4
Resultados e discussões

4.1. Tratamentos preservativos

Foram realizados seis métodos de tratamento preservativo para diferentes colmos de bambu. Quatro destes métodos foram aplicados em bambus que já apresentavam ataques de cupins, com o objetivo de analisar a eficácia de cada tipo de tratamento. Os outros dois métodos restantes foram aplicados em bambus sadios, isto é, em bambus que não haviam sido atacados por cupins.

- Jimo Cupim®:

  Este método de tratamento foi utilizado nos corpos de prova utilizados nos ensaios físicos e mecânicos. Foi aplicado superficialmente, borrifando o conteúdo da embalagem aerosol.
- Jimo Cupim® quente;
- Banho de imersão em óleo queimado quente;
- Banho de imersão em querosene quente;
- Banho de imersão em água quente:

Estes quatro últimos métodos mencionados foram aplicados em colmos já atacados por cupins (Figura 4.1). Os colmos foram limpos com ar comprimido e em seguida colocados em banho de imersão a uma temperatura de aproximadamente 90°C com permanência de duas horas para alcançar a saturação máxima. Desta maneira, os grânulos de amido podem ser decompostos termicamente garantindo assim sua imunização.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Figura 4.1 - Bambus após tratamento.

- Tratamento a fogo:

  Gerou-se calor ao longo do colmo com utilização de um maçarico a uma distância de aproximadamente 30 cm, tomando-se o cuidado para que o calor aplicado não fosse intenso, girando-o sempre para não queimá-lo. Desta forma consegue-se matar qualquer inseto e ao mesmo tempo endurecer a parede externa, tornando-a menos propícia ao ataque de organismos.

Dos seis métodos utilizados, apenas o banho de imersão em água quente apresentou a proliferação de fungos. Cada método de tratamento registrou uma textura e coloração particular (Figura 4.2). Todos os outros métodos aplicados apresentaram resultados satisfatórios, visto que até cinco meses após o tratamento não foi constatado o aparecimento ou reincidência de cupins e brocas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

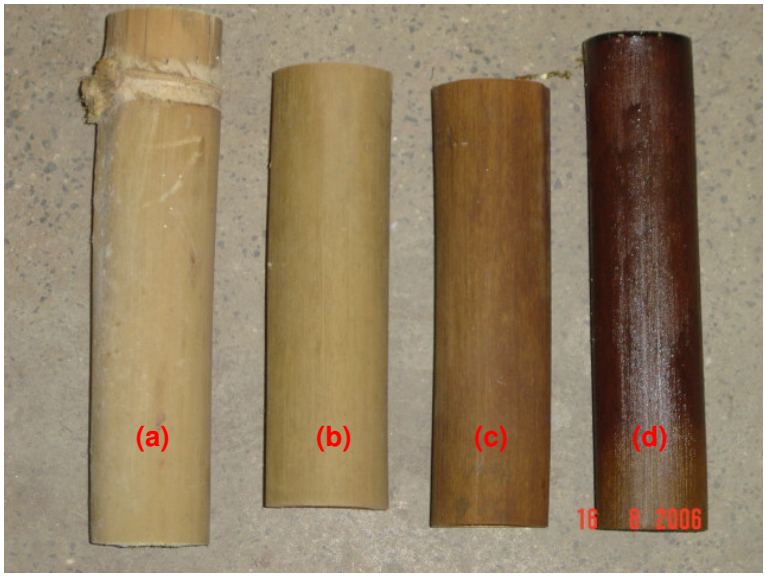


Figura 4.2 - Detalhe dos bambus tratados em banhos de imersão à quente com: água (a), Jimo Cupim® (b), querosene (c) e óleo queimado (d).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

4.2. Propriedades físicas

4.2.1. Absorção de água

Foram ensaiados seis corpos de provas medindo 25 x 25 x e (mm), onde e = espessura da parede do colmo. A Tabela 4.1 mostra a média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água e calculados através da equação 3.3.

Tabela 4.1 - Porcentagem de absorção de água do bambu *Guadua weberbaueri*.

Tempo (h)	**0**	**24**	**48**	**72**	**96**	**120**	**144**	**168**
Massa (g)	4,87	6,78	7,15	7,21	7,41	7,56	7,69	7,78
Absorção (%)	0	39,22	46,82	48,05	52,16	55,24	57,91	59,75

Observa-se que nas primeiras 24 horas o valor encontrado para absorção foi de 39,22%, no quarto dia 52,16% e no sétimo 59,75%. Na Tabela 4.2 observa-se que Culzoni (1986) obteve valor de absorção de 42,00% no quarto dia para a espécie *Guadua superba* e 18,50% nas primeiras 24 horas para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. Ghavami (2005) estudou a espécie *Dendrocalamus giganteus* e obteve resultados para as primeiras 24 horas de 27,45%.

Tabela 4.2 - Comparação da absorção de água da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

	Espécie				
	GW		**GS**	**DG (1)**	**DG (2)**
Tempo (h)	24	96	96	24	24
Absorção (%)	39,22	52,16	42,00	18,50	27,45

Onde:

GW - *Guadua weberbaueri* em estudo;

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI, 2005).

Nas primeiras 24 horas observa-se uma absorção muito superior às obtidas por Ghavami (2005) e Culzoni (1986) para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, e aproximadamente 10 % maior que a absorção da espécie *Guadua superba* no quarto dia (CULZONI, 1986).

4.2.2. Peso específico

Foram ensaiados seis corpos de provas da região basal. A média dos resultados do ensaio de peso específico foi de 8,15 KN/m³.

Culzoni (1986) estudou o peso específico da região basal do bambu *Guadua superba* e obteve o valor de 7,50 KN/m³. Ghavami e Tolêdo Filho (1992) obtiveram valores de peso específico na base, meio e topo de 8,60 KN/m³, 9,80 KN/m³ e 8,20 KN/m³ respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, estudada no Rio de Janeiro e 8,50 KN/m³, 8,30 KN/m³ e 8,00 KN/m³ respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudadas na Paraíba. Rosa (2005) encontrou valores de peso específico, para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, na base do bambu, de 7,31 KN/m³. Para a mesma espécie um valor de 10,18 KN/m³ foi encontrado para o peso específico saturado. Pode-se ver na Tabela 4.3 a comparação do peso específico do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Tabela 4.3 - Comparação do peso específico da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

	Espécies					
	GW	**GS**	**DG (1)**	**DG (2)**	**DG (3)**	**DG (4)**
(KN/m³)	8,15	7,50	8,60	8,50	7,31	10,18

Onde,

GW - *Guadua weberbaueri* em estudo;

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* RJ (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* PB (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

DG (3) - *Dendrocalamus giganteus* (ROSA, 2005);

DG (4) - *Dendrocalamus giganteus* saturado (ROSA, 2005);

O peso específico da espécie em estudo se enquadrou dentro dos valores de outras espécies – *Guadua superba e Dendrocalamus giganteus* – estudadas por Rosa (2005), Ghavami e Toledo Filho (1992) e Culzoni (1986).

4.2.3. Variações dimensionais

Foram ensaiados seis corpos de provas medindo 25 x 25 x e (mm). Foram analisadas as seguintes variações de dimensões: variação radial (VR), variação longitudinal (VL) e variação circunferencial (VC). Na Tabela 4.4 são mostradas as médias das variações dimensionais dos valores obtidos no ensaio.

