

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TRATAMENTO QUÍMICO DE COLMOS DE BAMBU PELO
MÉTODO DE BOUCHERIE MODIFICADO**

JEAN CLAUDIO CHIOZZINI ESPELHO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - FEAGRI

**TRATAMENTO QUÍMICO DE COLMOS DE BAMBU PELO
MÉTODO DE BOUCHERIE MODIFICADO**

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na área de concentração de
Construções Rurais e Ambiente.

JEAN CLAUDIO CHIOZZINI ESPELHO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO LUDOVICO BERALDO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Es64t Espelho, Jean Claudio Chiozzini
Tratamento químico de colmos de bambu pelo
método de Boucherie modificado / Jean Claudio
Chiozzini Espelho. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Antonio Ludovico Beraldo
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bambu. 2. Solução (Química). 3. Testes não-
destrutivos. 4. Microscopia eletrônica de varredura. 5.
Ultra-som. I. Beraldo, Antonio Ludovico. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Bamboo culms chemical treatment by Boucherie modificado
method

Palavras-chave em Inglês: Bamboo, Boucherie modificado, Non destructive
evaluation – NDE, Scanning electronic microscope –
SEM, Chemical treatment

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Marco Antonio dos Reis Pereira e Wesley Jorge Freire

Data da defesa: 23/02/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

“A curiosidade é uma das características mais permanentes e certas de um intelecto ativo.”

Samuel Johnson

“Atualmente, as áreas traiçoeiras e inexploradas do mundo não são os continentes nem os mares, são a mente e o coração dos homens.”

Allen E. Claxton

Dedico este trabalho a:

Aos meus pais, Claudio e Márcia, a minha avó, Aparecida, e meu irmão, Nelson, que sempre me apoiaram, principalmente, nos momentos difíceis.

A todas as pessoas que se dedicam ao estudo do bambu em nosso país. Para que possamos utilizar melhor os recursos renováveis e preservar a natureza.

Para todas as pessoas que me encorajaram a pensar, a questionar e a surpreender.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais este objetivo alcançado.

À minha Família por todo apoio.

À minha namorada, Silvinha, por todo carinho e companheirismo, já que passamos muitos finais de semanas coletando dados no Campo Experimental da Feagri.

A todos os meus amigos, que para manter o meu ânimo sempre me “arrastavam” para um barzinho e, entre uma conversa e outra, me faziam esquecer dos problemas e voltar para casa revigorado. Em especial, aos amigos Rogério Aoyama (Zappa) , Ana Paula Ito (Paulito) e Walterley Picolé (Ursão).

Ao meu “mestre” e amigo Beraldo e sua esposa Maria Amélia por todo aprendizado, compreensão e paciência durante todos esses anos de Feagri (graduação e pós-graduação).

A Turma 96 de Engenharia Agrícola, com a qual descobri os desafios da engenharia agrícola e o de morar longe da família.

Aos amigos Juliana Sarubbi, Rafael Augustus, Caroline Andreuccetti, Augusto Ramos e César Nagumo que dividiram o mesmo teto e muitas reclamações.

À Faculdade de Engenharia Agrícola a qual me “abriu” muitas portas e onde conheci grandes amigos.

Ao pesquisador Anísio Azzini pela dedicação e ajuda.

As técnicas do laboratório de materiais, Gisleiva e Flávia, pela amizade e tempo dedicado.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao IAC pela doação dos colmos de bambu.

À Montana Química pela doação do produto CCB.

Ao Instituto de Geociências da Unicamp pela realização da análise de microscopia eletrônica de varredura.

Agradeço a todos, que não foram citados nestas poucas linhas, mas que direta e ou indiretamente contribuíram para que este trabalho pudesse ser finalizado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT.....	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Generalidades sobre o bambu.....	5
3.1.1 Possibilidades de utilização do bambu.....	7
3.1.1.1 Celulose para papel	7
3.1.1.2 Broto de Bambu.....	8
3.1.1.3 Carvão	8
3.1.2 Características anatômicas do bambu	9
3.1.3 Características físicas dos colmos.....	11
3.1.3.1 Umidade	11
3.1.3.2 Densidade aparente.....	11
3.1.4 Características mecânicas e utilização estrutural do bambu	11
3.1.5 Constituição química do bambu.....	13
3.2 Organismos Destruidores da Madeira e do Bambu.....	14
3.2.1 Mofo e Manchas.....	15
3.2.2 Fungos.....	15
3.2.3 Insetos Xilófagos.....	16
3.3 Procedimentos utilizados para aumentar a durabilidade do bambu	16
3.3.1 Tratamentos Tradicionais (Naturais)	18
3.3.1.1 Maturação no local da colheita.....	19
3.3.1.2 Imersão em água.....	20
3.3.1.3 Banho Quente-Frio com Água	21

3.3.1.4	Imersão em água salgada.....	21
3.3.2	Tratamentos Químicos	22
3.3.2.1	Transpiração das folhas	22
3.3.2.2	Pinselamento	22
3.3.2.3	Aspersão ou pulverização.....	22
3.3.2.4	Vaporização.....	23
3.3.2.5	Fumigação ou Defumação.....	23
3.3.2.6	Banho quente-frio.....	23
3.3.2.7	Autoclave.....	24
3.3.2.8	Imersão	25
3.3.2.9	Substituição de seiva	26
3.3.2.10	Método de Boucherie Modificado.....	26
3.4	Tipos de Preservativos	29
3.4.1	Hidrossolúveis.....	30
3.4.1.1	Borato de Cobre Cromatado – CCB.....	30
3.4.1.2	Outros Compostos de Boro	30
3.4.1.3	Outros Produtos.....	30
3.4.1.4	Substâncias preservativas utilizadas no tratamento do bambu.....	31
3.5	Fatores que afetam a propagação de ondas ultra-sônicas.....	34
3.5.1	Densidade aparente	34
3.5.2	Natureza biológica	35
3.5.3	Nós	35
3.5.4	Outros fatores.....	36
3.6	Flexão estática.....	36
4	<i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	39
4.1	Dispositivo para efetuar o tratamento dos colmos de bambu	39
4.2	Espécie utilizada para o tratamento.....	40
4.3	Corpos-de-prova e tratamentos	41
4.4	Procedimentos para efetuar os tratamentos	44

4.5	Variáveis do experimento	44
4.5.1	Métodos de tratamento.....	50
4.5.1.1	Método de Boucherie Modificado (Quimicamente sob pressão).....	50
4.5.1.2	Maturação na Moita.....	51
4.5.1.3	Testemunhas.....	51
4.5.2	Tipos de preservativos	52
4.5.3	Concentração dos preservativos.....	52
4.5.4	Duração do tratamento e pressão adotada.....	53
4.5.4.1	Método Boucherie Modificado	53
4.5.5	Tempo decorrido entre o corte e o início do tratamento	54
4.5.6	Tipo de Exposição das Taliscas	54
4.5.6.1	Exposto.....	54
4.5.6.2	Protegido	55
4.5.7	Tempo de Exposição das Taliscas	56
4.6	Combinação das variáveis	56
4.7	Ensaio de Caracterização do Bambu	59
4.7.1	Ensaio não destrutivo (END)	59
4.7.1.1	Ultra-som.....	59
4.7.1.2	Análises químicas.....	60
4.7.1.3	Análises Macroscópica e Microscópica	61
4.7.1.4	Visual e Pesagem.....	62
4.7.2	Ensaio destrutivo (Flexão Estática).....	63
4.7.3	Outras informações coletadas	65
4.8	Análise estatística	66
5	<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	69
5.1	Avaliação Visual.....	69
5.1.1	Taliscas.....	69
5.1.2	Diafragmas	69
5.1.3	Avaliação da Perda de Massa.....	70
5.2	Análise espectrofotométrica	70

5.3	Análise de retenção de produtos químicos - IPT	72
5.4	Análise das soluções obtidas após os tratamentos	78
5.4.1	ABB	78
5.4.2	CCB.....	79
5.4.3	Microscopia eletrônica de varredura - MEV.....	82
5.5	Análise Estatística dos Resultados	85
5.5.1	Comparação entre os Tratamentos Químicos no Ultra-som	85
5.5.2	Comparação entre os Tratamentos Naturais com os Químicos	95
5.5.3	Comparações das Testemunhas e Tempo Após o Corte	97
6	CONCLUSÕES	101
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
8	ANEXOS	106
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de três espécies de bambu.....	12
Tabela 2 - Relação entre a resistência à tração e peso específico.....	13
Tabela 3 - Combinação das variáveis testadas no 1º Bloco da Pesquisa.....	57
Tabela 4 - Combinação das variáveis para o 2º Bloco da Pesquisa.	58
Tabela 5 – Caracterização do solo do campo de apodrecimento.....	65
Tabela 6 – Dados climatológicos no período de exposição das taliscas.....	66
Tabela 7 - ANOVA para comparação da combinação das variáveis gerais do experimento – ultra-som.	85
Tabela 8 - ANOVA para comparação da combinação das variáveis gerais do experimento – flexão estática.....	86
Tabela 9 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo Dinâmico final (EDF) do ultra-som.	87
Tabela 10 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo de Elasticidade (MOE) da flexão estática.	88
Tabela 11 – Comparação dos resultados dos ensaios em função da combinação das variáveis experimentais.	89
Tabela 12 – Comparação dos resultados dos ensaios em função da combinação das variáveis experimentais.	91
Tabela 13 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo Dinâmico final (EDF) normalizados - ultra-som.....	92
Tabela 14 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo de Elasticidade (MOE) normalizados – flexão estática.	92
Tabela 15 – Comparação entre os tratamentos realizados – Método de Tukey HSD 95%.	96
Tabela 16 – Comparação entre as regiões do colmo testemunha – Método de Tukey HSD 95%.	98
Tabela 17 –Efeito do tempo após o corte para o início do tratamento – Método de Tukey HSD 95%.	99

Tabela 18 – Diafragmas degradados em ambiente protegido.....	106
Tabela 19 – Análise visual para as taliscas em ambiente exposto.....	106
Tabela 20 – Análise visual para as taliscas em ambiente protegido.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Estrutura do colmo- nós e internós; (b) Distribuição anatômica do bambu.	10
Figura 2: Construção de atelier utilizando bambu gigante, Pindorama/SP.	12
Figura 3: Método de corte para cura na mata (Maturação no Local da Colheita).	20
Figura 4: Método de secagem dos colmos de bambu ao fogo.	21
Figura 5: Método de tratamento em autoclave	25
Figura 6: Método de Imersão (Banho Frio) de colmos de bambu em água	25
Figura 7: Elementos anatômicos do bambu – sem escala; (a) vista transversal; (b) vista longitudinal.	28
Figura 8: Método de Boucherie Modificado.	33
Figura 9: Possibilidades de ensaios com flexão estática em colmos de bambu com presença de nós.	37
Figura 10: (a) Esquema do equipamento para aplicação do Método de Boucherie Modificado; (b) Vista da instalação experimental.	39
Figura 11: Moitas e corte do bambu com auxílio de moto-serra (Fazenda Santa Elisa).	41
Figura 12: Esquema para separação dos colmos inteiros em três regiões: base (A), meio (B) e topo (C).	42
Figura 13: Divisão dos colmos inteiros em três partes: basal, mediana e apical; com auxílio de serra circular e extração das taliscas.	42
Figura 14: esquema do bloco de pesquisa com CCB.	46
Figura 15: esquema do bloco de pesquisa com ABB (Ácido Bórico + Bórax).	47
Figura 16: esquema do bloco de pesquisa dos tratamentos naturais e testemunha.	49
Figura 17: Conexão normal e utilizando câmara de pneumático para evitar vazamento.	50
Figura 18: Tratamento de dois colmos de <i>D. giganteus</i> e e um colmo de <i>B. vulgaris</i> .	53
Figura 19: Taliscas expostas às condições ambiente em campo de apodrecimento.	55
Figura 20: Disposição das taliscas em local protegido.	55
Figura 21: Ensaio das taliscas por ultra-som.	60
Figura 22: Disposição dos diafragmas em local protegido.	63

Figura 23: Máquina de ensaio utilizada para o ensaio de flexão estática.	64
Figura 24: (a) Diagrama da carga x deslocamento; (b) inclinação adotada para determinação do $\Delta P/\Delta f$	64
Figura 25: Avaliação visual de ataque dos diafragmas dos colmos dispostos em local protegido.	70
Figura 26: Análise espectrofotométrica de solução de CCB a 5% de concentração.....	71
Figura 27: Ingredientes ativos detectados em partes do colmo do bambu, para tratamentos de CCB, com 5% de concentração, com durações de 300 min, 90 min e 40 min. Legenda: B = Base; M = Meio; T = Topo.	74
Figura 28: Ingredientes ativos detectados na porção mediana dos colmos para combinações de soluções de CCB de concentrações 2%, 5% e 8%, e tempos de tratamento de 40 min, 90 min e 300 min.....	75
Figura 29: Concentração de boro em função das concentrações (2%, 5% e 8%) e dos tempos de tratamento (40 min e 90 min).	76
Figura 30: Concentração de boro para a região mediana do colmo, secado durante três dias, utilizando-se soluções de CCB e de ABB a 5% de concentração e tempo de tratamento de 40 min.....	78
Figura 31: Concentração de boro, em soluções de ABB (5%), para tempos de tratamento de 30 min, 60 min e 90 min.	79
Figura 32: Comparação entre as concentrações de cromo, cobre e boro para a solução-padrão (5%) e após decorridas 3 h de tratamento.	80
Figura 33: Efeito da posição no colmo e da duração do tratamento com CCB a 5% de concentração. Razão entre as massas de cromo (considerada como sendo unitária) e as massas de cobre e boro retidas no <i>D. giganteus</i>	81
Figura 34: Efeito da concentração e do tempo de tratamento com CCB (40 min e 90 min) para a região mediana do colmo. Razão entre as massas de cromo (considerada como sendo unitária) e as massas de cobre e boro retidas no <i>D. giganteus</i>	81
Figura 35: Microscopia de amostra de <i>D. giganteus</i> : (a) Corte transversal (3000 X) ; (b) Corte longitudinal (300 X); (c) corte longitudinal (500 X) notando-se a formação de sais decorrente do tratamento; (d) detalhe da imagem anterior com aumento de 2500 X.....	83

Figura 36: Detecção de elementos químicos em amostra de <i>D. giganteus</i> : (a) Corte longitudinal (300 X); (b) Elementos químicos detectados.	84
Figura 37: Distribuição dos sais nos vasos do <i>D. giganteus</i> (1000 X): (a) Deposição irregular; (b) Deposição regular.....	84
Figura 38: Deposição dos elementos químicos nos vasos: (a) Vaso tratado (60 X); (b) Vaso não tratado (1000 X).	85
Figura 39: Efeito da concentração das soluções preservativas.	94
Figura 40: Efeito da duração dos tratamentos.....	94
Figura 41: Efeito do tempo de exposição.....	94
Figura 42: Comparação entre os tratamentos realizados e testemunhas.	97
Figura 43: Comparação entre os tratamentos realizados e testemunhas – valores normalizados.	97
Figura 44: Influência da região do colmo nos resultados de ultra-som e flexão estática.....	98
Figura 45: Influência da região do colmo nos resultados de ultra-som e flexão estática.....	100

RESUMO

O bambu é uma matéria-prima com múltiplas aplicações, principalmente no setor da construção. Seu desenvolvimento e seu desempenho mecânico são obtidos após um curto intervalo de tempo, quando comparado com as árvores. O bambu é um material renovável e encontrado em abundância em regiões tropicais e subtropicais, nas quais é considerado um material de baixo custo. No entanto, a maior parte das espécies de bambu é altamente susceptível ao ataque de fungos e insetos. Basicamente, pode-se aumentar a durabilidade dos colmos de bambu de duas maneiras, representadas por procedimentos culturais (naturais) e pelo tratamento dos colmos com produtos químicos. Dentre os diversos métodos que visam aumentar a durabilidade do bambu destaca-se o “Método de Boucherie Modificado”. Neste trabalho testou-se a eficiência da aplicação do Método de Boucherie Modificado, comparando o aumento na durabilidade das amostras tratadas (taliscas de bambu) com amostras não tratadas ou testemunhas. Para tal, foram avaliados os efeitos de algumas variáveis como: posição da amostra no colmo, tipos de preservativo e sua concentração, duração do tratamento e tempo de exposição das taliscas em dois ambientes (protegido e exposto). Foram realizados ensaios não destrutivos - END (visual, pesagem das amostras e de ultra-som) e destrutivo (flexão estática). Também foram efetuadas análises químicas (concentração dos elementos químicos nas soluções e seu teor nas regiões do colmo) e de rastreabilidade dos elementos químicos por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados obtidos permitiram verificar a falta de uniformidade da distribuição dos elementos químicos ao longo dos constituintes anatômicos do bambu, ocorrendo a deposição dos mesmos basicamente nos vasos. Verificou-se, igualmente, a ineficiência do uso de soluções com baixa concentração, principalmente quando foram combinadas com tratamentos de curta duração. Os ensaios de ultra-som e de flexão estática foram suficientemente sensíveis para detectar a melhor combinação do efeito dos parâmetros avaliados.

Palavras-chave: bambu, Boucherie Modificado, END, MEV, tratamento químico

ABSTRACT

Bamboo is a raw material with several possibilities of applications, mainly for building purposes. Its development and its mechanical performance are obtained after a short interval of growing when compared with trees. Bamboo is renewable raw material and it is available in tropical and subtropical regions, where it is considered as a cheap material. Nevertheless, the most of bamboo species is highly decayed by insects and fungi attacks. Basically the bamboo culm protection can be obtained by means of a two treatment types: natural protection and chemical protection. In this last category one of the most employed is the Boucherie Modified Method. In this work it was evaluated the performance of a Boucherie Modified Method, comparing treated bamboo samples (bamboo splits) with no treated samples (control). It was evaluated the effect of the sample position in the culm, chemical solution type and its concentration, treatment elongation and the exposition period in two environment (protected and no protected). Non destructive evaluation - NDE (visual, weight control and ultrasound) and flexure test were applied to the specimens along the time. Also chemical analysis (chemical element concentration in the solution and its amount in the bamboo regions) and the traceability of these chemical elements by means a scanning electronic microscope (SEM) were employed. Results obtained showed a lack of uniformity of the distribution of the chemical elements across the bamboo anatomical constituents, occurring the salt deposition mainly in the vessel with a greater diameter. Smaller concentration solutions, mainly when they were combined with smaller treatment time, were not effective to protect bamboo against decay. Results obtained by ultrasound and flexure test were sensitive enough to detect the best combination of the effect of the parameters evaluated.

Keywords: bamboo, Boucherie Modificated, NDE, SEM, chemical treatment

1 INTRODUÇÃO

Na última década a taxa média anual do crescimento demográfico urbano situou-se em torno de 4,5%. Grande parte desta população é constituída por famílias que ganham menos de dois salários mínimos, caracterizando um contexto de precariedade. Essas famílias não possuindo, portanto, condições para adquirirem moradias disponíveis no mercado imobiliário, são praticamente compelidas a escolher entre instalar-se precariamente e/ou clandestinamente em áreas centrais e urbanizadas (em favelas e cortiços) ou, então, procurar alojar-se em loteamentos de periferia, os quais, em sua grande maioria, são desprovidos de serviços urbanos básicos (GHAVAMI, 1992).

Diante desse quadro desfavorável, tem sido uma preocupação constante dos pesquisadores o desenvolvimento de técnicas que favoreçam a diminuição dos problemas advindos desta realidade, principalmente no que diz respeito à carência de habitação. Deve-se, então, aprimorar pesquisas que apresentem soluções de tecnologia mais simples, visando sempre a praticidade, o custo-benefício e a fácil trabalhabilidade de um material. Neste âmbito de pesquisa insere-se o bambu, material alternativo para a construção civil, de fonte renovável e, portanto, de baixo custo.

A utilização do bambu na construção tem sido precária no Brasil, sendo uma das causas a falta de uma tecnologia apropriada e específica para esse material. Alguns países como Costa Rica, Equador e Colômbia utilizam o bambu normalmente como material de construção. Segundo Barbosa e Ino (1998), na Costa Rica a produção habitacional em bambu é de, aproximadamente, 100 casas por ano, cumprindo tais construções as exigências da ONU para habitações populares. No Equador existe um importante projeto de fabricação de casas em bambu – *Hogar de Cristo*, visando suprir a demanda da população carente.

Infelizmente, como ocorre com vários materiais lignocelulósicos, a maior parte das espécies de bambu, devido à existência de amido nas células parenquimatosas, apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos). Desse modo, devem ser buscadas técnicas que sejam aplicáveis em escala industrial, e que permitam aumentar a durabilidade dos colmos. Dentre elas pode-se citar o tratamento químico, destacando-se o método Boucherie Modificado.

2 OBJETIVO

Neste trabalho buscou-se avaliar a eficiência do método *Boucherie Modificado* aplicado ao tratamento de colmos do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro). Foram analisados os efeitos das combinações das seguintes variáveis: dois tipos de produtos preservativos (Cromo-Cobre-Boro – CCB - solução comercial e Ácido Bórico + Bórax - ABB), três concentrações das soluções (2%, 5% e 8%), três posições de amostragem (base, meio e topo) e diferentes tempos de duração do tratamento (de 40 min. até 300 min.). As soluções coletadas foram analisadas por meio do ensaio de absorvância, buscando-se obter o tempo de estabilização na cor da solução, ao longo da duração do tratamento. A retenção dos ingredientes ativos (IA) nas três posições do colmo também foi determinada. Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram utilizados para detectar a rastreabilidade dos elementos químicos presentes na solução ao longo dos elementos anatômicos do bambu. A eficiência dos procedimentos adotados foi verificada colocando-se as taliscas (estacas) tratadas e não tratadas (testemunhas) em ambiente protegido e também em um campo de apodrecimento, no qual as mesmas foram expostas à ação das intempéries. Buscou-se obter a melhor combinação entre as variáveis e, em seguida, comparar a eficiência de cada método, após a permanência das taliscas nas duas condições de exposição em determinados intervalos de tempo. Ensaio destrutivo (flexão estática) e não destrutivos (visual, pesagem e ultra-som) foram aplicados às estacas. Os resultados desses ensaios foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo efetuada a comparação das médias pelo teste de Tukey (5%).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, o bambu, apesar de suas amplas possibilidades de utilização como material fibroso, é pouco utilizado em comparação com as espécies arbóreas ou madeiras, que representam a quase totalidade da matéria-prima fibrosa empregada nas mais variadas utilizações, desde a simples queima para gerar energia de uso doméstico até a produção industrial de celulose e papel. O baixo nível de utilização do bambu, sem dúvida alguma está associado à falta de conhecimentos científicos e tecnológicos especificamente desenvolvidos para este material. A crescente escassez e valorização das madeiras observada nos últimos anos têm contribuído para aumentar o interesse pelo bambu como material fibroso. Em 2005 a produção nacional de madeira serrada foi de 23,5 milhões de m³ e o consumo foi de 20,4 milhões de m³, de acordo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (www.sbs.org.br).

Uma das possibilidades de alavancar o uso do bambu, principalmente no setor da construção, refere-se à possibilidade de efetuar-se adequadamente seu tratamento preservativo. A eficiência no tratamento do bambu depende de uma série de fatores, destacando-se as características específicas desse vegetal, o tipo de substância preservativa utilizada e das particularidades do método a ser aplicado no tratamento dos colmos.

3.1 Generalidades sobre o bambu

Atualmente o bambu vem sendo reconhecido como uma espécie florestal de grande valor, em decorrência de suas amplas possibilidades agronômicas e tecnológicas 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, esta na forma de amido granular ou como etanol, após a sacarificação do amido. A produção de broto de bambu, como alimento, e a obtenção de carvão a partir dos colmos, também são outras possibilidades de utilização do bambu (BERALDO & AZZINI, 2004).

Segundo alguns pesquisadores as espécies de bambu mais difundidas no Brasil são *Bambusa tuldoides* Munro (bambu comum), *B. vulgaris* Schrad (bambu verde), *B. vulgaris* Schrad var. *vittata* (bambu imperial, amarelo), *Dendrocalamus giganteus* Munro (bambu gigante, balde) e algumas espécies do gênero *Phyllostachys sp* (cana-da-Índia).

No Brasil, dentre os fatores que ainda impedem que o bambu seja considerado “a madeira do século XXI”, podem ser citados:

- falta de conhecimento específico: raros são os setores que realizam investigações científicas sobre o material e quando as fazem encontram limitações decorrentes da inexistência de normatização técnica;

- falta de fornecedores de mudas em escala comercial: embora algumas espécies de bambu apresentem volumes consideráveis de comercialização (caso de bambus empregados em paisagismo e na decoração), por outro lado, quando se busca a formação de bosques de bambus de maiores dimensões visando uma escala de aplicação industrial, esbarra-se na ausência de fornecedores de mudas. A única exceção aplica-se ao projeto da empresa Itapagé (www.itapage.com), no qual a produção de mudas de *Bambusa vulgaris* Schrad realmente é considerada como sendo uma verdadeira “linha de produção”;

- preconceito: o bambu ainda é tratado com muito preconceito e desconfiança junto à população. E, um dos maiores contribuintes para a disseminação dessa aparente fraqueza inerente ao bambu encontra-se, sem dúvida, em sua limitada vida útil, geralmente fruto da escolha inadequada da espécie, ou, então, do seu emprego de forma equivocada.

De acordo com Beraldo & Azzini (2004), do ponto de vista agrônomo, o interesse pelo bambu está intimamente relacionado com a perenidade das touceiras e seu rápido desenvolvimento vegetativo, que viabiliza a colheita com ciclos inferiores ao da madeira e apresentando elevados níveis de produção. Por ser uma espécie perene, o cultivo de bambu é perfeitamente viável em terrenos marginais com elevada declividade, possibilitando o aproveitamento econômico dessa área. Além disso, apresenta um sistema radicular do tipo fasciculado, superficial, rizomatoso e bastante volumoso (extensão dos rizomas no solo pode variar de 25 a 187 km/ha, para as espécies alastrantes), o que contribui para proteção do solo contra erosão. A velocidade média de crescimento dos colmos de bambu varia de 8 a 10 cm/dia, podendo atingir 40 cm/dia para colmos da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

O bambu pode apresentar a ramificação do rizoma de dois tipos:

⇒ Grupo Paquimorfo, simpodial ou entouceirante, que se desenvolve principalmente nas zonas tropicais, compreendendo entre outros, os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua*;

⇒ Grupo Leptomorfo, monopodial ou alastrante, que se desenvolve principalmente em zonas temperadas, compreendendo, entre outros, os gêneros *Arundinaria* e *Phyllostachys*.

3.1.1 Possibilidades de utilização do bambu

Industrialmente pode-se obter, a partir dos colmos de bambu, vários produtos, destacando-se a produção de fibras celulósicas para papel, broto comestível, carvão, dentre outras.

3.1.1.1 Celulose para papel

A celulose ou as fibras celulósicas são os componentes básicos utilizados na produção de papel, podendo ser obtidas tanto nas espécies arbóreas (madeiras) como não-arbóreas (bambu e outras). No Brasil a quase totalidade das matérias-primas fibrosas utilizadas na produção de celulose ou fibras celulósicas para papel são provenientes de espécies arbóreas, basicamente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, respectivamente, fornecedoras de fibras curtas (1 mm) e longas (3 a 4 mm). O bambu pode ser utilizado como fonte alternativa de celulose de fibra longa. Algumas fábricas, localizadas no Maranhão e Pernambuco, produzem, respectivamente, 60 e 55 toneladas/ano de papéis, principalmente para embalagens de alimentos, medicamentos e cartões duplex.

A celulose de bambu, quando comparada com a de espécies resinosas (coníferas), apresenta superioridade em relação à resistência ao rasgo e ao peso específico aparente. No caso de tração e arrebentamento (estouro) suas resistências são menores, pois suas fibras são menos flexíveis.

É possível realizar a extração do amido a partir de cavacos de bambu, na forma granular, como na produção de etanol. O amido, na forma granular, é extraído durante o método de desfibramento dos cavacos por arraste em água.

A produção conjunta de celulose (46%) e amido (6,5%) ou celulose e etanol (12 litros/100 kg de cavacos) evidenciam a grande potencialidade deste novo método de utilização do bambu, bem mais competitivo que o método convencional (madeiras), que produz apenas celulose (36,5%).

3.1.1.2 Broto de Bambu

O broto de bambu é um dos principais produtos da culinária asiática, sendo apreciado, pelo seu sabor e por sua textura característica. Os brotos representam a fase inicial do desenvolvimento dos colmos e se desenvolvem a partir das gemas laterais dos rizomas, tanto nas espécies alastrantes como naquelas que formam touceiras. Normalmente a colheita é feita quando os brotos atingem 30 cm a 50 cm de altura.

A quantidade de proteína no broto de bambu (2,27% a 4,37%) é superior à do palmito (2,18%). Os açúcares totais presentes no palmito estão na faixa de variação dos brotos, com exceção para a espécie *Dendrocalamus asper*, cujos teores são mais elevados. Quanto ao pH, tanto o broto de bambu como o palmito são considerados alimentos de baixa acidez. O broto de bambu apresenta elevado teor de ácido cianídrico, que provém do desdobramento da taxifilina, que é o composto cianogênico original. Assim, como nas raízes de mandioca, o composto deve ser eliminado por meio de cozimento em água.

Na China a produção de broto para a espécie *Phyllostachys pubescens* variam de 20 a 30 toneladas por hectare/ano. Em 2004 a China produziu 250 mil toneladas e movimentou 875 milhões de Yuan (MAOYI, 2004). Em 1990 o consumo de broto no Japão foi de 137.615,9 toneladas, tendo sido importadas aproximadamente 70 mil toneladas (WATANABE, 1991).

De acordo com Ferreira et al. (1986), as espécies tropicais mais adequadas à produção de broto são: *Bambusa tuldoides*, *B. oldhami nutans*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Phyllostachys edulis* e outras.

