



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
- Mestrado - Doutorado

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PARÂMETROS MI-
CROESTRUTURAIS E DE PROCESSO DE IM-
PREGNAÇÃO DE FLUIDOS EM COLMOS DE
*BAMBUSA VULGARIS***

por

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Para-
íba para obtenção do grau de Doutor.*

João Pessoa – Paraíba
Setembro de 2010

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PARÂMETROS MICROESTRUTURAIS E DE PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE FLUIDOS EM COLMOS DE
*BAMBUSA VULGARIS***

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Doutor.

ORIENTADOR: Ph.D. Sandro Marden Torres

**João Pessoa – Paraíba
Setembro de 2010**

S677a Sobrinho Júnior, Antônio da Silva.

Avaliação do efeito de parâmetros microestruturais e de processo de impregnação de fluidos em colmos de bambusa vulgaris / Antônio da Silva Sobrinho Júnior.- João Pessoa, 2010.

126f. : il.

Orientador: Sandro Marden Torres

Tese (Doutorado) – UFPB/CT

1. Engenharia Mecânica. 2. Bambu (Bambusa vulgaris) – utilização – construção. 2. Bambu – microestrutura. 3. Bambu – absorção – impregnação. 4. Bambu – propriedades.

UFPB/BC

CDU: 621(043)

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PARÂMETROS MICROESTRUTURAIS E DE PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE FLUIDOS EM COLMOS DE *BAMBUSA VULGARIS*

por

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

Tese aprovada em 30 de Setembro de 2010

*Sandro Marden Torres, Prof. Ph.D., UFPB
(Orientador)*

*Silvio Romero de Barros, Prof. Dr., UFPB
(Examinador Interno)*

*Rodinei Medeiros Gomes, Prof. Dr., UFPB
(Examinador Interno)*

*Normando Perazzo Barbosa, Prof. Dr., UFPB
(Examinador Externo)*

*Aluisio Braz de Melo, Prof. Dr., UFPB
(Examinador Externo)*

*Ulisses Targino Bezerra, Prof. Dr., IFPB
(Examinador Externo)*

Dedico a ti Senhor, que me deste o dom da vida e me deste força, sabedoria e perseverança para superar todas as dificuldades para chegar a realização de mais este sonho. Agradeço-te por seres presente e constante na minha vida e tenho certeza de que estarás sempre ao meu lado, me protegendo e abençoando, agora em busca de novas realizações.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser muito importante e presente na minha vida e por sempre me dar força, sabedoria e paz para enfrentar todos os obstáculos.

Ao Professor, orientador e amigo Sandro Marden Torres, pelas idéias, confiança e a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Ao Professor Normando Perazzo Barbosa, pelos ensinamentos transmitidos, dedicação, colaboração e amizade.

Ao Professor José Gonçalves, pela grande ajuda na confecção da máquina de impregnação de fluidos.

Ao Professor Silvio de Barros, pela paciência, amizade e contribuição na pesquisa.

Ao Professor Ulisses Targino Bezerra, pela grande amizade e dicas na elaboração da tese.

A minha esposa, Rilávia, por ser o grande amor da minha vida, e por dar-me carinho e incentivo na realização deste trabalho.

A minha filha Lara Sophia, que ainda não nasceu, mas já é muito amada e esperada por mim e por minha esposa.

Aos meus pais Antônio Sobrinho e Maria Helena, pelo carinho, incentivo, e principalmente por serem os alicerces da minha vida. Tenho muito orgulho de ser filho de vocês.

Aos meus irmãos André e Andréa, pela admiração e torcida para realização deste objetivo e aos meus sobrinhos, Neto e Maria Júlia, por serem fontes de alegria imensa em minha vida.

A todos os meus familiares, em especial aos meus sogros, Orlando e Socorro, meus pais de coração, Dagoberto e Graça, e aos meus cunhados Júnior, Ruceline e Jordana por sempre estarem ao meu lado.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, que com seus ensinamentos contribuíram de forma efetiva para o meu crescimento profissional.

A todos os funcionários do LABEME, em especial a Ricardo, Delby, Sebastião, Sérgio, André, Elisabete e Zito pela ajuda na parte experimental da tese.

Aos colegas de Pós-Graduação e iniciação científica, pela amizade, apoio nas horas de estudos, incentivo nas horas de desânimo e pela ajuda no desenvolvimento da minha pesquisa: Elisângela, Andressa, Marcilene, Cristiane, Kaline, Juarês, Marília, Soênia, Primo, Salustiano, Silvana, Daniele e Valkisfran, e de forma especial aos meus grandes amigos Sóstenes e Kelly.

A todos da Prefeitura Universitária, em especial a Alan, Thiago, Alessandra, William, Francisco Júnior e Alessandro, pelo suporte nas horas necessárias e principalmente pelos grandes laços de amizade formados durante esse tempo de convivência.

A todos os meus amigos que torceram, rezaram e me ajudaram nessa longa caminhada, em especial aos meus grandes irmãos Otávio e Wilson.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho e que acreditaram na minha capacidade de realizar mais esse sonho.

SUMÁRIO

Resumo.....	i
<i>Abstract</i>	ii
Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tabelas.....	ix
CAPÍTULO 1-INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2- REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1- O bambu como material estrutural.....	5
2.2- Pisos laminados e placas compósitas de bambu.....	10
2.3- Propriedades físicas e geométricas.....	13
2.3.1- Propriedades físicas.....	13
2.3.2- Propriedades geométricas.....	14
2.4 – Propriedades mecânicas.....	17
2.5- Vantagens e limitações do bambu.....	19
2.6- Aderência com o concreto.....	21
2.7- Durabilidade das estruturas de bambu.....	23
2.8-Tratamentos preservativos.....	25
2.8.1-Tratamentos naturais.....	25
2.8.2-Tratamentos com produtos químicos.....	27
CAPÍTULO 3- MICROESTRUTURA DO BAMBU.....	31

3.1- Microestrutura do bambu.....	31
3.2- Técnicas de caracterização microestrutural do bambu.....	34
CAPÍTULO 4- MATERIAIS E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
4.1 - Materiais.....	40
4.1.1- Bambu.....	40
4.1.2- Fluidos.....	40
4.1.3- Materiais diversos.....	40
4.2- Planejamento experimental.....	40
4.2.1- 1ª fase.....	42
4.2.2- 2ª fase.....	44
4.2.3- 3ª fase.....	46
4.2.4- 4ª fase.....	51
4.3- Tratamento estatístico.....	52
CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1- Caracterização geométrica do bambu.....	53
5.2- pH do bambu.....	53
5.3 – Caracterização microestrutural.....	56
5.3.1- Otimização e desenvolvimento de um tratamento de preparação superficial para observação da microestrutura do bambu.....	56
5.3.2 – Quantificação dos tecidos do bambu, diâmetro e área do metaxilema..	63
5.4 – Avaliação da capacidade de absorção do bambu.....	73
5.4.1- Massa específica e viscosidade dos fluidos.....	73

5.4.2- Absorção de fluidos nos bambus por imersão.....	74
5.5- Otimização de parâmetros de bombeamento no processo de impregnação de fluidos em colmos de <i>Bambusa vulgaris</i>	84
5.5.1- Tempo da 1ª gota.....	88
5.5.2- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido.....	92
5.5.3- Variável de resposta (Y).....	95
5.6- Resistência à compressão e módulo de elasticidade.....	96
CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES.....	101
6.1- Conclusões.....	101
6.2- Sugestões para pesquisas futuras.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
APÊNDICES.....	118

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PARÂMETROS MICROESTRUTURAIS E DE PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE FLUIDOS EM COLMOS DE *BAMBUSA VULGARIS*

RESUMO

O interesse pela utilização de bambu na área da construção está crescendo em todo o mundo. Isto pode ser atribuído às suas boas propriedades de engenharia, bem como o fato de se tratar de uma fonte renovável. Na região Nordeste, o *Bambusa vulgaris* é a espécie mais comum. O objetivo da pesquisa é avaliar os parâmetros de impregnação do bambu com diversos fluidos visando à melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade. Desta forma, foi necessário avaliar a microestrutura do bambu, para que pudesse ser observada a possibilidade de impregnação desses fluidos. Vários tratamentos de preparação das amostras foram testados para uma melhor caracterização da estrutura porosa do bambu através de microscopia ótica, tendo sido escolhido o ataque por uma solução de FAA (4 % de formaldeído, 5 % de ácido acético, 50 % de álcool etílico). Os tecidos do bambu (parênquima, fibras e vasos) foram quantificados e analisados através de uma ferramenta de reconhecimento de imagens de microscopia ótica. De forma geral o bambu maduro apresentou 51,45 % de parênquima, 38,75 % de fibras e 9,73 % de vasos. Já o verde apresentou 57,64 % de parênquima, 33,55 % de fibras e 8,81 % de vasos. A absorção dos colmos também foi avaliada por meio da variação da massa com o tempo. A capacidade de absorção de bambu foi avaliada para diferentes fluidos, ao longo do tempo. A ordem de grandeza da absorção é de 5 % a 10 %, independentemente do fluido utilizado. A absorção do bambu variou com a massa específica e viscosidade dos fluidos. O pH dos colmos verdes e maduros foi determinado, variando entre 5,72 a 6,61. Foram projetadas duas máquinas de impregnação de fluidos baseadas no método Boucherie, uma para resina e a outra para os demais fluidos. Foram estudados vários parâmetros no processo de impregnação de fluidos no bambu, que são os seguintes: viscosidade e massa específica do fluido (água destilada, óleo 20 W e óleo 40 W), pressão de impregnação, tempo de corte do bambu (recém-cortado e após 7 dias de corte), tipo de secagem (estufa a 50°C e ao ar livre) e as propriedades geométricas do bambu (massa inicial e final, massa específica inicial e final, volume, diâmetro externo, interno e espessura da parede). As variáveis de resposta do ensaio de impregnação foram: tempo da 1ª gota e tempo para atravessar 20 g de fluido. Foi feita uma análise estatística, em que se observaram quais variáveis independentes influenciaram significativamente nas variáveis de resposta. Observou-se que é possível impregnar fluidos de diversas viscosidades, devido principalmente a estrutura porosa do bambu que é em torno de 10%. A utilização da máquina se mostrou benéfica para este processo, pois a introdução de pressão provocou uma rápida impregnação e também um bom desenvolvimento de fluxo. Após a avaliação dos parâmetros microestruturais e de impregnação, os bambus foram impregnados com uma resina e foram avaliadas algumas propriedades mecânicas. Os bambus impregnados com resina tiveram uma maior resistência à compressão, módulo de elasticidade e uma maior durabilidade do que os bambus in natura.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu, microestrutura, absorção, impregnação, propriedades mecânicas.

EVALUATION OF THE EFFECT OF MICROSTRUCTURAL PARAMETERS AND PROCESS OF FLUID IMPREGNATION IN CULMS OF *BAMBUSA VULGARIS*

ABSTRACT

The interest of the use of Bamboo in the field of construction is growing around the world. This can be attributable to its good engineering properties as well as the fact that it comes from a renewable source. In the North-eastern, *Bambusa vulgaris* is the most common type. The aim of the research is to evaluate the parameters of impregnation of the bamboo with diverse fluids aiming at to the improvement of the mechanical properties and durability. In this way, it was necessary to evaluate the microstructure of the bamboo, so that the possibility of impregnation of these fluids can be observed. Some treatments of sample preparation had been tested for one better characterization of the porous structure of the bamboo through optic microscopy, having been chosen the attack for a FAA solution (4% of formaldehyde, 5% of acetic acid ascetic, 50% of ethylic alcohol). The constituents of the bamboo (parenchyma, fibers and vases) has been quantified and analyzed through a tool of recognition of images of optic microscopy. Of general form the mature bamboo presented 51.45% of parenchyma, 38.75% of fibres and 9.73% of vases. Already the young presented 57.64% of parenchyma, 33.55% of fibres and 8.81% of vases. The absorption of the culms was also evaluated by means of change in mass with time. The bamboo absorption capacity was assessed for different fluids along the time. The order of magnitude of the absorption is of 5 the 10%, independently of the used fluid. The absorption of the bamboo varied with the specific mass and viscosity of fluids. The pH of the young and a mature bamboo was determined, varying enters 5,72 the 6,61. Two machine of fluid impregnation was projected based in the Boucherie method, one for resin and to another one for the other fluid. Some parameters in the process of fluid impregnation had been studied in the bamboo, that is the following ones: viscosity and density of the fluid (distilled water, oil 20W and oil 40W), pressure of impregnation, time of harvesting of the bamboo (immediatly after harvesting and 7 days after harvesting), type of drying (greenhouse 50°C and to the outdoors) and geometric properties of the bamboo (initial and final mass, initial and final specific mass, volum, external, internal diameter and thickness of the wall). The variable of reply of the impregnation assay had been: time of fist drop, outflow and time to cross 20 g of fluid. An analysis was made statistics, where if it observed which independent variable had influenced significantly in the reply variable. It was observed that it is possible to impregnate fluid of diverse viscosities, mainly had the porous structure of the bamboo that is around 10%. The use of the machine if showed beneficial for this the process, therefore the pressure introduction also provoked a fast impregnation and a good development of flow. After the evaluation of the microstructural parameters and impregnation, the bamboos had been impregnated with a resin and evaluated some mechanical properties. The bamboos impregnated with resin had a bigger compressive strength, modulus of elasticity and a bigger durability of what the bamboos without treatment.

KEY WORDS: Bamboo, microstructure, absorption, impregnation, mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Centro de origem dos bambus (CONBAM, 2007).....	2
Figura 2.1 – Casa de bambu construída em 1880, na cidade de Manizalles, Colômbia (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).....	6
Figura 2.2 – Palácio de Viceroy Amat em Lima, Peru, onde os pilares são feitos de bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).....	6
Figura 2.3 - Taj Mahal, Índia (ENVOCARE, 2007).....	6
Figura 2.4 - Pilares de bambu apoiados em bases de concreto na Colômbia (TEIXEIRA, 2006).....	7
Figura 2.5- (a) Estrutura de bambu criada pelo arquiteto Simon Vélez, na Colômbia (TEIXEIRA, 2006); (b) Estrutura de bambu criada pelo arquiteto Guillermo Holguin, na Colômbia (HIDALDO-LÓPEZ, 2003).....	7
Figura 2.6 - (a) Laje feita de bambu em edificação de dois pavimentos (TEIXEIRA, 2006); b) Laje de bambu sendo concretada após tratamento (NAVARRO e GHAVAMI, 2006).....	8
Figura 2.7 - Trelça de bambu construída na Universidade Federal da Paraíba (MEYER <i>et al.</i> , 2006).....	8
Figura 2.8 – (a)Vista das habitações do Projeto Malabar, Manizales, Colômbia (TEIXEIRA, 2006); (b) Habitações pré-fabricadas de bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).....	9
Figura 2.9 –(a) e (b) Painéis de bambu de diferentes formas usados em construções na Indonésia (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).....	9
Figura 2.10 – (a) Ponte de bambu em Amsterdã (VAN DER LUGT <i>et al.</i> , 2006); (b) Ponte de bambu com vão de 30 m, na Europa (HIDALGO-LÓPEZ, 2003)...	9
Figura 2.11 – (a) (CHUNG e YU, 2002); b) (YU <i>et al.</i> , 2005); c) (YU <i>et al.</i> , 2003) -Andaimes de bambu em Hong Kong.....	10
Figura 2.12 – (a) Piso laminado feito de bambu (TEIXEIRA, 2006); (b) Piso de bambu projetado para a pesquisa (OLIVEIRA e PAEZ, 2006).....	11
Figura 2.13- (a) e (b) Móveis de bambu (BRAGA FILHO, 2004).....	11
Figura 2.14- Corte longitudinal do colmo (LIESE, 1992; FERREIRA, 2005).	13
Figura 2.15- Ferramentas simples para o manuseio do bambu (HIDALGO-	19

LÓPEZ, 1981).....	
Figura 2.16 - (a) a (c) – Interação entre uma ripa de bambu não tratada e o concreto (FERREIRA, 2005; GHAVAMI, 2001).....	21
Figura 2.17 - Pull-out para corpos de prova bambu-concreto (GHAVAMI, 2005)	22
Figura 2.18.- Durabilidade do bambu e do aço como reforço em elementos de concreto. (a) Reforço de bambu em uma viga ensaiada exposta ao ar aberto após 15 anos. (b) Reforço de aço de uma coluna no túnel do metrô após 10 anos em área fechada (GHAVAMI, 2005).....	24
Figura 2.19- Cura do Bambu por Imersão (CONBAM, 2007).....	26
Figura 2.20 - Cura pelo método de banho quente e frio (TEIXEIRA, 2006)...	26
Figura 2.21 - Tratamento por fumigação (CONBAM, 2007).....	27
Figura 2.22 - Aplicação do método Boucherie em varas de bambu. (TEIXEIRA, 2006).....	28
Figura 2.23- Equipamento para tratamento pelo método Boucherie modificado (PEREIRA, 2001).....	29
Figura 3.1 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Phyllostachys heterocycla pubescens</i> (GHAVAMI e MARINHO, 2003)	31
Figura 3.2 – Células parenquimáticas do gênero <i>Phyllostachys</i> , com inclusões de amido (LIESE, 1998).....	32
Figura 3.3- Feixes fibro-vasculares no bambu (LIESE, 1998).....	33
Figura 3.4- Detalhe dos conjuntos vasculares do bambu (LO <i>et al.</i> , 2004).....	33
Figura 3.5- Tipos de conjuntos vasculares do bambu (MARTINS GOMES <i>et al.</i> , 2004).....	35
Figura 3.6- Classificação da imagem exemplo: (a) imagem exemplo original; (b) classificação com a separação em camadas; (c) codificação pictórica das classes.	36
Figura 3.7 – Seção longitudinal do colmo do bambu <i>Guadua angustifolia</i>	36
Figura 3.8- Conjunto vascular do <i>Guadua angustifolia</i>	36
Figura 3.9 - Seção transversal de uma amostra de bambu.....	37
Figura 3.10- microestrutura do bambu obtida num MEV.....	37

Figura 3.11- Conjunto vascular fraturado, mostrando as fibrilas.....	38
Figura 3.12 –Feixes vasculares obtidos num MEV.....	38
Figura 4.1 – Planejamento experimental.....	41
Figura 4.2- Medição do pH nos bambus. (a) Pó de bambu passado na peneira nº40; (b) Mistura da solução (água destilada + pó de bambu); (c) Amostras em repouso e (d) Medição do pH com o pHmetro.....	43
Figura 4.3- Corpos de prova para ensaio de absorção por imersão.....	45
Figura 4.4 – 1ª máquina de impregnação de fluidos no bambu.....	46
Figura 4.5 –Cilindro de 100 mm.....	47
Figura 4.6 – Canais independentes de alimentação de fixação.....	47
Figura 4.7 – Cesto para aplicação de pressão na máquina.....	48
Figura 4.8 – Manômetro situado na parte inferior do cilindro.....	49
Figura 4.9 – 2ª máquina de impregnação. (a) Máquina de impregnação e suas co- nexões; (b) Vista superior da máquina, mostrando o cilindro pneumático e o botão de acionamento da válvula pneumática; (c) Compressor e (d) Suporte metálico para a fixação do bambu.....	50
Figura 4.10 – Corpos de prova de bambu para ensaio à compressão.....	51
Figura 4.11- Ensaio de resistência à compressão. (a) Início do ensaio e (b) ruptura do corpo de prova.....	52
Figura 5.1- pH do bambu recém-cortado. (a) Verde e (b) Maduro.....	54
Figura 5.2- pH do bambu após 7 dias de corte. (a) Verde e (b) Maduro.....	55
Figura 5.3 - Microestrutura do bambu obtida no microscópio ótico através de vá- rios tratamentos de preparação da amostra.....	58
Figura 5.4- (esq.) Imagens de microscopia ótica de diferentes seções do colmo; (meio) Diagrama das seções de corte; (dir.) <i>Bambusa vulgaris</i> na touceira. amido (LIESE, 1998).....	59
Figura 5.5 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal da base dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa	60

do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal.....	
Figura 5.6 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal da parte média dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal ; (d) Estrutura vascular do bambu.....	61
Figura 5.7 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal do topo dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal; (d) Estrutura vascular do bambu.....	62
Figura 5.8- Percentual dos tecidos na base, média e topo do <i>Bambusa vulgaris</i> maduro.....	63
Figura 5.9- Percentual dos tecidos na base, média e topo do <i>Bambusa vulgaris</i> verde.	63
Figura 5.10 – Porcentagem dos vasos nos bambus verdes e maduros de acordo com a altura de corte.....	64
Figura 5.11 - Percentual total dos tecidos do <i>Bambusa vulgaris</i> maduro e verde....	65
Figura 5.12- Representação esquemática da seção transversal do bambu.....	65
Figura 5.13- Variação dos tecidos ao longo da seção transversal do bambu maduro.	66
Figura 5.14- Variação dos tecidos ao longo da seção transversal do bambu verde...	66
Figura 5.15 – Distribuição das quantidades médias de parênquima, fibras e vasos na base, média e topo dos bambus.....	68
Figura 5.16 - Distribuição das quantidades médias de parênquima, fibras e vasos nas amostras analisadas para bambus verdes e maduros.....	68
Figura 5.17 – Distribuição das concentrações médias de vasos no bambu (externa, intermediária e interna).....	69
Figura 5.18– Distribuição das concentrações médias de vasos nas partes do bambu (base, média e topo).....	70
Figura 5.19- Distribuição do diâmetro médio do metaxilema (parte externa, intermediária e interna).....	70
Figura 5.20 - Distribuição da área média do metaxilema (parte externa, intermediária e interna).	71

Figura 5.21- Distribuição do diâmetro médio do metaxilema na base, média e topo do bambu.....	71
Figura 5.22- Distribuições da área do metaxilema e do floema/protoxilema.....	72
Figura 5.23 - Percentual de Absorção x Tempo de imersão segundo os vários tipos de fluido.....	73
Figura 5.24- Absorção do bambu x Tempo de imersão.....	74
Figura 5.25- Absorção do bambu x Idade do bambu.....	76
Figura 5.26- Absorção do bambu x Tempo de corte do bambu.....	76
Figura 5.27- Absorção do bambu x Seção do colmo.....	76
Figura 5.28- Absorção do bambu x Massa específica do fluido.....	77
Figura 5.29- Percentual de absorção do bambu x Viscosidade do fluido.....	77
Figura 5.30- Absorção do fluido x Tempo de imersão segundo os vários tipos de fluido.....	79
Figura 5.31- Tempo de imersão x Absorção do bambu.....	80
Figura 5.32- Tipo de secagem x Absorção do bambu.....	80
Figura 5.33 - Tempo de corte do bambu x absorção do bambu.....	81
Figura 5.34- Massa específica do fluido x Percentual de absorção do bambu.....	81
Figura 5.35- Viscosidade do fluido x Percentual de absorção do bambu.....	81
Figura 5.36- Percentual de absorção x Tempo de corte do bambu.....	83
Figura 5.37- Percentual de absorção x Tipo de secagem do bambu.....	84
Figura 5.38 – Bambu impregnado com água através dos seus vasos.....	85
Figura 5.39- Bambu impregnado com o óleo 20 W.....	86
Figura 5.40- Bambu impregnado com o óleo 40 W.....	86
Figura 5.41- Tempo da 1ª gota x Viscosidade do fluido.....	89
Figura 5.42 - Tempo da 1ª gota x Massa específica do fluido.....	89

Figura 5.43 - Tempo da 1ª gota x Pressão.....	90
Figura 5.44 - Tempo da 1ª gota x Tempo de corte do bambu.....	90
Figura 5.45- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Viscosidade.....	93
Figura 5.46- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Massa específica do fluido.....	93
Figura 5.47- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Pressão.....	93
Figura 5.48- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Tempo de corte.....	94
Figura 5.49- Bambu impregnado com a resina.....	96
Figura 5.50- Vasos do bambu impregnados com resina.....	97
Figura 5.51 – Durabilidade dos bambus in natura e impregnado após 60 dias de corte.....	98
Figura 5.52 - Resistência à compressão do bambu X Tratamento.....	99
Figura 5.53 – Módulo de elasticidade do bambu X Tratamento.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dimensões e massa de colmos de diversas espécies de bambu (valores médios).....	15
Tabela 2.2 - Propriedades geométricas de bambus estudados Na PUC-Rio.....	16
Tabela 2.3 - Propriedades mecânicas de bambus diversos.....	18
Tabela 2.4 - Consumo energético por material (BARROS e SOUZA, 2004).....	19
Tabela 2.5 - Resistência à tração – peso específico (SÁNCHEZ CRUZ, 2002).....	20
Tabela 5.1- Propriedades físicas médias do <i>Bambusa vulgaris</i>	53
Tabela 5.2- Tratamentos superficiais.....	56
Tabela 5.3- Variação do diâmetro do metaxilema no <i>Bambusa vulgaris</i> Maduro (μm).....	67
Tabela 5.4- Variação do diâmetro do metaxilema no <i>Bambusa vulgaris</i> verde (μm).....	67
Tabela 5.5- Resultado do teste de comparação para diferenças entre Área do metaxilema x Área do floema/protoxilema.....	72
Tabela 5.6 - Massas específicas e viscosidades dos fluidos.....	73
Tabela 5.7- Correlação entre o percentual de absorção do bambu e as variáveis.....	75
Tabela 5.8 - Modelo Inicial ajustado para o percentual de absorção do bambu.....	78
Tabela 5.9 - Modelo Final ajustado para o percentual de absorção do bambu.....	78
Tabela 5.10 - Modelo Inicial ajustado para o percentual de absorção do fluido.....	82
Tabela 5.11 - Modelo Final ajustado para o percentual de absorção do fluido.....	82
Tabela 5.12- Medidas dos parâmetros quantitativos (min., máx., média, mediana)..	85
Tabela 5.13- Correlação entre o tempo da 1ª gota e as variáveis significativas segundo os modelos de análise variância aplicados.....	89
Tabela 5.14 - Modelo final ajustado para Tempo da 1ª gota.....	91
Tabela 5.15- Correlação entre o tempo médio para atravessar 20 g de fluido e as variáveis significativas segundo os modelos de análise variância aplicados.....	92

Tabela 5.16- Modelo final ajustado para o tempo médio para atravessar 20 g de fluido.....	94
Tabela 5.17 - Modelo final ajustado para a variável resposta Y.....	95
Tabela 5.18 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade do bambu com dois tratamentos.....	97
Tabela 5.19 - Modelo ajustado para Resistência à compressão do bambu.....	99
Tabela 8.1- ANOVA da quantidade média de Parênquima x Parte do bambu.....	118
Tabela 8.2- ANOVA da quantidade média de Fibras x Parte do bambu.....	118
Tabela 8.3- ANOVA da quantidade média de Vasos x Parte do bambu.....	118
Tabela 8.4- ANOVA de quantidade média de Parênquima x Bambu verde ou maduro.....	118
Tabela 8.5- ANOVA de quantidade média de Fibras x Bambu verde ou maduro....	119
Tabela 8.6- ANOVA de quantidade média de Vasos x Bambu verde ou maduro....	119
Tabela 8.7- ANOVA da concentração média de Vasos x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).....	119
Tabela 8.8- ANOVA da Concentração média de Vasos x Parte do bambu (base, média e topo).....	119
Tabela 8.9- ANOVA de Variações do diâmetro do metaxilema x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).....	119
Tabela 8.10- ANOVA de Variações da área do metaxilema x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).....	120
Tabela 8.11-ANOVA do Diâmetro do metaxilema x Parte do bambu (base, média e topo).....	120
Tabela 8.12 - ANOVA da absorção do bambu x Tempo de imersão.....	121
Tabela 8.13 - ANOVA da absorção do bambu x Tempo de corte do bambu.....	121
Tabela 8.14 - ANOVA da absorção do bambu x Seção do colmo do bambu.....	121
Tabela 8.15 - ANOVA da absorção do bambu x Massa específica do fluido.....	121
Tabela 8.16 - ANOVA da absorção do bambu x Viscosidade do fluido.....	121

Tabela 8.17 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Tempo de imersão.	121
Tabela 8.18 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Massa específica do fluido.....	122
Tabela 8.19 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Viscosidade do fluido.....	122
Tabela 8.20 - ANOVA de Tempo da 1ª gota x Viscosidade do fluido.....	123
Tabela 8.21- ANOVA de Tempo da 1ª gota x Massa específica do fluido.....	123
Tabela 8.22- ANOVA de Tempo da 1ª gota x Pressão aplicada ao bambu.....	123
Tabela 8.23 - ANOVA de Tempo da 1ª gota x Tempo de corte do bambu.....	123
Tabela 8.24- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Viscosidade.....	123
Tabela 8.25- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Massa específica do fluido.....	124
Tabela 8.26- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Pressão..	124
Tabela 8.27- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Tempo de corte.....	124
Tabela 8.28 - MANOVA da variável resposta (Y) x Viscosidade do fluido.....	124
Tabela 8.29 - MANOVA da variável resposta (Y) x Massa específica do fluido...	124
Tabela 8.30 - MANOVA da variável resposta (Y) x Pressão.....	125
Tabela 8.31- ANOVA de Resistência à compressão X Tratamento.....	126
Tabela 8.32- ANOVA de Módulo de elasticidade x Tratamento.....	126

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

A escassez habitacional nos países em desenvolvimento motiva pesquisas com materiais de baixo custo e que consumam menos energia, de forma que possam ser aplicados na construção civil (GHAVAMI *et al.*, 2003). O desenvolvimento e aplicação de materiais de baixo custo e reduzido consumo de energia na engenharia civil tem se tornado uma necessidade básica atual. Os materiais industrializados, também chamados convencionais, apesar de suas boas características, mobilizam vastos recursos financeiros e consomem muita energia no seu processo de fabricação (GHAVAMI, 2001).

Com a crescente preocupação com o impacto ambiental do uso destes insumos convencionais, novas estratégias têm buscado desenvolver materiais amigáveis ao ambiente, cujas fontes possam ser renováveis ou recicláveis. A fabricação do cimento Portland, matriz constituinte do concreto, e a produção do aço são tradicionalmente reconhecidas como grandes poluidoras da atmosfera, além de causarem um grande impacto na região onde se localizam suas jazidas. Por exemplo, a produção de cimento Portland é responsável sozinha pela emissão de quase 10 % de todo o gás carbônico emitido pela produção humana (SHARP e LAWRENCE, 1999).

Um dos desafios do século atual está na necessidade de se obterem materiais de construção com baixo consumo de energia, duráveis e ecológicos, capazes de atenuar o déficit habitacional, principalmente nos países em desenvolvimento. Os materiais naturais como os resíduos agrícolas (casca de arroz), fibras vegetais (*pinus e eucalypto*) e também resíduos industriais como areia de fundição, escória de alto forno estão sendo amplamente estudados devido a vários fatores tais como: impacto ambiental, economia no consumo de energia e conservação de recursos naturais (FERREIRA *et al.*, 2006).

Além destes materiais, existe ainda o bambu, que é um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam um grande potencial a ser explorado pela engenharia. Segundo o Conbam (2007), existem no mundo aproximadamente 1600 espécies distribuídas em 121 gêneros (25 herbáceos e 96 lenhosos). Geograficamente (Figura 1.1), essas espécies são encontradas nos trópicos, subtropicos e áreas temperadas de todos os continentes, exceto na Europa onde não existem espécies nativas (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). A distribuição continental aproximada do bambu é a seguinte: 67 % na Ásia e Oceania, 3 % na África e 30 % nas Américas (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). O Brasil é o

país com maior diversidade nas Américas, reúne 81 % dos gêneros, porém o uso desse material ainda é incipiente.

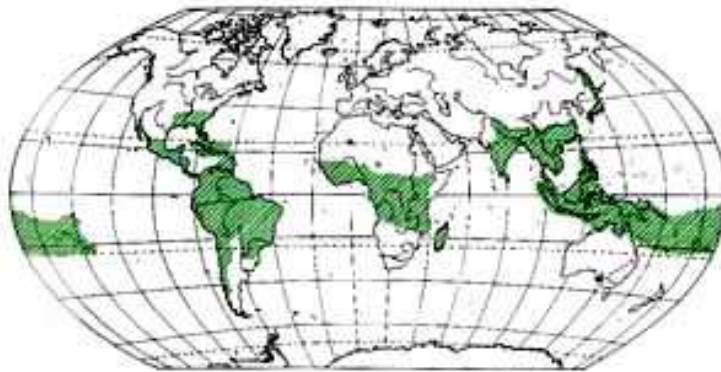


Figura 1.1- Centro de origem dos bambus (CONBAM, 2007).

A possibilidade de utilização do bambu como reforço no concreto vem sendo estudada por diversos pesquisadores, desde o início do século passado (LIMA JR. et al., 2005b). A possibilidade de este material servir como uma alternativa viável em sistemas de construção se dá, principalmente, pela sua grande capacidade de resistir a esforços de tração que, equivalente ao aço, pode chegar a 370 MPa (GHAVAMI, 2005). Do ponto de vista ambiental, sendo uma fonte renovável, sua produção consome energia pelo menos cinquenta vezes menor do que o aço usado para o mesmo fim. Quando a resistência à tração por massa específica é considerada, o seu uso é ainda mais justificável por ser cerca de seis vezes maior do que a do aço (GHAVAMI e HOMBEEK, 1981).

Os usos que se pode fazer do bambu na engenharia civil são os mais diversos possíveis. Dentre eles pode-se citar: reforço em vigas, reforço em lajes, treliças e painéis estruturais (SOBRINHO JR., 2006a; DALCANAL *et al.*, 2000; LIMA JR. *et al.*, 1995; MOREIRA, 1988; BARBOSA *et al.*, 1993). Apesar das excelentes propriedades mecânicas, existem algumas propriedades do bambu que precisam ser melhoradas, para que esse material possa ser ainda mais usado nas construções.

Uma das desvantagens do bambu como material de construção é a sua durabilidade. Por ser um material vegetal, contato com umidade pode comprometer seu desempenho ao longo do tempo. Cordero (1990) relatou que muitas moradias construídas com bambu e madeira se degradam em dois ou três anos, quando não são utilizados os procedimentos corretos. Por esta questão, são necessários estudos mais aprofundados desses problemas para a consolidação do bambu como material de construção.

Outra deficiência do bambu, quando servindo de reforço no concreto, como foi dito em (BRAGA FILHO, 2004; LIMA JR. *et al.*, 1996; BARBOSA *et al.*, 1991) é o seu módulo de elasticidade, mais baixo que o do próprio concreto. Algumas propostas já existem como as de revestir o material com resinas à base de epóxi (ACHÁ, 2002), porém só esse revestimento não consegue aumentar o módulo de elasticidade da peça de concreto envolvida por ele. Outras possibilidades merecem ser investigadas.

Mais um aspecto que precisa ser melhorado é a interface do bambu, quando usado como reforço, com a matriz que o envolve. Ao entrar em contato com a água de amassamento do concreto ou de argamassas, o bambu apresenta variações dimensionais, como as quantificadas por Sobrinho Jr. (2006 b) e, após secagem, sofrem contração, prejudicando a aderência podendo, em certos casos, provocar a ruptura da matriz.

Uma das maneiras de melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade pode ser a impregnação dos vasos do bambu com uma resina polimérica. A impregnação pode propiciar um melhoramento do módulo de elasticidade do compósito, promover uma melhor interface com matrizes cimentícias, além de contribuir para o aumento da durabilidade do bambu, quando usado externamente.

O processo não é simples, em primeiro lugar é necessário avaliar alguns parâmetros para que se possa injetar uma resina no bambu: É necessário um conhecimento profundo das propriedades microestruturais do bambu; também é preciso avaliar a absorção e a permeabilidade dos colmos (que depende do diâmetro dos vasos e de sua fração volumétrica); avaliar o pH do bambu, pois a resina a ser impregnada tem que ser quimicamente compatível com o ambiente aonde ela vai se alojar, ou seja, ter um pH próximo ao do bambu; otimizar o processo de impregnação do bambu, em que deverão ser levados em conta os seguintes parâmetros: a viscosidade do fluido, a pressão de impregnação, o tempo de corte do bambu e tempo de impregnação.

OBJETIVO GERAL

Avaliar os parâmetros de impregnação de fluidos na espécie *Bambusa vulgaris* (pressão, tempo de impregnação, vazão, viscosidade e densidade do fluido e tempo de corte) em função da sua microestrutura e da sua capacidade de absorção. E por fim, obter a resistência à compressão do bambu impregnado com uma resina e compará-la com a resistência no estado natural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos têm-se os seguintes:

- Desenvolver uma técnica de caracterização microestrutural da espécie *Bambusa vulgaris* por microscopia ótica;
- Estudar o efeito da altura do colmo, da idade e da região da seção na estrutura porosa do bambu;
- Quantificar através de análises de microscopia ótica o percentual de tecidos (parênquima, fibras e vasos) do *Bambusa vulgaris*;
- Analisar o efeito da altura do colmo, da idade e do tempo de corte na capacidade de absorção de fluidos no *Bambusa vulgaris*;
- Impregnar fluidos em colmos de *Bambusa vulgaris* e otimizar os parâmetros de bombeamento no processo de impregnação;
- Avaliar a resistência à compressão e módulo de elasticidade do bambu impregnado com uma resina.

CAPÍTULO 2- REVISÃO DA LITERATURA

Apresentam-se neste capítulo de revisão informações gerais sobre o bambu e seu emprego na construção civil. A microestrutura do bambu será enfocada no Capítulo 3.

2.1 – O bambu como material estrutural

O bambu tem sido usado há milênios na construção civil, em muitas partes do mundo, principalmente nos países asiáticos e em alguns países da América Latina. A construção de estruturas de bambu datam de 3500 a.C. (SÁ RIBEIRO *et al.*, 2006) . Essas estruturas podem durar algumas centenas de anos, conforme evidenciado pelas vigas de algumas casas de fazendas tradicionais japonesas (SÁ RIBEIRO *et al.*, 2006). Na América Latina, também são encontradas construções centenárias de bambu (FIGURAS 2.1 e 2.2). O templo indiano Taj Mahal (FIGURA 2.3) cuja estrutura é toda montada com bambu e revestida com argamassa, é outra demonstração de resistência e durabilidade deste material (FONSECA, 1992).



Figura 2.1 – Casa de bambu construída em 1880, na cidade de Manizalles, Colômbia (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).



Figura 2.2 – Palácio de Viceroy Amat em Lima, Peru, onde os pilares são feitos de bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).



Figura 2.3 - Taj Mahal, Índia (ENVO CARE, 2007).