Tabela 4.4 - Variações dimensionais da espécie *Guadua weberbaueri*.

Tempo (h)	**24**	**48**	**72**	**96**	**120**	**144**	**168**
VR (%)	10,67	15,09	15,09	16,20	16,69	16,69	16,69
VL (%)	0,44	0,44	0,44	0,52	0,52	0,52	0,52
VC (%)	7,32	10,48	10,48	10,48	10,48	10,48	10,48

Nota-se que as variações dimensionais são maiores no sentido radial, chegando ao valor de 10,67% nas primeiras 24 horas. O sentido circunferencial também acusa variações de absorção, porém menores que as radiais. No

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

sentido longitudinal a variação foi ínfima, atingindo o valor de 0,44% nas primeiras 24 horas. Observa-se na Figura 4.3 que, para o mesmo intervalo de tempo, Culzoni (1986) obteve os valores de 7,70%, 0,12% e 3,60% para o bambu *Guadua superba* e 3,90%, 0,12% e 3,00% para o bambu *Dendrocalamus giganteus* para os sentidos radial, longitudinal e circunferencial, respectivamente.

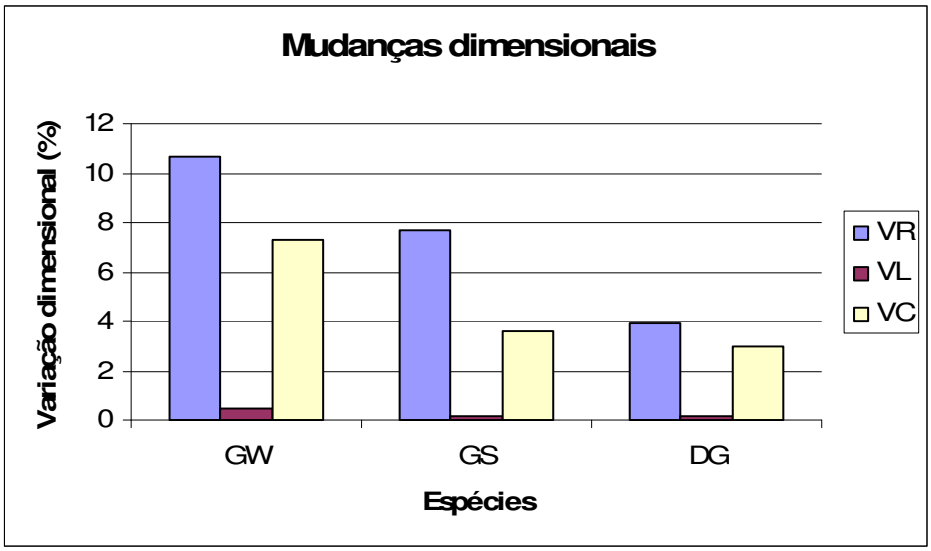


Figura 4.3 - Comparação das variações dimensionais da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

Onde,

GW - *Guadua weberbaueri* em estudo;

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

DG - *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986).

Para o bambu em estudo, obteve-se nos três sentidos, variação de dimensões maiores que as encontradas por Culzoni (1986) para as espécies *Guadua superba* e *Dendrocalamus giganteus.*

4.2.4. Teor de umidade natural

Para se determinar o teor de umidade natural foram utilizados seis corpos de provas com as dimensões de 25 x 25 x e (mm). O teor de umidade natural encontrada para a região basal do bambu *Guadua weberbaueri* foi de 14,06%.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Culzoni (1986) obteve o valor de 17,50% para a espécie *Guadua superba*. Ghavami (2005) obteve valores para o teor de umidade natural do bambu *Guadua angustifolia* variando entre 13,00% e 14,00%, e para a espécie *Dendrocalamus giganteus* encontrou variação entre 13,00% e 15,00%. Beraldo et al. (2003) afirmam que o teor de umidade do colmo de bambu recém cortados, é cerca de 80%, variando em função da idade do colmo e da época do ano em que foi efetuado o corte. Rosa (2005) encontrou para a espécie *Dendrocalamus giganteus* 14,36% em sua base. Ghavami e Tolêdo Filho (1992) obtiveram valores de teor de umidade na base, meio e topo de 19,50%, 18,90% e 13,90% respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada no Rio de Janeiro e 15,60%, 15,30% e 14,50% para a base, meio e topo, respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada na Paraíba (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Comparação do teor de umidade natural da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

	Espécies						
	GW	**GS**	**GA***	**DG* (1)**	**DG (2)**	**DG (3)**	**DG (4)**
H (%)	14,06	17,50	13,50	14,00	14,36	19,50	15,60

Onde:

GW - *Guadua weberbaueri* em estudo

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

GA - *Guadua angustifolia* (GHAVAMI, 2005);

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI, 2005);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* (ROSA, 2005);

DG (3) - *Dendrocalamus giganteus* RJ *(GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);*

DG (4) - *Dendrocalamus giganteus* PB *(GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);*

* - Média.

O bambu analisado apresentou teor de umidade natural semelhante ao das espécies *Guadua superba*, *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus* estudados por Ghavami (2005), Rosa (2005), Ghavami e Toledo Filho (1992) e Culzoni (1986).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

4.3. Propriedades meso-estruturais

Este bambu possui o colmo cilíndrico, como a grande maioria das espécies. Foi cortado um anel da região basal e feito o polimento de toda sua superfície transversal. Foram capturadas imagens em três regiões ao longo da circunferência da amostra, e extraída a média aritmética entre seus valores correspondentes. Deseja-se saber a fração volumétrica de fibras na amostra.

O pré-processamento foi iniciado com o seccionamento da imagem, dividindo-a em 1, 2, 3, 4, 8, 12 e 16 fatias, tratando cada uma delas separadamente. A Figura 4.4 apresenta o seccionamento da imagem do bambu *Guadua weberbaueri* em quatro fatias.

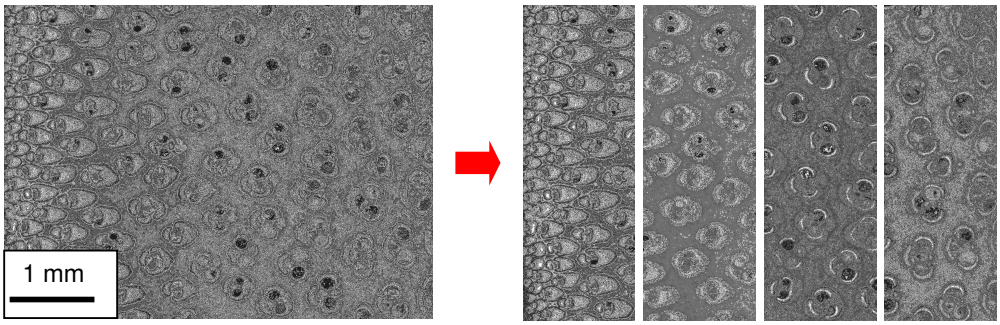


Figura 4.4 - Imagem do bambu *Guadua weberbaueri* seccionada em 4 fatias.

Em seguida foi feita a correção de iluminação da imagem através da subtração do fundo da imagem primitiva, corrigindo assim problemas de excesso de iluminação em diferentes regiões da imagem (Figura 4.5).

