

JOSÉ ROBERTO DE LIMA MURAD

**ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E
APLICAÇÕES ESTRUTURAIS DO BAMBU *GUADUA SPP* DE ASSIS BRASIL –
AC**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia da Construção.

Orientador: Prof. Orlando Celso Longo, D.Sc.

Niterói
2011

JOSÉ ROBERTO DE LIMA MURAD

**ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E
APLICAÇÕES ESTRUTURAIS DO BAMBU *GUADUA SPP* DE ASSIS BRASIL –
AC**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia da Construção.

Aprovada em 20/10/2011

Banca Examinadora

Prof. Orlando Celso Longo, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Emil de Souza Sánchez Filho, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Júlio Jerônimo Holtz Silva Filho, D.Sc.
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

Prof. Eduardo Rizzatti, D.Sc.
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Prof. Silvio Simione da Silva, D.Sc.
Universidade Federal do Acre – UFAC

Niterói
2011

DEDICATÓRIA

À Priscilla Augusta, esposa e amiga, que nesses seis anos de convivência procurou elevar o sentido de nossas vidas unindo o amor à amizade e à cumplicidade, e permitindo, por meio de seu espírito crítico, de sua visão científica e de sua ética, que juntos crescêssemos em nossas vidas, pessoal e profissional. Que a franqueza da nossa amizade e do nosso amor seja um exemplo para nossos filhos.

Ao Gustavo, meu maior tesouro, a quem dedico não apenas esse trabalho, mas a minha vida.

Aos meus pais, Labib e Maria Helena, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, acreditando e apoiando meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por existir e me proteger.

Ao Gustavo, meu filho, que nos momentos mais difíceis, seu sorriso de bebê de poucos meses, me encorajava a erguer a cabeça e encarar novamente esta empreitada.

A minha esposa, Priscilla Augusta, por ter compartilhado comigo também os momentos difíceis, e por sua inigualável ajuda, compreensão e amor.

A meus pais, Labib e Maria Helena, que tanto deram de si para minha formação e pelas incomparáveis lições de vida.

Ao amigo, professor e orientador, Orlando Longo, por toda atenção, disposição dispensada e bibliografia cedida para a realização deste trabalho.

Ao professor Emil Sánchez, pela contribuição na qualidade desta pesquisa.

A Clarice, pela atenção e ajuda.

Aos amigos que me apoiaram até nos momentos mais difíceis, em especial aos de maior convivência: Esperidião F. P. de Lima, Verônica Castro, Lauro Julião, Rita Mansour, André Nasserala, Waldemar Maciel Jr e Cleyton.

A FUNTAC, por ter autorizado o uso do Laboratório de Madeiras.

Aos amigos, Dixon, Suelem, Elias, Bezerra, Daniel, João Paulo e Jucélia, pelo imensurável apoio.

A Secretaria da Floresta, pela confecção de alguns corpos-de-prova no pólo moveleiro.

Ao SENAI / CETEMM, pela confecção de alguns corpos-de-prova na marcenaria e pelo uso do Laboratório de Materiais Conjugados para a realização dos ensaios destrutivos.

RESUMO

O bambu apresenta baixo consumo de energia e baixo custo de produção, além de ser um material renovável e ecológico. É um material potencialmente promissor que vem mostrando grandes qualidades para a construção civil. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários programas de investigação para o emprego do bambu e outras fibras vegetais na construção de edificações de baixo custo, substituindo produtos de asbesto, aço, cimento e outros materiais poluentes e não renováveis. Estudos mostraram que a relação resistência à tração e peso específico do bambu é quase três vezes maior que a do aço. Esta tese tem como objetivo a caracterização física e mecânica do bambu da espécie *Guadua spp* para possível aplicação na engenharia civil como material não convencional. A confecção dos corpos-de-prova para realização dos ensaios físicos foi feita de acordo com a norma ISO 22157. Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos mostraram valores compatíveis a outras espécies pesquisadas. Foi realizada a análise estrutural de uma escola rural, totalmente estruturada com bambus. Concluiu-se que o material quando sujeito a carga de tração, cisalhamento ou compressão apresentou comportamento semelhante ao de outras espécies já estudadas. Podendo este ser utilizado como material alternativo na engenharia civil.

Palavras-chave: Bambu; *Guadua spp*; análise estrutural de treliças; propriedades físicas; propriedades mecânicas; materiais não convencionais.

ABSTRACT

The bamboo presents low consumption of energy and low cost of production, beyond being a renewable and ecological material. It is a potentially promising material that comes showing great qualities for the civil construction. In recent years has developed several research programs for the use of bamboo and vegetable fibers in the construction of low cost, substituting asbestos products, steel, cement and pollutant materials and didn't renew. Studies had shown that the relation stress strenght and specific weight of the bamboo is almost three times greater than the steel. This thesis presents the results of an experimental investigation to establish the physical and mechanics of the bamboo of the species *Guadua spp* for possible application in the civil engineering as a non-conventional material. The preparation of specimens for testing of physical accomplishment has been made in accordance with ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo. The results of the physical and mechanical testing showed compatible values to other researched species. The structural analysis of a rural school was accomplished, totally structured with bamboos. It was concluded that the material when subject to traction loads, shear or compression presented similar behavior to the of other studied species already. Being able this being used as non-conventional material in civil engineering.

Key Words: Bamboo; *Guadua spp*; structural analysis of trusses; physical properties; mechanical properties; treatment; non-conventional materials.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1. OBJETIVOS.....	26
1.1.1. Objetivo geral	26
1.1.2. Objetivos específicos:	26
1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	26
1.2.1. Hipóteses	27
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1. INTRODUÇÃO.....	28
2.2. GUADUA SPP	28
2.3. O USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL	28
2.4. AS FLORESTAS ABERTAS COM BAMBU NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.....	33
2.5. GENERALIDADES SOBRE A BOTÂNICA DO BAMBU	35
2.5.1. Taxonomia	35
2.5.2. Morfologia	36
2.5.2.1. Rizomas	36
2.5.2.2. Colmos	38
2.5.2.3. Folhas, galhos e flores	40
2.6. MANEJO E PROCESSO DE PREPARO PARA USO	40
2.6.1. Corte	40
2.6.1.1. Período de corte	40
2.6.1.2. Idade do corte	41
2.6.2. Cura	43
2.6.3. Secagem do bambu	44
2.6.4. Tratamentos de preservação ao ataque de microorganismos	46
2.6.4.1. Métodos de aplicação de preservativos	47
2.7. MESO-ESTRUTURA DO BAMBU	48
2.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	50
2.9. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	51
2.10. BAMBU LAMINADO COLADO / CONTRAPLACADO	53
2.10.1. Estruturas Reticuladas Espaciais de Bambu	54
2.10.2. Ponteiras e nós	55
3 METODOLOGIA E MATERIAIS	58
3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	59
3.1.1. Absorção de água	59
3.1.2. Peso específico	60
3.1.3. Estabilidade dimensional – inchamento e retração	60
3.1.4. Teor de umidade natural	61
3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS	61
3.2.1. Determinação da resistência à tração	61
3.2.2. Resistência ao cisalhamento interlaminar	64
3.2.3. Resistência à compressão axial	65
4 ANÁLISES E RESULTADOS	67

4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	67
4.1.1. Absorção de água	67
4.1.2. Peso específico	70
4.1.3. Estabilidade dimensional – inchamento e retração	72
4.1.3.1. Inchamento	72
4.1.3.2. Retração	77
4.1.4. Teor de umidade natural	81
4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS	85
4.2.1. Resistência à tração axial	85
4.2.2. Resistência ao cisalhamento interlaminar	91
4.2.3. Resistência à compressão axial	93
5 . ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA TRELIÇADA DE BAMBU	97
5.1. ANÁLISE TEÓRICA DAS ESTRUTURAS TRELIÇADAS DE BAMBU	97
5.1.1. Estudo do carregamento	100
5.1.1.1. Condições de carregamento	102
5.1.2. Propriedades mecânicas dos bambus utilizados nos projetos	103
5.1.3. Solicitações e reações de apoio	110
5.1.4. Análises e resultados	113
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
6.1. CONCLUSÕES.....	116
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	118
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS	123

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Razão energia de produção por unidade de tensão. GHAVAMI (1992).....	30
Tabela 2.2: Razão resistência à tração x peso específico. MURAD (2007) adaptado de GHAVAMI (1992).....	31
Tabela 2.3: Resistência mecânica da espécie <i>Phyllostachys bambusoide</i> (LEE <i>et al.</i> , 1994).	53
Tabela 4.1: Absorção de água do bambu <i>Guadua spp.</i>	67
Tabela 4.2: Comparação da absorção de água do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	68
Tabela 4.3: Comparação do peso específico da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	70
Tabela 4.4: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie <i>Guadua spp.</i>	73
Tabela 4.5: Comparação das variações dimensionais por inchamento do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.....	75
Tabela 4.6: Valores médios de variações dimensionais por retração da espécie <i>Guadua spp.</i>	77
Tabela 4.7: Comparação das variações dimensionais por retração do bambu <i>Guadua spp.</i>	80
Tabela 4.8: Resumo dos valores médios de variações dimensionais por retração e inchamento do bambu <i>Guadua spp.</i>	81
Tabela 4.9: Valores médios do teor de umidade natural do bambu <i>Guadua spp.</i>	82
Tabela 4.10: Comparação do teor de umidade natural do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	83
Tabela 4.11: Resistência à tração e módulo de elasticidade do bambu <i>Guadua spp.</i>	86
Tabela 4.12: Resistência ao cisalhamento do bambu <i>Guadua spp.</i>	91
Tabela 4.13: Comparação da resistência ao cisalhamento do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.....	92
Tabela 4.14: Resistência à compressão do bambu <i>Guadua spp.</i>	94

Tabela 4.15: Comparação da resistência à compressão do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	95
Tabela 5.1– Coeficientes de pressão e forma externos.	102
Tabela 5.2: Tensões máximas de dimensionamento e ruptura.	104
Tabela 5.3: Razão entre tensões de ruptura à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com o <i>Guadua spp</i>	105
Tabela 5.4: Razões entre tensões de ruptura.	106
Tabela 5.5: Razões entre as tensões.....	108
Tabela 5.6: Carregamentos nodais na estrutura.	112
Tabela 5.7: Solicitações e deslocamentos máximos nos nós.....	112
Tabela 5.8: Resumo dos nós que ultrapassaram o limite de 10 kN.....	113
Tabela 5.9: Solicitações máximas nas barras da treliça.....	113
Tabela 5.10: Reações de apoio nos pilares.	113
Tabela 5.11: Dados para projeto.....	114
Tabela 5.12: Comparação das forças e deslocamentos máximos nos nós entre três espécies de bambu	114
Tabela 5.13: Comparação dos esforços solicitantes máximos nos elementos da treliça para diferentes espécies de bambu.	115
Tabela 5.14: Comparação das reações de apoio nos pilares para as diferentes espécies.	115
Tabela A.I. 1 – Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – base.....	126
Tabela A.I. 2: Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – meio.....	127
Tabela A.I. 3: Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – topo.....	128
Tabela A.I. 4: Comparação da absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	129
Tabela A.I. 5: Comparação do inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies estudadas – t = 24 h.	133
Tabela A.I. 6 : Comparação do inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies estudadas – t = 96 h.	133
Tabela A.I. 7: Peso específico da espécie <i>Guadua spp</i> – base.....	134
Tabela A.I. 8: Peso específico da espécie <i>Guadua spp</i> – meio.....	135
Tabela A.I. 9 : Peso específico da espécie <i>Guadua spp</i> – topo.	136
Tabela A.I. 10: Comparação do peso específico do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	136
Tabela A.I. 11: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – base.....	137
Tabela A.I. 12: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – meio.....	138
Tabela A.I. 13: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – topo.	138
Tabela A.I. 14: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu <i>Guadua spp</i> – base..	139