O bambu é um material que possui propriedades mecânicas compatíveis com as dos materiais utilizados em estruturas de concreto armado (LIMA JR. *et al.*, 2000). Devido as suas excelentes propriedades mecânicas, vem provocando o interesse de vários

pesquisadores (CULZONI, 1986; GHAVAMI, 1989; BARBOSA, 1991; MOREIRA, 1991; FERRÃO e FREIRE, 1995; LIMA JR. *et. al*, 2005a, SOBRINHO JR., 2006a).

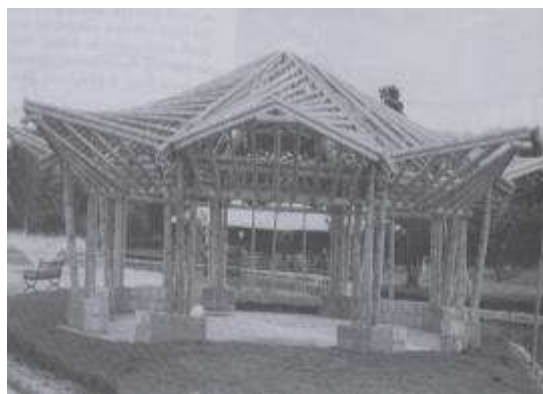
As aplicações estruturais do bambu incluem: substituição de aço em elementos de concreto estruturais, pontes, habitações populares, lajes de concreto com forma permanente de bambu, andaimes, marquises, treliças, pilares e como elementos de reforço de paredes. Algumas dessas aplicações são mostradas nas Figuras 2.4 à 2.11.



Figura 2.4 - Pilares de bambu apoiados em bases de concreto na Colômbia (TEIXEIRA, 2006).



(a)



(b)

Figura 2.5 – (a) Estrutura de bambu criada pelo arquiteto Simon Vélez, na Colômbia (TEIXEIRA, 2006); (b) Estrutura de bambu criada pelo arquiteto Guillermo Holguin, na Colômbia (HIDALDO-LÓPEZ, 2003).



(a)



(b)

Figura 2.6 - (a) Laje feita de bambu em edificação de dois pavimentos (TEIXEIRA, 2006); (b) Laje de bambu sendo concretada após tratamento (NAVARRO e GHAVAMI, 2006).



Figura 2.7 - Treliça de bambu construída na Universidade Federal da Paraíba (MEYER *et al.*, 2006).



(a)

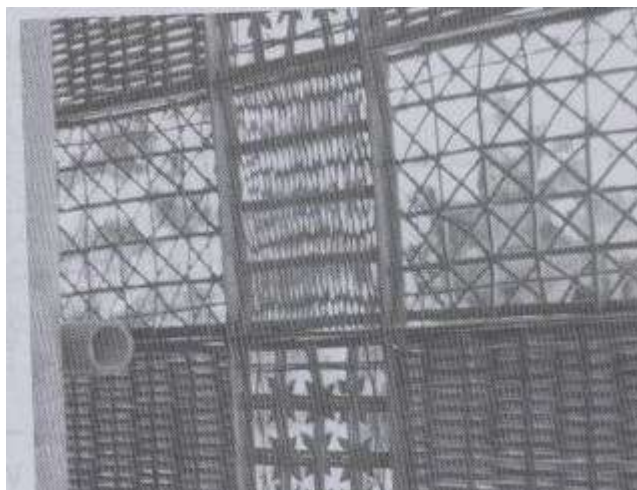


(b)

Figura 2.8 - (a) Vista das habitações do Projeto Malabar, Manizales, Colômbia (TEIXEIRA, 2006); (b) Habitações pré-fabricadas de bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).



(a)



(b)

Figura 2.9 – (a) e (b) Painéis de bambu de diferentes formas usados em construções na Indonésia (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).



(a)



(b)

Figura 2.10 – (a) Ponte de bambu em Amsterdã (VAN DER LUGT *et al.*, 2006); (b) Ponte de bambu com vão de 30 m, Europa (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

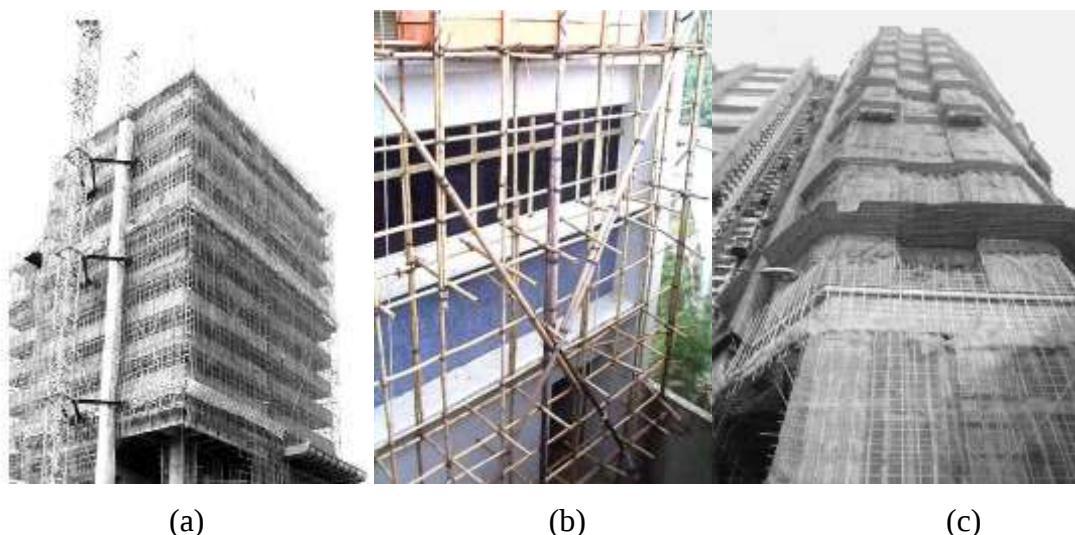


Figura 2.11 – Andaimos de bambu em Hong Kong - (a) (CHUNG e YU, 2002); (b) (YU *et al.*, 2005); (c) (YU *et al.*, 2003)

Com base no que foi exposto, observa-se que o bambu tem potencial para ser usado em construções, surgindo como uma alternativa para substituir o aço e a madeira em elementos estruturais.

2.2- Pisos laminados e placas compósitas de bambu

Compósitos são materiais de duas ou mais fases que buscam melhorar determinadas propriedades que cada material em separado não apresenta ou é muito limitada. Entre essas propriedades pode-se citar a resistência à tração, a resistência à flexão, a rigidez, a resistência à fadiga e a condutibilidade térmica (ANJOS *et al.*, 2003).

Os materiais compósitos podem ser classificados em três classes, quais sejam: compósitos com fibras, que consistem em fibras dispersas ou alinhadas dentro de uma matriz; compósitos laminados, que são constituídos de camadas de diferentes materiais, e compósitos particulados (ou em partículas), que são em determinado material inserido dentro de uma matriz (JONES, 1975).

Dentre as indústrias de compósitos laminados, destacam-se as de piso laminado de bambu, que atualmente produzem, em escala industrial, pisos laminados de alto padrão de acabamento (FIGURA 2.12) e as de móveis de bambu (FIGURA 2.13). Estes laminados são mais resistentes e econômicos que os laminados de madeira.



(a)

(b)

Figura 2.12 – (a) Piso laminado feito de bambu (TEIXEIRA, 2006); (b) Piso de bambu (OLIVEIRA e PAEZ, 2006).



(a)



(b)

Figura 2.13- (a) e (b) Móveis de bambu (BRAGA FILHO, 2004).

A tecnologia do bambu laminado colado, basicamente elimina os problemas de cisalhamento e geometria, permitindo que este material tenha utilização mais racional na engenharia estrutural (LIMA JR *et al.*, 2000). Várias pesquisas relacionadas a laminados de bambu foram encontradas na literatura.

Lee *et al.* (1998) verificaram as propriedades de um laminado em bambu (placas coladas com adesivo à base de resorcinol), e encontraram valores de módulo de ruptura mais altos que os da madeira, além da melhoria na estabilidade dimensional.

Sui *et al.* (2000) analisaram o comportamento mecânico de placas alumínio/bambu com dois tipos de resina na interface, obtendo aumentos nas propriedades de flexão e compressão.

Beraldo e Rivero (2003) avaliaram as características físico-mecânicas do Bambu Laminado Colado (BLC) confeccionado com duas espécies de bambu (*Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*), submetidas a dois tipos de tratamento (lavado em água e químico). Foram testados dois adesivos comerciais: uréiaformol e resorcinol-formol, que são usualmente empregadas para madeiras laminadas coladas. O BLC foi submetido a ensaios de variação dimensional, flexão estática, compressão simples, cisalhamento paralelo à linha de colagem e às fibras do bambu e resistência ao impacto.

Beraldo e Rivero (2003) concluíram que o adesivo uréia-formaldeído, por apresentar menor viscosidade, impregnou de forma mais eficiente as taliscas de bambu, reduzindo o efeito negativo da interface. Para alguns corpos-de-prova observou-se descolamento de lâminas, quando da utilização do resorcinol-formaldeído. O BLC de *D. giganteus*, tratado quimicamente e com o adesivo resorcinol-formaldeído mostrou comportamento que o qualifica para ser utilizado em aplicações sujeitas a choques de intensidade moderada, tais como cabos de ferramentas e de utensílios domésticos. Observou-se tendência de que o BLC de resorcinol-formaldeído (adesivo naval) tenha se mostrado mais estável dimensionalmente do que o BLC de uréia-formaldeído.

Oliveira e Paez (2006) caracterizaram laminados colados de bambu *Dendrocalamus Giganteus* e utilizaram para a colagem das taliscas, utilizaram-se os adesivos “Cascophen RS” e “Cascorez-Extra”, sendo o primeiro à base de Resorcinol-formaldeído e o segundo uma resina polivinílica. O adesivo à base de Resorcinol-formaldeído é o mais recomendado para a confecção do BLC, a ser utilizado em revestimento para pisos, por apresentar maior resistência à umidade, quando comparado àquele à base de acetato polivinílico.

Alguns pesquisadores (OKUBO *et al.*, 2004; SHIH, 2006; THWE e LIAO, 2003; HELSEN *et al.*, 2007 e OZÇİFÇİ e OZPAK, 2006) estudaram a impregnação de resinas e vernizes nas fibras de bambu e madeira, com o objetivo de obter um composto reforçado com fibras, tendo boas propriedades mecânicas, térmicas e durabilidade.

2.3 – Propriedades físicas e geométricas

2.3.1- Propriedades físicas

O bambu é uma gramínea, que possui hábito arborescente e é constituído pelo colmo, folhas e ramificações, e outra parte subterrânea composta pelo rizoma e raiz.

Do ponto de vista agrônômico o colmo é a parte mais importante do bambu, uma vez que é ele a matéria prima demandada pela construção civil, fabricação de papel, tecido, pisos, móveis e outras utilidades. Os colmos são formados por cascas geralmente cilíndricas, esbeltas, normalmente ocas (FIGURA 2.14). O espaço vazio dentro do colmo é denominado cavidade, as quais são separadas uma das outras por diafragmas que aparecem externamente como nós, onde saem os galhos e as folhas. A posição do colmo entre dois nós é chamada internódio ou internó, os quais possuem uma parede de espessura variável. Os colmos diferem segundo a espécie em comprimento, diâmetro e distância internodal. Alguns colmos possuem poucos centímetros de altura e poucos milímetros de diâmetro, outros podem alcançar até 40 m de altura e diâmetros de até 30 cm (SÁNCHEZ CRUZ, 2002).

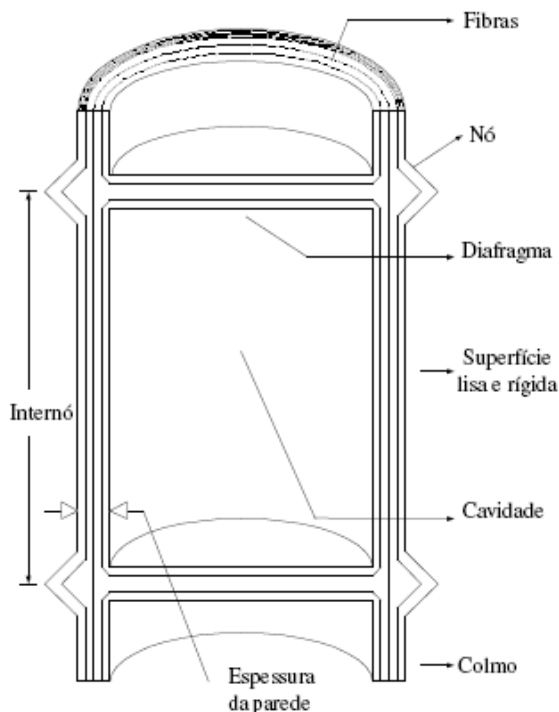


Figura 2.14 – Corte longitudinal do colmo (LIESE, 1992; FERREIRA, 2005).

Dentre as propriedades físicas, destacam-se: a massa específica, teor de umidade, absorção de água e variação dimensional.

A massa específica dos bambus varia entre 500 kg/m³ a 800 kg/m³, dependendo principalmente do tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras ao redor dos feixes vasculares. Estas diferenças são menores mais perto do topo, devido ao aumento da densidade na parte interna e redução na espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquima e mais fibras (PEREIRA, 2001).

A umidade natural das espécies *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus* está em torno de 15 %, na mesma faixa para madeiras secas, que é de 13% a 20 % (BARBOSA, 1991). Ghavami e Marinho (2001) encontraram valores de umidade natural dentro da faixa de madeiras secas.

Barbosa (1991) encontrou valores para absorção de água para *Bambusa vulgaris* em torno de 25,7 %, já para o *Dendrocalamus giganteus*, a absorção nas primeiras 24 horas foi de 25,1 %. Ghavami (2005) obteve resultados para absorção de água do bambu *Dendrocalamus giganteus*, nas primeiras 24 horas, de 27,45 %.

Uma das principais desvantagens do bambu é a variação dimensional, em função da variação de umidade. Os problemas podem ser observados na utilização do bambu, principalmente em composições com o concreto e em ligações estruturais (MARTINS *et al.*, 2004). O bambu varia de dimensões quando entra em contato com a água de amassamento e perde a aderência com o concreto.

Sobrinho Jr. *et al.* (2006c) obtiveram valores na direção radial em torno de 6 % na direção radial, já na longitudinal as variações foram desprezíveis.

2.3.2- Propriedades geométricas

As propriedades geométricas do bambu, como comprimento do colmo, distância internodal, diâmetro e espessura da parede dependem de alguns fatores tais como: espécie, posição ao longo do colmo (base, intermediária e topo), manejo do bambuzal, temperatura, qualidade do solo, umidade ambiente, etc.

Salgado *et al.* (1994) investigaram o comprimento útil, diâmetro, massa e comprimento internodal de algumas espécies de bambu, dados que são mostrados na Tabela 2.1. Observa-se uma variação significativa para cada espécie.

Tabela 2.1 – Dimensões e massa de colmos de diversas espécies de bambu (valores médios).

Espécies	Colmo			
	Comprimento útil (m)	Diâmetro (cm)	Massa (kg)	Comprimento dos internódios (cm)
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,70	8,10	12,50	32,00
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	9,30	7,20	10,30	34,00
<i>Bambusa oldhami</i>	9,90	6,90	8,40	41,00
<i>Bambusa nutans</i>	10,00	5,80	7,80	38,00
<i>Bambusa tulda</i>	11,90	6,60	11,90	49,00
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,00	7,80	10,50	28,00
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,10	8,20	17,50	35,00
<i>Bambusa tuldoidea</i>	9,20	4,30	3,80	46,00
<i>Bambusa textilis</i>	8,10	4,80	3,30	44,00
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,30	4,80	4,50	44,00
<i>Bambusa dissimulata</i>	9,50	4,60	5,20	41,00
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,50	12,20	61,30	34,00
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,50	11,50	40,70	37,00
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,50	7,60	15,00	38,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	16,00	14,20	84,50	34,00
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,30	9,40	26,00	40,00
<i>Phillostachys edulis</i>	4,40	3,60	2,10	15,00

Ghavami e Marinho (2001) avaliaram as propriedades geométricas de algumas espécies de bambu na PUC-Rio. Foram medidos o diâmetro externo, o comprimento internodal e a espessura da parede. A Tabela 2.2 mostra esses valores, que são bastante variados de acordo com a espécie.

Tabela 2.2 - Propriedades geométricas de bambus estudados Na PUC-Rio.

Espécie	L (m)	Comprimento internodal (m)				Diâmetro externo (cm)				Espessura da parede (mm)			
		base	inter	topo	média	base	inter	topo	média	base	inter	topo	média
<i>Bambusa multiplex</i> (verde - RJ)	3,00	-	-	-	0,45	2,50	-	1,50	2,00	4,00	-	3,00	3,50
<i>Bambusa multiplex</i> (verde esm- RJ)	7,50	-	-	-	0,45	3,50	-	2,75	3,12	4,50	-	3,25	3,50
<i>Bambusa tuldoide</i> (RJ)	8,00	-	-	-	0,40	3,75	-	2,50	3,50	7,00	-	4,50	5,50
<i>Guadua suberba</i> (RJ)	9,00	-	-	-	0,40	11,00	-	7,15	9,00	9,50	-	6,50	7,50
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,00	-	-	-	0,33	7,50	-	5,80	6,95	10,00	-	5,50	7,50
<i>Bambusa vulgaris</i> Scharb (RJ)	13,00	-	-	-	0,34	8,00	-	6,00	7,33	9,66	-	8,33	8,83
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	22,30	0,49	0,54	0,41	0,47	13,40	11,00	7,50	10,68	14,40	9,66	6,59	10,22
<i>Mosó</i> (SP)	15,70	0,22	0,38	0,29	0,39	10,70	7,52	4,10	7,86	17,00	8,79	5,33	11,17
<i>Matake</i> (SP)	20,50	0,34	0,48	0,26	0,33	10,80	7,94	3,01	7,02	14,50	7,66	3,83	8,93
<i>Guadua angustifolia</i> (méd.RJ,SP)	18,20	0,23	0,32	0,29	0,27	11,30	8,58	4,30	8,51	15,50	10,10	8,23	11,53
<i>Guadua tagoara</i> (SP)	15,20	0,32	0,42	0,34	0,34	10,30	8,57	6,19	8,37	19,30	14,70	9,87	14,74

Ghavami e Marinho (2003) obtiveram para um comprimento de 600 cm de bambu, para várias espécies estudadas, espessura da parede entre 0,11 e 0,14 cm, e o diâmetro externo entre 8,5 e 11,5 cm.

Ghavami e Marinho (2005) encontraram para a espécie *Guadua angustifolia*, o diâmetro médio de 79,56 mm e espessura média de parede de 10,31 mm. Observou-se também que o diâmetro externo diminui da base para o topo, apresentando quase um comportamento linear. A espessura da parede diminui da base para o topo, porém apresenta grande variação ao longo do comprimento.

2.4- Propriedades mecânicas

As características mecânicas do bambu são influenciadas sobretudo pelos fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade, localização em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas e tipo do teste escolhido (GHAVAMI e MARINHO, 2005; FERREIRA, 2002).

Em virtude da orientação das fibras serem paralelas ao eixo do colmo, o bambu resiste mais à tração do que à compressão. De acordo com Ghavami e Marinho (2001), a resistência à compressão é geralmente 70 % menor que a resistência à tração. O módulo de elasticidade varia em função da posição do colmo. Nos nós, o valor do módulo de elasticidade é maior em virtude da concentração de sílica (LIESE, 1998; SÁNCHEZ CRUZ, 2002). Na parte externa este valor é cerca de 14 % maior que na parte interna. (GHAVAMI, 2001). O módulo de elasticidade do bambu é de 1/10 a 1/7 do aço (BARBOSA, 1991). Segundo Janssen (1981), a resistência ao cisalhamento do bambu ao longo das fibras é somente de cerca de 8 % da resistência à compressão.

O nó é um ponto de descontinuidade das fibras e de mudanças dimensionais, nele originam-se concentrações de tensões quando submetido a ensaio (SÁNCHEZ CRUZ, 2002). Nesses pontos, as propriedades mecânicas apresentam desempenho inferior ao do restante do colmo. Em estudos realizados à tração, Ghavami e Hombeeck (1981) observaram que na maioria dos testes a ruptura ocorreu próximo ao nó.

A Tabela 2.3, mostra os valores médios das propriedades mecânicas (Resistência a compressão, tração, flexão e cisalhamento e seus respectivos módulos de elasticidade (MOE)) do bambu, obtidas por diversos pesquisadores no mundo.

Tabela 2.3 - Propriedades mecânicas de bambus diversos.

Pesquisador	Espécie do bambu	PROPRIEDADES						
		Resistência	MOE	Resistência	MOE	Resistência	MOE	Cisalhamento
		à compressão (MPa)	(GPa)	à tração (MPa)	(GPa)	à flexão (MPa)	(GPa)	(MPa)
CULZONI 1986	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	38 a 45	3,5 a 4,0	110 a 148	11,7 a 12,5	93 a 124	9,9 a 12,1	46,63
TARGA e BALLARIN 1990	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	—	—	—	16	—	—	—
MOREIRA 1991	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	35 a 38	—	—	—	—	—	—
GHAVAMI 1995	<i>Diversas</i>	12 a 52	—	48 a 170	—	41 a 140	—	40 a 62
LIMA JR. <i>et al.</i> 1996	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	40	—	129	13	—	—	—
LIMA JR. <i>et al.</i> 2000	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	56 a 57	20 a 21	97 a 277	13 a 27	—	—	—
GHAVAMI e MARINHO 2001	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	—	—	73 a 224	—	—	—	3,3 a 3,5
BERALDO <i>et al.</i> 2003	<i>Diversas</i>	20 a 120	2,6 a 20	40 a 215	5,5 a 18	57 a 133	6 a 14	—
GHAVAMI e MARINHO 2005	<i>Guadua angustifolia</i>	29,48	12,58	86,96	15,11	—	—	—

Com base nos resultados apresentados na tabela anterior, pôde-se observar uma variação nas propriedades mecânicas entre as diversas espécies e até mesmo dentre as mesmas. Essa variação é natural, pois o bambu é um material heterogêneo e ortotrópico, e existem inúmeros fatores que podem influenciar nas suas características mecânicas.

Observou-se também que o bambu é um material que têm excelente resistência à tração, podendo ser uma alternativa para a substituição do aço em estruturas de concreto armado. Porém, existem algumas dificuldades para o uso deste material, como por exemplo, o baixo módulo de elasticidade, que gera seções transversais com baixa rigidez, nas quais ocorrem deformações e, por sua vez, formação de fissuras com grandes aberturas.

Outra dificuldade é a questão da aderência bambu-concreto, que também é resultado das suas propriedades físicas e mecânicas. Para que o bambu seja consolidado na construção civil, como reforço do concreto são necessários estudos mais aprofundados, visando a melhoria das suas propriedades mecânicas, aderência e durabilidade.

2.5 -Vantagens e limitações do bambu

Como vantagens podem-se citar:

- O bambu cresce extremamente rápido, está adequado para uso três anos após o plantio, enquanto a madeira leva de 10 a 20 anos (SÁ RIBEIRO *et al.*, 2006);
- Permite a associação com outros materiais de construção (JANSSEN, 1984);
- Possui uma eficiência energética superior a de materiais como o aço e concreto, por exemplo, como é mostrado na Tabela 2.4;

Tabela 2.4 - Consumo energético por material (BARROS e SOUZA, 2004).

Material	Energia(MJ/m ²)
Aço	1.500
Concreto	240
Madeira	80
Bambu	30

- É um material leve, flexível e de fácil manuseio. Sua leveza associada a uma alta resistência torna-o um forte candidato para substituir o aço em estruturas de concreto armado (FERREIRA, 2005);
- A superfície natural é lisa, limpa, de cor natural, é um atrativo para arquitetos que gostam de projetos alternativos e bonitos;
- Permite ser trabalhado com ferramentas simples (FIGURA 2.15) o que facilita geração de tecnologias apropriadas;

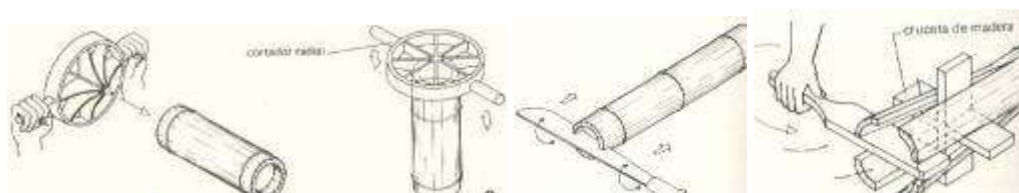


Figura 2.15- Ferramentas simples para o manuseio do bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 1981).

- De modo geral é dotado de excelentes propriedades mecânicas, que garante o seu emprego em muitos tipos de elementos estruturais;
- Não tem cortiça ou parte que possa se considerar desperdício (MARTINESI e GHAVAMI, 1985); e

- Possui elevada resistência à tração em relação ao peso específico (TABELA 2.5), mostrando-se mais eficiente do que o aço, alumínio e o ferro fundido, neste aspecto.

Tabela 2.5 - Resistência à tração – peso específico (SÁNCHEZ CRUZ, 2002).

Material	Resistência à tração	Massa	Tensão específica
	(N/m²)	(kg/m³)	
Aço (CA50A)	500	7,83	63
Bambu	140	0,8	175
Alumínio	304	2,7	113
Ferro fundido	281	7,2	39

Como limitações podem-se citar:

- O bambu é um material higroscópico, por isso absorve água com facilidade e apresenta variações dimensionais no sentido radial (BRAGA FILHO, 2004);
- Apresenta baixa-aderência com o concreto;
- O bambu é um material vegetal e, portanto é susceptível ao ataque de fungos e insetos como o caruncho do bambu;
- Para ser um material durável, é necessário um procedimento para o corte, a cura, a secagem e passar por tratamentos imunizantes;
- Não existem critérios normatizados para dimensionamento de vigas de concreto armadas de bambu;
- Baixo módulo de elasticidade, em torno de 1/10 a 1/7 do aço (BARBOSA, 1991);
- Em contato permanente com variação de umidade apodrece; e
- Apresenta baixa resistência ao fogo (YAO e LI, 2003).

2.6– Aderência com o concreto

Uma das dificuldades do emprego do bambu como reforço no concreto é a aderência entre os dois materiais. Por ser um material higroscópico, quando entra em contato com água, varia dimensionalmente provocando a perda de aderência com o concreto.

A Figura 2.16 mostra o comportamento do bambu durante as etapas de uma concretagem. Após o lançamento do concreto e durante a cura, o bambu absorve água, aumentando suas dimensões, provocando micro fissuras no concreto (FERREIRA, 2005). Após o endurecimento do concreto, o bambu começa a perder a água absorvida, sofrendo retração, que tem como consequência a perda da aderência entre o reforço e a matriz (FIGURA 2.16 (b)) (FERREIRA, 2005).

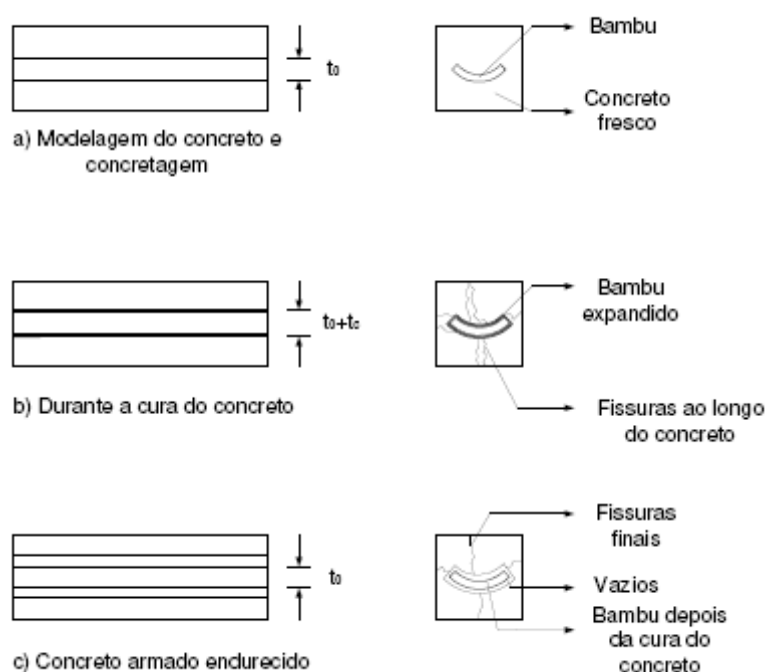


Figura 2.16 - (a) a (c) – Interação entre uma ripa de bambu não tratada e o concreto (FERREIRA, 2005; GHAVAMI, 2001).

Diversas propostas foram apresentadas pela literatura para melhorar a aderência bambu-concreto, como por exemplo, a impermeabilização do bambu com óleos, vernizes e resinas, que acabavam tornando-se lubrificantes e prejudicam a aderência. Como esse tema é bastante complexo, se fazem necessários maiores estudos para tentar solucionar as questões levantadas, pois os resultados ainda são discutíveis.

Ghavami (1995) estudou a aderência de vigas de concreto leve reforçadas com bambu através de séries de ensaio *Pull-out* (Figura 2.17), os bambus foram tratados com

uma camada fina de Negrolin, que é um produto à base de petróleo, e areia fina e observou que a aderência aumentou em até 90 %.

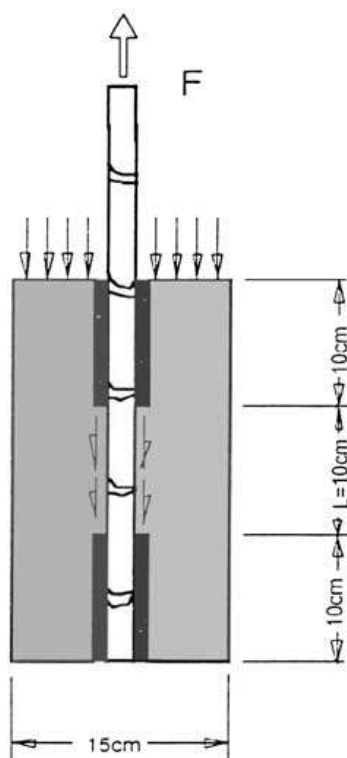


Figura 2.17 - *Pull-out* para corpos de prova bambu-concreto (GHAVAMI, 2005).

Lima Jr. *et al.* (1996) estudaram a aderência em corpos de prova de bambu e concreto, submetidos a diversos tratamentos impermeabilizantes e desaconselha o uso de materiais impermeabilizantes derivados de petróleo (asfalto e Negrolin), devido sua baixa resistência ao cisalhamento em virtude da não solidificação completa e a sua instabilidade com a variação térmica.

Mesquita *et al.* (2006) estudaram a aderência entre o bambu e o concreto. Eles verificaram que as metodologias experimentais utilizadas para o ensaio *push-out* não se mostraram adequadas, uma vez que os deslocamentos medidos apresentaram interferência de deslocamentos parasitas, provenientes das acomodações e deformações da máquina de ensaio e de irregularidades da superfície de contato entre o bloco de concreto e os pratos das prensas.

Mesquita *et al.* (2006) apresentaram os resultados de um estudo que visou eliminar os problemas com deslocamentos parasitas no ensaio de arrancamento, através da montagem de uma gaiola e estudaram a aderência bambu-concreto, verificando a influência da resistência do concreto, das dimensões da seção transversal das varetas de

bambu e do aumento da aderência mecânica bambu-concreto, por meio de cravação de pinos nas varetas de bambu.

Estes pesquisadores constataram que a gaiola de reação desenvolvida apresentou desempenho satisfatório e a metodologia utilizada nos ensaios se mostrou adequada, não havendo interferência de deslocamentos parasitas. Em média geral, a tensão de aderência de cálculo entre o bambu e o concreto foi apenas 20% inferior à tensão de aderência entre o aço liso e o concreto. Mostraram também que as dimensões da seção transversal das varetas de bambu não têm influência significativa na tensão de aderência bambu-concreto, porém ao se elevar a resistência à compressão do concreto, eleva-se também a tensão de aderência bambu-concreto.

Com base no exposto, a baixa aderência bambu-concreto é uma das maiores barreiras para a utilização como reforço estrutural. Diversas tentativas têm sido feitas para melhorar tal propriedade (GHAVAMI e CULZONI, 1987).

2.7 – Durabilidade das estruturas de bambu

Os problemas quanto ao uso de produtos de origem vegetal são: durabilidade frente às variações climáticas (umidade) e ataques por insetos e bactérias porque são alimentos muito procurados por estes seres minúsculos (ALVES *et al.*, 2006). A durabilidade do colmo do bambu está diretamente ligada à sua idade, à forma de se efetuar seu tratamento preservativo e ao uso proposto para o material. A presença de amido é o ponto fraco do bambu, por estar relacionada com a intensidade de ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*). Em condições naturais a durabilidade do bambu pode se limitar a 2 anos, dependendo da espécie considerada, tornando-se, portanto, fundamental o processo de tratamento (AZZINI e BERALDO, 2001).

Logo após o corte, os colmos podem ser submetidos a tratamentos de “cura” com objetivo de torná-los mais resistentes ao ataque do caruncho. Para essa “cura” ou maturação, pode-se utilizar diferentes métodos: maturação no local da colheita, imersão, secagem e tratamento químico. Basicamente, pode-se aumentar a durabilidade dos colmos de bambu de duas maneiras: por procedimentos culturais e pelo tratamento dos colmos com produtos químicos (AZZINI *et al.*, 1997). Outro tratamento que serve para aumentar a durabilidade do bambu é a secagem, pois dificulta o ataque de insetos.

Existem poucos trabalhos na área de durabilidade de estruturas de bambu. Ghavami (2005) estudou a durabilidade de uma coluna de concreto reforçada com aço após

10 anos e a primeira viga de concreto reforçada com bambu ensaiadas na PUC-Rio em 1979, como podemos ver na Figura 2.18.

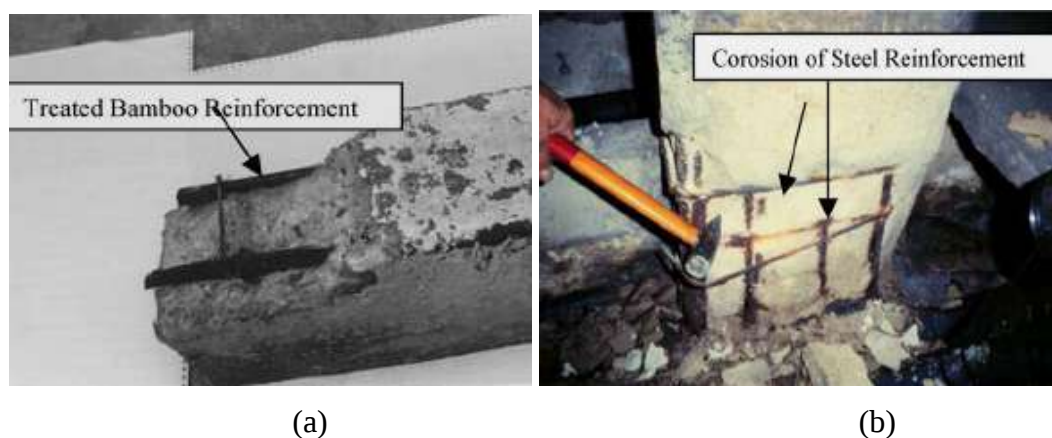


Figura 2.18.- Durabilidade do bambu e do aço como reforço em elementos de concreto. (a) Reforço de bambu em uma viga ensaiada exposta ao ar aberto após 15 anos. (b) Reforço de aço de uma coluna no túnel do metrô após 10 anos em área fechada (GHA-VAMI, 2005).

Pode-se observar que a viga reforçada com bambu (FIGURA 2.23a), tratada contra insetos continua aderida ao concreto, e se apresenta em condições satisfatórias após 15 anos. Já a barras de aço do pilar (FIGURA 2.23b), apresentam uma séria corrosão e precisam ser substituídas. Além disso, o bambu, têm uma vantagem com relação ao aço que tem grandes problemas com a corrosão devido à exposição a agentes agressivos tais como água marinha, o gás carbônico e águas sulfatadas.

Ferreira (2005) estudou a durabilidade das armaduras de bambu utilizadas como reforço em pilares de concreto armado. Ensaio mecânicos foram realizados em corpos-de-prova de bambu retirados dos pilares rompidos, com o objetivo de analisar sua resistência decorridos quatro anos em que essas armaduras permaneceram inseridas nas peças de concreto. Os resultados mostraram que não houve perda das características mecânicas do bambu além de não apresentar indícios de ataques alcalinos em seu sistema vascular. Concluiu-se que o tratamento realizado superficialmente no bambu, antes da inserção no concreto, utilizando o produto Sikadur 32 gel, mostrou-se eficiente na manutenção dos índices mecânicos do reforço. Portanto, pode-se chegar a uma excelente durabilidade das estruturas de bambu, desde que estas sejam convenientemente tratadas.

2.8 - Tratamentos preservativos

Os bambus estão susceptíveis a organismos, que o utilizam como fonte de energia, ocasionando a deterioração deste material. Os principais agentes biológicos causadores da maioria dos danos e perdas aos bambus são os insetos e os fungos, sendo necessários tratamentos preservativos que podem ser realizados por métodos tradicionais e métodos químicos, para a utilização desse material na construção civil. Os tratamentos mais comuns são:

2.8.1) Tratamentos naturais

Existem vários procedimentos naturais que podem aumentar a durabilidade, que começam desde o corte até a sua cura.

a) Corte

Segundo Rivero (2003), os bambus devem ser cortados no inverno, quando se encontram com baixa quantidade de seiva elaborada e os insetos estão em hibernação. No Brasil, a melhor época para o corte do bambu situa-se entre os meses de maio e agosto.

b) Cura natural

Depois de cortado, o bambu é deixado na moita na posição vertical com suas ramas e folhas por cerca de 30 dias. A transpiração das folhas continua em andamento, diminuindo a quantidade de seiva dos colmos. Este método é simples e barato, devendo aumentar a resistência dos colmos contra as brocas, mas não contra fungos e cupins (PEREIRA, 2001).

c) Cura por imersão

Consiste em submergir os colmos em água por mais de quatro semanas (TEIXEIRA, 2006). Quando colocados sob a água, esta penetra no interior dos colmos, dissolvendo a seiva e transferindo-a para a água, como mostra a Figura 2.19.



Figura 2.19- Cura do Bambu por Imersão (CONBAM, 2007).

d) Cura por banho quente e frio

Neste processo, o banho quente e frio, o bambu é colocado em situação imersa em tanque com água, atingindo 90°C em um intervalo de 30 minutos, e depois é resfriado em outro reservatório, como mostra a Figura 2.20 (TEIXEIRA, 2006).



