversível da madeira. A terceira fase situa-se entre 175 e 350°C, na qual ocorre, em geral a destruição das hemiceluloses. Essa fase é caracterizada por reações exotérmicas e pela formação da maioria dos destilados (alcatrão) e liberação de gases inflamáveis. A quarta fase, com temperatura acima de 350°C, ocorre após a finalização das reações exotérmicas e início da formação do carvão vegetal. A destruição da celulose ocorre entre 330 e 370°C e o início da degradação da lignina em temperaturas acima de 370°C, quando o carvão vegetal é produzido.

A madeira termorretificada é obtida pelo princípio da termodegradação de seus constituintes químicos, na ausência de oxigênio ou forte deficiência de ar. É definida também como o produto de uma pirólise controlada, interrompida, antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (as quais se iniciam aproximadamente à 280°C), quando tem início a combustão espontânea da madeira (BORGES & QUIRINO, 2004).

Segundo Rodrigues (2009) em face às inúmeras vantagens que a termorretificação traz às propriedades da madeira, vários processos, em escala industrial, têm sido desenvolvidos em vários países europeus, sendo eles: Thermowood[®] na Finlândia, Retification[®] e Bois Perdue[®] na França, Oil Heat Treatment (OHT) na Alemanha e Plato[®] Wood nos Países Baixos.

O aquecimento da madeira na presença de ar tende a promover reações de degradação pois a taxa de degradação térmica é dependente da atmosfera circundante, especialmente com relação a presença ou ausência de oxigênio. Esteves et al. (2008) explica que isso acontece porque o ácido acético, produzido nesse processo, atua como um catalizador das reações de depolimerização, e isso é possível devido ao alto conteúdo de ácido acético liberado num ambiente oxidante. Existem interações não apenas entre os componentes encontrados dentro da madeira, mas também interações entre a madeira e a atmosfera de tratamento.

O resultado do tratamento térmico é altamente dependente da presença de oxigênio e água. A presença do primeiro levará a reações de oxidação, que podem ser prevenidas pelo tratamento em uma atmosfera inerte como óleo, nitrogênio, água ou vapor. O uso de vapor é um modo eficiente e econômico de criar uma atmosfera inerte, mas que também influencia as reações que ocorrem durante o tratamento (JOHANSSON, 2008).

Segundo Severo & Tomaselli (2003), em alta umidade relativa, a madeira degrada-se predominantemente por hidrólise ácida e a taxa de degradação, nesse caso, é maior que a degradação térmica ou pirolítica. A água faz com que sejam quebrados os grupos acetilas, com a formação de ácido acético, responsável pela degradação da madeira. Deve-se, no

entanto, considerar que o excesso de água reduz a quantidade de oxigênio no ar, podendo retardar a reação da hidrólise.

Nos últimos anos o tratamento de termorretificação vem sendo aplicado em material alternativo como o bambu (BRITO, 2009; MANALO & ACDA, 2009; COLLA, 2011). Esses autores estudaram espécies de bambu e métodos de termorretificação diferentes e

2.4.1 Características do material termorretificado

O tratamento de termorretificação agrega alterações físicas e mecânicas ao material tratado. Estudos sobre o efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas tanto em madeira quanto em bambu mostram que há um decréscimo na sua resistência mecânica em função da perda de massa provocada pelo tratamento.

Manalo & Acda (2009) estudaram o efeito da termorretificação pelo processo OHT nas propriedades mecânicas de três espécies de bambu filipino (*Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*) tratadas à 160 e 200°C durante 30 e 120 minutos. Os autores observaram uma redução nas propriedades mecânicas, ou seja, no módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tenacidade.

Por outro lado, inúmeros trabalhos mostram que a termorretificação melhora a estabilidade dimensional e a durabilidade biológica das madeiras e dos bambus devido à degradação térmica do seu constituinte mais hidrosscópico, as hemiceluloses, e as novas interações químicas entre os polímeros da lignina e de celulose e os produtos gerados durante a degradação térmica.

Beraldo et al. (2009) avaliaram o efeito da termorretificação nas propriedades físicas e mecânicas de taliscas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e observaram que o bambu termorretificado tem potencial para ser utilizado em diversas aplicações dependendo da temperatura do tratamento, devido, principalmente, as melhorias na estabilidade dimensional.

Colla et al. (2011), estudaram os efeitos da termorretificação nas propriedades físico-mecânicas do *Dendrocallamus giganteus* e através de microscopia eletrônica foi possível observar as mudanças anatômicas no bambu nas diferentes temperaturas de tratamento (figuras 7 e 8).

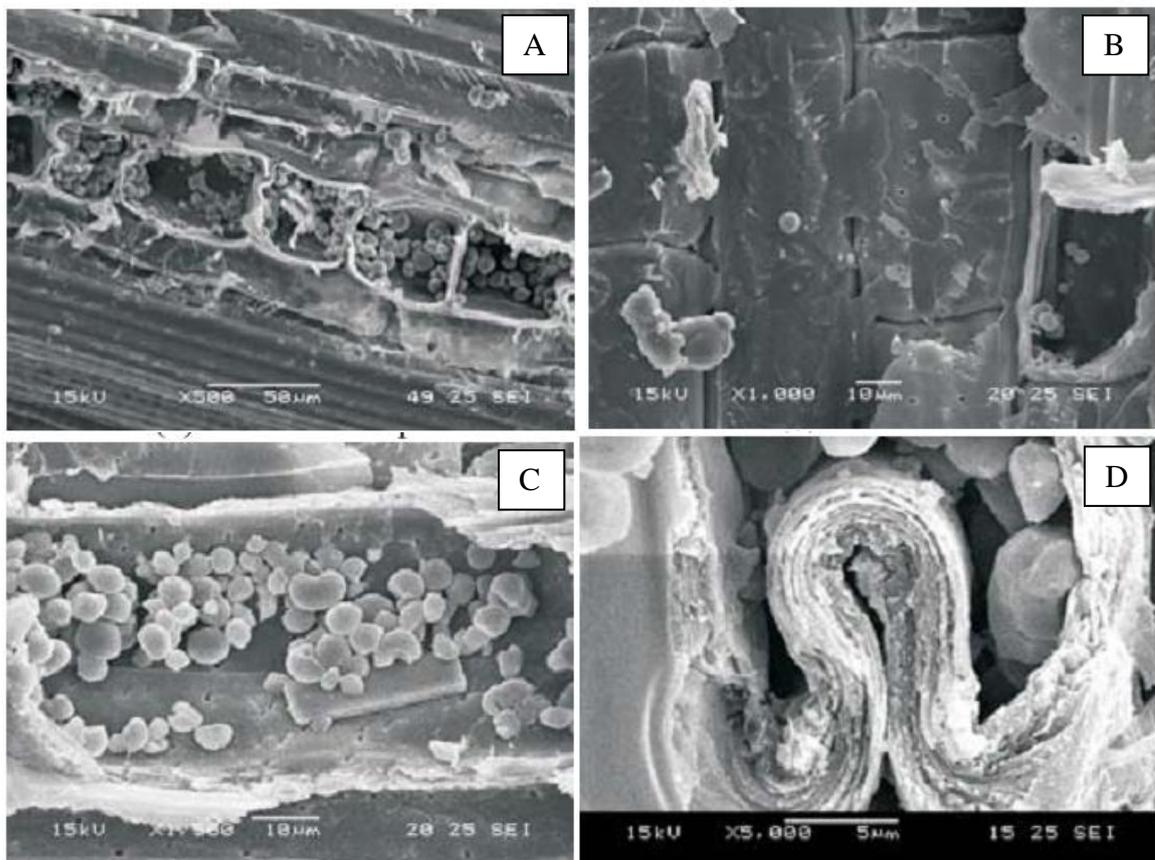


Figura 8. Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie *Dendrocallamus giganteus*. A) Amostra controle apresenta grande quantidade de amido na sua forma típica globular. B) A 140°C as estruturas das células são ainda quase inalteradas. C) A 180°C mudanças estruturais verificadas são mais drásticas. D) ainda a 180°C, as células do parênquima são severamente contraídas (COLLA et al., 2011).

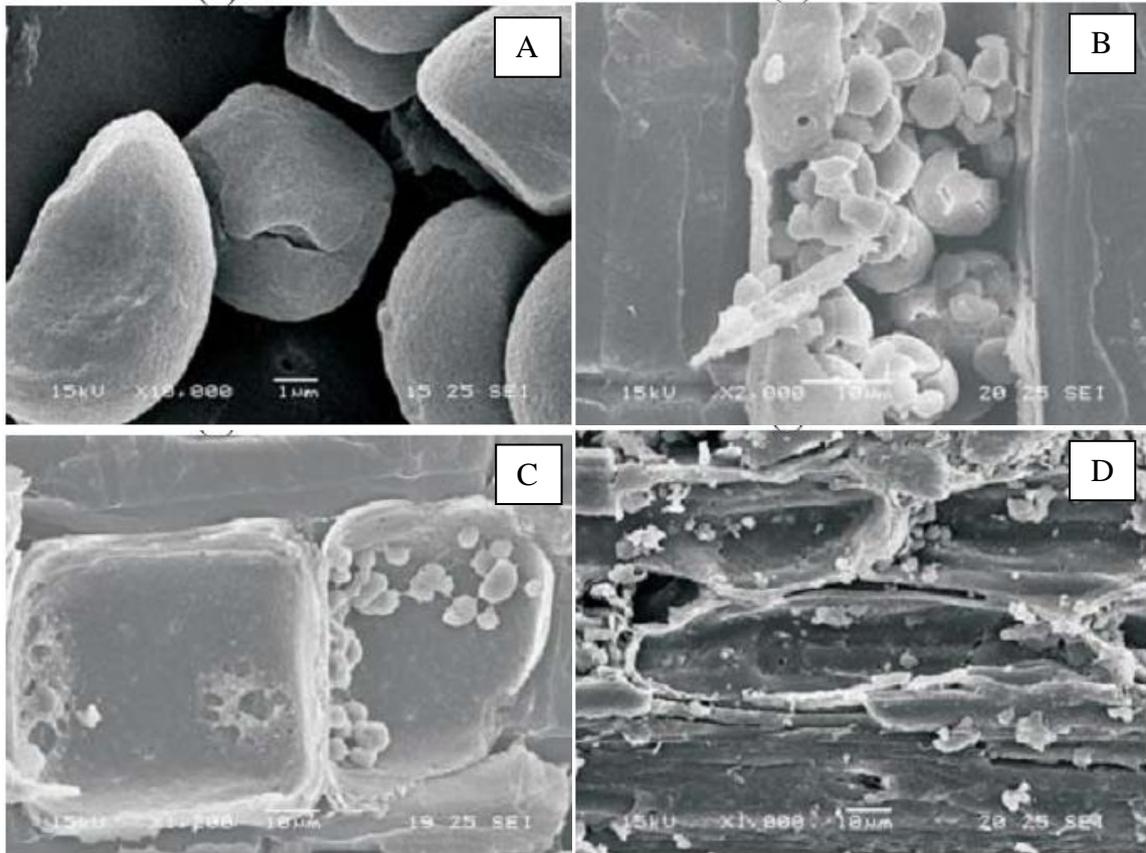


Figura 9. Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie *Dendrocallamus giganteus*. A) A 220°C, grãos de amido com apresentam algumas fissuras e estão a ponto de romper. B) ainda na mesma temperatura, os grão de amido já estão rompendo. C) O processo de degradação do parênquima continua, a 260°C. D) A 300°C, a estrutura do material se assemelha ao carvão vegetal. (COLLA et al., 2011).

Além dessas propriedades, a termorretificação também causa alterações na cor original do material. Com o tratamento, a cor é modificada adquirindo uma tonalidade mais escura e que muitas vezes é justificada pela formação de produtos resultantes da degradação das hemiceluloses e de outros componentes (figura 8) (SEHISTEDT-PERSSON, 2003; SUNDQVIST, 2004; BERALDO et al., 2009).



Figura 9. Diferença na cor das amostras termorretificadas de *Dendrocallamus giganteus* (BERALDO et al. 2009).

A composição química do bambu é alterada quando o material é submetido ao tratamento térmico. De acordo com Kamden et al. (2002), a degradação química da madeira ocorre na seguinte ordem: hemicelulose, celulose e lignina. Segundo, Tjeerdsma e Militz (2005) a hemicelulose é hidrolisada mais facilmente do que a celulose, em outras palavras, a quebra de uma cadeia de hemicelulose não reduz tanto a resistência do bambu como a quebra de cadeia de celulose (SALIM & WAHAB, 2008).

Salim & Wahab, (2008) estudaram o efeito da termorretificação na composição química espécie de bambu *Gigantochloa scortechinii* e observaram que o teor de celulose do bambu tratado termicamente reduziu 2,9 % para o tratamento de 140°C a 60 minutos e 3,8% para o tratamento de 180°C a 30 minutos, em relação ao controle. Em 180°C a 60 minutos a redução foi de 5,1% e em 220°C a 60 minutos foi de 14,1%. Este resultado mostra que a degradação da celulose do bambu aumenta quanto maiores são as temperaturas e tempo de tratamento térmico.

Tabela 19. Redução do teor de celulose na espécie de bambu termorretificada *Gigantochloa scortechinii*, segundo Salim & Wahab (2008).

Redução de celulose (%)	Tratamentos			
	140°C/30min.	180°C/30min	180°C/60min	220°C/60min
	2,9	3,8	5,1	14,1

A celulose de bambu é considerada o elemento que mais influencia na resistência do bambu. A estrutura da celulose é alterada, a parte amorfa possivelmente hidrolisa em primeiro lugar, deixando um resíduo de celulose com um grau reduzido de polimerização e aumento da cristalinidade. A degradação da celulose pode contribuir para a perda de resistência mecânica em madeira sob tratamento térmico (SUNDQVIST, 2004; BRITO, 2009). Condições de processo diferentes, temperatura e tempo de tratamentos aplicados durante o tratamento térmico pode influenciar a taxa de degradação do conteúdo de celulose (Boonstra e Tjeerdsma, 2005).