Tabela A.I. 15: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu <i>Guadua spp</i> – meio..	139
Tabela A.I. 16: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu <i>Guadua spp</i> – topo. .	139
Tabela A.I. 17: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu <i>Guadua spp</i> – base.....	140
Tabela A.I. 18: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu <i>Guadua spp</i> – meio.....	140
Tabela A.I. 19: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu <i>Guadua spp</i> – topo.....	140
Tabela A.I. 20: Estabilidade dimensional – comparação da retração e inchamento do bambu <i>Guadua spp</i>	141
Tabela A.I. 21: Comparação da resistência à tração do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	141
Tabela A.I. 22: Comparação do módulo de elasticidade do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	141

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Armadura longitudinal de pilar em bambu. FERREIRA (2005).....	29
Figura 2.2: Formas permanentes de lajes armadas com bambu. ACHÁ (2002).....	29
Figura 2.3: Tratamento e concretagem de lajes armadas com bambu. ACHÁ (2002).....	30
Figura 2.4: Stand do SEBRAE/AC – Feira do Empreendedor – Exposição Agropecuária do Estado do Acre – EXPOACRE – 2005. MURAD (2007).....	32
Figura 2.5: Interior do Memorial Indígena em Campo Grande - MS. GHAVAMI (arquivo pessoal).....	32
Figura 2.6: Ponte de bambu em Stuttgart, Alemanha. GHAVAMI (arquivo pessoal).	33
Figura 2.7: Vistas frontal e interna da Catedral construída em bambu na Colômbia. GHAVAMI (arquivo pessoal).....	33
Figura 2.8: Distribuição da floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia. Mapa produzido a partir da interpretação visual de imagens Landsat TM falsa-côr (bandas 3, 4 e 5), por B.W. Nelson com imagens do INPE (Brasil) e por R. Kalliola, utilizando imagens do INRENA (Peru). OLIVEIRA (2000).....	34
Figura 2.9: Rizoma Leptomorfo. BERALDO <i>et al.</i> (2003).....	37
Figura 2.10: Rizoma Paquimorfo: morfologia do rizoma do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> : ...	38
Figura 2.11: Rizoma tipo intermediário. BERALDO <i>et al.</i> (2003).....	38
Figura 2.12: Seção longitudinal do colmo.	39
Figura 2.13: Bambu <i>Guadua spp</i> com idade estimada de 8 meses, ainda com brácteas....	42
Figura 2.14: Bambu <i>Guadua spp</i> maduro, idade estimada 3 anos.....	43
Figura 2.15: Cura na touceira – Bambu <i>Guadua spp</i>	44
Figura 2.16: Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> do Acre. MURAD (2007).	48
Figura 2.17: Detalhes da microestrutura do bambu – conjunto vascular. LIESE (1998).....	49
Figura 2.18: Trelíça de <i>Dendrocalamus giganteus</i> com nós de aço. MOREIRA (1991).....	54

Figura 2.19: Treliça espacial de <i>Phillostachys pubescens</i> com ligações de PVC. ALBERMANI, et al.(2007) <i>apud</i> KRAUSE (2009).....	55
Figura 2.20: Ponteira montada e em vista explodida. KRAUSE (2009).....	56
Figura 2.21: Vista explodida do nó em bambu laminado contraplacado. KRAUSE (2009). 56	
Figura 2.22: a) esquema de angulação das barras. b) Sistema de pinça ideal com três graus de liberdade para ajuste. c) Intertravamento das pinças no encaixe das conexões no nó. KRAUSE (2009).....	57
Figura 3.1: Estrutura da pesquisa.	59
Figura 3.2: Corpo-de-prova para os ensaios de peso específico, teor de umidade natural, absorção de água e estabilidade dimensional.....	60
Figura 3.3: Dimensões dos corpos-de-prova para ensaio à tração.	62
Figura 3.4: Corpos-de-prova para ensaio à tração.	62
Figura 3.5: Ensaio de resistência à tração.	63
Figura 3.6:Corte transversal do colmo do bambu <i>Guadua spp.</i>	64
Figura 3.7: Corpos-de-prova de ensaio de resistência ao cisalhamento.	65
Figura 4.1: Absorção de água do bambu <i>Guadua spp</i> maduro, idade estimada 3,5 anos....	68
Figura 4.2: Comparação da absorção de água do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	69
Figura 4.3: Comparação do peso específico (base) da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	71
Figura 4.4: Comparação do peso específico (meio) da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	71
Figura 4.5: Comparação do peso específico (topo) da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	72
Figura 4.6: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> – região basal.	73
Figura 4.7: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> – região mediana.	74
Figura 4.8 :Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> – região apical.....	74
Figura 4.9: Comparação das variações dimensionais por inchamento do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.....	76
Figura 4.10: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu <i>Guadua spp</i> – região basal.	78
Figura 4.11: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu <i>Guadua spp</i> – região mediana.	78

Figura 4.12: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu <i>Guadua spp</i> – região apical.	79
Figura 4.13 : Valores médios do teor de umidade natural da espécie <i>Guadua spp</i>	82
Figura 4.14: Comparação do teor de umidade natural do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies – região basal.	84
Figura 4.15: Comparação do teor de umidade natural do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies – região mediana.	84
Figura 4.16: Comparação do teor de umidade natural do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies – região apical.	85
Figura 4.17: Resistência à tração do bambu <i>Guadua spp</i>	87
Figura 4.18: Comparação da resistência à tração do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	88
Figura 4.19: Módulo de elasticidade do bambu <i>Guadua spp</i>	89
Figura 4.20: Comparação do módulo de elasticidade da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	90
Figura 4.21: Resistência ao cisalhamento do bambu <i>Guadua spp</i>	91
Figura 4.22: Comparação da resistência ao cisalhamento da base do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	93
Figura 4.23: Resistência à compressão do bambu <i>Guadua spp</i>	94
Figura 4.24: Comparação da resistência à compressão do bambu <i>Guadua spp</i> com outras espécies.	96
Figura 5.1: Perspectiva.	97
Figura 5.2: Planta Baixa (cotas em metros).	98
Figura 5.3: Corte transversal (cotas em metros).	99
Figura 5.4: Treliça analisada no programa SAP 2000.	100
Figura 5.5: Pressões e sucções externas nas paredes.	101
Figura 5.6: Coeficientes de pressão e formas externos no telhado.	102
Figura 5.7: Tensão de ruptura à tração.	104
Figura 5.8: Tensão de ruptura à compressão.	105
Figura 5.9: Razão entre tensões de ruptura à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com <i>Guadua spp</i> . Fonte: Adaptado de Murad (2007) e de Ghavami e Marinho (2001).	106
Figura 5.10: Razões entre tensões de ruptura à compressão e tração.	107
Figura 5.11: Razões entre tensões de ruptura ao cisalhamento e tração.	107
Figura 5.12: Razões entre tensões de tração de outra espécie e <i>Guadua spp</i>	108

Figura 5.13: Razões entre tensões de tração de dimensionamento e de ruptura do bambu.
..... 109

Figura 5.14: Razão (normalizada) entre o n de outra espécie com o n do <i>Guadua spp</i> (referência).	109
Figura 5.15: Relações entre tensões de compressão de dimensionamento e tensões de ruptura do bambu.	110
Figura 5.16: Razão (normalizada) entre o n' de outra espécie com o n' do <i>Guadua spp</i> (referência).	110
Figura 5.17: Elementos da treliça.....	111
Figura A.I. 1: Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – base.....	124
Figura A.I. 2: Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – meio.....	124
Figura A.I. 3: Absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> – topo.	125
Figura A.I. 4: Comparação da absorção de água da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies estudadas – $t = 24$ h.	129
Figura A.I. 5: Comparação do inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies estudadas – $t = 24$ h.	130
Figura A.I. 6: Comparação do inchamento da espécie <i>Guadua spp</i> com outras espécies estudadas – $t = 96$ h.	132
Figura A.II. 1: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1.....	143
Figura A.II. 2: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.....	143
Figura A.II. 3: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB3.....	144
Figura A.II. 4: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.	144
Figura A.II. 5: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.	145
Figura A.II. 6: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.....	145
Figura A.II. 7: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.....	146
Figura A.II. 8: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.....	146
Figura A.II. 9: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.....	147
Figura A.II. 10: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.	147
Figura A.II. 11: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.	148
Figura A.II. 12: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.	148
Figura A.II. 13: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.....	149
Figura A.II. 14: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.....	149
Figura A.II. 15: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.....	150
Figura A.II. 16: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.	150
Figura A.II. 17: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.....	151
Figura A.II. 18: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.....	151
Figura A.II. 19: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI1.	152
Figura A.II. 20: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI2.	152

Figura A.II. 21: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1..... 153

Figura A.II. 22: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.....	153
Figura A.II. 23: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.....	154
Figura A.II. 24: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.....	154
Figura A.II. 25: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.....	155
Figura A.II. 26: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.....	155
Figura A.II. 27: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT3.....	156
Figura A.II. 28: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.....	156
Figura A.II. 29: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.....	157
Figura A.II. 30: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.....	157
Figura A.II. 31: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.....	158
Figura A.II. 32: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.....	158
Figura A.II. 33: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.....	159
Figura A.II. 34: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.....	159
Figura A.II. 35: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE3.....	160
Figura A.II. 36: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.....	160
Figura A.II. 37: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.....	161
Figura A.II. 38: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI3.....	161
Figura A.II. 39: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.....	162
Figura A.II. 40: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.....	162
Figura A.II. 41: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI1.....	163
Figura A.II. 42: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI2.....	163
Figura A.II. 43: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI3.....	164
Figura A.II. 44: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1.....	164
Figura A.II. 45: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.....	165
Figura A.II. 46: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.....	165
Figura A.II. 47: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.....	166
Figura A.II. 48: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.....	166
Figura A.II. 49: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.....	167
Figura A.II. 50: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.....	167
Figura A.II. 51: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.....	168
Figura A.II. 52: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE3.....	168
Figura A.II. 53: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.....	169
Figura A.II. 54: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.....	169
Figura A.II. 55: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.....	170
Figura A.II. 56: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.....	170
Figura A.II. 57: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.....	171

Figura A.II. 58: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE3. 171

Figura A.II. 59: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.	172
Figura A.II. 60: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.	172
Figura A.II. 61: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI3.	173
Figura A.II. 62: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.....	173
Figura A.II. 63: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.....	174
Figura A.II. 64: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI3.....	174
Figura A.II. 65: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI1.	175
Figura A.II. 66: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI2.	175
Figura A.II. 67: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTI3.	176
Figura A.II. 68: Curva compressão-deformação da região basal com nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	176
Figura A.II. 69: Curva compressão-deformação da região basal sem nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	177
Figura A.II. 70: Curva compressão-deformação da região mediana com nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	177
Figura A.II. 71: Curva compressão-deformação da região mediana sem nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	178
Figura A.II. 72: Curva compressão-deformação da região apical com nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	178
Figura A.II. 73: Curva compressão-deformação da região apical sem nó do bambu <i>Guadua spp.</i>	179
Figura A.II. 74: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.	179
Figura A.II. 75: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.	180
Figura A.II. 76: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.	180
Figura A.II. 77: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.	181
Figura A.II. 78: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.	181
Figura A.II. 79: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.	182
Figura A.II. 80: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.	182
Figura A.II. 81: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.	183
Figura A.II. 82: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.	183
Figura A.II. 83: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.....	184
Figura A.II. 84: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.....	184
Figura A.II. 85: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM3.....	185
Figura A.II. 86: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.	185
Figura A.II. 87: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.	186
Figura A.II. 88: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.	186