Figura 2.20 - Cura pelo método de banho quente e frio (TEIXEIRA, 2006).

e) Secagem por fumigação

Baseia-se em tratar o colmo através de fumaça (FIGURA 2.21). As toxinas constituintes da fumaça impregnam provavelmente na lignina do bambu, efetuando o tratamento (BRAGA FILHO, 2004).



Figura 2.21 - Tratamento por fumigação (CONBAM, 2007).

2.8.2) Tratamento com produtos químicos

a) Tratamentos com óleo Diesel, ácido bórico, sulfato de cobre, enxofre, tanino e resinas

Barbosa (1991) concluiu que o tratamento impermeabilizante com enxofre não é eficaz, pois além da dificuldade de aplicação (é necessário fundir o enxofre, provocando o desprendimento de gases desagradáveis e nocivos), após sua solidificação a película que é formada em torno do corpo de prova fissura com facilidade, deixando aberto o caminho para a água.

Fonseca (1992) estudou diversos tratamentos preservativos antifungos e insetos no bambu e concluiu o seguinte: os tratamentos mais eficientes foram os realizados com óleo Diesel e com sulfato de cobre, pois os colmos não apresentaram ataques. Os tratamentos com água da torneira, cal e ácido bórico, não conduziram a bons resultados, uma vez que não resistiram ao caruncho do bambu.

Rivero (2003) recomenda o tratamento do bambu por imersão em solução de 1 % de sulfato de cobre, 1 % de dicromato de sódio mais 1 % de ácido bórico.

Xavier (2004) estudou o tratamento efetuado com solução de ácido bórico a 5 % + tanino de acácia negra a 1,2 % de concentração e os resultados mostraram-se bastante eficaz contra insetos da ordem Isoptera (térmitas).

Sulaiman *et al.* (2006) trataram o bambu com óleo quente e concluíram que a penetração nas células afeta a estrutura do bambu e reduz sua aderência.

Ferreira (2005) aplicou em superfícies de bambu usadas como reforço no concreto, uma resina (Sikadur 32 gel) que aumentou a resistência de ligação e a aderência entre as ripas de bambu e o concreto.

b) Método Boucherie modificado

O Método Boucherie é um tratamento que se aplica aos bambus recém-cortados, cuja seiva esteja em movimento. O método consiste em fazer penetrar o conservante, através de pressão hidrostática, pela extremidade do bambu (TEIXEIRA, 2006), conforme mostrado na Figura 2.22.



Figura 2.22 - Aplicação do método Boucherie em varas de bambu.
(TEIXEIRA, 2006).

Este método é considerado o mais eficiente e prático para o tratamento do bambu, os colmos (sem terem seus nós internos removidos) são conectados com a saída de um tambor de 200 litros, possibilitando o tratamento simultâneo de 3 colmos. O tambor é fechado e ligado a um compressor manual, que permite a elevação da pressão interna, a qual é controlada por um manômetro instalado na parte superior do tambor. Após o

tratamento os colmos devem ser guardados por pelo menos 10 dias em local coberto e fechado, para que o produto químico sofra distribuição dentro do colmo e, ocorra o tratamento. Para este processo de tratamento os colmos de bambu devem estar verdes (recentemente cortados), a menos que se vá trabalhar com pressões de tratamento maiores, caso contrário, a seiva endurece dentro dos vasos, dificultando ou mesmo impedindo o tratamento (PEREIRA, 2001).

A Figura 2.23 mostra o equipamento utilizado para tratamento dos colmos pelo método Boucherie modificado.

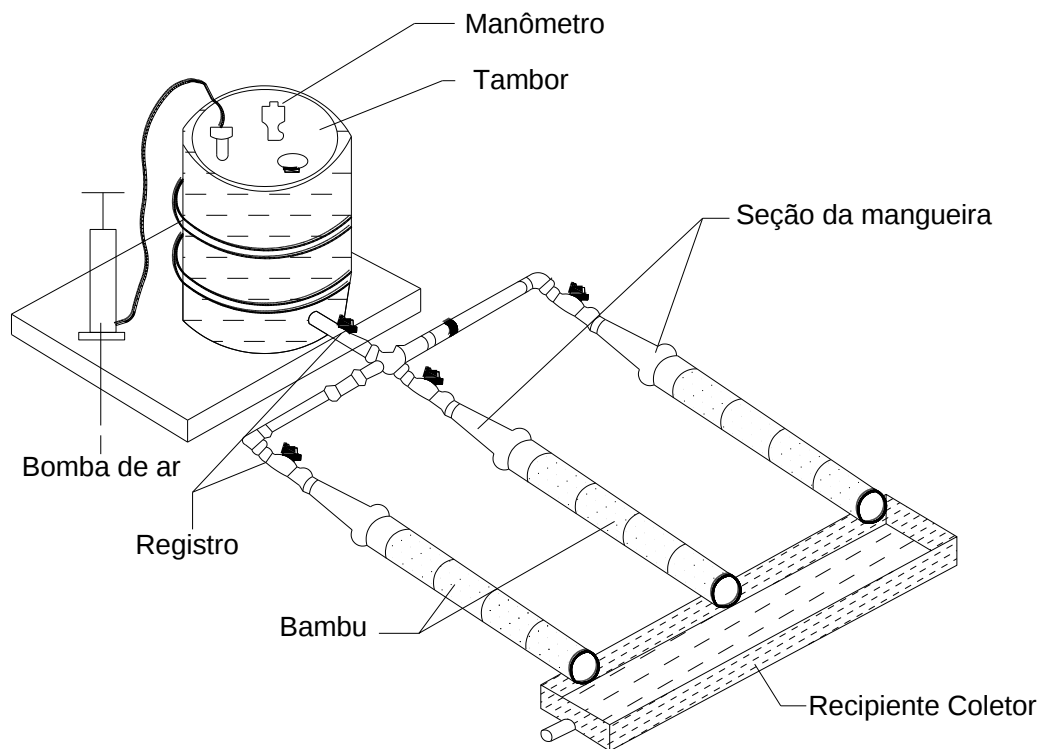


Figura 2.23- Equipamento para tratamento pelo método Boucherie modificado (PEREIRA, 2001).

O equipamento necessário para o processo Boucherie modificado é: tambor de 200 litros com tampa, para colocação de pressão interna; compressor manual; manômetro; câmara de ar de pneu (automóvel ou caminhão); produto químico; um registro e uma saída tripla para tratamento simultâneo de 3 tubos de bambu (PEREIRA, 2001). Para a realização do processo de impregnação de fluidos na espécie *Bambusa vulgaris*, foram produzidas duas máquinas no laboratório baseadas no método Boucherie.

Sá Ribeiro *et al.* (2006) trataram os bambus pelo método de Boucherie Modificado, em que uma solução preservativa a base de ácido bórico foi aplicada, o processo de substituição da seiva em colmos de bambu, utilizando-se pressão, foi efetuado dentro de 24 horas a partir da coleta no campo. Os colmos foram cortados no tamanho definitivo e tratados com solução preservativa a base de ácido bórico. Após preservados, os colmos e as ripas eram envoltos em plástico por 48 horas para continuidade do processo de difusão. Em seguida, o material tratado seguia para secagem em secador solar.

Todos os métodos anteriormente citados têm o seu valor e importância, porém a escolha do melhor método depende sempre de fatores tais como: preservativo a ser utilizado, quantidade a ser introduzida no bambu e uso final do material a ser tratado.

Um dos aspectos inovadores dessa pesquisa é a avaliação dos parâmetros de impregnação de fluidos (pressão, tempo da 1ª gota, viscosidade) em colmos de *Bambusa vulgaris* e sua associação com a microestrutura e capacidade de absorção do bambu. O conhecimento profundo desses parâmetros pode contribuir para a melhoria das propriedades mecânicas, durabilidade, aderência e como forma de tratamento contra insetos e fungos.

CAPÍTULO 3 – MICROESTRUTURA DO BAMBU

3.1- Microestrutura do bambu

As propriedades físicas, mecânicas e o comportamento estrutural do bambu estão relacionados à sua anatomia, e seu entendimento contribui na identificação de espécies, na aplicação adequada do bambu na construção civil e na escolha dos tratamentos que aumentem a sua durabilidade.

A microestrutura do bambu é formada pelos seguintes tipos de células: parênquima, vasos e fibras (TOMAZELLO FILHO e AZZINI (1987); PEREIRA e BERALLDO (2007); GROSSER e LIESE (1971). Segundo Liese (1987;1998), Hidalgo-López (2003) e Lõndono *et al.* (2002), o colmo do bambu é formado em média de 52 % de parênquima, 40 % de fibras e 8 % de tecidos condutores.

Alguns pesquisadores (GHAVAMI e CULZONI, 1987; LIESE 1992; AMADA *et al.*, 1996; AMADA *et al.*, 1997; AMADA e UNTÃO, 2001, e GHAVAMI *et al.*, 2003) observaram que os feixes de fibras são mais concentrados à medida que se situam mais próximos da parte externa, de forma que o bambu possa resistir às cargas de vento, que é a maior solicitação durante a vida desse material na natureza. Esta variação das fibras na espessura do colmo é conhecida como “funcionalidade graduada”. De acordo com Ghavami e Solorzano (1995), os bambus apresentam uma distribuição de fibras de 40 % a 90 % na parte externa e de 15 a 30 % na parte interna dos colmos. As fibras são os principais responsáveis pela resistência mecânica dos colmos.

Na Figura 3.1, apresenta-se a variação da fração volumétrica das fibras ao longo da espessura do colmo do bambu *Phyllostachys heterocycla pubescens* (Mosó), estudado na PUC-Rio.

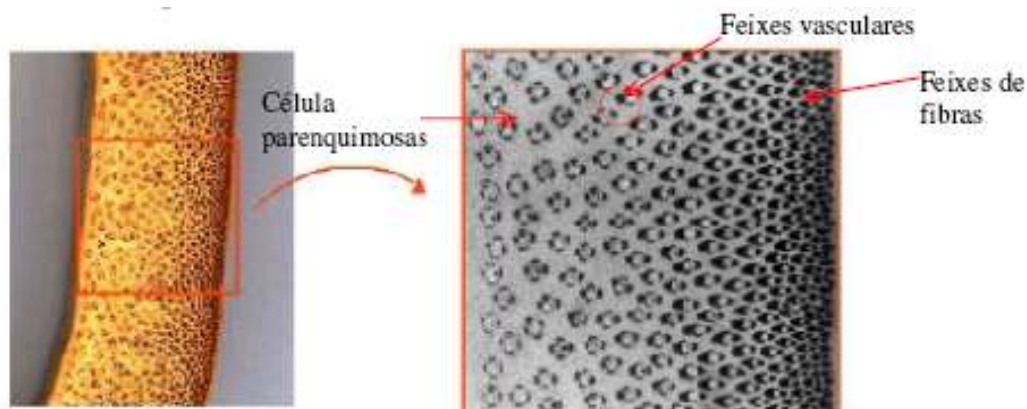


Figura 3.1 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu *Phyllostachys heterocycla pubescens* (GHAVAMI e MARINHO, 2003).

O tecido parenquimatoso é formado por células alongadas, dispostas verticalmente e intercaladas por células curtas prismáticas. Uma das principais características das células parenquimatosas é a presença de amido, que é o principal atrativo do caruncho do bambu após o corte, como é mostrado na Figura 3.2. A quantidade de amido varia de acordo com a espécie, época do ano e a idade dos colmos. O teor de amido é mais elevado no inverno. Segundo Pereira e Beraldo (2007), o teor de amido encontrado na espécie *Bambusa vulgaris* foi de 6,5 %.

O tecido parenquimatoso é mais abundante nas camadas mais internas do colmo, diminuindo gradativamente em direção às camadas mais externas; o teor de parênquima decresce da base para o ápice dos colmos. A função do parênquima é de estocar nutrientes e água (TOMAZELLO FILHO e AZZINI, 1987).

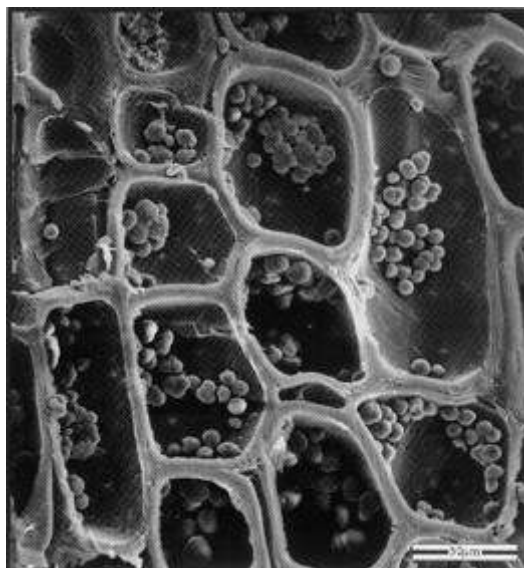


Figura 3.2 – Células parenquimáticas do gênero *Phyllostachys*, com inclusões de amido (LIESE, 1998).

Os vasos condutores de seiva são formados por dois tubos de metaxilema e um vaso estreito de protoxilema localizado entre os vasos do metaxilema e pelo floema, com tubos crivados, de parede fina, não lignificada, conectados com várias células companheiras (FIGURA 3.3). Os vasos são menores e mais numerosos na periferia do colmo e maiores e em menor quantidade na sua parte interna. A função dos tecidos condutores é transportar os nutrientes da raiz às demais partes da planta, prolongando a vida dos bambus (TOMAZELLO FILHO e AZZINI, 1987; PEREIRA e BERALDO, 2007 e MARTINS GOMES *et al.*, 2004). O tamanho e a área do metaxilema são críticos para a

condutividade da água no bambu é importante para a preservação de colmos frescos, quando é usado o método de preservação Boucherie (LIESE, 1998). Durante o passar da idade, alguns vasos condutores podem ser parcialmente obstruídos por colas, limitando a condutividade e induzindo a morte do colmo (LIESE, 1998).

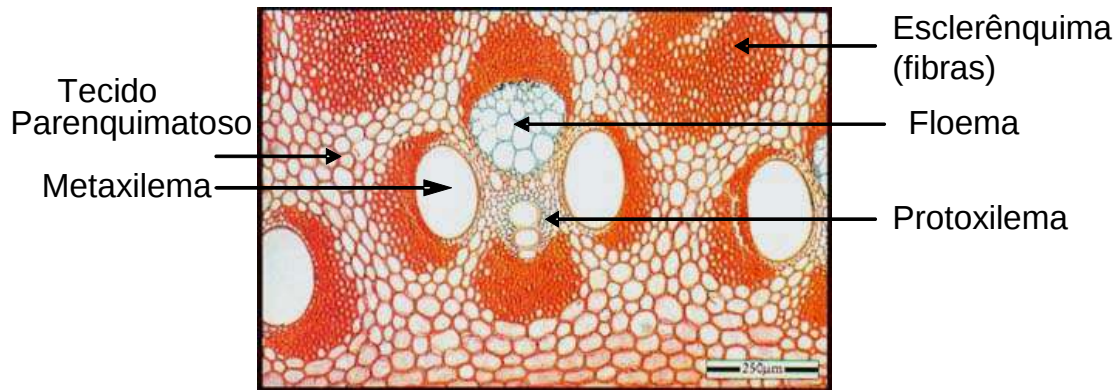


Figura 3.3- Feixes fibro-vasculares no bambu (LIESE, 1998).

O conjunto vascular é o componente estrutural mais variado do colmo do bambu; sua forma, tamanho e distribuição, variam no internó e ao longo do comprimento (altura) do colmo (GHAVAMI e MARINHO, 2005). A Figura 3.4 mostra uma imagem dos conjuntos vasculares dos bambus adquiridas num microscópio eletrônico de varredura (MEV), obtida por Lo *et al.* (2004).

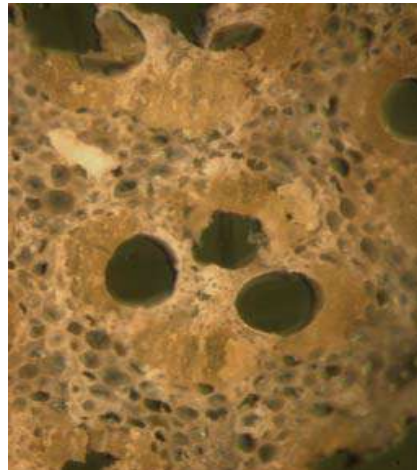


Figura 3.4- Detalhe dos conjuntos vasculares do bambu (LO *et al.*, 2004).

3.2 –Técnicas de caracterização microestrutural do bambu

Segundo Grosser e Liese (1971), os conjuntos vasculares podem ser classificados em sete tipos de acordo com o número de regiões de esclerênquima, suas formas e o modo como se arranjam em torno dos vasos, a saber: não-diferenciado, semi-diferenciado, *double-broken*, *broken*, *slender-waist*, *open* e *semi-open*. Dentre estes, os tipos não-diferenciado e semi-diferenciado são comuns a todas as espécies, ocorrendo nas regiões da espessura próximas à superfície externa do colmo dos bambus.

A escolha das características adequadas à classificação deve feita a partir da observação do conjunto de treinamento. Das cinco classes de conjunto vascular, apenas duas têm o mesmo número de regiões de esclerênquima, *open* e *slender-waist*, que possuem quatro. Além disso, o número de regiões de esclerênquima é uma característica discreta, que só pode assumir quatro valores (2, 4, 5 e 6). Qualquer conjunto vascular que apresente um outro número constitui-se em um erro, sendo portanto eliminado.

A fim de discriminar as classes *open* e *slender-waist*, faz-se necessária a adoção de pelo menos mais uma característica além do número de regiões. Os conjuntos da classe *slender-waist* são mais densos, pois apresentam relativamente menos área de parênquima. Além disso, eles possuem uma das regiões com área bem superior às demais. Assim, uma opção poderia ser utilizar, como segunda característica, a razão entre a área da maior região e a área convexa do conjunto vascular. A Figura 3.5, mostra os tipos de conjunto vasculares do bambu:

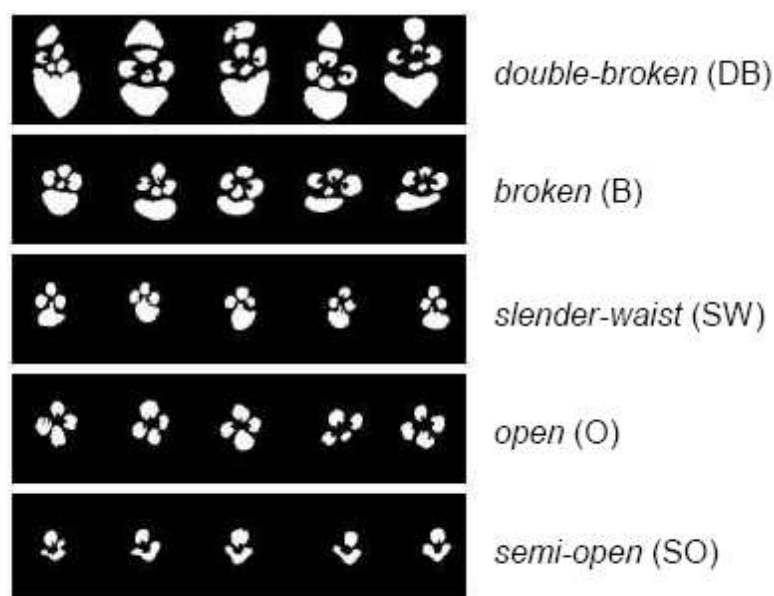


Figura 3.5- Tipos de conjuntos vasculares do bambu (MARTINS GOMES *et al.*, 2004).

A preparação das amostras consistiu em lixamento (lixa no 400, 600 e 1000) e polimento (alumina, 6 μm e 3 μm). As amostras foram observadas em uma lupa com 6x de magnificação e suas imagens capturadas por uma câmera de vídeo ligada a um computador PC através de uma placa digitalizadora de vídeo (*frame grabber*). As imagens digitais obtidas foram então processadas e analisadas usando uma rotina desenvolvida no *software* KS400. A Figura 3.6 apresenta ao lado da imagem exemplo original, o resultado da classificação de seus conjuntos vasculares. A espécie *Bambusa vulgaris* apresenta em sua maioria os conjuntos vasculares do tipo *broken* e *open*.

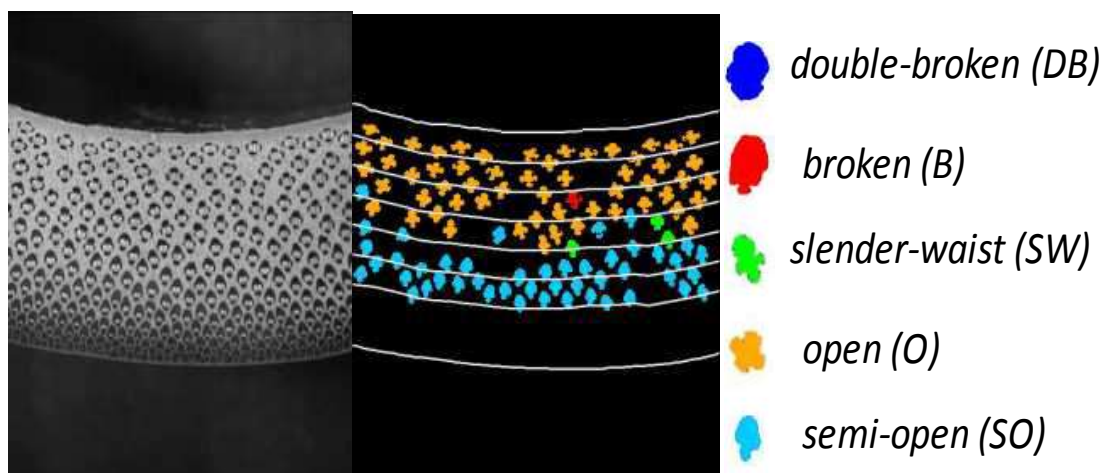


Figura 3.6- Classificação da imagem exemplo: (a) imagem exemplo original; (b) classificação com a separação em camadas; (c) codificação pictórica das classes.

Londõno *et al.* (2002) fez a caracterização anatômica do bambu *Guadua angustifolia* da zona de café colombiana. Observou que a idade do colmo não interfere nas características anatômicas. O colmo do bambu *Guadua angustifolia* é formado por 40% de fibras, 51% de parênquima e 9% de vasos.

Londõno *et al.* (2002), cortaram amostras de 1,5 metros com idades variando de 6 a 120 meses. As amostras do colmo tinham (1 cm x 1 cm), de diferentes idades, na parte central e entrenós. Em uma solução de 4% de formaldeído, 5 % de ácido acético e 50 % de álcool por 24 horas a 4°C e embebida em parafina e polida com (etanol: glicerol = 1:1), por três semanas a 60°C e hidratada em 50, 70 e 96 % de etanol por 1 hora. As seções (10 μm -30 μm) foram observadas com um microscópio eletrônico.

Algumas imagens obtidas no microscópio são mostradas nas Figuras 3.7 e 3.8.

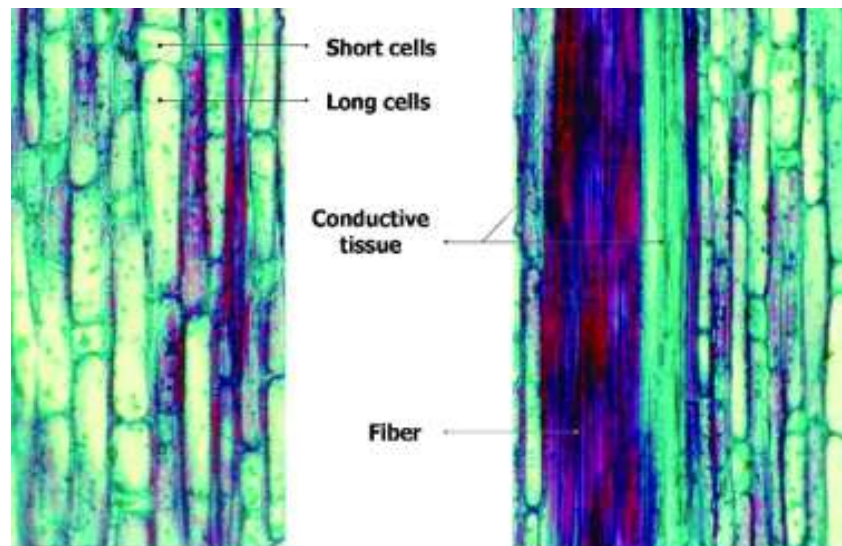


Figura 3.7 – Seção longitudinal do colmo do bambu *Guadua angustifolia*.

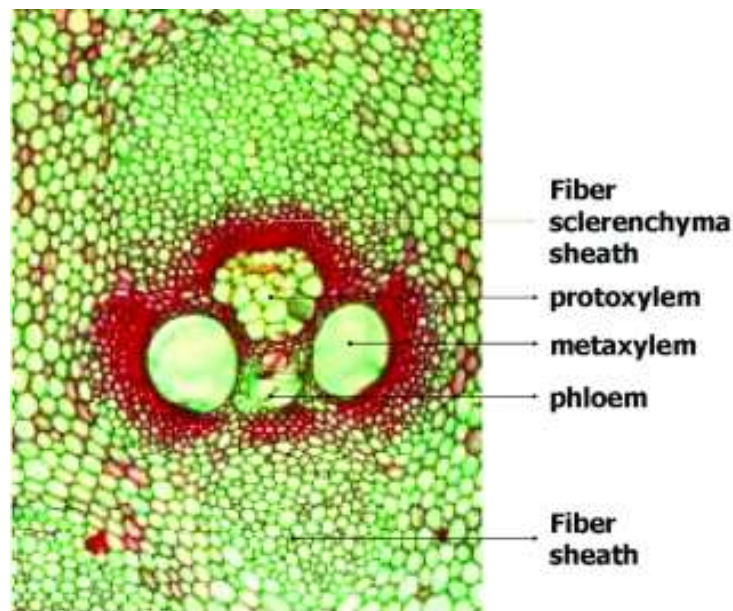


Figura 3.8- Conjunto vascular do *Guadua angustifolia*.

Ray *et al.* (2004) estudaram a microscopia de bambus da espécie *Valki*. O estudo da microestrutura do bambu foi feito usando microscopia eletrônica de varredura num Jeol-JSM 840 A. As amostras de bambu foram cortadas vagarosamente numa serra diamantada. As espécies foram polidas e imersas em uma solução com 5% de NaOH, durante 2 a 3 minutos. As micrografias de fibras e fibrilas foram feitas com amostra fraturadas. Todas as amostras foram revestidas em ouro e estudadas no MEV. A fratura mostra que cada fibra contém muitas células de esclerênquima. As fibrilas têm o formato de pentágono e hexágono. A maior quantidade de fibras está situada na parte externa e vai

diminuindo na parte interna. Na parte interna o volume de fração de matriz é grande. Algumas imagens obtidas no MEV são mostradas nas Figuras 3.9 a 3.11.

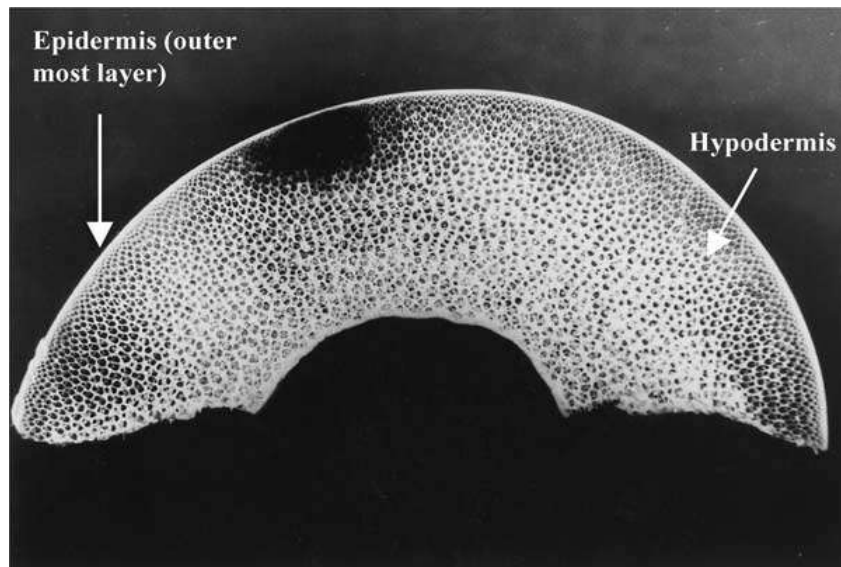


Figura 3.9 - Seção transversal de uma amostra de bambu.

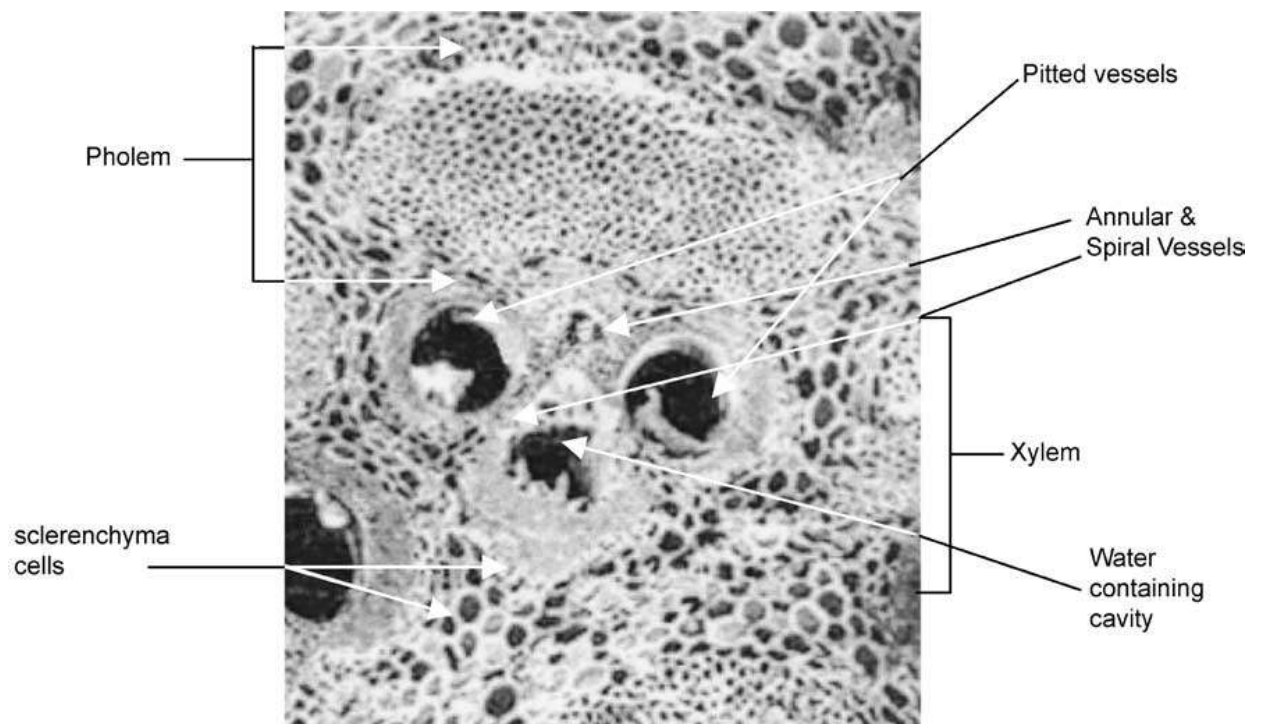


Figura 3.10- Microestrutura do bambu obtida em um MEV.

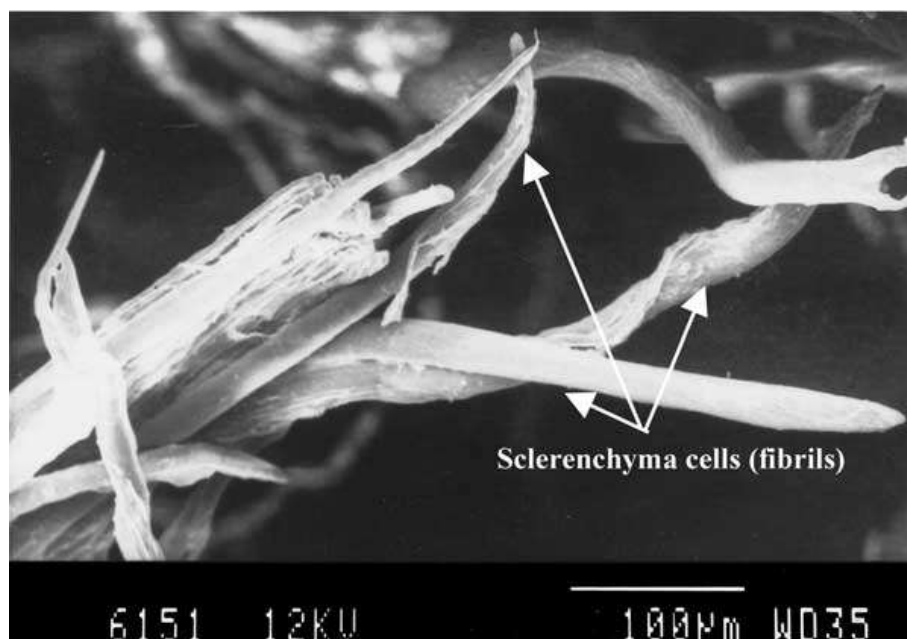


Figura 3.11- Conjunto vascular fraturado, mostrando as fibrilas

Rúgulo de Agrasar e Rodriguez (2003) analisaram a microestrutura de 15 espécies de bambu da América do Sul. A preparação da amostra foi feita assim: o bambu foi fervido em água com um detergente comercial por várias horas. As seções foram descoloradas com gelatina de glicerina. As seções foram observadas e fotografadas no MEV ZEISS DSM 940 M (FIGURA 3.12).

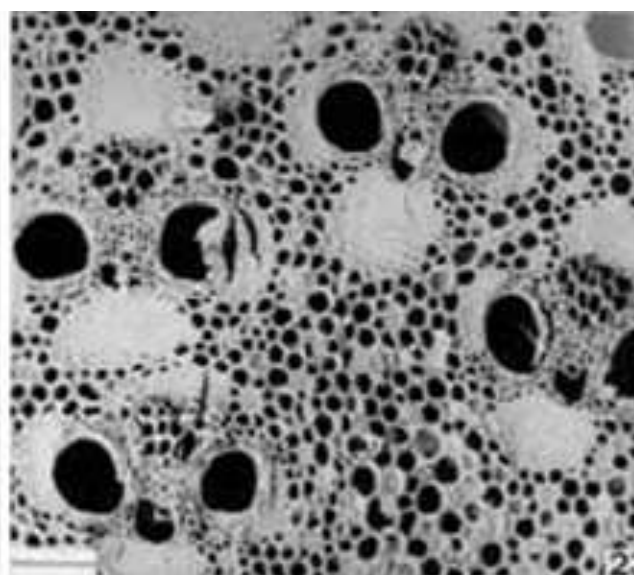


Figura 3.12 – Feixes vasculares obtidos em um MEV.

Existem algumas técnicas na literatura para observar a microestrutura do bambu. A grande maioria é feita em microscópio eletrônico de varredura, que é um microscópio especial e de custo operacional alto, sendo necessária a busca de uma técnica que também seja eficaz, de menor custo e mais acessível aos pesquisadores. Essa técnica tem que dar algumas respostas, além da simples observação visual clara, como: percentual total de vasos, fibras e parênquima; diâmetro e área dos vasos do bambu; concentração de fibras, vasos e parênquima de cada trecho da superfície do bambu (partes interna, intermediária e externa). Na seção 5.2, foi feita uma otimização de alguns tratamentos superficiais para a visualização da microestrutura do bambu no microscópio ótico.

CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

4.1- Materiais

4.1.1 – Bambu

Foram utilizados bambus da espécie *Bambusa vulgaris*, na forma de pedaços de colmos para uso na análise microestrutural, absorção, impregnação e resistência à compressão.

4.1.2- Fluidos

Foram utilizados alguns fluidos, que foram escolhidos por apresentarem diferentes viscosidades e por serem encontrados facilmente no mercado:

- Água destilada;
- Álcool etílico;
- Óleo mineral;
- Óleo 20W;
- Óleo 40W;
- Resina de poliéster; e
- Resina (80% de estireno + 20% metilmecrilato).

4.1.3- Materiais diversos

Foram utilizados: lixas de várias gramaturas (100, 200, 400, 1000), hidróxido de sódio, álcool etílico, glicerol, ácido acético, para fazer a análise microestrutural das amostras de bambu.

4.2- Planejamento Experimental

O planejamento experimental da tese foi dividido em quatro fases, conforme mostra a Figura 4.1.

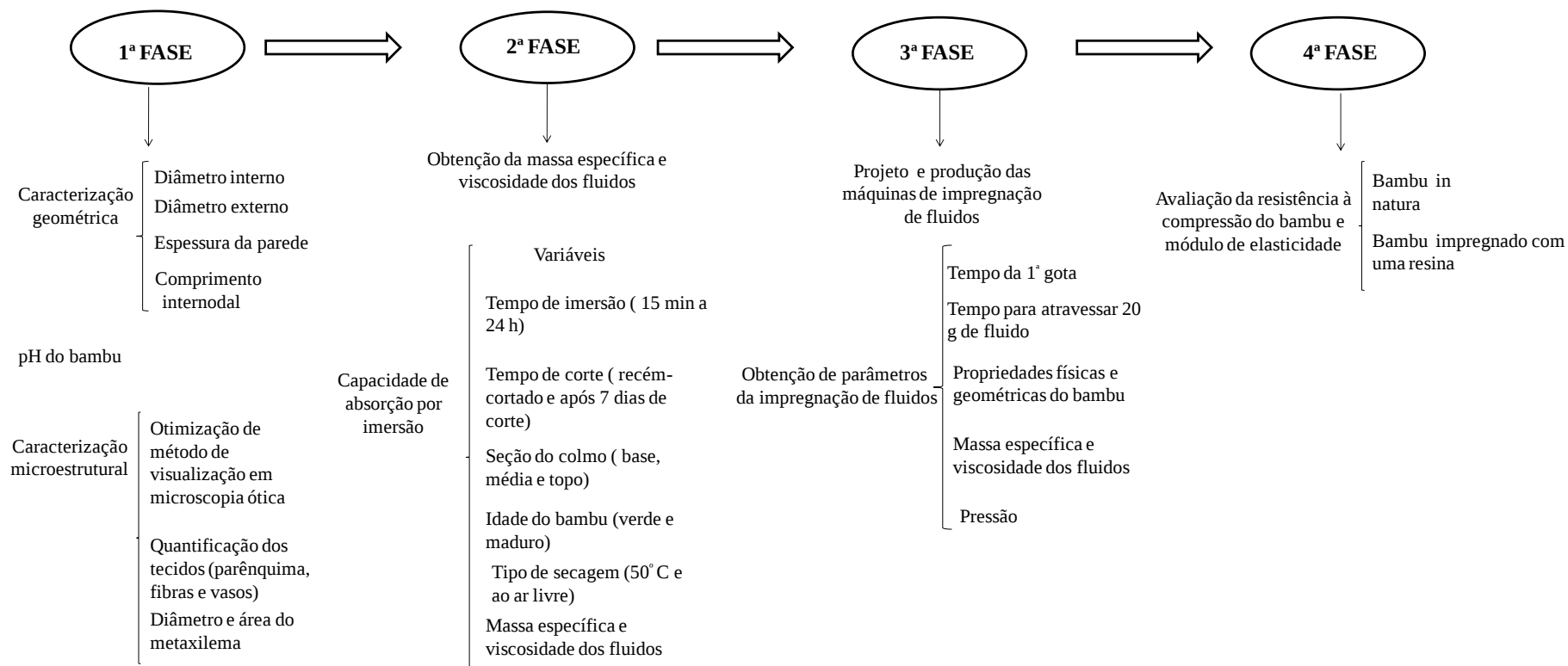


Figura 4.1- Planejamento experimental.