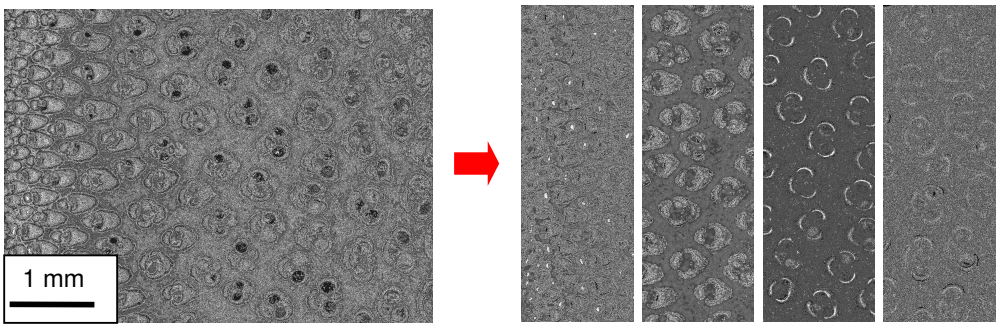


Figura 4.5 - Correção de iluminação.

A separação das fibras foi feita por segmentação automática (Figura 4.6).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

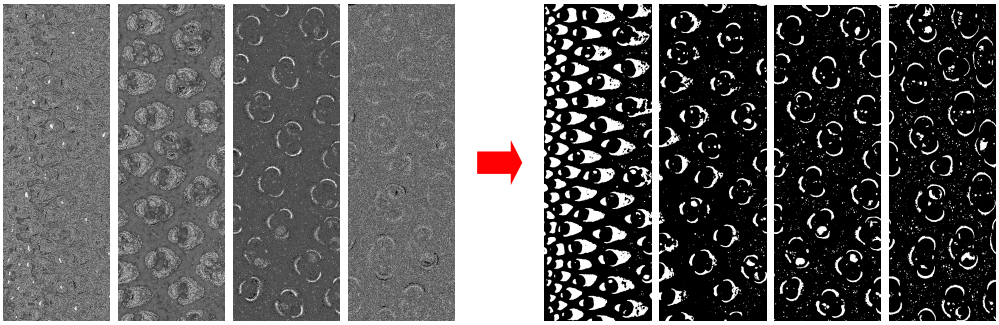


Figura 4.6 - Segmentação.

Na etapa do pós-processamento foi realizado o descarte de ruídos da imagem (Figura 4.7), desconsiderando assim pequenos elementos que foram considerados como fibras durante a segmentação automática (Figura 4.5),

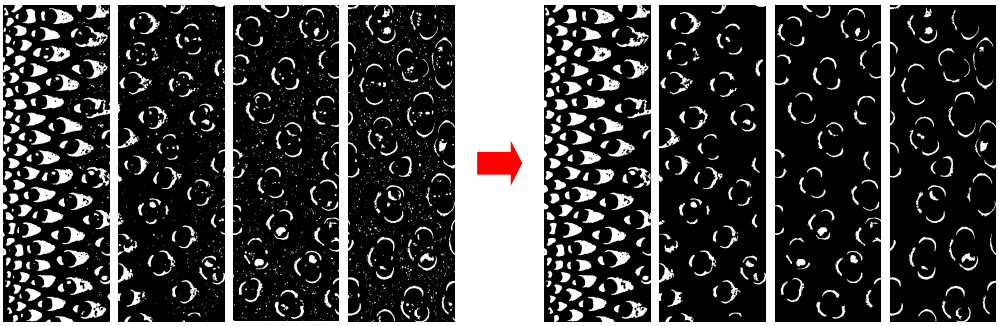


Figura 4.7 - Eliminação de ruídos.

e o preenchimento de pequenos vazios criados no interior das fibras (Figura 4.8).

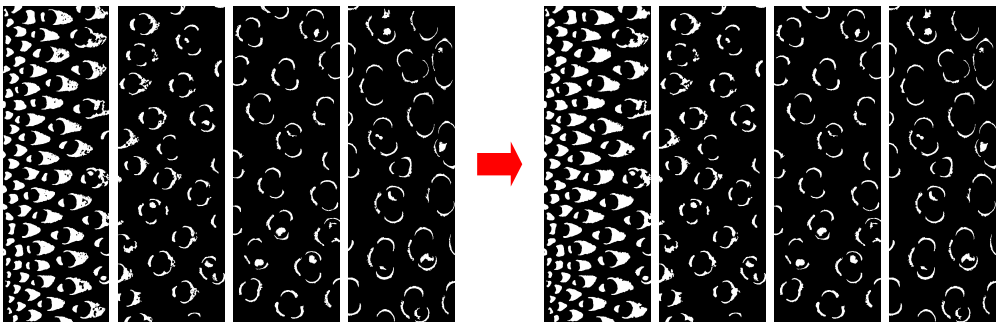


Figura 4.8 - Preenchimento dos espaços vazios.

Em seguida passamos para as extrações dos atributos, que consiste em obter as frações volumétricas das fibras. Primeiramente foram feitos os cálculos de fração volumétrica de fibras para diferentes seccionamentos em cada região digitalizada, ou seja, considerou-se a imagem dividida em 1, 2, 3, 4, 8, 12 e 16 seções, como é mostrado na Tabela 4.6.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Tabela 4.6 - Porcentagem do volume de fibras em cada seção.

Posição	Fração volumétrica (%)						
	1 seção	2 seções	3 seções	4 seções	8 seções	12 seções	16 seções
1 – mais externa	13,36	6,19	6,44	6,27	6,25	5,91	5,60
2		20,90	8,20	6,31	5,74	6,53	6,87
3			26,29	11,46	5,94	6,00	6,17
4				29,94	6,20	5,88	5,19
5					9,21	6,45	6,71
6					13,57	6,03	5,60
7					25,18	8,00	6,29
8					34,43	11,08	5,36
9						14,34	7,90
10						22,95	10,10
11						30,77	11,44
12						34,72	14,82
13							19,70
14							29,35
15							34,14
16 – mais interna							33,89

A primeira comparação a ser feita é acerca da diferença entre a fração volumétrica de fibras com a espessura para os diferentes seccionamentos adotados. Assim, as Figuras 4.9 a 4.11 mostram a comparação entre resultados para diferentes seccionamentos.