Figura A.II. 89: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.	187
Figura A.II. 90: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.	187
Figura A.II. 91: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB3.	188
Figura A.II. 92: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.	188
Figura A.II. 93: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM2.	189
Figura A.II. 94: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.	189
Figura A.II. 95: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.	190
Figura A.II. 96: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.	190
Figura A.II. 97: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.	191
Figura A.II. 98: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.	191
Figura A.II. 99: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.	192
Figura A.II. 100: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.	192
Figura A.II. 101: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.	193
Figura A.II. 102: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM3.	193
Figura A.II. 103: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.	194
Figura A.II. 104: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.	194
Figura A.II. 105: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.	195
Figura A.II. 106: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.	195
Figura A.II. 107: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.	196
Figura A.II. 108: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.	196
Figura A.II. 109: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM2.	197
Figura A.II. 110: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM3.	197
Figura A.II. 111: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.	198
Figura A.II. 112: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.	198
Figura A.II. 113: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.	199
Figura A.II. 114: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.	199
Figura A.II. 115: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.	200
Figura A.II. 116: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.	200
Figura A.II. 117: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.	201
Figura A.II. 118: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.	201
Figura A.II. 119: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.	202
Figura A.II. 120: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.	202
Figura A.II. 121: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.	203

Lista de símbolos

%	Porcentagem
A	Quantidade de água absorvida
BCN	Base com nó
BSN	Base sem nó
BSNE	Base sem nó externa
BSNI	Base sem nó interna
D	Diâmetro
<i>Dg</i>	<i>Dendrocalamus giganteus</i>
D_s	Dimensão na condição de seco ao ar
D_v	Dimensão após saturação
E	Módulo de elasticidade
e	Espessura
E_c	Módulo de elasticidade do compósito
EER	Extensômetro elétrico de resistência
E_f	Módulo de elasticidade das fibras
E_m	Módulo de elasticidade da matriz
f_b	Resistência à compressão
g	Gramas
G	Giga
<i>Ga</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
<i>Gs</i>	<i>Guadua superba</i>
<i>Gspp</i>	<i>Guadua Spp</i>
<i>Gv</i>	<i>Guadua verticillata</i>
<i>Gw</i>	<i>Guadua weberbaueri</i>
h	Teor de umidade natural
h	Hora
J	Joule
k	Kilo

L	Comprimento
M	Mega
m ³	Metro cúbico
MCN	Meio com nó
min	Minuto
mm	Milímetro
MSN	Meio sem nó
MSNE	Meio sem nó externa
MSNI	Meio sem nó interna
N	Newton
°C	Grau centigrado
P ₀	Peso seco em estufa
Pa	Pascal
P _n	Peso saturado
P _s	Peso seco ao ar
<i>spp</i>	A expressão <i>spp.</i> após o nome do gênero, representa que o mesmo possui diversas espécies
TCN	Topo com nó
TSN	Topo sem nó
TSNE	Topo sem nó externa
TSNI	Topo sem nó interna
V	Volume
VC	Varição circunferencial
V _D	Varição dimensional
V _f	Fração volumétrica das fibras
VL	Varição longitudinal
V _m	Fração volumétrica da matriz
VR	Varição radial
ε	Deformação específica
γ	Peso específico total
με	Micro strain
ν	Coeficiente de Poisson
σ _{c dim}	Tensão máxima de projeto à compressão
σ _{Rc}	Tensão máxima de ruptura à compressão

σ_{Rt}	Tensão máxima de ruptura à tração
$\sigma_{t \text{ dim}}$	Tensão máxima de projeto à tração
σ_{τ}	Resistência à tração
τ	Resistência ao cisalhamento
τ_R	Tensão máxima de ruptura à cisalhamento

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido uma constante na área da construção civil a preocupação pelo estudo de materiais, equipamentos e técnicas que possibilitem o barateamento da habitação popular. As fontes de recursos naturais não renováveis e a escassez de habitações populares no Brasil e em países em desenvolvimento, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, vem incentivando o desenvolvimento de materiais de baixo custo na construção civil. Os materiais convencionais mobilizam vultuosos recursos financeiros, consomem muita energia e requerem processos centralizados de produção. Nesse sentido impõe-se que se usem materiais alternativos, ecológicos, de baixo custo e baixo consumo de energia, visando à preservação da natureza e a melhoria da qualidade de vida do homem, uma vez que a principal barreira para uma efetiva implantação de programas de habitação popular é a questão financeira.

As fibras de côco, sisal, cinza de casca de arroz e o bambu apresentam propriedades similares aos materiais tradicionais, podendo substituí-los, obtendo-se assim vantagens não só econômicas, mas também de ordem técnica. O bambu é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável, principalmente no que diz respeito a habitações populares. O baixo consumo de energia em sua produção, a grande abundância e o baixo preço caracterizam o bambu como material potencialmente promissor, além de evitar a poluição, mantendo-se a conservação dos recursos naturais. O bambu é usado como material de baixo custo, empregado na construção principalmente como alternativa para o aço em estruturas de concreto e estruturas espaciais (GHAVAMI, 1995).

Neste trabalho é apresentada uma revisão bibliográfica geral, bem como os resultados que permitam a caracterização quanto as propriedades físicas e mecânicas da espécie *Guadua spp*, colhida na Reserva Chico Mendes, em Assis Brasil – Acre. Realizou-se também a análise estrutural do projeto de uma escola rural totalmente estruturada em bambu, material abundante nessas regiões, alternativa para a deficiência de escolas nesta zona, muitas vezes devido ao precário acesso via estradas vicinais ou via fluvial, o que dificulta o transporte de materiais de construção.

1.1. OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa são descritos a seguir.

1.1.1. Objetivo geral

Analisar o emprego do bambu *Guadua spp* como material alternativo para a construção civil.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Analisar as propriedades físicas e mecânicas do bambu *Guadua spp* de Assis Brasil – AC.
- Comparar os resultados do bambu em estudo com outros já conhecidos.
- Analisar a estrutura de uma escola rural totalmente estruturada com o bambu *Guadua spp*.
- Calcular o mesmo projeto utilizando as espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua weberbaueri* para comparar com os resultados do *Guadua spp*.

1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Em locais onde sequer se tem energia elétrica, os novos projetos da engenharia necessários ao atendimento à população da zona rural permitem ter-se uma forma alternativa de desenvolvimento sustentável. São as escolas rurais de bambu. A iniciativa gera empregos e expectativas de vida para uma população isolada da “civilização”.

As matérias-primas como bambu, barro, grama e areia são alternativas da natureza local para uma nova perspectiva de progresso para os habitantes da pequena localidade rural. Os próprios moradores podem trabalhar na construção das escolas feitas com matérias-primas numa forma alternativa, econômica e sustentável de trabalho. Em lugar de aço, amianto e ferro, poluentes e maléficos à saúde, os moradores podem lidar com produtos reciclados e insumos retirados da natureza. Além da escola para os moradores da região, o maior ganho será a nova técnica que irão aprender, abrindo caminho para construir também seus lares e para as novas oportunidades de trabalho que surgirão.

1.2.1.Hipóteses

No barateamento da construção civil a busca por materiais de menor custo econômico é importante para sanar os problemas de déficit habitacional em várias regiões do país.

Na Amazônia, a grande ocorrência de bambus oferece material vasto para o desenvolvimento de tecnologia a menor custo para a construção civil.

A espécie *Guadua spp* oferece vantagens qualitativas e quantitativas para seu emprego na construção civil.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese está dividida em 7 capítulos. No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica abordando-se as principais características físicas e mecânicas de outras espécies de bambu encontradas na literatura pesquisada.

O capítulo 3 descreve a metodologia e materiais utilizados para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da espécie *Guadua spp*.

No capítulo 4 os resultados obtidos são apresentados, analisados e comparados com resultados de outras espécies publicados em trabalhos anteriores.

O capítulo 5 descreve a análise estrutural de uma escola rural projetada com o bambu *Guadua spp* e compara os resultados com os obtidos na análise do mesmo projeto dimensionado com as espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua weberbaueri*.

Nos capítulos 6 e 7 são apresentadas as conclusões e as referências bibliográficas, em seguida são apresentados os anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO

Nesta revisão bibliográfica é realizado um estudo sobre algumas características físicas e mecânicas de diversos gêneros/espécies de bambus. O objetivo do mesmo foi estudar, aproveitar conhecimentos e comparar os resultados das experiências de outros gêneros/espécies com o bambu *Guadua spp* de Assis Brasil – AC.

2.2. GUADUA SPP

O bambu *Guadua spp* é uma espécie de bambu gigante entouceirante, arborescente, de elevado porte, com espinhos nas gemas, lenhoso, com elevadas propriedades mecânicas – para uma fibra natural – e grande durabilidade natural dos colmos. A expressão “*spp*” após o nome do gênero representa que o mesmo tem diversas espécies, e esta ainda não é conhecida.

Por ser curto, grosso, curvado, achatado dorsiventralmente, o rizoma é classificado como paquimorfo (LONDOÑO, 1992).

Para o desenvolvimento deste projeto foram coletados oito colmos de bambu na Reserva Extrativista Chico Mendes, km 85 da BR 317 sentido Brasília – Assis Brasil – Ramal Santa Luzia, em uma colocação do Seringal Etelve, coordenadas: L19 – 0456052 UTM – 8815420.

2.3. O USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As características físicas e mecânicas, fácil disponibilidade e baixo custo, tornam o uso do bambu como material de construção uma tradição nos países onde a planta cresce em abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia e em alguns países da América Latina, onde dela se obtém alimento, moradia, objetos de uso doméstico, ferramentas, etc.

As experiências realizadas mostram que o bambu se combina a qualquer outro tipo de material, sendo possível seu uso na construção de lajes, vigas e pilares de concreto leve, sendo uma alternativa para a substituição do aço e reduzindo assim o custo da obra. As principais vantagens do bambu quando empregado como reforço ao concreto são: baixa energia por unidade de tensão (comparado com o aço) e alta resistência à tração.

As Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 ilustram as substituições das tradicionais armaduras de aço por bambu.



Figura 2.1: Armadura longitudinal de pilar em bambu. FERREIRA (2005).



Figura 2.2: Formas permanentes de lajes armadas com bambu. ACHÁ (2002).



Figura 2.3: Tratamento e concretagem de lajes armadas com bambu. ACHÁ (2002).

Outras características positivas do bambu:

- tem elevada resistência à tração com relação ao peso, se comparado com o aço, concreto ou madeira;
- a superfície natural é lisa, limpa, de cor natural atrativa e não requer pintura, raspagem ou polimento;
- é disponível em quase em todo o mundo nas regiões de clima tropical e sub-tropical, abundante, de rápido crescimento, de baixo custo e de baixa energia de produção;
- pode ser cortado tanto longitudinalmente como transversalmente com o auxílio de ferramentas simples em razão de sua constituição fibrosa;
- é um material fácil de ser transportado e armazenado devido a sua forma circular e seção oca o que fazem com que seja um material leve.

A Tabela 2.1 apresenta os dados de uma comparação baseada na energia de produção por unidade de tensão para materiais de construção.

Tabela 2.1: Razão energia de produção por unidade de tensão. GHAVAMI (1992).

Material	Bambu	Madeira	Concreto	Aço
MJ/m ³ /MPa	30	80	240	1500

Observa-se na Tabela 2.1 que o bambu é um material que tem uma relação energia de produção por unidade de tensão 50 vezes menor que o aço.

A Tabela 2.2 mostra os dados para a comparação da relação entre resistência à tração e peso específico do bambu e de outros materiais de construção com a resistência do aço.

Tabela 2.2: Razão resistência à tração x peso específico. MURAD (2007) adaptado de GHAVAMI (1992).

Material	Resistência à Tração σ_t (N/mm²)	Peso específico $\times 10^{-2}$ (γ) (N/mm³)	$R=(\sigma_t / \gamma)10^{-2}$	R / R_{aço}
Aço (CA50A)	500	7,83	0,63	1,00
Bambu	140	0,80	1,75	2,77
Alumínio	304	2,70	1,13	1,79
Ferro Fundido	281	7,20	0,39	0,62

Nota-se que o bambu apresenta uma resistência à tração x peso específico 2,77 vezes maior que a do aço.

O bambu tem algumas desvantagens: complexidade das conexões e aspectos artesanais de produção, além de apresentar baixo módulo de elasticidade, variação de seu volume por absorção de água e suscetibilidade ao ataque químico e de microorganismos (GHAVAMI, 1992).