4.2.1- 1ª fase

a) Propriedades Geométricas do Bambu

A seleção e o corte de colmos de bambu foram realizados diretamente no bambuzal sendo cortados bambus verdes e maduros. Os colmos foram divididos em três partes: base, média e topo. Com o auxílio de uma trena e de um paquímetro, foram medidos os diâmetros internos e externos, as distâncias internodais e as espessuras das paredes dos bambus.

b) pH do bambu

O pH do bambu é um parâmetro necessário para impregnar fluidos nos vasos, pois ele tem que ter pH compatível para não promover reações químicas, nem afetar a microestrutura do colmo. Para a obtenção do pH do bambu foi adotado o seguinte procedimento, que também é mostrado na Figura 4.2:

- Colmos de bambu foram moídos e passados na peneira nº 40, até se obter um grama de material;
- Ao pó de bambu foi adicionada água destilada até cobrir a amostra, misturando-se bem e elevando a quantidade de água a 70 ml;
- A mistura foi deixada em repouso por uma hora;
- Calibrou-se o pHmetro nas soluções tampão (pH 4 e 7); e
- Lavaram-se os eletrodos com água destilada e realizou-se a medição do pH.

O pH do bambu foi obtido em bambus verdes e maduros, bem como em recém cortados e após 7 dias de corte.

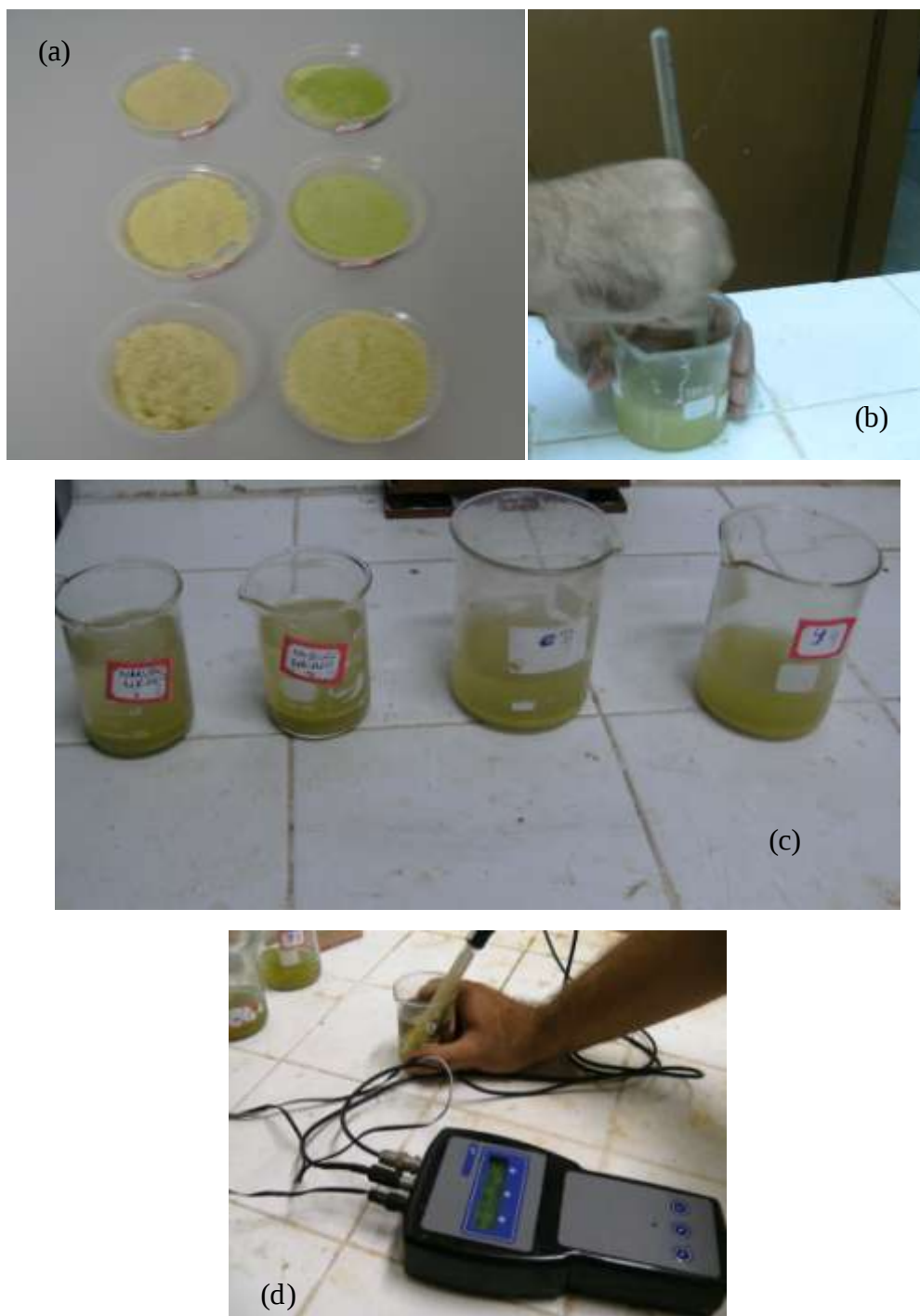


Figura 4.2- Medição do pH nos bambus. (a) Pó de bambu passado na peneira nº40; (b) Mistura da solução (água destilada + pó de bambu); (c) Amostras em repouso e (d) Medição do pH com o pHmetro.

c) Caracterização da estrutura vascular dos bambus após o corte e tratamento superficial

Foi feita por observação ao microscópio ótico, obtendo-se o percentual de tecidos (parênquima, fibras e vasos) nas regiões basal, média e apical, sua distribuição ao longo da seção transversal, diâmetro dos vasos e o diâmetro do metaxilema, com auxílio de um sistema de aquisição de imagens digital acoplado ao microscópio (câmera digital ColorView Soft Imaging System-II) e do programa computacional Analysis, para reconhecimento de imagens. Essa caracterização foi feita logo após o corte e o tratamento superficial do bambu. Foram testados 10 tipos de tratamentos de ataque para a visualização no microscópio. Esses tratamentos foram feitos a partir da lavagem e polimento das seções dos colmos de bambu em diversas soluções, temperaturas, tempos e banhos. Os tratamentos foram feitos usando as seguintes variáveis: solução (FAA (4% de formaldeído, 5 % de ácido acético e 50 % de álcool) e 5% de hidróxido de sódio); banhos (álcool e álcool-glicerol); temperatura (ambiente e 50°C) e tempo de permanência da amostra na solução (24h e 3 min). Posteriormente, foi utilizado o tratamento superficial que permitiu uma melhor visualização dos tecidos do bambu.

4.2.2- 2ª fase

a) Viscosidade e massa específica dos fluidos

A viscosidade dos fluidos foi determinada em um viscosímetro Brookfield, modelo LD DVII, com adaptador para pequenas amostras, Spindle 18, 25 e 31. A massa específica dos fluidos foi obtida em um recipiente de massa e volume conhecidos, colocou-se uma quantidade de fluido, e o valor da massa específica é igual à massa do fluido dividida pelo seu volume.

b) Avaliação da capacidade de absorção por imersão do bambu

Após a quantificação dos tecidos do bambu, observou-se que este é composto de vasos, portanto foi avaliada a capacidade de absorção dos fluidos por imersão. Os corpos de prova de bambu tinham as dimensões de 1,5 cm x 1,5 cm x espessura da parede

(cm), separados de acordo com a posição de corte (base, média e topo) e numerados. Logo após cortados, suas paredes longitudinais foram impermeabilizadas com uma resina de poliéster, para permitir a entrada de fluidos apenas pelos poros, eles foram pesados e imersos em água destilada, álcool etílico, óleo mineral, óleo 20W, óleo 40W, uma resina de poliéster e uma resina formada pela mistura de 80% de estireno e 20% de metilmetacrilato para que ficassem na condição de saturado, sendo os fluidos colocados de forma suficiente para cobrir as amostras. As amostras de bambu utilizadas no ensaio de absorção são mostradas na Figura 4.3. Utilizando-se uma balança eletrônica com precisão de 0,01 g, eles foram pesados nos intervalos de 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 12 h e 24 h. A partir daí, obteve-se a absorção por imersão. A absorção foi feita para bambus recém-cortados e após 7 dias de corte, também foram avaliados os bambus submetidos a tratamentos térmicos (estufa a 50°C), idade do bambu [verde (idade estimada de até 2 anos e cor do colmo verde) e maduro (idade estimada acima de 3 anos e cor do colmo amarelada)] para avaliar a sua capacidade de absorção. Com os resultados de absorção, foi feita uma análise estatística dos dados, através de softwares estatísticos visando conhecer os parâmetros que influenciam significativamente na capacidade de absorção do bambu.



Figura 4.3- Corpos de prova para ensaio de absorção por imersão.

4.2.3- 3ª fase

a) Máquinas de impregnação de fluidos

Posterior a absorção por imersão, foi avaliado o processo de impregnação com a aplicação de pressão. A impregnação de fluidos no bambu foi feita através de duas máquinas de impregnação que foram projetadas, fabricadas e calibradas em laboratório. A fabricação dessas máquinas foi baseada no método Boucherie, onde os fluidos atravessam as paredes do bambu, fluindo somente pelos vasos presentes na microestrutura do bambu.

A primeira máquina de impregnação de fluidos no bambu (FIGURA 4.4) tem as características adequadas para uso em campo com tecnologia acessível. Essa máquina foi utilizada para a impregnação de água destilada, óleo 20 W e óleo 40 W.



Figura 4.4 – 1ª máquina de impregnação de fluidos no bambu.

A pressão no fluido de impregnação é gerada por um pistão de nylon, inserido em um cilindro de 100 mm de diâmetro (FIGURA 4.5), com um curso de 250 mm, capaz de injetar ou impregnar até dois litros de fluido por ciclo.



Figura 4.5 – Cilindro de 100 mm.

A máquina, ou sistema mecânico, possui cinco canais independentes de alimentação e fixação podendo, pois, impregnar simultaneamente até cinco peças de bambu (FIGURA 4.6).



Figura 4.6 – Canais independentes de alimentação de fixação.

O modelo utilizado nos testes pode gerar uma pressão de impregnação até 10 atmosferas, bastando para isto variar a força de compressão no pistão. O movimento do ciclo de carga e alívio do pistão é decorrente do movimento alternativo de um cabeçote móvel, devidamente guiado na estrutura da máquina, acionado pelo cabo de aço da alavanca de carga. Embora tenha sido projetada com opção de acionamento por três tipos de força motriz: hidráulica; mecânica (parafuso de potência) e peso, adotou-se esta última por ser a mais simples e a que garante constância na pressão durante todo o processo de impregnação do bambu. Os pesos são colocados em um cesto instalado na extremidade superior da alavanca de carga (FIGURA 4.7).



Figura 4.7 – Cesto para aplicação de pressão na máquina.

O retorno do pistão é auxiliado pela alavanca de alívio instalada na parte superior da máquina. A leitura da pressão foi realizada por meio de um manômetro analógico instalado na parte inferior do cilindro (FIGURA 4.8).



Figura 4.8 – Manômetro situado na parte inferior do cilindro.

Essa máquina de impregnação devido a sua facilidade na operação pode ser utilizada em comunidades que utilizem o bambu como material de construção, e também pode ser utilizada industrialmente, pois tem a capacidade de impregnar até cinco bambus simultaneamente, servindo também como um sistema de tratamento visando aumentar a durabilidade dos bambus.

A segunda máquina de impregnação (FIGURA 4.9) é uma máquina de menor porte que a primeira, porém com uma maior facilidade de desmontagem e limpeza, bastante adequada para a impregnação de resinas.

Essa máquina é composta de um cilindro pneumático de 50 mm de diâmetro com um curso de 100 mm, de uma haste metálica que se desloca dentro de um tubo de PVC com 25 mm de diâmetro, onde foi depositada a resina (80% de estireno + 20% de metilmetacrilato), através de uma válvula esférica que está localizada na ponta do tubo, juntamente com um tê e um niple de 25 mm. No outro lado da máquina, está um pedaço de tubo de 25 mm roscado com 8 mm de comprimento, onde foi conectado o bambu, através de uma junta de borracha e por fim o bambu foi fixado por um suporte metálico. O cilindro foi acionado através de uma válvula pneumática, acionada por um botão conectada a um compressor pneumático que fornece uma pressão de até 6 atmosferas.

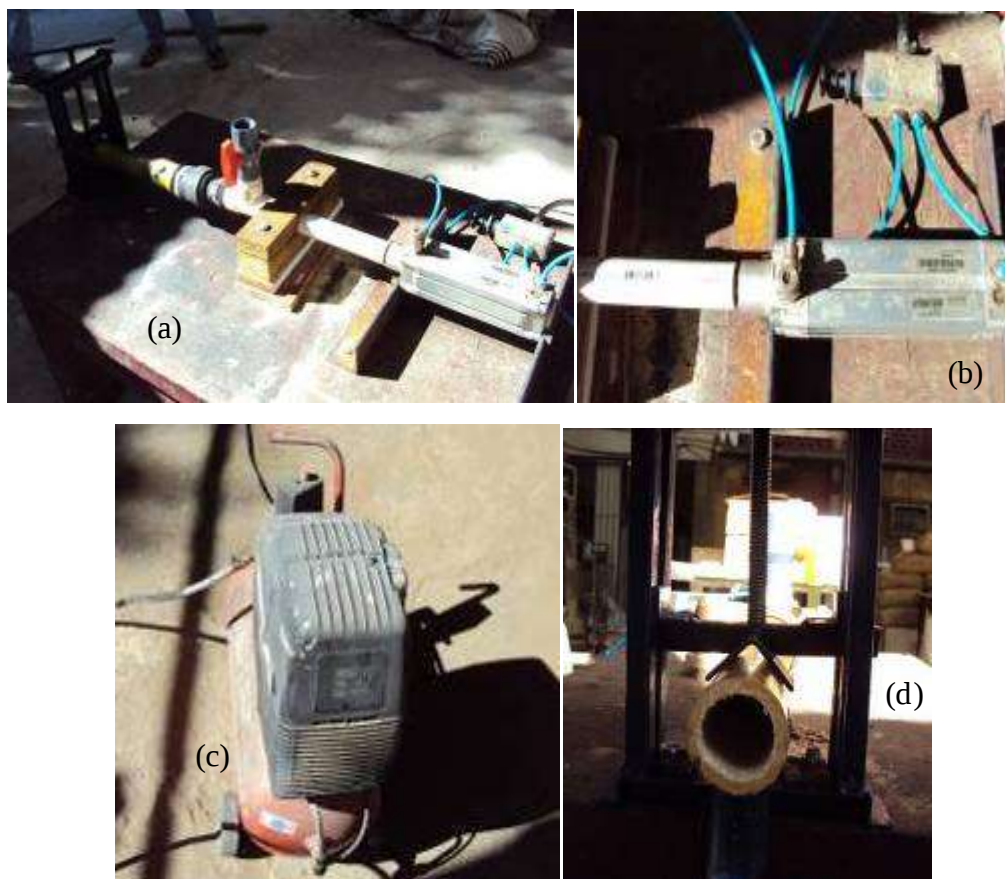


Figura 4.9 – 2ª máquina de impregnação. (a) Máquina de impregnação e suas conexões; (b) Vista superior da máquina, mostrando o cilindro pneumático e o botão de acionamento da válvula pneumática; (c) Compressor e (d) Suporte metálico para a fixação do bambu.

b) Obtenção de parâmetros de bombeamento no processo de impregnação de fluidos nos colmos do *Bambusa vulgaris*

Para se realizar a impregnação foram utilizadas amostras de bambu com um tamanho variado, cortadas no nó. Elas foram submetidas a pressões diferentes indicadas no manômetro da máquina. O ensaio foi feito da seguinte forma:

- Cortou-se e fez-se uma seleção dos colmos do bambu;
- O colmo foi dividido em pequenas amostras, com comprimento em torno de 30 cm;
- Foi realizada uma medição com paquímetro das propriedades geométricas (diâmetro externo, interno, espessura da parede e comprimento) e com uma balança a massa dos colmos antes do experimento;

- Utilizou-se uma balança para medir a massa de fluido que passa pelos vasos do bambu e também a massa do bambu após o ensaio;
- Colocou-se um béquer de 1 litro para coletar o que passa pelos vasos do bambu e a cada 20 g de fluido pesado na balança era feita uma medição de tempo;
- Mediu-se também o tempo necessário para a primeira gota de fluido atravessar os vasos do bambu; e
- Utilizou-se um pHmetro para a medição do pH do fluido que passou pelos vasos do bambu.

No processo de avaliação e otimização do processo de impregnação do bambu, foram levados em conta os seguintes parâmetros: a viscosidade do fluido, pressão de impregnação, propriedades geométricas (diâmetro interno, diâmetro externo, espessura da parede, densidade do bambu, comprimento, massa inicial e final), densidade do fluido, tempo da 1ª gota, tempo de corte do bambu, pH do fluido e tempo para atravessar 20 g de fluido. Os fluidos utilizados nesse processo de impregnação foram: a água destilada, o óleo 20 W e o óleo 40 W.

4.2.4- 4ª fase

Após a obtenção dos parâmetros de bombeamento, o bambu foi impregnado com uma resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato). Essa resina foi escolhida, devido a sua baixa viscosidade e também pelo seu processo de polimerização que ocorre a uma temperatura superior a 40°C. As amostras de bambu foram cortadas, lixadas e tinham altura igual ao diâmetro (FIGURA 4.10). Foram obtidas as resistências à compressão e módulo de elasticidade à compressão.



Figura 4.10 – Corpos de prova de bambu para ensaio à compressão.

A resistência à compressão e módulo de elasticidade foram obtidos com dois tratamentos: o bambu in natura e o bambu impregnado com a resina e seco em estufa a 50°C durante 24 horas. O ensaio de compressão e módulo de elasticidade nos bambus foi feito em uma máquina SHIMADZU até a ruptura dos corpos de prova (FIGURA 4.11).



Figura 4.11- Ensaio de resistência à compressão. (a) Início do ensaio e (b) ruptura do corpo de prova.

4.3 -Tratamento estatístico

Foram realizadas análises estatísticas multivariadas utilizando-se os programas estatísticos *Origin 6.0* e *R* nos resultados dos ensaios de microestrutura do bambu, absorção, impregnação de fluidos e resistência à compressão. Em todas as análises foram considerados significativos os resultados com nível de significância igual a 95 %.

CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Caracterização geométrica do bambu

Nos bambus utilizados foram medidos o diâmetro externo, diâmetro interno, espessura da parede e a distância internodal dos bambus verde e maduro, nas partes base, média e topo da espécie *Bambusa vulgaris*, conforme mostrado na Tabela 5.1.

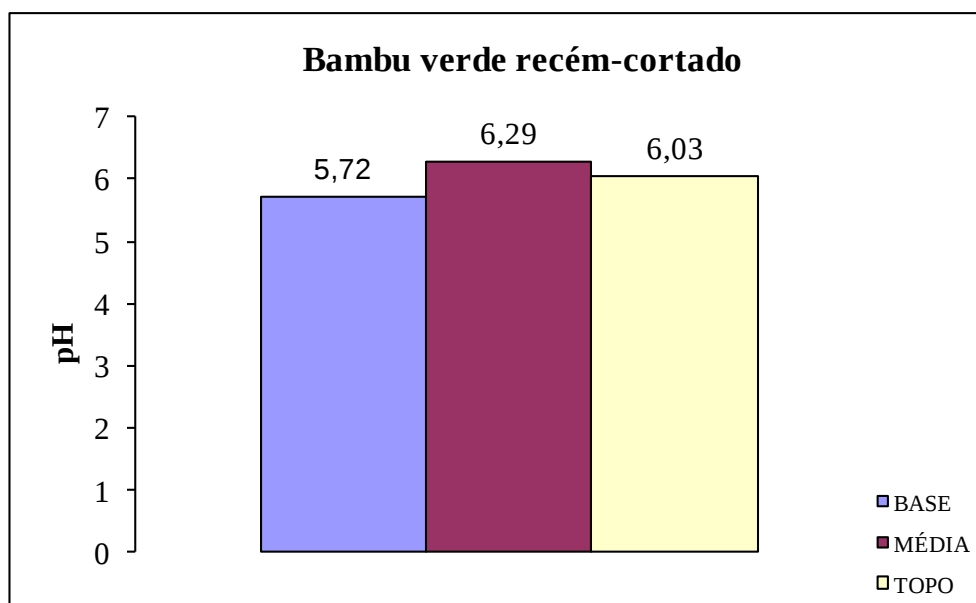
Tabela 5.1- Propriedades físicas médias do *Bambusa vulgaris*.

Bambu verde	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Espessura (cm)	Dist. internodal (cm)
Base	6,50	3,60	2,40	37,48
Média	6,30	3,12	2,10	40,25
Topo	2,00	1,44	0,50	21,97
Bambu maduro	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Espessura (cm)	Dist. internodal (cm)
Base	6,60	2,00	2,94	21,39
Média	4,96	3,20	0,98	34,35
Topo	2,62	1,00	0,76	30,10

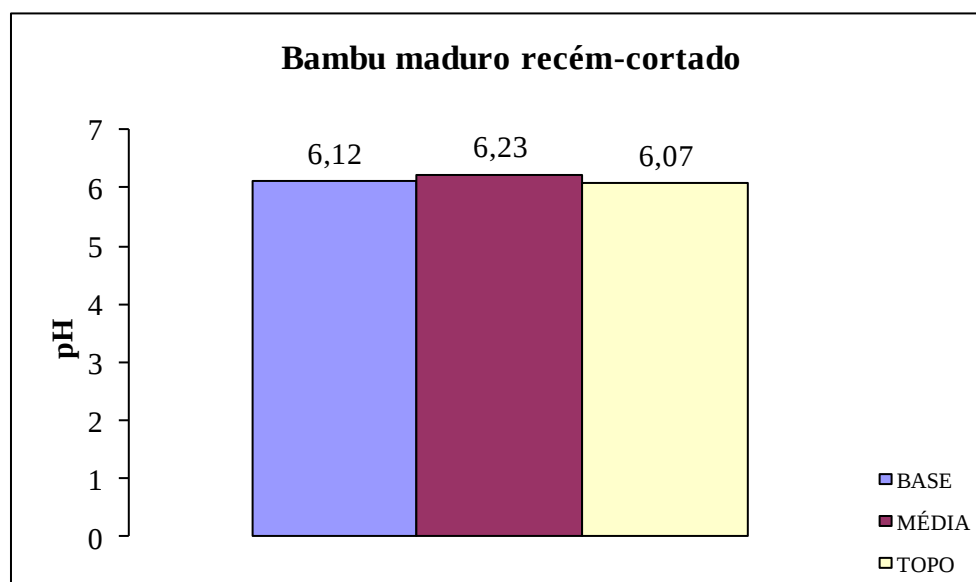
Nota-se que o diâmetro externo médio dos colmos varia de 2,62 cm a 6,50 cm. Observa-se nos colmos da espécie *Bambusa vulgaris* que o diâmetro externo e a espessura da parede diminuem da base para o topo, tanto para os colmos verdes quanto para os maduros. O valor do diâmetro externo dos bambus em média é igual a 4,83 cm, difere dos valores obtidos por Salgado *et al.* (1994), que foi de 8,20 cm e Ghavami e Marinho (2001), que foi de 6,95 cm. Já os valores médios da distância internodal foram similares em média, 30,92 cm, 32,00 cm e 33,00 cm.

5.2- pH do bambu

O pH é um parâmetro importante para a impregnação do bambu, pois o fluido a ser impregnado deve ter um pH similar ao do bambu, para que não ocorram reações indesejáveis, bem como não danifique a microestrutura do bambu. Os pHs dos bambus recém-cortado e após 7 dias de corte são mostrados nas Figuras 5.1 e 5.2.

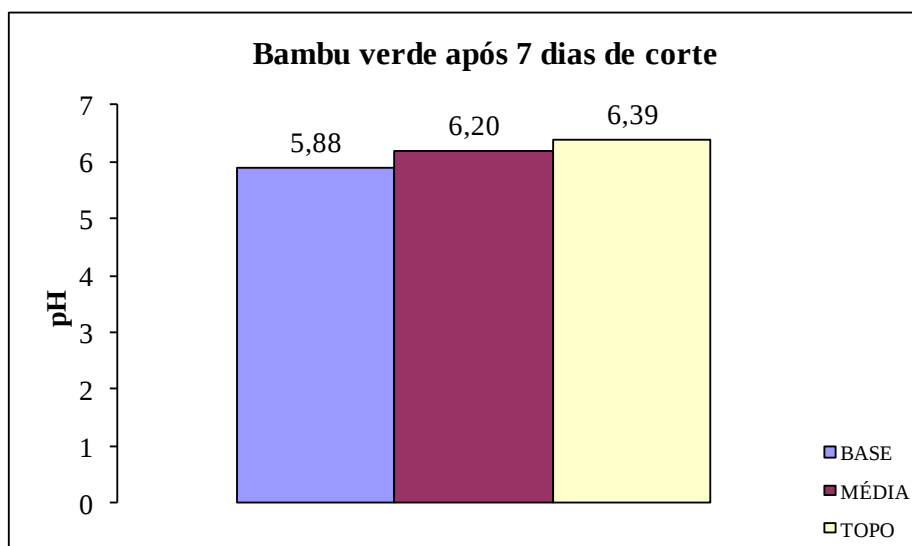


(a)

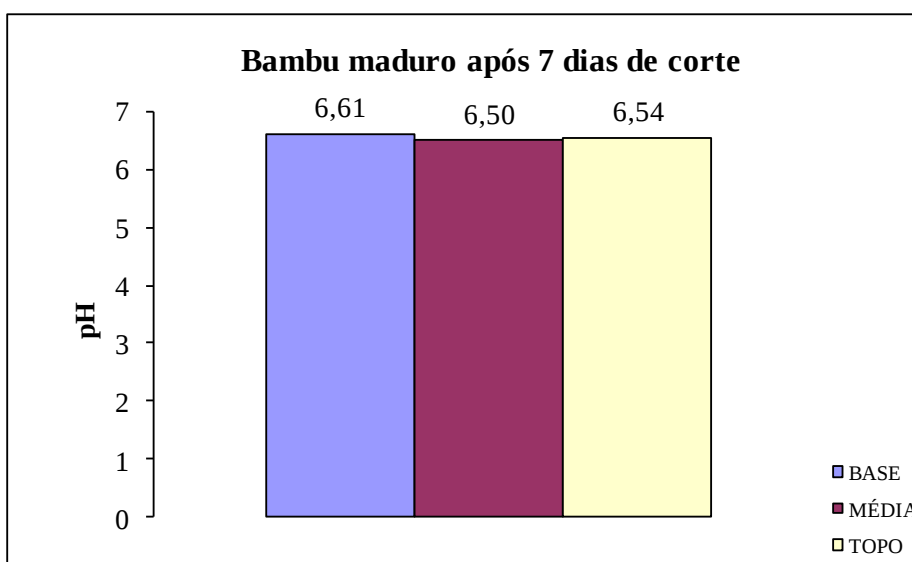


(b)

Figura 5.1- pH do bambu recém-cortado. (a) Verde e (b) Maduro.



(a)



(b)

Figura 5.2- pH do bambu após 7 dias de corte. (a) Verde e (b) Maduro.

O pH do bambu situa-se entre 5,72 a 6,61, ou seja, em média em torno de 6,20, não havendo diferenças significativas de valores, independentemente do bambu ser verde ou maduro, recém-cortado ou cortado após 7 dias. O bambu maduro apresentou um pH um pouco mais alto do que o bambu verde e o bambu após 7 dias de corte apresentou também um pH mais elevado. Com esses dados pode-se concluir que o meio interno do bambu é ligeiramente ácido. O pH interno do bambu deve ser influenciado pelo pH do solo no qual o bambu é plantado que pode variar de 6 a 9. O fluido que será usado na impregnação do bambu, tem que ter um pH próximo de 6,20, para haver compatibilidade entre os materiais.

5.3- Caracterização microestrutural

5.3.1- Otimização e desenvolvimento de um tratamento de preparação superficial para observação da microestrutura do bambu

Para melhor se poder observar a microestrutura dos colmos por microscopia ótica, foi feita uma série de tratamentos da superfície a ser analisada. Os tratamentos superficiais são mostrados na Tabela 5.2. Em seguida, no microscópio, verificou-se qual deles conduziu a uma melhor observação. Essas soluções foram selecionadas a partir de diversos trabalhos que abordaram a caracterização microestrutural.

Tabela 5.2- Tratamentos superficiais.

TRATAMENTO	SOLUÇÃO	BANHO	TEMPERATURA	TEMPO
1	FAA*	Álcool	Ambiente	24 h
2	FAA*	Álcool-glicerol	Ambiente	24 h
3	5 % hidróxido de sódio	Álcool	Ambiente	3 min
4	5 % hidróxido de sódio	Álcool	50° C	3 min
5	5 % hidróxido de sódio	Álcool-glicerol	Ambiente	3 min
6	5 % hidróxido de sódio	Álcool-glicerol	50° C	3 min
7	5 % hidróxido de sódio	Álcool	Ambiente	24 h
8	5 % hidróxido de sódio	Álcool-glicerol	Ambiente	24 h
9	5 % hidróxido de sódio	Álcool-glicerol	50° C	24 h
10	5 % hidróxido de sódio	Álcool	50° C	24 h

* FAA = 4 % de formaldeído, 5 % de ácido acético e 50 % de álcool.

As imagens obtidas para cada um desses tratamentos são mostradas na Figura 5.3. Observou-se que o tratamento que melhor permite observar os tecidos do bambu (vasos, parênquima e fibras) é o tratamento 1, cuja solução é o FAA (4 % de formaldeído, 5 % de ácido acético e 50 % de álcool) e os banhos são dados com álcool. Os trata-

mentos 3 e 4, com hidróxido de sódio e com duração de 3 minutos, também podem ser boas opções, porém com uma qualidade de imagem inferior. Os tratamentos 7 a 10, com hidróxido de sódio, com duração de 24 horas ou com temperatura de 50°C, não são bons, pois destroem os tecidos do bambu, dificultando a visualização no microscópio. É importante ressaltar que a remoção dos pós oriundos do processo de lixamento deve ser realizada com auxílio de um fluxo de ar entre cada etapa e ao final do processo antes da produção da imagem. Isto reduz o efeito de deposição destes pós que são consolidados pelas soluções de lavagem, colmatando os poros e prejudicando a obtenção da imagem dos vazios. Outro fator importante na técnica é a introdução de um feixe de luz que se acopla ao microscópio, permitindo uma melhor visualização das imagens, especialmente na observação dos vasos do bambu.

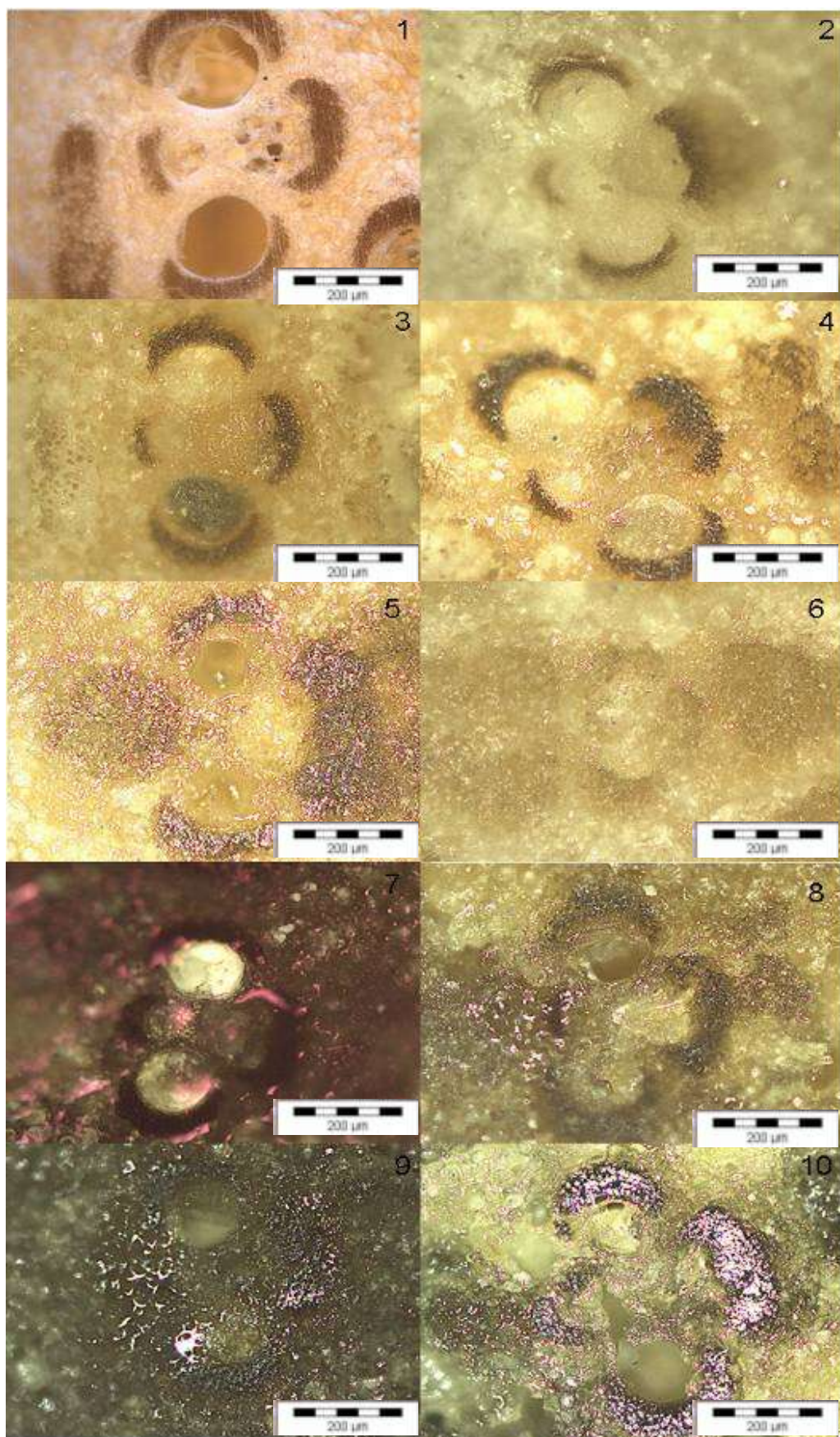


Figura 5.3 - Microestrutura do bambu obtida no microscópio ótico através de vários tratamentos de preparação da amostra.

Feita a otimização do método de análise microestrutural do bambu no microscópio ótico, o tratamento 1 foi utilizado para visualizar a distribuição dos tecidos em amostras da espécie *Bambusa vulgaris*. A Figura 5.4 mostra o perfil da estrutura vascular (metaxilema, protoxilema e floema), em diferentes seções do colmo (base, média e topo) e uma típica touceira de bambu na natureza. O número de internódios do bambu nos colmos de *Bambusa vulgaris*, situa-se em torno de 30 e estes apresentaram diâmetros e comprimentos variados.

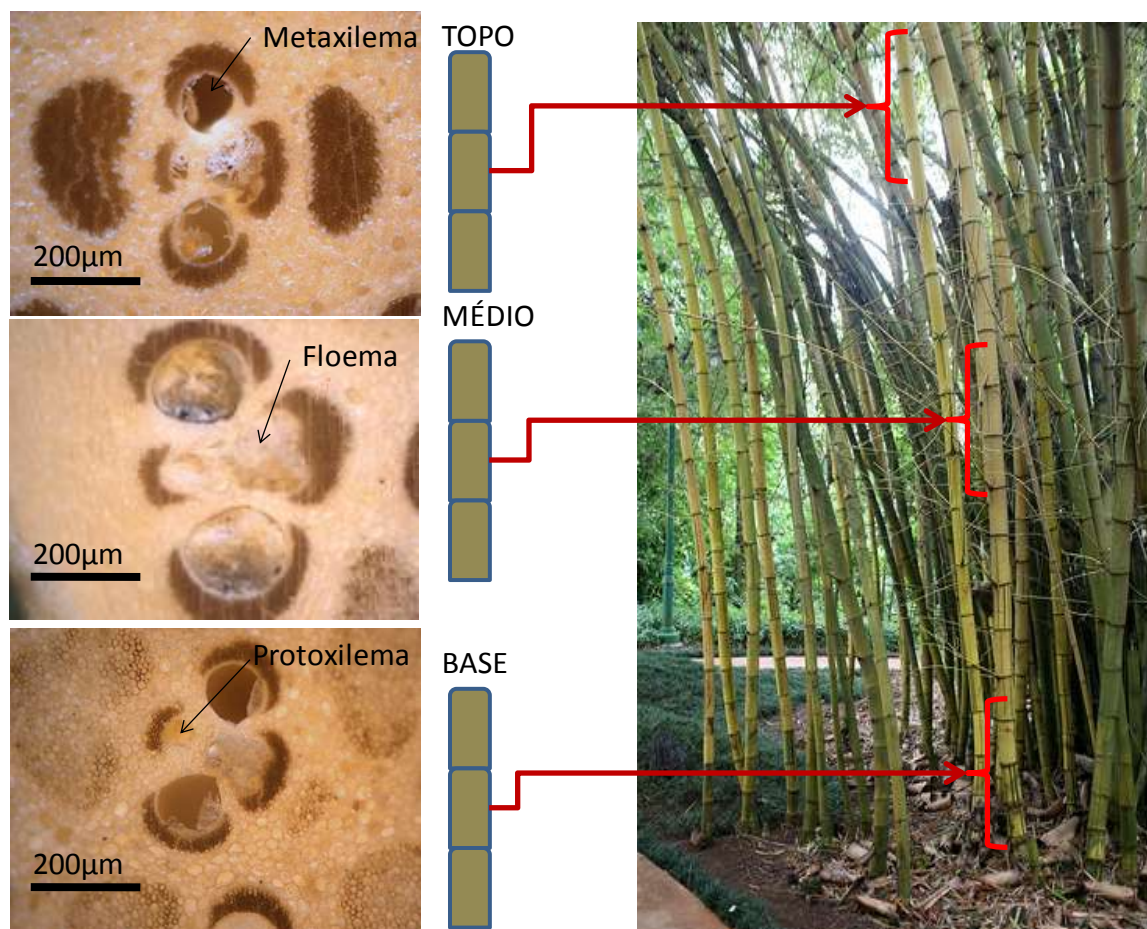


Figura 5.4- (esq.) Imagens de microscopia ótica de diferentes seções do colmo; (meio) Diagrama das seções de corte; (dir.) *Bambusa vulgaris* na touceira.