3.1.1.3 Carvão

Segundo Brito et al. (1987), o rendimento de conversão em carvão para o bambu variou de 28,5% para *Bambusa tuldoides* a 32,7% para *Guadua angustifolia*, para as cinco espécies estudadas (*Bambusa tuldoides*, *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia*). Para o eucalipto este rendimento foi de 28,4%.

Os autores fizeram ainda algumas comparações como:

⇒ Os valores da densidade aparente do carvão do bambu (0,418 t/m³, *B. vulgaris*, a 0,494 t/m³, *B. tuldooides*) foram expressivamente superiores ao do eucalipto (0,249 t/m³). Esta característica do carvão de bambu é altamente positiva, pois, além de significar maior concentração de material útil, poderá resultar em maior resistência física do produto;

⇒ O poder calorífico do carvão de bambu variou de (6.490 kcal/kg, *G. angustifolia*, 8.685 kcal/kg, *D. giganteus*), valores próximos ao do eucalipto (8.487 kcal/kg);

⇒ A quantidade de cinzas no carvão de bambu (3,0% a 12,3%) mostrou-se bem mais elevada do que do eucalipto (0,5%). Isso é consequência do elevado teor de sílica nos colmos;

⇒ O valor de carbono fixo no carvão de bambu (85,6%), em média, foi inferior ao do eucalipto (90,8%). Convém ressaltar que quanto maior a quantidade de carbono melhor será a qualidade do carvão.

Ao enumerar várias características e possibilidades de utilização do bambu, mesmo não apresentando relação direta com este trabalho, visa-se ampliar o conhecimento sobre o material bambu e divulgá-lo à medida do possível. Busca-se, com isso, alcançar uma maior aceitação desse material como alternativo e viável, além de proporcionar conhecimento para uma utilização racional do bambu.

3.1.2 Características anatômicas do bambu

Pelas características de seu colmo o bambu é considerado uma planta lenhosa, monocotiledônea, pertencente às Angiospermas, da família *Graminae*, tribo *Bambusae*, constituído basicamente por colmo, rizoma e um sistema radicular fasciculado.

Contrariamente à madeira, o bambu apresenta características muito particulares quanto à distribuição de seus elementos anatômicos, sendo a principal delas a ausência de elementos anatômicos dispostos na direção radial.

A **Figura 1a** mostra a constituição da parede interna do colmo de bambu, podendo-se observar a presença dos nós e dos internós; a **Figura 1b** apresenta a anatomia do bambu, podendo-se visualizar as células de parênquima (uma rede de células de seção hexagonal) e os vasos condutores, cercados pelos feixes de fibras (regiões mais escurecidas).



Figura 1: (a) Estrutura do colmo- nós e internós; (b) Distribuição anatômica do bambu.

O conhecimento da estrutura anatômica básica do bambu é de fundamental importância para que seu uso tecnológico seja o mais adequado. A transferência da solução preservativa entre os constituintes do colmo de bambu, por exemplo, também depende estreitamente das características de cada um dos elementos anatômicos (vasos, feixes de fibras e células parenquimatosas).

De acordo com Liese (1985), a dimensão média das células do bambu varia de 40 μm a 120 μm (diâmetro dos vasos) e de 20 μm por 100 μm (células parenquimatosas). As fibras do bambu são extremamente esbeltas; para a espécie *D. giganteus* apresentam comprimento de 3 mm, largura de 19 μm e espessura da parede da ordem de 6,7 μm (AZZINI et al., 1977).

Segundo Liese (1985), as áreas ocupadas por cada elemento são da ordem de: 10% (vasos), 50% (células parenquimatosas) e 40% (feixes de fibras). No entanto, essas distribuições não são constantes - variam ao longo da altura do colmo e, principalmente, ao longo da seção transversal da parede do colmo. Nas camadas externas ocorre a maior concentração dos feixes de fibras, podendo atribuir-se a elas uma maior resistência mecânica, além de uma maior durabilidade.

Nas células pode-se observar a presença de perfurações (“pits” ou pontuações), de fundamental importância para que seja eficiente a transferência transversal dos líquidos. Esse movimento lateral torna-se necessário para que os nutrientes ou a solução preservativa sejam transferidos ao longo dos vasos e alcancem o tecido circunvizinho (constituído por feixes de fibras e por células parenquimatosas). A transferência de líquidos é efetuada por meio da difusão – um processo que ocorre de forma muito lenta (LIESE, 2004).

A difusão pressupõe a existência de umidade adequada, dependendo sua eficiência da densidade do material, de suas características anatômicas e da espessura da amostra (WILLERDING & VIANEZ, 2003).

3.1.3 Características físicas dos colmos

3.1.3.1 Umidade

A umidade do colmo é praticamente constante e muito elevada quando o mesmo ainda se encontra imaturo. Com a maturação (que leva de 3 a 4 anos para a maioria das espécies), observa-se que a umidade decresce da base para o topo; tais valores médios situam-se de 100% (base) para 60% (topo). No entanto, a magnitude desses valores depende de uma série de fatores, dentre eles: época do ano (o teor de umidade é mais elevado na estação chuvosa), da espécie considerada, e, principalmente, da quantidade de células parenquimatosas (local de armazenamento de água), freqüentes em maior proporção na região da base (LIESE, 1985).

3.1.3.2 Densidade aparente

Para a madeira verificam-se diferenças quando se comparam as regiões do albúrnio (mais leve) e do cerne (mais denso); para o bambu, os valores médios obtidos (0,50 g/cm³ a 0,80 g/cm³) variam significativamente devido à heterogeneidade da distribuição anatômica dos elementos, sendo os valores mais elevados encontrados na região dos nós e nas camadas mais externas do colmo. Além disso, a idade do colmo apresenta grande influência no valor dessa propriedade; colmos imaturos são extremamente leves, ao passo que, colmos amadurecidos geralmente mostram um valor máximo. Os valores da densidade aparente também crescem da base em direção ao topo do colmo (LIESE, 1985).

3.1.4 Características mecânicas e utilização estrutural do bambu

Os primeiros experimentos de que se tem notícia com o bambu reforçando o concreto datam de 1917 na China, Japão e Filipinas. Por volta de 1918 os chineses foram os primeiros a utilizar o bambu como substituto do aço no reforço de concreto de pontes ferroviárias e outras construções. Na Europa, alemães e italianos, por volta dos anos 1930, também já realizavam

suas pesquisas. Durante a 2ª Guerra Mundial incentivou-se os estudos, por parte de Japão e Estados Unidos, da utilização do bambu, caso a obtenção do aço fosse dificultada.

Existem alguns projetos no Brasil que visam a utilização do bambu nas construções de casas. A **Figura 2** mostra um desses projetos, construído na cidade de Pindorama/SP em 1993. O edifício, um atelier, foi construído por um artista plástico utilizando-se basicamente 12 peças de bambu gigante de 8,50 m de comprimento. O sistema foi formado com peças de 15 a 20 cm de diâmetro compondo 2 triângulos invertidos com base de, aproximadamente, 5 m. Como sistema de fechamento utilizou-se argamassa e chapas de madeira.



Figura 2: Construção de atelier utilizando bambu gigante, Pindorama/SP.

Fonte: Barbosa (1997).

Sartori & Cardoso Jr. (1997) apresentaram dados de tração, compressão, flexão e cisalhamento, obtidos para três espécies de colmos de bambu (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de três espécies de bambu.

Espécie	Tração (MPa)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Cisalhamento (MPa)
<i>B. vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	122,8	38,9	110,5	38,8
<i>B. vulgaris</i>	169,0	51,6	136,0	40,4
<i>D. giganteus</i>	138,1	64,8	125,1	45,0

Fonte: adaptado de Sartori & Cardoso Jr. (1997).

Ghavami (1992), estudando a relação entre a resistência à tração e o peso específico, para alguns materiais (**Tabela 2**), constatou que o bambu é o material que apresenta um valor maior para esta relação, o que torna vantajosa a sua utilização como material de construção.

Tabela 2 - Relação entre a resistência à tração e peso específico.

Material	Res. Tração σ_t (MPa)	Peso específico γ (N/mm ³ .10 ⁻²)	$R = \sigma_t / \gamma \cdot 10^2$	$R/R_{\text{aço}=1,00}$
Aço (CA 50 A)	500	7,83	0,63	1,00
Bambu	140	0,80	1,75	2,77
Alumínio	304	2,70	1,13	1,79
Ferro Fundido	281	7,20	0,39	0,62

Fonte: GHAVAMI (1992).

3.1.5 Constituição química do bambu

A constituição química básica do bambu não difere significativamente daquela correspondente às madeiras. Os colmos são constituídos por celulose, hemicelulose e lignina e, em menor quantidade, por resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos (LIESE, 1985). No entanto, essa constituição também varia com a região particular do colmo: nos nós observa-se menores teores de extrativos solúveis em água, de pentosanas, de cinzas e de lignina, porém, com teores mais elevados de celulose. Por outro lado, o teor de cinzas (de 1% a 5%) é mais significativo nas camadas internas do colmo, contrariamente à sílica (teores de 0,5% a 4%) presente em maior quantidade nas camadas mais externas (LIESE, 1985). Esse é um motivo da tendência de ocorrer maior desgaste nas ferramentas empregadas no corte e no processamento dessa região do colmo.

O grau de ataque do colmo de bambu mostra-se diretamente ligado ao seu teor de amido, o qual também é dependente da anatomia do bambu. Bambus muito jovens (imaturos), por não apresentarem ainda amido estocado nas células parenquimatosas, não sofrem o ataque do caruncho, assim como aqueles colmos que passaram pelo processo do florescimento (LIESE, 1985). Nos colmos maduros, com idade superior a três anos, para algumas espécies, ocorre um espessamento das paredes das células e a deposição de amido mostra-se mais acentuada (LIESE, 2004).

De acordo com Beraldo et al. (1998), os teores de amido para três espécies de bambu gigante, dentre elas *D. giganteus*, não variaram muito com a espécie e, sim, com as regiões dos colmos. Segundo os autores a espécie citada apresentou a seguinte distribuição de amido nas três regiões: Basal (2,15%), Mediana (3,83%) e Apical (2,17%). Os autores notaram que as regiões Basal e Apical não apresentaram diferença estatística quanto ao teor de amido (ou seja, teoricamente seriam menos atacadas do que a região intermediária do colmo).

O amido encontra-se presente nas células parenquimatosas constituindo-se em reserva de energia. De acordo com Liese (2004), o teor de amido situa-se entre 2% e 6% (com algumas espécies de bambu apresentando até 10%). Segundo o autor, o teor de amido depende da idade e da altura do colmo, mas, principalmente, da estação do ano.

O teor de amido alcança sua concentração máxima nos meses secos do ano, antes da estação chuvosa e da brotação (LIESE, 1985). Porém, essa afirmação, no Brasil, apenas se aplica para o caso dos bambus entouceirantes (gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus*), os quais apresentam brotações de dezembro a fevereiro, em geral. Por outro lado, bambus alastrantes (gênero *Phyllostachys*, por exemplo), brotam de agosto a outubro, podendo imaginar-se que tenham menores teores de amido logo após esse período de brotação.

Segundo Liese (1980), citado por Pereira (1992), o ataque de organismos xilófagos diminui rapidamente a durabilidade natural do colmo, a qual varia conforme a espécie considerada. A parte basal apresenta maior durabilidade do que o meio e o topo do colmo; a parte interna do colmo é atacada com maior facilidade do que a parte externa, devido a sua estrutura anatômica (maior concentração de células parenquimatosas – local de depósito do amido). O ataque por insetos pode iniciar-se antes de 24 h após o corte do colmo, o que indica a dificuldade em manter-se um estoque de colmos não tratados em uma linha de produção de um artefato industrial.

3.2 Organismos Destruidores da Madeira e do Bambu

No bambu, como na madeira, pode ocorrer deterioração devido à ação de agentes físicos, químicos e biológicos.

Segundo Sgai (2000), a madeira exposta ao tempo sofre deterioração fotoquímica, por exemplo, promovida pela radiação ultravioleta que atua principalmente sobre a lignina,

causando alterações significativas na coloração da madeira e na estrutura celulósica que vai sendo destruída em camadas que são levadas pela água da chuva. A madeira, apesar de ser inerte à ação de muitos produtos químicos, pode sofrer a ação destruidora de poluentes ao longo do tempo ou por ação direta de produtos ácidos, por exemplo. Os agentes biológicos, chamados de biodeterioradores, são os merecedores de maior atenção. Efeitos semelhantes são identificados no bambu.

3.2.1 Mofo e Manchas

De acordo com Sgai (2000), o mofo (que é produzido por fungos) e as manchas (existem alguns fungos manchadores) não afetam a resistência da madeira, pois se alimentam dos conteúdos das cavidades celulares, e não das paredes das células.

O mofo ocorre superficialmente na madeira, quando esta apresenta umidade muito elevada e pode ser removido. As manchas podem ser ocasionadas por fungos cromógenos ou por mudanças químicas, não sendo possíveis de serem removidas da superfície.

3.2.2 Fungos

A ação desse grupo (com exceção dos fungos manchadores) altera as propriedades físicas e químicas das paredes celulares e, portanto, afeta seriamente a resistência da madeira (e do bambu), produzindo sua decomposição. Os fungos podem atacar árvores vivas, quando estas apresentam lesões, ou que tenham sido alvos de ataques preliminares por insetos. Quase todos os fungos são incapazes de atacar a madeira quando a umidade se encontra abaixo do ponto de saturação das fibras (variável para cada espécie, sendo, em média, de 25%).

Basicamente existem dois tipos de fungos que atacam os materiais lignocelulósicos:

- Fungos de podridão-branca: atacam mais facilmente a lignina, substância que mantém juntas as células;
- Fungos de podridão-parda: atacam mais facilmente a celulose.

3.2.3 Insetos Xilófagos

Os insetos destruidores de materiais lignocelulósicos podem ser divididos em:

- Insetos coleópteros: espécie ambrósia, perfuradores de cabeça redonda e lisa. Todos eles atacam madeira cortada. Para evitar o ataque, a madeira deve ser tratada com soluções inseticidas, com destaque para as soluções à base de Lindano (Isômero gama BHC), (SGAI, 2000). Tais insetos reproduzem-se através de ovos depositados nos poros das madeiras. Neste grupo encontra-se o *Dinoderus minutus* (caruncho), principal inseto que ataca o bambu.

- Cupins ou térmitas: madeira cujo teor de umidade esteja abaixo de 20% e que, por conseguinte, não está sujeita ao ataque de mofo e fungos, pode estar sujeita ao ataque de cupins terra (túnel de terra) ou cupins de madeira seca.

- Formigas carpinteiras: perfuram a madeira para utilizá-la apenas como habitação.

- Furadores marinhos: são moluscos e suas larvas, fazem pequenos furos para penetrar na madeira e com seu desenvolvimento a perfuração no interior da madeira aumenta para dar lugar à passagem do corpo; crustáceos (quando em contato com a água) causam perfurações menores do que a dos moluscos e menos profundas, pois não se introduzem na madeira.

3.3 Procedimentos utilizados para aumentar a durabilidade do bambu

Como ocorre com vários materiais lignocelulósicos, a maior parte das espécies de bambu apresenta baixa resistência ao ataque de agentes deteriorantes, o que torna o material com baixa vida útil e economicamente inviável. Além disso, devido às suas características anatômicas, o bambu apresenta maior dificuldade para efetuar-se o tratamento preservativo do que as espécies arbóreas. Os colmos dispõem de duas camadas consideradas refratárias à penetração de líquidos: a camada externa, protegida por uma epiderme que atua como um selo hermético, e a camada interna, que apresenta uma membrana impermeável (LIESE, 2004).

Embora exista uma crença popular quanto à época ideal para efetuar o corte do bambu, não foram encontradas evidências científicas que evidenciassem essa crença, segundo a qual a época de corte durante a Lua minguante aumentaria a durabilidade do colmo. Além

disso, em alguns países da América do Sul recomenda-se que o corte do colmo seja realizado à noite ou ao alvorecer. Nesse caso, pode-se argumentar favoravelmente quanto a essa expectativa, pois a ausência de luz solar pode, realmente, exercer um efeito favorável quanto à diminuição no teor de seiva. Mas, seguramente, a aplicação prática dessa proposta é de difícil realização, quando se consideram os riscos envolvidos na exploração das touceiras, principalmente para bambus pertencente ao gênero *Guadua*, conhecidos por apresentarem longos e pontiagudos espinhos.

A durabilidade natural do bambu, para Tamolang et al. (1980), pode ser estimada em: 6 meses em regiões próximas ao mar; de 1 a 3 anos se for colocado em contato com o solo e atmosfera; de 4 a 6 anos se estiver em local abrigado; de 10 a 15 anos se estiver em local abrigado e em localidades de clima não muito úmido.

Para Liese (1985), o bambu apresenta baixa durabilidade natural quando comparado com espécies arbóreas de mesma densidade; o autor cita a vida útil de colmos compreendendo 1 a 3 anos (em contato com o solo), de 4 a 6 anos (protegido e sem contato com o solo), de 10 a 15 anos (em condições extremamente favoráveis), porém de menos de 1 ano, quando exposto ao ambiente marinho.

Targa e Ballarin (1990) observaram que *algumas madeiras*, utilizadas em conjunto com uma espécie de *Bambusa*, necessitaram ser substituídas devido ao ataque de insetos, enquanto que o bambu ainda permanecia intacto. Esses autores concluíram que, dependendo da espécie, a durabilidade do bambu é reduzida, quando não se efetua o seu tratamento preservativo. Os autores estimaram a durabilidade dos colmos de bambu: 6 a 24 meses quando enterrados no solo; 22 a 41 meses se em contato direto com o solo; 2 a 7 anos em local abrigado sem contato com o solo. Esses resultados permitem observar que as estimativas foram diferenciadas daquelas apresentadas por Tamolang et al. (1980), provavelmente podendo atribuir-se essa discrepância à matéria-prima considerada, ao tipo de preservativo utilizado, dentre outros fatores.

Geralmente um bom tratamento pode aumentar a vida útil de bambus para 15 anos, quando expostos às intempéries e para 25 anos quando colocado em local abrigado. O tratamento é responsável pelo aumento de cerca de 30% no preço do bambu (JANSSEN, 1995).

De acordo com Liese (1985), dentre os fatores que ainda impedem que a preservação do bambu seja adotada de forma mais efetiva pelos diversos usuários, podem ser citados:

- falta de conhecimento sobre as formas de efetuar a proteção do bambu;
- falta de equipamentos adequados e de substâncias preservativas específicas;
- incerteza quanto às vantagens em se efetuar a preservação do bambu;
- ausência de demanda por bambu tratado.

A durabilidade dos colmos de bambu pode ser aumentada de três maneiras, representadas por procedimentos tradicionais (naturais), pelo tratamento com produtos químicos e por métodos construtivos (BERALDO & AZZINI, 2004).

3.3.1 Tratamentos Tradicionais (Naturais)

A idade dos colmos a serem cortados é a principal medida adotada na silvicultura, que deve ser levada em consideração para se ter um material de construção mais durável. Devem-se colher colmos maduros, com idade superior a três anos, pois, com essa idade, os colmos, dependendo da espécie, estarão completamente lignificados. Para Ghavami e Marinho (2001), o bambu deve ser cortado quando atinge seu grau máximo de maturação, grau esse dependente da espécie de bambu considerada, com idades “ótimas” para o corte da ordem de três anos a seis anos.

Hidalgo Lopez (1974) comentou que entre três anos e seis anos o bambu adquire sua máxima resistência, a qual declina à medida que o colmo vai secando, sendo a idade mais apropriada para o corte dos colmos entre dois anos e seis anos, dependendo da espécie e de sua aplicação final. O autor recomendou que seja efetuado o corte dos colmos nas estações de seca (inverno no hemisfério sul), pelo fato do reduzido crescimento vegetativo do bambu, com conteúdos de umidade e de açúcares menores do que aqueles observados em outras estações, reduzindo consideravelmente o ataque de fungos e insetos. Em geral, no Brasil, a melhor época para o corte é entre maio e agosto, porque, além de ser uma estação de seca, é uma época em que os insetos estão em hibernação ou apresentam um nível populacional muito baixo.

No entanto, a maturidade dos colmos é um termo “relativo”, visto que vários testes conduzidos quanto à maturação dos colmos apresentaram resultados contraditórios (LIESE, 2004). Uma solução mais prática e aplicável em nível de propriedades agrícolas seria a de efetuar a marcação anual, com letras do alfabeto, dos colmos de bambu: quanto mais marcas apresentar um colmo, mais elevada seria a sua idade e, portanto, mais adequado seria esse colmo para uma aplicação estrutural. Essa prática tem sido adotada com êxito na área experimental da UNESP – Bauru (PEREIRA, 1992).

Dentre os tratamentos naturais aplicados aos colmos de bambu podem ser citados: Maturação no Local da Colheita, Imersão em Água, Secagem, Fumigação, dentre outros.

3.3.1.1 Maturação no local da colheita

Os colmos são cortados e deixados com ramos e folhas na própria touceira, apoiados verticalmente em colmos remanescentes (**Figura 3**). O objetivo dessa operação é o de produzir a degradação do amido por meio da fermentação. O período de permanência na touceira pode alcançar até um mês. Na Colômbia e Equador esse tipo de tratamento é denominado de “avinagrado”. Embora se acredite que o uso desse método aumente a resistência do bambu ao ataque do caruncho, o mesmo não se pode afirmar quanto à resistência ao ataque de fungos e térmitas (LIESE, 1985; JANSENN, 1995).

Segundo Hidalgo Lopez (1981), a cura na mata apresenta resultados adequados, pois o bambu conserva sua cor natural, evitando-se a presença de manchas de fungos e de rachaduras nas peças. O autor afirmou, ainda, que estudos realizados demonstraram que os bambus curados na mata foram 91,60% menos atacados do que os não curados.

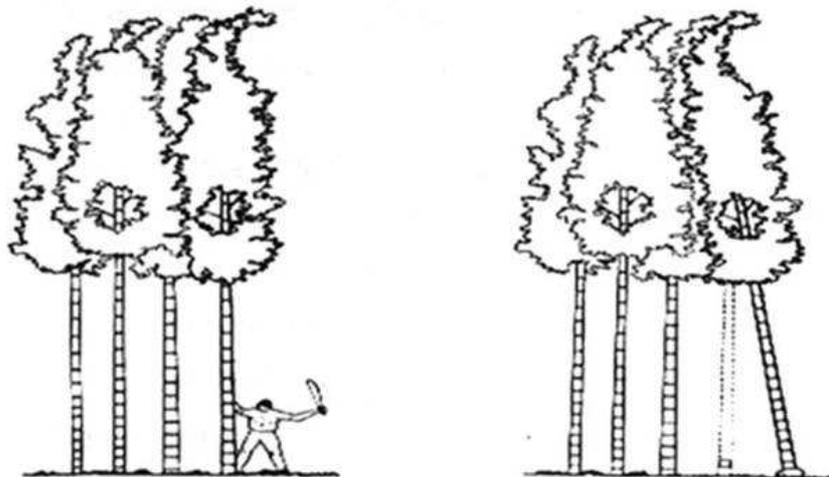


Figura 3: Método de corte para cura na mata (Maturação no Local da Colheita).

Fonte: Hidalgo Lopez (2003).

3.3.1.2 Imersão em água

A maioria das substâncias presentes nos colmos de bambu é solúvel em água. O amido, principalmente, é parcialmente extraído, ou, então, degradado pela ação de bactérias, culminando, nesse caso, com a liberação de odor desagradável. Nesse tipo de tratamento pode-se usar água estagnada ou água corrente. Devido à baixa densidade dos colmos, eles devem ser amarrados com fios, e submersos, necessitando-se do uso de pedras ou de peças de madeira para que os colmos não flutuem. A duração do tratamento varia de uma a duas semanas. Uma variante do método refere-se à possibilidade de utilização de água quente, visto que essa opção aparentemente favorece a extração do amido. Outra possibilidade é o uso de solução alcalina (cal, por exemplo), verificando-se melhoria da resistência ao ataque de fungos (LIESE, 1985).

- Secagem: esse método visa eliminar a possibilidade de ocorrer o ataque de fungos, o qual ocorre apenas quando o bambu apresenta umidade excessiva (ao redor de 25%). No entanto, esse método não impede o ataque do caruncho, pois a degradação do amido necessitaria do uso de temperatura muito elevada, geralmente não obtida em secagem ao ar livre ou mesmo em estufas com energia solar.

A **Figura 4** ilustra o esquema de secagem com aquecimento.

Recomenda-se para a secagem uniforme que os colmos sejam movimentados, e que estejam com umidade inferior a 50%, para evitar o aparecimento de fissuras.

Os defeitos mais comuns são: fissuras, fendilhamento generalizado, deformações e mudança da cor (às vezes, desejada).

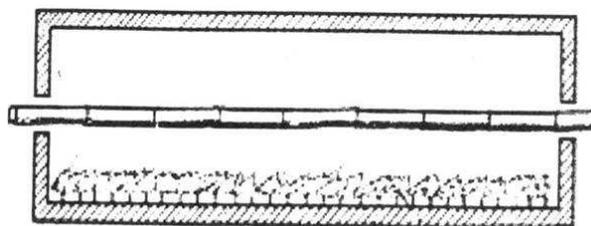


Figura 4: Método de secagem dos colmos de bambu ao fogo.

Fonte: Hildalgo Lopez (2003) .

3.3.1.3 Banho Quente-Frio com Água

Os colmos são submersos em um tanque de preservação, no qual a água é aquecida a uma temperatura de 90 °C. Após permanecer 30 min nesta temperatura, os colmos podem ser colocados para serem resfriados no banho frio por algumas horas, e depois devem secar em local sombreado e protegido.

Segundo Azzini & Salgado (1992), o tratamento do bambu pode ser realizado em banho a quente com água, uma vez que o amido, principal elemento de atração de insetos, tem um aumento da solubilidade em água aquecida com a temperatura superior a 65 °C. Desta forma, os grânulos de amido podem ser decompostos termicamente e eliminados. Este método é muito utilizado durante a fabricação de papel de bambu.

3.3.1.4 Imersão em água salgada

Em recente evento realizado no Equador (2006), um pesquisador cubano relatou o uso de tratamento do bambu por meio de imersão na região de maré. Embora tenha sido adotado um procedimento empírico, de acordo com o pesquisador, observou-se um aumento na durabilidade dos colmos da espécie *Bambusa vulgaris* – uma das mais atacadas pelo caruncho, devido ao seu elevado teor de amido. Esse tratamento mostra-se promissor, embora não se saiba se o efeito protetor deva-se à ação do cloreto de sódio, ou de sua combinação com outros componentes da água marinha. Além disso, provavelmente o sal marinho seja lixiviado pela água.

3.3.2 Tratamentos Químicos

O tratamento preservativo do bambu consiste na aplicação apropriada de substâncias químicas ou defensivas, com objetivo de protegê-lo do ataque de fungos e insetos xilófagos.

O tratamento dos colmos de bambu com produtos químicos é o meio mais eficiente para aumentar sua durabilidade natural, conforme ressaltou Galvão (1967). Vários são os métodos e produtos químicos utilizados no tratamento dos colmos de bambu.

Os métodos de tratamento químico mais conhecidos e utilizados para o bambu são: Transpiração das Folhas, Pincelamento, Aspersão ou Pulverização, Banho Quente-Frio com Preservativo, Autoclave, Imersão, Substituição da Seiva (Boucherie e Boucherie Modificado), dentre outros.

3.3.2.1 Transpiração das folhas

Logo após o corte do colmo, as folhas ainda continuam desempenhando suas funções vitais, atuando como uma espécie de bomba de sucção da seiva bruta. Colocando-se os colmos em reservatórios com soluções preservativas ocorre a aspiração das mesmas até determinada altura (depende da espécie de bambu e da idade do colmo). A eficiência do método é restringida pela sua incapacidade em se aplicar a bambus de grande comprimento (maiores que 3 metros), além da duração do método ser relativamente elevada (LIESE, 1985).

3.3.2.2 Pincelamento

Esse método consiste no pincelamento do colmo com substâncias preservativas. Geralmente se trata de um desperdício de material, visto que a camada externa dos colmos é praticamente impermeável (exceção feita aos locais de onde foram retirados os ramos). Apenas nas bases do colmo ocorre a penetração das substâncias preservativas, o que faz com que esse o método seja o mais econômico (porém de eficiência duvidosa).

3.3.2.3 Aspersão ou pulverização

Estes métodos também não apresentam resultados satisfatórios, conforme relatado no procedimento anterior.

3.3.2.4 Vaporização

Os colmos são submetidos à ação de substâncias aquecidas. De acordo com Liese (1985), a melhor opção é o uso de banho duplo (sulfato de cobre e cromato de zinco, a 20% de concentração, seguido de dicromato de sódio, também a 20% de concentração).

3.3.2.5 Fumigação ou Defumação

Os colmos são colocados em instalações apropriadas para tal fim, constituindo-se de tambores metálicos (colmos colocados na posição horizontal) ou em construções de alvenaria ou metálicas (colmos colocados na posição vertical). Resíduos vegetais (pó-de-serra de madeira ou de bambu) são queimados, liberando substâncias tóxicas que impregnam os tecidos do bambu, e fornecendo coloração mais escura aos colmos. No Japão se utiliza tratamento com duração de 20 min., para temperaturas de 120 °C a 150 °C (LIESE, 1985). De acordo com Liese (2004), esse método não provoca a eliminação do amido, apenas promovendo sua degradação, porém provocando a deformação das paredes celulares.

Segundo Sgai (2000), a fumigação ou expurgo consiste, apenas, em erradicar alguma deterioração que já se encontre em andamento (método curativo). Esse método é bastante eficiente no combate a insetos, sendo utilizado em grande escala no controle de deterioradores de cereais, grãos e fumo e outros produtos agrícolas, além de objetos manufaturados.