Pela sua versatilidade o bambu é um dos materiais mais antigos a ser utilizado pela humanidade. Há registros de uso do bambu na engenharia no início da civilização, na China, onde pontes suspensas foram construídas com cabos de bambu, dando origem a pontes e coberturas suspensas que hoje são construídas com cabos de aço. As técnicas de construção desenvolvidas na Índia nesse período são até hoje utilizadas em países orientais como Indonésia, Taiwan e Tailândia. A eficiência deste material para a construção civil é comprovada considerando-se a durabilidade das obras construídas pelos povos asiáticos. As Figuras 2.4 a 2.7 mostram construções em bambu em vários países.



Figura 2.4: Stand do SEBRAE/AC – Feira do Empreendedor – Exposição Agropecuária do Estado do Acre – EXPOACRE – 2005. MURAD (2007).



Figura 2.5: Interior do Memorial Indígena em Campo Grande - MS. GHAVAMI (arquivo pessoal).



Figura 2.6: Ponte de bambu em Stuttgart, Alemanha. GHAVAMI (arquivo pessoal).



Figura 2.7: Vistas frontal e interna da Catedral construída em bambu na Colômbia. GHAVAMI (arquivo pessoal).

Em países da América do Sul com abundância do material, como Colômbia, Peru e Equador, várias aplicações têm sido exploradas, principalmente na confecção de paredes, muros e andaimes. A Colômbia é o país da América Latina que mais emprega o bambu na construção de habitações populares. A fim de solucionar os problemas habitacionais na Colômbia, vêm se desenvolvendo programas governamentais que incentivam o uso deste material. O Brasil tem registros que mostram a eficiência do bambu, seu emprego vem ganhando importância econômica e espaço na construção civil. No meio rural está sendo utilizado em cercas, paredes de pau a pique, tubulações para irrigação, etc. As construções de grande porte como casas, pousadas e lojas afirmam a qualidade e beleza do material (CRUZ, 2002).

2.4.AS FLORESTAS ABERTAS COM BAMBU NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

A vegetação na região sudoeste da bacia Amazônica é caracterizada pela ocorrência de florestas de transição entre a Amazônia e áreas extra-amazônicas (PRANCE, 1989), predominando nesse cenário, a Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 1997). Esta tipologia

florestal é marcada pela abundância de palmeiras, cipós ou bambus no dossel normalmente aberto, o que permite o reconhecimento de fácies desta floresta (VELOSO *et al.*, 1991).

As florestas abertas com bambu do gênero *Guadua*, “Pacales” no Peru e “Tabocais” no Acre, são incomuns na Amazônia, mas no sudoeste da bacia, cobrem áreas extensas, sendo uma das poucas formações florestais amazônicas reconhecidas facilmente a partir de imagens do sensor orbital Landsat Thematic Mapper (Bandas 3, 4 e 5) (SILVEIRA, 2001). As manchas de floresta com bambu têm de 10 a 104 km² (SILVEIRA, 2001) e sua identificação é possível, pois a densa folhagem do bambu reflete o infra-vermelho próximo e médio (bandas 4 e 5) mais que outras espécies (NELSON, 1994).

Por meio dos dados espectrais de 15 cenas contíguas de imagens de satélite entre 7–11° latitude S e 66–74° longitude W, Nelson (1994) calculou em 121.000 km² a área ocupada pela floresta com bambu no sudoeste da Amazônia. As análises de imagens adicionais (SILVEIRA, 2001) estimaram em 180.000 km² a área coberta por este tipo de floresta no Brasil, Peru e Bolívia (Figura 2.8).

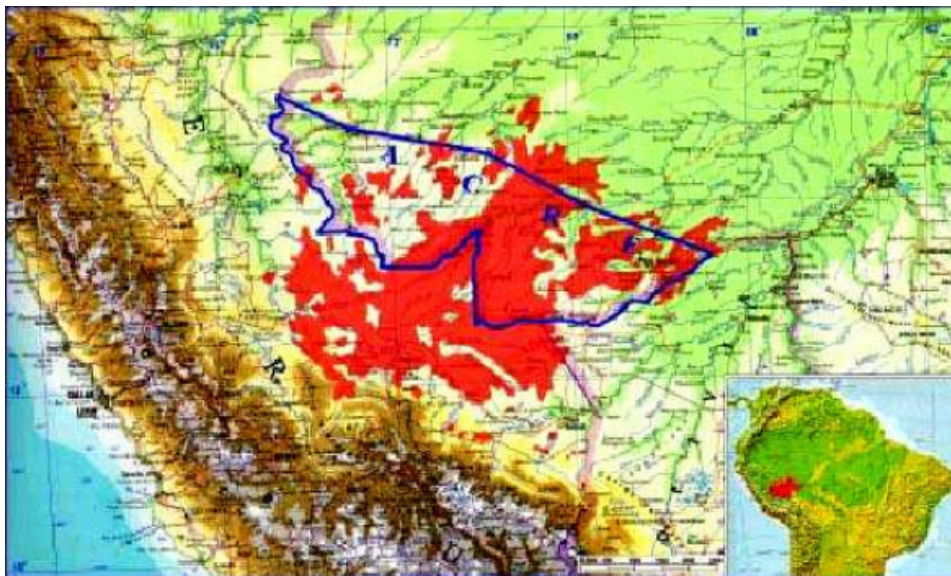


Figura 2.8: Distribuição da floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia. Mapa produzido a partir da interpretação visual de imagens Landsat TM falsa-côr (bandas 3, 4 e 5), por B.W. Nelson com imagens do INPE (Brasil) e por R. Kalliola, utilizando imagens do INRENA (Peru). OLIVEIRA (2000).

O bambu ocorre em cinco, dentre as onze tipologias florestais identificadas no Acre (GOVERNO DO ESTADO DO ACRE, 2000). A floresta com bambu dominando, a floresta com bambu mais floresta com palmeiras, a floresta com bambu mais floresta densa e a floresta com bambu em área aluvial, representam 38% da cobertura florestal do Acre. A floresta com palmeiras mais floresta com bambu representa 21% da vegetação.

As primeiras observações sobre a fisionomia da floresta com bambu foram efetuadas por HUBER (1904), durante viagem exploratória ao alto Solimões e principais afluentes. As

espécies do gênero *Guadua* em geral apresentam espinhos nos colmos e ramos, e assim como outros bambus são semelparas (um único evento de reprodução sexuada) e monocárpicas (morrem após esse evento), de acordo com SILVEIRA (2001). *Guadua* é um dos gêneros de bambu com maior amplitude de distribuição no novo mundo (LONDOÑO e PETERSON, 1991), e a maioria das 33 espécies ocorre no México, América Central e na América do Sul, com exceção do Chile, em savanas, cerrados e florestas de galeria, florestas montanas baixas e florestas tropicais de terras baixas (CLARK, 1995).

No Acre, *Guadua weberbaueri* Pilger e *G. sarcocarpa*, LONDOÑO e PETERSON (1991) apresentam uma distribuição ampla, ocorrendo frequentemente nos interflúvios tabulares. *G. superba* Huber restringe-se às florestas temporariamente alagadas ou a áreas de drenagem deficiente, enquanto *G. angustifolia* Kunth apresenta uma distribuição mais restrita (SILVEIRA, 2001).

Guadua weberbaueri Pilger é uma espécie de bambu que ocorre a 1.500 m de altitude na cordilheira dos Andes (CLARK, 1995), desce o piemonte na região de Pucalpa ao norte até Puerto Maldonado mais ao sul, no Peru, penetrando em território brasileiro através dos interflúvios colinosos das terras baixas no Acre, ocupando grandes clareiras e dominando o dossel das florestas. Essa espécie tem um ciclo de vida estimado entre 29 – 32 anos (SILVEIRA, 1999), após o qual floresce e morre, depositando toneladas de material morto no solo em um período de tempo curto (TOREZAN e SILVEIRA, 2000). O ciclo de vida do bambu pode afetar o funcionamento do sistema, já que a deposição do material morto provavelmente tem implicações sobre a produtividade primária, fluxo de energia, decomposição, ciclagem de nutrientes e a microbiota do solo (SILVEIRA, 2001), sendo um elemento oportuno para análises de relações espécie-ecossistema (GRIMM, 1995).

2.5. GENERALIDADES SOBRE A BOTÂNICA DO BAMBU

2.5.1. Taxonomia

Taxonomia é a ciência da classificação que, na botânica, estuda a classificação e nomenclatura das plantas. As características botânicas de muitas espécies de bambu ainda não são conhecidas pelo homem, apesar de utilizá-lo desde o início da civilização. Isto, devido principalmente aos longos intervalos de ciclos de floração, que variam de acordo com a espécie entre 30 e 120 anos, após este período a maioria das plantas morrem. Assim, a classificação dos bambus tem sido lenta e pouco satisfatória. Segundo os princípios da taxonomia botânica todas as plantas pertencem a uma dada espécie, essas estão reunidas em gêneros, esses agrupados em famílias e essas por sua vez em ordens que estão dispostos em classes e assim por diante. É frequente que uma mesma espécie tenha sido

classificada por vários botânicos em gêneros distintos. Para corrigir estes erros MC CLURE (1993) reclassifica os gêneros e espécies da América e considera 17 e 382 respectivamente (CULZONI, 1986). Na atualidade novos taxonomistas prosseguem esses estudos.

A divisão Angiospermas (sementes escondidas) é um dos maiores grupos que domina a flora terrestre. São plantas com flores. Após a polinização e a fecundação, ovários e óvulos se desenvolvem em frutos e sementes. Dividem-se em duas classes: monocotiledôneas, cujas sementes tem apenas um cotilédone e dicotiledôneas, que produzem sementes com dois cotilédones. As monocotiledôneas compreendem 14 ordens, entre as quais temos a ordem Graminales, que compreende apenas uma família: Graminae. Ela é uma das maiores famílias das Angiospermas e provavelmente a de maior importância para o homem, desde que estão incluídas nela o trigo, o milho, a cevada e outras que fazem parte da nossa alimentação.

Os bambus pertencem ao gênero Bambuseae da família Graminae. Assim sendo, eles formam parte da ordem Graminales, da classe monocotiledôneas que é uma das divisões das Angiospermas. O bambu é o que se poderia chamar de uma erva gigante e não uma árvore como se costuma pensar.

2.5.2. Morfologia

Morfologia é a parte da botânica que estuda a estrutura das plantas. Os bambus variam na morfologia segundo correspondam ao rizoma, ao colmo e aos galhos.

2.5.2.1. Rizomas

De acordo com PEREIRA e BERALDO (2008) o rizoma exerce um papel fundamental no desenvolvimento do bambu, não só agindo como um armazenador de nutrientes para posterior distribuição, mas também como um órgão responsável pela propagação do bambu. O crescimento de novos colmos é totalmente dependente da nutrição fornecida pelo rizoma e pelos colmos mais velhos. O nascimento de novos colmos anualmente se efetua assexuadamente por ramificação desses rizomas. Essa ramificação ocorre de duas maneiras distintas, dando origem aos dois principais grupos de bambu: o grupo alastrante, no qual os colmos nascem e se desenvolvem *separados* uns dos outros, e o grupo entouceirante, no qual os colmos nascem e se desenvolvem *agrupados* uns aos outros.

MCCLURE (1993) propôs uma classificação baseada na forma de ramificação dos rizomas, pois os dividiu em dois grupos principais e um intermediário:

- **Leptomorfos, alastrantes ou monopodial:** apresentam rizomas alongados e finos, tendo os entrenós longos e espaçados (Figura 2.9). A ponta muito dura geralmente está orientada horizontalmente. Os colmos são mais grossos que o rizoma. Algumas vezes a ponta do rizoma pode tornar-se um novo colmo. Crescem lateral e radialmente, afastando-se linearmente uns dos outros. São encontrados em geral nas espécies de climas temperados, como no gênero *Phyllostachys*.