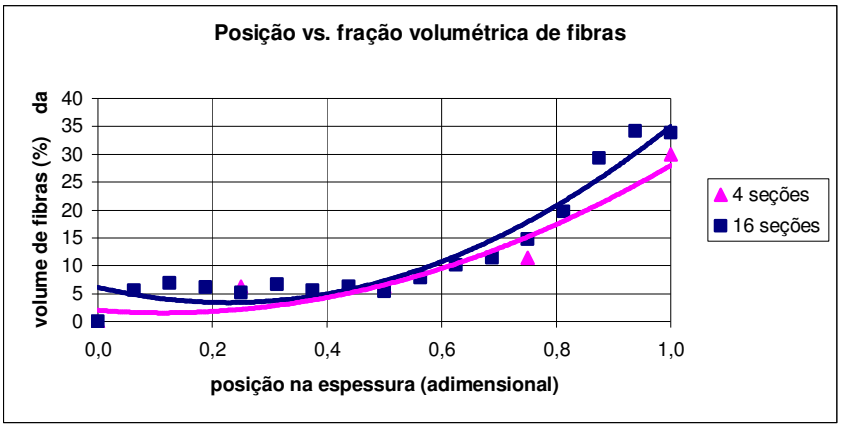


Figura 4.9 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 4 e 16 seções.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

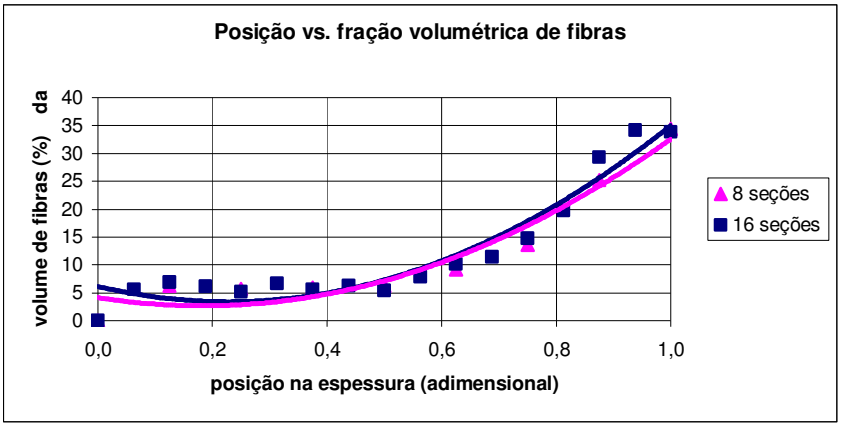


Figura 4.10 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 8 e 16 seções.

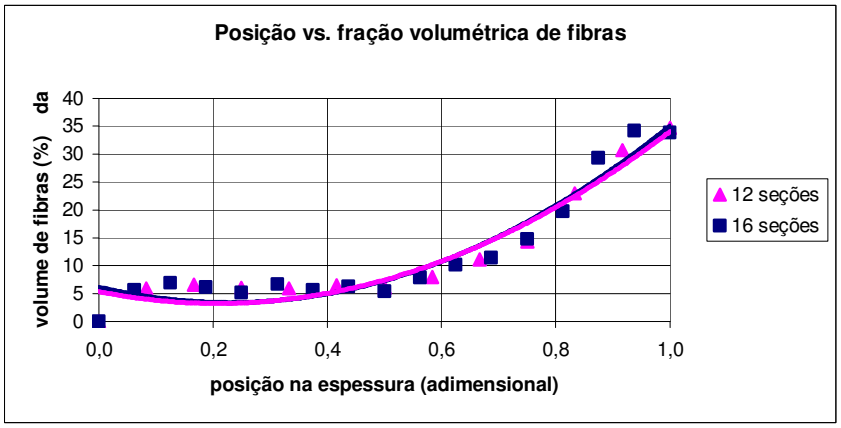
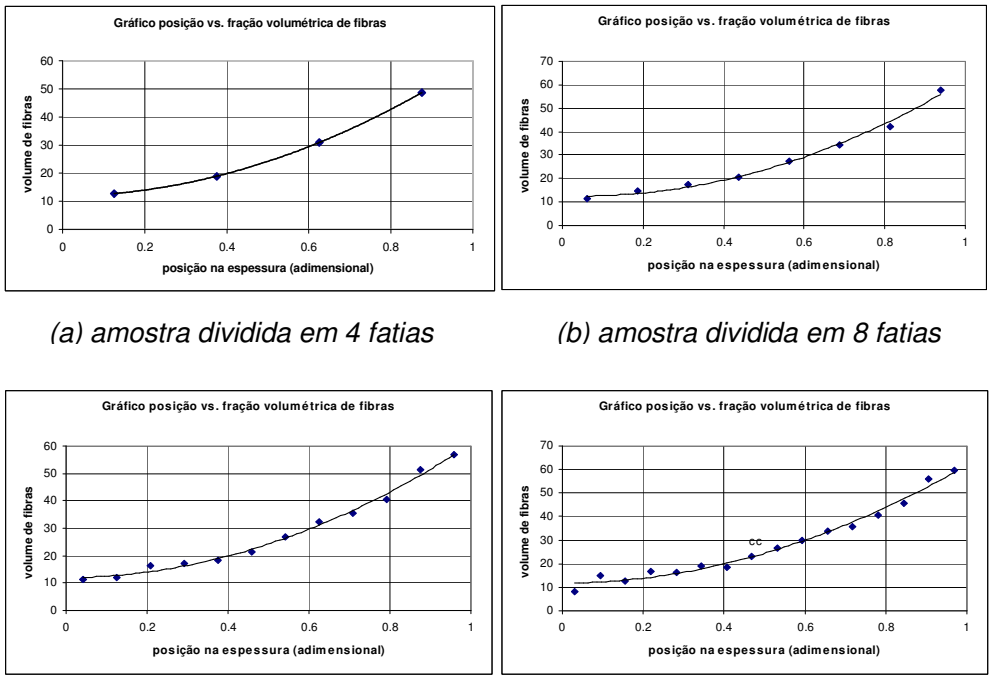


Figura 4.11 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 12 e 16 seções.

Nota-se através das Figuras 4.10 e 4.11 que os diferentes seccionamentos não resultam em diferenças expressivas na variação de fração volumétrica, visto que as curvas de ajuste para os pontos considerados são praticamente coincidentes. A maior diferença encontrada foi na comparação entre resultados para a amostra seccionada em 4 e 16 seções (Figura 4.9).

Em ensaios realizado para as espécies *Mosó* e *Dendrocalamus giganteus*, Ghavami et al. (2000) encontraram os resultado mostrados na Figura 4.12 e 4.13:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA



(a) amostra dividida em 4 fatias *(b) amostra dividida em 8 fatias*

(c) amostra dividida em 12 fatias *(d) amostra dividida em 16 fatias*

Figura 4.12 - Variação da fração volumétrica do bambu *Mosó*, seccionada em 4, 8, 12 e 16 fatias.

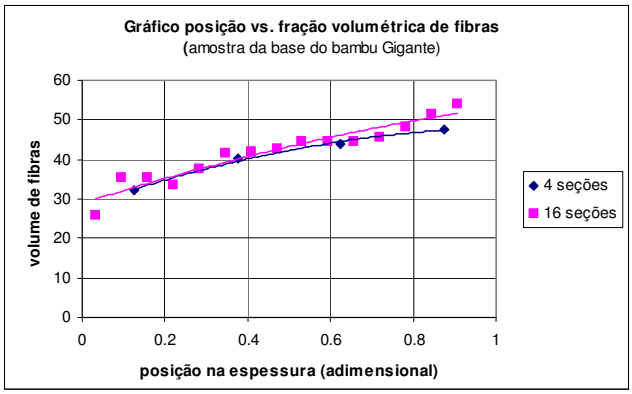


Figura 4.13 - Variação da fração volumétrica da amostra da base do bambu *Dendrocalamus giganteus* seccionada em 4 e 16 partes.