3.3.2.6 Banho quente-frio

Para este tratamento é recomendada a utilização de substâncias oleossolúveis. Os colmos são colocados em solução preservativa aquecida a uma temperatura de 90 °C a 100 °C, havendo um limite superior de temperatura pelo veículo oleoso empregado. O aumento da temperatura (banho quente), além de diminuir a viscosidade do óleo, causa expansão do ar das células do bambu, expulsando-o parcialmente e libertando a água das camadas exteriores do bambu, abrindo seus poros. Após um determinado tempo, os colmos são retirados e colocados em outra solução, porém em temperatura ambiente. Esse resfriamento (banho frio) provoca a contração do ar remanescente com conseqüente formação de um pequeno vácuo parcial, que permite a absorção do preservativo.

Após o tratamento os colmos são colocados na posição vertical, em tambores, para se recolher o excesso do produto. De acordo com Liese (1985), a velocidade da difusão da

solução preservativa na direção longitudinal do colmo é cerca de 20 vezes superior àquelas obtidas nas direções radial e tangencial.

Pode-se adotar três caminhos para transferência dos banhos:

- Transferir o colmo do tanque de banho quente para o tanque de banho frio;
- Drenar o preservativo quente e substituí-lo pelo preservativo frio no mesmo tanque;
- Descontinuar o aquecimento deixando o preservativo e o colmo esfriarem juntos, quando a temperatura do preservativo igualar-se à do ambiente, começa-se a contar o tempo (SGAI, 2000).

3.3.2.7 Autoclave

Utiliza-se o mesmo procedimento aplicado às madeiras. No entanto, devido ao fato dos colmos de bambu serem ocos, deve-se proceder à perfuração dos diafragmas para evitar que os colmos sejam danificados durante o processo de vácuo, que é aplicado no início do processo. Além disso, nesse método requer-se que a madeira (ou bambu) esteja seca ao ar; no caso específico do bambu, deve-se, então, aplicar algum tratamento preventivo, pois o ataque do caruncho pode ocorrer antes mesmo que seja possível utilizar a autoclave. Esse tratamento se mostra mais adequado quando o bambu se encontra na forma de taliscas.

Cambonero et al. (1991), citados por Barbosa (1997), recomendaram, como melhor preservativo, os produtos à base de boro, por suas características de difusão, atingindo-se boa retenção e baixa toxicidade aos seres humanos. Para aumentar a retenção do preservativo é necessário excluir a maior quantidade de ar das paredes dos colmos, pois o ar bloqueia os dutos por onde o líquido flui.

A **Figura 5** ilustra um sistema de autoclave para tratamento de bambu.

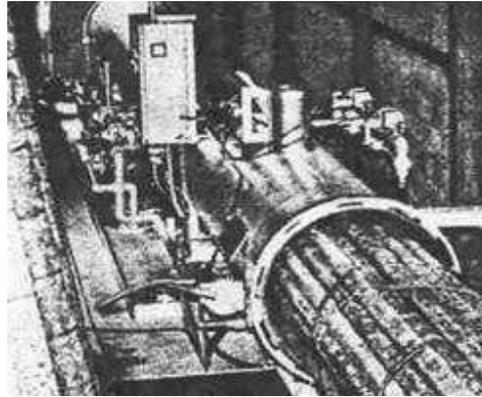


Figura 5: Método de tratamento em autoclave .

Fonte: Barbosa (1997).

3.3.2.8 Imersão

Esse método pode ser aplicado tanto aos colmos recém-cortados ou então àqueles que tenham sido secos ao ar. A duração do tratamento depende da espécie de bambu, das dimensões do colmo, da concentração da solução, dentre outros fatores. Os colmos podem ser colocados na posição horizontal (**Figura 6**) ou na vertical (às vezes também com inversão da posição das bases); nesse último caso, o método também é denominado de tratamento por capilaridade.

Para Janssen (1995), o tanque deve ter 4 m de comprimento, e, se for de metal, deverá ser protegido contra a corrosão. O bambu deve permanecer imerso por 1 semana e, se na forma de taliscas, apenas por 3 dias. Após este período os bambus devem secar durante 1 semana em local abrigado.

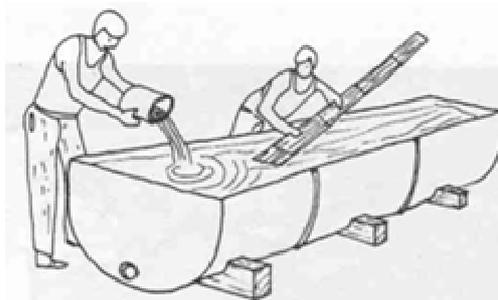


Figura 6: Método de Imersão (Banho Frio) de colmos de bambu em água .

Fonte: Barbosa (1997).

3.3.2.9 Substituição de seiva

Também chamado de método de Boucherie, aplica-se a colmos recém-cortados e consiste na substituição da seiva por substâncias preservativas. Pode-se utilizar apenas a pressão atmosférica e o próprio colmo como se fosse um reservatório. A solução é colocada no topo do colmo e ocorre a penetração da solução ao longo da parede do colmo, empurrando a seiva para a outra extremidade.

Uma modificação importante no método precedente foi também proposta por Boucherie, em 1873, valendo-se do uso da pressão, a qual permite diminuir acentuadamente a duração do tratamento químico dos colmos. Vários fatores interferem na eficiência desse método, tais como, natureza da substância preservativa e sua respectiva concentração, espécie de bambu, comprimento do colmo e intervalo de tempo decorrido entre seu corte e a aplicação do tratamento.

3.3.2.10 Método de Boucherie Modificado

Esse método consiste em introduzir o defensivo pela extremidade superior do bambu, por meio de pressão hidrostática do produto preservativo. É uma variante do método de substituição da seiva. Porém, tal método não se aplica a bambus que apresentem paredes de pequena espessura, pois, dependendo da pressão aplicada, pode ocorrer a explosão dos colmos.

Para a madeira, os métodos de impregnação com pressão superior à atmosfera são, sem dúvida alguma, os mais eficientes, em razão da eficiência da distribuição e da penetração uniforme do preservativo na peça tratada. Além disso, pode-se exercer um maior controle do volume de preservativo absorvido, resultando na garantia de uma proteção efetiva, além de economia de preservativo. Em contraposição, tais métodos apresentam algumas desvantagens, tais como, o custo de um equipamento específico e de sua manutenção, a necessidade de mão-de-obra especializada e do transporte do material até o local de tratamento (SGAI, 2000).

Segundo Zeca Filho & Targa (1998), o método de tratamento foi altamente eficiente para postes de *Pinus oocarpa* obtendo-se retenções muito elevadas e da ordem de 30 kg/m³.

De acordo com Liese (2004), o método pode ser considerado como “ambientalmente correto e amigável”, pois se consegue efetuar o controle das substâncias preservativas utilizadas, de forma que seus rejeitos não contaminem o meio ambiente, inclusive existindo a

possibilidade de se efetuar o tratamento dos colmos no próprio local de sua colheita (utilizando-se da tomada de potência de um trator, por exemplo). De acordo com o autor, colmos de 9 m de comprimento podem ser tratados entre 30 min a 50 min, utilizando-se pressão entre 1,0 bar e 1,3 bar. Considera-se que o tratamento tenha alcançado seu final *quando a solução efluente apresente concentração suficientemente elevada*. Porém, a duração do tratamento e sua eficiência dependem principalmente da espécie de bambu, das características do colmo, de seu teor de umidade e do tipo de preservativo utilizado (LIESE, 1985).

A maioria das informações disponíveis na literatura não faz menção a dois outros parâmetros de fundamental importância quanto à eficiência do método de Boucherie modificado: a idade e o comprimento dos colmos. Tais parâmetros também interferem de forma significativa na cinética da transferência das soluções preservativas.

O Método de Boucherie Modificado deve ser aplicado aos colmos de bambus recém cortados, e sua eficiência depende de uma série de fatores, tais como: espécie considerada, época de corte, idade, comprimento e teor de umidade do colmo, do tipo e da concentração da solução preservativa, da pressão utilizada (KUMAR et al., 1994).

A dificuldade observada para o tratamento preservativo não é específica do bambu. Embora a madeira apresente uma estrutura celular porosa, teoricamente com maior facilidade para a penetração da solução preservativa, várias espécies não são facilmente tratáveis. Kumar e Dobriyal (1993) definiram classes de “tratabilidade” para algumas madeiras indianas, destacando a influência de seus elementos anatômicos na eficiência do tratamento.

- **vasos:** *os vasos parecem ser o caminho preferencial para a penetração*. Entretanto, em espécies de madeira que apresentem vasos de pequeno diâmetro, porém com tiloses (células que penetram pelas pontuações dos vasos e que podem causar sua obstrução), *dificilmente ocorre a penetração* da solução preservativa, podendo, tais espécies, ser enquadradas na categoria de “extremamente impermeáveis”. As tiloses diminuem a penetração até mesmo em espécies de madeira que apresentem grande diâmetro (*como é o caso do bambu, por exemplo*); para as espécies que tenham deposição nos vasos também foi observado uma penetração moderada. Inclusive para uma das espécies analisadas, que não apresentava nem tilos e nem depósitos, também não houve penetração da solução preservativa.

- **fibras:** as espécies dispo de perfurações abundantes mostraram uma boa penetração nas fibras; em espécies que apresentavam tilos e deposições também foi baixa a penetração nas fibras, embora houvesse perfurações nas mesmas.

-**raios:** nas madeiras os raios realizam o transporte lateral dos fluidos, sendo conectados aos vasos por meio das perfurações. Desse modo, teoricamente os raios são muito importantes para efetuar a distribuição da solução ao longo da direção transversal. *Porém, no bambu ocorre um outro inconveniente, que é a inexistência de raios.*

- **parênquima axial:** nas madeiras com parênquimas paratraqueais (ligados aos vasos) ocorre uma boa conexão por meio das perfurações; para madeiras com parênquimas apotraqueais (não ligados aos vasos) a penetração ocorre através das fibras. *Nesse aspecto, o bambu pode ser considerado um caso a parte, pois o parênquima, embora mais concentrado nas camadas internas do colmo, se mostra distribuído de uma forma homogênea, envolvendo os vasos e os feixes de fibras.*

As **Figuras 7a e 7b** apresentam, de forma esquemática, detalhes dos elementos anatômicos do bambu. Então, tratar o bambu significa que *a solução preservativa deve penetrar nos vasos e distribuir-se (por difusão) para as células vizinhas (fibras e parênquima).* A maior dificuldade encontrada no tratamento preservativo do bambu é garantir que as células parenquimatosas (prismas de base hexagonal dispo de uma membrana, nos quais o amido – alvo do ataque do caruncho – encontra-se armazenado) sejam efetivamente alcançadas pela solução preservativa.

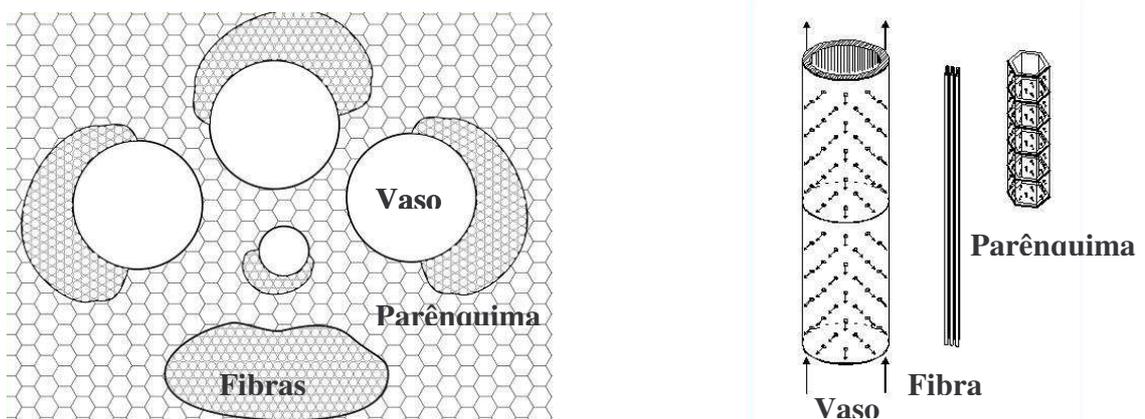


Figura 7: Elementos anatômicos do bambu – sem escala; **(a)** vista transversal; **(b)** vista longitudinal.

De acordo com Liese (1959), citado por Kumar et al. (1994), a penetração da solução preservativa nos tecidos envolvendo os vasos assume a maior importância, pois nas regiões não tratadas das células parenquimatosas pode desencadear-se a degradação prematura do colmo.

Embora os vasos apresentem dimensões tais que aparentemente favoreçam a transferência da solução preservativa, principalmente quando se encontram situados nas camadas internas do colmo, por outro lado, à medida que o colmo alcança sua maturidade, ocorre a esclerose dos vasos, o que pode conduzir à impossibilidade de penetração da solução em colmos muito velhos.

3.4 Tipos de Preservativos

Preservativos ou preservadores são substâncias químicas aplicadas em madeiras e bambus para proporcionar proteção duradoura contra ataque de organismos xilófagos.

Para Sgai (2000), um produto químico para ser utilizado como preservativo deve satisfazer uma série de requisitos, dentre eles:

- **Eficiência:** deve apresentar-se tóxico à gama mais ampla possível de organismos xilófagos, além de permitir a penetração profunda e uniforme no material, característica esta correlacionada com o método de tratamento;
- **Segurança:** apresentar baixa toxicidade aos seres humanos e animais domésticos, além de não aumentar a combustibilidade inerente ao material;
- **Permanência ou resistência à lixiviação:** depende das propriedades físicas e químicas do preservativo e da maneira pela qual ele se fixa no material. Para ser resistente à lixiviação o preservativo deve ser insolúvel em água ou formar complexos insolúveis por meio de reação química com os componentes da parede celular do material.
- **Custo:** fator que viabiliza o uso do produto que apresente todas as potencialidades anteriormente mencionadas. Tem peso considerável na composição de custo e, deve-se procurar novas alternativas, visando atender as exigências ambientais mais rigorosas a cada dia.
- **Isenção de odores, não condutividade elétrica, dentre outras.**

Os preservativos podem ser classificados em duas categorias: olessolúveis e hidrossolúveis. Além, dessa classificação, também são divididos em dois grupos: de proteção temporária (até 6 meses) e de proteção prolongada, sendo estes evidentemente mais caros.

Neste trabalho serão utilizados preservativos hidrossolúveis, descritos a seguir.

3.4.1 Hidrossolúveis

Seu uso vem crescendo devido à escassez e ao custo elevado de produtos derivados de petróleo. Este tipo de preservativo fica insolúvel quando no interior da madeira ou do bambu, devido à formação de complexos com os componentes poliméricos da parede celular.

Os preservativos hidrossolúveis são expressos, geralmente, em termos de ingredientes ativos.

3.4.1.1 Borato de Cobre Cromatado – CCB

Surgiu na tentativa de substituição do arsênio pelo boro, em formulações do tipo CCA. Não tem apresentado desempenho satisfatório, principalmente devido à solubilidade do boro, que é facilmente lixiviado. Tem seu uso restrito a alguns países europeus e ao Brasil.

3.4.1.2 Outros Compostos de Boro

Existem inúmeras formulações, sendo os produtos aplicados por imersão ou por pincelamento, no caso de madeiras. Baseia-se no princípio da difusão dos compostos de boro para o interior do material ligno-celulósico. É utilizado para tratamento de madeiras (geralmente verdes), que serão utilizadas sem contato com o solo e protegidas contra a ação de intempéries.

3.4.1.3 Outros Produtos

Um processo tóxico e 100% vegetal para tratamento da madeira foi desenvolvido pelo INRA-INPT-ENSIACET (CENDOTEC, 2006). Trata-se de um produto denominado “ASAM” (anidrido succínico de alquilato de metila), derivado do óleo de colza (canola), obtido após reação química com um anidrido. Esse produto transforma a celulose em éster de celulose, a qual os insetos xilófagos não conseguem consumir. De acordo com os autores, a

solução oleosa enche os alvéolos da madeira e suas propriedades hidrófobas reduzem o risco de mofo e de apodrecimento. A madeira tratada com esse produto enquadra-se na classe 3 (uso externo, sem contato com o solo).

Também existem relatos sobre a possibilidade de uso de extrativos de origem vegetal obtidos de uma planta indiana (Nim) ou do tanino da árvore Quebracho (*Astronium balansae*). No entanto, os resultados preliminares aparentemente não têm sido satisfatórios.

3.4.1.4 Substâncias preservativas utilizadas no tratamento do bambu

Segundo Liese (1980), citado por Targa (1997), no tratamento dos colmos de bambu deve-se utilizar preservativos que apresentem boa difusão, devido ao fato de os vasos ocuparem somente 5% a 10% da seção transversal do colmo; o preservativo deve ser solúvel em água, não sofrer lixiviação quando o colmo for exposto às intempéries e não conter substâncias nocivas ao homem e aos animais. O autor afirmou ainda que é freqüente a utilização de solução 5% do preservativo CCA (atualmente de uso proibido em alguns países).

Atualmente nota-se a tendência de utilização de dois tipos de substâncias preservativas voltadas para o tratamento químico de colmos de bambu. A primeira delas, embora a solução possa ser produzida artesanalmente, encontra-se disponível comercialmente, atendendo pela denominação “borato de cobre cromatado” – CCB. A segunda solução empregada visa minimizar a degradação ambiental devida aos metais pesados, pois se baseia na combinação do ácido bórico com o bórax (um sal à base de boro).

Nascimento et al. (2002) apresentaram resultados do tratamento de colmos de *Bambusa tuldoides*, compreendendo o uso de três tipos de preservativos (CCB, Pentoxin e Clorpirifós), combinados, quando era possível, com quatro métodos de preservação (imersão, autoclave, capilaridade e Boucherie). Os autores concluíram que o preservativo mais eficiente foi o CCB, porém que o processo menos adequado foi o de Boucherie. O grau de ataque sofrido pelas taliscas de bambu foi avaliado por meio de procedimentos recomendados pela IUFRO (1970), recebendo as estacas as seguintes pontuações:

- sadias: 10
- levemente atacadas: 9
- moderadamente atacadas: 7
- intensamente atacadas: 4
- destruídas: 0

Lipangille (1985) afirmou que os métodos de impregnação dos colmos têm falhado pois ocorre a lixiviação dos produtos químicos em presença de água, e que tecnologias consideradas seguras e práticas consistem na remoção da seiva do colmo com água corrente (limpa, filtrada ou clorada 10 mL/L), para uma eficiente proteção contra o ataque de fungos. Externamente os colmos podem ser revestidos com uma mistura de piche (atua como fungicida) e piretróides (atuam como inseticidas). O piche é impermeável e seguro, fixando também o piretróide. Internamente o colmo pode ser impregnado com cobre amoniacal pelo método de Boucherie e coberto internamente por pintura betuminosa, ou mesmo utilizando-se um filme de polietileno para impedir a lixiviação.

Oliveira (1992) considerou o método de Boucherie, quando aplicado sem pressão mostra-se de difícil execução e inviável, devido à ineficiência do tratamento, decorrente da má distribuição do produto pelo colmo.

De acordo com Slob et al. (1985), a formação de complexos de Cu-Cr-As (CCA) nos elementos vasculares do bambu, seguido da lenta difusão dos íons metálicos para os tecidos vizinhos, caracterizam a fixação do CCA no bambu. Os autores relataram que em colmos de 4 m, tratados pelo método de Boucherie com uma solução de CCA de 5%, obteve-se uma retenção média de 12 kg/m^3 ; com isso, colmos que haviam sido enterrados por 3 anos não apresentaram nenhum tipo de ataque. Afirmaram os autores, ainda, que uma solução de CCA com 10% de concentração, conduziu a um rápido bloqueio dos vasos, indicando ser esta, provavelmente, a *máxima concentração* a ser utilizada no tratamento do bambu.

Pereira (1992) utilizou o tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie Modificado, com pressão de 0,5 atm, com o produto CCB a 5% de concentração, com durações de tratamento de 4 h a 18 h, depois de decorridas de 2 h a 3 h após o corte. O autor verificou, por meio de análises químicas, que das nove seções de colmos testados (para colmos de *D. giganteus*, com idade de dois anos a três anos), somente três deles apresentaram retenção do produto entre 5 kg/m^3 e 6 kg/m^3 e, o restante, retenções menores. Dentre as três seções analisadas, aquela extraída do colmo que sofreu tratamento durante 4 h apresentou a menor retenção. O autor sugeriu a utilização de concentrações mais elevadas e comentou que o tratamento realizado *um dia após o corte não forneceu resultados satisfatórios*, pois não se

observou a saída de seiva e, obviamente, nem da solução preservativa na outra extremidade do colmo.

A **Figura 8** mostra um esquema ilustrativo do método de Boucherie Modificado.

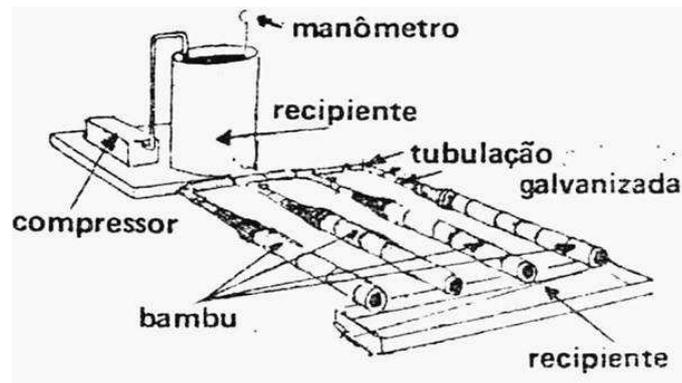


Figura 8: Método de Boucherie Modificado.

Fonte: Hildalgo Lopez (2003).

O bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) é um produto hidrossolúvel não tóxico ao meio ambiente. Mostra-se relativamente eficiente contra o ataque de organismos xilófagos, além de aumentar a resistência da madeira ao fogo (WILLERDING & VIANEZ, 2003). Os autores trataram lâminas de uma espécie arbórea Amazônica – a Sumaúma (*Ceiba pentandra*), pelo método da imersão durante 15 min, 150 min e 270 min, com solução de bórax a 4% de concentração. Concluíram que não houve diferença significativa entre as durações dos tratamentos, em termos do equivalente em ácido bórico (EAB - dado pela razão entre a massa do ingrediente ativo e a massa de madeira seca), denotando a fácil tratabilidade dessa espécie de madeira.

O bambu tratado com produtos à base de boro apresenta o inconveniente de não poder ser colocado em ambientes que não estejam protegidos das intempéries, devido ao risco de ocorrer lixiviação (LIESE, 2004). O autor recomendou efetuar-se o tratamento com duração de apenas 30 s para lâminas e esteiras de bambu; para o caso de imersão dos colmos, o autor recomendou que anteriormente fosse feita a perfuração dos diafragmas, permanecendo os colmos imersos na solução durante 7 dias a 10 dias.

3.5 Fatores que afetam a propagação de ondas ultra-sônicas

A possibilidade de utilizar métodos não destrutivos na avaliação das características de um material se mostra uma alternativa aos ensaios destrutivos clássicos, permitindo, em um curto intervalo de tempo, estimar o efeito, por exemplo, da degradação biológica sofrida por um material exposto às intempéries.

Sabe-se que, no caso de materiais lignocelulósicos, a direção anatômica considerada (longitudinal, radial e tangencial) e a presença de defeitos, naturais ou não, perturbam de forma importante a velocidade do pulso ultra-sônico (VPU). Dessa forma, torna-se provável que, em caso de ataques severos sofridos pelo bambu, que tal método seja suficientemente sensível para detectar as perturbações causadas, sobretudo, pela presença das galerias deixadas pelo caruncho (*Dinoderus minutus*), em sua busca pelo amido presente nas células parenquimatosas do bambu. Por outro lado, no caso do ataque de fungos, talvez seja mais difícil efetuar essa análise, pois a presença da umidade também provoca diminuição na VPU, sendo os dois efeitos (da degradação biológica e da variação de umidade) relativamente mascarados.

Na direção longitudinal a VPU na madeira seca é da ordem de 5000 m/s, na direção radial de 2500 m/s e na tangencial de 1700 m/s (valores médios). Para o bambu seco os valores médios da VPU são da ordem de 5000 m/s na direção longitudinal, e de 1000 m/s nas direções radial e tangencial. Dependendo das características dos sensores eletroacústicos utilizados e das características da peça de bambu (geometria e nível de degradação biológica) pode-se esperar uma diminuição da VPU, caso ocorra um ataque severo dos colmos.

3.5.1 Densidade aparente

De acordo com Gonçalves (2004), o fenômeno de transferência de energia por meio de uma onda ultra-sônica está mais associado à estrutura anatômica do material lignocelulósico, do que à sua densidade aparente. Ao considerar a umidade constante, o aumento da densidade aparente decorre da maior deposição de celulose na face interna da parede celular. Isto acarreta um aumento mais significativo nos valores de rigidez do que nos

valores de densidade aparente. Dessa forma, a velocidade não diminui, como demonstrado pela **equação I**, pois é compensada pelo aumento na rigidez.

$$C_{ii} = 10^{-9} \rho v^2 \quad (\text{I})$$

Onde:

C_{ii} = constante elástica do material (GPa);

ρ = densidade aparente da amostra (kg/m^3);

v = velocidade de propagação longitudinal (m/s).

3.5.2 Natureza biológica

As maiores atenuações e as menores VPU na madeira ocorrem na direção tangencial, em virtude da descontinuidade dos elementos estruturais e da presença de lignina, substância amorfa e inelástica, ao longo da direção de propagação da onda.

Ao se propagar ondas ultra-sônicas através de um material, essas podem encontrar heterogeneidades (por exemplo, fendas, fissuras, vazios) que dependendo da relação entre o comprimento de onda e as dimensões dessas imperfeições, podem impossibilitar, às vezes, sua livre propagação. Caso esta relação seja muito pequena, isto é, o comprimento de onda for muito próximo daquele das dimensões das descontinuidades, além da reflexão nas interfaces, as frentes de onda podem ainda sofrer uma inflexão em torno de suas bordas, provocando o espelhamento da onda incidente, fenômeno este conhecido como difração. Por outro lado, se o comprimento de onda for muito superior ao das dimensões das descontinuidades, nenhuma mudança sensível ocorrerá com as frentes de onda, e a onda se propagará indiferentemente quanto à existência ou não de descontinuidades (GONÇALVES, 2004).

3.5.3 Nós

Os nós do bambu são diferentes dos nós da madeira, mas ambos influenciam a propagação das ondas ultra-sônicas. Os nós reduzem a resistência do material pelo fato de interromperem a continuidade e direção das fibras. Podem também causar efeitos localizados

de tensão concentrada. A influência de um nó depende de seu tamanho, localização, forma, firmeza e do tipo de tensão considerada. No geral, os nós têm maior influência na tração do que na compressão.

A região dos nós é onde ocorre descontinuidade na direção das fibras, que é o percurso seguido pelas ondas, portanto, sendo uma barreira à propagação das mesmas, provocando uma queda na velocidade de propagação.

3.5.4 Outros fatores

Falhas naturais, ataque por agentes biológicos, dentre outros, podem influenciar o resultado de ensaios mecânicos e na VPU, pois alteram a estrutura anatômica da madeira ou de qualquer outro material ligno-celulósico.

A frequência do transdutor a ser utilizado, também, está limitada pelo comprimento do corpo-de-prova. Isso ocorre para que o comprimento de onda adotado, que depende da frequência, seja adequado para realizar a varredura uniforme do corpo-de-prova. Sabe-se que conforme a variação do comprimento do corpo-de-prova, ocorre um aumento ou uma queda na VPU. Na razão entre o comprimento do corpo-de-prova (L) e o comprimento de onda (λ), existe um valor limitante e, acima deste, a variação de velocidade é muito pequena; abaixo deste, a variação é acentuada. Portanto, deve-se adotar frequência e comprimento do corpo-de-prova adequados, a fim de evitar essa faixa de variação acentuada na VPU.

3.6 Flexão estática

Uma alternativa que pode ser adotada no estudo da resistência do bambu à tração paralela, é obter os resultados de forma indireta, por meio de ensaios de tração na flexão estática. Tal prática, por utilizar um ensaio de maior simplicidade de execução, é também frequentemente utilizada no caso de ensaio de madeiras.

No caso de utilizar colmos de bambu de pequeno diâmetro, pode-se, teoricamente, calcular os resultados supondo-se que os corpos-de-prova sejam tubos de paredes finas e homogêneas. No entanto, os colmos de bambu apresentam espessuras variáveis,

significativamente diferentes nas vizinhanças dos nós. Nessa região ocorre um aumento na espessura da parede, além da mudança na direção dos feixes de fibras.

As diferentes espécies, ou amostras recolhidas do mesmo colmo, apresentam diferenças na distância entre dois nós consecutivos, ou no número de nós existentes na região do colmo situada entre os apoios. Desse modo, torna-se extremamente difícil a comparação dos resultados obtidos.

A **Figura 9** mostra três das possibilidades para se realizar ensaios de flexão estática no bambu.

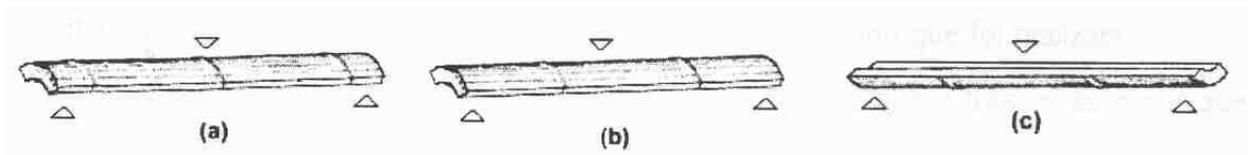


Figura 9: Possibilidades de ensaios com flexão estática em colmos de bambu com presença de nós.
Fonte: Barbosa (1997).