As Figuras 5.5 a 5.7 mostram a distribuição dos tecidos com relação a seção do colmo (base, média e topo) ao longo da seção transversal (externa, intermediária e interna) dos bambus verde e maduro. Observa-se que a técnica de caracterização microestrutural no microscópio ótico permite uma visualização clara dos tecidos do bambu em qualquer seção do colmo.

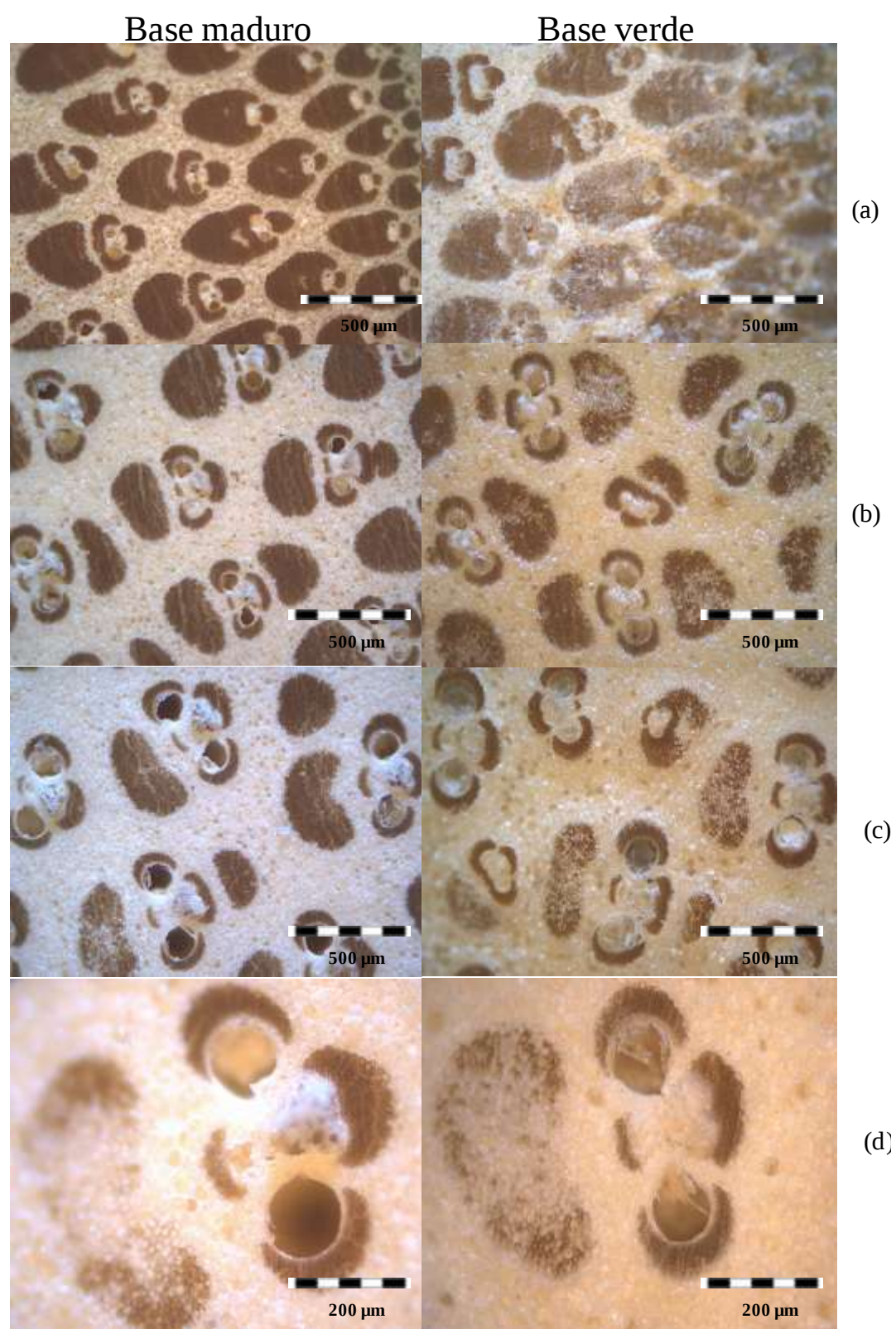


Figura 5.5 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal da base dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal; d) Estrutura vascular do bambu.

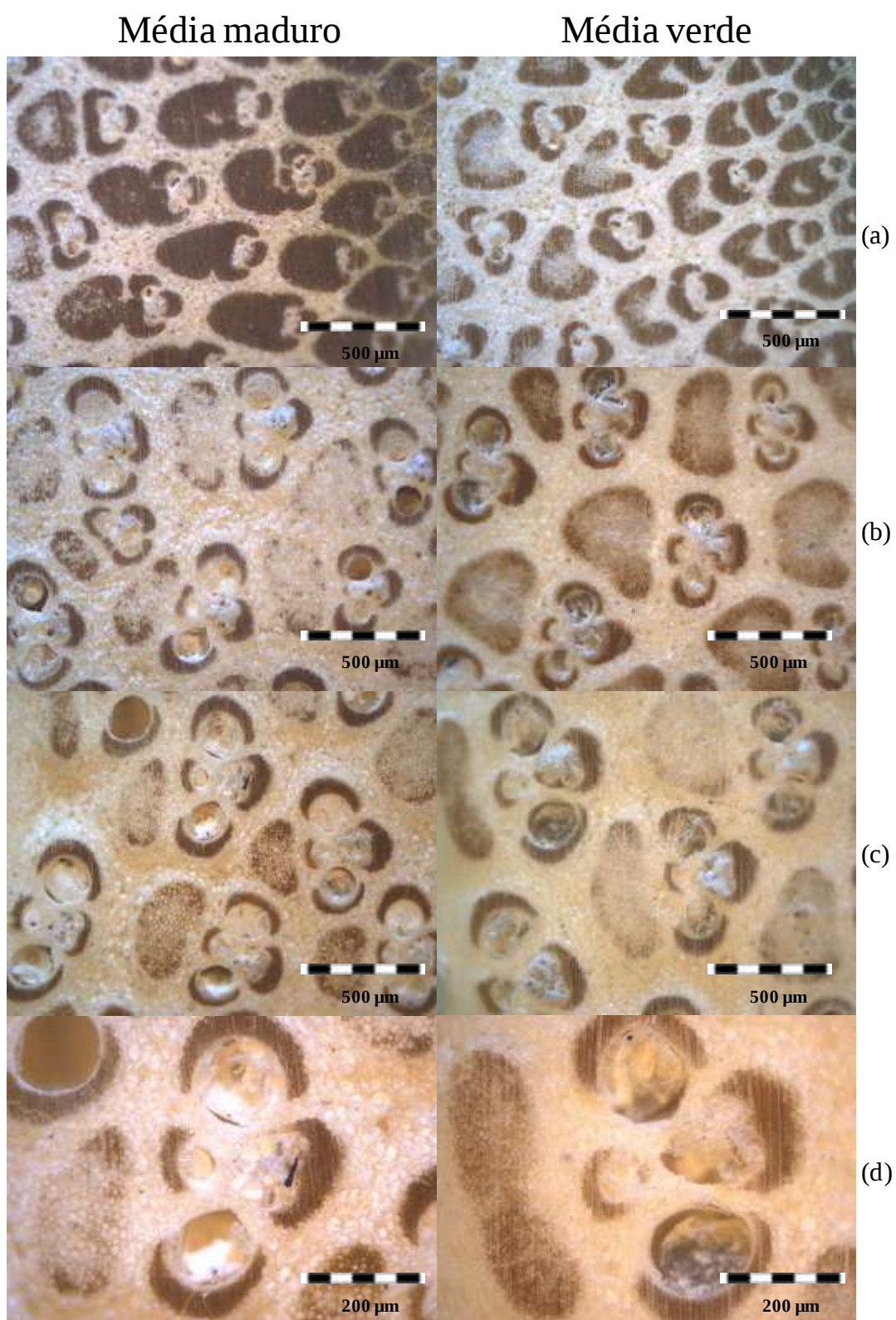


Figura 5.6 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal da parte média dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal ; (d) Estrutura vascular do bambu.

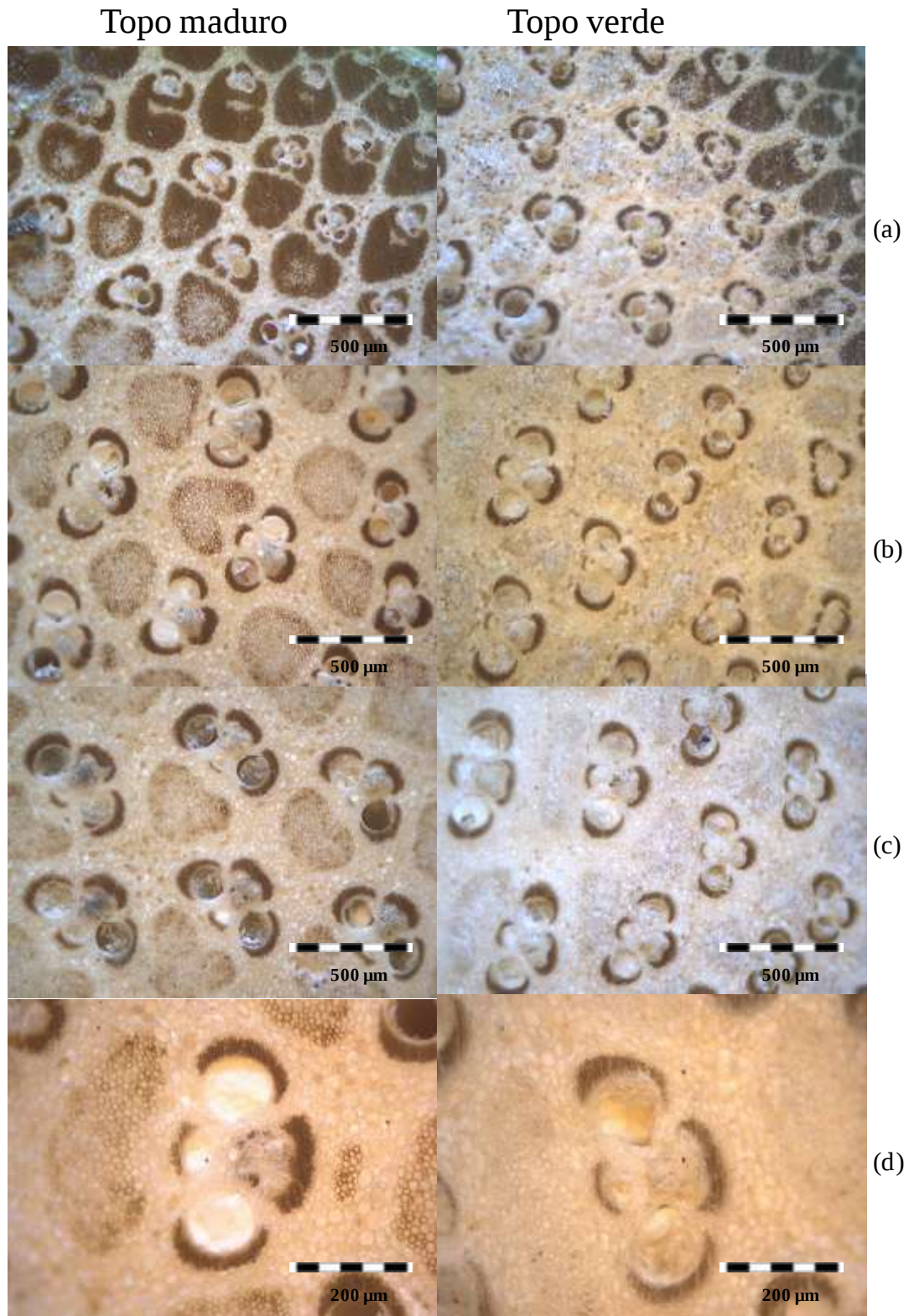


Figura 5.7 – Distribuição dos tecidos ao longo da seção transversal do topo dos bambus maduro e verde, de cima para baixo: (a) Imagem próxima a parte externa do colmo; (b) Imagem intermediária; (c) Imagem interna da seção transversal; (d) Estrutura vascular do bambu.

5.3.2- Quantificação dos tecidos do bambu, diâmetro e área do metaxilema

Através do programa *Analysis* acoplado ao microscópio ótico foi possível obter o percentual de tecidos (parênquima, fibras e vasos) nas regiões basal, média e apical dos bambus verdes e maduros, sua distribuição ao longo da seção transversal (interna, intermediária e externa), área dos vasos e o diâmetro do metaxilema que é o maior vaso do bambu. Essa análise foi feita com cinco amostras de cada região do colmo.

A quantidade de tecidos nas partes base, média e topo, nos colmos maduros e verdes são mostrados nas Figuras 5.8 e 5.9, respectivamente.

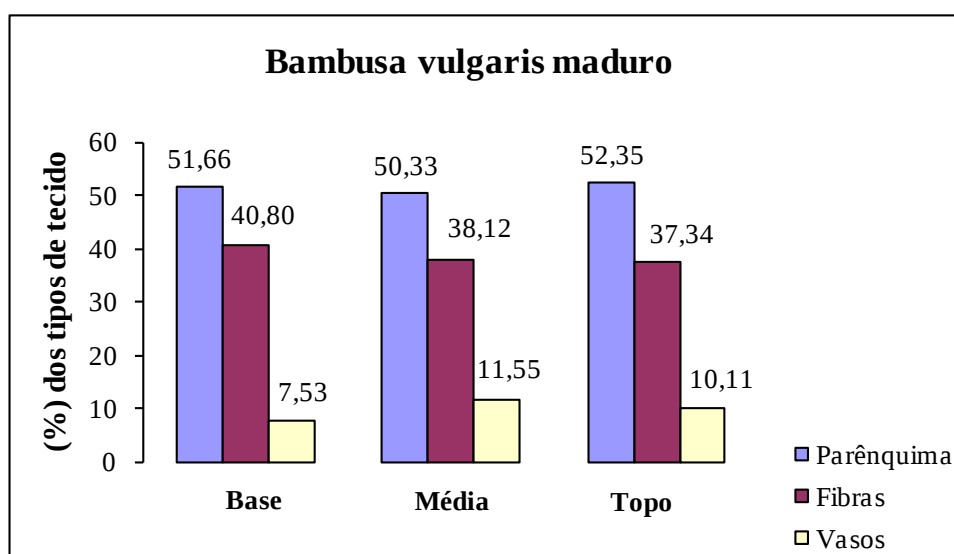


Figura 5.8- Percentual dos tecidos na base, média e topo do *Bambusa vulgaris* maduro.

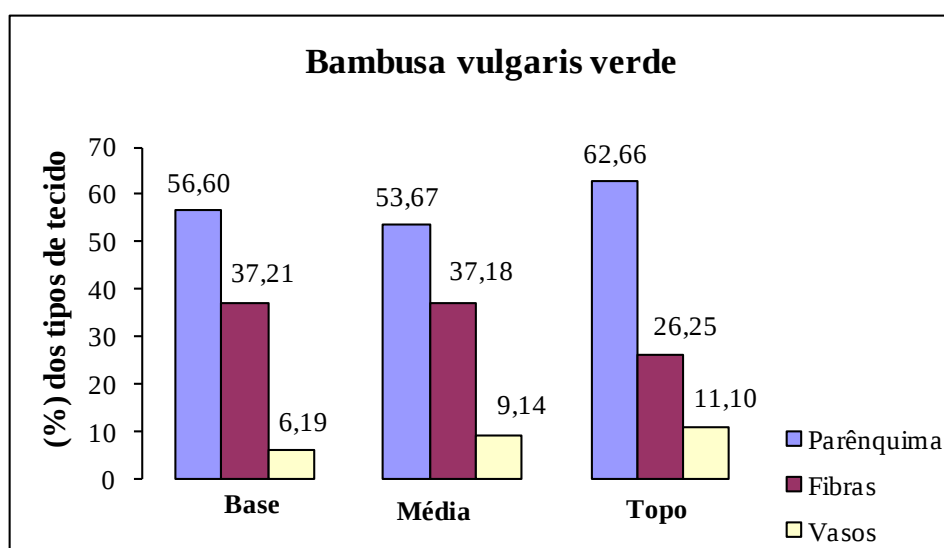


Figura 5.9- Percentual dos tecidos na base, média e topo do *Bambusa vulgaris* verde.

Nota-se que a quantidade de parênquima para o bambu maduro situa-se em torno de 50,00 %, já para o verde pode chegar a 62,66 % no topo. Com relação às fibras, o bambu maduro apresenta uma maior quantidade de fibras do que o verde em todas as regiões. As fibras são responsáveis pela resistência mecânica do bambu, daí o fato de se usar na construção civil bambus com mais de 3 anos de idade (maduros) por apresentarem uma maior quantidade de fibras e, conseqüentemente, uma maior resistência.

Com relação aos vasos, observa-se uma maior quantidade relativa nas partes média e topo, tanto para os bambus verdes como os maduros. Observa-se que para o bambu maduro, na parte média percebeu-se uma maior concentração de vasos (11,55 %). Portanto, teoricamente esta é a melhor parte do bambu, quando se pensa no processo de impregnação de fluidos. Já para o verde, quem apresenta um percentual maior de vasos é o topo (11,10 %). A Figura 5.10 mostra a porcentagem de vasos de acordo com a altura de corte (base, média e topo) e a idade do bambu (verde e maduro).

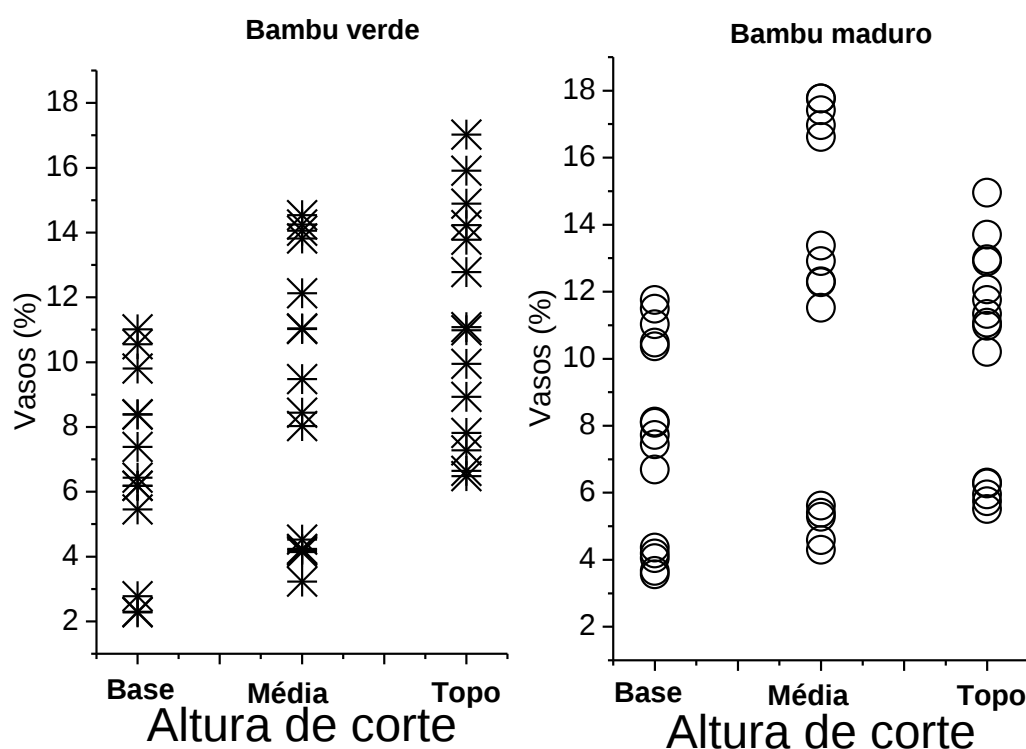


Figura 5.10 – Porcentagem dos vasos nos bambus verdes e maduros de acordo com a altura de corte.

A Figura 5.11 mostra o percentual total dos tecidos do *Bambusa vulgaris* maduro e verde

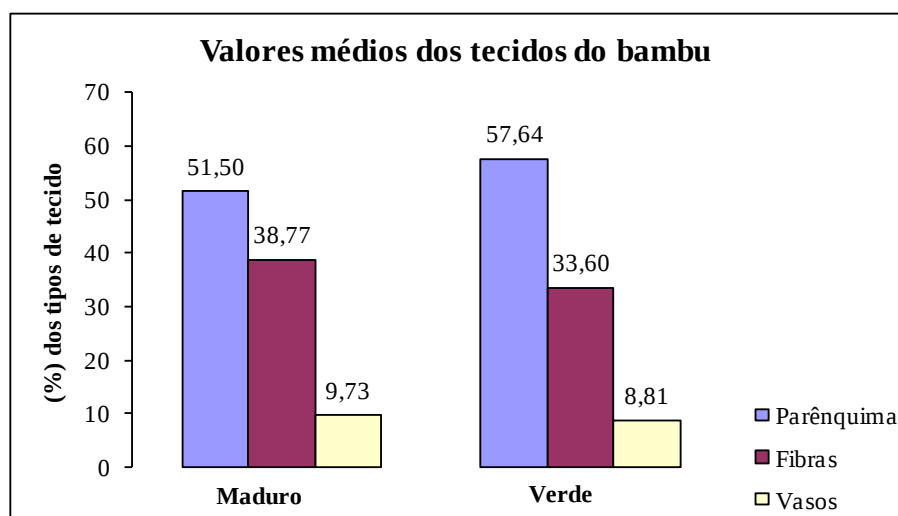


Figura 5.11 - Percentual total dos tecidos do *Bambusa vulgaris* maduro e verde.

Nota-se que no colmo maduro conseguiu-se perceber uma maior quantidade de vasos do que no verde (9,73 % e 8,81 %). Com relação às fibras, o bambu maduro apresentou um maior teor de fibras do que o verde (38,77 % e 33,60 %). E com relação ao parênquima, o bambu verde apresentou uma maior quantidade do que o maduro (57,64 % e 51,50 %). Como já foi dito no Capítulo 3, outros autores encontraram que os bambus têm em média 52 % de parênquima, 40 % de fibras e 8 % de tecidos condutores de seiva.

A representação esquemática da seção transversal do bambu é mostrada na Figura 5.12. A variação dos tecidos ao longo da seção transversal nos colmos maduros e verdes é mostrada nas Figuras 5.13 e 5.14, respectivamente.

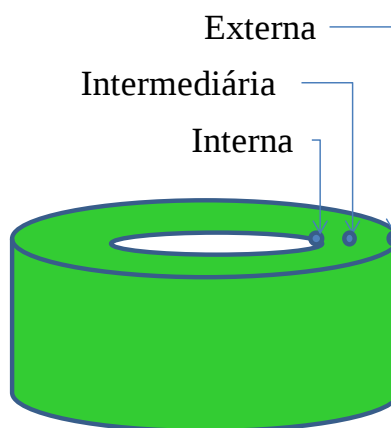


Figura 5.12- Representação esquemática da seção transversal do bambu.

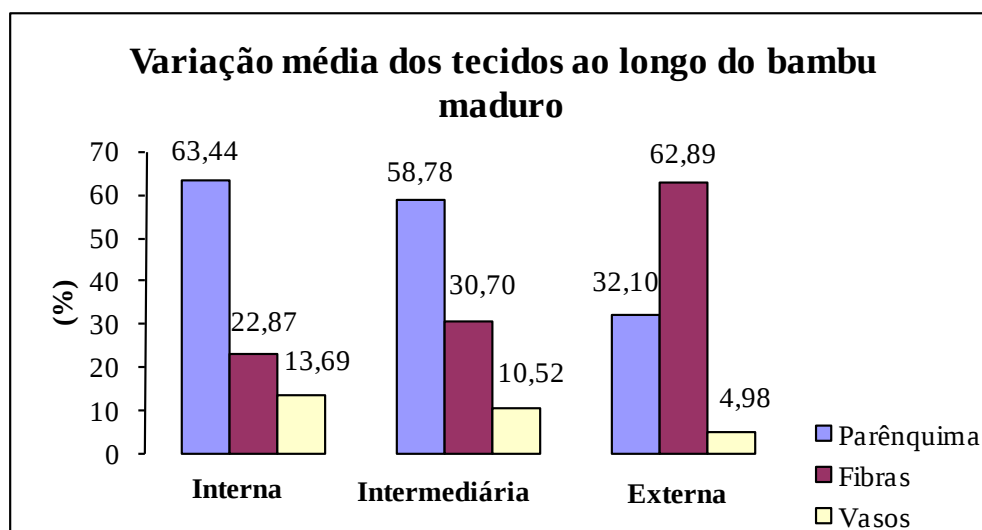


Figura 5.13- Variação dos tecidos ao longo da seção transversal do bambu maduro.

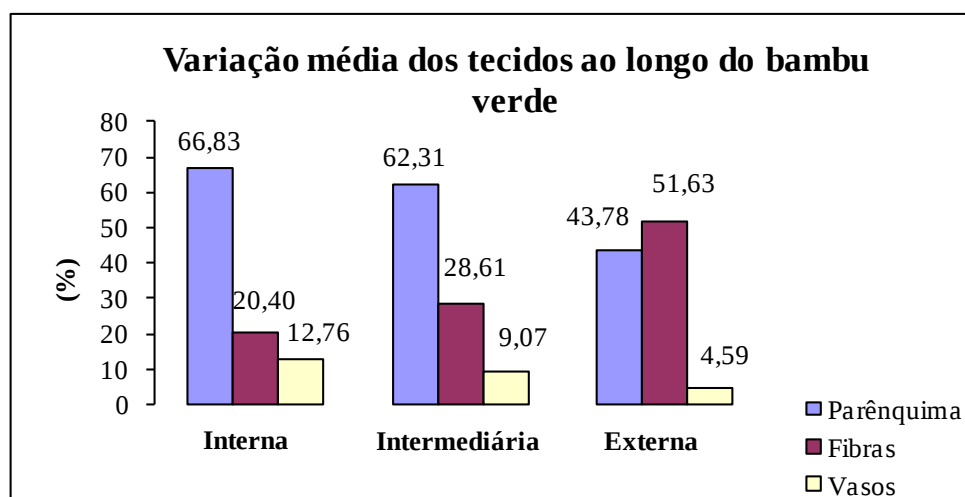


Figura 5.14- Variação dos tecidos ao longo da seção transversal do bambu verde.

Para os dois tipos de bambu (maduro e verde), a quantidade de fibras aumenta da parte interna para a externa, para que o bambu possa resistir às cargas de vento. Para os bambus verde e maduro, nota-se que a percentagem de vasos aumenta da externa para a interna.

A variação do diâmetro do metaxilema, que é o maior vaso do bambu, nas partes base, média e topo e ao longo da seção transversal (interna, intermediária e externa), nos colmos maduros e verdes, é indicada nas Tabelas 5.3 e 5.4.

Tabela 5.3- Variação do diâmetro do metaxilema no *Bambusa vulgaris* Maduro (µm).

Parte/ Região do colmo	Interna	Intermediária	Externa
BASE	78 a 233	103 a 175	20 a 97
MÉDIA	123 a 272	97 a 214	32 a 123
TOPO	149 a 233	91 a 195	26 a 142

Tabela 5.4- Variação do diâmetro do metaxilema no *Bambusa vulgaris* verde (µm).

Parte/ Região do colmo	Interna	Intermediária	Externa
BASE	58 a 221	71 a 175	26 a 71
MÉDIA	81 a 279	110 a 201	32 a 110
TOPO	97 a 214	58 a 169	39 a 143

Para os bambus maduro e verde, os vasos são de menor diâmetro e mais numerosos na parte externa do colmo e maiores e em menor quantidade na sua parte interna.

Os maiores diâmetros do metaxilema ocorreram na parte média dos colmos, independentemente da sua idade. Esta tendência ocorreu nas regiões internas e intermediárias, mas não ocorreu na parte externa, onde os maiores valores foram observados no topo dos colmos para ambas as idades (verde e madura).

Foi feita uma análise estatística dos dados da microestrutura do bambu que permite citar as observações seguintes:

- Quanto à microestrutura do bambu na base, média e topo observa-se através da Figura 5.15, sua distribuição quanto às quantidades médias de parênquima, fibras e vasos nas amostras analisadas.

- Com respeito a diferenças significativas entre a microestrutura do bambu na base, média e topo, observou-se que não existem diferenças quanto as quantidades médias de parênquima (p-valor = 0,2709) e fibras (p-valor = 0,2005). Com respeito à quantidade de vasos, notou-se que a microestrutura do bambu na base, média e topo difere significativamente (p-valor = 0,0002). As Tabelas 8.1 a 8.3 (APÊNDICE I) mostram os resultados dos testes utilizados a fim de verificar diferenças significativas entre os tecidos do bambu na base, média e topo.

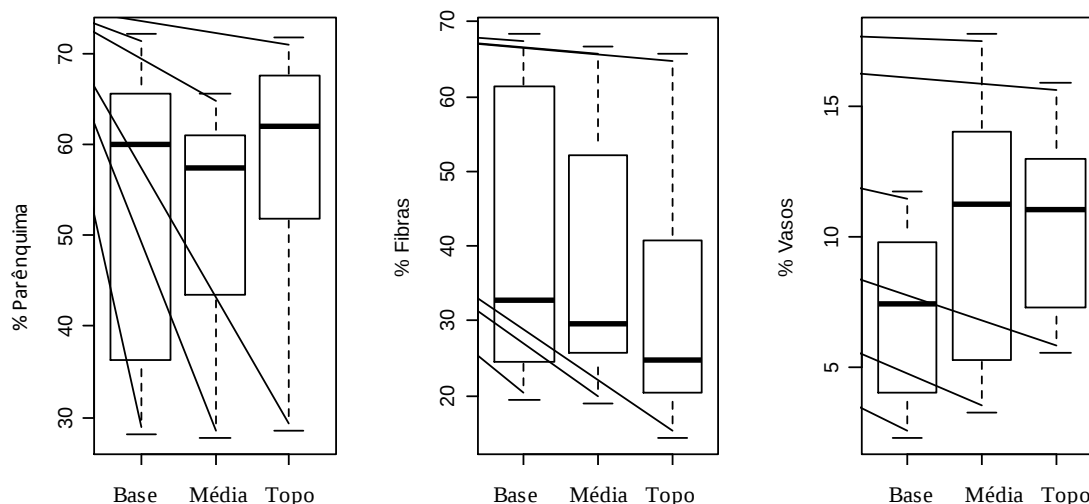


Figura 5.15 – Distribuição das quantidades médias de parênquima, fibras e vasos na base, média e topo dos bambus.

- Quanto ao fato do bambu ser verde ou maduro, observa-se que não existem diferenças significativas entre as quantidades médias de fibras ($p\text{-valor} = 0,1356$) e vasos ($p\text{-valor} = 0,2935$). Com respeito às quantidades médias de parênquima, observou-se diferenças significativas entre bambus maduros e verdes ($p\text{-valor} = 0,0255$). As Tabelas 8.4 a 8.6 (APÊNDICE I) apresentam os resultados dos testes utilizados com a finalidade de verificar diferenças significativas entre os tecidos do bambu e o fato do bambu ser verde ou maduro.

- A Figura 5.16 apresenta a distribuição das quantidades médias de parênquima, fibras e vasos nas amostras analisadas para os bambus verdes e maduros.

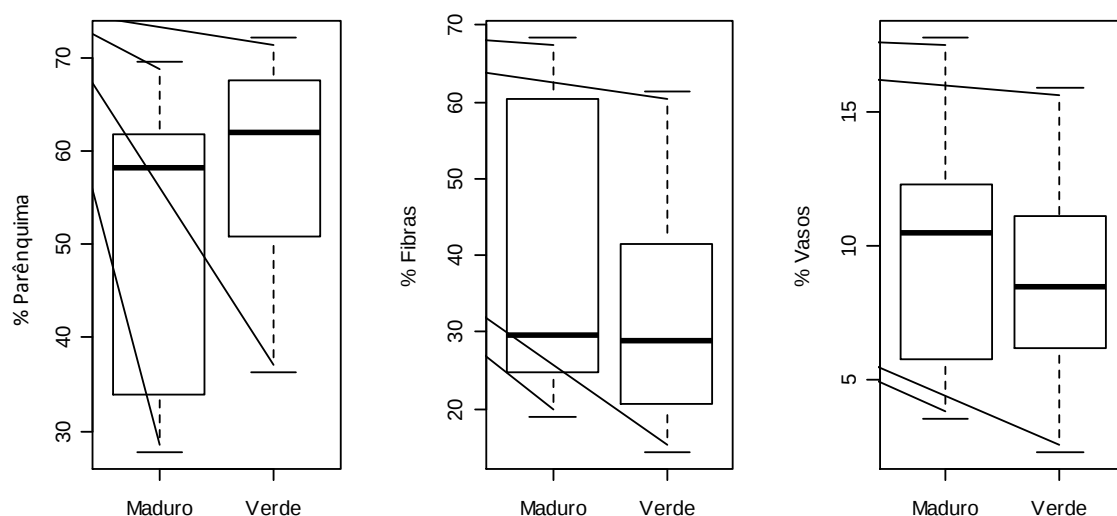


Figura 5.16 - Distribuição das quantidades médias de parênquima, fibras e vasos nas amostras analisadas para bambus verdes e maduros.

- Quanto às concentrações médias de vasos no bambu na parte interna, média e externa observa-se, através da Figura 5.17, que é maior a concentração de vasos (%) na parte interna. E a quantidade de vasos aumenta da parte externa para a interna. Como os vasos são maiores na parte interna, a impregnação dos fluidos ocorrerá primeiro nessa área, irradiando para o resto da espessura da parede do bambu. Com respeito às partes intermediária e externa, a concentração de vasos na parte interna é estatisticamente significativa ($p\text{-valor} = < 0,0001$). A Tabela 8.7 (APÊNDICE I) apresenta os resultados da análise estatística utilizada a fim de se verificar diferenças significativas entre concentrações médias de vasos no bambu na parte interna, intermediária e externa do colmo do bambu.

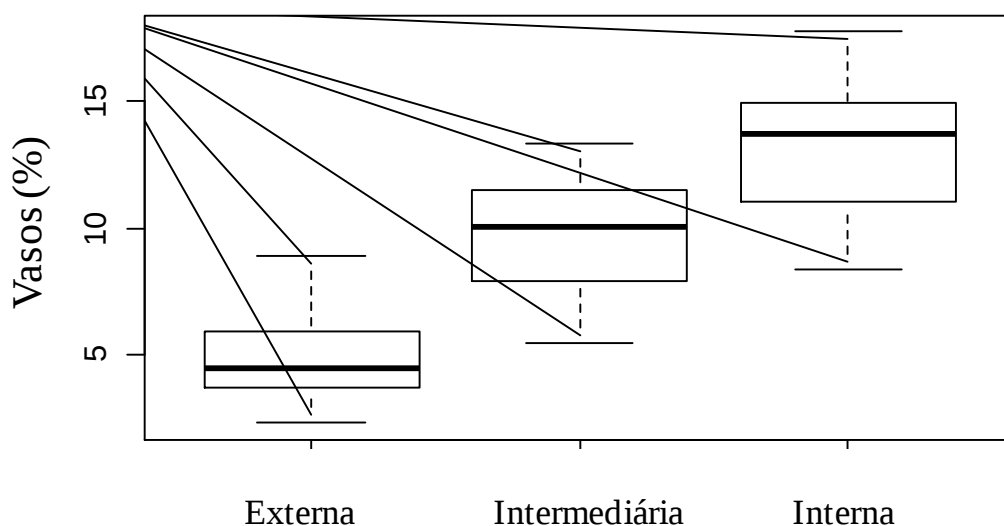


Figura 5.17 – Distribuição das concentrações médias de vasos no bambu (externa, intermediária e interna).

- Já quanto à parte do bambu (base, média e topo) observa-se, através da Figura 5.18, que é maior a concentração de vasos nas partes médias e no topo. Quanto às concentrações de vasos, se observa que estas são estatisticamente significativas ($p\text{-valor} = < 0,0002$). Nota-se que os vasos variam de 5 % a 14 % em média. A Tabela 8.8 (APÊNDICE I) mostra os resultados da análise utilizada com a finalidade de verificar diferenças significativas entre concentrações médias de vasos nas partes do bambu (base, média e topo).

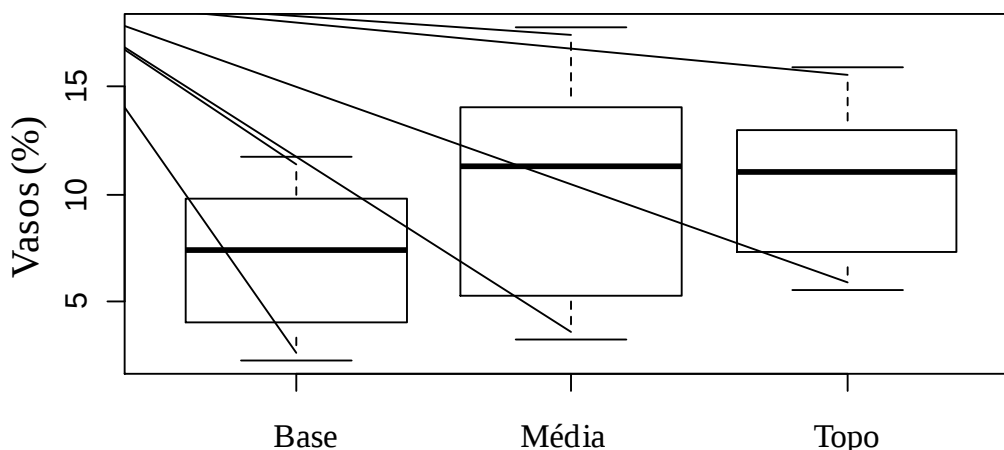


Figura 5.18– Distribuição das concentrações médias de vasos nas partes do bambu (base, média e topo)

- Quanto à variação do diâmetro do metaxilema (da parte interna a externa), pode-se verificar que existem diferenças significativas quanto à variação do diâmetro do metaxilema e a localização, ou seja, se é a parte interna, intermediária ou externa ($p\text{-valor} = < 0,0001$). A Tabela 8.9 (APÊNDICE I) ilustra os resultados da análise estatística utilizada com a finalidade de se verificar diferenças significativas entre variações de diâmetro do metaxilema na parte interna, intermediária e externa da seção transversal do bambu.