Segundo Salim & Wahab (2008), não há nenhuma tendência específica do teor de lignina quando tratados em condições diferentes de temperatura e tempo. Um maior teor de lignina encontrado em bambu tratado termicamente em relação ao controle indica a degradação de algumas hemiceluloses. Além disso, mudanças na estrutura da lignina do

bambu a uma temperatura elevada foram provavelmente atribuída ao incremento do teor de lignina.

Kamden et al. (2002), descobriram que o aumento no teor de lignina pode ser atribuída à perda de hemicelulose ou pentoses e hexoses frágeis durante o tratamento térmico. Eles também comentam que o aumento no teor de lignina não envolve a formação de lignina durante o processo, mas a redução de outros componentes da madeira. Outros autores também encontraram uma tendência semelhante do teor de lignina durante o processo de termorretificação (WESTERMARK et. al., 1995; TJEERDSMA et. al., 1998; KISHIMOTO & SANO, 2002; BOONSTRA & TJEERDSMA, 2005).

Segundo Salim & Wahab (2008), o teor de amido de bambu termicamente tratado apresentou reduções em relação ao controle, apenas no tratamento de 140°C durante 60 minutos essa diferença não foi observada (Tabela 2). A redução no teor de amido pode melhorar a durabilidade do bambu, já que fungos e pragas têm o amido como alimento preferido para sobreviver.

Tabela 20. Redução do teor de amido na espécie de bambu termorretificada *Gigantochloa scortechinii*, segundo Salim & Wahab (2008).

Redução de amido (%)	Tratamentos			
	140°C/30min.	180°C/30min	180°C/60min	220°C/60min
	-	18,8	31,3	52,1

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo do material

Neste estudo, foram utilizados colmos maduros de duas espécies de bambu, sendo elas, *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière e *Bambusa tuldoides* Munro. Os colmos de *Phyllostachis aurea* foram coletados na Fazenda Agroecológica da EMBRAPA Agroecologia enquanto que os colmos de *Bambusa tuldoides* foram coletados em área próxima a empresa Pesagro, ambas localizadas no município de Seropédica, Rio de Janeiro. A Figura 6A-B apresenta o povoamento de *Bambusa tuldoides* do local de coleta assim como os colmos de *Phyllostachis aurea* coletados.

Foram coletados um total 50 colmos maduros, os quais apresentavam um aspecto de “sujo” com manchas brancas e verdes e sem suas grandes folhas caulinhares (bainhas). Para a espécie *Phyllostachis aurea* foram coletados 30 colmos com diâmetro médio de aproximadamente 3 cm e altura média de 5 m, enquanto que para a espécie *Bambusa tuldoides*, foram coletados 20 colmos com diâmetro médio de aproximadamente 4,5 cm e altura média de 10 m, tal como utilizado por Sant’Anna (2008).

Após a coleta, os colmos foram submetidos à retirada dos diafragmas para secagem adequada e seccionados em peças de aproximadamente 50 cm de comprimento adequando-se às condições de manuseio, transporte e estocagem. Após o transporte, as amostras foram redimensionadas nas dimensões correspondentes aos ensaios físicos e mecânicos à serem realizados (Figura 10).



Figura 10. (A) Povoamento de *Bambusa tuldoides* Rivière & C. Rivière. (B) Coleta dos colmos de *Phyllostachis aurea* Munro. (C) Colmos de *Bambusa tuldoides* seccionados nas dimensões dos ensaios físicos e mecânicos.

Nessa etapa, as amostras foram identificadas, pesadas e suas dimensões mensuradas. O diâmetro externo foi mensurado e a espessura determinada à partir de dois pontos diferentes de cada uma das extremidades para posterior cálculo de volume. A mensuração das amostras foi determinada com auxílio de balança eletrônica e paquímetro digital. Após essa etapa, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada à 20°C e 65% de umidade, até peso constante e tiveram novamente as medidas, anteriormente citadas, mensuradas.

3.2 Tratamento de termorretificação

A termorretificação das amostras de bambu foi realizada em um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com as seguintes dimensões 60 x 60 x 70 cm e equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo (Figura 11).



Figura 11. A) Mufla elétrica laboratorial. B) Disposição das amostras no interior da mufla antes do tratamento de termorretificação. C) Disposição das amostras no interior da mufla depois do tratamento de termorretificação.

O tratamento de termorretificação foi realizado em quatro etapas, sendo elas: 1) aquecimento do material até 100°C para eliminação completa da água durante 60 minutos; 2) aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação desejada (160, 180 ou 200°C) durante 60 minutos; 3) tempo de permanência na temperatura de termorretificação (15, 30 ou 45 minutos); e 4) resfriamento do material (Figura 11). Após o tratamento térmico, as amostras foram recondicionadas em câmara climática à 20°C e 65% UR até atingir o teor de umidade de equilíbrio e então utilizadas para determinação das propriedades físicas e mecânicas.

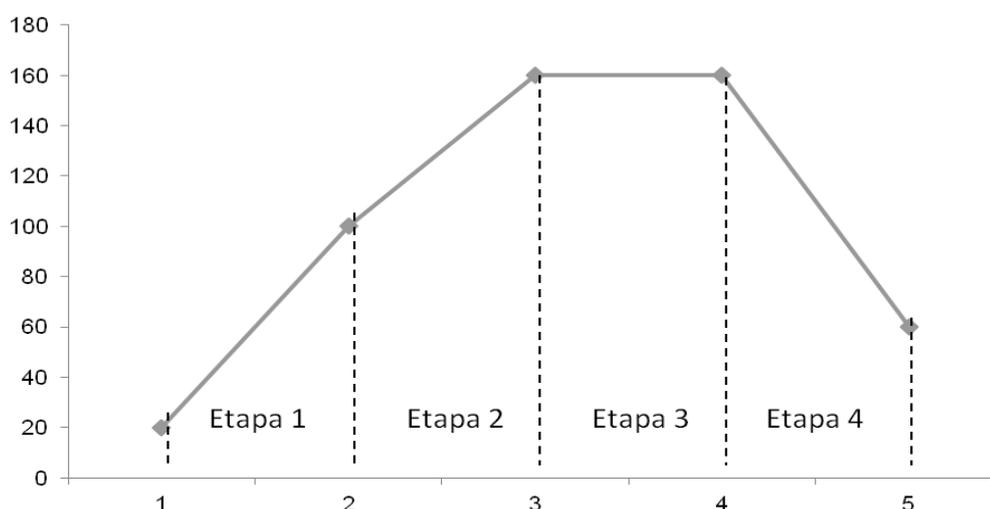


Figura 12. Etapas do tratamento de termorretificação aplicado às espécies de bambu. Etapa 1: aquecimento até 100°C. Etapa 2: aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação. Etapa 3: tratamento de termorretificação. Etapa 4: resfriamento..

3.3 Ensaio físicos

As propriedades físicas determinadas neste estudo, segundo a adaptação da ABNT NBR 7190/1997, foram: densidade aparente, teor de umidade de equilíbrio, índice de contração, taxa de absorção de água. As adaptações realizadas à norma foram em relação ao comprimento das amostras, já que a norma estabelece as seguintes dimensões: 2 x 3 x 5.

Para a determinação das propriedades físicas foram utilizadas 100 amostras com aproximadamente 3 cm de diâmetro e 5 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro e 7 cm, das espécies de bambu *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*, respectivamente. Desse total, 10 amostras foram reservadas para o controle, sendo 5 de cada espécie. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada à 20°C e 65% de umidade relativa, até peso constante. A etapa seguinte foi a saturação das amostras em água. As amostras foram submergidas em recipiente com água e tiveram seus pesos e volumes mensurados até medidas constantes.

Todas as amostras, incluindo as controles, foram secas em estufa de 102 +/- 3°C, até peso constante e terão suas medidas mensuradas com auxílio de paquímetro e balança digitais.

3.3.1 Densidade Aparente

A densidade aparente das amostras foi determinada antes e após o tratamento de termorreificação, através da seguinte equação:

$$DENS = M/V$$

onde, DENS: densidade aparente da amostra no teor de umidade de equilíbrio ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); M: peso da amostra no teor de umidade de equilíbrio (g); V: volume da amostra no teor de umidade de equilíbrio (cm^3).

3.3.2 Teor de Umidade de equilíbrio

Para a determinação do teor de umidade de equilíbrio, as amostras termorreificadas e não termorreificadas foram acondicionadas em câmara climática a 20°C e 65% UR e o peso monitorado até atingir valor constante. O teor de umidade de equilíbrio das amostras foi então calculado através da seguinte equação:

$$TUE = (P_U - P_S) / P_S \times 100$$

onde, TUE: teor de umidade de equilíbrio (%); P_U : peso da amostra obtido após acondicionamento em câmara climática à 20°C e 65% UR (g); P_S : peso seco da amostra obtido após secagem em estufa 103±2°C (g).

3.3.3 Coeficiente de contração

A mudança de volume de material lignocelulósico, se verifica entre 0 e 28%. A aproximação e o afastamento entre as cadeias celulósicas são denominados de contração e inchamento, respectivamente. Para determinação dessas variáveis, após o acondicionamento, as amostras foram imersas em água até a saturação completa e as dimensões. As amostras foram conduzidas a uma estufa à 103±2°C durante 24 horas e as dimensões novamente mensuradas. Posteriormente, foram determinadas as seguintes variações dimensionais de contração calculadas através da seguinte equação:

$$\beta_v = (V_u - V_0) / V_u \times 100$$

onde, β_v : contração volumétrica da madeira (%); V_u : volume saturado da amostra após imersão em água (cm^3); V_0 : volume da amostra seca em estufa à 103 ± 2°C (cm^3).

3.3.4 Taxa de absorção de água (ta)

Este procedimento teve início após estabilização de massa do material tratado e não tratado em câmara climatizada à 20°C e 65% de umidade relativa. Todas as amostras foram submetidas a imersão total das amostras em água por 24 horas, utilizando um recipiente, seguida de secagem do material em estufa a 103±2°C até peso constante.

Dessa maneira foi possível determinar ao final de cada condição, o peso das amostras em balança digital e, com base nestes dados, se analisou o comportamento das amostras dos tratamentos, através da fórmula abaixo:

$$ta = (M_U - M_S) / M_S \times 100$$

onde, ta: taxa de absorção de água das amostras (%); Mu: massa das amostras após imersão em água por 24 h (g); Ms: massa das amostras secas em estufa à 103±2°C (g).

3.4 Ensaio mecânicos

As propriedades mecânicas determinadas nesse estudo foram: resistência à compressão, resistência ao cisalhamento e módulo de elasticidade à flexão.

3.4.1 Resistência à compressão

A partir do registro do valor da carga de ruptura e da área de cada amostra ensaiadas foi possível calcular o limite de resistência com auxílio da equação abaixo:

$$fc = N_{máx} / Área ; Área = (D^2 - d^2) \times \pi / 4$$

Onde, fc: limite de resistência à compressão (kgf/cm²); D: diâmetro externo da amostra (cm); d: diâmetro interno da amostra (cm); Nmáx: carga máxima de ruptura do material (kgf).

3.4.3 Resistência ao cisalhamento

No ensaio de cisalhamento das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* foram confeccionadas amostras de acordo com a Figura 13, onde a altura é de 5 cm para *Bambusa tuldoides* e de 3 cm para *Phyllostachis aurea*. Para esse ensaio foi confeccionado, segundo alguns estudos e projetos de normas, um dispositivo de madeira e as medidas das amostras foram estabelecidas de acordo com as condições dos equipamentos de ensaio. No total foram ensaiadas 50 amostras para cada espécie, incluindo as amostras não tratadas termicamente (controle).

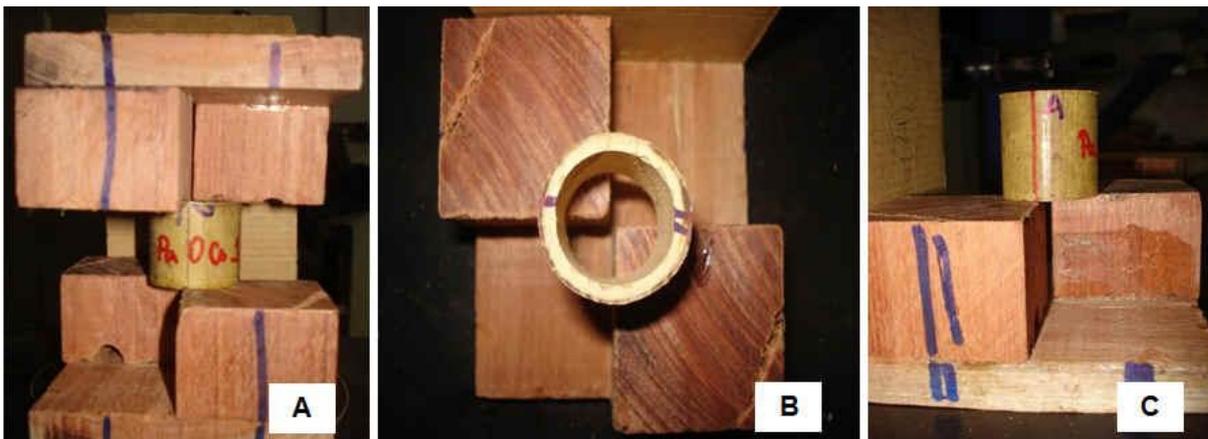


Figura 13. Amostra de cisalhamento da espécie *Phyllostachis aurea* acoplada ao dispositivo de madeira. (A) Vista frontal. (B) Vista superior. (C) Vista lateral esquerda.

O ensaio foi realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos utilizando-se uma célula de carga de 2 toneladas. O incremento de carga se deve até a ruptura do material, registrando-se a carga máxima. O limite de resistência ao cisalhamento foi calculado com base na área cisalhante, segundo a equação abaixo:

$$fv = N_{m\acute{a}x} / \acute{a}rea$$

onde, fv: limite de resistência ao cisalhamento (kgf/cm²); N_{máx}: carga máxima suportada pela amostras (kgf); área: é a área da seção da amostras (cm²).