A maior concentração de feixes de fibras nas camadas externas indica, provavelmente, que o corpo-de-prova apresentará maior resistência se a camada externa (casca) estiver abaixo da linha neutra, posicionando-se na região do corpo-de-prova submetida à tração. Apesar de realizar numerosos ensaios com a espécie *G. angustifolia*, Hidalgo Lopez (1974) não conseguiu confirmar o papel desempenhado pela posição da camada externa durante a flexão. No presente trabalho, visando eliminar a influência da posição das camadas durante o ensaio de tração na flexão, adotou-se sempre a colocação dos corpos-de-prova de forma que as camadas externas do colmo (região que contém a casca) ficassem posicionadas na parte superior (em contato com o cutelo de carregamento).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Dispositivo para efetuar o tratamento dos colmos de bambu

A montagem da instalação piloto para realizar o tratamento dos colmos de bambu pelo método de Boucherie Modificado ocorreu seguindo as especificações e o esquema representado na **Figura 10a** (BERALDO et al., 2003). A montagem do dispositivo foi efetuada pela empresa Vapor & Cia, atuante no pólo petroquímico de Paulínia. Esse sistema foi instalado no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP (**Figura 10b**). O equipamento e os acessórios foram adquiridos com recursos liberados pela FAPESP (Processo 01/12700-0).

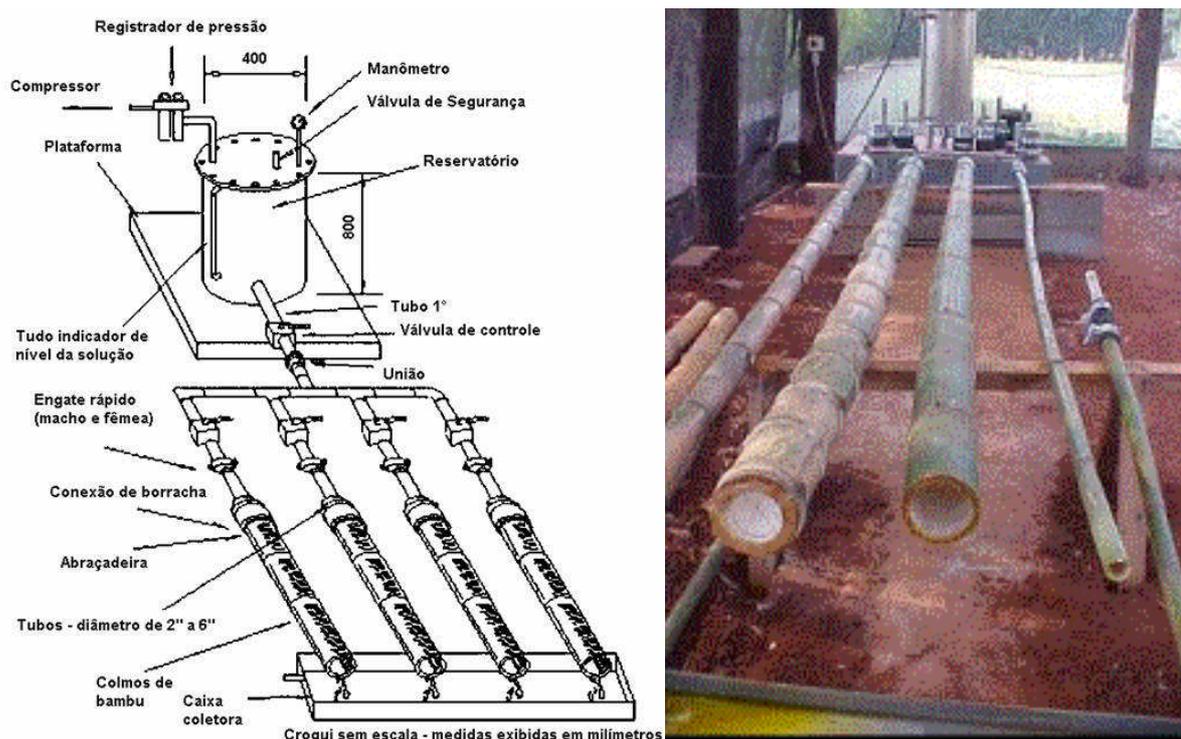


Figura 10: (a) Esquema do equipamento para aplicação do Método de Boucherie Modificado; (b) Vista da instalação experimental.

4.2 Espécie utilizada para o tratamento

As amostras de bambu foram coletadas na Fazenda Santa Elisa, pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas, no período de 12 a 14 de maio de 2004 (**Figura 11**). Foram cortados colmos de bambu *Dendrocalamus giganteus* Munro (bambu gigante), uma das espécies de maior utilização no setor de construção e, uma das mais susceptíveis ao ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*), devido à alta concentração de amido nas células parenquimatosas. Foram escolhidos colmos maduros, com idade de aproximadamente 5 anos. Vale ressaltar que, esta escolha de colmos foi realizada de modo visual (aparência externa do colmo e moita) mediante orientação técnica*. A idade dos colmos é um dos principais fatores que interferem na “tratabilidade” do mesmo. Em colmos mais maduros (mais de 5 anos) os vasos podem se tornar parcialmente impermeáveis devido à deposição de extrativos (gomas). A capacidade de condução de líquidos (e da solução preservativa) torna-se, desse modo, muito dificultada. Em casos extremos de envelhecimento inicia-se um processo de degradação (tipo de esclerose) que culmina com a morte do colmo (LIESE, 1985).

* Anísio Azzini – Pesquisador Científico do CNPq. Instituto Agronômico de Campinas



Figura 11: Moitas e corte do bambu com auxílio de moto-serra (Fazenda Santa Elisa).

4.3 Corpos-de-prova e tratamentos

De acordo com Liese (1980), citado por Pereira (1992), os resultados de durabilidade natural da região do topo se assemelham mais com a região mediana do que com a região basal. Por esse motivo, os colmos inteiros foram divididos em três partes com, aproximadamente, 4 m cada, compreendendo as regiões basal, mediana e apical (topo). Essa divisão foi realizada logo após o corte dos colmos na moita, seguindo-se o tratamento de cada colmo (**Figura 12 e 13**). Marcou-se o centro dos colmos e a partir deste ponto mediu-se 6 m em cada sentido, ou seja, com esses 12 m foram obtidas as regiões citadas na **Figura 12**.

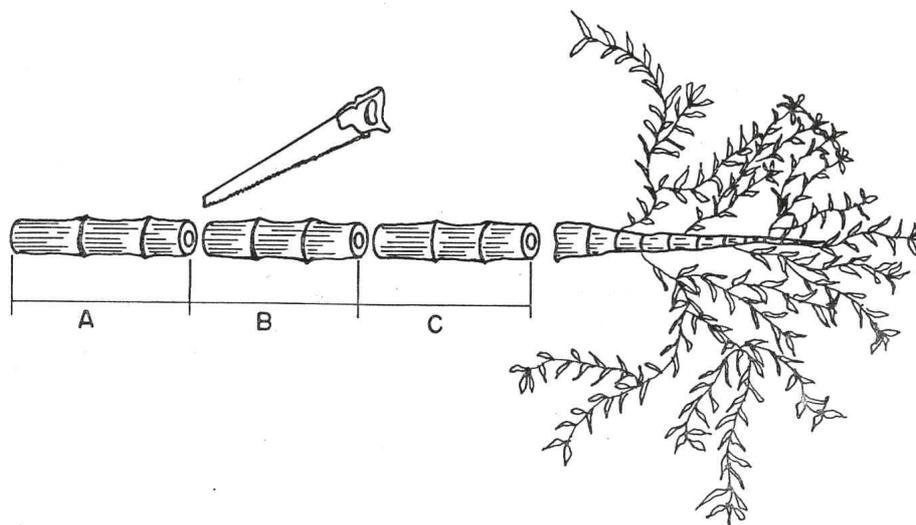


Figura 12: Esquema para separação dos colmos inteiros em três regiões: base (A), meio (B) e topo (C).
Fonte: Pereira (1992).



Figura 13: Divisão dos colmos inteiros em três partes: basal, mediana e apical; com auxílio de serra circular e extração das taliscas.

Foram confeccionados corpos-de-prova na forma de taliscas, ao invés de colmos inteiros, visando facilitar o ataque por organismos xilófagos, uma vez que a utilização de colmos inteiros implicaria em tempo considerável para a ocorrência da deterioração. Para avaliar a ação dos agentes xilófagos e do tempo de exposição utilizou-se um processo semelhante ao realizado para testar a madeira em campo de apodrecimento (as taliscas de bambu ficaram parcialmente enterradas, até 50% de sua altura). Além desse tipo de exposição, colocou-se a mesma quantidade de taliscas em local abrigado, buscando-se evitar a umidade do solo e favorecer o ataque de carunchos. As taliscas apresentavam comprimento variável, devido à diferente medida entre os internódios de cada colmo. Se fosse padronizado o comprimento das taliscas os nós apareceriam em posições diferentes ao longo do comprimento, o que interferiria nos resultados do ultra-som e do ensaio de flexão estática. Portanto, foram extraídas taliscas com o comprimento de cada internódio, eliminando-se 3 cm de cada extremo, evitando assim a presença de nós nas taliscas, embora se saiba que na região dos nós geralmente se inicia o ataque do caruncho.

No período de 11 a 18 de agosto de 2004 (3 meses após o corte e tratamento) as porções medianas dos colmos foram separadas em taliscas. Essas taliscas, sem nós, foram extraídas da região central (porção mediana) de cada colmo, com comprimento variável (dependendo dos intervalos dos internós de cada colmo) e com cerca de 2 cm de largura (devido à limitação da superfície arredondada da talisca) (**Figura 13**). Para o corte das taliscas com largura uniforme foi desenvolvida uma ferramenta, com o auxílio do Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola, que consiste em duas lâminas de aço fixadas em um suporte de aço e dois apoios que possibilitavam o manuseio da ferramenta (**Figura 13**).

Foram utilizadas 960 taliscas para os 20 experimentos, sendo 48 taliscas para cada experimento (item IV.5). Para obter-se este valor foram consideradas seis taliscas do colmo tratado ou testemunha, três para serem enterradas e três para ficarem em local abrigado. Considerando-se, ainda, um ensaio destrutivo a cada tempo de exposição (8 ensaios) com seis taliscas (três daquelas que haviam sido enterradas e três daquelas protegidas), para cada experimento.

Portanto, foram ensaiadas a cada tempo de exposição (item IV.5.7) 120 taliscas (somando-se todos os experimentos); a duração total dos ensaios foi de 13 meses.

4.4 Procedimentos para efetuar os tratamentos

Seqüência dos principais procedimentos a serem realizados:

1. Corte dos colmos de bambu, limpeza (arrancar ramos e folhas), divisão em partes de comprimento máximo 4 m e marcação da base, meio e topo. Este comprimento foi condicionado pela dificuldade em transportar os colmos da Fazenda Santa Elisa/IAC, até o Campo Experimental da FEAGRI;
2. Preparo da solução com o preservativo e com a concentração desejada;
3. Corte das extremidades dos colmos buscando deixar seu diâmetro com valor aproximado ao das luvas de conexão do sistema;
4. Realização do tratamento no mesmo dia do corte dos colmos, não esquecendo de girar os colmos em 180° no meio do tratamento;
5. Logo após o tratamento os colmos foram levados para a bancada do laboratório, onde ficaram em repouso por doze semanas;
6. Após o repouso da fixação da solução nos colmos, foi realizado o procedimento para obtenção das taliscas para os três blocos de tratamentos, item IV.6;
7. Em seguida, foram realizados os ensaios iniciais, não destrutivos, item IV.7;
8. Exposição das taliscas em situações propícias ao aparecimento e desenvolvimento de agentes deterioradores – campo de apodrecimento e bancada em local protegido;
9. Verificação visual nas taliscas e ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos (para cada tempo de exposição).
10. Repetiu-se este procedimento para todos os tratamentos, salvo algumas exceções (Testemunha e Maturação na Moita).

4.5 Variáveis do experimento

Foram testadas concentrações diferentes dos produtos químicos (preservativos), para analisar a influência desse parâmetro na difusão, absorção e no aumento na vida útil dos colmos. Além disso, variou-se o tempo de tratamento dos colmos, buscando-se minimizar o

tempo de tratamento sem que o colmo perdesse sua durabilidade. Por último, variou-se, também, o tempo decorrido após o corte para iniciar-se o tratamento, buscando-se observar que influência teria esse parâmetro na eficiência do tratamento.

Assim, cada experimento foi constituído por: tratamento, tipo de preservativo, concentração do preservativo, duração do tratamento e posição da amostra. Para avaliar o parâmetro tempo após o corte para início do tratamento, utilizou-se um ensaio isolado.

Os experimentos foram divididos em três blocos:

- 1º Bloco da Pesquisa: uso do preservativo CCB comercial, doado pela Montana Química (www.montana.com.br), sendo testadas todas as variáveis, citadas anteriormente – 8 experimentos (**Figura 14**). Utilizaram-se 24 taliscas por experimento foram parcialmente enterradas no solo (sujeitas, portanto, ao ataque de fungos), com seu comprimento disposto na direção vertical. Outras 24 taliscas por experimento foram colocadas em local protegido (portanto, sujeitas ao ataque de caruncho), estando assim as taliscas expostas aos diferentes ambientes nos quais os colmos seriam utilizados. Para as taliscas enterradas no solo foi efetuado um umedecimento semanal por meio de um sistema de irrigação;
- 2º Bloco da Pesquisa: uso de uma solução de Ácido Bórico + Bórax, misturando-se produtos comerciais adquiridos em loja idônea, sendo testadas todas as variáveis, citadas anteriormente – 7 experimentos (**Figura 15**). Após o tratamento dos colmos e a extração das taliscas, as mesmas também foram expostas às mesmas condições que as *Testemunhas*. Foi utilizada a mesma quantidade de taliscas que o 1º Bloco de Pesquisa e mesma metodologia de tratamento e exposição das taliscas.

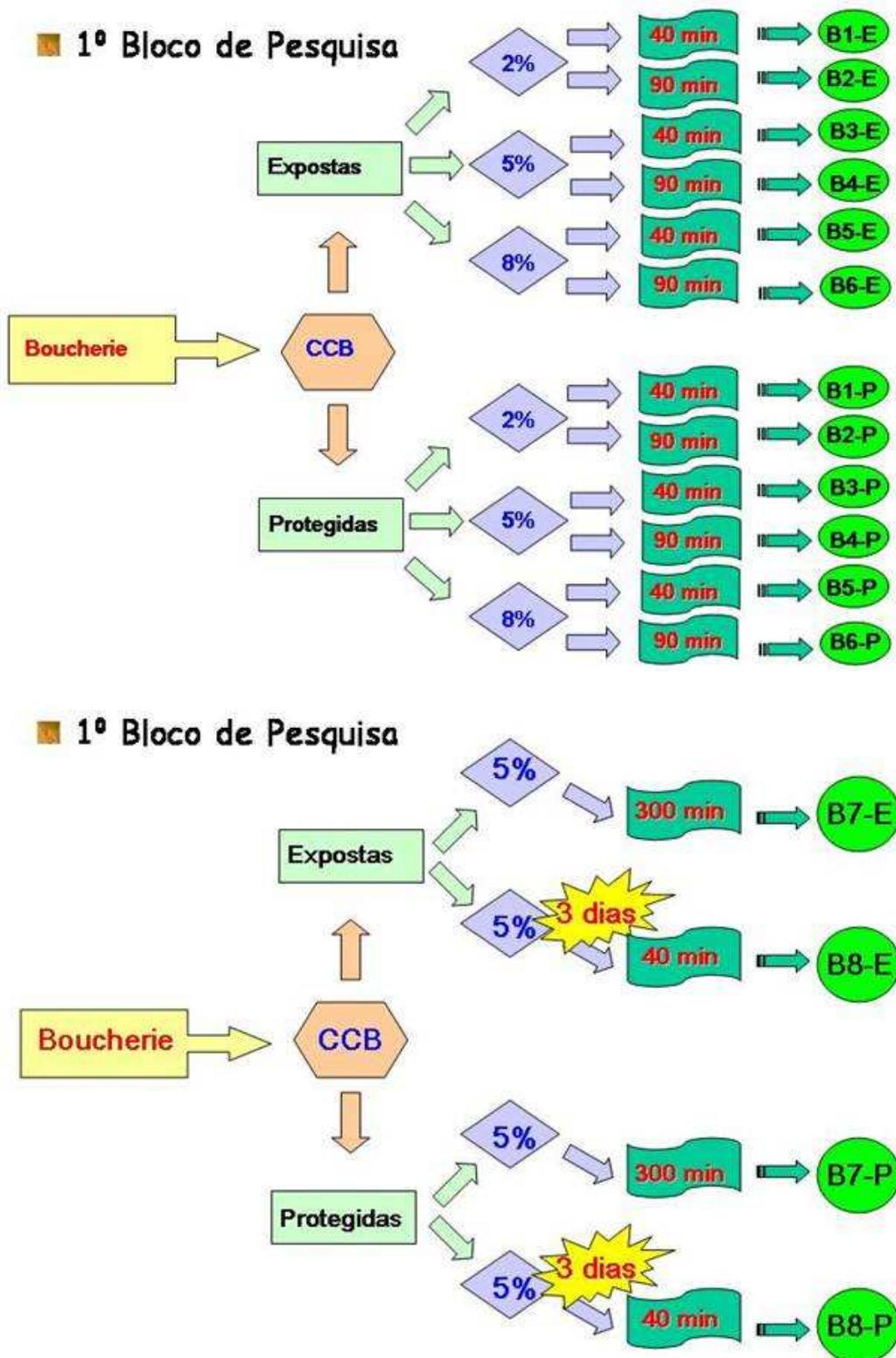
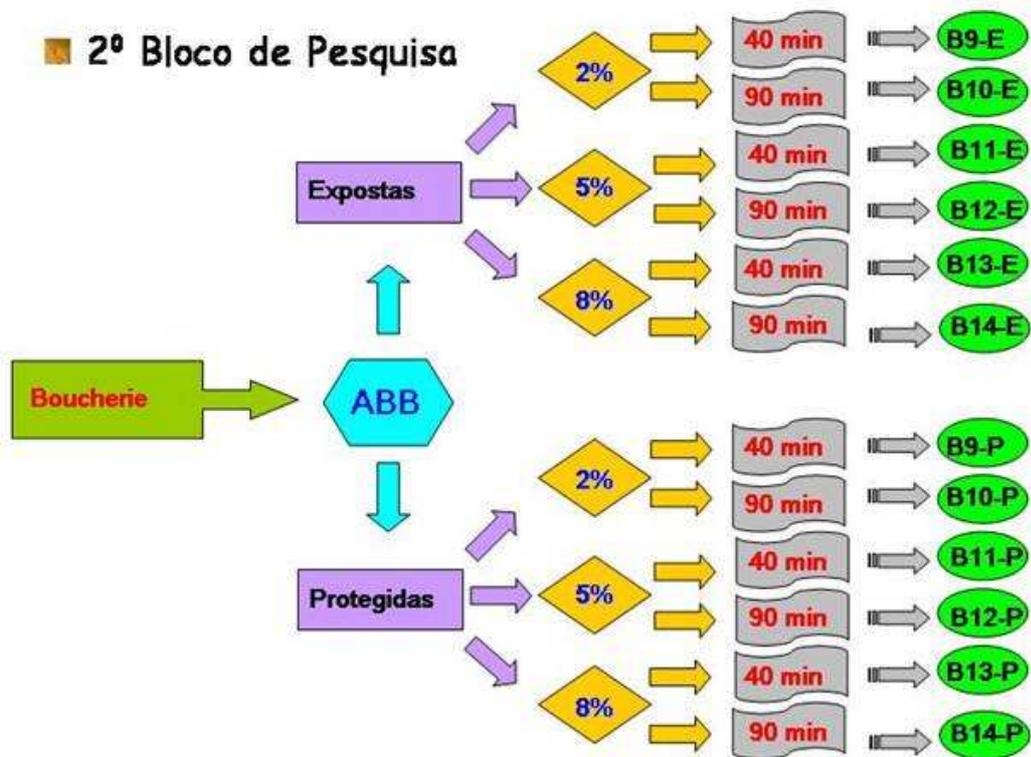


Figura 14: esquema do bloco de pesquisa com CCB.



■ 2º Bloco de Pesquisa

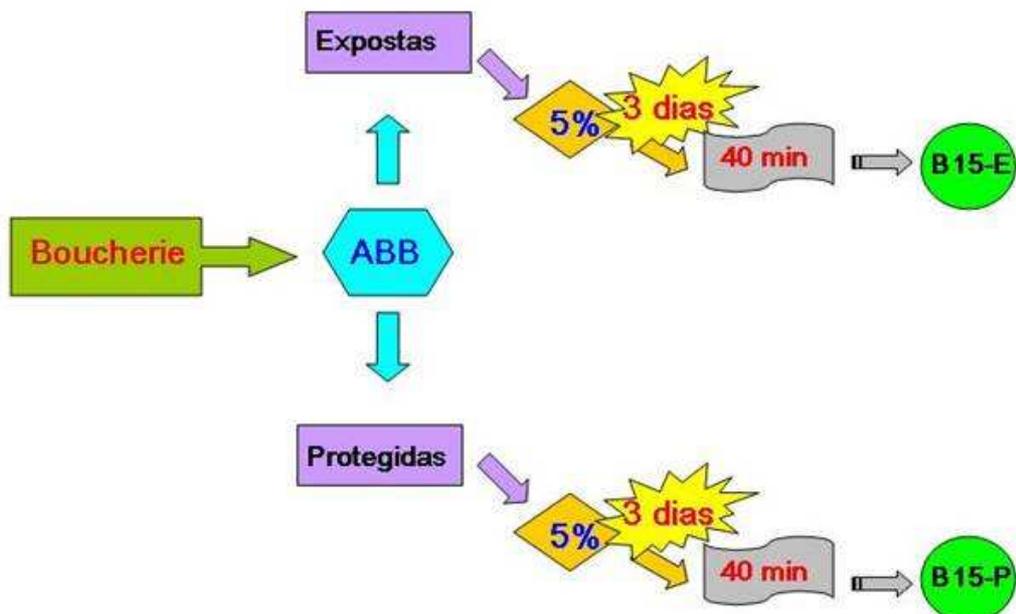
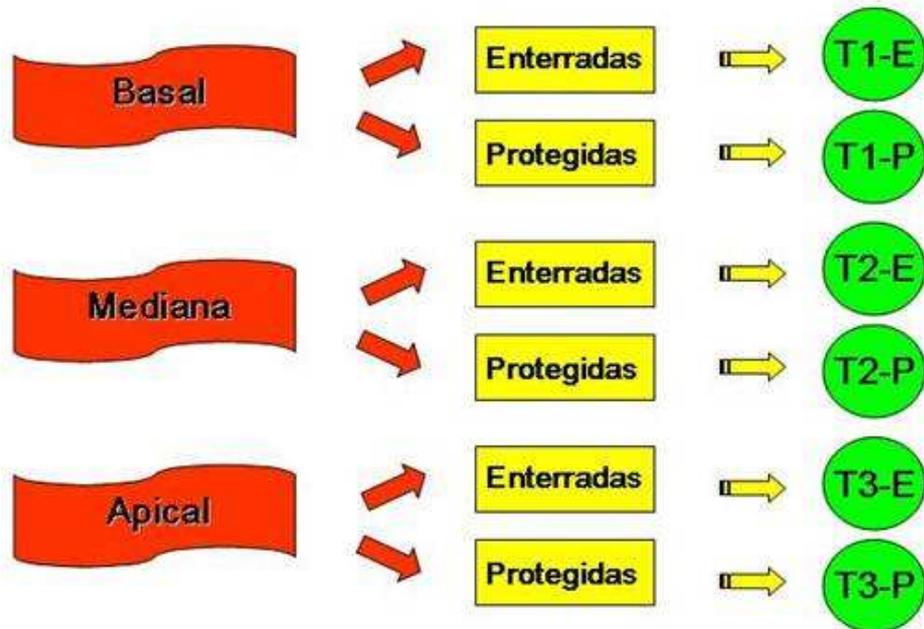


Figura 15: esquema do bloco de pesquisa com ABB (Ácido Bórico + Bórax).

- 3º Bloco da Pesquisa: o colmo foi tratado pelo método de Maturação na Moita; um outro colmo foi tratado pelo método de Boucherie Modificado durante 40 min, mas apenas com a água substituindo o preservativo. Buscou-se avaliar se apenas a eliminação da seiva já seria suficiente para garantir o aumento na durabilidade do colmo (LIPANGILLE, 1985). Um colmo inteiro que foi dividido em três partes (item IV.3), porém as três partes foram utilizadas como testemunhas basal, mediana e apical, e não foram descartadas como para os demais tratamentos. Neste bloco foram obtidos 5 experimentos (**Figura 16**). Foi utilizado a mesma quantidade de taliscas que o 1º Bloco de Pesquisa e mesma metodologia de tratamento e exposição das taliscas, com exceção das taliscas Testemunhas que não foram tratadas.

3º Bloco de Pesquisa



3º Bloco de Pesquisa

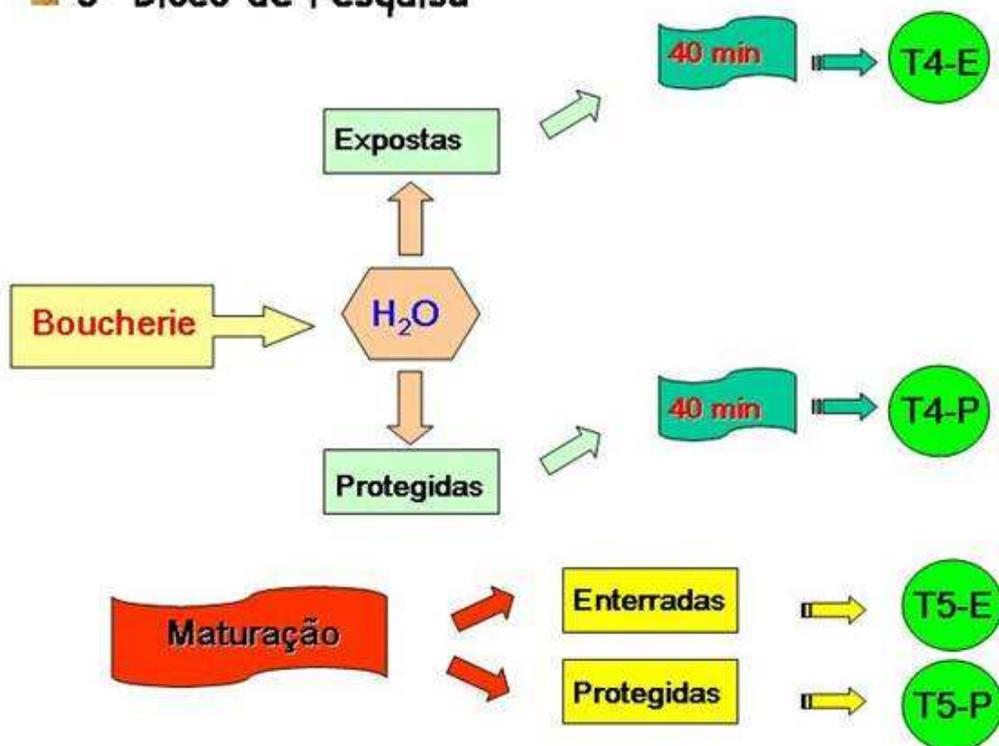


Figura 16: esquema do bloco de pesquisa dos tratamentos naturais e testemunha.

4.5.1 Métodos de tratamento

4.5.1.1 Método de Boucherie Modificado (Quimicamente sob pressão)

No Campo Experimental, os colmos foram cortados em serra circular, deixando-se uma extremidade com diâmetro similar àquele das luvas de conexão (de borracha), para possibilitar o encaixe relativamente rápido. Essas luvas de conexão possuem diâmetros limitados, porém próximos daqueles referentes aos diâmetros médios dos colmos de bambu (*D. giganteus*). Em casos em que o colmo de bambu apresentava uma pequena diferença de diâmetro da conexão foi utilizada uma câmara de pneumático para ajustar essa diferença e evitar vazamentos (**Figura 17**). Feita a conexão com as luvas, as mesmas foram conectadas à tubulação de metal, que permaneceu unida ao reservatório no qual foi adicionado o preservativo.



Figura 17: Conexão normal e utilizando câmara de pneumático para evitar vazamento.

Concluída a conexão dos colmos, foi adicionada a solução preservativa no reservatório. Sempre se tomou o cuidado de filtrar a solução na entrada do reservatório com um pano e repetidamente agitar o recipiente com a solução antes de despejá-la no reservatório. As válvulas das tubulações e a válvula-mestre foram abertas, permitindo que o preservativo preenchesse a tubulação e o primeiro entrenó dos colmos (para amenizar problemas de vedação). A seguir, o manômetro foi regulado na pressão desejada (1,5 atm), para que, em seguida, se pudesse abrir a válvula superior permitindo a pressurização do sistema, incluindo o interior dos colmos.

Após alguns minutos, dependendo do tempo decorrido após o corte e da concentração do preservativo, a seiva começava a escorrer na extremidade oposta da fixação do colmo nos

conectores. Nessa região, a solução preservativa começava a escorrer obviamente em concentração menor do que aquela da entrada. Após o início do tratamento, a concentração do preservativo na saída deveria igualar-se à de entrada, dando-se, nesta situação, a finalização do tratamento. Mas como não foi possível realizar esta verificação em campo, adotou-se alguns tempos como padrão (item IV.5.4.1). Fechavam-se, então, todas as válvulas (superior, da saída do reservatório e das conexões com os colmos).

Com intuito de amenizar a má distribuição da solução preservativa na parte superior dos colmos, citada por alguns autores, os colmos foram girados 180° em torno de seu eixo longitudinal depois de decorrido a metade do tempo estabelecido para o tratamento, para inverter a posição da seção, reiniciando-se o tratamento por mais alguns minutos (a outra metade do tempo estabelecido para o tratamento). Acredita-se que essa má distribuição ocorra devido ao efeito da gravidade atuando na distribuição da solução preservativa nos vasos condutores.

Após absorverem a solução química sob pressão, os colmos ficaram em repouso por doze semanas em local abrigado, para que ocorresse maior fixação do preservativo. Terminado o período de repouso eram retiradas as taliscas da região mediana do colmo e, em alguns casos, também da base e do topo (para o caso do colmo testemunha).

O tratamento com água também seguiu o procedimento descrito acima, porém a solução preservativa foi substituída por água. Vale destacar que o reservatório foi lavado três vezes para retirar os resíduos de solução utilizada anteriormente.