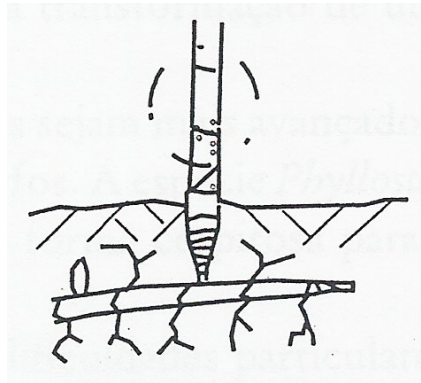


Figura 2.9: Rizoma Leptomorfo. BERALDO *et al.* (2003).

- **Paquimorfos, entouceirantes ou simpodial:** com forma de bulbos, têm entrenós compactos e muito curtos (Figura 2.10). A ponta é orientada para cima e dela sai um colmo mais fino que o bulbo. Crescem afastando-se muito pouco uns dos outros. Crescem lateral e radialmente. Podem ter pescoços curtos, médios ou longos. Encontrados em espécies tropicais, como as do gênero *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Guadua* e *Gigantochloa* (PEREIRA e BERALDO, 2008).

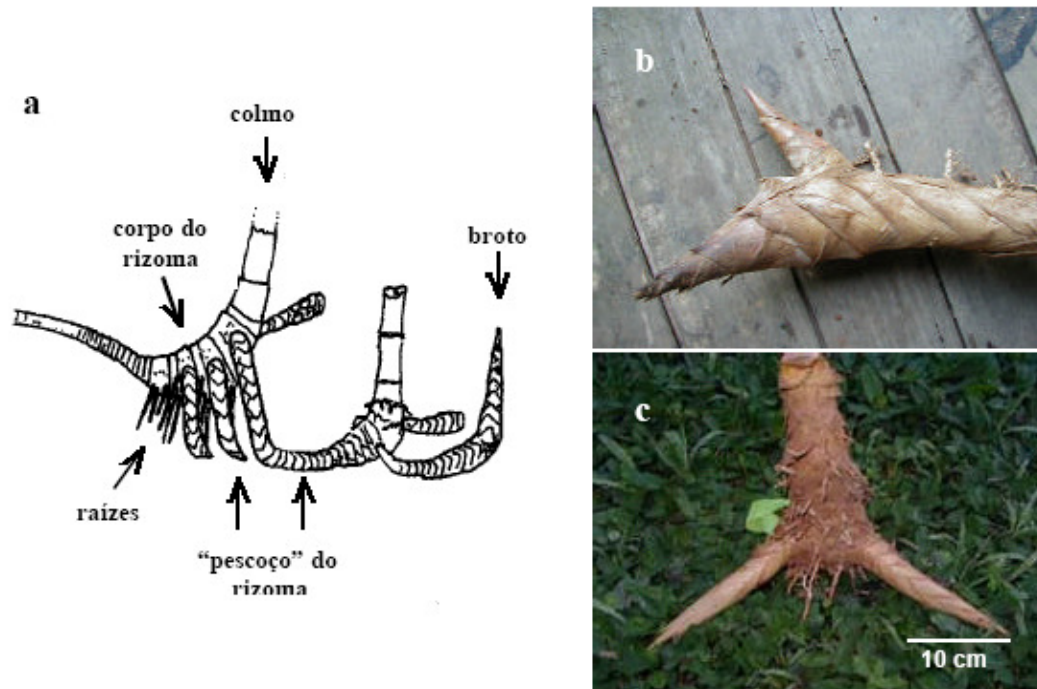


Figura 2.10: Rizoma Paquimorfo: morfologia do rizoma do bambu *Guadua weberbaueri*:

a) diagrama do rizoma, “pescoço” do rizoma, colmo e raízes adventícias, b) corpo do rizoma em desenvolvimento e formação do “pescoço” do novo rizoma; c) vista frontal do corpo do rizoma com dois “pescoços”. SILVEIRA (2001).

- **Metamorfo, intermediário ou anfipodial:** caracterizam-se por rizomas que apresentam ramificação combinada dos dois grupos principais numa mesma planta (Figura 2.11). A este grupo pertencem gêneros como o *Chusquea*, ao qual corresponde grande número de espécies desenvolvidas nas zonas montanhosas da Colômbia (LOPEZ, 2003).

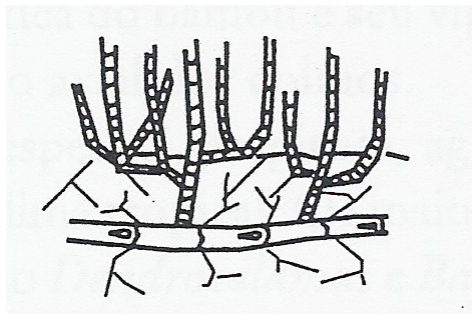


Figura 2.11: Rizoma tipo intermediário. BERALDO *et al.* (2003).

2.5.2.2. Colmos

Os colmos são formados por cascas geralmente cilíndricas, esbeltas, normalmente ocas (Figura 2.12). O espaço vazio dentro do colmo é denominado cavidade, a qual é

separada uma das outras por diafragmas que aparecem externamente como nós, onde saem os galhos e as folhas. Segundo PEREIRA e BERALDO (2008) os diafragmas fornecem maior rigidez e resistência aos colmos, permitindo-lhes suportar a ação do vento e do peso próprio. A posição do colmo entre dois nós é chamada internó, os quais têm uma parede de espessura variável.

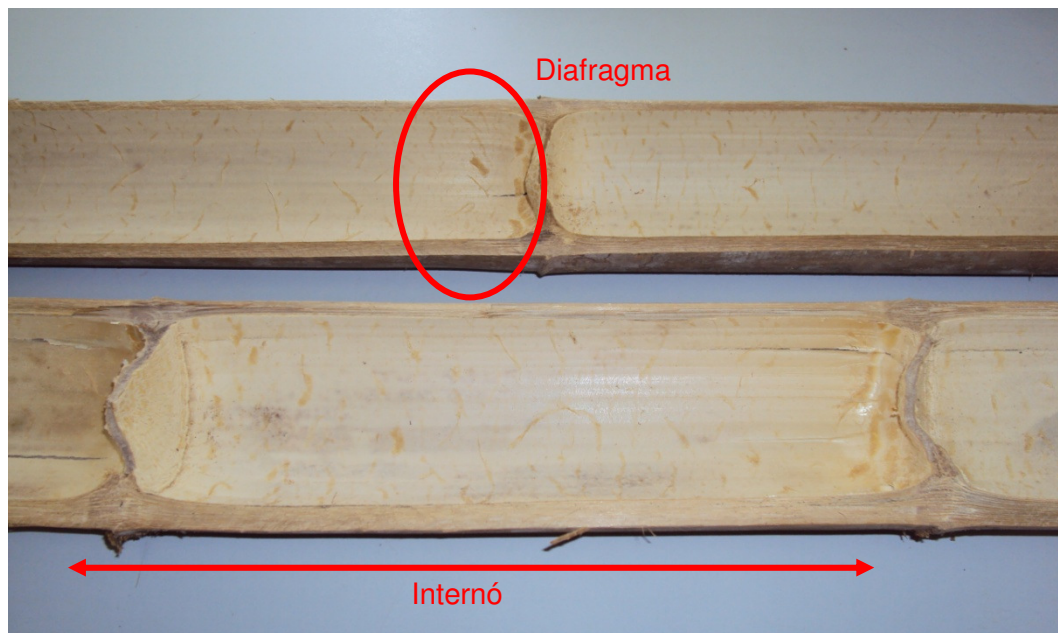


Figura 2.12: Seção longitudinal do colmo.

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 (GHAVAMI e MARINHO, 2001).

LIESE (1985) comentou que o comprimento dos internos aumenta da base até o meio do colmo, diminuindo daí em direção ao topo, tendo em média um comprimento de 20 a 35 cm na maioria das espécies. Para uma mesma espécie o diâmetro dos colmos é uma função da idade da touceira e das condições locais, atingindo o máximo da espécie por volta do quarto ou quinto ano após o plantio. O diâmetro médio dos colmos de uma dada espécie é também influenciado pelo meio ambiente, principalmente pelo tipo de solo e pelo clima (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O bambu atinge seu total desenvolvimento, geralmente, aos 100 dias. Um colmo novo alonga-se, em condições normais, entre 30 e 40 cm por dia (SPENCE, 1982), tendo sido registrado recorde de 120 cm em 24 horas (LOPEZ, 2003). Logo após esse período de desenvolvimento se inicia o amadurecimento, que atinge seu nível máximo entre 3 e 5 anos. É nesse período que adquire maior resistência para ser utilizado na construção civil. Depois

de totalmente amadurecido a resistência começa a decair na medida em que o talo vai secando.

2.5.2.3. Folhas, galhos e flores

Na generalidade dos casos a propagação do bambu se realiza assexuadamente, mas também pode propagar-se pelas sementes que são obtidas ao florescer a planta. O florescimento é um dos fenômenos mais extraordinários que tem o bambu, ele se apresenta em espaços mais ou menos regulares de tempo que variam segundo a espécie; pode ser esporádico quando se apresenta em talos isolados de uma touceira, que logo morrem, ou gregário quando florescem a totalidade dos talos de uma touceira isolada ou do conjunto delas no mato. Neste caso todos os talos e rizomas morrem. Ainda são desconhecidas as causas do florescimento, mas acredita-se que tenha alguma relação com a idade da touceira, fatores climáticos ou fisiológicos (LOPEZ, 2003).

2.6. MANEJO E PROCESSO DE PREPARO PARA USO

Existem diversos métodos de preservação que prolongam a vida útil do bambu. É realizado um conjunto de procedimentos para obtenção de melhores resultados e maior durabilidade na utilização do bambu. O bambu por ser passivo de alterações por influência das mudanças climáticas ou de organismos animais ou vegetais, necessita de tratamento para que atinja uma maior durabilidade e resistência. Devendo ser realizados procedimentos e cuidados especiais, que vão desde o corte até sua utilização final, como: corte segundo a idade e grau de maturidade, cura, secagem, tratamentos contra fungos e insetos.

2.6.1. Corte

2.6.1.1. Período de corte

O fator principal para se obter colmos resistentes de bambu é a forma e hora da colheita. A época do ano que o bambu guarda uma maior parte de suas reservas nas raízes (rizomas) é o inverno, o momento antes do aparecimento dos novos brotos. Colhendo-se nesse momento obtém-se um bambu com menos açúcar, que é o alimento para os insetos e fungos que se nutrem do bambu, e esses aparecem menos no inverno. No Brasil e no Hemisfério Sul essa época ocorre no meio do ano. Por isso a cultura popular brasileira afirma que são os meses sem a letra "r": maio, junho, julho e agosto. Após esse período começa a geração de novos brotos (LONDOÑO (1999) *apud* ACHÁ (2002)).

Alguns povos da Índia acreditam que fazendo a colheita no tempo em que não se tem lua no céu, ou seja, na fase nova ou crescente, o bambu não será atacado por insetos (LOPEZ, 2003). Seguindo a teoria da fase adequada da lua, escolhem-se as horas antes do amanhecer como as ideais. Em alguns países americanos procede-se ao contrário, realizando-se o corte na fase de lua minguante. Afirmam que nesse período a planta tem o mínimo conteúdo de seiva com o que se consegue uma secagem mais rápida (SPENCE, 1982). Experimentos realizados por GHAVAMI *et al.* (2002) *apud* ACHÁ (2002) não resultaram em evidências suficientes para justificar a crença de que uma determinada fase da lua, ou mês do ano, tenham influencia nas propriedades do material.