3.4.4 Módulo de elasticidade à flexão

As amostras utilizadas neste teste tiveram o comprimento, aproximadamente, 40 cm e 55cm, e com diâmetros aproximados de 3,0cm e 5,0cm, para *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*, respectivamente. O comprimento das amostras não foi mais extenso devido a limitações dos aparelhos utilizados no tratamento de termorretificação. Como a tecnologia utilizada não é indicada para ensaios em bambus para a realização deste teste se tornará necessária a criação de um sistema de adaptação para aumentar a área de contato do bambu com os apoios e a carga aplicada, diminuindo desta forma a tensão e evitando que o bambu se rompa antes do tempo. Na Figura 13, estão ilustrados os suportes que foram confeccionados em madeira com formato circular no meio para permitir o apoio do bambu.

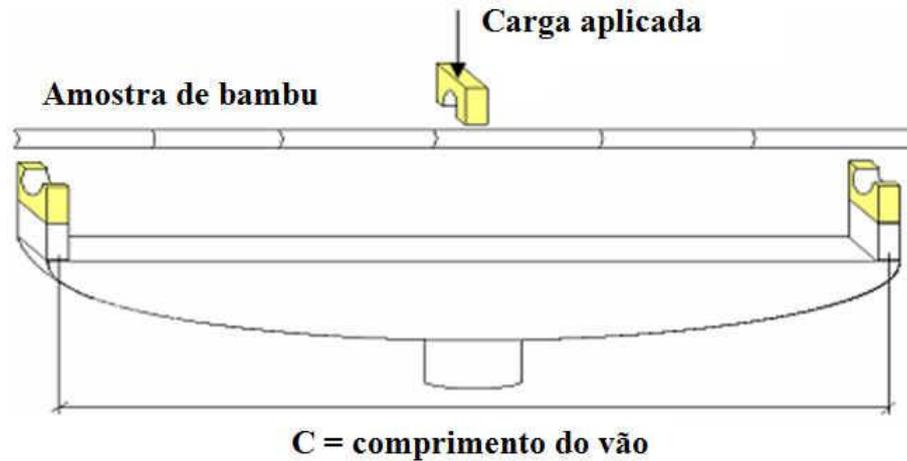


Figura 14. Esquema para o ensaio de resistência à flexão (SANT'ANNA, 2008).

Antes da realização do teste, foram mensurados os diâmetro externos e internos do bambu nos apoios, com auxílio de paquímetro digital. Foram avaliadas 50 amostras para cada espécie, incluindo as amostras não tratadas termicamente (controle).

O ensaio se realizou de forma que o bambu ficasse apoiado nos suportes de madeira. O incremento de carga se deu no centro do vão livre, através de uma célula de carga de 2 toneladas. O ensaio foi realizado em duas etapas, a primeira consistiu na aplicação de carga nas amostras anteriormente ao tratamento de termorretificação. As cargas usadas foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares e de informações adquiridas pela literatura. e foram de 100 e 50 Kgf, respectivamente, para *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachis aurea*. A segunda etapa consistiu na aplicação de carga até ruptura das amostras termorretificadas e das amostras controle. Com o registro dos dados foi possível calcular o módulo de elasticidade depois do tratamento de termorretificação e a variação desse módulo quando comparado ao módulo de elasticidade antes do tratamento de termorretificação.

Para o cálculo dos módulos de elasticidade se utilizou as seguintes equações:

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} + 1,2 \frac{PL}{4GA}$$

Onde: δ : deformação total (mm); P: variação de carga (kgf); L: comprimento do vão (mm); E: módulo de elasticidade (kgf); I: inércia (mm⁴); G: rigidez =8500 (kgf) ; A: área (mm²).

Desmembrando a equação...

$$MOE = PL^3 \frac{48\delta}{10I} \quad \delta_{CORTANTE} = 1,2 \frac{PL}{4GA}$$

3.5 Determinação da cor no sistema CIE-L*a*b*

O sistema CIE (*Comission International de L' Eclairage* ou Comissão Internacional de Iluminabtes) é um método que define a sensação da cor e basea-se em três elementos: a claridade ou luminosidade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade. Esse sistema é caracterizados por três coordenadas em um espaço de cor tridimensional, a saber L*, a* e

b*. O eixo L* representa a luminosidade, o qual varia de zero (preto) a 100 (branco). O eixo vermelho/ verde, definido pela variável a*, mostra que se o valor é positivo, trata-se do matiz vermelho e se for negativo, verde. Da mesma forma, a variável b* define o eixo amarelo/ azul, sendo o valor positivo representante do matiz amarelo e negativo o matiz azul.

Para medições das coordenadas foi utilizado espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41, da Konica Minolta Sensing, Inc., com diâmetro de abertura de 3 mm (SAV). Utilizou-se o iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. Para efetuar as medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, sendo que para a calibração do branco, utilizou-se a placa CM-A145. Esse aparelho foi disponibilizado pelo Departamento de Produtos Florestais. As medições de cor foram realizadas a partir do contato direto do equipamento com a superfície das amostras. Foram realizadas 10 medições em regiões distintas de cada amostra. Os dados coletados pelo espectrofotômetro foram então transferidos para o software SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, da Konica Minolta e então exportados para o software Microsoft Office EXCEL.

3.6 Análises estatísticas

O delineamento experimental foi composto por duas espécies de bambu (*Bambusa tuldoidea* e *Phyllostachis aurea*) termorretificadas sob diferentes condições de temperatura (160, 180 e 200°C) e tempo (15, 30 e 45 minutos) e pelo controle ou testemunha (material não termorretificado). Deste modo teve-se um experimental fatorial que teve: fator espécie (dois níveis); fator temperatura (3 níveis) e fator tempo (3 níveis). O controle, quando considerado para efeitos de comparação tornou o delineamento num fatorial desbalanceado.

As variáveis dependentes foram classificadas em 3 grandes grupos, a saber: das propriedades físicas, das mecânicas e das propriedades de coloração. Para as propriedades físicas utilizou-se 5 repetições para cada tratamento e no caso das propriedades mecânicas foram 15. Nas propriedades de cor foram usados 5 repetições por tratamento sendo que de cada amostra, foram feitas 10 leituras de coloração.

Os dados referentes ao presente estudo foram processados e analisados de forma eletrônica, a partir da construção de um banco de dados utilizando-se o programa Excel® 2007, e de um programa de análise específico para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, o software Statsoft Inc 7.0.

Na análise dos dados, foi verificada a normalidade a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância e a homogeneidade das variâncias foi verificada através do teste de Levene, ao mesmo nível de significância. Para variáveis dependentes que apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, aplicou-se teste de análise de variância (Anova) verificando-se os efeitos dos fatores principais, uma vez que o experimento era um fatorial desbalanceado. Buscou-se também a transformação das variáveis dependentes para a normalização dos dados. A partir do resultado da Anova, quando os valores do teste “F” foram significativos, para as variáveis independentes tempo e temperatura, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de significância, para verificar qual contraste entre as médias foram de fato significativos.

As demais variáveis dependentes, que não puderam ser analisados no campo paramétrico, foram analisadas por procedimento não paramétrico, usando-se o teste de Kruskal-Wallis. O contraste entre as médias dos postos foi feito pelo teste de Bonferroni, ao nível de 5 % de significância.

A organização das variáveis analisadas considerando as espécies e os fatores tempo e temperatura estão na tabela 3.

Tabela 21: Métodos de análise estatística das variáveis estudadas das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides*, considerando os fatores tempo e temperatura.

<i>Phyllostachis aurea</i>													
Fatores	da_a	da_d	db	βv	ta	TUE	fc	fv	MOE _d	MOE%	L*	a*	b*
Tempo	A	A	KW	A ¹	A	KW	KW	A	A	KW	KW	KW	KW
Temperatura	A	A	A	A ¹	A	KW	A	A	A	KW	KW	KW	KW

<i>Bambusa tuldooides</i>													
Fatores	da_a	da_d	db	βv	ta	TUE	fc	fv	MOE _d	MOE%	L*	a*	b*
Tempo	A	A	A	KW	KW	KW	A	A	A	KW	KW	KW	KW
Temperatura	A	A	A	KW	KW	KW	A	KW	A	KW	KW	KW	KW

da_a: densidade aparente antes do tratamento de termorretificação. da_d: densidade aparente depois do tratamento de termorretificação. db: densidade básica. βv : contração volumétrica. ta: taxa de absorção. TUE: teor de umidade de equilíbrio. fc: limite de resistência à compressão. fv: limite de resistência ao cisalhamento. moe_d: módulo de elasticidade à flexão depois do tratamento de termorretificação. moe%: variação percentual do módulo de elasticidade à flexão antes e depois ao tratamento de termorretificação. L*: luminosidade dos bambus nas temperaturas de tratamento de termorretificação. a*: variável cromática no eixo verde-vermelho. b*: variável cromática no eixo azul-amarelo. A: Análise de Variância (ANOVA). KW: Método não-paramétrico Kruskal-Wallis. ¹: variável transformada (log10).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas

4.1.1. Densidade básica

Os resultados da densidade básica das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoidea* encontram-se na tabela 4. Os valores de densidade básica variou de 0,32 a 0,75g/cm³ com média de 0,53g/cm³ para *Phyllostachis aurea*. Já para *Bambusa tuldoidea* a densidade básica mínima foi de 0,56g/cm³ e a máxima de 0,92g/cm³ com média de 0,70g/cm³.

As grandes variações encontradas, principalmente na espécie *Phyllostachis aurea*, são explicadas por Itoh e Shimaji (1981), citado por Liese (1986), fato este ocasionado pela lignificação ocorrido após a formação do colmo do bambu. O processo de lignificação é função da idade. Segundo, Gomide et.al (1981), estudando *Bambusa vulgaris*, de idade variando de 1 a 5 anos, observaram que o teor de lignina aumentou para os colmos mais antigos. A densidade do bambu tende a aumentar ao longo do colmo, devido à existência de maior número de feixe fibrovasculares por unidade de área, à medida que se aproxima do topo (GROSSER e LIESE, 1971 e AZZINI et. al., 1977).

A densidade também varia de acordo com as características do povoamento, quando já estabelecido, idoso, com poucos brotos existentes, a medida em que se aproxima do ápice há um aumento no número dos feixes fibro-vasculares, e uma redução do tecido parenquimático, conseqüentemente um aumento da densidade (LIESE, 1986, 1971).

A densidade básica é o fator que tem maior influência nas propriedades do bambu e esta é influenciada pela idade, posição do colmo, condição de crescimento e espécie. Como as amostras foram retiradas da região central dos colmos maduros, como descrito na metodologia, pode-se ter retirado algumas amostras de regiões ainda não completamente lignificadas, de colmos mais jovens, ou ainda de região mais basal onde a densidade é menor.

Tabela 22. Resultado de densidade básica da espécie de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachis aurea*.

<i>Phyllostachis aurea</i>									
Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica
36	0,32	15	0,44	2	0,51	18	0,56	13	0,61
37	0,37	39	0,44	11	0,51	35	0,56	42	0,61
47	0,38	48	0,44	49	0,51	26	0,57	6	0,62
40	0,39	3	0,45	1	0,52	43	0,57	21	0,63
45	0,39	19	0,46	4	0,52	12	0,58	50	0,64
46	0,39	31	0,47	5	0,52	14	0,58	28	0,65
30	0,41	22	0,49	32	0,52	17	0,58	33	0,68
38	0,41	44	0,49	20	0,53	27	0,58	25	0,71
23	0,42	10	0,5	24	0,54	41	0,58	8	0,72
34	0,42	29	0,5	9	0,55	7	0,6	16	0,75
Média	0,53	Desv. padrão	0,097685	CV	18,64934				
<i>Bambusa tuldoides</i>									
Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica	Amostra	Dens. básica
37	0,56	45	0,64	43	0,69	46	0,71	42	0,73
16	0,59	12	0,66	7	0,7	47	0,71	13	0,74
3	0,61	33	0,66	15	0,7	8	0,72	49	0,74
26	0,61	19	0,67	21	0,7	10	0,72	6	0,75
35	0,61	27	0,67	23	0,7	11	0,72	25	0,76
32	0,62	5	0,68	29	0,7	18	0,72	48	0,77
24	0,63	9	0,69	31	0,7	41	0,72	50	0,77
1	0,64	17	0,69	2	0,71	14	0,73	38	0,78
4	0,64	30	0,69	20	0,71	22	0,73	39	0,92
40	0,64	34	0,69	28	0,71	36	0,73	44	0,97
Média	0,70	Desvio padrão	0,070051	Coefficiente de variação	9,99301				

4.1.2 Densidade aparente

Observa-se na tabela 5, que a densidade básica do bambu da espécie *Phyllostachis aurea*, não sofreu alteração com o a alteração do tempo do tratamento término, mesmo quando comparado à testemunha, uma vez que a densidade básica é o peso da amostra anidra pelo seu volume saturado, antes do tratamento térmico, então obviamente era de se esperar não encontrar variações de densidade básica. Para a densidade aparente, antes de termoretificar, observa-se que as densidades médias não apresentaram diferença estatística para os diferentes tempos de tratamento térmico. Isto indica que não havia diferença entre as densidades aparentes do material antes da termoretificação, o que evita problema de covariância ou efeito da densidade em outras propriedades, que foram obtidas da mesma amostra usada para determinar densidade aparente.

Na densidade aparente determinada depois do tratamento término observou-se que os valores são praticamente os mesmos da densidade existente antes da termorretificação e que o efeito do tempo de aquecimento não foi significativo.