Ainda, a distribuição de fibras de bambu Mosó na espessura foi também investigada por Amada (1996) que obteve resultados como os mostrados na Figura 4.14.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

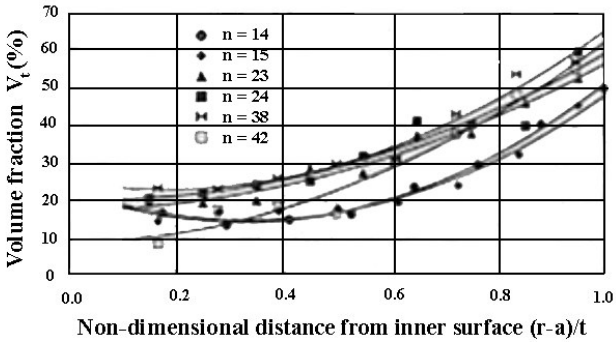


Figura 4.14 - Distribuição de fibras na espessura de bambu Mosó obtida por Amada (1996).

Nota-se que o bambu *Guadua weberbaueri* apresentou quantidade de fibras (entre 6 e 35 %) menor que as espécies estudadas por Ghavami et al. (2000) para os bambus *Dendrocalamus giganteus* (30 % a 52 %) *e Mosó* (11 % a 60 %).

Porém, pode-se considerar que a aplicação do processamento digital de imagens na solução dos problemas propostos foi feita de forma simples e forneceu resultados que podem ser considerados satisfatórios para a espécie de bambu envolvida.

4.4.Propriedades mecânicas

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos para resistências à tração axial, cisalhamento interlaminar e compressão axial. Os resultados brutos obtidos pela máquina universal EMIC do IME foram tratados com programas gráficos como Microsoft Excel e Origin 7.0, eliminando os valores de deformação negativa que surgiram com a acomodação do corpo de prova na máquina de ensaio.

4.4.1. Resistência à tração axial

Foram ensaiados vinte e oito corpos de prova da base do bambu com e sem nó. Os resultados de resistência à tração e módulo de elasticidade da parede do colmo do bambu *Guadua weberbaueri* estão apresentados na Tabela 4.7.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Tabela 4.7 - Resistência à tração e módulo de elasticidade da base da espécie *Guadua weberbaueri.*

Parte do bambu	Resistência à tração (MPa)			Módulo de elasticidade (GPa)		
	Fatia externa	Fatia interna	Média	Fatia externa	Fatia interna	Média
Base sem nó	311,69	199,99	255,84	9,13	5,67	7,40
Base com nó	87,39	57,09	72,24	7,76	5,62	6,69

Na Tabela 4.7 pode-se observar que o bambu atinge uma resistência à tração superior nas fatias externas, devido a maior concentração de fibras nessa região.

As médias de tensões máximas de tração encontradas para as fatias externas e internas sem nó foram de 311,69 MPa e 199,99 MPa, respectivamente. As fatias sem nó obtiveram tensões superiores àquelas com nó, devido a perturbação de tensões causada pela descontinuidade das fibras na região nodal. As médias da resistência à tração para os corpos de prova com nó foram de 87,39 MPa e 57,09 MPa para a região externa e interna, respectivamente. Como já ocorrido em outros ensaios, os corpos de prova sempre rompem no nó ou bem próximo a ele.

Culzoni (1986) analisou as propriedades mecânicas da espécie *Guadua superba* e obteve valores de resistência à tração de 112,30 MPa nos corpos de prova com nó. Nos corpos de prova sem nó obteve uma resistência à tração de 137,80 MPa.

Ghavami e Tolêdo Filho (1992) obtiveram valores de resistência à tração na base, meio e topo para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, em corpos de prova com nó, de 106,80 MPa, 143,60 MPa e 114,00 MPa, respectivamente, e para corpos de prova sem nó, 147,00 MPa, 188,10 MPa e 157,60 MPa, respectivamente.

Ghavami (1995) estudou a resistência à tração do bambu *Dendrocalamus giganteus*, com e sem nó, e encontrou 119,02 MPa e 135,00 MPa, respectivamente. Já a resistência à compressão foi, em geral, 30% menor que a resistência à tração. Lima Jr et al. (2000) obtiveram valores de resistência à tração para o mesmo bambu na ordem de 97,51 MPa para os corpos de prova com nó, e 277,19 MPa para os corpos de prova sem nó, respectivamente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Ghavami e Marinho (2001) constataram que a resistência à tração encontrada na espécie *Dendrocalamus giganteus* foi da ordem de 159,35 MPa e 147,16 MPa para a base sem nó e com nó, respectivamente.

Ghavami e Marinho (2005) analisaram os valores de resistência à tração com e sem nó, para a região basal da espécie *Guadua angustifolia*, e encontraram valores de 69,88 e 93,80 MPa, respectivamente.

No bambu em estudo, o módulo de elasticidade para as fibras externas e internas sem nó foram respectivamente de 9,13 GPa e 5,67 GPa. Para as fibras externas e internas com nó obteve-se 7,76 GPa e 5,62 GPa, respectivamente,

Pode-se observar que o bambu em estudo apresentou módulo de elasticidade maior nas fatias externas. Observa-se também que o nó gera uma queda no valor desse módulo, diminuindo assim a rigidez do material.

Ghavami e Tolêdo Filho (1992) obtiveram módulo de elasticidade para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, em corpos de prova com nó, de 12,98 GPa, 16,73 GPa e 13,44 GPa, na base, meio e topo respectivamente, e para corpos de prova sem nó obtiveram 19,11 GPa, 15,70 GPa e 10,71 GPa, respectivamente.

Ghavami (1995) obteve para o bambu *Dendrocalamus giganteus*, com e sem nó, módulo de elasticidade de 11,75 GPa e 14,50 GPa, respectivamente. Para a mesma espécie, Lima Jr et al. (2000) obtiveram módulo de elasticidade de 13,14 GPa e 23,75 GPa para corpos de prova com e sem nó, respectivamente.

Ghavami e Marinho (2005) obtiveram valores de 15,70 GPa e 16,25 GPa com e sem nó, respectivamente para a espécie *Guadua angustifolia*. Culzoni (1986) analisou a espécie *Guadua superba* e obteve módulo de elasticidade de 8,33 GPa no corpo de prova com nó e 10,48 GPa no corpo de prova sem nó.