4.5.1.2 Maturação na Moita

O colmo foi cortado e permaneceu na mesma posição que estava, apenas deslocou-se o mesmo alguns centímetros para o lado, para que escorresse a seiva. Após um mês, o colmo foi levado ao laboratório onde ficou em repouso por mais dois meses, para então se proceder à extração das taliscas.

4.5.1.3 Testemunhas

Um colmo foi cortado no mesmo período que os demais e ficou por doze semanas secando em laboratório em condições de umidade ambiente. As taliscas testemunhas foram extraídas das três partes deste colmo (A, B e C, ilustradas na **Figura 12**), não tendo sido submetidas a nenhum tipo de tratamento preservativo. Buscou-se verificar a durabilidade dos

colmos na pior situação de exposição, além de se verificar a possível diferença de durabilidade entre cada região do colmo (basal, mediana e apical).

4.5.2 Tipos de preservativos

Em busca do melhor preservativo a ser utilizado pelo método de Boucherie Modificado, foram testados dois produtos preservativos. Um deles, com grande aplicação no tratamento preservativo de madeiras, o Borato de Cobre Cromatado (CCB comercial, cedido pela Montana Química). A composição deste preservativo é CrO_3 63,5% (fixador), CuO 26% (fungicida) e B 10,5% (inseticida). Em laboratório foi preparada uma outra solução preservativa, a mistura Ácido Bórico 50% + Bórax 50%, visando efetuar-se a comparação de seu desempenho no combate aos organismos xilófagos, com o produto CCB comercial. Também foi adicionado um tratamento utilizando-se apenas a água como solução preservativa, buscando-se apenas eliminar a seiva sem deixar resíduos tóxicos no colmo tratado.

4.5.3 Concentração dos preservativos

Variou-se as concentrações de cada preservativo a fim de se avaliar sua influência na durabilidade das taliscas. Pereira (1992) recomendou concentrações superiores a 5% para CCA ou CCB; Liese (1980), citado por Targa (1997), recomendou concentração de 5% de CCA; Slob et al. (1985) concluíram, a partir de resultados de ensaios, que a solução de CCA com 10% de concentração, conduz a um rápido bloqueio dos vasos. Vianez (1993), citado por Willerding & Vianez (2003), relatou que em soluções à base de sais de boro com concentração superior a 5%, ocorre a precipitação do soluto.

Desse modo, baseado nas informações relatadas, foram testadas três concentrações para os preservativos, sendo elas: 2%, 5% e 8%, em relação à massa da solução. Somente para o preservativo CCB é recomendado pelo fabricante (Montana Química) utilizar o dobro de massa do produto para obter a concentração de ingredientes ativos desejada. Por exemplo, para se obter a concentração de 5% de ingredientes ativos foi utilizado uma concentração de 10% do produto, em relação à massa da solução.

4.5.4 Duração do tratamento e pressão adotada

4.5.4.1 Método Boucherie Modificado

Foram testados diferentes tempos de tratamento de 40 minutos e 90 minutos. A pressão do sistema foi de, aproximadamente, 1,5 atm. Para Barbosa (1997), o tempo de tratamento depende do comprimento do colmo e da espessura da parede. Pereira (1992) realizou ensaios pelo método de Boucherie com pressão 0,5 atm, tendo testado três tempos de tratamento (4 h, 6 h e 18 h), não constatando diferença significativa entre eles, quando avaliou a retenção dos elementos químicos. Para agilizar a ação de campo procedeu-se da seguinte maneira:

- preparou-se uma solução preservativa (item IV.5.2) em uma determinada concentração (item IV.5.3). Trataram-se simultaneamente dois colmos, sendo que para um deles o tratamento era encerrado com 40 minutos e para o outro com 90 minutos. Como o sistema permite o tratamento de até quatro colmos simultaneamente, aproveitou-se para tratar alguns colmos adicionais como ilustra a **Figura 18**.



Figura 18: Tratamento de dois colmos de *D. giganteus* e um colmo de *B. vulgaris*.

Foi realizado apenas um tratamento com duração de 300 minutos, para coleta da solução que passava pelo colmo e escorria na extremidade oposta, o que possibilitou efetuar-se a análise química da solução (item IV.7.1.2). O colmo utilizado para este tratamento foi retirado de uma touceira diferente dos demais. A touceira encontra-se na Faculdade de Engenharia Agrícola e a idade do colmo foi de, aproximadamente, 3 a 4 anos.

4.5.5 Tempo decorrido entre o corte e o início do tratamento

Os colmos foram cortados e limpos dos ramos e folhas para, em seguida, serem tratados e, posteriormente, serem retiradas as taliscas. Assim, anotou-se o intervalo de tempo decorrido entre o corte e o início do tratamento. Vale destacar que os colmos era cortados pela manhã e tratados no período da tarde. Por esse motivo, levou-se três dias para cortar todos os colmos necessários para o experimento.

Este parâmetro também foi testado em um experimento isolado, apenas para se verificar a ocorrência de um possível bloqueio dos vasos em decorrência da solidificação da seiva (evaporação da água e deposição de substâncias nos vasos). Buscou-se tratar colmos após decorridos três dias do corte.

4.5.6 Tipo de Exposição das Taliscas

As taliscas ficaram expostas às condições ideais para desenvolvimento de organismos xilófagos (fungos e insetos).

4.5.6.1 Exposto

Um lote de taliscas foi cravado no solo arado (para facilitar a fixação das taliscas) até metade seu comprimento (altura), para propiciar a degradação na região do corpo-de-prova onde seria aplicada a carga durante o ensaio de flexão estática. Foi preparado um sistema de irrigação por gotejamento (sem cálculos de vazão), que era acionado manualmente todos os dias no período da tarde, para manter constante a umidade do solo. Com isso buscava-se favorecer o aparecimento de fungos e cupins. Este sistema somente não era utilizado nos dias chuvosos e aos finais de semana.

No decorrer do experimento a vegetação ao redor das taliscas se desenvolveu sem que fosse efetuado nenhum tipo de controle por herbicida (**Figura 19**). Buscou-se, portanto, reproduzir as condições naturais às quais estaria submetida uma construção não protegida.



Figura 19: Taliscas expostas às condições ambiente em campo de apodrecimento.

4.5.6.2 Protegido

O outro lote de taliscas foi disposto em uma bancada preparada em um local coberto. Esta bancada ficou em uma altura média de 1,5 m do solo (**Figura 20**), evitando-se a ação da umidade vinda do solo, pois, o caruncho ataca preferencialmente o material seco ou em fase de secagem.



Figura 20: Disposição das taliscas em local protegido.

4.5.7 Tempo de Exposição das Taliscas

As taliscas foram expostas no dia 04 de outubro de 2004, conforme item IV.3, e em cada tempo de exposição era retirada uma quantidade de taliscas para realização dos ensaios. O objetivo foi verificar o grau de ataque das taliscas em função do tempo.

0 – testemunha para cada tratamento: não foi exposto;

I – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por um mês;

II – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por dois meses;

III – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por cinco meses;

IV – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por sete meses;

V – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por nove meses;

VI – ficou exposto em campo de apodrecimento e em local protegido por treze meses;

VII – lote adicional para eventuais substituições.

4.6 Combinação das variáveis

O 1º Bloco da Pesquisa foi constituído de oito experimentos; a combinação de cada variável gerou um delineamento experimental apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Combinação das variáveis testadas no 1º Bloco da Pesquisa.

Tempo de Exposição (meses)	Situação das Taliscas	Produto	Concentração (%)	Duração do Tratamento (min)	Código	
0	Expostas	CCB	2	40	B1-E	
				90	B2-E	
			5	40	B3-E	
				90	B4-E	
			8	40	B5-E	
				90	B6-E	
	Protegidas	CCB	2	40	B1-P	
				90	B2-P	
			5	40	B3-P	
				90	B4-P	
8			40	B5-P		
			90	B6-P		
Expostas			CCB	5	300	B7-E
Protegidas						B7-P
Expostas	CCB	5	40	B8-E		
Protegidas	3 Dias			B8-P		

Legenda: E = Enterradas; P = Protegidas; B = Boucherie Modificado; 1,2,3,... = Número do Experimento.

Vale ressaltar que cada experimento compreendeu o uso de taliscas enterradas e protegidas. Portanto, na Tabela 3 torna-se possível visualizar as combinações para os oito experimentos realizados. Por exemplo, as nomenclaturas B1-E e B1-P constituem o experimento 1; as nomenclaturas B2-E e B2-P constituem o experimento 2.

O 2º Bloco da Pesquisa foi constituído de sete experimentos; a combinação de cada variável gerou um delineamento apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Combinação das variáveis para o 2º Bloco da Pesquisa.

Tempo de Exposição (meses)	Situação das Taliscas	Produto	Concentração (%)	Duração do Tratamento (min)	Código
0 1 2 5 7 9 13	Expostas	ABB	2	40	B9-E
				90	B10-E
			5	40	B11-E
				90	B12-E
			8	40	B13-E
				90	B14-E
	Protegidas	ABB	2	40	B9-P
				90	B10-P
			5	40	B11-P
				90	B12-P
			8	40	B13-P
				90	B14-P
	Expostas	ABB	5	40	B15-E
	Protegidas	3 dias			B15-P

E = Enterradas; P = Protegidas; B = Boucherie Modificado; 1,2,3,... = Número do Experimento.

O 3ª Bloco da Pesquisa foi constituído de cinco experimentos: um experimento para cada região do colmo (basal, mediana e apical - topo) sem tratamento; um colmo tratado por maturação na moita; e, um colmo tratado por Boucherie passando-se apenas água durante 40 min ao invés de produtos preservativos. Cabe lembrar que este bloco foi considerado Testemunha para os outros dois blocos, descritos anteriormente.

Somando-se os três blocos de pesquisa, foram realizados vinte experimentos distintos entre si.

4.7 Ensaios de Caracterização do Bambu

Para analisar a eficiência do tratamento foram realizadas vistorias para cada tempo de exposição (visuais e pesagens) no momento de retirada das taliscas do campo. Em seguida estas foram destinadas para os ensaios laboratoriais (não destrutivo, por ultra-som e destrutivo, por flexão estática).

4.7.1 *Ensaio não destrutivo (END)*

4.7.1.1 Ultra-som

Após o período inicial de tratamento e extração das taliscas foram efetuadas avaliações consistindo de medições da massa, do comprimento, da largura e da espessura. A seguir, no período de 11 a 18 de agosto de 2004 as taliscas foram submetidas ao ensaio não destrutivo para a determinação da velocidade do pulso ultra-sônico (VPU) na direção longitudinal (paralela às fibras do bambu). As VPU foram obtidas por meio da medição do tempo de propagação, conhecendo-se o comprimento das peças. O tempo de propagação (em μ s) foi obtido com o auxílio do equipamento de ultra-som Steinkamp BP-7, dispondo de transdutores de seção exponencial de 45 kHz de frequência de ressonância.

Para a obtenção da VPU os sensores foram posicionados na porção mediana em relação à espessura (altura) e largura de cada talisca (**Figura 21**). De posse da VPU na direção longitudinal calculou-se a constante elástica fazendo-se uso da equação I. Considerou-se que o módulo de elasticidade dinâmica e a constante elástica do material apresentassem valores muito próximos (desprezando-se o coeficiente de Poisson do bambu).

A diminuição na VPU devido ao ataque de fungos e insetos poderia ser um indicativo da alteração das características iniciais das taliscas (queda no valor da constante elástica). Se fosse comprovada a diminuição na VPU, seria comprovada a eficiência deste ensaio para a avaliação do nível de degradação das taliscas. A diminuição da VPU teoricamente seria intensa quando as medições fossem realizadas nas camadas mais internas, pois é nessa região que ocorre a maior concentração de amido e, sabidamente, essa é a região mais susceptível ao ataque dos organismos xilófagos.



Figura 21: Ensaio das taliscas por ultra-som.

Esse ensaio foi realizado nas taliscas antes que as mesmas fossem submetidas ao ensaio de flexão estática, efetuado em cada tempo de exposição. Foram ensaiadas seis taliscas por experimento, totalizando 120 taliscas por tempo de exposição. Vale destacar que antes dos ensaios as taliscas ficavam por 3 semanas no laboratório para estabilizar a umidade das taliscas que estavam em contato com o solo.

4.7.1.2 Análises químicas

a) Espectrofotometria: a análise espectrofotométrica utiliza uma fonte de radiação que permite observar a região visível e ultravioleta do espectro, por meio da comparação da absorção de luz em solução-padrão (ou referência), ou seja, referente ao afluente, e em amostras da mesma solução após ser coletada na extremidade oposta do colmo, ou seja, do efluente. O ensaio foi conduzido no Centro de Biologia Molecular e Engenharia Genética (CBMEG) – Unicamp, apenas para a solução de borato de cobre cromatado (CCB), na concentração de 5%, coletado em tempos progressivos de tratamento.

O experimento foi realizado em espectrofotômetro DU-65 Spectrophotometer (Beckmann). A determinação do comprimento de onda de maior absorção (maior sensibilidade) foi realizada com a solução comercial do produto (*Referência*), utilizando o sobrenadante,

após decantação do particulado sólido inerte componente da pasta. O comprimento de onda de 545 nm se mostrou o de maior sensibilidade e foi escolhido para uso nas análises.

As análises foram realizadas em amostras coletadas após 30, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 210, 240 e 300 minutos de tratamento com CCB. As amostras foram decantadas, e o sobrenadante foi retirado e diluído 1:1 com água destilada. Para branco (absorbância 0) foi utilizada água destilada.

Não foi possível realizar mesmo experimento para o tratamento com ácido bórico + bórax, pelo fato deste não absorver radiação nos comprimentos de onda utilizados pelo espectrofotômetro. Uma possível preparação de amostra para permitir o uso da técnica seria a complexação do boro com anilina.

b) Concentração da solução: geralmente em campo não se torna possível calcular a concentração do preservativo que flui na extremidade dos colmos durante tratamento sob pressão. Foram coletadas amostras das soluções na entrada (afluente) e na saída (efluente) e feitas análises na empresa TASQA, situada em Paulínia - SP. Buscou-se verificar qual seria a duração do tratamento suficiente para que a concentração da solução preservativa na saída fosse teoricamente igual àquela da entrada. Foram analisadas seis amostras de solução, sendo três amostras para CCB na concentração de 5% e duração de tratamento de 300 min, e três amostras para ABB na concentração de 5%, e com a mesma duração.

c) Retenção: Foram extraídos três anéis, correspondentes a cada região (basal, mediana e apical - topo) dos colmos tratados. Foram necessários 45 anéis (três anéis/colmo, 1 colmo/experimento e 15 experimentos pelo método de Boucherie), tendo cada anel um comprimento igual a 10 cm. O ensaio foi conduzido na Divisão de Madeiras, pertencente ao IPT - SP. As amostras foram desintegradas em um moinho e foram analisadas no equipamento Espectrofotômetro de Absorção Atômica – Varian –SPECTRA A200.

4.7.1.3 Análises Macroscópica e Microscópica

Para verificar a distribuição do preservativo ao longo dos elementos anatômicos do bambu foram analisadas 45 taliscas, obtidas dos experimentos realizados com o método de Boucherie Modificado, sendo três taliscas para cada experimento. A análise macroscópica de penetração dos produtos preservativos baseou-se na reação do cobre (presente no CCB), com cromoazurol S. As análises microscópicas, para detecção da penetração dos produtos

preservativos (distribuição nas células), foram realizadas no Instituto de Geociências da Unicamp e no Laboratório Nacional Luz Síncrotron – LNLS.

4.7.1.4 Visual e Paisagem

Taliscas

O ensaio visual foi realizado mensalmente nas taliscas tanto protegidas como enterradas, (120 taliscas/tempo de exposição). Para as taliscas protegidas este ensaio serviu para verificar a ocorrência de possíveis ataques de insetos, sendo esse ataque quantificado pela quantidade de perfurações existentes nas taliscas, enquanto que para as taliscas enterradas, este ensaio buscava-se visualizar a presença de ataque de fungos.

- Protegidas

Nesse caso adotou-se uma escala de notas atribuídas à presença de perfurações devido ao caruncho, de acordo com o seguinte critério de classificação:

- 0 furo: 10
- 1 a 5 furos: 9
- 6 a 10 furos: 7
- 11 a 15 furos: 4
- maior que 15 furos: 0

- Expostas

Nesse caso adotou-se uma escala de notas atribuídas à intensidade de ataque de fungos (difícil detecção) e cupins, de acordo com o seguinte critério de classificação:

- sadias: 10
- levemente atacadas: 9
- moderadamente atacadas: 7
- intensamente atacadas: 4
- destruídas: 0

Diafragmas

Das três regiões da parte mediana dos colmos tratados foram cortados diafragmas com 3 cm de altura. Os diafragmas foram perfurados em sua parte central e dependurados em

uma estrutura com auxílio de um fio de arame, a fim de verificar a ocorrência de possíveis ataques pelo caruncho (**Figura 22**).



Figura 22: Disposição dos diafragmas em local protegido.

O critério de classificação utilizado para os diafragmas foi o mesmo utilizado para as taliscas protegidas.

Pesagem

O ensaio de pesagem obedeceu a um procedimento semelhante ao ensaio visual, tendo sido realizado no mesmo dia. Esse ensaio serviu para efetuar-se o acompanhamento da perda de massa das taliscas, sendo esta última, quando observada, sendo atribuída ao ataque de organismos xilófagos. As taliscas retiradas do campo de apodrecimento foram limpas com uma escova de aço, para retirar o solo que ficou grudado nas paredes das taliscas.

4.7.2 Ensaio destrutivo (Flexão Estática)

Foi necessária a preparação de um suporte e de um cutelo para a máquina de ensaio, também preparado com a ajuda do Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola. O vão livre adotado foi de 167 mm, pois esse era o valor máximo que podia ser utilizado na máquina de ensaio (**Figura 23**).



Figura 23: Máquina de ensaio utilizada para o ensaio de flexão estática.

Os corpos-de-prova foram ensaiados com a casca voltada para a parte superior, em contato com o cutelo de aplicação da carga. A velocidade de deslocamento do cabeçote foi constante (10 mm/min). O módulo de elasticidade foi obtido por meio da **equação II**. No ensaio obtinha-se um diagrama de carga (P , em N) versus deformação (f , em mm). Por meio de uma planilha Excel efetuava-se uma regressão simples para obter a inclinação do trecho de linearidade ($\Delta P/\Delta f$) (**Figura 24a e 24b**).

$$MOE = \frac{Pl^3}{4fbh^3} \cdot 10^{-3} \quad (\text{II})$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (GPa);

P = carregamento (N);

f = flecha (mm); b = base (mm); h = espessura (mm); l = vão livre (167 mm).

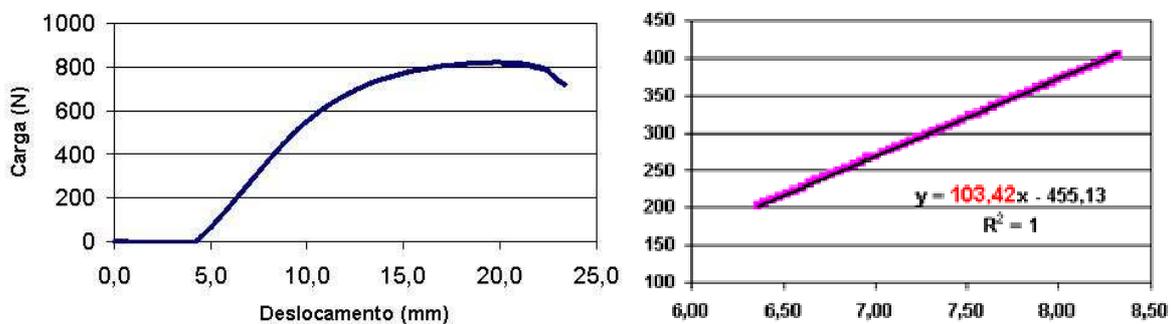


Figura 24: (a) Diagrama da carga x deslocamento; (b) inclinação adotada para determinação do $\Delta P/\Delta f$.

4.7.3 Outras informações coletadas

Foram coletados dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) com a intenção de caracterizar as condições ambientais do local de realização dos ensaios. Para caracterização do campo de apodrecimento, local onde as taliscas foram enterradas, efetuou-se a amostragem do solo em três pontos distintos para a realização de análises de sua fertilidade (teor de matéria orgânica, pH e nutrientes), distribuição granulométrica e teor de umidade.

Solo:

A análise das características físicas do solo foi realizada pelo Laboratório de Água e Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola em um lote coletado a menos de 10 m do campo de apodrecimento.

Tabela 5 – Caracterização do solo do campo de apodrecimento.

Profundidade (cm)	Textura (g.kg^{-1})				Densidade (kg.m^{-3})		Porosidade ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$)		
	Areia Grossa	Areia Fina	Argila	Silte	Solo	Partícula	Total	Macro	Micro
0-10	86,0	126,5	585,3	202,2	1173	2520	0,67	0,29	0,38
10-20	97,0	138,0	589,5	175,5	1337	2670	0,63	0,21	0,42
20-40	81,5	121,0	621,3	176,2	1245	2830	0,64	0,24	0,40

Fonte: Laboratório de Água e Solos

A Faculdade de Engenharia Agrícola situa-se a uma altitude 640 m; o terreno tem uma declividade média de 9% e o solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférrico.

Clima:

Os colmos foram cortados nos dias 12, 13 e 14 de maio de 2004, nestes dias houve uma precipitação de apenas 0,3 mm e a temperatura média para os três dias foi 19,2° C. O colmo tratado pelo Método de Maturação na Moita permaneceu na moita por um mês; nesse período a temperatura média foi de 17,8° C e a precipitação foi de 146,3 mm.

As taliscas foram submetidas à influência dos dois ambientes de exposição (protegidas e expostas) no mês de outubro de 2004, sendo o último lote para ensaio retirado em novembro de 2005. Na **Tabela 6** apresentam-se os dados climatológicos deste período, coletados na estação meteorológica da Faculdade de Engenharia Agrícola (situada a 100 m do experimento).

Tabela 6 – Dados climatológicos no período de exposição das taliscas.

Período	T média (C)	Precipitação (mm)
outubro-04	21,5	233,2
novembro-04	23,2	154,9
dezembro-04	23,6	243,9
janeiro-05	24,1	424,7
fevereiro-05	24,7	58,4
março-05	24,3	347,2
abril-05	24,1	42,4
maio-05	21,1	191,5
junho-05	20,1	48,3
julho-05	18,6	4,3
agosto-05	21,2	9,7
setembro-05	21,1	51,3
outubro-05	24,4	209,8
novembro-05	23,5	62,0

Fonte: Cepagri/Unicamp.

4.8 Análise estatística

A análise estatística realizada com o auxílio do software STATGRAPHICS Plus 4.1 e foi aplicada apenas aos resultados dos ensaios de ultra-som e de flexão estática. O delineamento experimental utilizado para a realização da análise estatística foi o Delineamento Inteiramente ao Acaso (DIA), para comparação dos três blocos de pesquisas.

No 1º Bloco da Pesquisa testou-se um tipo de preservativo, três concentrações do preservativo e dois tempos de duração para os tratamentos (1 x 3 x 2), totalizando oito tratamentos estatísticos, além de mais dois tratamentos adicionais (maturação na touceira e substituição de seiva por água). Para o 2º Bloco da Pesquisa testou-se um tipo de preservativo, três concentrações para cada tipo de preservativo e dois tempos de duração dos tratamentos (1 x 3 x 2), totalizando sete tratamentos estatísticos, contando com mais um tratamento adicional para o método Boucherie (ácido bórico + bórax - ABB). Nos experimentos do 3º Bloco da Pesquisa foram testadas as três regiões do colmo, correspondendo, então, a um experimento para cada região, e mais dois experimentos adicionais, totalizando cinco tratamentos estatístico.

Nestes experimentos foram efetuadas repetições para dois tipos de taliscas de bambu (enterradas e protegidas). Cada talisca de bambu era uma repetição, tendo sido utilizadas seis taliscas em cada experimento. Portanto, foram efetuadas três repetições para taliscas enterradas e três repetições para taliscas protegidas, mensalmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação Visual

5.1.1 Taliscas

Nas **Tabelas 18, 19 e 20** do Anexo estão apresentados os resultados das taliscas que se mostraram atacadas nas duas situações de exposição: protegidas e expostas, respectivamente.

Nota-se que as taliscas protegidas que apresentaram maior grau de ataque corresponderam às taliscas dos grupos Testemunhas e dos grupos nos quais apenas se substituiu a seiva por água. Nesse último grupo não se verificou o que fora relatado por Lipangille (1985) a respeito da adequação com o tratamento com água. Conforme o que era esperado, as taliscas expostas sofreram um grau de degradação mais intenso, principalmente devido ao ataque de cupim. Além dos dois grupos que haviam sido degradados na condição protegida, também se mostraram inadequados os tratamentos de maturação na moita e os tratamentos químicos nos quais se utilizaram baixas concentrações de produtos, combinados com menor duração de tratamento.

5.1.2 Diafragmas

Embora na literatura se comente que os diafragmas e, principalmente, os nós sejam uma das regiões mais suscetíveis ao ataque de caruncho, tal fato não foi verificado nas condições em que se realizou este experimento. A exemplo do que foi relatado para taliscas protegidas, apenas os tratamentos Testemunhas e substituição da seiva por água, se mostraram altamente atacados (**Figura 25**).



Figura 25: Avaliação visual de ataque dos diafragmas dos colmos dispostos em local protegido.

5.1.3 Avaliação da Perda de Massa

Notou-se um grau elevado de perda de massa para o caso das taliscas expostas e sem tratamento (Testemunhas), da ordem de 70% da massa inicial. Porém, não se recomenda este tipo de análise, devido à falta de controle da umidade das amostras e de ocorrer aderência de solo. Para as amostras protegidas a perda máxima foi da ordem de 15% para o caso das taliscas sem tratamento (Testemunhas).

A análise visual é muito mais rápida e segura para os casos em que ocorreram mais ataques produzidos por caruncho e cupim.

5.2 Análise espectrofotométrica

Intuitivamente se pode imaginar que quando a cor da solução de saída (efluente), observada na extremidade do colmo, for similar àquela da solução de entrada (ou solução-referência) na entrada do colmo, o tratamento teoricamente teria alcançado seu objetivo (TARGA et al., 2001). No entanto, as limitações do olho humano não permitem detectar as graduações de cor da solução de uma forma eficiente. Deste modo, uma alternativa adotada é analisar-se a absorvância da solução, ao ser atravessada por um feixe de radiação.

Na **Figura 26** apresenta-se o resultado da análise espectrofotométrica (absorvância) para a solução de CCB (5% de concentração). Pode-se notar que, à medida que se aumentou a duração do tratamento preservativo, a absorvância da solução preservativa coletada tendeu ao

valor máximo (0,65). Para tratamentos com menor duração, a porcentagem de seiva diluída ainda é muito elevada; em conseqüência, diminui a coloração da solução (maior diluição), conduzindo a menores valores de absorbância. Embora nenhum dos resultados obtidos tenha permitido alcançar esse valor máximo, pode-se estimar que a partir de 180 min decorridos do tratamento, as variações na absorbância da solução preservativa se tornam menos significativas. Na prática, tal constatação permite estimar que essa seria a duração mínima do tratamento (para a espécie considerada e nas condições em que foi realizado o experimento).

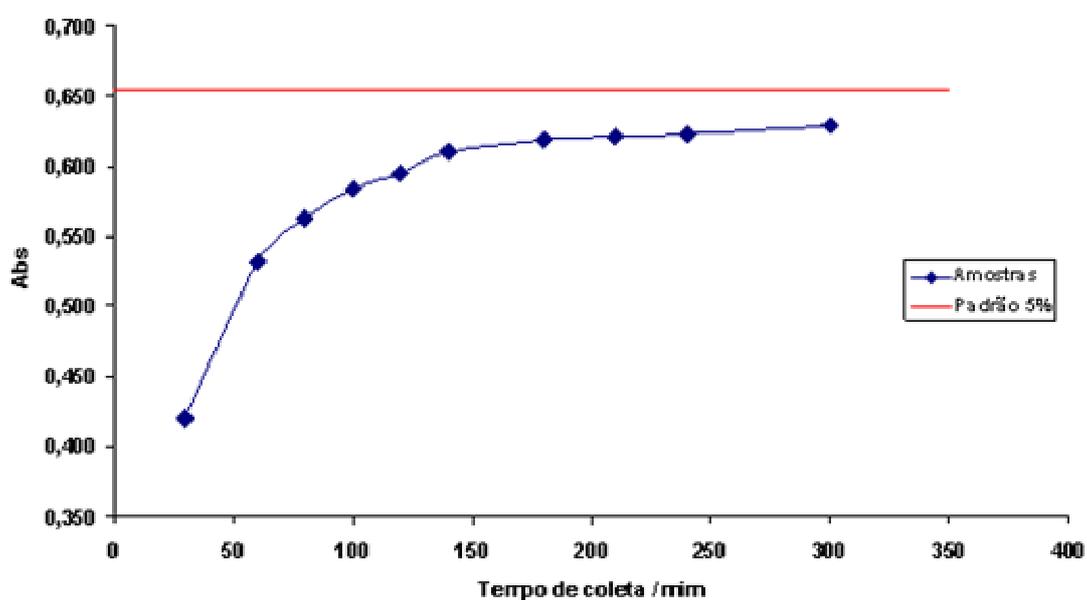


Figura 26: Análise espectrofotométrica de solução de CCB a 5% de concentração.

O resultado obtido deve ser analisado com precaução, pois, contrariamente ao que se pode imaginar, a tendência de que ocorra a estabilização na absorbância da solução é uma *condição necessária, porém pode não ser suficiente* para garantir que tenha havido uniformidade no tratamento químico do bambu. Ou seja, não se pode prever, com esse tipo de análise, que os diferentes elementos anatômicos do bambu tenham sido alcançados pela solução.