No caso tabela 6, que trata do efeito da temperatura sob as densidades de *Phyllostachis aurea*, existe diferença significativa entre as densidades aparentes, antes de ser termorretificada, especialmente para a temperatura de 200°C, onde se tem o menor valor. Observa-se que existe a mesma proporção (0,84) resultante da divisão dos valores de densidade básica e da densidade aparente antes da termorretificação, revelando então que as diferenças estatísticas que surgem como resultado não são devido aos efeitos da temperatura, mas sim da amostragem do material. Quanto à comparação entre os valores da densidade aparente, antes e pós termorretificação, para o mesmo nível de temperatura, observa-se praticamente nenhuma variação entre os valores médios.

Tabela 23. Resultados obtidos para as densidades básica e aparentes da espécie *Phyllostachis aurea* em função do tempo de termorretificação.

Variáveis (g/cm ³)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Controle	15	30	45
db ²	0,53 a [22,80]	0,52 a [23,20]	0,55 a [29,73]	0,53 a [24,46]
da_a ¹	0,63 a (0,0386)	0,61 a (0,1321)	0,65 a (0,0878)	0,64 a (0,1195)
da_d ¹	0,63 a (0,0386)	0,62 a (0,1358)	0,65 a (0,0916)	0,63 a (0,1230)

db: densidade básica. da_a: densidade aparente antes do tratamento de termorretificação. da_d: densidade aparente depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Os valores entre colchetes referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade. ¹ Análise de Variância (ANOVA). ² Método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

Tabela 24. Resultados obtidos para as densidades básicas e aparentes da espécie *Phyllostachis aurea* em função da temperatura de termorretificação.

Variáveis (g/cm ³)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Controle	160	180	200
db	0,53 ab (0,0314)	0,58 b (0,0797)	0,55 ab (0,0927)	0,48 a (0,1045)
da_a	0,63 ab (0,0386)	0,68 b (0,0917)	0,66 ab (0,1039)	0,57 a (0,1200)
da_d	0,63 ab (0,0386)	0,68 b (0,0939)	0,65 ab (0,1066)	0,57 a (0,1249)

db: densidade básica. da_a: densidade aparente antes do tratamento de termorretificação. da_d: densidade aparente depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey à 95% de probabilidade.

Observa-se na tabela 7, que a densidade básica da espécie *Bambusa tuldoides*, não sofreu alteração com o a alteração do tempo do tratamento término, no entanto nota-se uma leve tendência a redução. Para a densidade aparente, antes de termorretificar, observa-se que as densidades médias não apresentaram diferença estatística para os diferentes tempos de tratamento térmico. Isto indica que, assim como na espécie *Phyllostachis aurea*, não havia diferença entre as densidades aparentes do material antes da termoretificação, o que evita problema de covariância ou efeito da densidade em outras propriedades, que foram obtidas da mesma amostra usada para determinar densidade aparente.

Na densidade aparente determinada depois do tratamento término observou-se que os valores são praticamente os mesmos da densidade existente antes da termorretificação e que o efeito do tempo de aquecimento não foi significativo.

No caso da tabela 8, a qual trata do efeito da temperatura sob as densidades do bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, a temperatura proporcionou uma leve redução da densidade aparente do bambu termorretificado, no entanto, não foi significativo. Detaque para as temperaturas de 180 e 200°C cujas densidades antes e depois apresentaram nítida redução. E essa redução na densidade nota-se ao longo do aumento da temperatura de tratamento (Figura 15).

Tabela 25. Resultados obtidos para as densidades básicas e aparentes da espécie *Bambusa tuldoides* em função do tempo de termorretificação.

Variáveis (g/cm ³)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Controle	15	30	45
db	0,70 a (0,0400)	0,70 a (0,0530)	0,70 a (0,0392)	0,69 a (0,0362)
da_a	0,90 a (0,0333)	0,90 a (0,0445)	0,88 a (0,0549)	0,87 a (0,0549)
da_d	0,90 a (0,0415)	0,88 a (0,0642)	0,86 a (0,0562)	0,84 a (0,0393)

db: densidade básica. da_a: densidade aparente antes do tratamento de termorretificação. da_d: densidade aparente depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey à 95% de probabilidade.

Tabela 26. Resultados obtidos para as densidades básica e aparentes da espécie *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorretificação.

Variáveis (g/cm ³)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Controle	160	180	200
db	0,70 a (0,0400)	0,70 a (0,0396)	0,69 a (0,0435)	0,70 a (0,0480)
da_a	0,90 a (0,0333)	0,89 a (0,0472)	0,88 a (0,0586)	0,87 a (0,0513)
da_d	0,90 ab (0,0415)	0,89 b (0,0464)	0,86 ab (0,0522)	0,83 a (0,0581)

db: densidade básica. da_a: densidade aparente antes do tratamento de termorretificação. da_d: densidade aparente depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey à 95% de probabilidade.

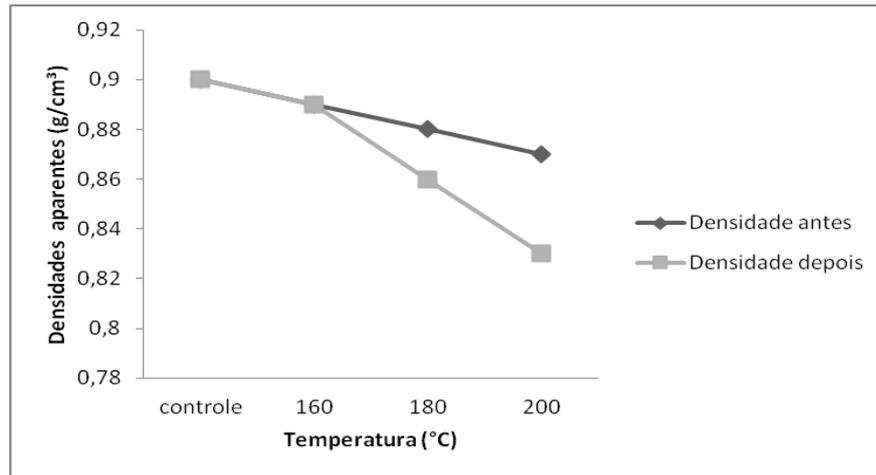


Figura 15. Densidades aparentes em função da temperatura de tratamento da espécie *Bambusa tuldoides*

Inúmeros estudos com diversas espécies de madeira mostram que a densidade e a resistência decrescem com a aplicação do tratamento de termorretificação. Os trabalhos de MAYES & OKSANEN (2002), BERALDO et al. (2009), COLLA et al. (2010) e GARCIA et al. (2010) comprovam esse decréscimo. Segundo os autores esse decréscimo está relacionado à degradação dos polímeros da parede celular, especialmente das hemiceluloses que acarretam uma perda de massa na madeira.

Porém, BRITO (2006) verificou um aumento não significativo da densidade da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* em relação à não termorretificada. Segundo o autor a explicação para este resultado é que o aumento da temperatura não foi suficiente para provocar uma perda de massa na mesma proporção da redução do volume de madeira.

4.1.3 Índice de contração volumétrica

Os resultados de índice de contração volumétrica dos fatores tempo e temperatura para as espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* se apresentam na tabela 9.

Analisando o efeito dos diferentes tempos do tratamento térmico (15, 30 e 45) sobre os valores de contração volumétrica, não foram observadas diferenças significativas entre eles, assim como quando comparado às amostras não tratadas (testemunha). Isto foi observado para as duas espécies estudadas.

Quando se considera o efeito da temperatura, nos índices de contração volumétrica, para espécie *Phyllostachis aurea*, observa-se que este efeito foi significativo, apresentando diferenças estatísticas entre as diferentes temperaturas testadas e também quando estes valores são comparados ao controle. O menor valor de contração foi encontrado para temperatura de 160°C e o maior valor foi para a temperatura de 200°C.

Para a espécie *B. tuldoides*, o efeito mais destacável da temperatura sobre os índices de contração volumétrica foi para a temperatura de 200°C, obtendo o menor índice de contração. Os demais valores não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Tabela 27. Resultados obtidos de índice de contração volumétrica das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Controle	15	30	45
¹ $\beta_{V_{aurea}}$	14,88 a (2,681) [0,221]	15,64 a (2,715) [0,269]	17,06 a (2,815) [0,214]	16,12 a (2,717) [0,361]
² $\beta_{V_{tuldooides}}$	16,11 a {24,00}	16,06 a {24,93}	14,07 a {22,40}	16,58 a {29,66}
Variáveis (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	(controle)	160	180	200
¹ $\beta_{V_{aurea}}$	14,88 ab (2,681) [0,221]	13,87 a (2,612) [0,194]	15,06 ab (2,672) [0,290]	19,90 b (2,963) [0,242]
² $\beta_{V_{tuldooides}}$	16,11 a {24,00}	17,19 a {33,00}	16,78 a {30,66}	12,75 b {13,33}

β_V : contração volumétrica. Os valores entre parênteses referem-se à média dos dados transformados (log10) da variável β_V . Os valores entre colchetes referem-se ao desvio padrão. Os valores entre chaves referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.¹ Análise de Variância (ANOVA). ² Método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

O comportamento do índice de contração volumétrica das espécies de bambu foi distinto em função da temperatura de termorretificação. Para a espécie *Bambusa tuldooides* nota-se a redução do índice de contração volumétrica com a elevação da temperatura de termorretificação, evidenciando a estabilidade dimensional proporcionada pela termorretificação verificada por diversos autores (MAYES & OKSANEN, 2002; RODRIGUES, 2006; MANALO & ACDA, 2009; COLLA, 2010).

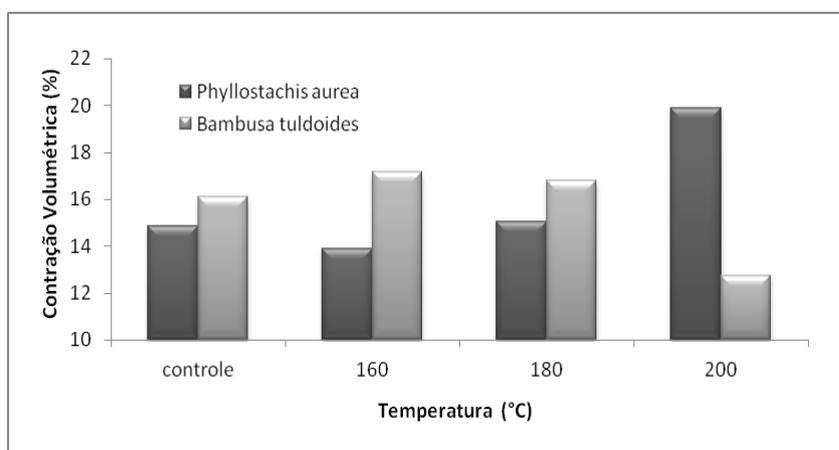


Figura 16. Índice de contração volumétrica das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides*, em função das temperaturas de termorretificação.

A retratibilidade é influenciada pelo estágio de maturação das fibras e à densidade de feixes vasculares. Colmos mais velhos são mais estáveis que os mais jovens. As fibras passam por um alongamento significativo a partir de apenas alguns microns a cerca de 2 mm. Dentro dos internódios, as fibras próximas aos nós são sempre mais curtas do que na porção mediana. (LIESE, 1998).

Nascimento & Della Lucia (1994) afirmaram que a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande porcentagem de células de parênquima (de paredes celulares delgadas) que colapsam durante a perda de água livre, mascarando dessa forma, os resultados da retratibilidade. E ainda, Nascimento (1990) estudando a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* observou que a relação entre índice de contração volumétrica é inversamente proporcional à densidade básica, ou seja, quanto menor a densidade maior é o índice de contração volumétrica. Liese (1986) destaca também que o colapso é o seu defeito de secagem mais sério, sendo que esse varia muito de espécie para espécie.

A espécie *Phyllostachis aurea* apresentou densidade básica de 0,53g/cm³, indicando maior percentual de células parenquimatosas que espécies com densidade básica mais elevada, como a espécie *Bambusa tuldoides* que segundo Azzini (1977) possui 61,19% de massa fibrosa. O aumento da contração volumétrica com o tratamento térmico pode ter sido mascarado pela intensidade do colapso, ao invés do resultado ser da mensuração do índice de contração volumétrica.

O tratamento de termorretificação acarreta alterações anatômicas no material termorretificado, como explicado por Colla et. al. (2011). Ao estudar o efeito do tratamento térmico nas propriedades físico-mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus* ou autores observaram através de imagens digitalizadas de microscopia eletrônica as alterações anatômicas drásticas ocorridas após o tratamento de termorretificação. Com a ruptura das paredes celulares (paredes delgadas) do parênquima a contração volumétrica é mais elevada quanto maior a temperatura de tratamento de termorretificação.

4.1.2 Taxa de absorção de água

A taxa de absorção de água representada em porcentagem indica a quantidade (em percentual) que o bambu termorretificado passa absorver depois do tratamento de termorretificação. Pode-se observar através dos resultados que o tratamento de termorretificação foi eficaz quanto à redução na taxa de absorção de água (Tabela 10).

O comportamento da taxa de absorção na espécie *Phyllostachis aurea* considerando os fatores principais tempo e temperatura foram semelhantes, pois as médias dos tratamentos tiveram redução significativa quando comparado ao controle, chegando a reduzir cerca de 50% a absorção de água. A redução na taxa de absorção de água foi significativa entre os tempos de tratamentos e o controle, no entanto o efeito da duração dos tratamentos de 15, 30 e 45 minutos não foram significativos.

Tabela 28 Resultados obtidos de taxa de absorção de água das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Controle	15	30	45
¹ T _{aurea}	132,45 a [10,82]	68,32 b [12,82]	65,16 b [14,04]	64,49 b [12,80]
² T _{tuldoides}	91,79 a (48,00)	43,00 b (25,60)	40,57 b (21,80)	40,21 b (21,60)
Variáveis (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Controle	160	180	200
¹ T _{aurea}	132,45 a [10,82]	65,68 b [10,76]	68,70 b [12,49]	63,60 b [15,77]
² T _{tuldoides}	91,79 a (48,00)	51,33 a (37,60)	43,00 b (23,40)	29,46 c (8,00)

Ta: taxa de absorção de água. Os valores entre colchetes referem-se ao desvio padrão. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.¹ Análise de Variância (ANOVA). ² Método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

Para espécie *Bambusa tuldoides* considerando o fator principal tempo o comportamento da taxa de absorção de água foi semelhante ao da espécie *Phyllostachis aurea*. Considerando o fator temperatura, sob as taxas de absorção de água, vale ressaltar que houve diferenças significativas entre as médias do material tratado, todas diferentes estatisticamente entre si. Quando comparadas ao controle, apenas a temperatura 180 e 200°C se mostram distintas, com destaque para a temperatura de 200°C que apresentou redução de 60% na taxa de absorção quando comparada ao controle.