- A Figura 5.19 apresenta a distribuição do diâmetro médio do metaxilema (da parte interna a externa). Na parte externa a maior frequência de diâmetros é em torno de 60 μm , na intermediária é em torno de 110 μm , e na parte interna em torno de 190 μm .

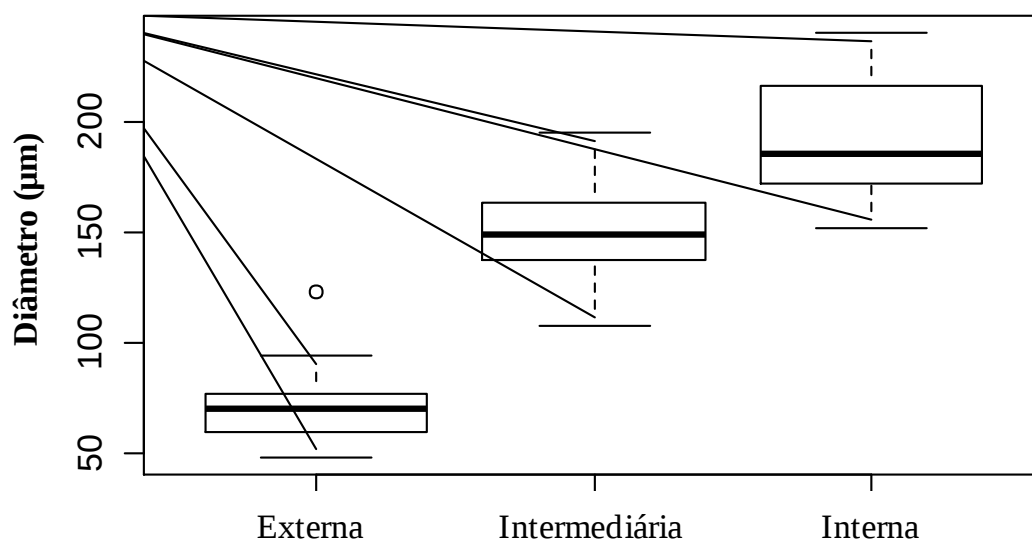


Figura 5.19- Distribuição do diâmetro médio do metaxilema (parte externa, intermediária e interna).

- Da mesma forma, com relação à variação da área do metaxilema (da parte interna a externa), pode-se verificar que também existem diferenças significativas quanto a variação da área do metaxilema e a localização, ou seja, se é a parte interna, média ou externa ($p\text{-valor} = < 0,0001$). A Tabela 8.10 (APÊNDICE I) apresenta os resultados do teste utilizado a fim de se verificar diferenças significativas entre variações da área do metaxilema na parte interna, intermediária e externa da seção transversal do bambu.

- A Figura 5.20 apresenta a distribuição da área média do metaxilema (da parte interna a externa).

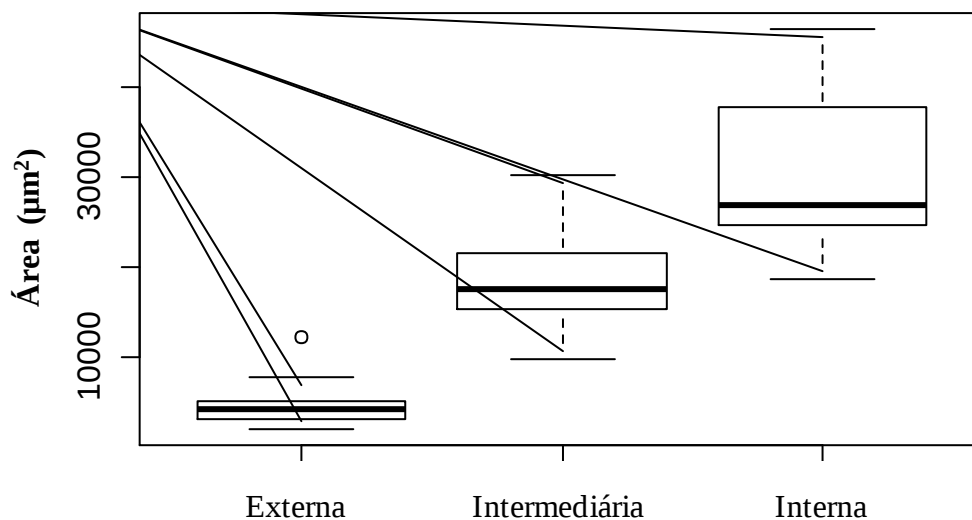


Figura 5.20 - Distribuição da área média do metaxilema (parte externa, intermediária e interna).

- Com relação à variação do diâmetro do metaxilema na base, média e topo do bambu, observa-se que o diâmetro não difere significativamente quanto a base, média e topo do bambu ($p\text{-valor}=0,2688$). A Tabela 8.11 (APÊNDICE I) ilustra os resultados da análise utilizada com a finalidade de verificar diferenças significativas entre variações da área do metaxilema nas partes base, média e topo do bambu.

- A Figura 5.21 apresenta a distribuição do diâmetro médio do metaxilema na base, média e topo do bambu.

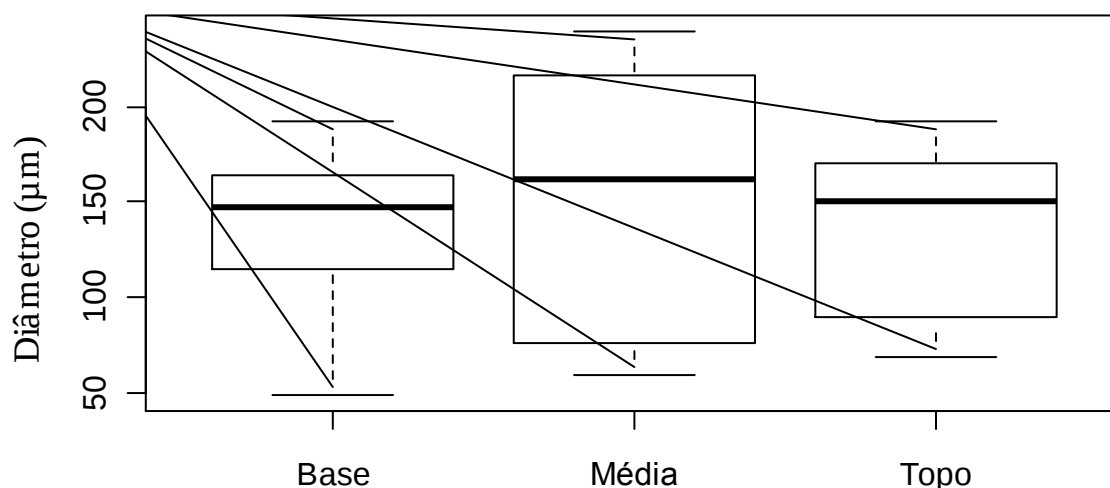


Figura 5.21- Distribuição do diâmetro médio do metaxilema na base, média e topo do bambu.

- Através da Figura 5.22, pode-se notar as distribuições da área do metaxilema e a área do floema/protoxilema. A Tabela 5.5 mostra a análise comparativa fim de se verificar se as distribuições da área do metaxilema são maiores ou não do que a área do floema/protoxilema. Observa-se que a área do metaxilema é bem maior do que a junção das áreas do protoxilema/floema observado claramente na análise comparativa (p-valor = 0,0002), sendo sem dúvida, o principal local onde ocorrerá a impregnação de fluidos no bambu.

Tabela 5.5- Resultado do teste de comparação para diferenças entre Área do metaxilema x Área do floema/protoxilema.

	Estatística do teste	p-valor
Área do metaxilema x Área do floema/protoxilema	4519	0,0002

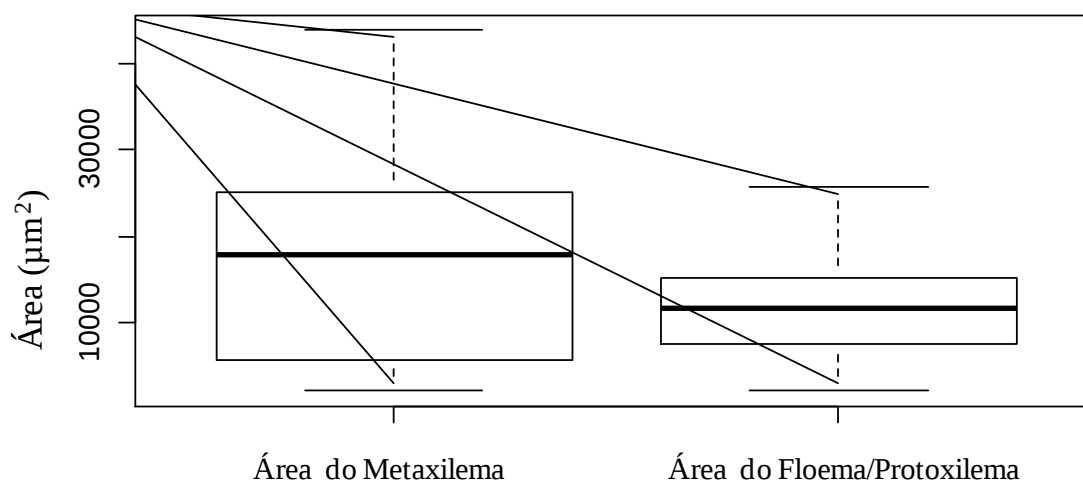


Figura 5.22 - Distribuições da área do metaxilema e do floema/protoxilema.

5.4 - Avaliação da capacidade de absorção do bambu

5.4.1- Massa específica e viscosidade dos fluidos

As massas específicas e as viscosidades dos fluidos usados no ensaio de absorção são mostradas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Massas específicas e viscosidades dos fluidos

Tipo de fluido	Massa específica (g/cm ³)	Viscosidade (mPa.s)
Água	1,00	1000,00
Álcool etílico	0,79	237,30
Óleo mineral	0,82	1378,45
Óleo 20W	0,87	2353,63
Óleo 40W	0,83	1970,00
Resina de poliéster	1,12	25563,00
Resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato)	0,89	60,50

Esses parâmetros são importantes e devem ser avaliados no processo de absorção por imersão.

Observa-se que a resina de poliéster apresenta os maiores valores de massa específica e viscosidade. Já a resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato) tem a menor viscosidade dos fluidos analisados.

5.4.2- Absorção de fluidos nos bambus por imersão

A absorção de fluidos por imersão nos bambus foi feita para se observar a sua ordem de grandeza. Inicialmente os bambus foram imersos em água destilada, álcool etílico, óleo mineral e uma resina de poliéster. As amostras foram pesadas nos intervalos de 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 12 h e 24 h. A absorção foi feita para bambus verdes e maduros, recém-cortados e após 7 dias de corte. Foi observada essa absorção nas partes base, média e topo. A absorção média dos fluidos é mostrada na Figura 5.23.

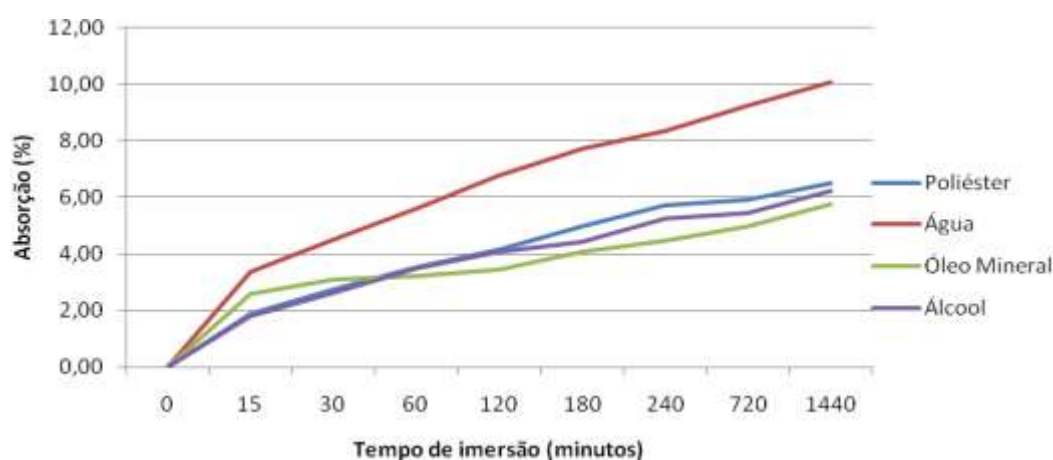


Figura 5.23 - Percentual de Absorção x Tempo de imersão segundo os vários tipos de fluido.

Observou-se que a capacidade de absorção de fluidos do bambu é de 5 % a 10 % após 24 h de imersão, independentemente do fluido utilizado, o que corresponde aproximadamente à quantidade de vasos obtidos na microestrutura que foi de 9,73 % para os bambus maduros e 8,81 % para os verdes. A massa específica dos fluidos influenciou na capacidade de absorção, pois a resina de poliéster (massa específica = $1,12 \text{ g/cm}^3$) apresentou uma absorção maior do que o álcool etílico (massa específica = $0,79 \text{ g/cm}^3$), mesmo a resina de poliéster tendo uma viscosidade muito maior do que o álcool.

Com respeito a diferenças significativas para o percentual de absorção do bambu, observou-se que existem diferenças quanto ao tempo de imersão ($p\text{-valor} = < 0,0001$), o tempo de corte do bambu ($p\text{-valor} = 0,0192$), a seção do colmo do bambu ($p\text{-valor} = < 0,0001$), a massa específica ($p\text{-valor} = < 0,0001$) e a viscosidade do fluido ($p\text{-valor} = < 0,0001$). As Tabelas 8.12 a 8.16 (APÊNDICE II) apresentam os resultados dos testes utilizados a fim de se verificar diferenças significativas entre o percentual de absorção do bambu e os demais parâmetros analisados.

Analisando a influência destas variáveis frente ao percentual de absorção do bambu, foi verificada qual a magnitude de associação existente entre estas variáveis. Para isso se calculou o coeficiente de correlação entre o percentual de absorção do bambu e as variáveis significativas através dos modelos de análise da variância (TABELA 5.7). A partir dos coeficientes de correlação calculados pode-se observar uma forte correlação positiva entre o percentual de absorção do bambu e o tempo de imersão no fluido. O tempo de corte exerce fraca correlação negativa e a massa específica do fluido exerce fraca correlação positiva no percentual de absorção do bambu.

Tabela 5.7- Correlação entre o percentual de absorção do bambu e as variáveis significativas segundo os modelos de análise variância aplicados.

Variável	rho	p-valor
Tempo de imersão	0,6849	<0,0001
Tempo de corte	-0,1126	0,0192
Massa específica do fluido	0,1263	0,0085

As Figuras 5.24 a 5.29 apresentam a influência destas variáveis frente ao percentual de absorção do bambu.

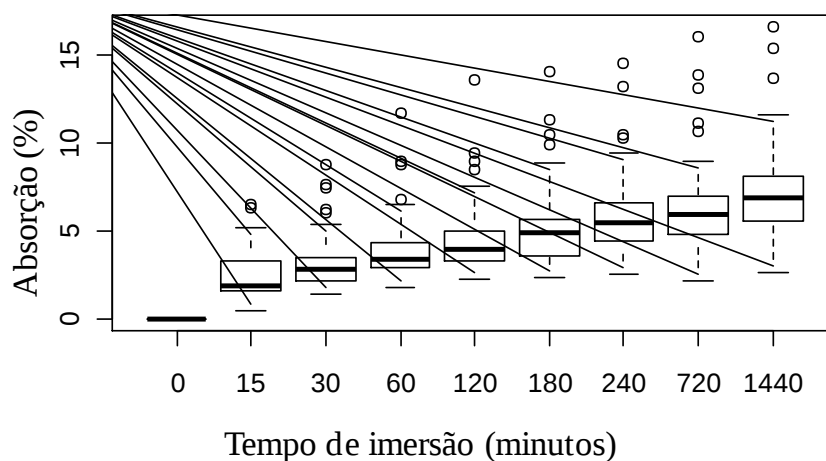


Figura 5.24- Absorção do bambu x Tempo de imersão.

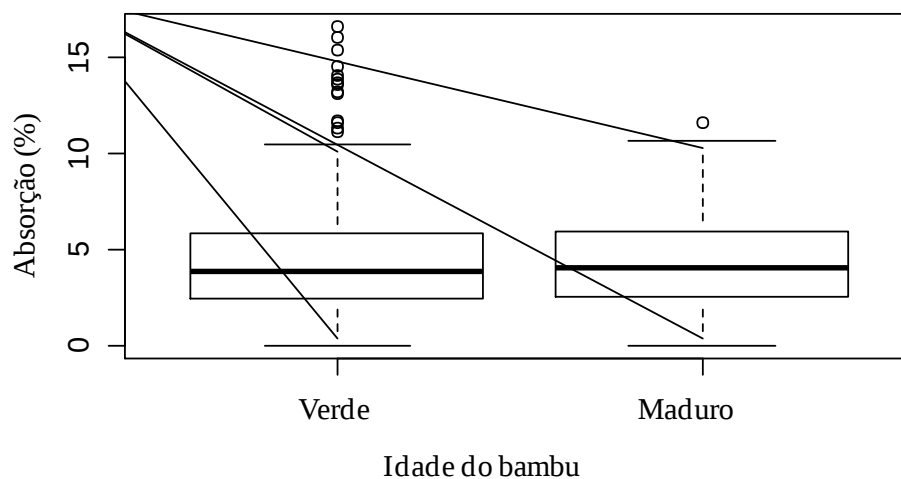


Figura 5.25- Absorção do bambu x Idade do bambu.

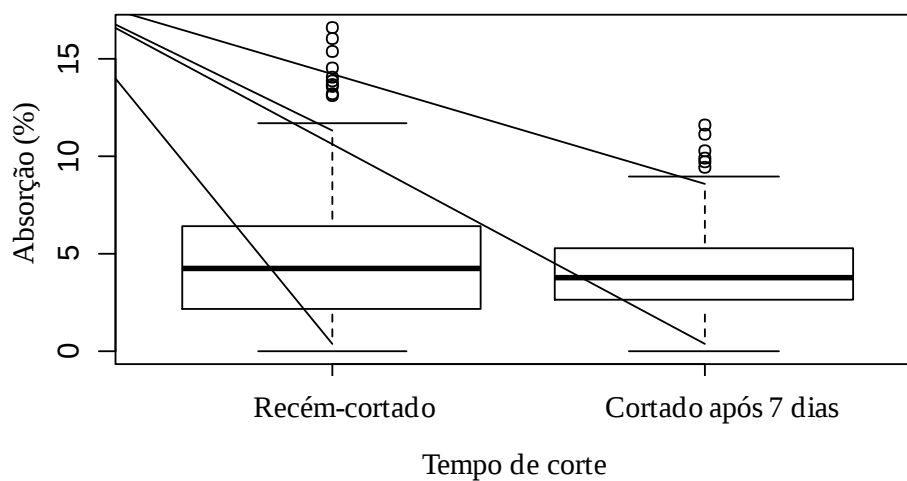


Figura 5.26- Absorção do bambu x Tempo de corte do bambu.

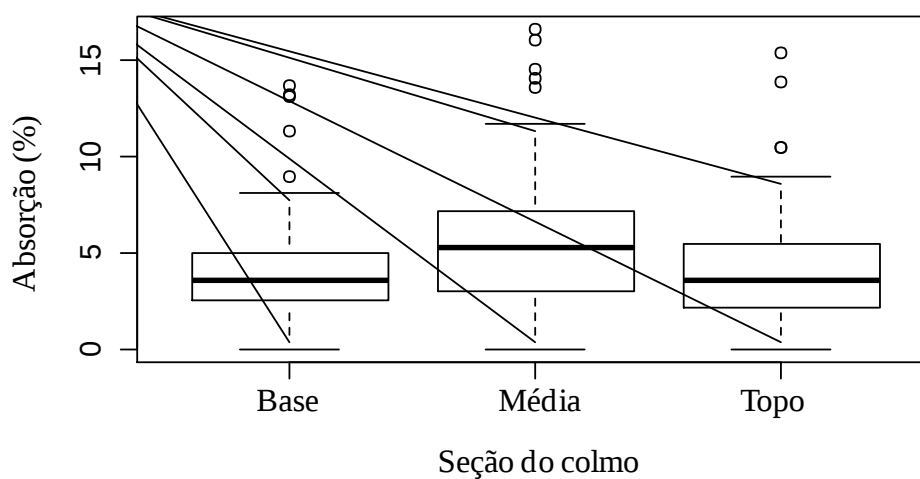


Figura 5.27- Absorção do bambu x Seção do colmo.

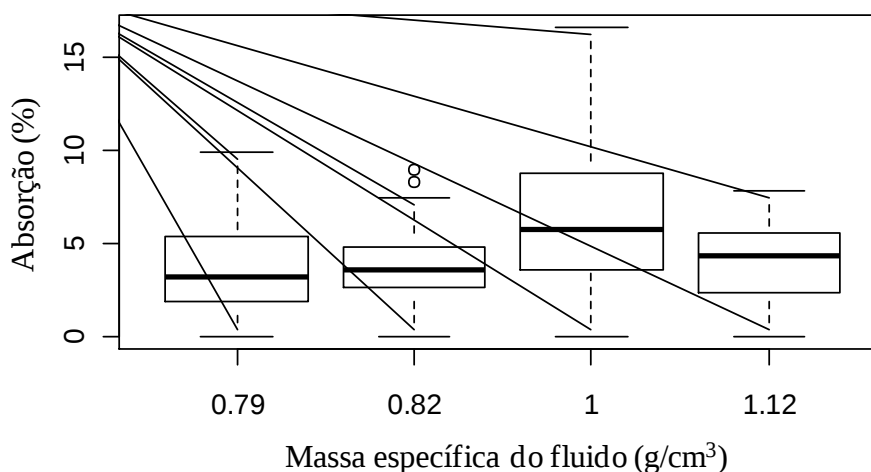


Figura 5.28- Absorção do bambu x Massa específica do fluido.

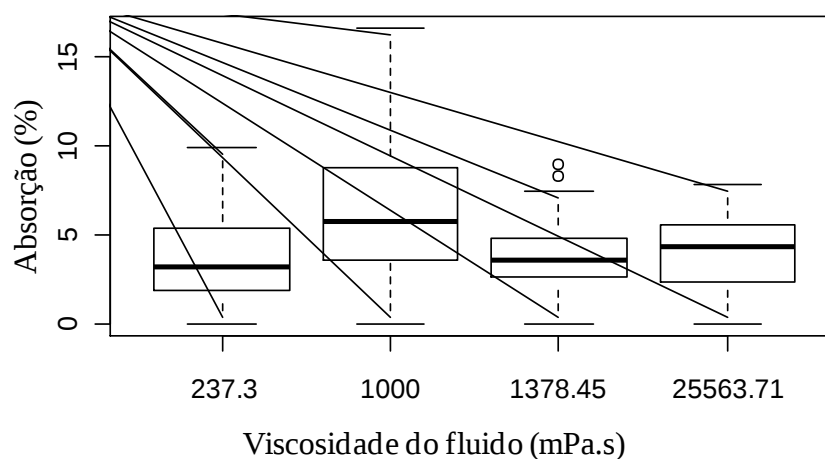


Figura 5.29- Absorção do bambu x Viscosidade do fluido.

A partir das Figuras apresentadas pode-se observar que o percentual de absorção do bambu ótimo, ou seja, a maior percentual de absorção do bambu é dada por um maior tempo de imersão (FIGURA 5.24). Com relação ao tipo do bambu se observa que o tempo ótimo se dá em bambus verdes, mesmo os valores médios sendo muito próximos aos dos maduros graficamente (FIGURA 5.25). Quanto à idade de corte se observa que o tempo ótimo se dá em bambus recém-cortados (FIGURA 5.26). Quanto ao colmo, o que se localiza na base média (FIGURA 5.27) e quanto ao tipo de fluido, a água é o de maior absorção (FIGURAS 5.28 e 5.29).

Quanto o percentual de absorção do bambu, a fim de se verificar quais dentre as variáveis analisadas influenciavam nos seus valores, foi ajustado o modelo inicial com todas as variáveis presentes no estudo (TABELA 5.8). A Tabela 5.9 apresenta o modelo final ajustado.

Tabela 5.8 - Modelo Inicial ajustado para o percentual de absorção do bambu.

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	p-valor
Intercepto	-7,9350	1,2280	-6,4620	<0,0001
Tempo de imersão	0,0033	0,0002	13,3090	<0,0001
Idade do bambu	-0,1832	0,1119	-1,6370	0,10233
Tempo de corte	-0,3348	0,1119	-2,9910	0,00294
Seção do colmo	0,0350	0,1371	0,2560	0,7984
Massa específica	13,2400	1,4150	9,3530	<0,0001
Viscosidade	-0,0002	0,0000	-8,7730	<0,0001

Desvio residual: 2.326 com 425 graus de liberdade

R²: 0.3976, R² ajustado: 0.3891

Estatística F: 46.74 com 6 e 425 graus de liberdade, p-valor: <0,0001

Tabela 5.9 - Modelo Final ajustado para o percentual de absorção do bambu.

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	p-valor
Intercepto	-7,9350	1,2290	-6,4570	<0,0001
Tempo de imersão	0,0033	0,0002	13,2970	<0,0001
Tempo de corte	-0,3348	0,1120	-2,9890	0,00296
Massa específica	13,2400	1,4170	9,3440	<0,0001
Viscosidade	-0,0002	0,0000	-8,7650	<0,0001

Desvio residual: 2.328 com 427 graus de liberdade

R²: 0.3937, R² ajustado: 0.388

Estatística F: 69.31 com 4 e 427 graus de liberdade, p-valor: <0,0001

$$f(\% \text{ Absorção}) = -7,9350 + 0,0033 \cdot \text{Tempo de imersão} - 0,3348 \cdot \text{Tempo de corte} + 13,24 \cdot \text{Massa específica do fluido} - 0,0002 \cdot \text{Viscosidade do fluido} \quad (5.1)$$

A equação (5.1) responde por 69,31 % da variável absorção e através dela é possível observar que o tempo de imersão influi de forma positiva no percentual de absorção, indicando assim que um acréscimo no tempo de imersão do bambu em um fluido, dentre os fluidos analisados, aumenta este percentual. Quanto ao tempo de corte do bambu, o efeito é negativo; para o bambu recém-cortado e para o bambu após 7 dias de corte. Para estes dois tempos de corte, quando se utiliza o bambu após 7 dias de corte se obtém uma menor absorção do fluido. A massa específica do fluido tem efeito positivo sobre a variável resposta indicando assim que quanto maior a massa específica do fluido, maior o percentual de absorção do bambu. Já a viscosidade do fluido tem um efeito

negativo sobre a variável resposta indicando assim que quanto menor a viscosidade do fluido, maior o percentual de absorção do bambu.

Como foi observado estatisticamente (TABELA 5.8) que a idade do bambu (p -valor = 0,10233) e a seção do colmo (p -valor = 0,7984) não influenciam significativamente na capacidade de absorção, portanto esses parâmetros não serão mais avaliados. Nesta segunda etapa de ensaios de absorção, serão acrescentados mais 3 fluidos: óleo 20W, óleo 40W e uma resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato). Além disso será testado o tipo de secagem (50°C na estufa ou ao ar livre) na capacidade de absorção. A Figura 5.30 mostra a absorção média dos diversos fluidos x tempo de imersão.

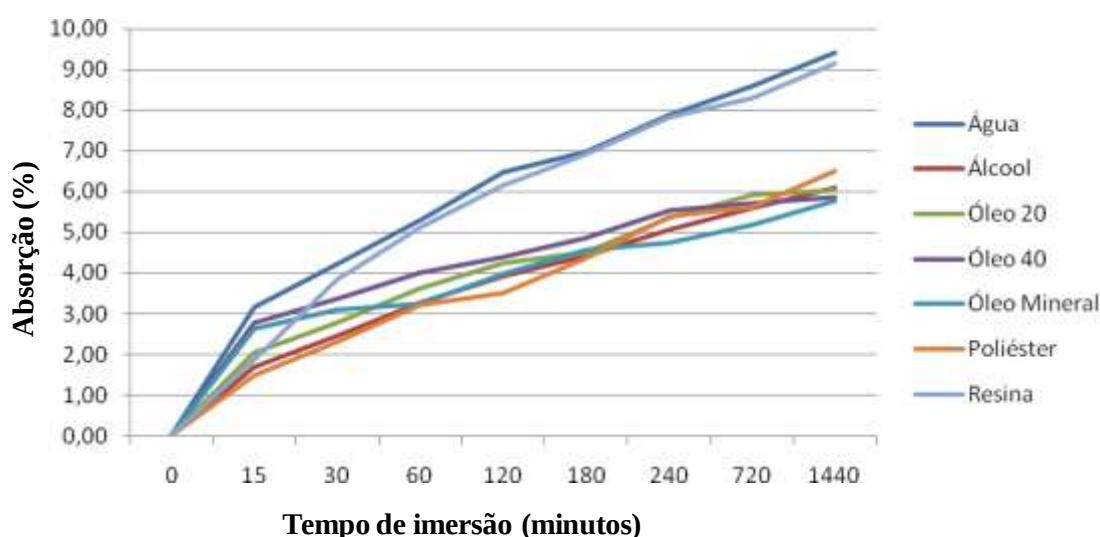


Figura 5.30- Absorção do fluido x Tempo de imersão segundo os vários tipos de fluido.

Com respeito a diferenças significativas para o percentual de absorção do bambu, observou-se que existem diferenças quanto ao tempo de imersão (p -valor = < 0,0001), a massa específica do fluido (p -valor = 0,0065) e a viscosidade do fluido (p -valor = 0,0065). As Tabelas 8.17 a 8.19 (APÊNDICE II) apresentam os resultados dos testes utilizados a fim de se verificar diferenças significativas entre o percentual de absorção do bambu.

Analisando a influência destas variáveis frente ao percentual de absorção do bambu, foi verificada qual a magnitude de associação existente entre estas variáveis. Para isso se calculou o coeficiente de correlação entre o percentual de absorção do bambu e as variáveis significativas através dos modelos de análise variância. A partir dos

coeficientes de correlação calculados, pode-se observar uma forte correlação positiva entre o percentual de absorção do bambu ($\rho = 0,7175$; $p\text{-valor} = < 0,0001$), uma fraca correlação positiva entre a densidade do fluido ($\rho = 0,1044$; $p\text{-valor} = 0,0169$) e uma fraca correlação negativa entre a viscosidade do fluido ($\rho = - 0,1418$; $p\text{-valor} = 0,0011$).

As Figuras 5.31 a 5.35 apresentam a influência destas variáveis frente ao percentual de absorção do bambu.

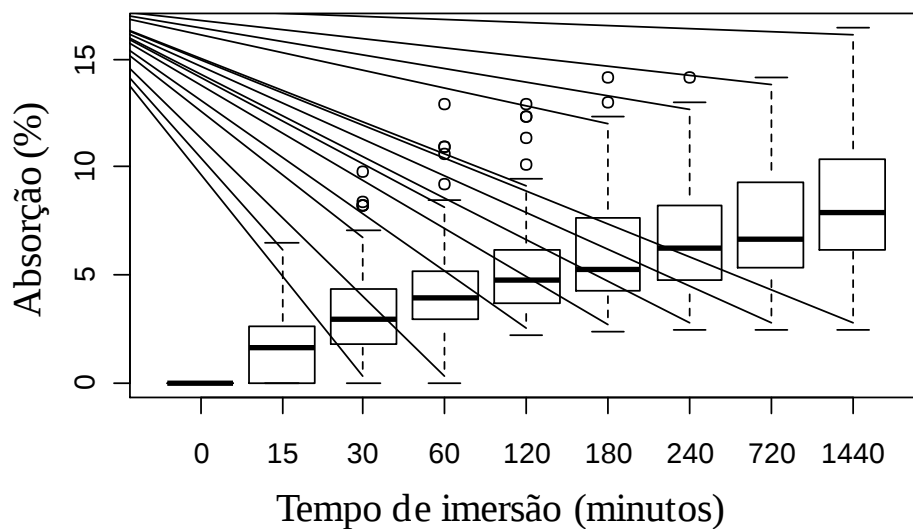


Figura 5.31- Absorção do bambu x Tempo de imersão .

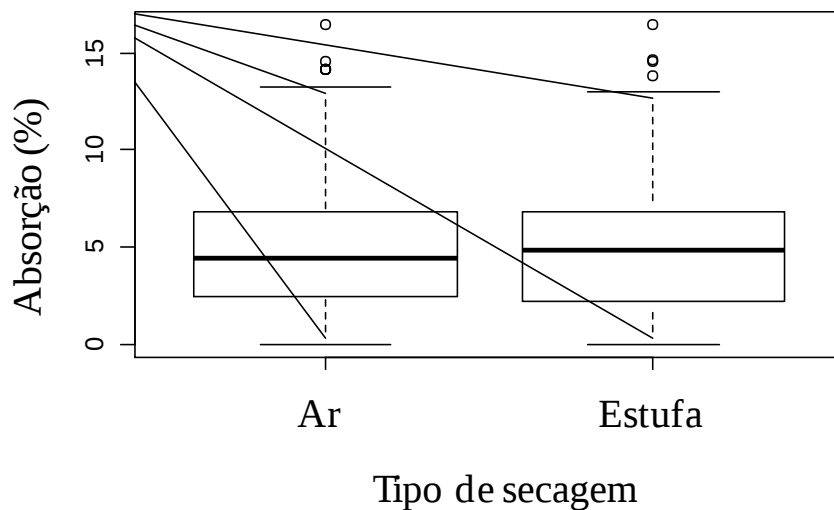


Figura 5.32- Absorção do bambu x Tipo de secagem.

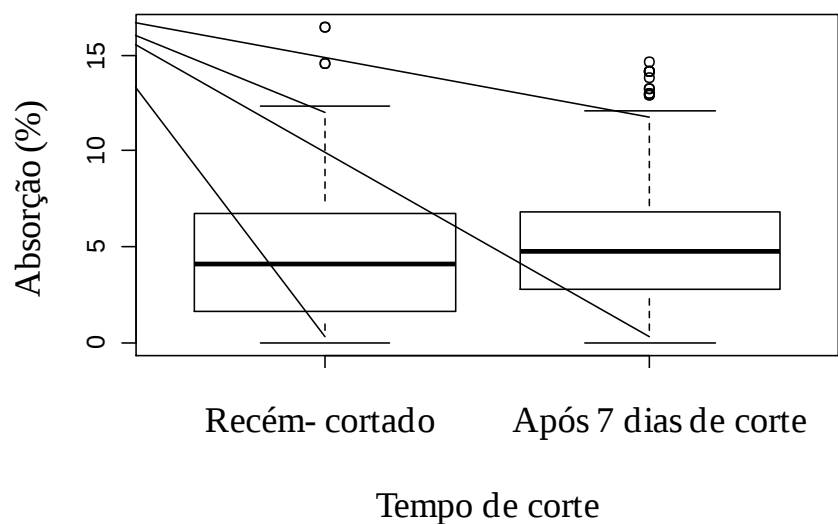


Figura 5.33 - Absorção do bambu x Tempo de corte do bambu.

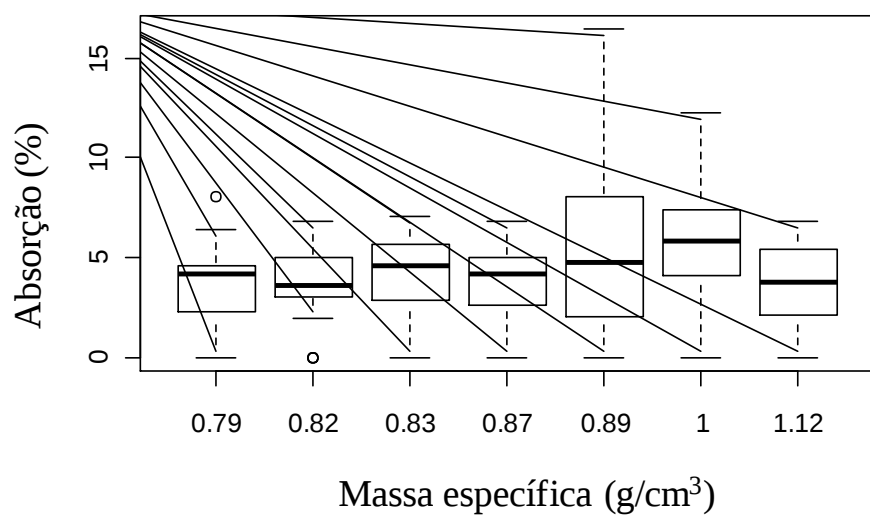


Figura 5.34- Absorção do bambu x Massa específica do fluido.

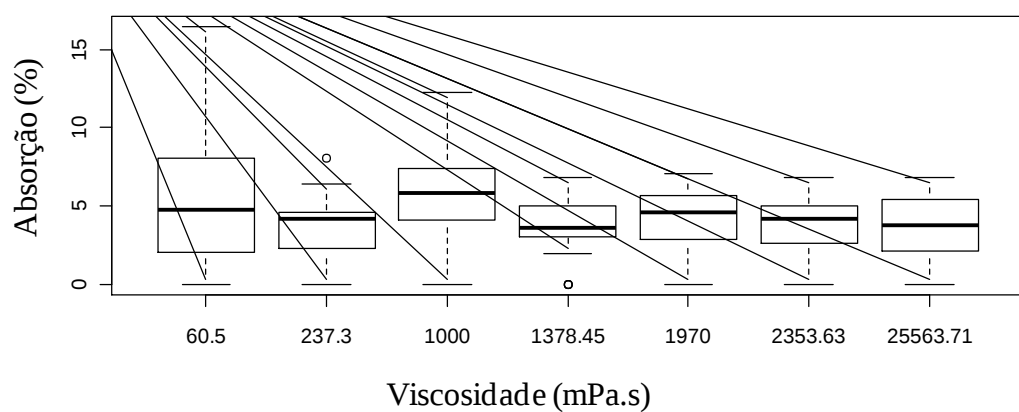


Figura 5.35- absorção do bambu x Viscosidade do fluido.