5.3 Análise de retenção de produtos químicos - IPT

Os colmos de bambu, mesmo quando sejam originários da mesma espécie, da mesma touceira e que apresentem a mesma idade, podem apresentar diferenças significativas quanto à distribuição e quanto à dimensão de seus elementos anatômicos. Fatores tais como a posição na touceira, principalmente quanto ao nível de exposição à luz solar e, principalmente, quanto à época de emergência do broto do solo, em relação aos demais, podem afetar significativamente tanto a dimensão dos elementos anatômicos do colmo (principalmente os vasos), como podem favorecer o aparecimento da “madeira” de reação, quando os colmos apresentarem uma curvatura acentuada. Sabe-se que essa anomalia, também presente nas madeiras, proporciona o surgimento de células gelatinosas, além de modificar a geometria dos vasos, tornando-os mais elípticos e com seção mais reduzida (engrossamento das paredes).

Desse modo, os resultados obtidos no ensaio de retenção dos produtos químicos presentes nas soluções preservativas aplicadas aos colmos, nem sempre atendem à lógica. Por exemplo, nem sempre em tratamentos com maior duração encontra-se maior concentração de determinada substância química, que seria encontrada após outro tratamento, porém com menor duração, aplicado a colmos de mesma espécie e de mesmo comprimento. A explicação encontrada para esse aparente equívoco, refere-se às diferenças anatômicas entre os colmos e idade (considerada como sendo de aproximadamente 5 anos para todos os colmos), principalmente quanto às dimensões dos vasos e sua distribuição ao longo da parede do colmo.

Os resultados obtidos foram muito inferiores àqueles prescritos pela norma NBR 8456 (1973); para postes de madeira (retenção em torno de 9,6 kg/m³ de i.a. - ingredientes ativos). Embora na literatura específica sobre o bambu também se relatem retenções elevadas de produtos químicos (SLOB et al., 1985; PEREIRA, 1992; KUMAR et al. 1994), no presente trabalho tais valores não puderam ser encontrados. Considerando que as análises anteriores de absorvância e da concentração dos elementos químicos presentes nas soluções foram coerentes com a expectativa, se pode concluir, de uma forma geral, que os colmos utilizados nesta investigação se mostraram altamente refratários à penetração na direção radial.

A aplicação do teste empírico por meio da aplicação de solução de cromoazurol S na superfície da amostra indicou aparentemente que o tratamento químico *não havia sido*

adequado, pois não se notaram mudanças significativas na cor da superfície, após borrifar-se a solução.

Na **Figura 27** apresentam-se os resultados de retenção de ingredientes ativos em três regiões do colmo (base, meio e topo), para soluções de CCB a 5%, para tratamentos com durações de 40 min, 90 min e 300 min

As hipóteses a serem verificadas deveriam ser:

a) duração do tratamento: quanto maior fosse a duração do tratamento químico (considerando-se que os colmos fossem absolutamente idênticos) maior deveria ser a quantidade de ingredientes ativos detectados nas regiões correspondentes do colmo (base, meio e topo). Como pode se observar na **Figura 27**, considerando-se apenas a região basal do colmo, essa análise relativamente simplista dependeu também da substância química considerada: a concentração de romo (CrO_3) atendeu a essa expectativa, apresentando concentrações de $1,5 \text{ kg/m}^3$, $1,3 \text{ kg/m}^3$ e $1,0 \text{ kg/m}^3$, para as durações de 300 min, 90 min e de 40 min, respectivamente.

Para o cobre (CuO), no entanto, não se observou diferença para as durações de 300 min e de 90 min, ambas apresentando concentração de $0,6 \text{ kg/m}^3$. Porém, concordando com a lógica, essa concentração foi superior àquela obtida no tratamento de 40 min de duração, cuja concentração foi de $0,5 \text{ kg/m}^3$.

Quanto ao boro (B), não se evidenciou diferença entre os diferentes tempos de tratamento (300 min, 90 min e 40 min), pois ao final dos mesmos se obteve a mesma concentração de $0,5 \text{ kg/m}^3$. Aparentemente, o boro apresentou maior mobilidade durante o tratamento, na região basal do colmo.

b) efeito da posição de amostragem: devido à proximidade dos conectores metálicos do equipamento utilizado para a preservação dos colmos e à interconexão dos elementos anatômicos responsáveis pela condução da seiva, teoricamente a passagem da solução preservativa é mais eficiente na região da base do colmo, diminuindo gradativamente à medida que se caminha em direção ao topo do colmo. Porém, se as concentrações encontradas se mostrarem independentes da posição do colmo, isso aparenta ser um indicativo de que, teoricamente, atingiu-se o tempo ideal para o tratamento daquele colmo de bambu.

Na **Figura 27** observa-se que ocorreu essa tendência quando se analisou o tratamento com duração de 300 min. A concentração de romo foi similar, independentemente da região

considerada (base, meio ou topo); para o cobre, embora a região do meio (B300) apresente concentração ligeiramente superior ($0,7 \text{ kg/m}^3$) às demais ($0,6 \text{ kg/m}^3$), pode-se atribuir tal fato a erros experimentais, ou em conseqüência de aspectos anatômicos do colmo, culminando com variações que não foram analisadas quanto à densidade da região considerada. A mesma hipótese se aplica ao caso do boro, pois a sua concentração na região mediana do colmo foi de $0,5 \text{ kg/m}^3$, ligeiramente inferior àquelas encontradas nas demais regiões (da ordem de $0,6 \text{ kg/m}^3$). Baseado no resultado dessas análises, e na particularidade do colmo utilizado, pode-se considerar que essa duração de tratamento (300 min) seria suficiente para proporcionar uma deposição homogênea (*em termos de volume*) das substâncias preservativas no colmo do bambu.

Para o tempo de tratamento de 90 min verificou-se ser verdadeira a hipótese de que as concentrações das substâncias preservativas (CrO_3 , CuO e B) decrescem ao longo da altura do colmo (B90, M90 e T90), exceção feita ao boro, para o qual as concentrações obtidas no meio e no topo foram similares ($0,2 \text{ kg/m}^3$).

Para o tempo de tratamento de 40 min, a concentração de cobre não pareceu seguir a tendência verificada nas análises anteriores, sendo observado o menor valor na região mediana (M40).

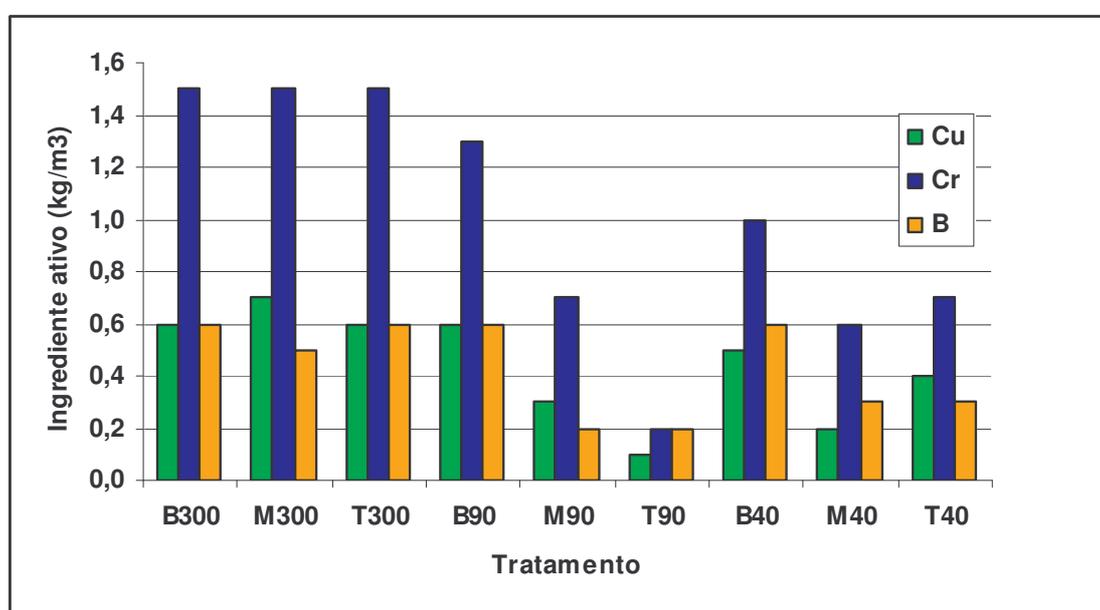


Figura 27: Ingredientes ativos detectados em partes do colmo do bambu, para tratamentos de CCB, com 5% de concentração, com durações de 300 min, 90 min e 40 min. Legenda: B = Base; M = Meio; T = Topo.

Buscando-se eliminar o efeito da posição de amostragem ao longo do colmo, foram comparados diversos tratamentos combinando concentrações e tempos diferentes aplicados apenas à região mediana dos colmos (**Figura 28**).

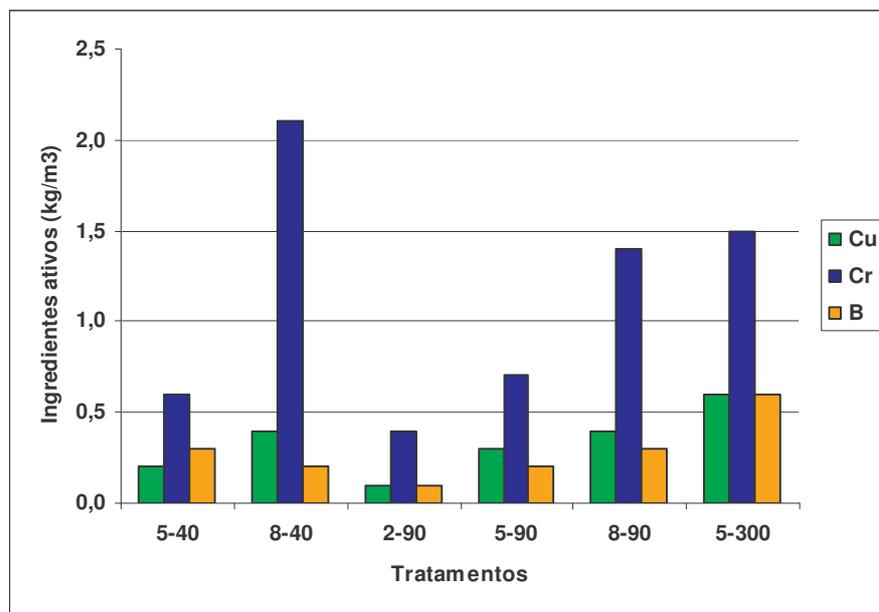


Figura 28: Ingredientes ativos detectados na porção mediana dos colmos para combinações de soluções de CCB de concentrações 2%, 5% e 8%, e tempos de tratamento de 40 min, 90 min e 300 min.

Apenas para o tempo de tratamento de 90 min foram obtidos resultados coerentes com a expectativa, ou seja, a concentração dos ingredientes ativos foi mais elevada quanto mais concentrada foi a solução original. Esse fato verificou-se para as três substâncias analisadas.

Para o tempo de tratamento de 40 min, apenas as concentrações de cobre (CuO) e de cromo (CrO₃) obedeceram ao esperado. A concentração de boro mostrou-se mais reduzida quando do uso de concentração a 8% do que a 5%. No entanto, o fato de maior destaque referiu-se à elevada concentração de cromo, para o tratamento 8-40 (da ordem de 2,1 kg/m³), superior àquelas relatadas na **Figura 28**, considerando-se tempo de tratamento muito superior (300 min). Novamente deve ser lembrado de que se tratam de colmos diferentes, nos quais aspectos anatômicos podem ter influenciado de forma significativa o escoamento das substâncias químicas ao longo dos vasos, principalmente.

Na **Figura 29** apresentam-se os resultados das concentrações em boro, obtidas quando do uso da solução de ácido bórico e bórax (ABB), para soluções com concentrações de 8%, 5% e 2% e tempos de tratamento de 90 min e 40 min.

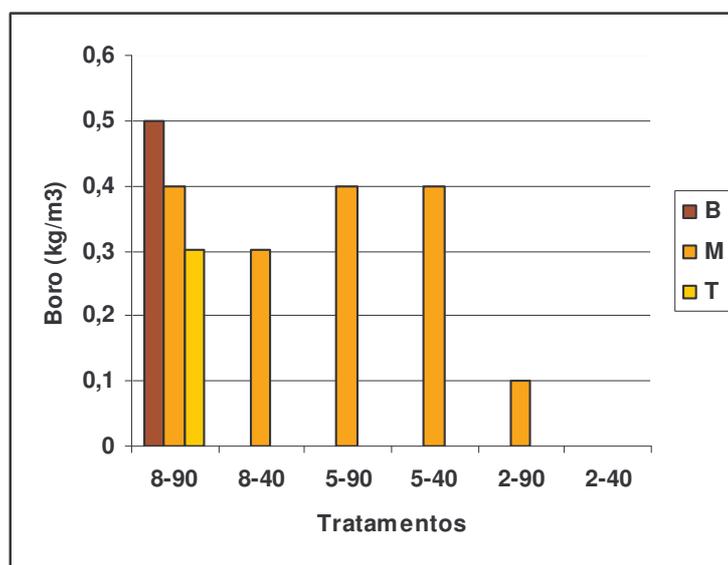


Figura 29: Concentração de boro em função das concentrações (2%, 5% e 8%) e dos tempos de tratamento (40 min e 90 min).

Apenas para o tratamento 8-90 (concentração de 8% e tempo de tratamento de 90 min.) efetuou-se a comparação da concentração de boro ao longo da posição de amostragem (base, meio e topo). Os resultados obtidos indicaram que a concentração é mais elevada quanto mais próxima se encontra a região do colmo em relação à conexão com o equipamento, conforme teoricamente deveria ocorrer, mostrando concentrações de boro de $0,5 \text{ kg/m}^3$, $0,4 \text{ kg/m}^3$ e $0,3 \text{ kg/m}^3$, para as regiões da base, meio e topo, respectivamente.

A comparação entre as concentrações de boro obtidas nas regiões medianas do colmo indicou não haver diferença entre os tratamentos 8-90, 5-90 e 5-40, para os quais a concentração de boro foi da ordem de $0,4 \text{ kg/m}^3$. No entanto, tratamentos com 2% de concentração da solução se mostraram claramente inadequados, pois a concentração de boro foi da ordem de apenas $0,1 \text{ kg/m}^3$ (tratamento 2-90). Por sua vez, não foi possível detectar a presença do boro após aplicar-se o tratamento 2-40. Esse fato demonstra que é *ineficiente o tratamento do bambu efetuado em concentrações muito baixas (de 2%), principalmente quando são combinadas com tempos de tratamento muito reduzidos (de até 90 min).*

O método Boucherie modificado foi concebido para ser aplicado a colmos recém-cortados. Porém, em processamentos industriais visando o tratamento de quantidades significativas de colmos de bambu, podem ocorrer contratemplos que acabam impedindo que os colmos sejam tratados imediatamente após o corte, conforme recomenda o método citado.

Na **Figura 30** apresenta-se o resultado da concentração de boro detectado na região mediana de colmos de bambu, após sofrerem secagem ao ar livre durante três dias. Foram utilizadas soluções de CCB e ABB, ambas a 5%, durante tratamentos de 40 min. Para a solução de ABB, observou-se que a concentração de boro reduziu-se à metade quando foram comparados os resultados obtidos no colmo verde com o colmo secado durante três dias, antes de ser tratado. Para o CCB o efeito foi ainda mais drástico: simplesmente não foi possível detectar o boro no colmo submetido à secagem.

Durante a secagem do colmo, com a eliminação da água praticamente realizada ao longo do seu eixo principal, e, preferencialmente, ao longo da conexão entre os vasos, ocorre movimentação ascendente da seiva, a qual, também, contém materiais sólidos em suspensão. Esses materiais, ao secarem dentro dos vasos, constituem-se em obstáculos à penetração da solução preservativa, principalmente quando a pressão aplicada pelo equipamento ou o tempo de tratamento aplicado forem insuficientes. De acordo com Liese (2004), após o corte do colmo, a planta reage para impedir a perda das soluções nutritivas. A estratégia dotada pela planta é a de aumentar a quantidade de tiloses que visam obstruir os vasos.

Embora os resultados obtidos devam ser avaliados com precaução, pois a amostragem dos colmos foi insuficiente, pode ser vislumbrada a necessidade, em caso de impossibilidade de tratamento de colmos de bambu logo após o seu corte, de que sejam adotadas ações que impeçam a secagem rápida do colmo. Por exemplo, imergindo os colmos em água ou, então, dificultando a evaporação precoce da umidade por meio da obstrução das extremidades do colmo com parafina ou material similar.

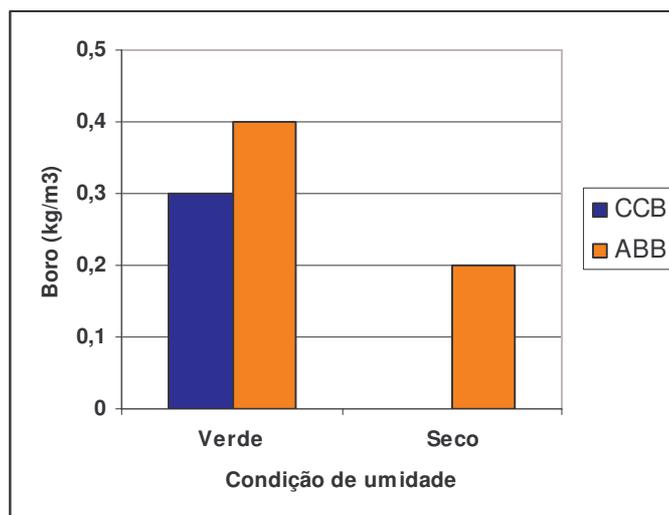


Figura 30: Concentração de boro para a região mediana do colmo, secado durante três dias, utilizando-se soluções de CCB e de ABB a 5% de concentração e tempo de tratamento de 40 min.

5.4 Análise das soluções obtidas após os tratamentos

As amostras foram analisadas pela empresa TASQA, que utilizou o método de análise **SM 20 3120B**. Além da análise da concentração em boro (quando do uso do ABB) e de cromo, cobre e boro (quando do uso do CCB) para as soluções-testemunha (ou referências) coletou-se, após determinados intervalos de tempo, alíquotas das soluções emergentes na extremidade dos colmos de bambu.

5.4.1 ABB

Na **Figura 31** apresentam-se as concentrações em boro, obtidas da solução-testemunha (Ref. – concentração teórica de ABB de 5%) e provenientes daquelas coletadas ao final dos tratamentos dos colmos após as durações de 30 min, 60 min e 90 min. Observou-se que a solução-testemunha apresentava concentração de 5,8 g/L; quanto às demais soluções nota-se claramente o aumento na concentração de boro à medida que aumenta a duração do tratamento, sendo de 4,32 g/L (para 30 min), 4,60 g/L (para 60 min) e de 4,84 g/L (para 90 min).

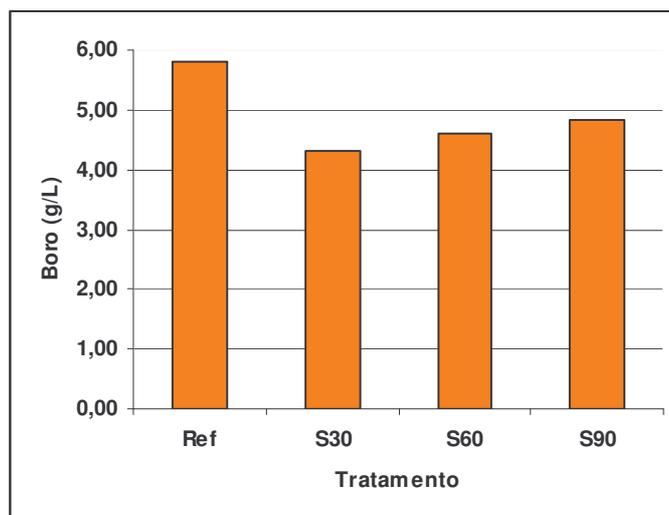


Figura 31: Concentração de boro, em soluções de ABB (5%), para tempos de tratamento de 30 min, 60 min e 90 min.

5.4.2 CCB

Na **Figura 32** apresentam-se os resultados das concentrações das substâncias componentes da solução-testemunha (CCB a 5% de concentração), e daquelas referentes à solução coletada após 3 h de tratamento. Observa-se que as concentrações tenderam a se aproximar do valor das concentrações-testemunha. Para o cobre, cromo e boro, foram alcançados 83%, 93% e 89%, respectivamente, das concentrações iniciais de cada substância. Ora, tais valores indicam as concentrações das substâncias na extremidade (topo) do colmo. Desse modo, de acordo com os resultados observados nas análises anteriores, pode-se concluir que esse colmo, em particular, pode ser considerado como adequadamente tratado (ou melhor, encontra-se em fase), visto que a concentração nas demais regiões (mediana e base) deveria ser teoricamente superior àquela detectada na presente análise.

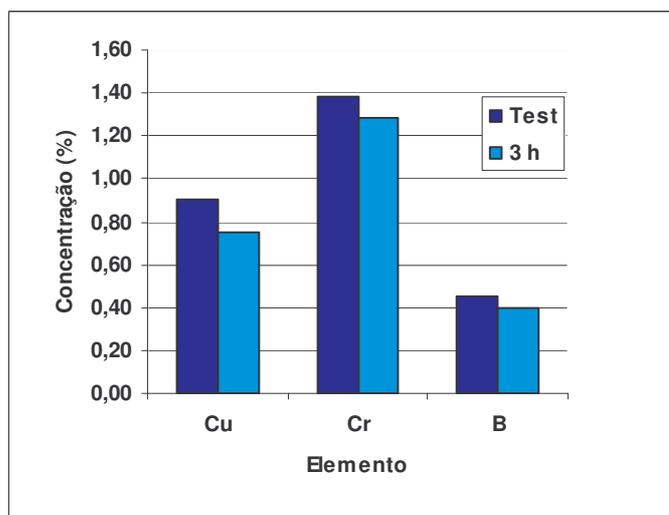


Figura 32: Comparação entre as concentrações de cromo, cobre e boro para a solução-padrão (5%) e após decorridas 3 h de tratamento.

A solução de CCB utilizada continha em sua fórmula inicial 31,75% de CrO_3 , 13,00% de CuO e 5,25% de Boro, de acordo com informações da empresa Montana Química. Ou seja, adotando-se o cromo como unidade, sua razão inicial em relação ao cobre e ao boro, era de: **1 : 0,409 : 0,165**. As **Figuras 33 e 34** apresentam as razões em massa obtidas após efetuarem-se diversas combinações dos fatores inerentes ao tratamento químico. Na **Figura 33** verifica-se que a razão cobre/cromo mantém-se praticamente constante, com exceção do tratamento P90 (concentração obtida na região da ponta do colmo, após 90 min de tratamento). Essa aparente discrepância pode atribuir-se a um erro experimental, ou, o que é mais provável, à dificuldade de o cromo em deslocar-se; sua menor concentração nesse ponto faz com que seja mais elevada a razão em relação ao cobre. Quanto ao boro, nota-se que a razão da massa calculada em relação ao cromo duplica em alguns casos e até mesmo triplica em outros (tratamentos de curta duração), mostrando sua maior mobilidade em relação ao cromo e ao cobre, confirmando o relato de Kumar et al. (1994). Ou seja, provavelmente os constituintes da solução se deslocam em velocidades diferentes, *vindo a combinar-se depois de um tempo muito mais longo do que seria a duração convencional do tratamento*. Na **Figura 34** confirma-se a hipótese da diferente mobilidade dos elementos químicos e, novamente, se pode notar uma razão constante entre as massas de boro e de cromo, independentemente da concentração da solução, ou da duração do tratamento (40 min ou 90 min), para amostras

coletadas na região mediana do colmo. O razão cobre/cromo mantém-se praticamente inalterável e igual a 0,4.

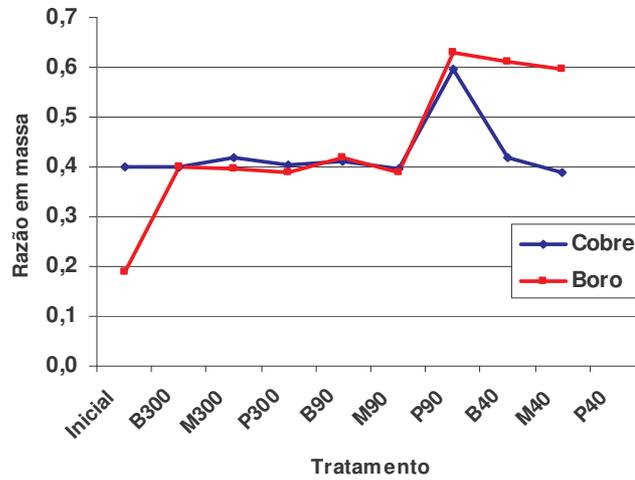


Figura 33: Efeito da posição no colmo e da duração do tratamento com CCB a 5% de concentração. Razão entre as massas de cromo (considerada como sendo unitária) e as massas de cobre e boro retidas no *D. giganteus*.

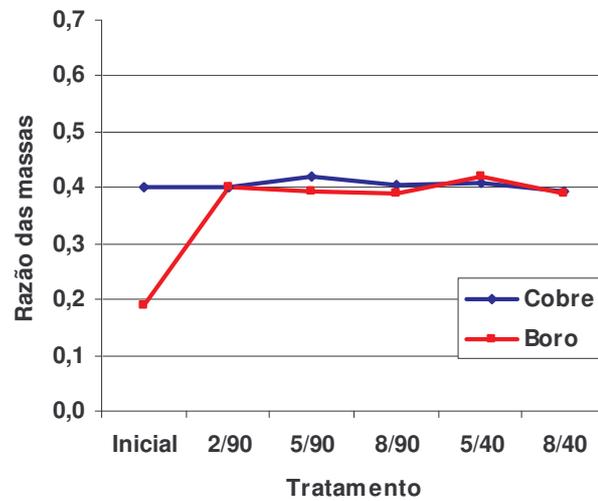


Figura 34: Efeito da concentração e do tempo de tratamento com CCB (40 min e 90 min) para a região mediana do colmo. Razão entre as massas de cromo (considerada como sendo unitária) e as massas de cobre e boro retidas no *D. giganteus*.

5.4.3 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

O uso da MEV mostrou-se uma ferramenta importante e imprescindível para verificar a “rastreadabilidade” dos elementos químicos nos elementos anatômicos do bambu. No corte transversal de uma parte de uma amostra de *D. giganteus* observa-se a presença de grânulos de amido não tratados (**Figura 35a e c**). Um dos motivos pode ser atribuído à pequena dimensão das perfurações existentes nas paredes das células parenquimatosas (inferiores a 1 μm), além do fato de que, caso a solução preservativa lograsse alcançar uma célula parenquimatosa, ainda assim deveria difundir-se em direção às células vizinhas. Essa obrigatoriedade deixa antever o grau de dificuldade para realizar-se, de forma efetiva, o tratamento químico do bambu. Na **Figura 35b** pode-se notar a ausência de produtos brilhantes (característicos da presença de metais) na imagem, também confirmando que não houve deposição dos sais, inclusive nos vasos. Nas **Figuras 35c e d** pode-se comparar as dimensões dos elementos anatômicos em relação a um cristal formado após o tratamento com CCB (5%).

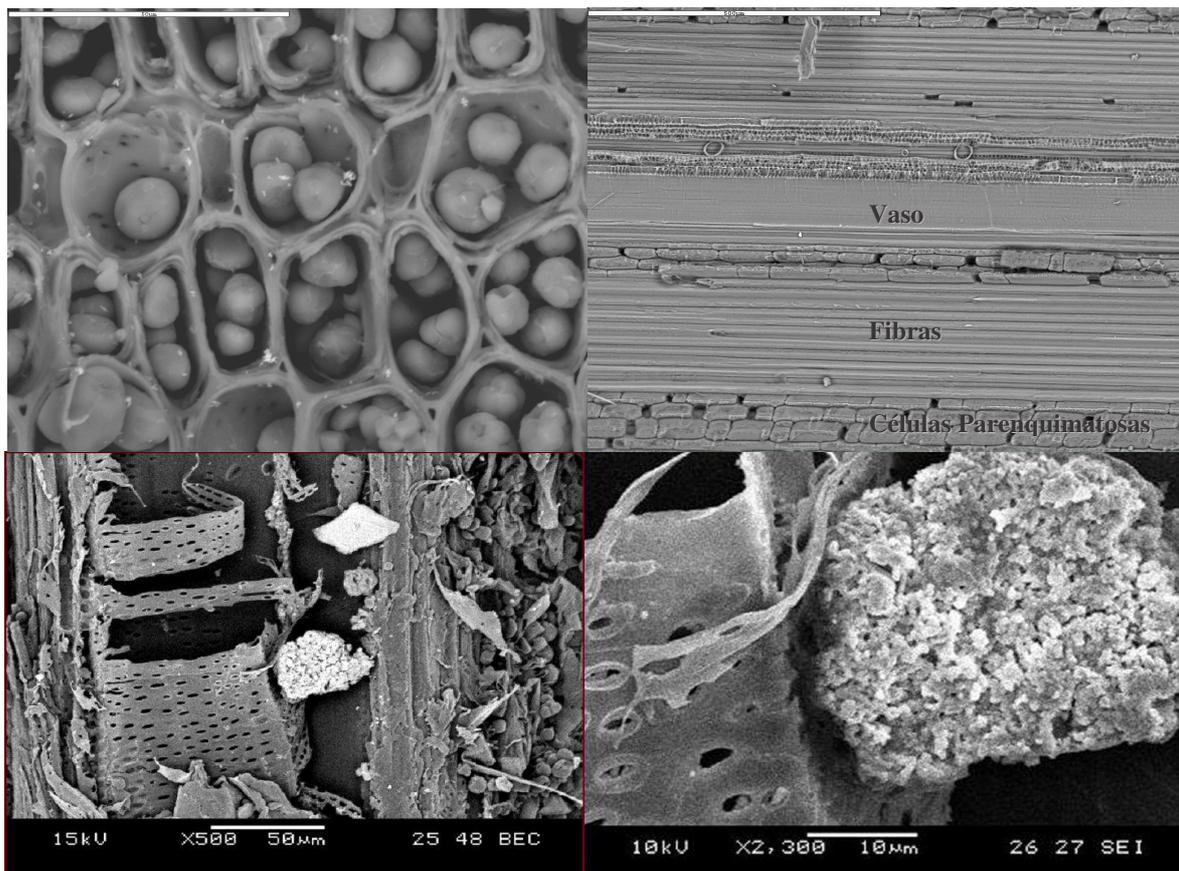


Figura 35: Microscopia de amostra de *D. giganteus*: (a) Corte transversal (3000 X) ; (b) Corte longitudinal (300 X); (c) corte longitudinal (500 X) notando-se a formação de sais decorrente do tratamento; (d) detalhe da imagem anterior com aumento de 2500 X.