Observa-se nos gráficos abaixo que o *B. tuldoides* sempre apresentou, para o material tratado termicamente e não tratado, sempre os menores valores de taxa de absorção.

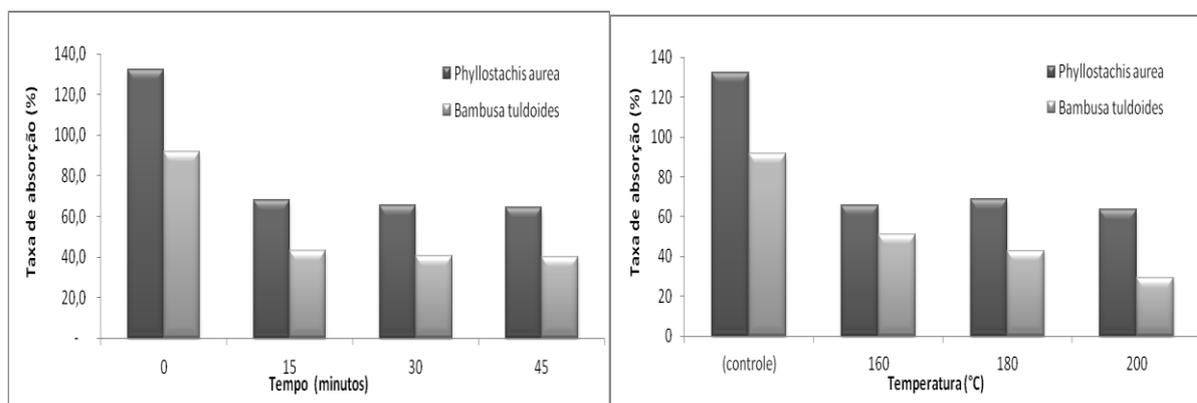


Figura 17. Taxa de absorção de água das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*, em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Segundo, Manalo & Acda (2009), o tratamento térmico com óleo quente a 160, 180 e 200°C e com duração de 30, 60 e 120 minutos, em três espécies de bambu apresentaram redução na absorção de água, e que os tratamentos a 160 e 200°C tiveram efeito significativo sobre a taxa de absorção de água com relação aos controles para todas as espécies estudadas ($p > 0,001$). No entanto, os efeitos da duração do tratamento de 60 e 120 minutos não foram significativos ($p > 0,169$). Interações entre a temperatura e a duração do tratamento para todas as espécies testadas. Também não foram significativas ($p > 0,95$).

4.1.3 Teor de umidade de equilíbrio

O efeito do tempo e da temperatura de termorretificação foi notado sobre a variável teor de umidade de equilíbrio (TUE), resultando em diferenças estatísticas significativas entre as médias (Tabela 11).

Tabela 29. Resultados obtidos de teor de umidade de equilíbrio das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	0	15	30	45
TUE _{aurea}	15,69 a (48,00)	10,96 b (23,53)	10,74 b (22,00)	10,32 b (23,46)
TUE _{tuldooides}	16,24 a (48,00)	11,43 b (26,73)	11,22 b (22,66)	11,00 b (19,60)
Variáveis	Temperatura de tratamento (°C)			
	(controle)	160	180	200
TUE _{aurea}	15,69 a (48,00)	11,48 a (31,46)	11,39 a (29,40)	9,15 b (8,13)
TUE _{tuldooides}	16,24 a (48,00)	12,01 ab (35,66)	11,50 b (25,33)	10,15 c (8,00)

TUE: teor de umidade de equilíbrio. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.

Comparando os teores de umidade de equilíbrio para a espécie *Phyllostachis aurea*, considerando o fator tempo de termorretificação, o valor médio do TUE do controle foi o maior valor encontrado e significativamente diferente dos demais tempos (15, 30 e 45), que não apresentaram diferenças estatísticas entre si (Tabela 11).

Considerando o fator temperatura, os tratamentos sobre efeito da temperatura apresentaram decréscimo do TUE, no entanto diferença significativa só foi notada entre a temperatura de 200°C e as demais, incluindo o controle.

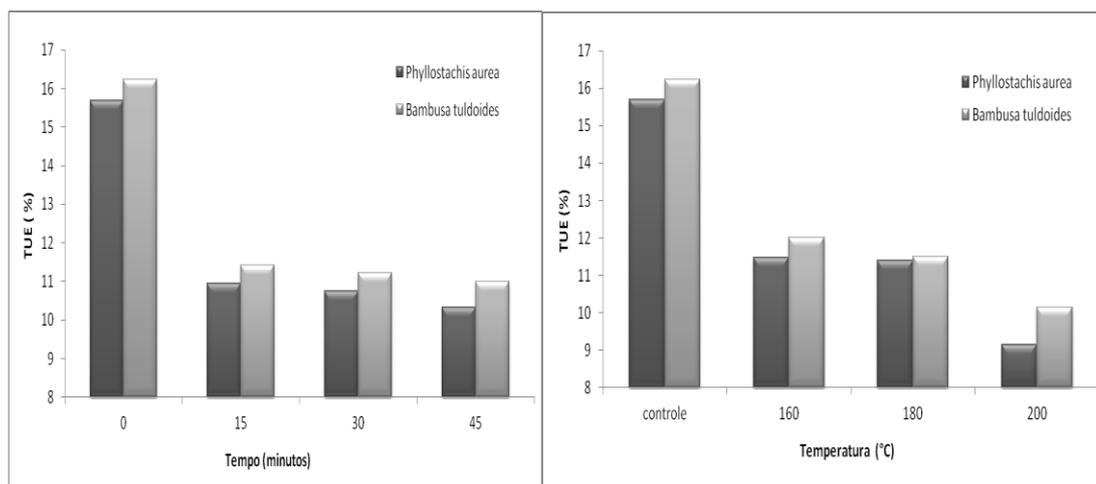


Figura 18. Teor de umidade de equilíbrio das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides*, em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Para a espécie *Bambusa tuldooides*, o teor de umidade de equilíbrio de acordo com as análises estatísticas mostrou-se estatisticamente diferentes entre o controle e os tratamentos,

considerando o fator tempo, no fator temperatura as diferenças ocorreram entre mais tratamentos (Tabela 11).

Considerando o fator tempo, os resultados apresentaram decréscimo no teor de umidade para os tempos 15, 30 e 45 minutos, respectivamente, 11,43%; 11,22%; 11,00% e o controle apresentou valor de 16,24% (Tabela 11), sendo o controle estatisticamente diferente dos demais tempos, e esses iguais entre si.

No fator temperatura, o comportamento em decréscimo também foi observado, no entanto, as diferenças foram maiores. Os valores encontrados foram de 16,24%, 12,01%, 11,50% e 10,15%, respectivamente para o controle e as temperaturas de 160, 180 e 200°C. O resultado do controle apresentou-se igual a apenas a temperatura de 160. A temperatura de 200°C, apresentou o menor valor médio para o teor de umidade de equilíbrio. O TUE na temperatura de 180°C, estatisticamente se igualou ao TUE quando tratado a 160°C.

4.2 Propriedades mecânicas

4.2.1 Resistência à compressão

Os resultados de propriedades mecânicas das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* considerando os fatores tempo e temperatura estão apresentados na tabela 12. A resistência à compressão, considerando o fator tempo para as espécies estudadas não apresentou diferença significativa entre os tempos de tratamento térmico, indicando que o fator tempo não afetou a resistência à compressão.

Tabela 30. Resultados obtidos de resistência à compressão das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (kgf/cm ²)	Tempo de tratamento (minutos)			
	controle	15	30	45
² fc _{aurea}	484,27 a [21,80]	507,17 a [26,07]	474,68 a [21,00]	515,06 a [25,40]
¹ fc _{tuldooides}	753,58 a (108,21)	761,23 a (105,98)	722,61 a (159,87)	721,14 a (129,90)
Variáveis (kgf/cm ²)	Temperatura de tratamento (°C)			
	controle	160	180	200
¹ fc _{aurea}	484,27 ab (66,18)	523,18 a (94,25)	558,81 a (115,04)	409,71 b (69,75)
¹ fc _{tuldooides}	753,58 ab (108,21)	830,83 a (99,36)	742,71 a (94,74)	620,62 b (113,68)

fc: limite de resistência à compressão. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Tukey, à 95% de probabilidade. ¹ Análise de Variância (ANOVA). ² método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

Considerando a temperatura como fator principal, a resistência à compressão teve comportamento diferenciado em relação ao tempo de tratamento, a análise estatística mostrou diferença significativa entre as temperaturas. Para as duas espécies o comportamento foi semelhante, observa-se que a resistência à compressão na temperatura de 200°C foi a menor e estatisticamente diferente das temperaturas de 160 e 180°C.

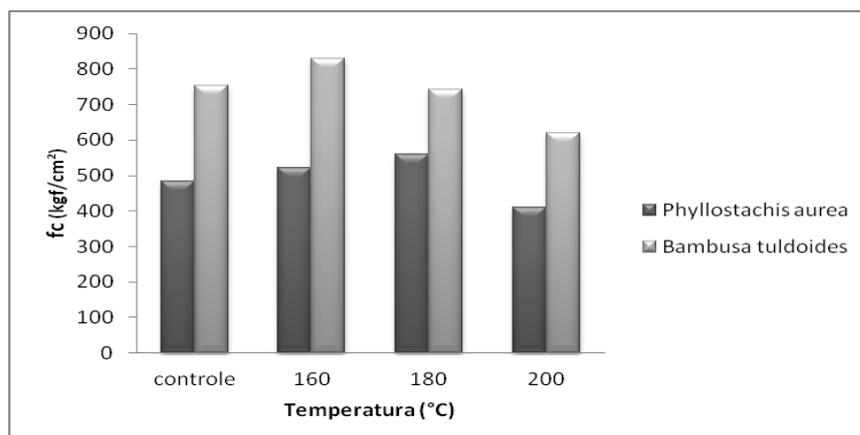


Figura 19. Resistência à compressão das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides*, em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Esses resultados corroboram os estudos de muitos autores (TermoWood®Handbook, 2003; Pessoa et. al. 2006; Britto, 2006; Boonstra, 2008; Manalo & Acda, 2009; Colla, 2011) que no tratamento de termorretificação como consequência da elevação da temperatura menor é a resistência mecânica do material. A redução das propriedades mecânicas da madeira termorretificada é atribuída principalmente a quebra das hemiceluloses, e as rupturas nos pontos fracos da lignina e reações de condensação entre a lignina e os sub-produtos dos principais componentes das paredes celulares da madeira.

4.2.2 Resistência ao cisalhamento

Os resultados de resistência ao cisalhamento estão apresentados na tabela 13 para as espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides*, considerando os fatores tempo e temperatura de tratamento térmico.

Tabela 31. Resultados obtidos de resistência ao cisalhamento das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (kgf/cm ²)	Tempo de tratamento (minutos)			
	(controle)	15	30	45
¹ f _v _{aurea}	105,00 a (14,19)	100,97 a (31,67)	93,77 a (30,37)	87,49 a (24,23)
¹ f _v _{tuldooides}	113,56 a (27,90)	84,09 ab (34,69)	69,34 bc (24,13)	59,08 c (29,67)
Variáveis (kgf/cm ²)	Temperatura de tratamento (°C)			
	(controle)	160	180	200
¹ f _v _{aurea}	105,00 a (14,19)	114,90 a (20,16)	95,48 a (28,38)	71,84 b (20,05)
² f _v _{tuldooides}	113,56 a [41,20]	93,97 a [33,20]	71,99 ab [25,60]	46,55 b [12,46]

f_v: limite de resistência ao cisalhamento. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey, à 95% de probabilidade e de Kruskal-Wallis. ¹ Análise de Variância (ANOVA). ² método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

A resistência ao cisalhamento para a espécie *Phyllostachis aurea* apresentou estatisticamente médias são iguais entre si, no entanto nota-se tendência a redução da resistência com o aumento do tempo do tratamento de termorretificação. Considerando o fator temperatura, o controle apresentou-se igual estatisticamente as temperaturas de 160 e 180°C, e a temperatura de 180°C também igual a de 200°C. Essa última mostrou-se menor que as demais temperaturas de tratamento, correspondendo a 31,5% de redução da resistência em relação ao controle. Nota-se a tendência à redução da resistência ao cisalhamento com a elvação da temperatura de tratamento.

Segundo a análise estatística o tempo de tratamento de termorretificação reduziu significativamente a resistência ao cisalhamento para a espécie *Bambusa tuldooides*. A resistência ao cisalhamento do controle apresentou-se igual estatisticamente ao tempo de tratamento de 15 minutos, no entanto, diferente dos tempos de 30 e de 45 minutos. E os tempos de 15 e 30 minutos são iguais estatisticamente. Destaque para a resistência no tempo de 45 minutos que se apresentou menor e diferente estatisticamente dos demais, com excessão do tempo de 30 minutos. Correspondendo a redução de 47% da resistência ao cisalhamento em relação ao controle. A temperatura também influenciou na redução da resistência ao cisalhamento, segundo a análise estatística, o menor valor de resistência valor foi de 46,55 kgf/cm² da temperatura mais agressiva e correspondeu a 59% de redução da resistência ao cisalhamento para a espécie *Bambusa tuldooides*.