Pelo fato do método utilizado ser diferente, onde foi proposto o fatiamento do corpo de prova em duas seções, fatia externa (maior quantidade de fibras) e fatia interna (menor quantidade de fibras), método este não encontrado em literaturas pesquisadas, ficando assim sem parâmetros de comparações para os ensaios de tração e cisalhamento, tirou-se a média dos resultados entre fatias externa e interna para a realização de comparações com outras espécies (Figura 4.15 e 4.16).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

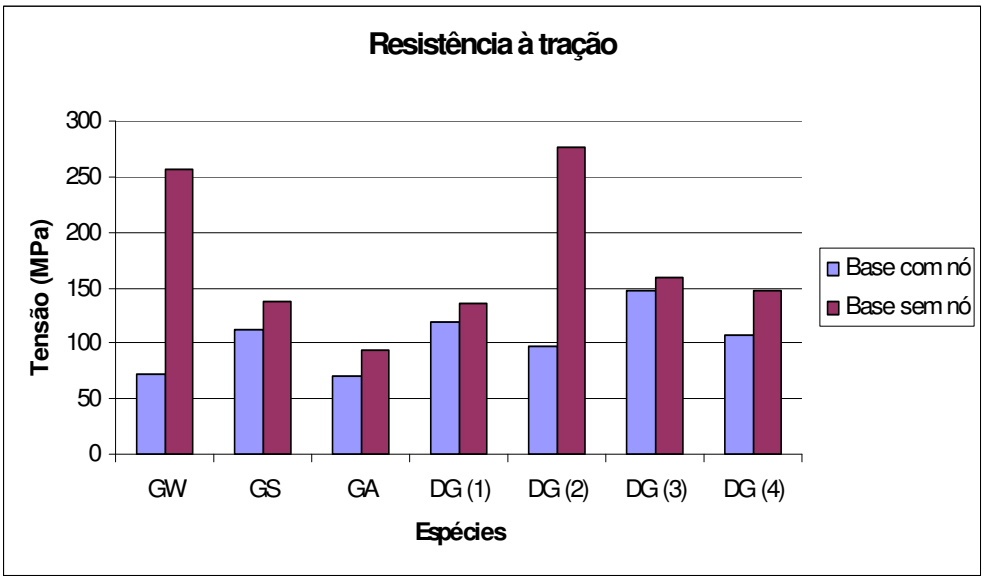


Figura 4.15 - Comparação da resistência à tração da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Onde,

GW - *Guadua weberbaueri;*

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

GA - *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI, 1995);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* (LIMA JR et al, 2000);

DG (3) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

DG (4) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

Nota-se que o bambu *Guadua weberbaueri* apresentou resistência à tração, para corpos de provas sem nó, muito maior que as outras espécies pesquisadas, sendo inferior apenas à espécie *Dendrocalamus giganteus*, estudada por Lima Jr et al. (2000). Para os corpos de provas com nó, obteve-se o segundo menor resultado entre as espécies pesquisadas. Superando apenas a espécie *Guadua angustifolia*, estudada por Ghavami e Marinho (2005). As diferenças entre valores de resistência à tração para uma mesma espécie obtidos por Ghavami (1995), Ghavami e Toledo Filho (1992), Ghavami e Marinho (2001), deve-se a diferentes fatores, como: idade do colmo e localização do bambuzal (diferentes Estados).

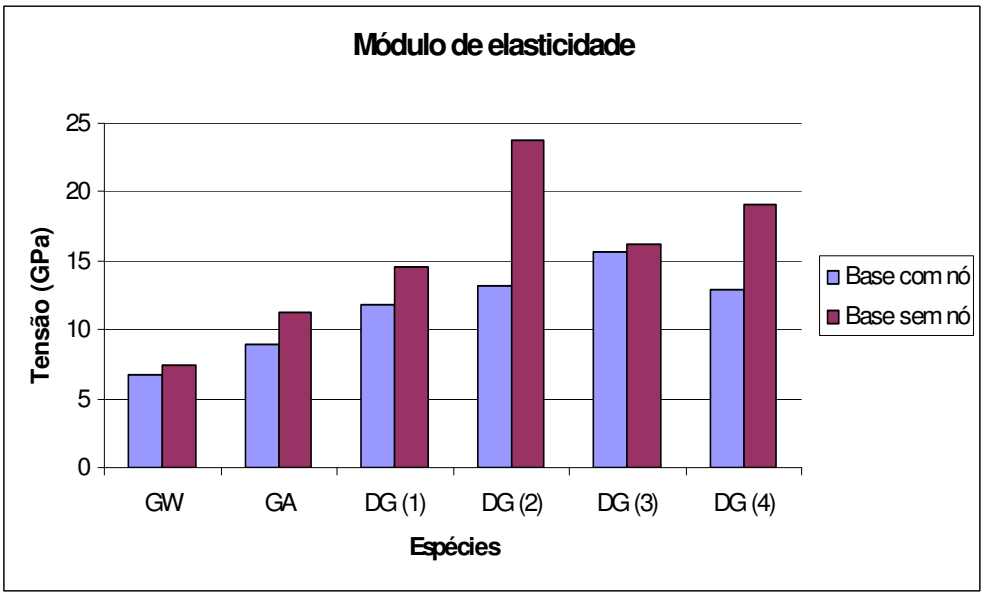


Figura 4.16 - Comparação do módulo de elasticidade da espécie *Guadua weberbaueri* com outras espécies.

O módulo de elasticidade do bambu estudado foi o mais baixo entre todas as espécies pesquisadas, tanto para os corpos de provas com nó quanto para os sem nó.

As curvas tensão de tração–deformação correspondente a cada corpo de prova analisado estão presente no Anexo II.

4.4.2. Resistência ao cisalhamento longitudinal

As médias dos resultados da resistência ao cisalhamento interlaminar para os corpos de prova localizados na base do bambu *Guadua weberbaueri*, são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Resistência ao cisalhamento da base do bambu *Guadua weberbaueri.*

Parte do bambu	Resistência ao cisalhamento (MPa)		
	Fatia externa	Fatia interna	Média
Base sem nó	4,71	4,34	4,53
Base com nó	4,31	2,81	3,56

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Observa-se que o bambu atinge uma tensão máxima de cisalhamento superior nas regiões externas devido a maior concentração de fibras nessa região. As médias de tensões encontradas para as fatias externas e internas sem nó foram de 4,71 MPa e 4,34 MPa, respectivamente. Assim como no ensaio de resistência à tração, as fatias sem nó obtiveram médias de tensões máximas superiores àquelas com nó, devido à perturbação de tensões causada pela descontinuidade das fibras na região nodal. As médias da resistência ao cisalhamento para os corpos de provas com nó foram de 4,31 MPa e 2,81 MPa para a região externa e interna, respectivamente.

Culzoni (1986) analisou as propriedades mecânicas da espécie *Guadua superba* e obteve valores de resistência ao cisalhamento de 46,00 MPa, utilizando metodologia diferente dos demais ensaio.

Ghavami e Marinho (2001) estudaram a espécie *Dendrocalamus giganteus* e obtiveram valores médios de 3,56 MPa e 3,37 MPa para corpos de prova com e sem nó, respectivamente. Moreira (1991) obteve uma tensão de cisalhamento média de 7,00 MPa para o bambu *Dendrocalamus giganteus*.

Ghavami e Souza (2000) obtiveram valores médio para resistência ao cisalhamento interlaminar da espécie *Dendrocalamus giganteus* de 3,08 MPa e 3,11 MPa, respectivamente para corpos de prova com nó e sem nó.

Ghavami e Marinho (2002) realizaram ensaios de cisalhamento paralelo às fibras do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Os valores foram diminuindo do topo para a base. No topo, a resistência ao cisalhamento foi de 4,20 MPa para o corpos de prova sem nó e 3,60 MPa para o corpos-de-prova com nó. Na região intermediária os valores foram 4,20 MPa e 3,24 MPa para corpos de prova sem e com nó respectivamente. Na base, estes valores foram 3,24 MPa para corpos de prova sem nó e 2,34 MPa para corpos-de-prova com nó. Observa-se que nos corpos de prova sem nó a resistência é maior e se mantém quase uniforme nas três partes, já nas partes com nó a resistência é menor e os valores variam muito.