2.6.1.2. Idade do corte

Para uso na construção civil, o bambu maduro é o que apresenta melhores características de resistência e é, portanto o apropriado para ser utilizado com fins construtivos. O grau máximo de sazonalidade é atingido em um período que varia de 3 a 5 anos após seu nascimento. Apresentam-se certas características na planta por meio das quais se reconhecem os colmos maduros e levando-as em consideração se procede ao corte. A maioria dos bambus imaturos apresentam cor verde forte, superfície macia, brácteas (folhas originadas nos nós que envolvem o broto como proteção) ainda aderidas, uma fina penugem branca cerosa que se desprende facilmente e poucos galhos no talo (Figura 2.13).



Figura 2.13: Bambu *Guadua* spp com idade estimada de 8 meses, ainda com brácteas.

A maioria dos bambus maduros apresenta cor verde mate, superfície dura, pouca ou nenhuma bráctea aderida ao talo, escassa penugem, manchas escuras jaspeadas que são maiores em quantidade e intensidade em relação ao grau de sazonalidade e têm grande profusão de galhos (Figura 2.14). Os colmos que além destas características apresentam manchas amarelas já não são mais utilizáveis porque estão começando a decadência para depois secarem (CULZONI, 1986).



Figura 2.14: Bambu *Guadua spp* maduro, idade estimada 3 anos.

2.6.2.Cura

A cura torna os colmos menos susceptíveis ao ataque dos insetos que são atraídos pelo amido e glucose da seiva. Consiste na expulsão ou diminuição do conteúdo de amido da seiva, que é de baixo custo e por isso muito utilizada, porém não é tão eficaz quanto os tratamentos preservativos feitos com produtos químicos.

Existem vários tipos de procedimentos para a cura tais como os a seguir discriminados.

- **Cura na touceira:** consiste em recostar os talos cortados o mais verticalmente possível contra os não cortados, sem tirar os galhos nem folhas, isolando-os do solo, colocando-os sobre pedras ou suportes (Figura 2.15). Devem permanecer nessa posição de 4 a 8 semanas dependendo das condições do tempo, nesse tempo ele cura nos estados de temperatura, pressão e umidade em que sempre viveu. É usado nas zonas rurais e é muito recomendado já que os colmos conservam a cor natural, não racham nem são atacados por fungos.



Figura 2.15: Cura na touceira – Bambu *Guadua spp.*

- **Cura por imersão:** é muito utilizada pelos povos orientais e consiste em submergir os talos em água do mar por um período de tempo de 3 dias a 3 meses. Estudos realizados em Porto Rico em 1946 concluíram que os talos curados na touceira apresentam maior resistência que os curados em água (LOPEZ, 2003). Nesses aparecem geralmente, manchas e rachaduras nos nós.
- **Cura por aquecimento:** este sistema consiste em colocar o colmo do bambu depois de cortado sobre o fogo, girando-o sem queimá-lo, com isso se consegue matar qualquer inseto e ao mesmo tempo endurecer a parede externa, tornando-a menos propícia ao ataque de organismos. Este sistema serve também para secar e retificar talos curvados (SPENCE, 1982).

2.6.3. Secagem do bambu

Os bambus, quando ainda nas touceiras, têm umidade elevada, devido à seiva ou líquido condutor das substâncias nutritivas. Devendo esta umidade ser reduzida até um valor de 10 a 15%, minimizando a contração ou dilatação pela variação da umidade, ocorrendo melhora das propriedades mecânicas do bambu devido à difícil sobrevivência de organismos nocivos ao bambu.

Dentre os diversos fatores que influenciam a secagem tem-se espécie do bambu, condições de secagem, espessura da parede do talo e grau de maturidade. Diferentes espécies apresentam características diferentes de secagem; algumas precisam de mais tempo que outras devido não só à espessura da parede, mas também porque nos talos maduros o conteúdo de umidade decai com a altura. A porção basal demanda mais tempo na secagem que a superior e os talos imaturos também. Os talos imaturos de paredes delgadas (espessuras menores que 7,5 mm) deformam-se durante a secagem e suas paredes tendem a afinar-se. Os talos maduros com paredes de espessuras superiores a 12,5 mm tendem a apresentar fissuras na superfície principalmente quando a secagem é severa. Os talos maduros ou imaturos com paredes de espessura variando de 7,5 a 12,5 mm podem ser secos sem sofrer danos (LOPEZ, 2003).

Depois de curado o bambu pode ser seco pelos métodos a seguir descritos.

- **Secagem ao ar:** pode-se apoiar o bambu empilhando-o horizontalmente, ainda com as folhas, em um aposento arejado com chão e parede livres de umidade, sob proteção da chuva e do sol, e, dependendo da espécie e das condições climáticas, deixar a seiva escorrer e evaporar de 2 a 8 semanas (ACHÁ, 2002).
- **Secagem em estufa:** é possível manter o controle da temperatura, umidade e velocidade do ar, conseguindo-se melhores resultados em menor período de tempo. Para processo em grande escala justifica-se o investimento que é de alto custo;
- **Secagem ao fogo:** segundo LENGEN (1996), é feito um buraco pouco profundo e cobre-se o solo e as esquinas com tijolos, para que não perca calor. O bambu deve ser colocado a uns 50 cm acima do fogo. Para que seque de maneira uniforme, deve-se virar os colmos continuamente. Com este método, a parede do colmo fica mais resistente aos insetos. Se o fogo é muito forte pode rachar ou deformar os colmos. Para a obtenção de melhores resultados é recomendado secar previamente os colmos ao ar até uma umidade de cerca de 50% (CULZONI, 1986). Outra forma de secagem com fogo é a utilização de uma fonte pontual de calor como o maçarico. Nesse processo é importante utilizar fogo baixo, e obtém-se alta resistência e brilho. Porém, é um método mais demorado e trabalhoso, por ser feito um a um, más podendo ser automatizado. Pode-se também defumar o bambu, introduzindo-o num compartimento com pouca saída de ar que tenha fogo e fumaça sob os colmos de bambu. Nesses métodos onde se utiliza fogo geralmente um tipo de óleo

(ácido piro-lenhoso) aparece na superfície dos troncos. O óleo pode ser removido com pano ou reutilizado como fonte de fumaça (ACHÁ, 2002).

- **Impregnação dos veios com polímeros / resinas:** com a cura, os polímeros enrijecem dentro dos veios do bambu aumentando sua rigidez / resistência e prevenindo sua degradação.

2.6.4. Tratamentos de preservação ao ataque de microorganismos

Consiste na aplicação de substâncias químicas que impeçam o ataque de fungos e insetos aos colmos, conferindo-lhes com isso maior durabilidade. Os produtos usados são a seguir descritos.

- **Óleos ou oleossolúveis:** recomendados para os casos em que os colmos permanecerão enterrados. Entre os óleos obtidos pela destilação da hulha, são usados o creosoto e o alcatrão. O alcatrão é um produto barato, viscoso, que misturado com partes iguais de alcatrão fluido, fornece um excelente tratamento dotado de grande poder de penetração. Dos óleos solúveis o mais comum é o pentaclorofenol ($\text{Cl}_5\text{C}_6\text{OH}$), pó-da-China (atualmente com restrição de venda em vários países), usado em soluções oleosas a 5% de concentração em peso, dissolvidas em óleos de petróleo. Pode ser encontrado sob as marcas de Gilopen 01 e Dowcide. Existem também preparados prontos a base de pentaclorofenol com diferentes solventes e aditivos que variam em função da melhora da propriedade requerida, podem citar-se o Imprentox, Pentox, Xilophene e Xilotex. O grande inconveniente destes preparados é sua elevada toxicidade (CULZONI, 1986).
- **Substâncias hidrossolúveis:** são combinações de sais tais como cromato de zinco clorado, cromato de cobre ácido, metarsenito de zinco, arseniato de cobre cromado, etc. Todas as substâncias preservativas citadas protegem efetivamente o bambu pela ação fungicida e inseticida que possuem e é recomendado seu uso, mas com o cuidado de todo produto tóxico (CULZONI, 1986).
- **Resinas sintéticas:** não são produtos preservativos propriamente ditos, mas com a impermeabilização conseguida afasta-se a possibilidade de ataque de insetos ou fungos. A patente pertence a uma empresa norte americana que fabrica varas de pescar e tacos de golfe (CULZONI, 1986).

2.6.4.1. Métodos de aplicação de preservativos

As substâncias preservativas são aplicadas por diferentes métodos a depender do tempo em que está sendo feito o tratamento e da infra-estrutura disponível.

- **Tratamento por transpiração de folhas:** utilizam-se colmos recém cortados dos quais não foram tirados galhos e folhas, no máximo 24 horas após o corte. Os colmos são colocados verticalmente num recipiente contendo o preservativo que é assim absorvido pela água transpirada pelas folhas. Os preservativos indicados são os solúveis em água. O tempo de tratamento varia com as condições atmosféricas, mas em média, 2 a 4 dias são suficientes. A seguir, as peças devem ser empilhadas à sombra, permanecendo no mínimo 40 dias ao abrigo da chuva de forma a processar-se a secagem. É suficientemente econômico porque não precisa de uma instalação especial para a aplicação;
- **Método de Boucherie:** consiste em fazer penetrar a substância preservativa com auxílio da pressão atmosférica ou de algum dispositivo pneumático. Como no tratamento anterior, para sua aplicação requer-se que a seiva esteja ainda em movimento e por isso utilizado em colmos recém cortados dos quais foram tirados ramos e folhas. Geralmente são necessárias 2 horas para a completa aplicação, sendo muito eficaz e recomendado para explorações em grande escala;
- **Tratamento por imersão:** o processo utiliza colmos secos desprovidos de galhos e folhas que são imersos num reservatório contendo o preservativo que pode ser do tipo de soluções oleosas ou hidrossolúveis frias ou quentes de pentaclorofenol a 5%, de creosoto ou creosoto alquitranado. Devido à maior penetrabilidade das soluções quando quentes, o tempo de imersão pode reduzir-se a umas 2 a 4 horas, mas quando o processo é a frio deve-se aumentar para 5 dias ou mais (CULZONI, 1986);
- **Tratamento por aplicação externa:** o preservativo líquido é aplicado com um pincel em duas ou três demãos sobre a superfície do bambu. É ineficaz quando aplicado ao colmo inteiro já que a casca é impermeável não penetrando o produto. Quando aplicada às fatias ou peças cortadas melhoram-se os resultados devido a maior absorção da parte interna. Uma solução fácil de preparar é feita com 50 g de pentaclorofenol ($\text{Cl}_5\text{C}_6\text{OH}$) dissolvido em 200 ml de álcool 96° GL, adicionando-se em seguida 100 ml de linhaça e completando-se o volume para 1 litro com querosene (MCCLURE, 1993). Para que dê bons resultados, os bambus devem estar com uma umidade em torno de 15%.

2.7. MESO-ESTRUTURA DO BAMBU

A estrutura do bambu em geral pode ser encarada como sendo um material compósito constituído, a grosso modo, por feixes de longas fibras de celulose alinhadas longitudinalmente, unidas por uma substância aglutinante – matriz, a lignina.

O bambu é uma gramínea cuja estrutura pode ser classificada como inteligente. Isto porque tanto sua macroestrutura (diâmetro, espessura, espaçamento entre nós) quanto sua microestrutura (variação da fração volumétrica de fibras de celulose na espessura) desenvolveu-se de forma a otimizar o volume de material frente às solicitações aos quais está sujeito na natureza (peso próprio e flexão devido à força do vento), resultando em um material leve e de excepcionais características mecânicas. A esta otimização natural chama-se Funcionalidade Graduada (GHAVAMI, 2005). A Funcionalidade Graduada da macroestrutura do bambu pode ser observada pela variação do diâmetro e da espessura com a altura, e a da microestrutura é devido à distribuição de fibras de celulose na espessura. Esses feixes de fibras estão distribuídos de tal modo que a zona interna contém de 15% a 30% desses feixes, e a zona externa, de 40% a 70% (CRUZ, 2002 e GHAVAMI, RODRIGUES, PACIORNIK, 2003).