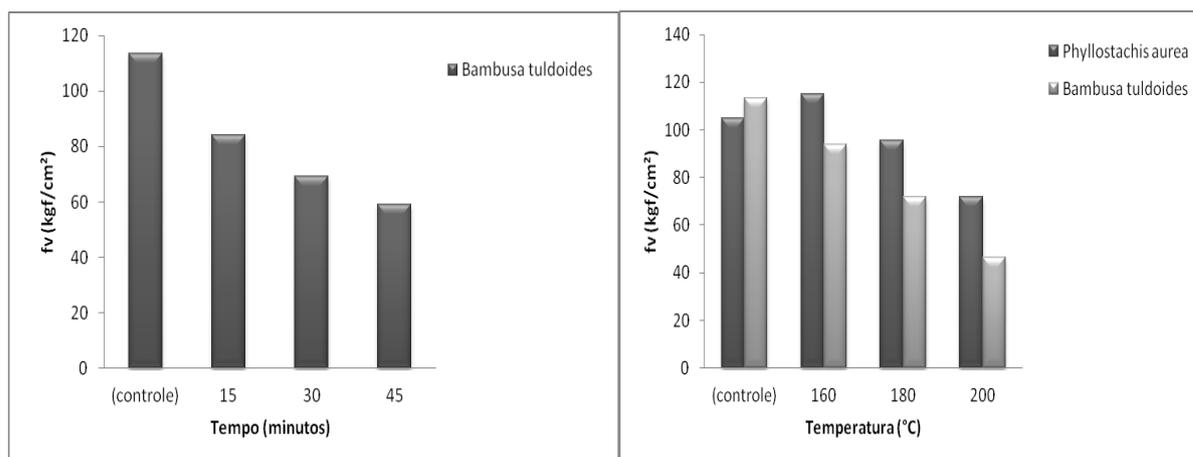


Figura 20. Resistência ao cisalhamento da espécie *Bambusa tuldooides* em função dos tempos de termorretificação e resistência ao cisalhamento das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

4.2.3 Módulo de elasticidade à flexão

Os resultados de módulo de elasticidade (MOE) à flexão após os tratamentos de termorretificação das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* encontram-se na tabela 14. Para a espécie *Phyllostachis aurea*, considerando o fator tempo, o MOE apresentou diferenças significativas, segundo a análise estatística. Os resultados dos tempos de 30 e 45 minutos foram iguais entre si estatisticamente e diferentes dos tempos controle e de 15 minutos, destaque para o tempo de 30 minutos que apresentou o maior MOE à flexão. Para a espécie *Bambusa tuldooides* o resultado de MOE à flexão depois da termorretificação também apresentou diferenças estatísticas entre as médias, o controle, 15 e 30 minutos são iguais

estatisticamente e o controle é diferente de 45 minutos. Este último resultado apresentou-se superior aos demais (Figura 21).

Tabela 32. Resultados obtidos do módulo de elasticidade depois ao tratamento térmico das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (kgf/cm ²)	Tempo de tratamento (minutos)			
	(controle)	15	30	45
¹ MOE _d _{aurea}	67.069,11 a (13.166,54)	81.847 ab (18.816)	102.144 b (11.786)	97.277 ab (16.474)
¹ MOE _d _{tuldoides}	81.162,1 a (14.368,58)	101.096,6 ab (24.905,68)	94.226,1 ab (25.533,82)	106.164,5 b (19.228,13)
Variáveis (kgf/cm ²)	Temperatura de tratamento (°C)			
	(controle)	160	180	200
¹ MOE _d _{aurea}	67.069,11 a (13.166,54)	91.439,66 a (21.302,95)	96.823,06 a (9.642,75)	88.094,65 a (21.397,32)
¹ MOE _d _{tuldoides}	81.162,1 a (14.368,58)	93.746 a (16.962,09)	118.456,6 b (18.200,9)	81.521,3 a (17.609,66)

MOE_d: módulo de elasticidade à flexão depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si segundo o teste de Tukey, à 95% de probabilidade. ¹ Análise de Variância (ANOVA). ² método não-paramétrico Kruskal-Wallis.

Considerando o fator temperatura, o resultado do MOE à flexão depois da termorretificação para a espécie *Phyllostachis aurea* não apresentou diferenças significativas entre as temperaturas de tratamento. Já para a espécie *Bambusa tuldoides* as diferenças estatísticas puderam ser observadas. Destaque para a temperatura de 180°C que se mostrou maior que as demais.

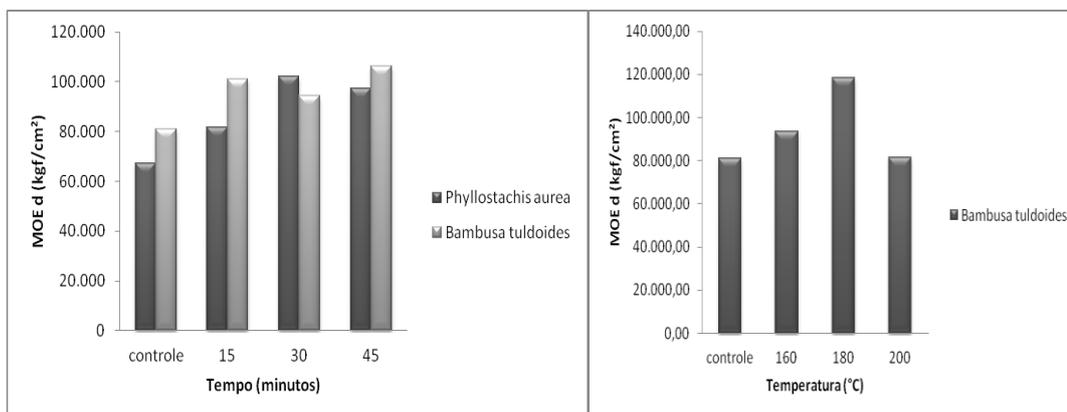


Figura 21. Módulo de elasticidade após os tratamentos de termorretificação das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorretificação e da espécie *Bambusa tuldoides* em função apenas do tempo de termorretificação.

Comportamento diferenciado notaram os autores Manalo & Acda (2009) ao estudarem três espécies de bambu tratado termicamente com óleo quente, afirmaram que os valores de MOE para *Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper* mostraram uma redução média de 22% na rigidez com o aumento da temperatura de tratamento em relação às amostras controles. Eles observaram que a temperatura de 200°C mostrou-se estatisticamente diferente da temperatura de 160°C para a espécie *Bambusa vulgaris* e para *Bambusa blumeana* e *Dendrocalamus asper* foram similares, indicando dificuldades em generalizar os

resultados por gênero, uma vez que as diferenças encontradas foram entre espécies de mesmo gênero. Vale lembrar que as dimensões das amostras utilizadas pelos autores foram diferentes das usadas nesse estudo. Manalo e Acda (2009) utilizaram amostras de colmos seccionados longitudinalmente em quatro partes e sem nó, e para o ensaio de flexão estática as amostras foram posicionadas com a casca voltada para o lado que sofre compressão. No entanto, outros estudos revelam um leve acréscimo do MOE quando a madeira é tratada termicamente por curtos períodos de tempo, como é o caso do presente estudo. Afirmam ainda que a redução do MOE se torna significativo quando a perda de massa excede 8%, perceberam que o MOE apresentou acréscimo inicial nas temperaturas de tratamento de 115 e 175°C. (Rusche, 1973; Millett and Gerhards, 1972 por Wiley, 2006). Outros autores observaram também que a além do tempo a atmosfera de tratamento também influenciam na alteração do MOE, Kubojima et. al. (2000 por Wiley, 2006) notaram que em curtos períodos de tempo de tratamento há um acréscimo do MOE, em atmosfera com nitrogênio o MOE apresentou-se constante e com ar o MOE reduziu.

Com base no resultado da variação do módulo de elasticidade antes e depois do tratamento térmico pode-se observar diferenças estatísticas entre os tempos de tratamento nas espécies estudadas (Tabela 15).

Tabela 33. Resultados obtidos da variação do módulo de elasticidade antes e depois do tratamento térmico das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	controle	15	30	45
MOE _{aurea}	0,00 a (4,00)	26,39 ab (17,23)	34,57 b (22,44)	36,93 b (23,00)
MOE _{tuldoides}	0,00 a (6,00)	28,10 b (23,63)	20,73 ab (19,38)	31,02 b (25,27)
Variáveis (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	(controle)	160	180	200
MOE _{aurea}	0,00 a (4,00)	32,09 b (20,25)	36,29 b (23,56)	26,43 ab (17,22)
MOE _{tuldoides}	0,00 a (6,00)	27,98 b (23,63)	36,85 b (28,86)	9,61 a (12,60)

MOE%: variação do módulo de elasticidade à flexão antes e depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o método não-paramétrico Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.

Observando os resultados de MOE % da espécie *Phyllostachis aurea* nota-se uma tendência ao aumento da variação do MOE à flexão indicando maiores alterações com a elevação dos tempos de tratamentos. Comportamento semelhante também foi observado para a espécie *Bambusa tuldoides*, no entanto a menor variação foi observada para o tempo de 30 minutos se igualando estatisticamente ao controle (Figura 22).

Considerando o fator temperatura, nota-se uma redução na variação do MOE com a elevação da temperatura de tratamento. Destacando a igualdade estatística entre o controle e a temperatura de 200°C para as duas espécies estudadas.

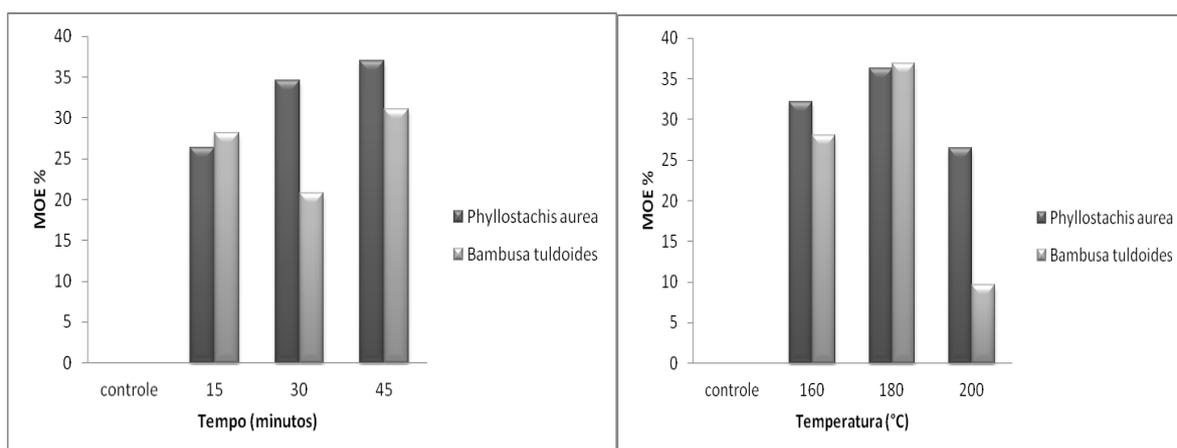


Figura 22. Variação do módulo de elasticidade antes e depois dos tratamentos de termorreificação das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função dos tempos e temperaturas de termorreificação.

4.3. Determinação da cor

4.3.1. Luminosidade – coordenada L*

Na tabela 16 estão apresentados os resultados da coordenada L* para as espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura. A coordenada L* apresentou diferenças significativas segundo a análise estatística. Considerando ao fator tempo para a espécie *Phyllostachis aurea* a luminosidade mostrou-se diferente apenas entre o controle e os tempos de tratamento, indicando que a variação do tempo não foi significativa para modificação da luminosidade da espécie.

Para a espécie *Bambusa tuldoides*, além da diferença entre o controle e os tempos de tratamento, o tempo de 45 minutos apresentou o menor resultado para a coordenada L*. Notou-se que à medida que o tratamento tornou-se mais agressivo, os valores de L* tornaram-se menores, ocorrendo assim maior perda de luminosidade e conseqüentemente o bambu tornou-se mais escuro. E ainda olhando a tabela abaixo (Tabela 16), pode-se observar que o efeito do tempo foi mais marcante para a espécie *Bambusa tuldoides*, uma vez que aparecem 3 níveis de diferença entre as médias (a,b,c). Outra observação pode ser feita quanto ao resultado da espécie *Bambusa tuldoides*, para coordenada L*, terem sido superiores ao da espécie *Phyllostachis aurea*, indicando que essa última apresenta mais luminosidade, uma vez que quanto mais próximo de zero é o valor, mais claro é o material avaliado (Figura 23).

Tabela 34. Resultados obtidos da coordenada L* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis	Tempo de tratamento (minutos)			
	controle	15	30	45
L*aurea	52,50 a (474,64)	35,35 b (247,18)	33,77 b (215,11)	33,83 b (214,49)
L*tuldoides	58,39 a (442,69)	45,79 b (273,45)	42,53 b (231,55)	39,15 c (182,44)
Variáveis	Temperatura de tratamento (°C)			
	controle	160	180	200
L*aurea	52,50 a (474,64)	42,06 b (374,33)	34,64 c (225,76)	26,34 d (76,69)
L*tuldoides	58,39 a (442,69)	52,53 b (365,26)	43,16 c (238,65)	31,79 d (83,53)

L*: luminosidade dos bambus nas temperaturas de tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se as medias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.

Considerando o fator temperatura, para as duas espécies as diferenças foram em 4 níveis (a, b, c e d). Lembrando que os valores da espécie *Bambusa tuldoides* são superiores aos de *Phyllostachis aurea*. O efeito da temperatura pode ser nitidamente observado com a elevação da temperatura. Nota-se que para a temperatura de 200°C tem-se os menores valores de L*, indicando o escurecimento do material (Figura 22).

Poucos estudos sobre colorimetria para espécies de bambu foram realizados e quando feitos são de acesso restrito. Apenas alguns autores disponibilizam suas pesquisas, como Manalo & Acda (2009), descrevendo que a temperatura e a duração do tratamento de termorretificação. O tratamento mudou a cor do bambu original para marrom à 160°C e marrom escuro à 200°C. A cor da casca (epiderme) também mudou de amarelo para marrom claro e marrom escuro para temperaturas de 160 e 200°C. Embora o resultado visual tenha sido uma aparência mais escura, a mudança da cor foi uniforme em todas as amostras, indicando um tratamento uniforme.