A partir da Figuras apresentadas pode-se observar que a absorção do bambu ótima, ou seja, a maior percentual de absorção do bambu, este é dado por um maior tempo de imersão (FIGURA 5.31), quanto ao tipo de secagem do bambu se observa que a absorção ótima se dá com bambus secos com ar embora graficamente não se observe diferenças entre os percentuais de absorção para estes dois tipos de secagem (FIGURA 5.32), quanto ao tempo de corte se observa que a absorção é maior em bambus após 7 dias de corte (FIGURA 5.33), quanto à massa específica do fluido, quanto maior ela é maior será o percentual de absorção (FIGURA 5.34). Já quanto à viscosidade do fluido, quanto menor ela for maior será o percentual de absorção (Figura 5.35).

Quanto o percentual de absorção do bambu, a fim de se verificar quais dentre as variáveis analisadas influenciavam nos seus valores, foi ajustado o modelo inicial com todas as variáveis presentes no estudo (TABELA 5.10). A Tabela 5.11 apresenta o modelo final ajustado.

Tabela 5.10 - Modelo Inicial ajustado para o percentual de absorção do fluido.

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	p-valor
Intercepto	-8,4049	2,7668	-3,038	0,0025
Tempo de imersão	0,0041	0,0002	14,484	<0,0001
Tipo de secagem	-0,2065	0,2620	-0,788	0,4309
Tempo de corte	0,7502	0,2620	2,863	0,0043
Massa espec. do fluido	13,3505	3,1346	4,259	<0,0001
Viscosidade do fluido	-0,0001	0,00003	-5,065	<0,0001

Desvio residual: 2,942 com 516 graus de liberdade

R²: 0.3187, R² ajustado: 0.3121

Estatística F: 48,27 com 5 e 516 graus de liberdade, p-valor: < 0,0001

Tabela 5.11 - Modelo Final ajustado para o percentual de absorção do fluido.

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	p-valor
Intercepto	-8,3408	2,7646	-3,017	0,0026
Tempo de imersão	0,0041	0,0002	14,490	<0,0001
Tempo de corte	0,7245	0,2598	2,788	0,0055
Massa esp. do fluido	13,1856	3,1265	4,217	<0,0001
Viscosidade do fluido	-0,0001	0,00003	-5,013	<0,0001

Desvio residual: 2,941 com 517 graus de liberdade

R² : 0.3179, R² ajustado: 0.3126

Estatística F: 60,23 com 4 e 517 graus de liberdade, p-valor: < 0,0001

$$f(\% \text{Absorção}) = -8,3408 + 0,0041 * \text{Tempo de imersão} + 0,7245 * \text{Tempo de Corte} + 13,1856 * \text{Massa específica do fluido} - 0,0001 * \text{Viscosidade do fluido} \quad (5.2)$$

A equação (5.2) responde por 31,79% da variação da variável percentual de absorção e através dela é possível observar que o tempo de imersão influi de forma positiva no percentual de absorção indicando assim que um acréscimo no tempo de imersão do bambu em um fluido, dentre os fluidos analisados, aumenta este percentual. Quanto o tempo de corte do bambu, o efeito também é positivo. A densidade do fluido tem efeito positivo sobre a variável resposta indicando assim que quanto maior a densidade do fluido, maior o percentual de absorção do bambu. Já a viscosidade do fluido tem efeito negativo sobre a variável resposta indicando assim que quanto menor a densidade do fluido, maior o percentual de absorção do bambu.

As Figuras 5.36 e 5.37 apresentam a distribuição das variáveis que influenciam na resposta, indicando quais os melhores tempos de corte (Recém-cortado ou após 7 dias de corte) e o tipo de secagem (Ar ou Estufa), respectivamente. De acordo com a Figura 5.36 pode-se observar que quanto ao tempo de corte, o bambu após 7 dias de corte é o que apresenta os maiores percentuais de absorção. Com respeito ao tipo de secagem utilizado no bambu, observa-se através da Figura 5.37 que o maior percentual de absorção se dá quando o bambu passa pelo processo de secagem com o ar.

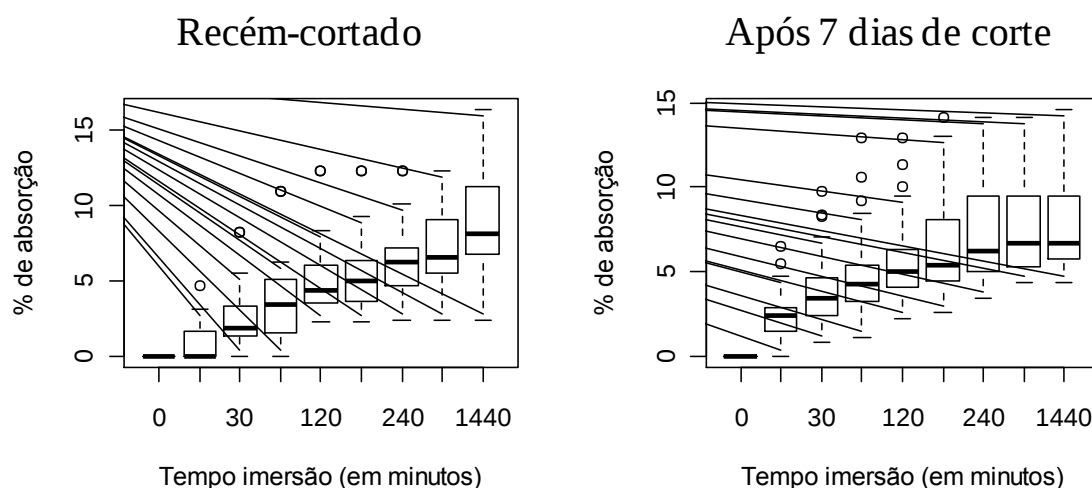


Figura 5.36- Percentual de absorção x Tempo de corte do bambu.

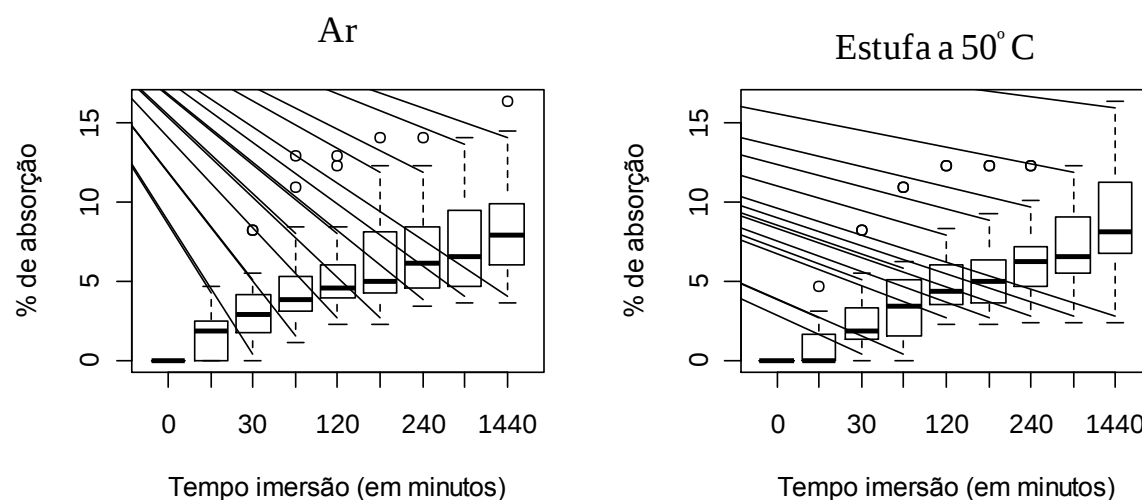


Figura 5.37- Percentual de absorção x Tipo de secagem do bambu.

5.5 - Obtenção de parâmetros de bombeamento no processo de impregnação de fluidos nos colmos do *Bambusa vulgaris*

O ensaio de absorção por imersão é de suma importância para se observar a ordem de grandeza da capacidade do bambu em absorver fluidos, porém esse ensaio consome uma grande quantidade de fluidos e também demora mais de 24 horas para atingir sua capacidade máxima, sendo inviável quando se pretende tratar bambus em grande escala. Além disso, não se sabe se todos os vasos presentes na microestrutura do bambu serão preenchidos com o fluido.

Por isso foi usado o processo de impregnação com a aplicação de pressão, reduzindo a quantidade de fluido utilizado no ensaio, diminuindo o tempo de absorção do bambu e principalmente preenchendo de forma uniforme os vasos do bambu com o fluido, inclusive os de menores diâmetros.

Outro aspecto essencial a ser citado, é que não foram encontrados trabalhos na literatura que mostrem o processo de impregnação de fluidos no bambu, bem como a avaliação dos parâmetros de bombeamento do processo de impregnação. Esses parâmetros são importantes para avaliar, por exemplo: o tipo de fluido deve ser utilizado no processo de impregnação, as características geométricas do bambu, o tempo necessário para que a 1ª gota de fluido atravesse as paredes do bambu, o tempo para atravessar uma

quantidade fixa de fluido e a pressão. Esses parâmetros devem ser avaliados de tal forma a otimizar o processo de impregnação e não danificar a microestrutura do bambu.

A impregnação de fluidos no bambu foi feita através de uma máquina baseada no método Boucherie. Os fluidos utilizados no processo de impregnação foram: a água destilada, o óleo 20 W e o óleo 40 W.

A Figura 5.38 mostra o bambu impregnado pela água, observa-se que o fluido, devido a sua baixa viscosidade flui, facilmente pelas paredes do bambu, através dos seus vasos.



Figura 5.38 – Bambu impregnado com água através dos seus vasos.

A Figura 5.39 e 5.40 mostram o bambu impregnado pelos óleos 20 W e 40 W, respectivamente na máquina de impregnação. Observa-se que a impregnação se dá apenas pelas paredes do bambu, ou seja, através dos seus vasos. As Figuras também mostram que, como os vasos têm maiores diâmetros na parte interna, a impregnação começa pelos vasos maiores e se irradia para as demais partes da parede do bambu. Nota-se também, que devido à maior viscosidade dos óleos, o fluxo de impregnação é menor do que a água.



Figura 5.39- Bambu impregnado com o óleo 20 W.



Figura 5.40- Bambu impregnado com o óleo 40 W.

No processo de impregnação do bambu, foram obtidos os seguintes parâmetros: a viscosidade do fluido, pressão de impregnação, propriedades geométricas do bambu (diâmetro interno, diâmetro externo, espessura da parede, massa específica, comprimento, massa inicial e final, variação de massa e de massa específica), massa específica do fluido, tempo da 1ª gota, vazão e tempo para atravessar 20g de fluido, que são mostrados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12- Medidas dos parâmetros quantitativos (min., máx., média, mediana).

	Mín	Máx	Média	Mediana
Tempo da 1ª gota (s)	0,50	49,00	2,77	1,00
Vazão (cm ³ /s)	0,03	8,00	0,93	0,40
Tempo médio para atravessar 20 g de fluido (s)	2,50	875,00	104,30	49,70
Massa inicial (g)	90,00	1700,00	349,90	277,50
Massa final (g)	120,00	1795,00	377,50	297,50
Absorção do bambu (%)	4,00	39,13	9,75	7,20
Volume do bambu (cm ³)	128,70	2302,00	558,00	446,80
Viscosidade (mPa.s)	1000,00	2353,00	1106,00	1000,00
Massa específica final do bambu (g/cm ³)	0,35	1,75	0,68	0,64
Massa específica inicial do bambu (g/cm ³)	0,30	1,69	0,63	0,58
Variação da densidade do bambu (%)	4,00	39,13	9,75	7,20
Massa específica do fluido (g/cm ³)	0,83	1,00	0,99	1,00
Pressão (kgf/cm ²)	0,40	3,00	0,90	0,60
Diâmetro interno (cm)	1,16	4,89	2,80	2,74
Diâmetro externo (cm)	3,18	7,33	5,26	5,17
Espessura (cm)	0,39	2,87	0,79	0,64
Comprimento (cm)	24,08	110,00	34,92	30,34

No ensaio de impregnação foram utilizados três tipos de fluidos (água destilada, óleo 20 W e óleo 40 W), tempo de corte (recém-cortado e após 7 dias de corte) e por fim o tipo de secagem (ar e 50°C na estufa).

Podem-se tirar algumas observações iniciais a respeito dos dados obtidos no processo de impregnação de fluidos do bambu:

- As variáveis de resposta do ensaio de impregnação de fluidos do bambu são: tempo da 1ª gota e o tempo médio para atravessar 20 g de fluido;
- A maioria das amostras teve um tempo da 1ª gota igual a 1,00 segundo, ou seja, a impregnação se dá de forma rápida e também mostra que a introdução de pres-

são é bastante benéfica no processo, pois reduz o tempo e a quantidade de fluidos utilizados. Quando o fluido utilizado foi à água, o tempo da 1ª gota foi menor. Observa-se também uma grande variação de valores nessa variável, que é de 0,50 s a 49,00 s;

- A vazão é igual ao volume transportado em certo intervalo de tempo e foi obtida através do tempo médio para atravessar 20 g de fluido. A vazão obteve valores variados de 0,03 cm³/s a 8,00 cm³/s, tendo a maior concentração de valores iguais a 0,40 cm³/s;
- O tempo médio para atravessar 20 g de fluido, obteve valores de 2,75 s a 875 s e observou-se que a viscosidade e a massa específica dos fluidos influenciaram significativamente nesse parâmetro;
- A absorção ou o ganho de massa do bambu, também é um fator importante a ser observado, pois apresentou no ensaio de impregnação (9,75 %) valores similares aos obtidos na absorção por imersão e também com relação à quantidade de vasos obtidos na microestrutura do bambu;
- A pressão aplicada no processo de impregnação variou de 0,4 kgf/cm² a 3,00 kgf/cm².

A partir dos dados obtidos no processo de impregnação de fluidos, foi feita uma análise estatística. Foi analisada a influência dos parâmetros qualitativos (tempo de corte e tipo de secagem) e quantitativos (massa específica inicial do bambu, massa específica do fluido, viscosidade do fluido e pressão) sobre as variáveis de resposta.

5.5.1- Tempo da 1ª gota

Para o tempo da 1ª gota pôde-se verificar que influenciaram significativamente as seguintes variáveis: viscosidade (p-valor = < 0,0001), a massa específica do fluido (p-valor = < 0,0001), a pressão aplicada ao bambu (p-valor = < 0,0001) e o tempo de corte do bambu (p-valor = < 0,0304). As Tabelas 8.20 a 8.23 (APÊNDICE III) apresentam o resultados das ANOVAS das variáveis significativas.

Analizando a influência destas variáveis frente ao tempo da 1ª gota, foi verificada qual a magnitude de associação existente entre estas variáveis. Para isso se calculou o coeficiente de correlação entre o tempo da 1ª gota e as variáveis significativas através dos modelos de análise variância (TABELA 5.13). A partir dos coeficientes de correla-

ção calculados pode-se observar uma forte correlação positiva entre o tempo da 1ª gota e a pressão e uma forte correlação negativa com a massa específica do fluido.

Tabela 5.13- Correlação entre o tempo da 1ª gota e as variáveis significativas segundo os modelos de análise variância aplicados.

Variável	rho	p-valor
Viscosidade (mPa.s)	0,5690	<0,0001
Massa espec. do fluido (g/cm ³)	-0,7465	<0,0001
Pressão (kg/cm ²)	0,6381	<0,0001
Idade de corte	0,2673	0,0304

As Figuras 5.41 a 5.44 apresentam a influência das variáveis significativas frente ao tempo da 1ª gota.

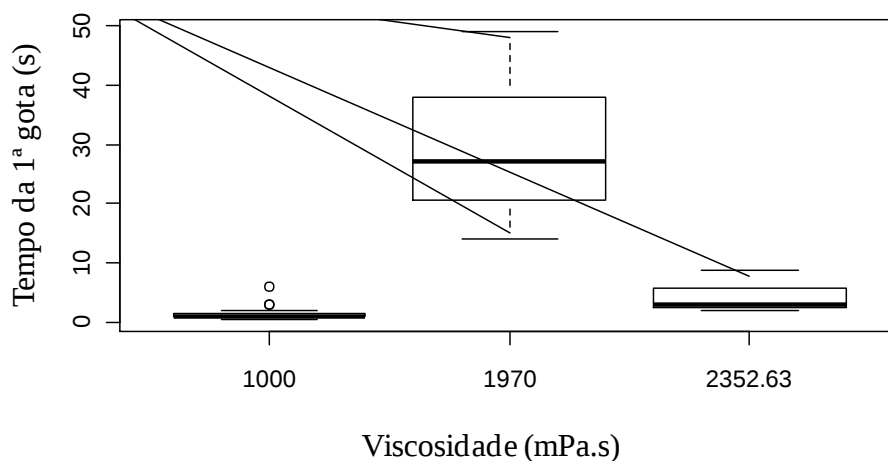


Figura 5.41- Tempo da 1ª gota x Viscosidade do fluido.

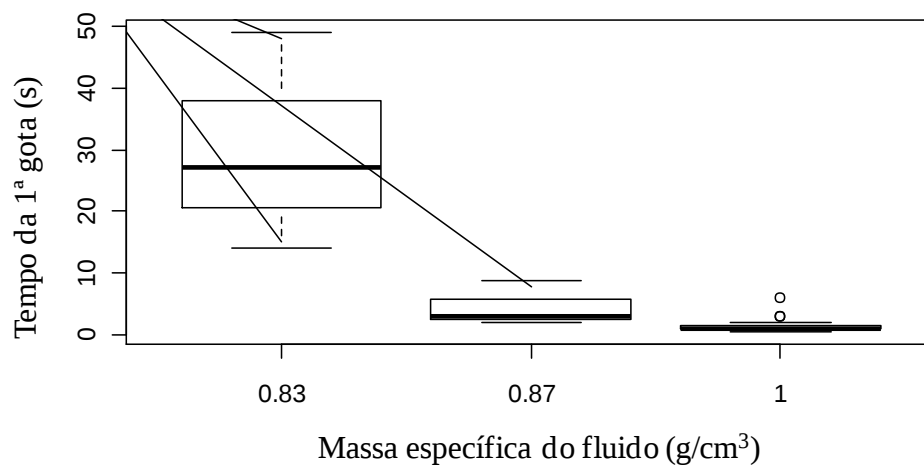


Figura 5.42 - Tempo da 1ª gota x Massa específica do fluido.

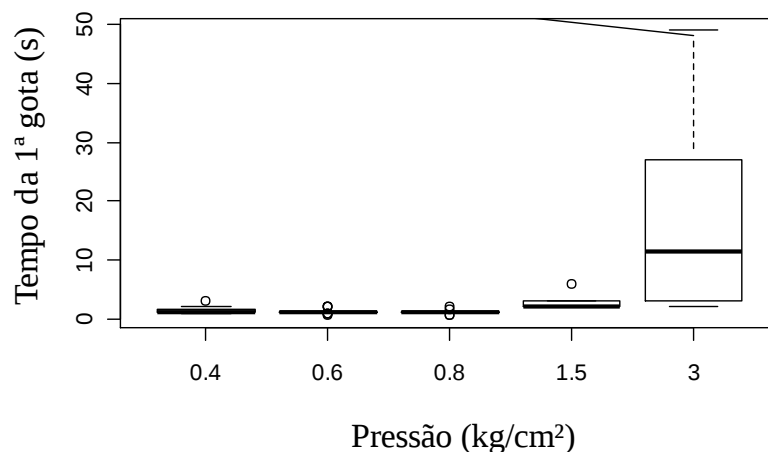


Figura 5.43 - Tempo da 1ª gota x Pressão.

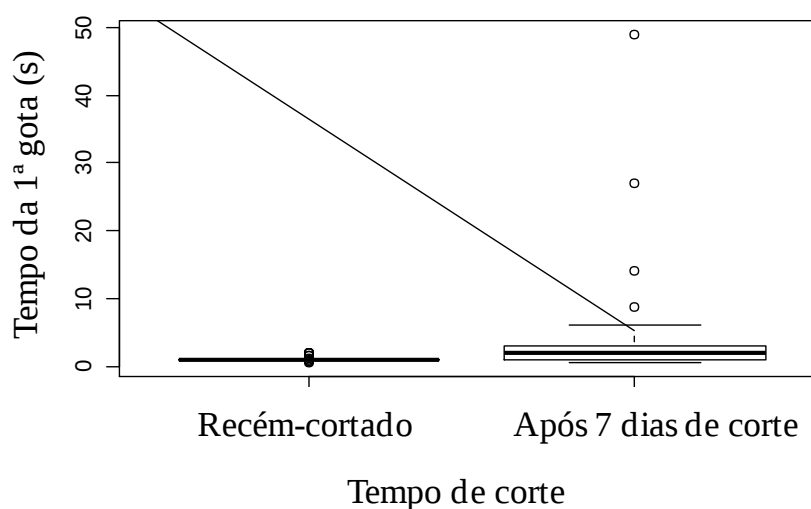


Figura 5.44 - Tempo da 1ª gota x Tempo de corte do bambu.

A partir das Figuras apresentadas pode-se observar que o tempo ótimo da 1ª gota, ou seja, o menor tempo da 1ª gota é caracterizado por uma maior massa específica do fluido (FIGURA 5.42), confirmando os resultados obtidos na seção 5.4.2, onde os fluidos com maiores massas específicas impregnam mais o bambu e de forma mais rápida. Dos fluidos estudados no processo de impregnação, o que apresentou o menor tempo da 1ª gota foi à água. Quanto à pressão aplicada, observa-se que quanto menor ela for menor será o tempo da 1ª gota (FIGURA 5.43). Observou-se que tempo da 1ª gota aumentou muito com o aumento da pressão, provavelmente a estrutura vascular do bambu foi danificada, dificultando a passagem dos fluidos. Com relação à viscosidade (FIGURA 5.41), pode-se notar que a água que tem a menor viscosidade, apresentou o menor tem-

po da 1ª gota. O modelo estatístico indica que quanto menor a viscosidade, menor será o tempo da 1ª gota, porém como os fluidos utilizados têm valores próximos de viscosidade, não se pode perceber isso claramente. Provavelmente com fluidos de alta viscosidade, o tempo da 1ª gota deve também ser maior. Com relação tempo de corte do bambu (FIGURA 5.44), o bambu recém-cortado, tem um menor tempo da 1ª gota, pois a seiva presente no bambu ainda está movimento favorecendo o fluxo do fluido.

O modelo final ajustado que representa o tempo da 1ª gota é mostrado na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Modelo final ajustado para Tempo da 1ª gota.

	Estimativa	Erro padrão	Valor de t	p-valor
Intercepto	375,1	34,45	10,889	<0,0001
Viscosidade (mPa.s)	0,0305	0,003944	7,756	<0,0001
Pressão (kg/cm²)	1,182	1,525	0,775	<0,0001
Massa específica do fluido (g/cm³)	-343,2	30,69	-11,184	<0,0001

R²: 0,7735, R² ajustado: 0,7663

Estatística F: 107,6 com 3 e 63 graus de liberdade, p-valor: < 0.0001

A equação (5.3) apresenta o modelo que melhor descreve o tempo da 1ª gota em segundos:

$$f(\text{tempo da 1ª gota}) = 375,1 + 0,0305 * \text{viscosidade} + 1,182 * \text{pressão} - 343,2 * \text{massa específica do fluido} \quad (5.3)$$

A equação apresentada que melhor representa a variável estudada responde por 76,63% da variação da variável tempo da 1ª gota. Através dela é possível observar que a viscosidade e pressão do fluido têm efeito positivo sobre a variável resposta indicando assim que quanto maior a viscosidade e a pressão, maior o tempo da 1ª gota. Já a massa específica do fluido, tem efeito negativo sobre o tempo da 1ª gota, ou seja, quanto maior a massa específica, menor o tempo da 1ª gota.

5.5.2 - Tempo médio para atravessar 20 g de Fluido

Quanto ao tempo médio para atravessar 20 g de fluido, pode-se verificar que influenciaram significativamente nos seus valores as seguintes variáveis: viscosidade (p-valor = $< 0,0001$), massa específica do fluido (p-valor = $< 0,0001$), pressão (p-valor = $< 0,0001$) e ao tempo de corte do bambu (p-valor = 0,0241), ou seja, os mesmos parâmetros que influenciaram o tempo da 1ª gota. As Tabelas 8.24 a 8.27 (APÊNDICE III) apresentam as tabelas ANOVA das variáveis significativas.

Analisando a influência destas variáveis frente ao tempo médio para atravessar 20 g de fluido, foi verificada qual a magnitude de associação existente entre estas variáveis. Para isso se calculou o coeficiente de correlação entre a vazão e as variáveis significativas através dos modelos de análise variância (TABELA 5.15). A partir dos coeficientes de correlação calculados pode-se observar uma forte correlação positiva entre o tempo médio para atravessar 20 g de fluido, a viscosidade do fluido e a pressão aplicada ao bambu. Observa-se que a massa específica do fluido exerce uma forte correlação negativa e o tempo de corte do bambu exerce uma fraca correlação positiva sobre este tempo.

Tabela 5.15- Correlação entre o tempo médio para atravessar 20 g de fluido e as variáveis significativas segundo os modelos de análise variância aplicados.

Variável	rho	p-valor
Viscosidade (mPa.s)	0,7771	$<0,0001$
Massa espec. do fluido (g/cm ³)	-0,6700	$<0,0001$
Pressão (kgf/cm ²)	0,7604	$<0,0001$
Tempo de corte	0,2773	0,0241

As Figuras 5.45 a 5.48 apresentam a influência das variáveis significativas frente ao tempo médio para atravessar 20 g de fluido.

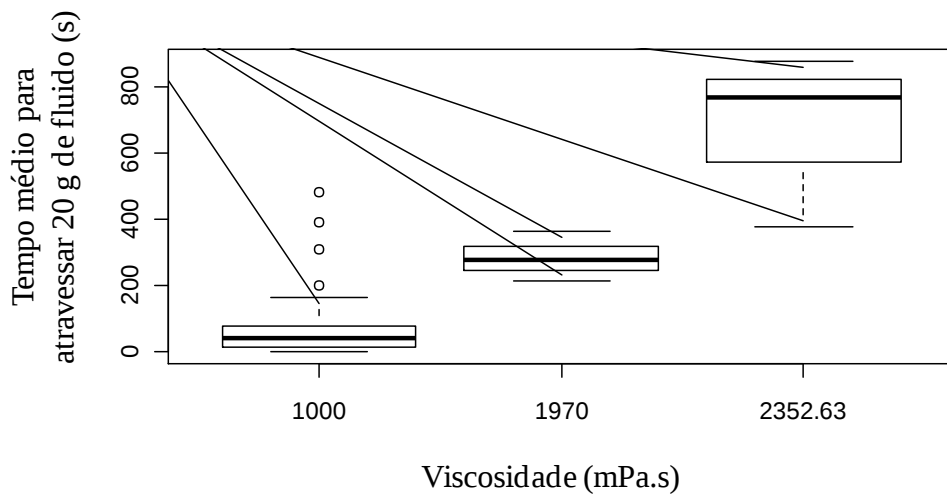


Figura 5.45- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Viscosidade.

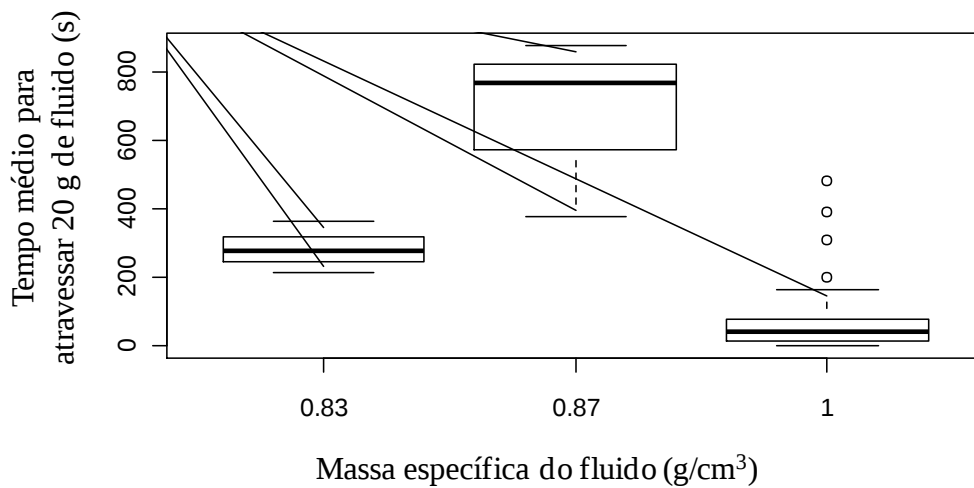


Figura 5.46- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Massa específica do fluido.

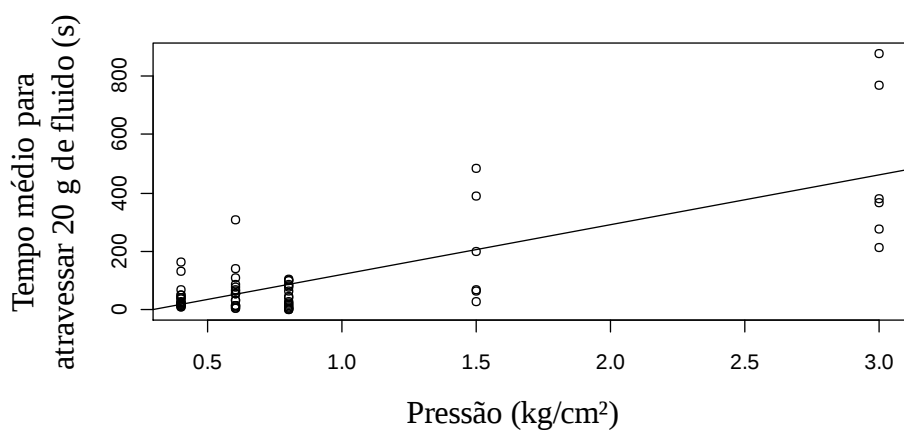


Figura 5.47- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Pressão.

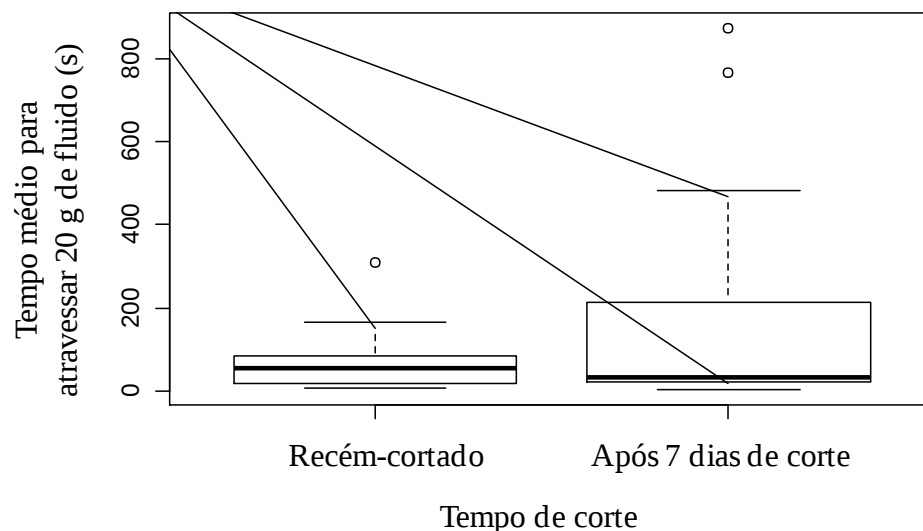


Figura 5.48- Tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Tempo de corte.

A partir das Figuras apresentadas pode-se observar que o tempo médio para atravessar 20 g de fluido ótimo, ou seja, o menor tempo médio para atravessar 20 g de fluido, é dado por uma menor viscosidade (FIGURA 5.45), evidenciando melhor do que o tempo da 1ª gota que é melhor impregnar bambus com fluidos de baixas viscosidades. Para massa específica do fluido quanto maior ela for menor será o tempo médio para atravessar 20 g de fluido. Quanto menor a pressão aplicada, menor a variável de resposta (FIGURA 5.47). Com relação tempo de corte do bambu (FIGURA 5.48), o bambu recém-cortado, tem um menor tempo médio para atravessar 20 g de fluido.

O modelo final ajustado que representa o tempo médio para atravessar 20 g de fluido é mostrado na Tabela 5.16.

Tabela 5.16- Modelo final ajustado para o tempo médio para atravessar 20 g de fluido.

	Estimativa	Erro padrão	Valor de t	p-valor
Intercepto	-4561,360	988,0910	-4,616	<0,0001
Viscosidade do fluido	0,6035	0,1124	5,369	<0,0001
Massa espec. do fluido	3934,5273	894,0796	4,401	<0,0001
Pressão (kgf/cm ²)	130,6528	37,3952	3,494	0,0008

R²: 0,7132, R² ajustado: 0,6993

Estatística F: 51,4 com 3 e 62 graus de liberdade, p-valor: < 0,0001

A equação (5.4) apresenta o modelo que melhor descreve tempo médio para atravessar 20 g de fluido em segundos.

$$f \text{ (Tempo médio para atravessar 20 g de fluido)} = - 4561 + 0,6035 * \text{Viscosidade do Fluido} + 3934,5273 * \text{Massa espec. do fluido} + 130,6528 * \text{Pressão} \quad (5.4)$$

A equação (5.4) responde por 69,93% da variação da variável tempo médio para atravessar 20 g de fluido onde a viscosidade do fluido, a massa específica do fluido e a pressão têm efeito positivo sobre este tempo, ou seja, quanto menores esses parâmetros, menores são os tempos médios para atravessar 20 g de fluido.

5.5.3- Variável de resposta (Y)

Aqui serão avaliados quais os parâmetros que influenciaram nas duas variáveis de resposta juntas (tempo da 1ª gota e tempo médio para atravessar 20 g de fluido), que será chamada de Y. Quanto à variável resposta, pode-se verificar que influenciaram significativamente seus valores as seguintes variáveis: viscosidade (p-valor = < 0,0001), massa específica do fluido (p-valor = < 0,0001) e a pressão (p-valor = < 0,0001) As Tabelas 8.28 a 8.30 (APÊNDICE III) apresentam as tabelas MANOVA das variáveis significativas.

O modelo final ajustado que representa a variável de resposta (Y) é mostrado na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Modelo final ajustado para a variável resposta Y.

			approx			
	g.l	Pillai	F	num. g.l	den g.l	p-valor
Viscosidade (mPa.s)	1	0,739	84,94	2	60	<0,0001
Massa espec. do fluido (g/cm³)	1	0,721	77,525	2	60	<0,0001
Pressão (kgf/cm²)	1	0,165	5,944	2	60	<0,0001
Resíduos	61	-	-	-	-	-

$$R^2 = 0,8242$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,8096$$

O modelo responde por 80,96% da variação da variável resposta Y onde a viscosidade do fluido, a massa específica do fluido e a pressão apresentam respectivamente efeito positivo para o tempo da 1ª gota e para atravessar 20 g de fluido.

5.6 - Resistência à compressão e módulo de elasticidade

Através do estudo das propriedades geométricas e pH, da microestrutura do bambu, da sua capacidade de absorção e a obtenção dos parâmetros de bombeamento, é possível impregnar o bambu com diversos tipos de fluidos. O bambu como já foi dito, pode ser usado na construção civil, porém pode-se melhorar suas propriedades mecânicas e durabilidade. Uma das alternativas para a melhoria dessas propriedades pode ser a impregnação do bambu com resinas. O bambu foi impregnado com uma resina (80 % de estireno + 20 % de metilmetacrilato), conforme mostrado na Figura 5.49. Essa resina tem as seguintes características: Viscosidade = 60,50 mPa.s; massa específica= 0,89g/cm³ e pH= 6,87. A pressão aplicada no processo de impregnação foi de 0,4 kgf/cm² e o bambu utilizado foi recém-cortado.



Figura 5.49- Bambu impregnado com a resina.

O ensaio foi feito em 6 amostras e observou-se que o tempo da 1ª gota foi igual a 1 s, o tempo médio para atravessar 20 g de fluido foi em torno de 15 s e a absorção em torno de 10 %.

Foi observada uma amostra de bambu impregnado com resina no microscópio ótico (FIGURA 5.50) e nota-se que a resina realmente preencheu os vasos do bambu.

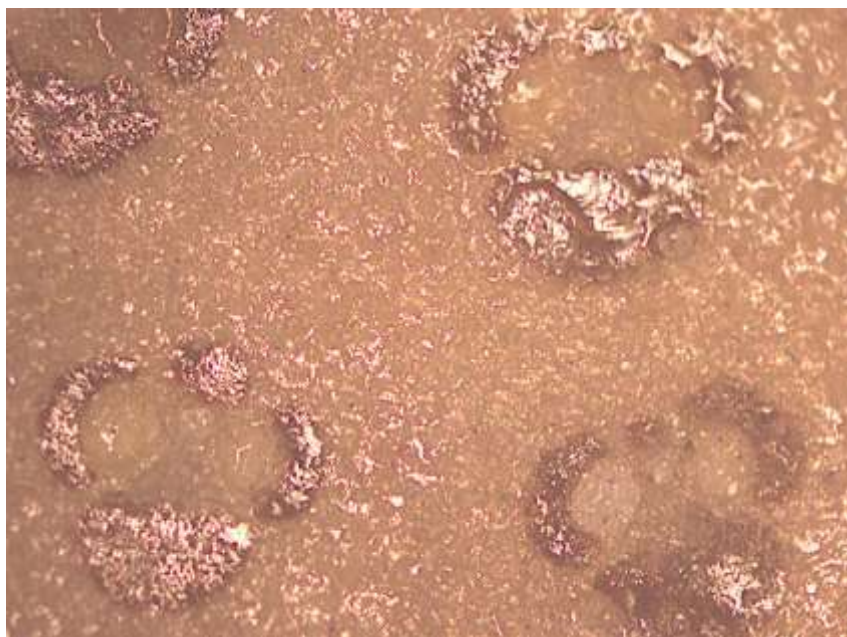


Figura 5.50- Vasos do bambu impregnados com resina.

Foi avaliada a resistência à compressão e módulo de elasticidade do bambu em duas situações: o bambu in natura e o bambu impregnado com a resina e seco em estufa a 50° C durante 24 horas. O ensaio de compressão nos bambus foi feito até a ruptura dos corpos de prova. Os resultados dos ensaios são mostrados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade do bambu com dois tratamentos.