Uma previsão preliminar do comportamento mecânico do bambu em regime elástico pode ser feita utilizando-se as equações da regra das misturas, que dão boa aproximação para as propriedades elásticas dos compósitos a partir das propriedades elásticas de seus constituintes, ou seja, fibras e matriz, e das frações volumétricas destes materiais. Para que se possa utilizar estas equações para análise dos bambus, é necessário considerar a variação da fração volumétrica na espessura da parede dos colmos. GHAVAMI *et al.*, (2000) analisaram o bambu como material compósito através do método de microscopia por Processamento Digital de Imagens (PDI), cuja imagem de variação das fibras na espessura do colmo é apresentada na Figura 2.16.

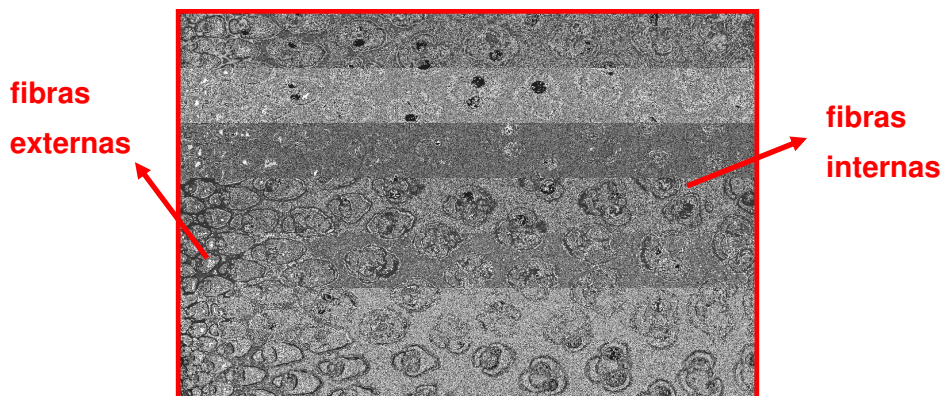


Figura 2.16: Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre. MURAD (2007).

Por meio de imagens obtidas por LIESE (1998) em sua análise da microestrutura do bambu, observa-se que o que se considera uma fibra em análise macroscópica é na verdade um conjunto vascular composto por vasos para transporte de seiva, lignina e fibras de celulose (GHAVAMI *et al.*, 2000). Esse conjunto vascular é mostrado na Figura 2.17.

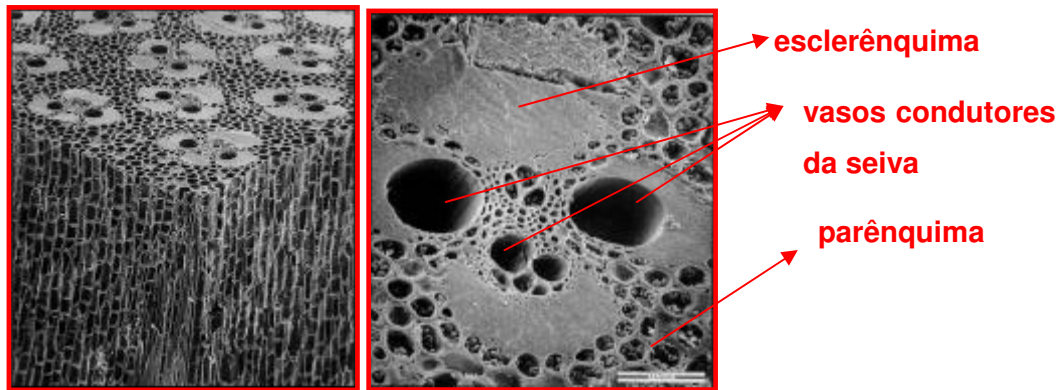


Figura 2.17: Detalhes da microestrutura do bambu – conjunto vascular. LIESE (1998).

A estrutura anatômica da seção transversal é determinada pelo formato, tamanho, disposição e número de canais vasculares, sendo típica de um material graduado funcionalmente (AMADA, 1997). O sistema vascular é composto por fibras e vasos condutores, sendo formados por dois vasos: o metaxilema e o floema, e pelo protoxilema que são artérias principais. Os vasos vasculares são cercados por células parenquimáticas. A espessura da parede do colmo decresce da base até o topo devido à redução de sua parte interna, contendo mais vasos parenquimáticos e menos vasos vasculares. A parte superior do colmo, que contém mais vasos vasculares e menos parenquimáticos, tem maior densidade. Assim, as resistências à tração e à flexão aumentam com o aumento da altura do bambu (LOPEZ, 2003).

A parte externa do colmo é formada por duas camadas de células epidérmicas cobertas por uma camada cutinizada e com cera. Mais internamente ocorre uma camada mais espessa e altamente lignificada, constituída de numerosas células esclerenquimáticas (fibras), dificultando qualquer movimento lateral dos líquidos. O tecido de um colmo é composto pelas células de parênquima, feixes vasculares e fibras. O colmo é composto por 40 % de fibras, 50% de células parenquimáticas, que dá flexibilidade ao bambu, e 10 % de vasos condutores de seiva (LIESE, 1992).

Esclerênquima: regiões mais densas do conjunto vascular. São compostas por micro fibras de celulose sendo responsáveis pela resistência do bambu; os veios são responsáveis pelo transporte de seiva e nutriente das plantas, e a matriz do compósito bambu é composta pelo tecido base denominado parênquima.

Utilizando-se as expressões da regra das misturas pode-se gerar uma equação do comportamento mecânico deste material em regime elástico, que resulta numa boa

aproximação para as propriedades elásticas dos compósitos a partir das propriedades elásticas de seus constituintes (fibra e matriz) e das frações volumétricas destes materiais. A equação 2.1 mostra o cálculo do módulo de elasticidade de um compósito, onde E_c , E_f e E_m são, respectivamente, os módulos de elasticidade do compósito, fibras e matriz, e V_f e V_m são as frações volumétricas de fibras e matriz, daí:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

Considerando-se que o volume total é a soma entre V_f e V_m , pode-se escrever a equação 2.2.

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (2.2)$$

As hipóteses adotadas no desenvolvimento das expressões da regra das misturas são fibras longas, alinhadas, espaçamento uniforme entre as fibras e perfeita aderência entre fibras e matriz. Porém, nas Figuras 2.16 e 2.17, nota-se que tanto a distribuição quanto o tamanho das fibras variam na espessura, sendo que sua concentração aumenta da parede interna para a parede externa do colmo, devido às tensões originadas pelas cargas de vento serem maiores na superfície externa dos bambus. As fibras exercem então uma “funcionalidade graduada” na estrutura do bambu, que por isso são considerados materiais compósitos “inteligentes” (GHAVAMI *et al.*, 2000).

É necessário adaptar essas equações de maneira a se considerar a variação da fração volumétrica das fibras na espessura do bambu para que possamos utilizar as equações da regra da mistura para análise dos bambus. Considerando que esta variação na distribuição das fibras se dê segundo um eixo x , onde a parede interna é a origem e o limite máximo é a parede externa do colmo de bambu, as expressões da regra das misturas passariam a ser representadas na forma da equação 2.3 (GHAVAMI *et al.*, 2000).

$$E_c = f(x) = E_f V_f(x) + E_m (1 - V_f(x)) \quad (2.3)$$

2.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

O bambu por ser um material natural apresenta uma série de fatores que influenciam suas características e propriedades, que variam de acordo com a espécie, idade, tempo de corte, região do talo, umidade, solo e clima local. Um colmo em geral pode ser dividido em três zonas: basal, intermediária e superior.

O bambu é um material que tem baixa massa específica e uma alta resistência mecânica. Essa relação diferencia o bambu dos outros materiais estruturais. O bambu deixa a estrutura mais leve, levando o peso próprio a tornar-se uma parcela considerável no carregamento com materiais mais densos como o concreto.

A densidade dos bambus varia entre 500 a 800 kg/m³, dependendo principalmente do tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras ao redor dos feixes vasculares (PEREIRA, 2001). Assim, na base do colmo a resistência à flexão é 2 a 3 vezes maior na parte externa do que na interna. Estas diferenças são menores à medida que se aproxima do topo, devido ao aumento da densidade na parte interna e redução na espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquima e mais fibras.

Sua umidade natural varia de 13 a 20%, em função da umidade e do clima do local. O bambu é um material higroscópico, já que se dilata com o aumento da umidade e se contrai com sua perda. Essas mudanças são mais acentuadas no diâmetro que no comprimento, ou seja, nota-se que as variações dimensionais são maiores no sentido radial. O sentido circunferencial apresenta pequenas variações em relação ao sentido radial. E praticamente não existe variação no sentido longitudinal (TEIXEIRA, 2003).

Nota-se que nas primeiras 24 horas o bambu absorve aproximadamente 20% de água em peso e, caso permaneça imerso, continua aumentando gradualmente 40% em 7 dias (GHAVAMI e HOMBEECK, 1981 e YOUSSEF, 1979).

GHAVAMI e MARINHO (2001) determinaram a variação do diâmetro, da espessura de parede do colmo e do comprimento internodal de colmos inteiros das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia* provenientes do Jardim Botânico – RJ, e *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, *Mosó* e *Matake* de São Paulo. Observaram que a espécie *Dendrocalamus giganteus* apresenta maiores comprimento internodal, diâmetro externo e espessura, quando comparado com outras espécies de bambu. Obtiveram resultados semelhantes à pesquisa realizada por GHAVAMI e TOLEDO (1992), onde determinaram propriedades como côm, comprimento, distância internodal, diâmetro externo, espessura da parede, teor de umidade e peso específico para duas espécies provenientes do Estado da Paraíba.

2.9. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Como todo material natural o bambu tem alterações em suas características mecânicas devido a uma infinidade de fatores como a espécie, idade da planta, tempo de corte e fatores que fogem ao controle humano como condições climáticas, teor de umidade das amostras, solo do bambuzal. Sendo a idade, a espécie e região do colmo importantes variáveis para a determinação de suas propriedades.

O conhecimento das tensões a que estarão submetidos decorrentes da ação de várias forças é de fundamental importância para o dimensionamento correto do bambu em peças estruturais. A resistência atingida será função da resistência do material e dos defeitos que debilitam as seções. Os corpos-de-prova são confeccionados conforme normas do INBAR (1999) – ISO 22157 e propostas de ensaios elaboradas por GHAVAMI *et al.*, (1988).

A estrutura fibrosa, em feixes, do bambu favorece a resistência à tração axial, porém, quando solicitado axialmente, raramente rompe por tração pura (CULZONI, 1986). A principal causa disto reside nas tortuosidades dos feixes e nas mudanças de seções, geralmente nos nós, onde se interrompem as fibras, se reduzem às áreas resistentes e originam-se, na peça, solicitações secundárias de compressão normal, cisalhamento e fendilhamento, às quais o material oferece menor resistência. Segundo BERALDO *et al.*, (2003), a resistência à tração axial do bambu, em algumas espécies, pode atingir 370 MPa. Isso torna atrativo o uso do bambu como substituto do aço. Em geral a resistência à tração axial do bambu, com e sem nó, situa-se entre 40 MPa e 215 MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 GPa e 18 GPa.

Em ensaios conduzidos por GHAVAMI e HOMBEECK (1981), conclui-se que a resistência das diversas porções não difere substancialmente. Entretanto, nas regiões inferiores, pela seção transversal maior, são conseguidas cargas últimas maiores. Sendo o nó um ponto de descontinuidade das fibras e de mudanças dimensionais, surgem nele concentrações de tensões quando submetido a esforços. GHAVAMI e HOMBECK (1981) observaram, em ensaios de tração, que na maioria dos testes a ruptura ocorreu próximo ao nó, e que a parte basal apresentou maior carga de ruptura por ter maior seção transversal.

A curva tensão-deformação específica nos ensaios de compressão é quase linear. A resistência à compressão situa-se na faixa de 20,0 MPa a 120 MPa e o módulo de elasticidade varia entre 2,60 GPa e 20,0 GPa (BERALDO *et al.*, 2003). GHAVAMI e SOUZA (2000) estudaram as propriedades mecânicas do bambu *Mosó* tratado e cru, e obtiveram valores de 49,3 MPa para o bambu cru e 31,0 MPa para o bambu tratado, o que corresponde a uma queda de 37,2 % na resistência à compressão. O módulo de elasticidade longitudinal as fibras foi de 10,3 GPa e 8,77 GPa para os bambus cru e tratado respectivamente, o que representa uma queda de 14,6 %.