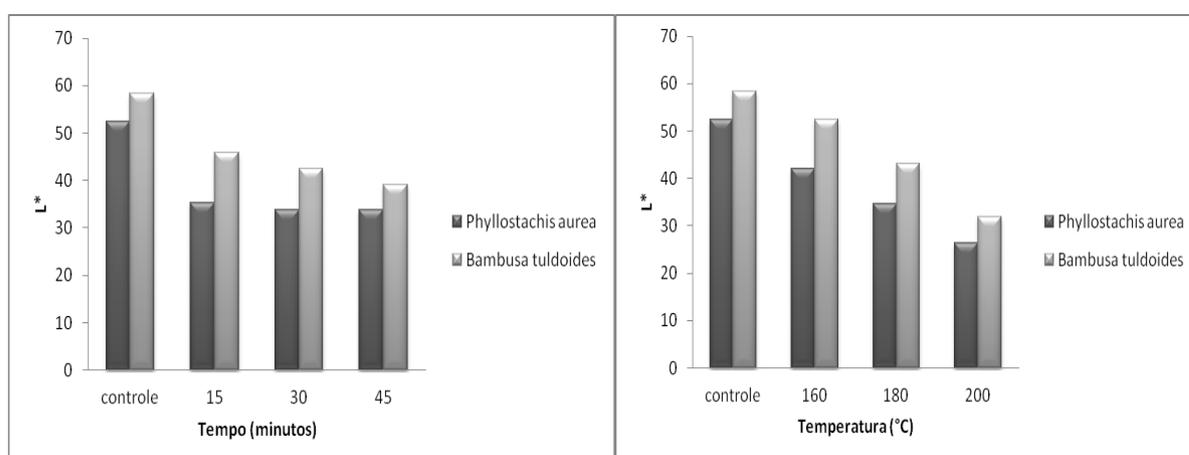


Figura 23. Coordenada L* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Outros autores a relataram a alteração da cor do bambu termorretificado, Beraldo et al. (2009) estudaram o efeito do tratamento de termorretificação em diversas temperaturas e mostraram que na temperatura de 140°C a cor não mostrou diferenças da cor do bambu de referência (controle). A coordenada L* (luminosidade) foram de 76,35 e 75,16, respectivamente do controle e da temperatura de 140°C. Comportamento semelhante foi observado para temperaturas de 220 e 260°C. Assim, em termo de análise de cor, o bambu termorretificado pode substituir várias madeiras tropicais. Por outro lado, o bambu termorretificado à 300°C mostra uma deformação excessiva e uma cor escura como carvão, denotando uma temperatura inadequada para possíveis aplicações do bambu termorretificado.

4.3.2. Coordenada a*

A tabela 17 apresenta os resultados para a coordenada a* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de tratamento. Observa-se que o tempo controle diferência significativamente dos demais tempos e que os demais tempos de tratamento são iguais estatisticamente, indicando que os tempos estudados não influenciaram na coloração do bambu termorretificado.

Para o fator temperatura, a espécie apresentou comportamento diferenciado. A coordenada a* apresentou diferenças significativas entre as temperaturas de controle e as temperaturas de 160 e 180°C, as quais são diferentes entre si e do tratamento a 200°C. A análise estatística da coordenada a*, que representa o eixo cromático verde-vermelho, sendo a coloração verde para os valores negativos e vermelho para os positivos (Figura 24).

Tabela 35. Resultados obtidos da coordenada a* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis	Tempo de tratamento (minutos)			
	controle	15	30	45
a* aurea	3,61 a (62,17)	9,63 b (272,07)	9,67 b (269,28)	9,53 b (272,95)
a* tuldoides	-1,64 a (50,57)	4,93 b (203,49)	8,65 c (319,73)	8,33 c (294,92)
Variáveis	Temperatura de tratamento (°C)			
	controle	160	180	200
a* aurea	3,61 a (62,17)	11,42 b (322,76)	12,55 c (375,41)	5,16 a (116,10)
a* tuldoides	-1,64 a (50,57)	4,48 b (182,78)	9,34 c (357,16)	8,10 d (278,20)

a*: variável cromática no eixo verde-vermelho. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.

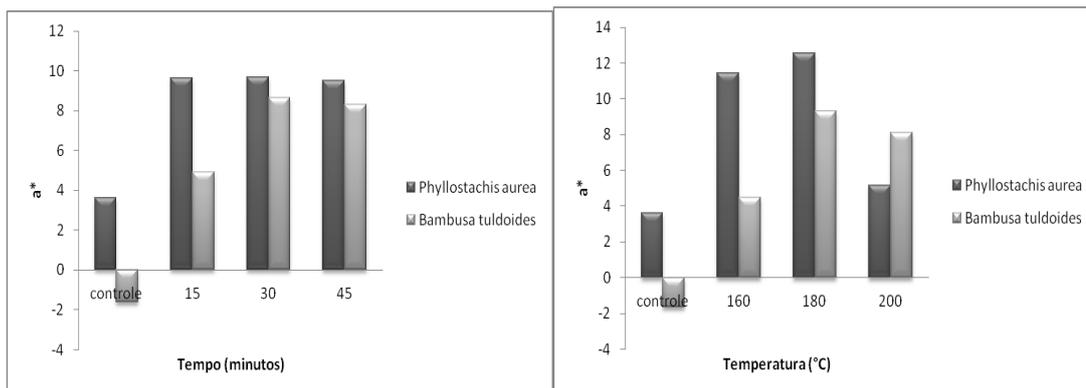


Figura 24. Coordenada a* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Para a espécie *Bambusa tuldooides*, a coordenada a* apresentou diferenças significativas, sendo que o tempo de 15 minutos diferenciou-se estatisticamente dos tempos de 30 e 45 minutos e do controle. Pode-se observar ainda que as maiores temperaturas são iguais estatisticamente. O controle destacou-se por apresentar resultado negativo para a coordenada a*, indicando que o material apresentou coloração esverdeada, fato não ocorrente entre as madeiras tropicais.

Considerando o fator temperatura para a espécie *Bambusa tuldooides*, a coordenada a* apresentou diferença estatística. As temperaturas apresentaram comportamento diferenciado. A temperatura e o tempo controle apresentaram valores negativos, indicando a coloração verde.

Destaque para a temperatura de 180°C que apresentou maior valor de a* para ambas espécies, indicando coloração avermelhada, que segundo estudos com madeiras as variações observadas no pigmento vermelho devem-se provavelmente à alteração dos teores de extrativos na madeira após a termorretificação. Poubel (2011) observou que a coordenada a* da madeira de *Pinus caribaea* termorretificada a 180 e 200°C durante 2 horas foi diretamente proporcional ao teor de extrativos. Segundo o Thermowood® Handbook (2003), o teor de extrativos da madeira aumenta quando o tratamento é realizado às temperaturas de até 180°C e diminui à temperaturas próximas à 230°C.

4.3.3. Coordenada b*

A tabela 18 apresenta os resultados para a coordenada b* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de tratamento. Observou-se diferenças estatísticas entre os tempos. Foi encontrado para o controle o maior valor da coordenada b* o qual indicou a coloração azulada. Esse valor foi seguido pelo tempo de 15 minutos, depois de 30 e por último de 45 minutos. Os resultados encontrados para as temperaturas de 30, 160, 180 e 200°C foram respectivamente: 24,16; 25,28; 16,93; 3,85. Foram observadas diferenças estatísticas entre os resultados, as temperaturas do controle e 160°C são iguais entre si, porém se diferenciam das demais. Os resultados da coordenada b* para as temperaturas de 180 e 200°C se diferenciaram entre si e das demais.

Tabela 36. Resultados obtidos da coordenada b* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e temperatura de termorretificação.

Variáveis	Tempo de tratamento (minutos)			
	controle	15	30	45
b*	24,16 a (376,38)	16,76 b (263,79)	14,66 bc (227,93)	14,64 c (217,76)
b*	21,13 ab (270,40)	18,97 ab (241,62)	20,75 a (281,21)	17,49 b (222,03)
Variáveis	Temperatura de tratamento (°C)			
	Controle	160	180	200
b*	24,16 a (376,38)	25,28 a (401,34)	16,93 b (232,05)	3,85 c (76,15)
b*	21,13 a (270,40)	24,53 b (362,82)	21,81 a (293,76)	10,86 c (88,28)

b*: variável cromática no eixo azul-amarelo. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.

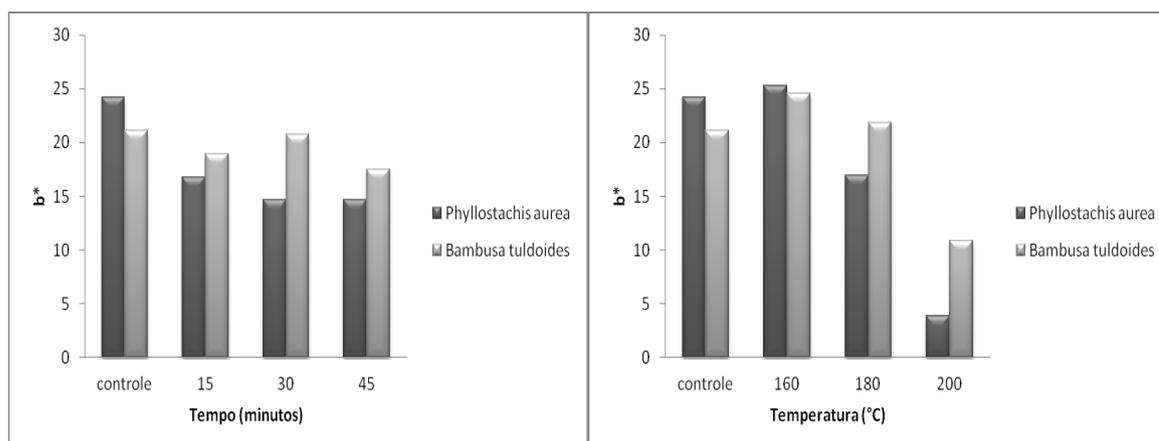


Figura 25. Coordenada a* das espécies *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides* em função dos tempos e temperaturas de termorretificação.

Os resultados da coordenada b* para a espécie *Bambusa tuldoides*, considerando os tempos do controle, 15, 30 e 45 minutos foram respectivamente: 21,13; 18,97; 20,75; 17,40. Destaque para os resultados dos tempos 130 e 45 minutos que se apresentaram estatisticamente diferentes entre si e iguais aos demais tempos.

Considerando as temperaturas controle, 160, 180 e 200°C, os resultados encontrados foram respectivamente: 21,13; 24,53; 21,81; 10,86. As diferenças estatísticas apresentadas foram entre as temperaturas controle, 160 e 200°C, sendo iguais apenas a 180°C.

A coloração do bambu modificou-se após o tratamento de termorretificação, segundo Camargos (1999) com a criação de uma tabela de determinação da cor e de acordo com as coordenadas foi possível determinar a cor das espécies de bambu antes e depois dos tratamentos térmicos. A figura 26 e 27, respectivamente, mostram a coloração das espécies termorretificadas *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*. Foi possível notar que a superfície das amostras da espécie *Phyllostachis aurea* apresentaram brilho após os tratamentos termorretificadores, o mesmo não ocorreu para a espécie *Bambusa tuldoides*, a qual apresentou uma superfície fosca.

Como a determinação das cores foi realizada a partir de amostras distintas, não tratadas e tratadas, não foi possível calcular a variação da cor antes e depois da termorretificação. Para isso, seria necessária a obtenção das coordenadas L*, a* e b* nas mesmas amostras antes e depois do tratamento térmico. As cores resultantes foram obtidas a partir da consulta da tabela de determinação de cor, segundo Camargos (1999).

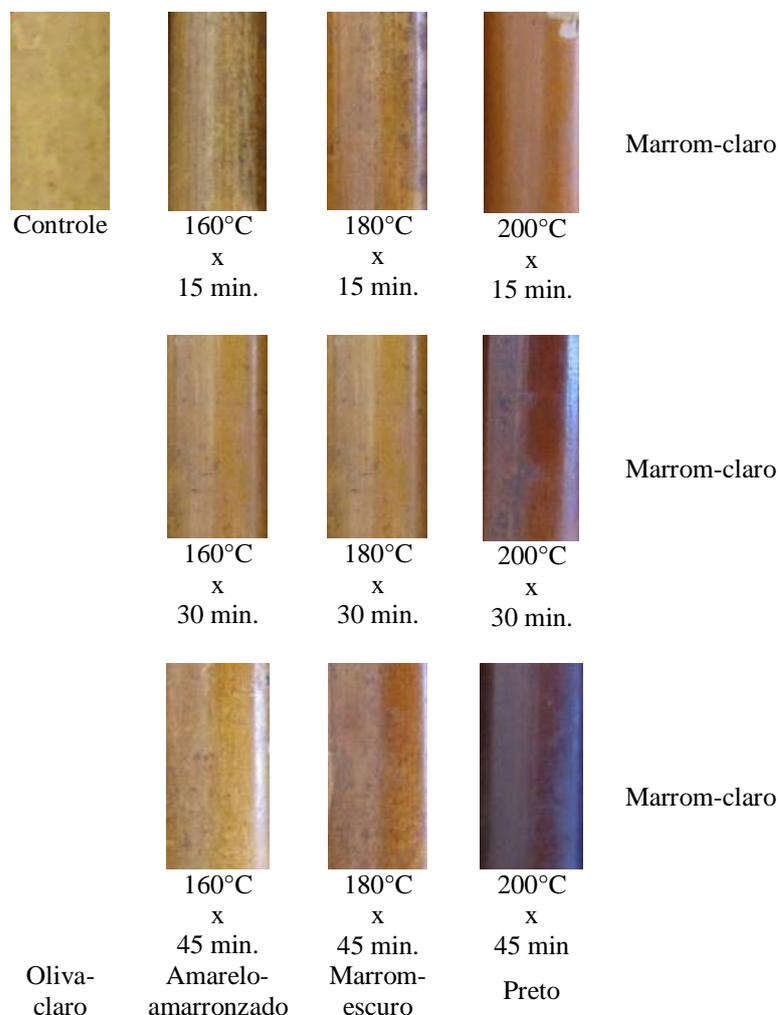


Figura 26. Determinação da cor da espécie *Bambusa tuldoides*, considerando os fatores tempo e temperatura.