Na Figura 4.17 pode-se ver a comparação da resistência ao cisalhamento do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

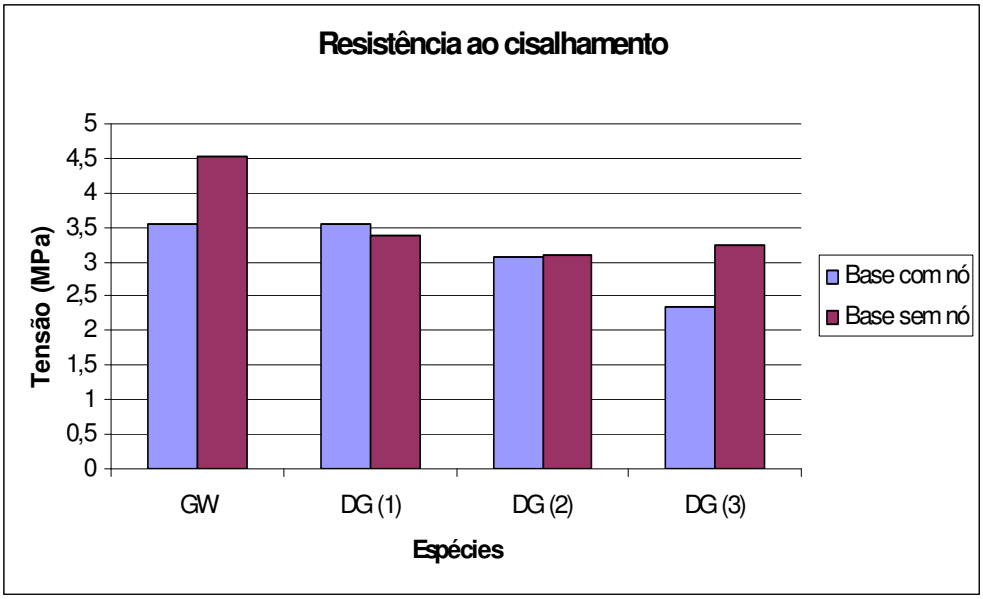


Figura 4.17 - Comparação da resistência ao cisalhamento da base do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

Onde:

GW - *Guadua weberbaueri;*

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e SOUZA, 2000);

DG (3) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2002);

Observa-se que o bambu *Guadua weberbaueri* atinge uma tensão de cisalhamento maior que a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada por Ghavami e Marinho ((2002) e (2001)) e por Ghavami e Souza (2000).

As curvas tensão de cisalhamento correspondente a cada corpo de prova analisado estão presente no Anexo II.

4.4.3. Resistência à compressão axial

Os resultados obtidos para a resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson da parte basal estão apresentados na Tabela 4.9.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

Tabela 4.9 - Resistência à compressão, módulo de elasticidade longitudinal, módulo de elasticidade transversal e coeficiente de Poisson da base do bambu *Guadua weberbaueri.*

Região do colmo	**Resistência à compressão (Mpa)**	**Módulo de elasticidade longitudinal (Gpa)**	**Coeficiente de Poisson (μ)**
Base sem nó	54,50	18,85	0,31
Base com nó	37,33	21,33	0,39

Observa-se que a resistência à compressão é aproximadamente 4 vezes menor que a tração para os corpos de prova sem nó e 2 vezes menor para os corpos de prova com nó. A resistência à compressão foi de 54,50 MPa e 37,33 MPa para os corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente. O módulo de elasticidade longitudinal às fibras foi de 18,85 GPa e 21,33 GPa para os corpos de prova sem e com nó, respectivamente. O coeficiente de Poisson obtido no ensaio de resistência à compressão foi de 0,31 e 0,39 para os corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente.

As Figuras 4.18 e 4.19 apresentam as curvas de tensão de compressão axial – deformação nos sentidos longitudinal e transversal às fibras do bambu, com e sem nó, da região basal. Observa-se que até próximo à ruptura, a curva apresenta um comportamento quase linear e semelhante ao bambu *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia* estudados por Ghavami e Marinho ((2001) e (2002)). As deformações longitudinais e transversais para os bambus sem nó foram em média 2500 μstrain, e as deformações longitudinais e transversais às fibras para os bambus com nó foram em média 2000 μstrain e 700 μstrain respectivamente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

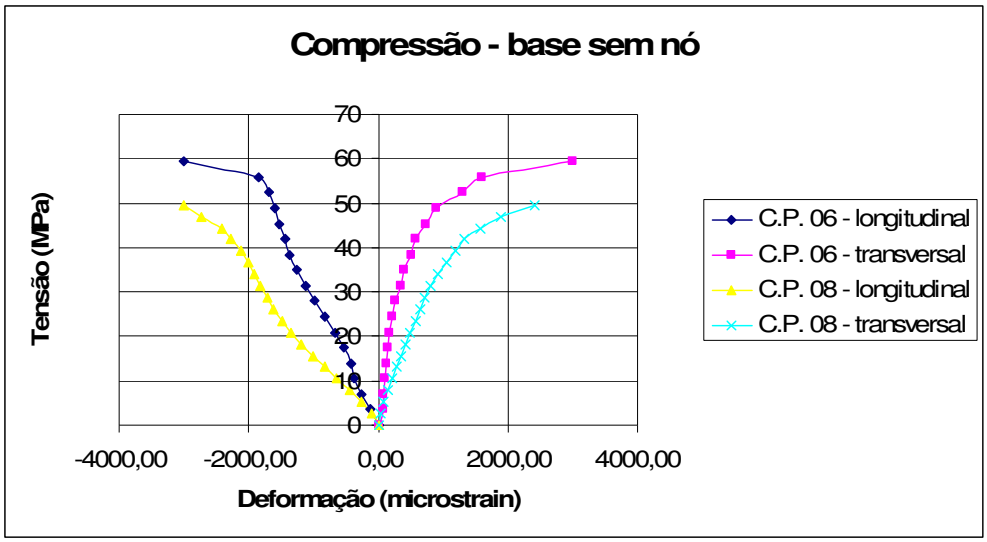


Figura 4.18 - Curvas tensão – deformação obtidas no ensaio de resistência à compressão – amostras sem nó.

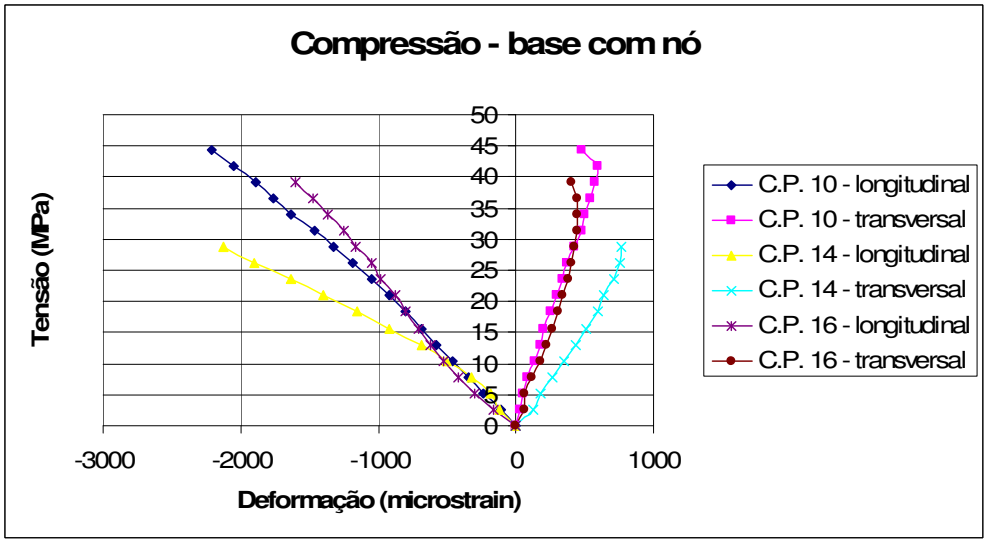


Figura 4.19 - Curvas tensão – deformação obtidas no ensaio de resistência à compressão – amostras com nó.