Nas **Figuras 36a e 36b**, se apresentam os resultados da análise dos elementos químicos detectados em um perfil da amostra (indicada pela linha amarela), correspondendo às regiões das células parenquimatosas envolvendo um vaso situado nas camadas internas do colmo (e, portanto, na situação mais favorável ao fluxo da solução preservativa). Um dos elementos químicos detectados (silício) faz parte da constituição química natural do bambu. No entanto, nas duas últimas regiões da **Figura 36b** se observa claramente a concentração de cromo e de cobre *apenas no centro das imagens* e, principalmente, a sua *ausência nas regiões vizinhas*. Este fato aparentemente confirma a hipótese de que não seja possível tratar eficientemente as células parenquimatosas (e menos ainda os feixes de fibras). Uma aparente falha nas curvas se deve à região do vaso onde não ocorreu a deposição dos elementos químicos (**Figura 36a**), indicando, igualmente, que embora o vaso seja o principal meio de

transporte da solução, a deposição dos elementos químicos pode não ser uniforme ao longo de seu comprimento (**Figuras 37a e 37b**).

A deposição dos elementos químicos, conforme relatado nos itens precedentes, relativos ao efeito da concentração e da duração do tratamento, pode conduzir à obtenção de vasos tratados (**Figura 38a**) ou não (**Figura 38b**).

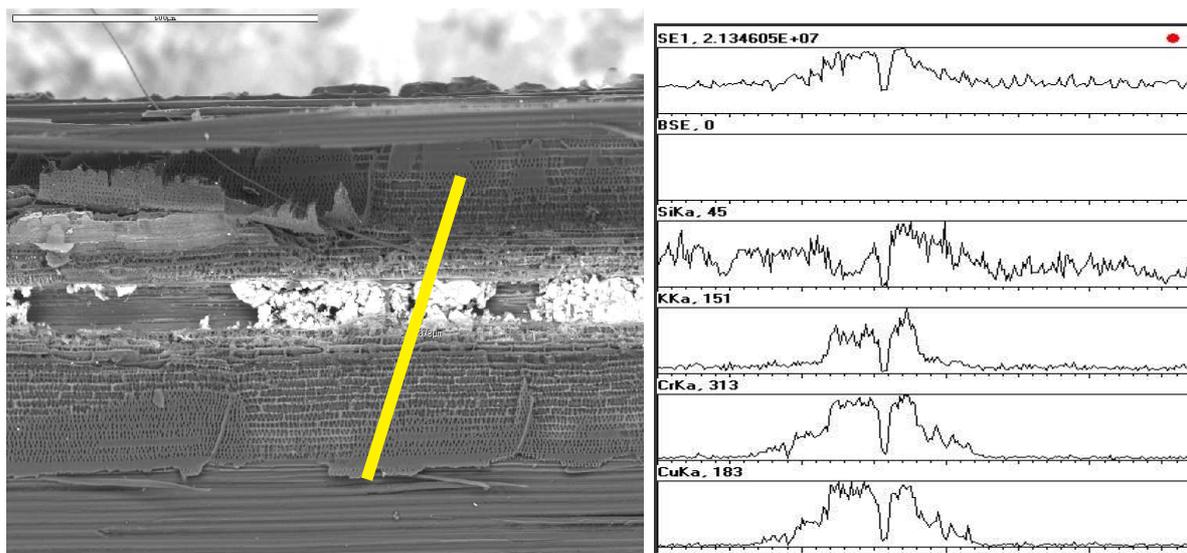


Figura 36: Detecção de elementos químicos em amostra de *D. giganteus*: (a) Corte longitudinal (300 X); (b) Elementos químicos detectados.

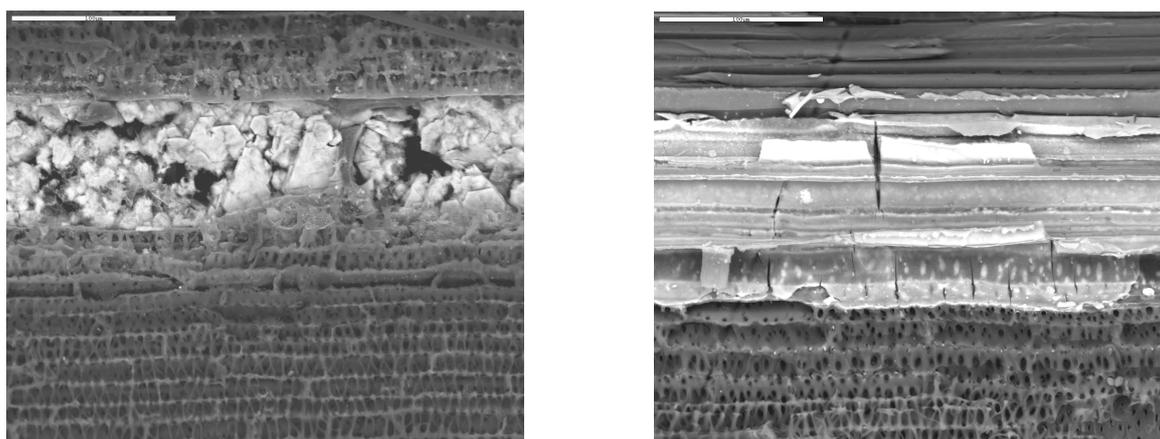


Figura 37: Distribuição dos sais nos vasos do *D. giganteus* (1000 X): (a) Deposição irregular; (b) Deposição regular.

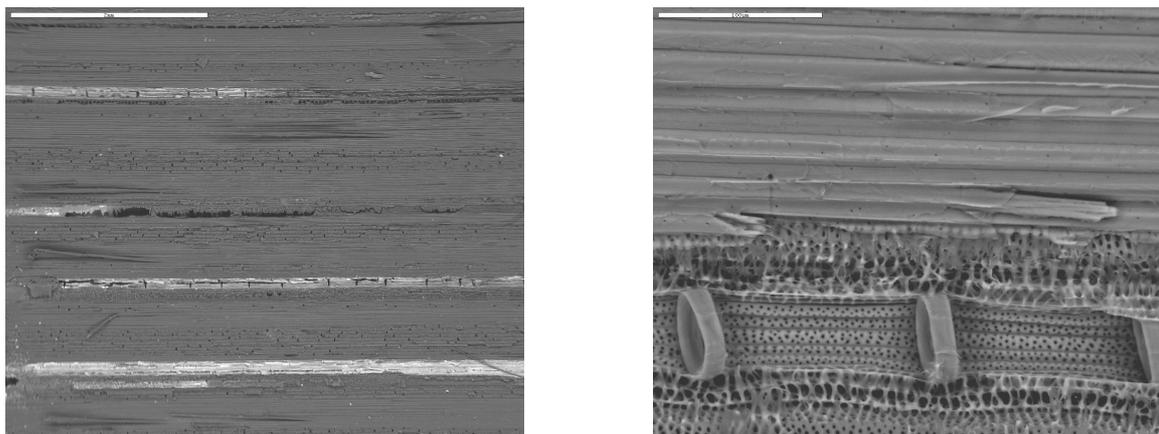


Figura 38: Deposição dos elementos químicos nos vasos: (a) Vaso tratado (60 X); (b) Vaso não tratado (1000 X).

5.5 Análise Estatística dos Resultados

5.5.1 Comparação entre os Tratamentos Químicos no Ultra-som

Utilizou-se o software STATGRAPHICS Plus 4.1 para realizar as análises estatísticas necessárias. As **Tabelas 7 e 8** foram extraídas deste software após uma análise de todas as combinações possíveis das variáveis dos experimentos com tratamento químico no Ultra-som.

Tabela 7 - ANOVA para comparação da combinação das variáveis gerais do experimento – ultra-som.

Fonte	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p-valor
A: Exposição	912,13	1	912,13	120,63	0,00
B: Produto	819,41	1	819,41	108,37	0,00
C: Concentração	2896,70	2	1448,35	191,54	0,00
D: Duração	180,94	1	180,94	23,93	0,00
E: Tempo	592,75	6	98,79	13,07	0,00
Interações					
AB	211,66	1	211,66	27,99	0,00
AC	78,97	2	39,49	5,22	0,01
AD	6,76	1	6,76	0,89	0,34
AE	746,25	6	124,38	16,45	0,00
BC	966,82	2	483,41	63,93	0,00
BD	61,61	1	61,61	8,15	0,05
BE	312,83	6	52,14	6,90	0,00
CD	73,53	2	36,77	4,86	0,01
CE	191,92	12	15,99	2,12	0,01
DE	28,71	6	4,78	0,63	0,70
Resíduo	3266,58	432	7,56		

Tabela 8 - ANOVA para comparação da combinação das variáveis gerais do experimento – flexão estática.

Fonte	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p-valor
A: Exposição	230,31	1	230,31	43,27	0,00
B: Produto	764,50	1	764,50	143,62	0,00
C: Concentração	1064,27	2	532,14	99,97	0,00
D: Duração	0,04	1	0,04	0,01	0,93
E: Tempo	376,81	6	62,80	11,80	0,00
Interações					
AB	67,98	1	67,98	12,77	0,00
AC	68,00	2	34,00	6,39	0,00
AD	4,26	1	4,26	0,80	0,37
AE	351,85	6	58,64	11,02	0,00
BC	34,10	2	17,05	3,20	0,04
BD	215,71	1	215,71	40,52	0,00
BE	130,79	6	21,80	4,10	0,00
CD	108,85	2	54,42	10,22	0,00
CE	110,95	12	9,25	1,74	0,06
DE	42,28	6	7,05	1,32	0,25
Resíduo	2278,26	428	5,32		

Com base nos resultados exibidos nas **Tabelas 9 e 10** (modelo extraído do software utilizado) optou-se em separar as análises dos dados por tipo de exposição (expostas e protegidas) para refinar o tratamento estatístico, pois, as taliscas não estavam submetidas às mesmas condições de ataque. Na **Tabela 11** torna-se possível verificar a influência de cada variável experimental.

Tabela 9 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo Dinâmico final (EDF) do ultra-som.

Method: 95,0 percent Tukey HSD				
VARIÁVEL	Count	LS Mean (GPa)	LS Sigma	Homogeneous Groups
Exposta	232	17,3292	0,185967	X
Protegida	251	20,1236	0,173605	X
CCB	249	17,4058	0,174456	X
ABB	234	20,047	0,184681	X
2 %	167	16,3375	0,212871	X
8 %	157	17,7283	0,223501	X
5 %	159	22,1134	0,220805	X
40 min	248	18,1057	0,174833	X
90min	235	19,3471	0,184359	X
13 meses	65	16,4217	0,349698	X
9 meses	62	17,618	0,364954	XX
7 meses	70	18,8352	0,329304	XX
5 meses	70	19,3738	0,329167	X
0 mês	72	19,4699	0,32407	X
1 mês	72	19,656	0,32407	X
2 mês	72	19,7101	0,32407	X

Tabela 10 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo de Elasticidade (MOE) da flexão estática.

Method: 95,0 percent Tukey HSD				
VARIÁVEL	Count	LS Mean (GPa)	LS Sigma	Homogeneous Groups
Exposta	231	8,27283	0,155956	X
Protegida	248	9,68079	0,146604	X
CCB	245	7,6975	0,147645	X
ABB	234	10,2561	0,154593	X
2 %	166	7,12792	0,179173	X
8 %	155	9,02871	0,188562	X
5 %	158	10,7738	0,18571	X
90 min	233	8,96774	0,154795	X
40min	246	8,98587	0,147355	X
13 meses	65	7,15247	0,29341	X
9 meses	62	8,30667	0,30442	XX
5 meses	70	8,68397	0,276181	XX
7 meses	70	9,44181	0,276294	XX
1 mês	70	9,72187	0,276123	X
2 mês	71	9,75347	0,273996	X
0 mês	71	9,7774	0,274001	X

Tabela 11 – Comparação dos resultados dos ensaios em função da combinação das variáveis experimentais.

Medição	Variáveis		CCB		ABB	
			Protegidas: 18,13	Expostas: 16,72	Protegidas: 22,11	Expostas: 17,79
Ultra-som EDF (GPa)	Concentração	2 %	16,94 ^b	15,37 ^b	19,41 ^b	13,57 ^c
		5 %	22,19 ^{a*}	21,15 ^a	23,72 ^a	21,59 ^a
		8 %	15,27 ^c	13,53 ^c	23,18 ^a	17,92 ^b
	Duração	40 min	17,16 ^b	15,66 ^b	21,59 ^b	17,99 ^a
		90 min	19,11 ^a	17,70 ^a	22,62 ^a	17,40 ^a
	Tempo Exposição	0 mês	17,22 ^a	16,96 ^a	22,16 ^a	21,54 ^a
		1 mês	18,03 ^a	17,84 ^a	21,74 ^a	21,01 ^a
		2 meses	18,39 ^a	17,78 ^a	21,82 ^a	20,85 ^a
		5 meses	18,56 ^a	16,43 ^{ab}	21,99 ^a	20,51 ^a
		7 meses	18,38 ^a	16,30 ^b	22,34 ^a	18,08 ^{ab}
		9 meses	18,36 ^a	16,41 ^b	22,00 ^a	14,50 ^{bc}
		13 meses	18,00 ^a	15,06 ^{bc}	22,68 ^a	7,36 ^d
	Flexão Estática MOE (GPa)			Protegidas: 8,03	Expostas: 7,39	Protegidas: 11,37
Concentração		2 %	6,23 ^c	5,28 ^c	10,38 ^b	6,48 ^c
		5 %	9,98 ^a	9,76 ^a	12,14 ^a	11,26 ^a
		8 %	7,83 ^b	7,12 ^b	11,49 ^a	8,88 ^b
Duração		40 min	7,40 ^b	6,61 ^b	11,77 ^a	10,06 ^a
		90 min	8,62 ^a	8,16 ^a	10,91 ^b	7,69 ^b
Tempo Exposição		0 mês	7,78 ^a	7,87 ^a	12,11 ^a	11,32 ^a
		1 mês	8,20 ^a	8,14 ^a	10,90 ^a	11,77 ^a
		2 meses	7,85 ^a	8,11 ^a	11,20 ^a	11,79 ^a
		5 meses	7,87 ^a	7,14 ^a	10,25 ^a	9,43 ^{ab}
		7 meses	8,59 ^a	7,30 ^a	12,24 ^a	9,41 ^{ab}
		9 meses	8,14 ^a	7,52 ^a	11,15 ^a	6,14 ^{bc}
		13 meses	7,64 ^a	5,62 ^b	11,53 ^a	2,25 ^d

* Médias seguidas de mesma letra, para a mesma variável apresentada na mesma coluna, não diferem significativamente ao nível de 95% de probabilidade pelo teste de Tukey HSD.

Com base nos resultados das **Tabelas 9, 10 e 11** constatou-se que o melhor tratamento foi obtido com a solução preservativa ABB com concentração 5% e duração do tratamento de 40 min para ambas as situações de exposição. Porém, a análise visual das taliscas durante a fase experimental não evidenciou tal fato. Provavelmente tal fato não foi observado devido a diferença das características biológicas, físicas e mecânicas entre os colmos utilizados, já que para cada experimento (combinação das variáveis) utilizou-se um colmo diferente. Prova disto é que os Módulos Dinâmicos iniciais (médias das taliscas extraídas dos colmos) eram diferentes para cada colmo, sendo alguns valores muito superiores aos dos demais.

Os resultados apresentados anteriormente foram baseados nos valores dos Módulos Dinâmico e Elástico das taliscas. Se algumas taliscas já apresentavam valores superiores às demais, pressupõe-se que estas apresentariam vantagem na análise comparativa. Como não eram importantes os valores absolutos dos módulos e sim a sua variação para cada tratamento ao longo do período de exposição, para verificar a perda de resistência em função da deterioração das taliscas, procurou-se eliminar este efeito, realizando-se uma normalização dos valores do Módulo Dinâmico e Módulo de Elasticidade para cada colmo. Posteriormente, os tratamentos foram comparados entre si. Na **Tabela 12** apresenta-se um modelo da normalização dentro de cada tratamento, ou seja, para cada colmo. Por exemplo, para o “Tratamento 1” escolheu-se o maior valor para cada módulo (Edf e MOE) e dividiu-se todos os demais valores da mesma coluna por este. Assim, através dos valores de Edf obteve-se a coluna com os valores Edf – norm (valores normalizados com base no maior valor de Edf). Procedimento semelhante foi aplicado para os valores de MOE e MOE – norm. Para cada tratamento foi realizado o mesmo procedimento de normalização.

Tabela 12 – Comparação dos resultados dos ensaios em função da combinação das variáveis experimentais.

Produto	Concent.	Tipo Exposição	Duração Tratam.	Tempo Exposição	Corpo-de-prova	Edf	Edf - norm	MOE	MOE - norm
CCB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 1	17,40	0,71	8,61	0,76
CCB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 2	22,52	0,92	9,32	0,82
CCB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 3	21,64	0,88	9,82	0,87
CCB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 4	20,31	0,83	10,18	0,90
CCB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 5	18,29	0,74	8,25	0,73
CCB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 1 – CP 6	21,41	0,87	10,33	0,91
CCB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 7	22,55	0,92	8,99	0,80
CCB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 8	24,56	1,00	10,22	0,91
CCB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 9	21,97	0,89	9,94	0,88
CCB	5 %	E	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 10	23,49	0,96	9,19	0,81
CCB	5 %	E	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 11	21,46	0,87	10,14	0,90
CCB	5 %	E	90 min	13 meses	Tratamento 1 – CP 12	22,43	0,91	10,09	0,89
ABB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 1	22,75	0,81	9,29	0,57
ABB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 2	23,83	0,84	11,10	0,68
ABB	5 %	P	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 3	25,70	0,91	16,44	1,00
ABB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 4	20,84	0,74	7,65	0,47
ABB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 5	23,53	0,83	11,90	0,72
ABB	5 %	E	90 min	0 mês	Tratamento 2 – CP 6	24,42	0,86	13,17	0,80
ABB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 2 – CP 7	24,03	0,85	9,06	0,55
ABB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 2 – CP 8	25,15	0,89	12,50	0,76
ABB	5 %	P	90 min	13 meses	Tratamento 2 – CP 9	28,25	1,00	15,11	0,92
ABB	5 %	E	90 min	13 meses	Tratamento 2 – CP 10	22,95	0,81	11,18	0,68
ABB	5 %	E	90 min	13 meses	Tratamento 2 – CP 11	21,03	0,74	8,99	0,55

Os resultados obtidos após a normalização (**Tabelas 13 e 14**) foram correspondentes àqueles esperados e se mostraram mais coerentes com o que havia sido constatado nas análises visuais no decorrer do experimento.

Tabela 13 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo Dinâmico final (EDF) normalizados - ultrassom.

VARIÁVEL	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Exposta	232	0,782879	0,00777486	X
Protegida	251	0,861388	0,00725802	X
ABB	234	0,800368	0,00772107	X
CCB	249	0,843899	0,00729359	X
2 %	167	0,772883	0,00889963	X
8 %	157	0,80054	0,00934407	X
5 %	159	0,892977	0,00923135	X
40 min	248	0,813575	0,00730936	X
90min	235	0,830692	0,00770765	X
13 meses	65	0,573159	0,0206447	X
9 meses	62	0,674752	0,0214199	X
7 meses	70	0,699124	0,0194324	XX
5 meses	70	0,760634	0,0194404	XX
0 mês	71	0,786906	0,0192786	X
1 mês	70	0,787045	0,0194283	X
2 mês	71	0,792683	0,019279	X

Tabela 14 – Método de Tukey HSD 95% para resultados do Módulo de Elasticidade (MOE) normalizados – flexão estática.

VARIÁVEL	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Exposta	231	0,674477	0,0109732	X
Protegida	248	0,775324	0,0103152	X
ABB	234	0,691993	0,0108773	X
CCB	245	0,757808	0,0103885	X
2 %	166	0,687386	0,0126068	X
8 %	155	0,697605	0,0132674	X
5 %	158	0,78971	0,0130668	X
90 min	233	0,694882	0,0108915	X
40min	246	0,75492	0,0103681	X
13 meses	65	0,717544	0,0146201	X
9 meses	62	0,774405	0,0152579	XX
5 meses	70	0,823415	0,0137674	XX
7 meses	70	0,850682	0,0137617	X
2 mês	72	0,854028	0,0135486	X
1 mês	72	0,867222	0,0135486	X
0 mês	72	0,867639	0,0135486	X

Ao fazer o refinamento da análise estatística para os valores normalizados obteve-se o seguinte resultado (adotou-se o símbolo “=” quando não houve diferença estatística ao nível de 95% de probabilidade pelo teste de Tukey HSD).

Protegidas

- EDF

Produto: CCB = ABB;

Concentração: 8 % = 2 % < 5 %;

Duração Tratamento: 40 min < 90 min;

Tempo Exposição: 0 mês = 1 mês = 2 meses = 9 meses = 7 meses = 13 meses = 5 meses;

- MOE

Produto: CCB = ABB;

Concentração: 8 % < 2 % = 5 %;

Duração Tratamento: 90 min < 40 min;

Tempo Exposição: 5 meses ≤ 13 meses = 2 meses = 1 mês = 9 meses = 0 mês ≤ 7 meses;

Expostas

- EDF

Produto: ABB < CCB;

Concentração: 2 % < 8 % < 5 %;

Duração Tratamento: 40 min = 90 min;

Tempo Exposição: 13 meses < 9 meses ≤ 7 meses ≤ 5 meses = 0 mês = 2 meses = 1 mês;

- MOE

Produto: ABB < CCB;

Concentração: 8 % < 2 % = 5 %;

Duração Tratamento: 90 min < 40 min;

Tempo Exposição: 13 meses < 9 meses ≤ 5 meses = 7 meses ≤ 0 mês = 1 mês ≤ 2 meses;

As Figuras 39, 40 e 41 apresentam os efeitos da concentração da solução preservativa, da duração do tratamento e do tempo de exposição, respectivamente. Foram adotadas as seguintes legendas:

CCB-P = CCB Protegida; CCB-E = CCB Exposta

ABB-P = ABB Protegida; ABB-E = ABB Exposta

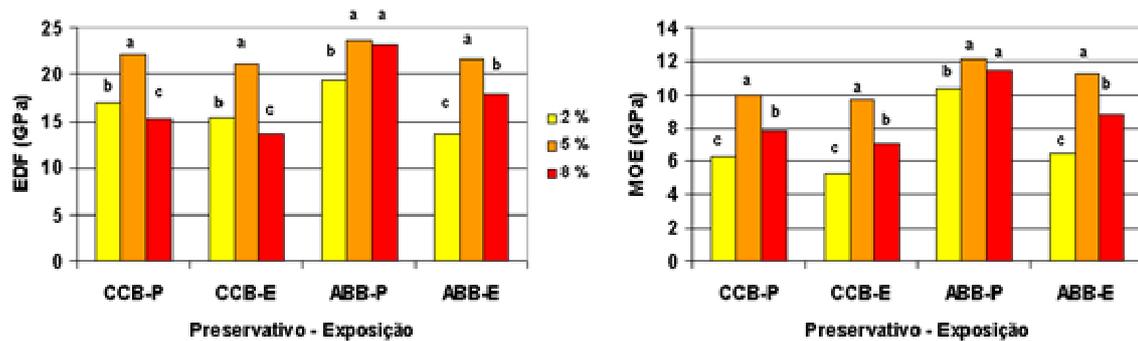


Figura 39: Efeito da concentração das soluções preservativas.

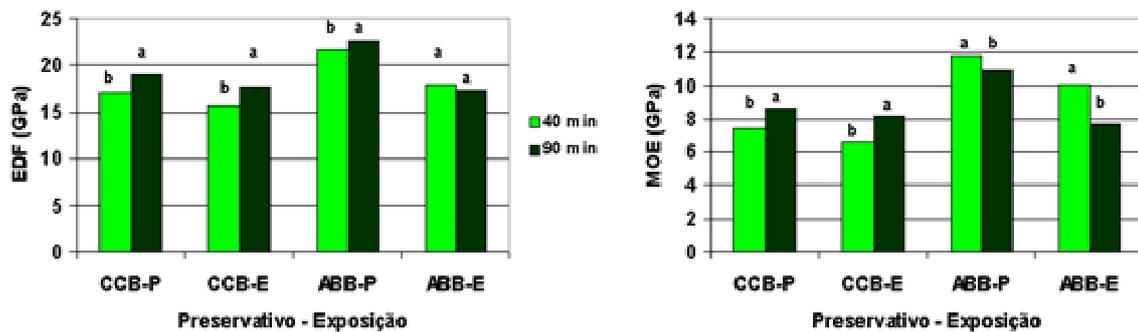


Figura 40: Efeito da duração dos tratamentos.

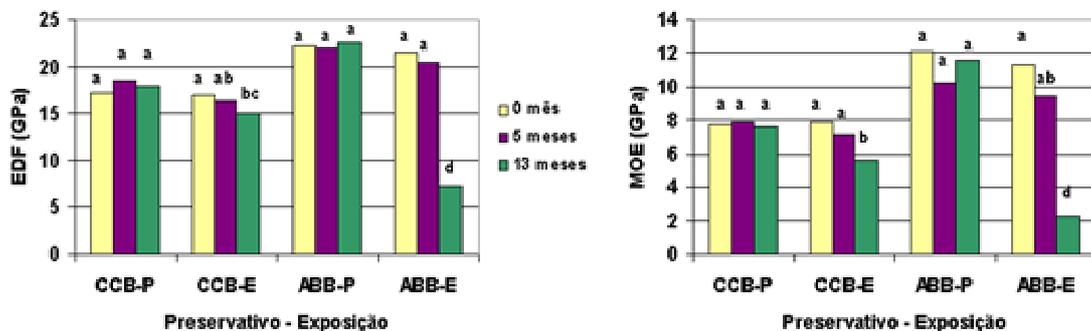


Figura 41: Efeito do tempo de exposição.

A partir desta análise pode-se concluir que o melhor tratamento dentre aqueles realizados foi com o produto **CCB**, concentração **5%**. Os tempos de tratamento de **40 min** e **90 min** aparentemente não demonstraram diferenças significativas.

5.5.2 Comparação entre os Tratamentos Naturais com os Químicos

Como era de se esperar os resultados eram diferentes para cada uma das duas situações de exposição. Por esse motivo, as comparações agora serão separadas por tipo de exposição (expostas e protegidas).

A **Tabela 15** exhibe os resultados para a comparação entre os seguintes tratamentos: Testemunha (porção mediana do colmo), Maturação na Moita, Boucherie Modificado utilizando água como solução por 40 min, Boucherie Modificado utilizando CCB 5% como solução por 90 min, Boucherie Modificado utilizando CCB 5% como solução por 300 min e Boucherie Modificado utilizando ABB 5% como solução por 90 min.

Tabela 15 – Comparação entre os tratamentos realizados – Método de Tukey HSD 95%.

Valores Reais						
	Tratamentos	ED Final (GPa)	Grupos Homogêneos	Tratamentos	MOE Final (GPa)	Grupos Homogêneos
Protegidas	Testemunha*	10,77	a	Testemunha*	5,65	a
	CCB - 5 % - 300 min	20,49	b	CCB - 5 % - 300 min	8,33	b
	Água - 40 min	21,64	bc	Água - 40 min	8,40	bc
	Maturação na Moita	22,07	c	CCB - 5 % - 90 min	9,64	bcd
	CCB - 5 % - 90 min	22,16	c	Maturação na Moita	10,13	cd
	ABB - 5 % - 90 min	24,12	d	ABB - 5 % - 90 min	11,30	d
Expostas	Testemunha*	7,12	a	Testemunha*	3,66	a
	Maturação na Moita	18,14	b	Água - 40 min	6,37	ab
	Água - 40 min	19,78	bc	Maturação na Moita	7,62	b
	CCB - 5 % - 300 min	20,29	c	CCB - 5 % - 300 min	8,19	bc
	CCB - 5 % - 90 min	21,47	c	CCB - 5 % - 90 min	9,81	c
	ABB - 5 % - 90 min	22,24	c	ABB - 5 % - 90 min	10,15	c
Valores Normalizados						
	Tratamentos	ED Final	Grupos Homogêneos	Tratamentos	MOE Final	Grupos Homogêneos
Protegidas	Testemunha*	0,78	a	Água - 40 min	0,68	ab
	Água - 40 min	0,85	bc	ABB - 5 % - 90 min	0,69	a
	ABB - 5 % - 90 min	0,85	c	CCB - 5 % - 300 min	0,71	a
	Maturação na Moita	0,90	c	Testemunha*	0,77	ab
	CCB - 5 % - 90 min	0,90	c	Maturação na Moita	0,83	ab
	CCB - 5 % - 300 min	0,92	c	CCB - 5 % - 90 min	0,85	b
Expostas	Testemunha*	0,52	a	Água - 40 min	0,50	ab
	Maturação na Moita	0,74	b	Testemunha*	0,50	a
	Água - 40 min	0,76	bc	ABB - 5 % - 90 min	0,59	ab
	ABB - 5 % - 90 min	0,77	bc	Maturação na Moita	0,63	ab
	CCB - 5 % - 90 min	0,87	c	CCB - 5 % - 300 min	0,69	bc
	CCB - 5 % - 300 min	0,91	c	CCB - 5 % - 90 min	0,87	c

* Porção mediana do colmo (item IV.3).