Amostra	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Tratamento
1	42,98	1,60	Bambu in natura
2	49,42	1,24	Bambu in natura
3	42,02	1,21	Bambu in natura
4	59,04	1,06	Bambu in natura
5	44,52	1,00	Bambu in natura
6	43,69	1,60	Bambu in natura
Média	46,95	1,29	
7	64,39	1,24	Bambu impregnado com resina
8	69,33	0,89	Bambu impregnado com resina
9	74,78	1,17	Bambu impregnado com resina
10	77,00	1,67	Bambu impregnado com resina
11	67,34	3,87	Bambu impregnado com resina
12	66,31	1,95	Bambu impregnado com resina
Média	69,86	1,80	

Nota-se que os bambus in natura, ou seja, da forma que é encontrado na natureza apresentou uma resistência à compressão, em média de 46,95 MPa. O bambu impregnado com resina, teve um excelente ganho de resistência chegando a 69,86 MPa, um au-

mento de 48,80 %, ou seja, o processo de impregnação é bastante benéfico no tocante a resistência à compressão.

Com relação ao módulo de elasticidade, a impregnação também foi benéfica, os bambus in natura apresentaram um módulo de elasticidade em média, igual 1,29 GPa, já os bambus impregnados com resina tiveram um módulo de elasticidade igual a 1,80 GPa, tendo um aumento de 39,53 %.

Outra vantagem da impregnação com resina foi a questão da durabilidade, os bambus impregnados com resina, provavelmente terão uma maior durabilidade, pois os vasos ao serem preenchidos com um material nobre, dificultará o ataque de insetos e fungos.

Isso pode ser visto na Figura 5.51, onde os bambus impregnados com resina não foram atacados pelos insetos após 60 dias de corte, já o bambu in natura, foi bastante danificado pelos insetos, indicando que a impregnação do bambu com resinas aumenta a durabilidade do bambu.



Figura 5.51 – Durabilidade dos bambus in natura e impregnado após 60 dias de corte.

A fim de se verificar a relação entre os valores de resistência à compressão do bambu e o tipo de tratamento aplicado ao bambu, pode-se observar que este é influenciado de forma significativa por esta variável ($p\text{-valor} < 0,0001$). Já entre os valores do módulo de elasticidade e o tipo de tratamento aplicado ao bambu, observou-se que aquele não é influenciado de forma significativa por esta variável ($p\text{-valor} = 0,2861$). As Tabelas 8.31 e 8.32 (APÊNDICE IV) apresentam as tabelas ANOVA dos testes realizados.

A Figura 5.52 apresenta a influência da variável tratamento frente à resistência à compressão do bambu. Pode-se observar que uma maior resistência à compressão do bambu é observada nos bambus que foram impregnados com resina.

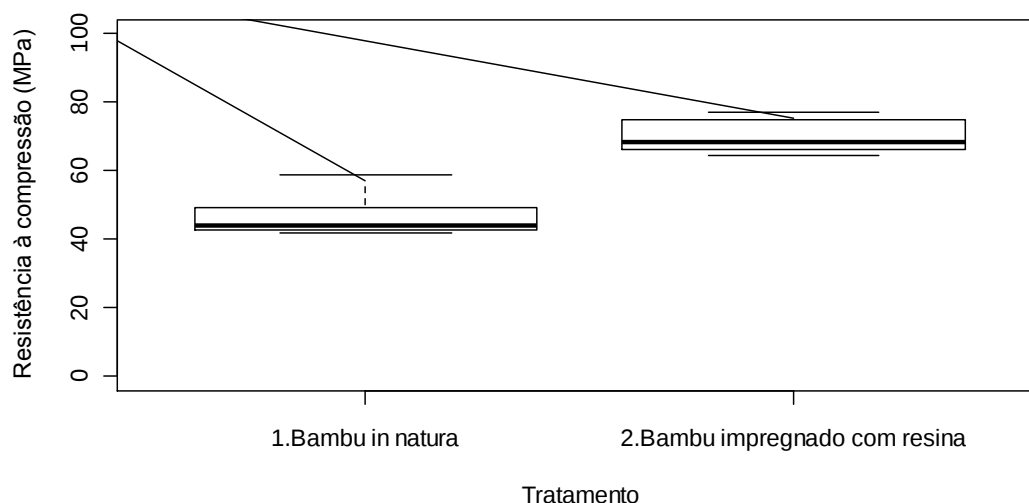


Figura 5.52 - Resistência à compressão do bambu X Tratamento.

Quanto à resistência à compressão do bambu, foi ajustado um modelo com o tipo de tratamento a fim de se verificar o quanto que esta variável explica a variação dos valores de resistência ao bambu. A Tabela 5.19 apresenta o modelo ajustado.

Tabela 5.19 - Modelo ajustado para resistência à compressão do bambu.

	Estimativa	Erro padrão	Valor de t	p-valor
Intercepto	3,60405	0,31310	11,511	<0,0001
Tratamento	-0,03603	0,00524	-6,875	<0,0001

R^2 : 0,8254 R^2 ajustado: 0.8079

Estatística F: 47,26 com 1 e 10 graus de liberdade, $p\text{-valor} < 0,0001$

A equação (5.5) apresenta o modelo ajustado que descreve resistência à compressão do bambu.

$$f(\text{resistência à compressão do bambu}) = 3,60405 - 0,03603 * \text{tratamento} \quad (5.5)$$

A equação apresentada responde por 82,54% da variação da variável resistência à compressão do bambu. Através dela é possível observar que o tratamento empregado ao bambu tem efeito negativo sobre a variável resposta indicando assim que bambus in natura vão contribuir para uma menor resistência à compressão do bambu quando comparado a bambus impregnados com resina.

A Figura 5.53 apresenta a influência da variável tratamento frente ao módulo de elasticidade do bambu. Pode-se observar que de modo geral a elasticidade não varia conforme o tipo de tratamento aplicado ao bambu, embora maiores valores de elasticidade tenham sido observados no bambu impregnado com resina.

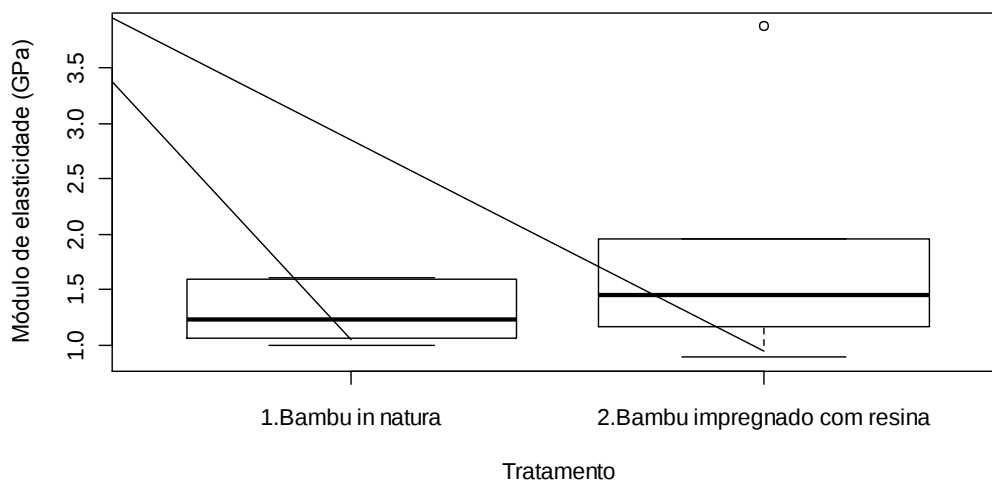


Figura 5.53 – Módulo de elasticidade do bambu X Tratamento.

CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES

6.1- Conclusões

Este trabalho corresponde a um estudo com o fim de se promover a impregnação dos vasos do bambu com uma resina visando uma maior durabilidade e também uma melhora nas suas propriedades mecânicas.

Com relação à caracterização da microestrutura do bambu, esta foi estudada através de uma técnica alternativa em substituição ao uso do microscópio eletrônico de varredura, que é um microscópio de custo operacional alto.

Foi utilizado um microscópio ótico combinado com uma série de tratamentos das amostras a partir da lavagem e polimento das seções dos colmos de bambu em diversas soluções, temperaturas, tempos e banhos e posteriormente foi feita uma otimização desses tratamentos para visualização em microscópio óptico. O tratamento que se mostrou mais eficaz, foi banho com solução composta de 4 % de formaldeído, 5 % de ácido acético e 50 % de álcool, seguido de polimento com remoção dos pós de lixamento com auxílio de um fluxo de ar. Outro fator importante na técnica foi a introdução de um feixe de luz que se acopla ao microscópio, permitindo uma melhor visualização da microestrutura do bambu especialmente na observação da sua estrutura vascular.

Esse tratamento foi utilizado para visualizar e quantificar a distribuição dos tecidos, a área dos vasos e o diâmetro/área do metaxilema da espécie *Bambusa vulgaris*.

Notou-se que a técnica de caracterização microestrutural otimizada para o microscópio óptico permite uma visualização clara dos tecidos do bambu em qualquer parte do colmo e ao longo da seção transversal.

Quanto às concentrações médias de vasos no bambu na parte interna, média e externa verificou-se que é maior a concentração de vasos na parte interna.

Quanto à área dos vasos, se observou que a área do metaxilema é maior que a área do floema/protoxilema.

O percentual de vasos do bambu pode chegar a pouco mais de 10 % da seção transversal. O diâmetro do metaxilema, que é o maior vaso do bambu, varia de cerca de

20 μm a 270 μm . Certamente, nos vasos de maior diâmetro, fluidos de diversas viscosidades poderão ser impregnados.

A absorção por imersão em diversos fluidos no bambu foi testada para ver se é realmente possível o processo de impregnação. A capacidade de absorção varia de 5 % a 10 %, independentemente do fluido utilizado, similares com a quantidade de vasos obtidos na microestrutura.

Nos ensaios de absorção por imersão, observou-se que os parâmetros seção do colmo (base, média e topo), idade do bambu (verde ou maduro) e tipo de secagem (ar e estufa), não influenciaram significativamente na capacidade de absorção.

A massa específica do fluido tem efeito positivo sobre a variável resposta indicando assim que quanto maior ela for, maior o percentual de absorção do bambu. Já a viscosidade do fluido tem efeito negativo sobre a variável resposta indicando assim que quanto menor ela for maior o percentual de absorção do bambu.

A absorção de fluidos por imersão indica que os vasos são passíveis de serem preenchidos com fluidos de diversas viscosidades. Por isso foi necessário um estudo aprofundado dos parâmetros de impregnação como, por exemplo, a pressão de impregnação haja vista que pressões excessivas podem causar danos na microestrutura do bambu.

Para a avaliação dos parâmetros de impregnação, foram produzidas duas máquinas de impregnação baseadas no método Boucherie, permitindo a impregnação de fluidos através da introdução de pressão, onde os fluidos atravessam apenas as paredes do bambu, ou seja, através dos seus vasos existentes na microestrutura.

O processo de impregnação é importante, pois quando se pretende tratar bambus em grande escala, é necessário reduzir a quantidade de fluido, diminuir o tempo de absorção do bambu e principalmente preencher de forma uniforme todos os vasos do bambu.

Pôde-se observar que o tempo ótimo da 1ª gota e o tempo médio para atravessar 20 g de fluidos ótimos, são caracterizados por uma maior massa específica do fluido menor pressão aplicada, menor viscosidade do fluido e uso de bambus recém-cortados, corroborando a idéia do método Boucherie.

Foram estudados vários parâmetros do processo de impregnação de fluidos do bambu. Observou-se que é possível impregnar fluidos de diferentes viscosidades inclusive resinas, devido principalmente a estrutura porosa do bambu provando uma capacidade de absorção em torno de 10%. A utilização da máquina se mostrou benéfica para

este processo, pois a introdução de pressão provocou uma rápida impregnação e também um bom desenvolvimento de fluxo. Essa máquina de impregnação devido a sua facilidade na operação pode ser utilizada em comunidades que utilizem o bambu como material de construção.

Com relação à resistência à compressão dos bambus, observou-se que a impregnação de resina foi benéfica com relação a este parâmetro aumentando em 48,80 % em relação aos bambus in natura. Com respeito ao módulo de elasticidade, os bambus impregnados com resina aumentaram em 39,57 % em relação aos bambus in natura.

Os bambus impregnados com resina, além de uma maior resistência à compressão e módulo de elasticidade, provavelmente terão também uma maior durabilidade, podendo se tornar um material de construção mais difundido e utilizado no mundo.

6.2- Sugestões para pesquisas futuras

Dando continuidade a este trabalho, são sugeridos alguns aspectos que merecem ser estudados:

- Fazer a caracterização microestrutural de outras espécies de bambu, avaliando também o efeito do tempo de corte;
- Avaliar outras técnicas de caracterização microestrutural de bambu;
- Impregnar com outros tipos de fluidos os bambus;
- Obter e otimizar as propriedades de outras resinas possíveis para impregnar o bambu;
- Construir uma estrutura com colmos de bambu impregnados com resina.
- Estudar o comportamento mecânico de elementos estruturais contendo: bambu impregnado com fluidos, aço e matrizes a base de cimento Portland no regime elástico e no estado de pós-fissuração;
- Aplicar modelos de interface colada ao estudo da aderência entre os substratos de bambus impregnados com fluidos-concreto;
- Avaliar o efeito da composição da matriz no desempenho mecânico dos protótipos bambu impregnado com fluidos-concreto;
- Otimizar a realização dos ensaios mecânicos visando estabelecer critérios experimentais para a normatização dos testes e dos corpos de prova de bambu impregnado com fluidos-concreto; e
- Investigar o efeito do coeficiente de Poisson de cada material (bambu impregnado com fluidos-concreto) no comportamento da interface do conjunto matriz-reforço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHÁ, E. Estudo teórico-experimental à flexão de lajes de concreto reforçadas com forma permanente de bambu. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio, 2002.
- ALVES, J. D.; MENDES, A. P.; FARIA, J. E.; SILVA, A. P.; OLIVEIRA, P. S.; MENDES, P. e GOMES, R.T. **Ligações de peças de bambu reforçadas com graute** . In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.
- AMADA, S. e UNTÃO, S. Fracture properties of bamboo. **Composites Part B**, 32, 2001 p.451- 459.
- AMADA, S.; ISHIKAWA, Y.; MUNEKATA,T.; NAGASE, Y. & SHIMIZU, H. Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. **Composites Part B**, 28B, 1997, p. 13-20.
- AMADA, S.; MUNEKATA, T.; NAGASE, Y.; ICHIKAWA, Y.; KIRIGAI, A.; ZHIFEI, Y. The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composite materials. **Journal of Composite Materials**, Japan, v.30, n.7, p. 801-819, 1996.
- ANJOS, M. A. S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II : Uso de resíduos cerâmicos na matriz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, 2003. p. 346-349;
- AZZINI A. e BERALDO A. L. **Métodos Práticos de Tratamento do Bambu**. Gráfica da Unicamp, 2001, 14p.

- AZZINI, A e GONDIM TOMAZ. R. M. A. **Extração de amido em cavacos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad) tratados com solução diluída de hidróxido de sódio.** Bragantia, Campinas- SP, 55 (1):137-140 p, 1996.

- AZZINI, A.; SANTOS, R. L. DOS; PETTINELLI JUNIOR, A. **Bambu: material alternativo para construções rurais.** Boletim técnico. Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, São Paulo, 1997, 18p.

- BARBOSA, N. P.; MINA; A. J. S.; LIMA JR.; H. C.; GHAVAMI, K. “ Structural behaviour of bamboo reinforced concrete beams and slabs”. Proc. of the International Congress Concrete at the Service of Mankind, Dundee, Escócia, jun 1996.

- BARBOSA, N. P.; TOLEDO, R. D.; GHAVAMI, K. Vigas de concreto laterítico reforçadas com bambu. 33a Reunião Anual do IBRACON, Santos, SP, ago 91, vol 2, p. 341-355;

- BARBOSA, N. P.; TOLEDO, R. D.; GHAVAMI, K. Comportamento de lajes de concreto em fôrma permanente de bambu. *XXVI Jornadas Sul-americanas de Ingenieria Estructural*, Montevideo, Uruguai, nov 93, p. 191-202.

- BARBOSA, N. P. **Estudo experimental de lajes de concreto laterítico em fôrma permanente de bambu.** 1994. Relatório de pesquisa, DTCC/UFPB, João Pessoa.

- BARBOSA, N. P. **Materiais não convencionais na engenharia estrutural: Utilização do bambu no concreto laterítico.** 1991. Relatório técnico, DTCC/UFPB, João Pessoa.

- BERALDO, A. L. e RIVERO, L. A. Bambu laminado colado (BLC). **Floresta e Ambiente**, v.10, n.2, 2003, p. 36-46.

- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, A. R. **Bambu: características e aplicações**. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L., Editor, Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas, Unicamp, 2003.
- BRAGA FILHO, A. C. **Bambu: generalidades e seu emprego como reforço em vigas de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.
- CHUNG, K. F.; YU, W. K. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. **Engineering Structures**, 24, 2002, p. 429–442.
- CONBAM. Bambu. Disponível em: <<http://www-users.rwth-aachen.de>> . Acesso em 20 abr. de 2007.
- CORDERO, V. M. **Casa de Painéis de bambu-argamassa**. 147 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.
- CULZONI, R. A. M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.
- DALCANAL, P. R.; LIMA JR., H. C., MENEGHETTI, L. C., WILLRICH, F. L., BARBOSA, N. P. 2000. Theoretical and experimental study of concrete-bamboo interface in the concrete slabs reinforced with bamboo. *Anais da Conferência Internacional Sustainable Construction into the Next Millennium*. João Pessoa, PB, Nov. 2000, p. 312-325.
- ENVOCARE . Taj Mahal. Disponível em <[http:// www.envocare.co.uk](http://www.envocare.co.uk)>. Acesso em 13 abr. 2007.
- FERRÃO, A. M. e FREIRE, W. J. **Aderência entre bambu e concreto: teste de arrancamento com taliscas de *Bambusa tuldoidea***. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EBRAMEM, v.2, 1995, p.389-398.

- FERREIRA, G. C. S.; MORENO, JR. & BERALDO, A.L. **Caracterização de taliscas de bambu *Dendrocalamus giganteus* à tração** . In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.

- FERREIRA, G. C. S. **Vigas de concreto armadas com bambu**. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2002.

- FERREIRA, L. S. **Durabilidade das armaduras de bambu tratado utilizadas como reforço em pilares de concreto armado**. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

- FONSECA, K. S. **Técnicas de propagação, tratamentos anti-fungos e propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa vulgaris***. 154 p. Relatório final de iniciação científica (Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

- GHAVAMI K.; ALLAMEH, S. M.; SÁNCHEZ, M. L. e SOBOYEJO, W. O. **Multiscale study of *bamboo phyllostachys edulis***. In: Inter American Conference On Non-Conventional Materials And Technologies In The Eco-Construction And Infrastructure, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: IAC-NOCMAT, 2003.1 CD-ROM.

- GHAVAMI, K e HOMBEECK, R. V. **Application of bamboo as a construction material: Part I—Mechanical properties and waterrepellent treatment of bamboo, Part II—Bamboo reinforced concrete beams**. In: Proc of Latin American Symp. on Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing, CIB, São Paulo, Brasil, 1981. p. 49–66.

- GHAVAMI, K. , BARBOSA, N P. BAMBU. *Materiais de Construção Civil*. Volume 2, Capítulo 47, p. 1559-1589. Instituto Brasileiro do Concreto. ISBN 978-85-98576-19-0, 2007.

- GHAVAMI, K. e MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, 2005. p.107-114.

- GHAVAMI, K. e MARINHO, A. B. Propriedades geométricas e mecânicas de colmos de bambu para a aplicação em construções. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, 2003. p. 415-424.

- GHAVAMI, K. “Ultimate Load Behaviour of Bamboo Reinforced Lightweight Concrete Beams”, *International Journal of cement and Concrete Composites*, 17(4), Elsevier Science Ltd. Inglaterra, 1995, p. 281-288.

- GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering**. In: Third CIB/RILEM, 1989, Symposium Materials for low income housing, 6-10 november, Mexico city, Mexico, 526-536.

- GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement & Concrete Composites** 27 , 2005. p. 637–649.

- GHAVAMI, K. Structural concrete elements reinforced with bamboo. **Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)**, v. 2, n. 2, 2001, p. 97-110.

- GHAVAMI, K. Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams. **Cement & Concrete Composites** 17, 1995. p. 281-288.

- GHAVAMI, K.; CULZONI, R. A. M. **Utilização do bambu como material em habitação de baixo custo**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HABITAÇÃO, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1987. p. 181-188.

- GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia.** RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2001.

- GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S. **Engineering Materials and Components with Plants.** In: Proceedings of the Construction and Environment Symposium. IPT CIB. São Paulo, Brasil, 2000. p. 33-38.

- GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S.; SOARES, A.C.C.; PACIORNIK, S. **Bamboo as a composite material and its analysis by digital image processing.** In: ICCE, 7., 2000, Colorado. **Proceedings ...** p.23.

- GHAVAMI, K.; SOLORZANO, I.G. **Comparison between Microstructure of Bamboo Culm and Wood. Acta Microscópica.** In: III Interamerican Conference on Electron Microscopy and XV Meeting of the Brazilian Society for Electron Microscopy, Caxambú, Brazil, CD-ROM, 1995.

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

- HELSEN, L.; HARDY, A.; VAN BAEL, M. K.; MULLENS, J. Tanalith E 3494 impregnated wood: characterisation and thermal behaviour. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 78, 2007, p.133-139.

- HIDALGO-LOPÉZ, O. **Manual de constuccion com bambu.** Estudios Técnicos Colombianos, Univ. Nacional de Colombia, 1981.

- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo- The gift of the gods.** Colômbia: D’Vinni, 2003.

- JANSSEN, J. J. **Bamboo in building structures.** Eindhoven: Techn. Univ., 253 p, 1981.

- JANSSEN, J. J. **Design and building with bamboo**. INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. Beijing, China. Technical report n. 20, 207 p., 2000.
- JANSSEN, J.J.A. **Bamboo research at the Eindhoven University of Technology**. The Netherlands, Faculty of Building of Eindhoven University of Technology, 23p.,1984.
- JONES, R. M. **Mechanics of composite materials**. McGraw-Hill Company, 1975, p.368.
- LEE, A.W.C., BAI, X.S., BANGI, A.P. Selected properties of laboratory-mach laminated bamboo lumber. Berlim, **Holzforchung**, v. 52, n. 2, p. 207-210, 1998.
- LIESE, W. **Anatomy and properties of bamboo**. In: Rao, A.N.; Dhanarajan, 1987.
- LIESE, W. **Research on Bamboo**. Wood Science and Technology, 21, 189-209, 1987.
- LIESE, W. **Anatomy of bamboo**. In: Bamboo research in Asia, Ottawa. **Proceedings...**Ottawa: IDRC, 1980. p. 165-172.
- LIESE, W. **The structure of bamboo in relation to its properties and utilization**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO. **Proceedings...** Beijing, China, 1992,. p.95- 100.
- LIESE, W., 1998. The Anatomy of Bamboo Culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. 204 p.
- LIESE, W.1991. Progress in bamboo research. **The Journal of the American Bamboo Society**, vol. 8, n. 1 & 2, p. 151 a 165, 1991.

- LIMA JR, H C; BARBOSA, N P.; GHAVAMI, K. 1995. Comportamento em serviço de lajes de concreto reforçadas com bambu. V *EBRAMEM*, vol I, Belo Horizonte, MG, Julho 1995, p. 161-173.
- LIMA JR, H. C.; XAVIER, A. C.; TOLEDO FILHO, R. D., BARBOSA, N. P. “Estudo experimental sobre aderência bambu-concreto”. Congresso Técnico Científico de Engenharia Civil, Univ. Fed. de Santa Catarina, Florianópolis, 21 a 23 abr 1996, p. 679-688.
- LIMA JR, H. C; BARBOSA, N P; TOLEDO, R D; GHAVAMI, K (1995) “ Estudo experimental da fluência de lajes de concreto reforçadas com bambu”. Iniciados, Publicação da PRPG-UFPB, p. 161-175.
- LIMA JR., H. C.; MESQUITA, L. P.; FABRO, G.; WILRICH, F. L. & CZARNIESKI, C. J. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. Parte I: Análise experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, 2005a. p.642-651;
- LIMA JR., H. C. ; WILRICH, F. L. & FABRO, G. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. Parte II: Modelagem e critérios de dimensionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, 2005b. p.652-659.
- LIMA JR., H. C.; DALCANAL, P. R.; WILLRICH, F. L. e BARBOSA, N. P. **Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise teórica e experimental**. In: Sustainable construction into the next millennium: Environmentally friendly and innovative cement based materials. João Pessoa: SNT, 2000, p. 394-406.
- LO, T. Y.; CUI, H. Z. e LEUNG, H. C. The effect of fiber density on strength capacity of bamboo. **Materials Letters**, 58, p. 2595– 2598, 2004.
- LONDOÑO, X. ; CAMAYO, G. C. ; RIAÑO, N. e LÓPEZ, Y. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae)

culms. **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society**, 16(1), p. 18-31, 2002.

- MARTINESI, R. A; GHAVAMI, K. **Alguns aspectos na utilização do bambu como material de construção**. 48 p. Relatório interno (Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.
- MARTINS GOMES, O. F.; SANCHES CRUZ, M. L. GHAVAMI, K.; PACIORNIK, S. **Caracterização Automática da meso-estrutura de bambus**. In: Anais do XVI Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto Alegre, novembro de 2004.
- MARTINS, J. C. L.; SANTOS, R. G.; OITICICA, M. L. G. R.; BARBIRATO, G. M.; CARDOSO, R. JR.; SARTORI, E. M. **Condições de conforto térmico da primeira unidade habitacional de interesse social brasileira construída com bambu– Maceió – AL** . In: Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais – Habitações e Infra-Estrutura de Interesse Social, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: Brasil NOCMAT, 2004, CD-ROM. p. 308-320.
- MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J; FILHO, A. C. B.; WILRICH, F. L.; LIMA JR., H. C. e BARBOSA, N. P. Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, 2006. p. 505-516;
- MEYER, T. M.; SOBRINHO JR., A. DA S.; BARBOSA, N. P. **Ligações com fibras de sisal em matrizes poliméricas para estruturas de bambu**. In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.
- MOREIRA, L E. Aspectos singulares das treliças de bambu: Flambagem e conexões”. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio, 1988.

- MOREIRA, L. E. **Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu**. 171 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

- NAVARRO, E.H.A.; GHAVAMI, K. **Laje de concreto com forma permanente de bambu sujeita a flexão**. In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.

- NMBA. Bambu. Disponível em <<http://www.bambootech.org>>. Acesso em 8 abr. 2007.

- OKUBO, K; FUJII, T. & YAMAMOTO. Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties. **Composites: Part A**, 35, 2004, p. 377–383.

- OLIVEIRA, A. K. F.; PAEZ, J.B. **Caracterização físico–mecânica de laminaado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos**. In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, 2006, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.

- OZÇİFÇİ, A. & OZPAK, A. S. Impacts of impregnation solutions on the adhesion strength of outer usage varnish coatings. **Construction and Building Materials**, 2006.

- PEREIRA, M. A. R. e BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: cna6, 240p., 2007.

- PEREIRA, M. A. R. **Bambu, espécies características e aplicações**. UNESP/CAMPUS DE BAURU, 2001, 58 p.

- RAY, A. K; DAS, S. K. e MONDAL S. Microstructural characterization of bamboo. **Journal of materials science**, 39, p. 1055-1060, 2004.

- RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu** . 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campinas, Campinas-SP, 2003.

- RÚGULO DE AGRASAR, Z. E. e RODRÍGUEZ, M. F. Culm Anatomy of Native Woody Bamboos in Argentina and Neighboring Areas: Cross Section. **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society**, 17(1), p. 28-43, 2003.

- SÁ RIBEIRO, M. G.; SÁ RIBEIRO, R. A.; VETTER, R. E.; ROCHA, J. S.; BESSA, T. M. F. & PONTES, C.L.F. **Protótipo de vila ecológica na amazônia**. In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006 – CD-ROM.

- SALGADO, A.L.B.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MACEDO, E.L.; SALGADO, A.L. Instruções técnicas sobre o bambu. Boletim técnico. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. Maio, 1994. 44 p.

- SÁNCHEZ CRUZ, M. L. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à flambagem**. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

- SHARP, J. H.; LAWRENCE, C. D.; YANG, R. D. Calcium aluminate cements-Low energy cements, special cements or what? **Advanced Cement Research**, p. 3-13, 1999.

- SHIH, Y. F. Mechanical and thermal properties of waste water bamboo husk fiber reinforced epoxy composites. **Materials Science and Engineering A**, 2006.

- SOBRINHO JR. A. S. Comportamento estrutural de painéis contendo bambu e resíduos industriais para habitações de interesse social. **139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006a.**

- SOBRINHO JR., A. S.; BARBOSA, N. P.; TORRES, S. M. **Comportamento estrutural de painéis à base de bambu e resíduos industriais para habitações populares.** In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006b – CD-ROM.

- SOBRINHO JR., A. S.; BARBOSA, N. P.; TORRES, S. M.; RIBEIRO, P. H. L. C.; NÓBREGA, A. F. **Efeito da variação dimensional do bambu na fissuração de painéis pré-moldados contendo resíduos industriais.** In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, Salvador. **Anais...** Salvador, BRASIL NOCMAT, 2006c – CD-ROM.

- SUI, G.X., YU, T.X., KIM, J.K. Mechanical behavior and failure modes of Aluminum/bamboo sandwich plates under quasi-static loading. Hong Kong, **Journal of Materials Science**, v. 35, n. 6, p. 1445-1452, 2000.

- SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; WAHAB, R.; ISMAIL, Z. A; SAMSI, H. W. e MOHAMED, A. Evaluation of shear strength of oil treated laminated bamboo. **Bioresource Technology**, 97, 2006, p. 2466–2469.

- TARGA, L. A. e BALLARIN, A.W. **Características e potencialidade de uso do bambu como material e construção no meio rural.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XIX, Piracicaba, SP, 1990. **Anais...** v.1, p. 54-59.

- TEIXEIRA, A. A. Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa. **179 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade de Brasília, Brasília, 2006.**

- THWE, M. M. e LIAO, K. Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. **Composites Science and Technology**, 63, 2003, p. 375–387.

- TOMAZELLO FILHO, M. e AZZINI, A. **Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de Colmos de *Bambusa vulgaris* schrad.** IPEF, n.36, p. 43-50, ago.1987.

- VAN DER LUGT, P.; VAN DEN DOBBELSTEEN , A. A. J. F. ; JANSSEN, J. J. A. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, 20, 2006, p. 648–656.

- XAVIER, L. M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys áurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável.** . 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

- YAO, W.; LI, Z. Flexural behavior of bamboo–fiber-reinforced mortar laminates. **Cement and Concrete Research**. 33. 2003.p. 15–19.

- YU, W. K.; CHUNG, K. F.; CHAN, S. L. Axial buckling of bamboo columns in bamboo scaffolds. **Engineering Structures**. 27. 2005. p. 61–73.

- YU, W. K.; CHUNG, K. F.; CHAN, S. L. Column buckling of structural bamboo **Engineering Structures**. 25. 2003. p. 755–768.

APÊNDICES

APÊNDICE I- Anovas da caracterização microestrutural do bambu

Tabela 8.1- ANOVA da quantidade média de Parênquima x Parte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	461.3	230.6	1.3258	0,2709
Dentro do grupo	87	15134.7	174.0	-	-

$R^2 = 0,0295$, R^2 ajustado = 0,0072

Tabela 8.2- ANOVA da quantidade média de Fibras x Parte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	881.1	440.5	1.6371	0,2005
Dentro do grupo	87	23412.1	269.1	-	-

$R^2 = 0,0362$, R^2 ajustado = 0,0141

Tabela 8.3- ANOVA da quantidade média de Vasos x Parte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	262.12	131.06	9.0064	0,0002
Dentro do grupo	87	1266.02	14.55	-	-

$R^2 = 0,1715$, R^2 ajustado = 0,1525

Tabela 8.4- ANOVA de quantidade média de Parênquima x Bambu verde ou maduro.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	863.6	863.6	5.1587	0,0255
Dentro do grupo	88	14732.3	167.4	-	-

$R^2 = 0,0553$, R^2 ajustado = 0,0443

Tabela 8.5- ANOVA de quantidade média de Fibras x Bambu verde ou maduro.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	610.5	610.5	2.2684	0,1356
Dentro do grupo	88	23682.8	269.1	-	-
$R^2 = 0,0251$, R^2 ajustado = 0,0140					

Tabela 8.6- ANOVA de quantidade média de Vasos x Bambu verde ou maduro.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	19.15	19.15	1.117	0,2935
Dentro do grupo	88	1508.99	17.15	-	-
$R^2 = 0,0125$, R^2 ajustado = 0,0013					

Tabela 8.7- ANOVA da concentração média de Vasos x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	1081.43	540.71	105.31	< 0,0001
Dentro do grupo	87	446.71	5.13	-	-
$R^2 = 0,7077$, R^2 ajustado = 0,701					

Tabela 8.8- ANOVA da Concentração média de Vasos x Parte do bambu (base, média e topo).

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	262.12	131.06	9.0064	0,0002
Dentro do grupo	87	1266.02	14.55	-	-
$R^2 = 0,1715$, R^2 ajustado = 0,1525					

Tabela 8.9- ANOVA de Variações do diâmetro do metaxilema x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	201276	100638	204.10	< 0,0001
Dentro do grupo	81	39941	493	-	-
$R^2 = 0,8344$, R^2 ajustado = 0,8303					

Tabela 8.10- ANOVA de Variações da área do metaxilema x Parte do colmo do bambu (externa, intermediária e interna).

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	8993302008	4496651004	134.15	< 0,0001
Dentro do grupo	81	2715112744	33519910	-	-
$R^2 = 0,7681$, R^2 ajustado = 0,7624					

Tabela 8.11-ANOVA do Diâmetro do metaxilema x Parte do bambu (base, média e topo).

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	7700	3850	1.3355	0,2688
Dentro do grupo	81	233517	2883	-	-
$R^2 = 0,0319$, R^2 ajustado = 0,0080					

APÊNDICE II- Anovas da absorção de fluidos por imersão do bambu

Tabela 8.12 - ANOVA da absorção do bambu x Tempo de imersão.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	8	1902.13	237.77	52.501	< 0,0001
Dentro do grupo	423	1915.69	4.53	-	-

Tabela 8.13 - ANOVA da absorção do bambu x Tempo de corte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	48.4	48.4	5.5245	0,01920
Dentro do grupo	430	3769.4	8.8	-	-

Tabela 8.14 - ANOVA da absorção do bambu x Seção do colmo do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	2	221.8	110.9	13.233	< 0,0001
Dentro do grupo	429	3596.0	8.4	-	-

Tabela 8.15 - ANOVA da absorção do bambu x Massa específica do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	3	504.5	168.2	21.721	< 0,0001
Dentro do grupo	428	3313.4	7.7	-	-

Tabela 8.16 - ANOVA da absorção do bambu x Viscosidade do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	3	504.5	168.2	21.721	< 0,0001
Dentro do grupo	428	3313.4	7.7	-	-

Tabela 8.17 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Tempo de imersão.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	8	3494,3	436,8	73,229	< 0,0001
Dentro do grupo	153	3059,9	6	-	-

Tabela 8.18 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Massa específica do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	5	222,6	37,1	3,0178	0,0065
Dentro do grupo	515	6331,6	12,3	-	-

Tabela 8.19 - ANOVA do percentual de absorção do fluido x Viscosidade do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	5	222,6	37,1	3,0178	0,0065
Dentro do grupo	515	6331,6	12,3	-	-

APÊNDICE III- Anovas e Manovas da impregnação de fluidos do bambu

Tabela 8.20 - ANOVA de Tempo da 1ª gota x Viscosidade do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	987,62	987,62	30,638	< 0,0001
Dentro do grupo	64	2063,06	32,24	-	-
$R^2 = 0,3237$, R^2 ajustado=0,3132					

Tabela 8.21- ANOVA de Tempo da 1ª gota x Massa específica do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	1699,82	1699,82	80,533	< 0,0001
Dentro do grupo	64	1350,86	21,11	-	-
$R^2 = 0,3132$, R^2 ajustado = 0,5503					

Tabela 8.22- ANOVA de Tempo da 1ª gota x Pressão aplicada ao bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	1242,08	1242,08	43,953	< 0,0001
Dentro do grupo	64	1808,60	28,26	-	-
$R^2 = 0,4071$, R^2 ajustado = 0,3979					

Tabela 8.23 - ANOVA de Tempo da 1ª gota x Tempo de corte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	217,94	217,94	4,9239	< 0,0304
Dentro do grupo	64	2832,75	44,26	-	-
$R^2 = 0,07144$, R^2 ajustado = 0,05693					

Tabela 8.24- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Viscosidade.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	1061549	1061549	97,599	< 0,0001
Dentro do grupo	64	696108	10877	-	-
$R^2 = 0,604$, R^2 ajustado = 0,5978					

Tabela 8.25- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Massa específica do fluido.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	789010	789010	52,131	< 0,0001
Dentro do grupo	64	968648	15135	-	-
$R^2 = 0,4489$, R^2 ajustado = 0,4403					

Tabela 8.26- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Pressão.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	1016277	1016277	87,73	< 0,0001
Dentro do grupo	64	741381	11584	-	-
$R^2 = 0,5782$, R^2 ajustado = 0,5716					

Tabela 8.27- ANOVA do tempo médio para atravessar 20 g de fluido x Tempo de corte do bambu.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	135200	135200	5,3332	0,0241
Dentro do grupo	64	1622457	25351	-	-
$R^2 = 0,07692$, R^2 ajustado = 0,0625					

Tabela 8.28 - MANOVA da variável resposta (Y) x Viscosidade do fluido.

Variável	DF	Aprox.		den Df		p-valor
		Pillay	F	Num Df		
Viscosidade	1	0,697	72,403	2	63	<0,0001
Resíduos	64	-	-	-	-	-

Tabela 8.29 - MANOVA da variável resposta (Y) x Massa específica do fluido.

Variável	DF	Aprox.		den Df		p-valor
		Pillay	F	Num Df		
Massa espec. do fluido	1	0,738	88,839	2	63	<0,0001
Resíduos	64	-	-	-	-	-

Tabela 8.30 - MANOVA da variável resposta (Y) x Pressão.

Variável	DF	Pillay	Aprox.	den Df		p-valor
			F	Num Df		
Pressão	1	0,727	83,860	2	63	<0,0001
Resíduos	64	-	-	-	-	-

APÊNDICE IV- Anovas da resistência à compressão e módulo de elasticidade do bambu

Tabela 8.31- ANOVA de Resistência à compressão X Tratamento.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	1574,57	1574,57	47,264	<0,0001
Dentro do grupo	10	333,15	33,31	-	-

Tabela 8.32- ANOVA de Módulo de elasticidade x Tratamento.

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	Teste F	p-valor
Entre grupos	1	0,7867	0,7867	1,2701	0,2861
Dentro do grupo	10	6,1942	0,6194	-	-