Ghavami e Marinho (2005) determinaram a resistência à compressão do bambu *Guadua angustifolia* e obtiveram valores de 25,27 MPa e 28,36 MPa e módulo de elasticidade de 9,00 GPa e 14,65 GPa, em corpos de prova com e sem nó, respectivamente.

Culzoni (1986) determinou a resistência à compressão do bambu *Guadua superba* em corpos de prova com altura igual a duas vezes o diâmetro (H=2*D) e obteve valores de 35,70 MPa e módulo de elasticidade de 2,60 GPa em corpos

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

de prova com nó, e resistência a compressão de 47,80 MPa e módulo de elasticidade de 3,33 GPa, em corpos de prova sem nó.

Ghavami e Boza (1998) encontraram um valor médio de 39,00 MPa para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. Ghavami (1990) obteve valores entre 38,96 MPa e 45,54 MPa para amostras da mesma espécie, com e sem nó respectivamente.

Ghavami e Marinho (2001) determinaram a resistência à compressão do bambu *Dendrocalamus giganteus* e obtiveram valores de 71,43 MPa e 72,62 MPa e módulo de elasticidade de 20,50 GPa e 26,60 GPa, em corpos de prova com e sem nó, respectivamente.

Vê-se na figura 4.20 e 4.21 a comparação da resistência à compressão e módulo de elasticidade, respectivamente, do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA

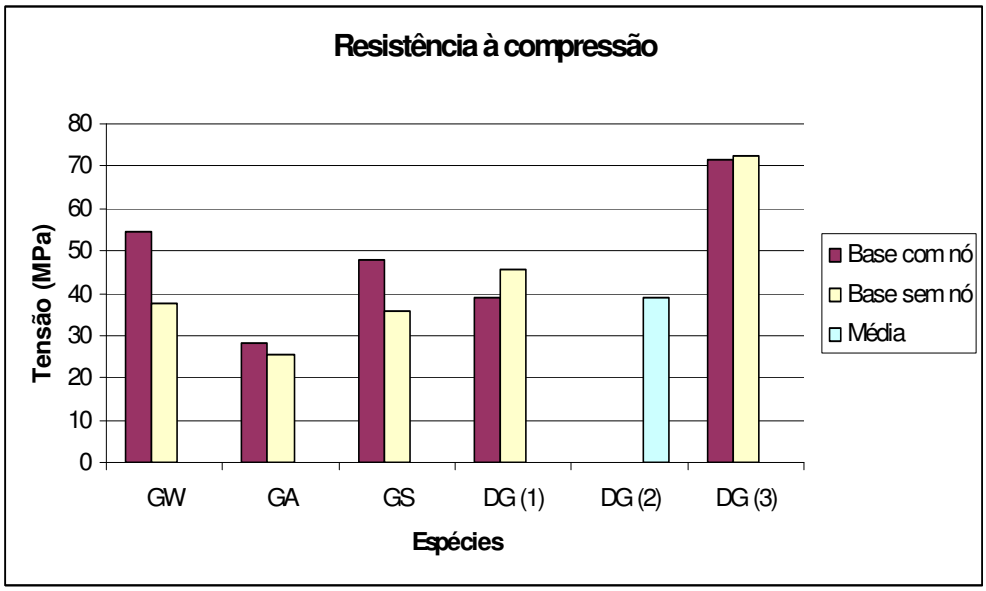


Figura 4.20 - Comparação da resistência à compressão da base do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

Onde:

GW - *Guadua weberbaueri* em estudo;

GA - *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

GS - *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

DG (1) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI, 1990);

DG (2) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI E BOZA, 1998);

DG (3) - *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001).

Os ensaios realizados em corpos de provas sem nó apresentaram o segundo melhor resultado entre as espécies pesquisadas, sendo inferior apenas ao bambu *Dendrocalamus giganteus* estudada por Ghavami e Marinho (2001). Os ensaios realizados em corpos de prova com nó apresentaram a maior resistência à compressão entre as espécies *Guadua* pesquisadas (*angustifolia e superba*), estudadas por Ghavami e Marinho (2005) e Culzoni (1986), respectivamente.

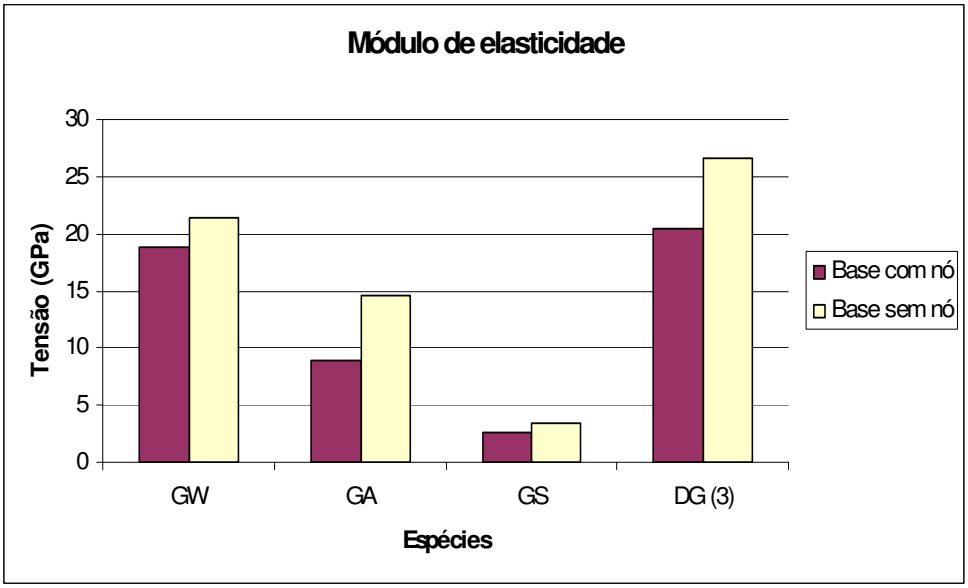


Figura 4.21 - Comparação do módulo de elasticidade longitudinal da base do bambu *Guadua weberbaueri* com outras espécies estudadas na PUC-Rio.

O bambu em estudo apresentou módulo de elasticidade longitudinal à compressão muito maior que as espécies *Guadua* pesquisadas (*angustifolia e superba*), estudadas por Ghavami e Marinho (2005) e Culzoni (1986), respectivamente. E, se comparado com a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada por Ghavami e Marinho (2001), pode-se dizer que apresentou resultados bastante próximos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410776/CA