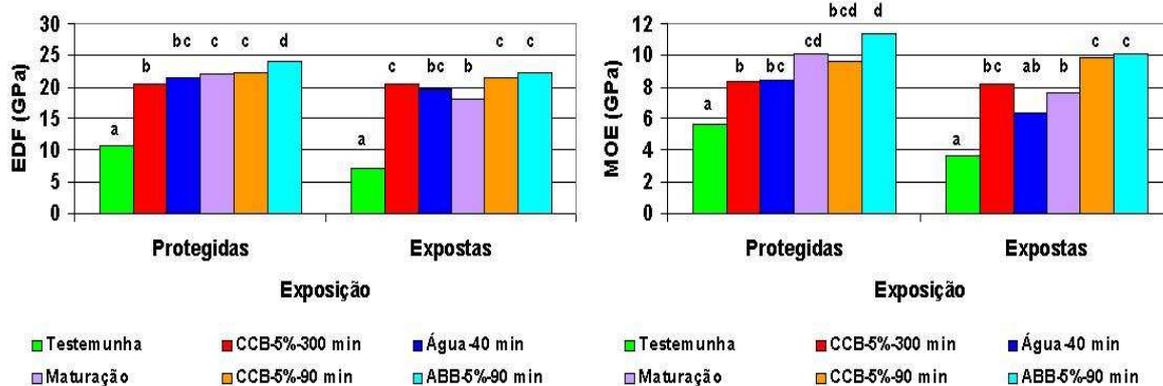


Figura 42: Comparação entre os tratamentos realizados e testemunhas.

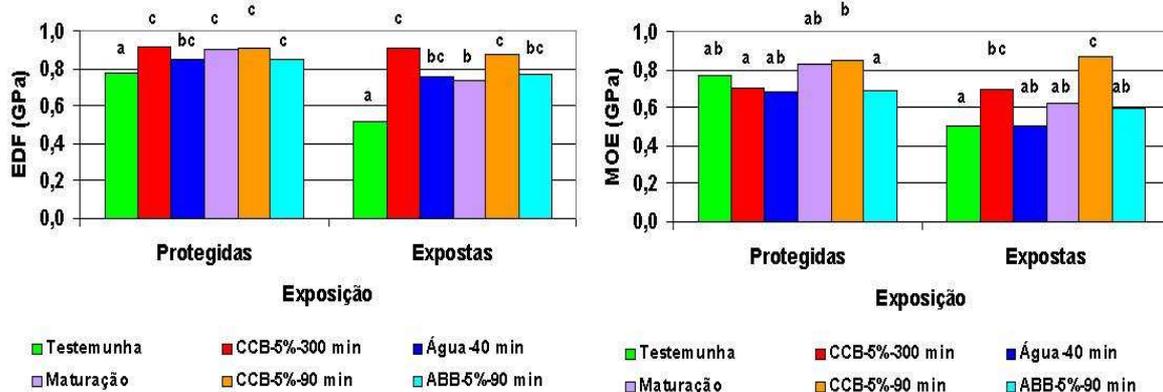


Figura 43: Comparação entre os tratamentos realizados e testemunhas – valores normalizados.

Conforme exibido na **Tabela 15** e nas **Figuras 42** e **43** tornou-se possível concluir que os melhores tratamentos foram aqueles realizados com o produto preservativo CCB. O tratamento natural de Cura na Moita apresentou um resultado satisfatório, sendo praticamente semelhante àquele obtido com o produto preservativo ABB.

5.5.3 Comparações das Testemunhas e Tempo Após o Corte

Realizou-se uma comparação somente com as taliscas testemunhas, pois, conforme descrito anteriormente, o experimento de testemunha foi efetuado utilizando-se o colmo inteiro, sendo este dividido em regiões basal, mediana e apical (item IV.3). A **Tabela 16** foi apresentada para verificar o argumento da literatura de que as regiões apicais e basais são mais suscetíveis aos ataques de agentes deteriorantes do que a região mediana do colmo. Em todas

as situações a região mediana apresentou melhores resultados, porém em alguns casos não se encontrou diferença estatisticamente significativa entre as diferentes partes dos colmos, conforme demonstrado na **Figura 44**.

Tabela 16 – Comparação entre as regiões do colmo testemunha – Método de Tukey HSD 95%.

Valores Reais						
	Região	ED Final (GPa)	Grupos	Região	MOE Final (GPa)	Grupos
Protegidas	TOPO	7,85	a	BASE	4,05	a
	MEIO	10,77	b	TOPO	4,14	a
	BASE	11,34	b	MEIO	5,65	b
Expostas	BASE	5,55	a	BASE	1,61	a
	TOPO	6,46	a	TOPO	2,69	ab
	MEIO	6,78	a	MEIO	3,55	b

Valores Normalizados						
	Região	ED Final	Grupos	Região	MOE Final	Grupos
Protegidas	TOPO	0,53	a	TOPO	0,55	a
	MEIO	0,78	b	BASE	0,73	b
	BASE	0,90	c	MEIO	0,77	b
Expostas	TOPO	0,43	a	BASE	0,34	a
	BASE	0,45	a	TOPO	0,35	a
	MEIO	0,49	a	MEIO	0,49	a

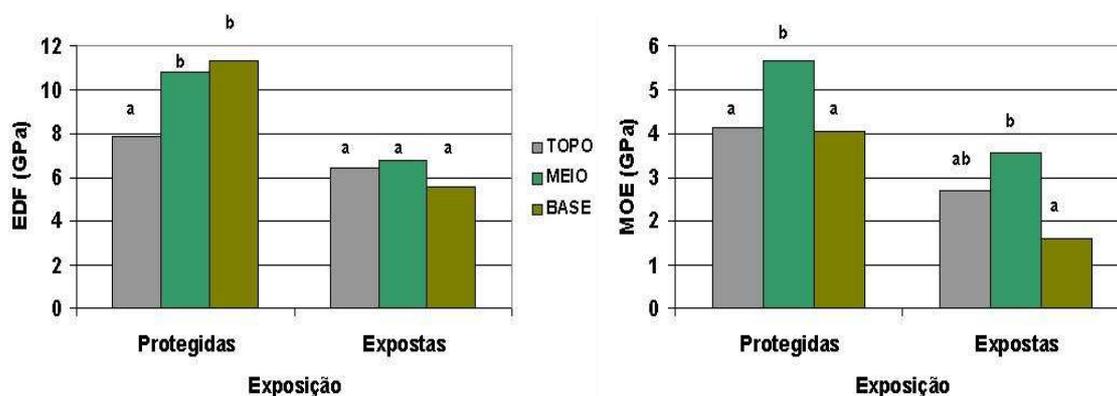


Figura 44: Influência da região do colmo nos resultados de ultra-som e flexão estática.

Na **Tabela 17** apresenta-se o efeito do tempo decorrido após o corte no tratamento dos colmos de bambu pelo método de Boucherie, sendo possível constatar o que é relatado na literatura, ou seja, de que quanto maior é o tempo decorrido após o corte do bambu para início do tratamento maior será o grau de dificuldade para penetração da solução preservativa pelos vasos, devido à secagem da seiva e à obstrução dos vasos que conduziriam a solução preservativa. Os resultados da **Tabela 17** mostram-se mais visíveis observando-se a **Figura 45**.

Tabela 17 –Efeito do tempo após o corte para o início do tratamento – Método de Tukey HSD 95%.

Valores Reais						
	Tratamento	ED Final (GPa)	Grupos	Tratamento	MOE Final (GPa)	Grupos
Protegidas	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	15,847	a	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	10,293	a
	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	21,220	b	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	10,856	ab
	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	22,163	bc	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	12,022	bc
	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	23,530	c	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	13,344	c
Expostas	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	13,582	a	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	9,609	a
	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	20,577	b	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	10,664	ab
	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	21,001	b	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	12,627	b
	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	21,576	b	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	12,689	b
Valores Normalizados						
	Tratamento	ED Final	Grupos	Tratamento	MOE Final	Grupos
Protegidas	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	0,761	a	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	0,704	a
	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	0,875	b	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	0,770	ab
	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	0,927	b	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	0,781	ab
	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	0,935	b	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	0,871	b
Expostas	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	0,657	a	CCB - 3d* - 5 % - 40 min	0,689	a
	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	0,849	b	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	0,730	a
	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	0,849	b	ABB - 3d* - 5 % - 40 min	0,808	a
	CCB - 0d* - 5 % - 40 min	0,869	b	ABB - 0d* - 5 % - 40 min	0,823	a

* 3 d = tratamento foi realizado 3 dias após o corte; 0 d = tratamento foi realizado no mesmo dia do corte.

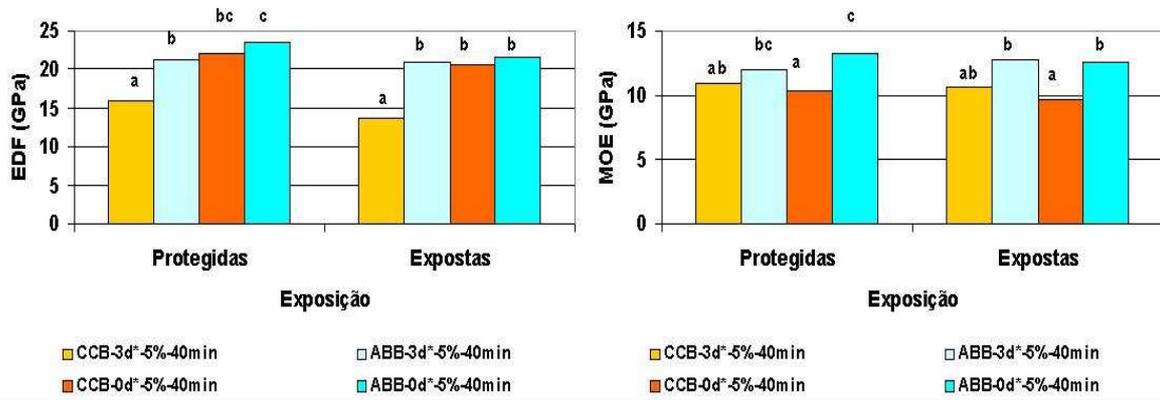


Figura 45: Influência da região do colmo nos resultados de ultra-som e flexão estática.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho pôde-se evidenciar a complexidade relativa ao tratamento do bambu, devido à ação de vários fatores, sendo partes deles não passíveis de serem controlados no experimento (idade exata do colmo, por exemplo). Desse modo, atendo-se às condições específicas sob as quais se desenvolveu o presente experimento, pôde-se avaliar a influência dos fatores referentes ao tratamento na integridade dos colmos avaliados por ultra-som e por flexão estática.

- Tipo de exposição dos colmos

Colmos colocados em ambiente protegido mostraram melhor desempenho mecânico do que aqueles colocados em ambientes expostos. Além da ação de diferentes organismos atuantes em cada tipo de exposição à qual os colmos foram expostos, destaca-se a possibilidade de que tenha havido lixiviação dos produtos químicos quando os colmos foram colocados em ambiente exposto, o que os tornou mais vulneráveis à ação de fungos e dos cupins;

- Produto utilizado

Os resultados indicaram o melhor desempenho mecânico de taliscas tratadas com a solução de ácido bórico (ABB), quando comparadas em situações similares, para o produto comercial borato de cromo cromatado (CCB). Porém, a análise visual e aquela obtida por meio da normalização dos resultados para cada colmo, sobretudo das taliscas expostas às intempéries, não evidenciou essa diferença;

- Concentração do produto

É muito importante obter-se a concentração ótima de um determinado produto, sob aspectos econômicos e tecnológicos. Os resultados obtidos evidenciaram a adequação da concentração 5% para os produtos utilizados (ABB e CCB). A concentração de 2% mostrou-se insuficiente para proteger as taliscas, ao passo que a concentração de 8% também não apresentou os resultados esperados, provavelmente devido à obstrução dos elementos

anatômicos do bambu, conforme relata a literatura quando as soluções apresentam concentrações da ordem de 10%;

- Duração do tratamento

Embora tratamentos com maior duração teoricamente poderiam ser mais eficientes, em termos da deposição dos produtos, aspectos relacionados à anatomia do colmo e à concentração da solução também interferem de forma acentuada. Não se observou de forma evidente a superioridade do tratamento aplicado durante 300 minutos ou de 90 minutos, em relação ao tratamento com 40 minutos;

- Período de exposição

Taliscas colocadas em ambiente protegido mostraram-se insensíveis ao período de exposição de até 13 meses. No entanto, taliscas expostas às intempéries mostraram uma perda em seu desempenho mecânico, geralmente a partir do 5º mês de exposição;

- Análise das soluções

A análise da absorvância da solução indicou um período de estabilização nessa propriedade a partir de 3 h de tratamento. No entanto, mesmo após essa duração de tratamento não se pode concluir que o colmo tenha sido tratado de forma homogênea em relação aos diferentes elementos anatômicos (vasos, feixes de fibras e células parenquimatosas). Observou-se uma tendência de que a concentração da solução efluente aumentasse com a duração do tratamento;

- Retenção de elementos químicos

Os valores obtidos (da ordem de 2,2 kg/m³) mostraram-se muito aquém daqueles relatados em literatura (de 8 kg/m³ a 12 kg/m³). No entanto, vários fatores atuam na eficiência do tratamento do bambu o que faz com que os resultados obtidos devam ser avaliados com precaução;

- Microscopia eletrônica de varredura – MEV

Na literatura considera-se a eficiência de um tratamento aplicado ao bambu (e às madeiras) apenas em termos da retenção global dos elementos químicos constituintes da solução preservativa. No entanto, de acordo com a observação de amostras em MEV, verificou-se que os elementos químicos (cromo e cobre) não se distribuem de forma homogênea, posicionando-se, de preferência, nos vasos de maior diâmetro. Pode-se imaginar a existência de poços de envenenamento, principalmente nos vasos das camadas mais internas (mais ricas em amido);

- Métodos adotados para avaliação do desempenho das taliscas

A inspeção visual, embora seja passível de ser utilizada quando da existência de ataques severos por caruncho ou cupim, não se mostra adequada para detectar a degradação causada por fungos, pois às vezes os ataques são apenas superficiais. Por outro lado, mesmo em taliscas severamente atacadas por caruncho ou cupim pode ocorrer ainda a existência de caminhos favoráveis à propagação de onda ultra-sônica. Isso faz com que os dois métodos aparentemente sejam conflitantes em seus diagnósticos. Embora o método do ultra-som tenha indicado sempre valores mais elevados do módulo de elasticidade em relação ao método da flexão estática, observou-se uma coerência entre ambos, quando da interpretação dos resultados obtidos;

- Eficiência dos tratamentos naturais

Os tratamentos naturais (cura por 1 mês na touceira e substituição da seiva apenas pela água) e os tratamentos químicos (ABB e CCB, a 5% de concentração, aplicados durante 90 min) mostraram-se superiores ao tratamento testemunho (sem nenhum tipo de tratamento);

- Tempo decorrido após o corte do colmo

Embora a quantidade de experimentos não tenha sido significativa, verificou-se a inadequação de efetuar-se o tratamento do colmo após 3 dias de seu corte, pois os elementos constituintes do CCB não puderam ser detectado na análise de retenção. Uma alternativa seria a de manter úmidos os colmos, por meio de imersão preliminar em uma lagoa, por exemplo;

- Durabilidade de acordo com as regiões do colmo

Apesar de a literatura indicar a porção mediana do colmo como a região mais suscetível ao ataque de agentes deteriorantes, neste experimento percebeu-se que a região mediana foi ligeiramente mais resistente aos ataques do que as regiões basal e apical.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aplicar os tratamentos a colmos cuja idade seja conhecida, visando eliminar a interferência da idade na eficiência do tratamento. Os colmos poderiam ser obtidos em manejo controlado (UNESP – Bauru), ou após serem preliminarmente selecionados por ensaio de ultra-som;
- Avaliar a perda do desempenho mecânico por meio de Ensaio Não Destrutivo, porém aplicando-se o ultra-som ao longo da direção da espessura da parede do colmo. Para tal torna-se necessário a adoção de sensores eletroacústicos de pequeno diâmetro e de maior frequência de ressonância (de 500 kHz ou de 1 MHz);
- Avaliar a eficiência do tratamento de taliscas submetidas ao tratamento por imersão, por meio da rastreabilidade dos elementos químicos ao longo dos elementos anatômicos do bambu.
- Testar produtos naturais (Nim, Tanino, água do mar) no dispositivo utilizado no presente trabalho.
- Avaliar preliminarmente o teor de amido nos colmos visando explicar a diferença de durabilidade entre eles.

8 ANEXOS

Tabela 18 – Diafragmas degradados em ambiente protegido.

DIAFRAGMA	TEMPO EXPOSIÇÃO	NOTA
ABB-8%-40min-Base	13	7
ABB-3d-5%-40min-Topo	13	0
ABB-3d-5%-40min-Base	13	7
CCB-2%-40min-Topo	13	7
CCB-5%-40min-Topo	13	7
Testemunha M-Meio	13	0
Testemunha P-Meio	13	0
Testemunha P-Base	13	0
Testemunha P-Topo	13	0
Água-40min-Topo	13	0
Água-40min-Base	13	4
Água-40min-Meio	13	0

Tabela 19 – Análise visual para as taliscas em ambiente exposto.

EXPOSTAS		CLASSIFICAÇÃO					TOTAL			CLASSIFICAÇÃO					TOTAL
TRATAM.	MESES EXP.	0	4	7	9	10		TRATAM.	MESES EXP.	0	4	7	9	10	
ABB 2% 40 min	0					3	3	CCB 5% 40 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		2					3	3
	5			1	1	1	3		5				1	2	3
	7			1		1	3		7					3	3
	9			3			3		9				1	2	3
	13	2	1				3		13					3	3
ABB 2% 90 min	0					3	3	CCB 5% 90 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2			1	1	1	3		2					3	3
	5			2		1	3		5					3	3
	7			2	1		3		7					3	3
	9			3			3		9			1		2	3
	13	3					3		13				1	2	3
ABB 5% 40 min	0					3	3	CCB 8% 40 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		2					3	3
	5				2	1	3		5				3		3
	7					3	3		7				3		3
	9			1	2		3		9			1	1		2
	13			1	2		3		13			1	1		2
ABB 5%	0					3	3	CCB 8%	0					3	3
	1					3	3		1					3	3

90 min	2			3	3	90 min	2			3	3
	5			2	2		5			3	3
	7		1	1	2		7			3	3
ABB 8% 40 min	0			3	3	ABB 3 d 5% 40 min	0			3	3
	1			3	3		1			3	3
	2			3	3		5		1	1	2
	5		1	2	3		7			1	1
	7			3	3		13		1	2	3
	9		1	1	2		2				
ABB 8% 90 min	13	1	2		3	CCB 3 d 5% 40 min	0			3	3
	0			3	3		1			3	3
	1			3	3		5		1	1	2
	2			1	2		7		2		2
ÁGUA 40 min	5			2	1	Maturação	0			3	3
	7		1	1	2		1			3	3
	0			3	3		2			3	3
1			3	3	5			1	1	1	3
5			3	3	7			2	1		3
CCB 2% 40 min	0			3	3		9		1	2	
	1			3	3	13		2	1		3
	2			3	3	Test. Basal	0			3	3
	5			3	3		1			3	3
	7			3	3		2		1	2	3
9		1	2	3	5			2	1	3	
13		3		3	7			3		3	
CCB 2% 90 min	0			3	3	Test. Mediana	0			3	3
	1			3	3		1			3	3
	2			2	1		2			3	3
	5		1	1	1		3		2	1	3
	7			2	1		3		2	1	3
	9			2	1		3		2		1
CCB 5% 300 min	13	1	1	1	3	13	2				2
	0			3	3	Test. Apical	0			3	3
	1			3	3		1			3	3
	2			3	3		2			3	3
	5			1	2		3		2	1	3
	7			1	2		3		1	1	2
9			3	3	TOTAL		8	38	34	61	212
13			3	3							

Tabela 20 – Análise visual para as taliscas em ambiente protegido.

PROTEGIDAS		CLASSIFICAÇÃO							CLASSIFICAÇÃO						
TRATAM.	MESES EXP.	0	4	7	9	10	TOTAL	TRATAM.	MESES EXP.	0	4	7	9	10	TOTAL
ABB 2% 40 min	0					3	3	CCB 5% 40 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		2					3	3
	5					3	3		5				1	2	3
	7				1	2	3		7				1	2	3
	9				1	2	3		9				1	2	3
	13				4	2	6		13				4	2	6
ABB 2% 90 min	0					3	3	CCB 5% 90 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2				1	2	3		2					3	3
	5					3	3		5					3	3
	7					3	3		7					3	3
	9				1	2	3		9					3	3
	13				2	4	6		13					6	6
ABB 5% 40 min	0					3	3	CCB 8% 40 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		2					3	3
	5					2	2		5					3	3
	7					3	3		7					3	3
	9					3	3		9					3	3
	13					7	7		13				1	5	6
ABB 5% 90 min	0					3	3	CCB 8% 90 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		2					3	3
	5					3	3		5					3	3
	7				1	2	3		7				1	2	3
	9					3	3		9					3	3
	13				2	4	6		13				1	5	6
ABB 8% 40 min	0					3	3	ABB 3 d 5% 40 min	0					3	3
	1					3	3		1					3	3
	2					3	3		5					3	3
	5					3	3	CCB 3 d 5% 40 min	13				1	2	3
	7					3	3		0					3	3
	9					3	3		1					3	3
	13					6	6		5					3	3
ABB 8% 90 min	0					3	3	Maturação	13			1	2		3
	1					3	3		0					3	3
	2					3	3		1					3	3
	5					3	3		2					3	3
	7					3	3		5					3	3
	9					3	3		7					3	3
	13				3	3	6		9					3	3
ÁGUA 40 min	0					3	3	13					6	6	
	1					3	3	Test. Basal	0					3	3
	5					3	3		1					3	3

	13		3	3		2		1	1	1	3	
B/C/2/40	0		3	3		5				3	3	
	1		3	3		7		1	2		3	
	2		3	3		9		1	1	1	3	
	5		3	3		13		1	5		6	
	7		3	3								
	9		1	2	3							
	13		4	2	6							
B/C/2/90	0		3	3	Test. Mediana	0				3	3	
	1		3	3		1				3	3	
	2		2	1		3	2			3	3	
	5		1	2		3	5		1	2	3	
	7		1	1		1	7			1	2	3
	9		3			3	9			1	2	3
	13		2	4		6	13		1	2	3	6
B/C/5/300	0		3	3	Test. Apical	0				2	2	
	1		3	3		1				3	3	
	2		2	1		3	2		1	2	3	
	5		2	1		3	5		2		1	3
	7		3			3	7			1	2	3
	9		2	1		3	9		1		2	3
	13		4	2		6	13		1	1	1	3
					TOTAL		2	3	11	77	347	440

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica. Especificação: NBR 8456, Rio de Janeiro. 1973. 25p.

AZZINI, A., CIARAMELLO, D., NAGAI, V., Número de feixes vasculares em três espécies de bambu. Campinas: **Bragantia**, 1977, v. 36, n. 7, p. 7-10.

AZZINI, A., SALGADO, A. L. B. **Possibilidades do bambu como matéria prima industrial**. In: I Congresso Mundial de Bambu Guadua, 1992. Pereira, Colômbia. Anais, p. 139-144.

BARBOSA, J. C. **Utilização do Bambu na Produção de Habitação de Interesse Social**. 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), USP, São Carlos.

BARBOSA, J. C., INO, A. **Utilização do Bambu na produção de habitação de interesse social – Compilação dos exemplos construtivos**. In: VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 1998, Florianópolis. Anais..., v. 4, p. 307-318.

BERALDO, A. L., AZZINI, A., ZULLO JR, J. **Características físicas, químicas e anatômicas de três espécies de bambus gigantes**. In: VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 1998, Florianópolis. Anais..., v. 4, p. 295-306.

BERALDO A. L.; AZZINI A.; CASCARDO C. R.; RIBEIRO C. A. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultra-som. In: Anais do III ENECS – Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos, SP. CD -ROM. 2003.

BERALDO A. L., AZZINI A. Bambu: características e aplicações. Livraria Editora Agropecuária. Guaíba, RS, 180p. 2004.

BRITO, J. O., TOMAZELLO FILHO, M., SALGADO, A. L. B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**. Piracicaba: IPEF, 1987, v.36, p. 13-17.

CENDOTEC – Centro Franco-Brasileiro de Documentação Técnica e Científica – França Flash, n 46, p 16 – abr/mai/jun 2006.

- FERREIRA, V. L. P., AZZINI, A., FIGUEIREDO, I. B., SALGADO, A. L. B., BARBIERI, M. K. **Avaliação do broto de espécies de bambu na alimentação humana**. Campinas: Coleção ITAL, 1986, v. 16, p. 23-36.
- GALVÃO, A.P.M. **Tratamento preservativo do bambu pelo método do banho frio**. In: E.S.A. Luiz de Queiroz, 1967. Piracicaba. Anais..., v. 24, p. 19-33.
- _____. **Métodos práticos para preservar a madeira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1975, 29 p.
- GHAVAMI, K. Bambu: um material alternativo na engenharia. **Engenharia**, 1992, v. 492, p. 23-27.
- GHAVAMI, K., MARINHO, A. B. **Propriedades mecânicas dos colmos de bambus das espécies: Mosó, Matake, Guadua angustifolia e Dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia**. Rio de Janeiro: PUC – RMNC-1, 2001. 53 p.
- GONÇALVES R. **Avaliação não destrutiva da madeira**. Notas de aula da disciplina AP-182 Estudo Dirigido, FEAGRI/UNICAMP. 2004.
- HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu- su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, Arquitetura, Ingeniería, Artesania**. Colômbia: Estudios Tecnicos Colombianos Ltda, 1974, 318 p.
- _____. **Bamboo: the gift of the Gods**. D´vinni Ltda, Bogotá, Colômbia. 2003. 553p.
- JANSENN, J. J. A. **Building with Bamboo**. 2nd ed. London, UK: Intermediate Technology Publications, 1995.
- KUMAR S.; DOBRIYAL P. B. Tratability classification of hardwoods. **Wood and Fiber Science**. 1993. v. 25, n.2, p. 192-197.
- KUMAR S.; SHUKLA K. S.; DEV T.; DOBRIYAL P. B. Bamboo preservation techniques: a review. International Network for Bamboo and Rattan. Indian Council of Forestry Education. 1994. 30p.
- LIESE, W. **Anatomy of bamboo**. In: Workshop Bamboo in Asia, 1980. Singapore. IUFRO, p. 161-164.
- _____. Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization. GTZ. 1985. 132p.
- _____. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: Memórias del Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Colômbia, CD-ROM, p. 20-30. 2004.

- LIMA JR, H. C., DALCANAL, P. R.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. **Determinação da resistência à tração e do módulo de elasticidade transversal do bambu *Dendrocalamus giganteus***. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXVIII, 1999, Pelotas, RS. Anais..., 6p.
- LIPANGILLE, T. N. **The use of bamboo as waterpipes**. In: International Bamboo Workshop, 1985, Hangzhou. **Anais... IRDC**, p. 315-320.
- MAOYI, F. **Bamboo and Rattan Development in China**. In: Research Institute of Subtropical Forestry CAF, China, 2004.
- NASCIMENTO A. M., STACHERA S. F., XAVIER L. M. Tratamentos preservantes aplicados ao *Bambusa tuldoides* (Munro). In: II Congresso Ibero-americano de pesquisa e desenvolvimento de produtos florestais e I Seminário em tecnologia da madeira e produtos florestais não-madeiráveis. CD-ROM, Curitiba, PR, 10p. 2002. Anais..
- OLIVEIRA, E. L. **Utilização do bambu como condutor de água para fins de irrigação: uma solução de baixo custo**. 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu.
- PEREIRA, M. A. R. **Viabilidade da utilização do bambu para fins de irrigação: aspectos técnicos**. 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu.
- SARTORI E.M., CARDOSO JUNIOR R. **Estudo da utilização do bambu em estruturas de concreto armado e na construção civil**. Campo Grande: UNIDERP, 1997. 20 p.
- SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SLOB, I. W.; NANGAWE, P. F.; LEER, E.; DONKER, J. **CCA Impregnation of bamboo leaching and fixation characteristics**. In: International Bamboo Workshop, 1985, Hangzhou. **Anais... IRDC**, p. 321-336.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e Números do Brasil Florestal. <www.sbs.org.br> , 14/02/2007.
- TAMOLANG; F. N.; LOPEZ, F. R.; SEMANA, J. A.; CASIN, R. F.; ESPILOY, Z. B. **Properties and utilization of Philippine Erect Bamboos**. In: Bamboo Research in Asia:

Proceedings of a Workshop held in Singapore, 1980, Ottawa, Canadá. Anais...Ottawa, Canadá, 1980, p.189-200.

TARGA, M. S. **Determinação de Parâmetros Hidráulicos e Avaliação Econômica de Tubos de Bambu Gigante (*Dendrocalamus giganteus*), para Utilização em Drenagem.** 1997. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TARGA L. A; BALLARIN A. W. **Características e Potencialidades de Uso do Bambu como Material de Construção no Meio Rural.** In: XIX CONBEA, Piracicaba. **Anais...**, Jaboticabal: SBEA, 1990, v.1, p. 54-59.

TARGA L.A.; BALARIM C. R.; BALLARIN A. W.; ZECA FILHO A. Preservação de postes de madeira de Pinus. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. 2001.v. 21, n. 2, p. 111-120.

WATANABE, M. Present status of bamboo industry in Japan. **Bamboo Journal**, Japão, n.9, p. 57-68, 1991.

WILLERDING A. L., VIANEZ B. F. Utilização de bórax por difusão no tratamento de preservação de lâminas de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.). **Revista Árvore**. Viçosa, MG. v. 27, n. 3, p.321-326. 2003.

ZECA FILHO A.; TARGA L. A. Tratamento preservativo de madeira (*Pinus oocarpa*) para uso como postes de linha de eletrificação. **Energia na Agricultura**. Botucatu, SP. v. 13, n. 4, p. 55-66. 1998.