As cores para ambas as espécies não foram afetadas pelo tempo de tratamento, como observado na espécie *Phyllostachis aurea* que apresentou as seguintes colorações: oliva-claro para o controle e marrom-claro para os demais tempos de tratamento. Já a espécie *Bambusa tuldoides* as cores foram as seguintes: oliva-claro para o controle e oliva para os demais tempos de tratamento.

Comportamentos distintos pode-se observar considerando o fator temperatura, para as duas espécies. A temperatura de tratamento afetou a coloração das espécies de bambu em 4 níveis. As cores resultantes para a espécie *Phyllostachis aurea* foram: oliva-claro para o controle, amarelo-amarronzado para 160°C, marrom-escuro para 180°C e preto para 200°C. E para *Bambusa tuldoides* as cores foram as seguintes: oliva-claro para o controle, oliva para 160°C, marrom-oliva para 180°C e marrom-arroxeadado para 200°C.

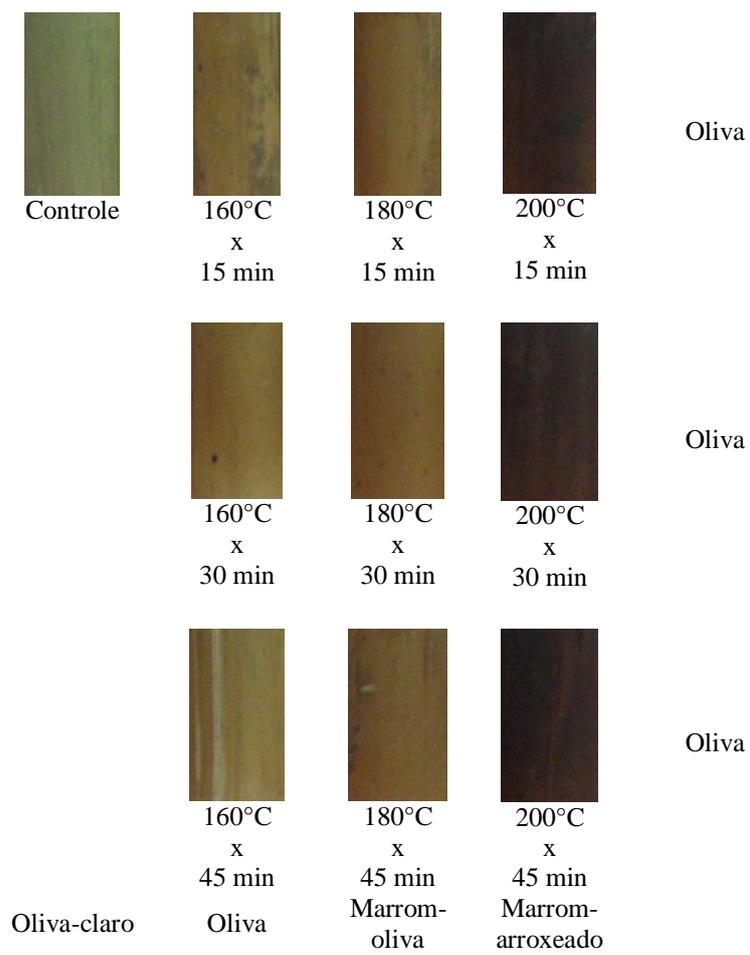


Figura 27. Determinação da cor da espécie *Bambusa tuldoides*, considerando os fatores tempo e temperatura.

5 CONCLUSÕES

A temperatura de tratamento de termorretificação mostrou-se eficaz na melhoria da estabilidade dimensional, reduzindo a taxa de absorção de água e teor de umidade de equilíbrio das espécies de bambus *Phyllostachis aurea* e *Bambusa tuldoides*. As propriedades mecânicas apresentaram redução de resistência como, resistência à compressão e ao cisalhamento. Já o módulo de elasticidade à flexão apresentou ligeiro acréscimo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIRA, A., SAKUMA, A. C.; DAMBISKI, L.; MORETTI, T. V. **Dossiê Técnico – Bambu**. Instituto de Tecnologia do Paraná. 2007.
- AZZINI, A., CIARAMELLO, D., NAGAI, V. Densidade básica e dimensões das fibras em bambus do gênero *Guadua Bragantia*, v.36, n.1, p. 7-10, 1997.
- AZZINI, A., SANTOS, R. L. PETTINELLI JÚNIOR, A. Bambu: Material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, **Boletim Técnico**, n. 171, p. 1-18, 1997.
- BERALDO, A. L.; COLLA, W. A.; BRITO, J. O. **Properties Evaluation of Dendrocalamus giganteus Treated by Heat**. VIII World Bamboo Congress Proceedings, v. 9, p. 36-45, Tailândia, 2009.
- BERALDO, A. L., ZOULALIAN, A. Bambu – Material alternativo para construções rurais. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 5, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; EBRAMEM, p. 425-440, 1995.
- BERNDSSEN, R. S., **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachis pubescens*)**. (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR, 2008.
- BOONSTRA, M. J., TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz als Roh und Werkstoff** 64:204-211, 2005.
- BORGES, M. B.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004. Disponível em: < <http://www.funtecg.org.br/arquivos/higroscopicidade.pdf>>.
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO, G. J.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
- BROTERO, F. A. **Métodos de ensaios adotados pelo IPT para estudo de madeiras nacionais**. São Paulo, SP: IPT, 1956. 62p. (Boletim 31).
- BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. Vol. 2: The physical, mechanical and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York: McGraw-Hill, 1952, 783 p.
- CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant bamboo. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 361-367, jul./set. 2011.

COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, SP: [s.n.], 2010.

COSTA LIMA, A. Insetos do Brasil. Escola Nacional de Agronomia, **Série didática** n. 10, Rio de Janeiro, p. 210-211, 1953.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento a flambagem.** Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, RJ, 2002, 114p.

ESPELHO, J. C. C.; BERALDO, A. L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 645-652, 2008. Campina Grande, PB.

ESTEVES, B. M.; DOMINGOS, I. L.; PEREIRA, H. M. Pine wood modification by heat treatment in air. **BioResources**, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M; LATORRACA, J. V.; MATOS, J. L.; SANTOS, W. A. SILVA, R. F. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Sci Technol**, 2010.

GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L. OLIVEIRA, R. C. Influência da idade do *Bambusa vulgaris* nas características químicas e anatômicas, visando à produção de polpa celulósica. In: Congresso Annual da Associação Brasileira de Celulose e Papel, 14, 1981. Anais... São Paulo, 1981. Ao Livro Técnico, 1981. p.5-29.

GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of asian bamboos with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, Berlim, V. 5, p. 290-312, 1971.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bamboo, The gift of the gods.** Oscar Hidalgo Lopez editor, 2003, 553 p.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.** Cali, estudios Técnico Colombianos Ltda, 1974, 176 p.

HIGHLEY, Terry L. **Wood handbook: wood as an engineering material.** Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. General technical report FPL; GTR-113: Pages 13.1-13.16, 1999.

INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: CIB Task Group 8; Environmental Assessment of Buildings, 1997.

ITOH, T. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf) during its growth. **Holzforschung**, v. 44, p. 191-200, 1990.

JARAMILLO, S. V. **La Guadua en los proyectos de inversión**. In: Anales del Congreso Mundial de Bambú/Guadua, Pereira, Colômbia, 1992.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.

KAMDEN, D. P., PIZZI, A. and JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Journal of Holz als Roh-und Werkstoff**. Vol 60: 1-6, 2002.

KISHIMOTO, T. and SANO, Y. Delignification mechanism during high-boiling solvent pulping. Part 2. Homolysis of Guaiacylglycerol- β -guaiacyl ether. **Holzforschung**: Vol. 56:623-631, 2002.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. Comunicação precisa da cor. 1998. 57 p.

LEPAGE, E. S.; GERALDO, F. C.; ZANOTTO, A., MILANO, S. **Métodos de Tratamento**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Manual de Preservação de Madeiras, V. 2, p. 343 - 367, 1986.

LIESE, W. Characterization and utilization of bamboo. In: HIGUCHI, T (ed.). **Bamboo production utilization**. Kyoto: Society of Bamboo Development and Protection, 1986. 312p.

LIESE, W. **Anatomy of Bamboo Culms**. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. 1998.

MAYES, D. & OKSANEN, O. **Thermowood handbook**. Version 1.0. Thermalwood, Finnforest, Storaenso, 52p. 2002.

MODES, K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis***. (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

NASCIMENTO, A. M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)**. Dissertação (mestrado) UFV, Viçosa, MG, 1990, 85p.

NASCIMENTO, A. M.; STACHERA, S. F.; XAVIER, L. M. **Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* (Munro)**. Curitiba, PR, 2002. 10p.

OHRNBERGER, D. **The bamboo's on the world**. Annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxes. Elsevier. First edition. 1999, 586p.

PESSOA, A.M.C.; BERTI, E. F.; BRITO, J.O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 11-16, 2006.

POUBEL, D. S. **Efeito da termorretificação nas propriedades tecnológicas da madeira normal e de compressão de *Pinus caribaea* Morelet**. 2011. 29 p. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SALGADO, A. L. B., AZZINI, A. **Conservação do Bambu**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, **O Agrônomo**, n. 46 (1-3), p. 21-26, 1994.

SANT'ANNA, E. T. **Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica utilizando materiais alternativos**. (Monografia em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008.

SEHISTEDT-PERSSON. **Colour responses to heat treatment of extractives and sap from pine and spruce**. In: 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, 2003. p.459–464.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* sobre a flexão estática. **Revista Floresta**, v. 29, n. 3, p. 37-51, 2003.

SILVA, R. M. C. **O bambu no Brasil e no mundo**. 2005, 45p.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. Tese de Doutorado. 2004. Lulea University of Technology.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa**. Dissertação UNB, DF, 2006, 177 p.

TJEERDSMA, B. F., BOONSTRA, M. and MILITZ, H. Thermal modification of non-durable wood species. 2. Improved wood properties of thermally treated wood. **International Research Group on Wood Preservation**, Document no. IRG/WP 98-40124, 1998.

WANG, H. W.; VARMA, R.V.; TIANSEN, X. **Insect Pests of Bamboos in Asia: An Illustrated Manual**. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. 1998.

WESTERMARK, U., SAMUELSSON, B. and LUNDQVIST, K. Homolytic cleavage of the β -ether bond in phenolic β -o-4 structures in wood lignin and guaiacylglycerol- β -guaiacyl ether. Research on Chemical Intermediates. **VSP International Science Publication**, Netherlands. 21:343, 1995.

WILEY, John. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. Callum A.S. Hill, 2006.

ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p. 1-32, 1981.

ANEXOS

Anexo 1. Grupos de cores obtidos no agrupamento de Cluster usando as variáveis cromáticas L*, a* e b* (adaptado de Camargos, 1999).

Grupo Cluster	Cor	Intervalos das variáveis cromáticas		
		L*	a*	b*
01	Amarelo-oliva	64-64	06-06	46-46
02	Branco	69-80	04-08	19-27
03	Marron-escuro	38-51	06-11	10-16
04	Rosa	55-68	11-27	18-27
05	Amarelo-claro	65-76	07-11	26-37
06	Roxo	36-39	12-07	03-07
07	Preto-avermelhado	28-35	04-08	03-06
08	Marrom-arroxado	29-44	08-11	08-12
09	Oliva	40-55	05-10	12-22
10	Oliva-claro	70-73	01-04	22-26
11	Branco-acizentado	74-86	03-06	16-25
12	Marrom-escuro	35-51	11-16	13-18
13	Marrom-oliva	48-71	09-13	22-30
14	Preto	26-36	01-06	02-08
15	Vermelho-escuro	35-38	17-21	13-15
16	Cinza-rosado	61-76	04-08	13-20
17	Vermelho	37-52	17-24	16-23
18	Oliva-amarelado	51-69	06-09	20-27
19	Laranja-amarelado	53-54	24-27	34-38
20	Amarelo-alaranjado	49-66	12-19	31-36
21	Marrom-claro	45-61	10-13	16-25
22	Rosa-acizentado	55-71	07-11	14-22
23	Amarelo-amarronzado	45-61	12-19	23-30
24	Amarelo	73-76	04-07	38-42
25	Marrom-avermelhado	39-57	13-17	18-23

Anexo 2. Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades físicas da espécie *Phyllostachis aurea*.

Fonte de Variação	Densidade aparente		db	βv	ta	TUE
	da_a	da_d				
Tempo	0,62 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-	0,82 ^{ns}	0,36 ^{ns}	-
Temperatura	4,49*	4,17*	4,15*	8,85*	0,56 ^{ns}	-

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

Anexo 3. Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades físicas da espécie *Bambusa tuldooides*.

Fonte de Variação	Densidade aparente		db	βv	ta	TUE
	da_a	da_d				
Tempo	1,13 ns	3,83*	0,06 ns	-	-	-
Temperatura	0,37 ns	2,28 ns	0,43 ns	-	-	-

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

Anexo 4. Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades mecânicas da espécie *Phyllostachis aurea*.

Fonte de Variação	Fc	fv	moe _d	moe%
Tempo	-	1,36 ^{ns}	6,03*	-
Temperatura	9,28*	13,91*	2,57 ^{ns}	-

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

Anexo 5. Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades mecânicas da espécie *Bambusa tuldooides*.

Fonte de Variação	fc	fv	moe _d	moe%
Tempo	0,40 ^{ns}	4,42*	1,57 ^{ns}	-
Temperatura	12,44*	-	11,32*	-

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.