Segundo JANSSEN (1980), a resistência ao cisalhamento do bambu ao longo das fibras é somente de cerca de 8 % da resistência à compressão. GROSSER e LIESE (1974) afirmam que a resistência ao cisalhamento aumenta com a diminuição da espessura da parede, ou seja, da base para o topo da peça do bambu. Argumentam que a porcentagem de esclerênquima (tecido de sustentação do bambu, elemento que proporciona resistência ao material) aumenta com a diminuição da espessura da parede. Em geral, quanto menor a

espessura da parede do bambu, maior é a resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento transversal às fibras do bambu situa-se em torno de 30 % de sua resistência à flexão, ou seja, em torno de 32,0 MPa (variando entre 20,0 MPa e 65 MPa). A resistência ao cisalhamento interlaminar é de, aproximadamente, 15% de sua resistência à compressão, ou seja, em torno de 6,00 MPa, com variação de 4,00 a 10,0 MPa (BERALDO *et al.*, 2003).

LEE *et al.* (1994), estudaram as características mecânicas da espécie *Phyllostachys bambusoide*, utilizando amostras de 14,0 cm de diâmetro médio e comprimento aproximado de 9 m. Foram realizados ensaios de flexão, tração e compressão seguindo as recomendações da ASTM D-1037 em 376 elementos de bambu verdes e 371 secos ao ar. A média dos valores atingidos durante o ensaio é apresentada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Resistência mecânica da espécie *Phyllostachys bambusoide* (LEE *et al.*, 1994).

Solicitação	Resistência (MPa)	
	Colmos verdes	Colmos secos ao ar
Compressão	31,3	43,1
Tração	102	123
Módulo de elasticidade à flexão	7350	10890

2.10. BAMBU LAMINADO COLADO / CONTRAPLACADO

O BLC pode ser considerado um material leve com massa específica aparente situada na faixa de 0,50 g/cm³ a 0,75 g/cm³. 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. A impermeabilização da superfície do BLC deve ser buscada visando sua proteção contra as intempéries. A análise estatística indicou a influência das variáveis testadas (espécies de bambu, tipos de tratamentos e de adesivos) e de suas interações nas propriedades do BLC. Não foi possível evidenciar a melhor combinação entre as variáveis (espécie de bambu, tratamento químico e tipo de adesivo) e que atendessem a todas as propriedades avaliadas do BLC (BERALDO, *et al.*, 2003 *apud* KRAUSE, 2009).

As amostras de bambu laminado, quando comparadas às espécies de madeira de mesma faixa de densidade, apresentaram valores bem superiores de resistência à flexão e à tração paralela as fibras. Valores próximos ou pouco superiores foram observados para as propriedades de resistência à compressão paralela, cisalhamento e dureza (GARBINO, *et al.*, 2002 *apud* KRAUSE, 2009).

O estudo comparativo entre os diferentes tipos de adesivos demonstrou que o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona se mostrou bastante eficiente podendo, em

determinadas situações, mostrar-se competitivo com os adesivos comerciais. No entanto, visando uma utilização estrutural, a aplicação do adesivo não deverá ser feita com o auxílio de um pincel. Deve-se efetuar a mistura dos dois componentes em um saco plástico, sem a presença de ar e, com o auxílio de uma bisnaga, deve-se efetuar a aplicação do mesmo sobre as régua de bambu, evitando-se, assim, a formação de bolhas de ar, que provocarão enfraquecimento da linha de cola do BLC (LAPO, *et al.*, 2008 *apud* KRAUSE, 2009).

2.10.1. Estruturas Reticuladas Espaciais de Bambu

É sabido que os perfis que melhor resistem a esforços axiais, sejam estes de tração ou compressão, são os cilíndricos. Em se tratando de estruturas aplicadas à engenharia civil a geometria das cascas cilíndricas (ou perfis tubulares) mostra-se mais eficiente, posto que sua geometria oca proporciona economia de material associada à resistência à flambagem. Assim sendo o bambu apresenta-se naturalmente como um material otimizado para a construção de treliças espaciais.

A Figura 2.18 mostra uma treliça espacial construídas com bambu e nós de aço.

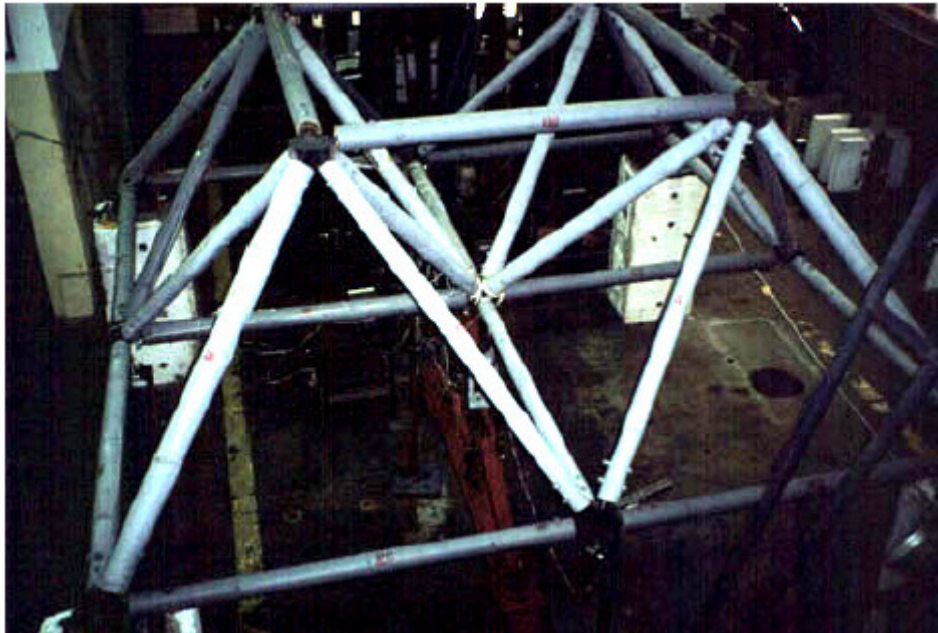


Figura 2.18: Treliça de *Dendrocalamus giganteus* com nós de aço. MOREIRA (1991).

É mostrado na Figura 2.19 uma treliça espacial construídas com bambu e ligações de PVC.

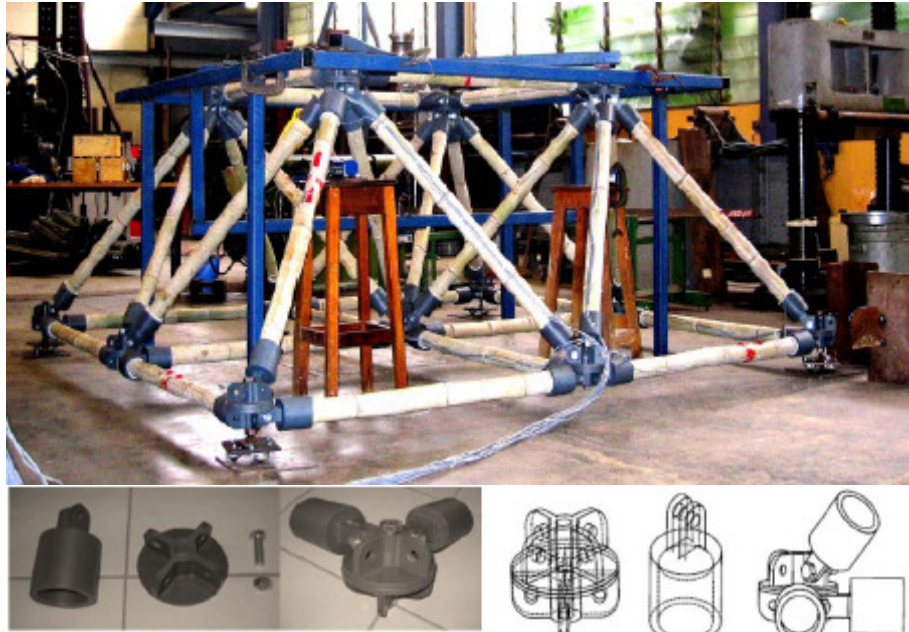


Figura 2.19: Treliça espacial de *Phyllostachys pubescens* com ligações de PVC. ALBERMANI, et al.(2007) *apud* KRAUSE (2009).

2.10.2. Ponteiras e nós

Sabe-se que uma das maiores dificuldades para a adoção do bambu como material de uso estrutural corrente é a elaboração de conexões que não o solicitem ao cisalhamento, esforço ao qual é notoriamente pouco resistente. Esta limitação atinge diretamente os modos mais simples de conexão: pinadas e parafusadas (KRAUSE, 2009).

Para minimizar esse problema KRAUSE (2009), com base nos trabalhos de MOREIRA (1991) e MOREIRA (1998) desenvolveu um novo sistema de conexão composto por ponteiras - ajustáveis ao diâmetro variável do bambu – e nós em BLC.

A Figura 2.20 mostra a ponteira desenvolvida por KRAUSE (2009) montada e em vista explodida.

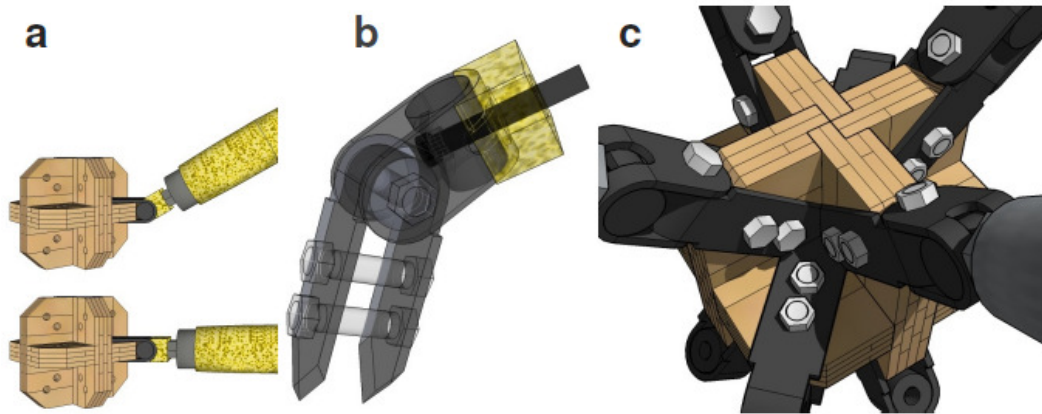


Figura 2.22: a) esquema de angulação das barras. b) Sistema de pinça ideal com três graus de liberdade para ajuste. c) Intertravamento das pinças no encaixe das conexões no nó. KRAUSE (2009).

Nos ensaios realizados, KRAUSE (2009) obteve 10 kN como a força máxima resistida. Logo se sugere que as ligações que ultrapassarem esse valor sejam feitas de aço.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

O trabalho em estudo foi desenvolvido nos seguintes laboratórios: Laboratório de estruturas e materiais da Universidade Federal do Acre – UFAC; Laboratório de Madeiras da Fundação Tecnológica do Estado do Acre – FUNTAC; e Laboratório de Materiais Conjugados do Centro Tecnológico da Madeira e do Mobiliário CETEMM / SENAI. Tendo por objetivo determinar as propriedades físicas (peso específico, absorção de água, estabilidade dimensional, teor de umidade natural) e mecânicas (resistência à tração, à compressão axial e ao cisalhamento interlaminar) do bambu da espécie *Guadua spp*, com idade aproximada de três anos e proveniente de um bambuzal localizado na Reserva Chico Mendes, em Assis Brasil – Acre.

A nomenclatura utilizada para a identificação da amostra foi igual a do exemplo a seguir: **C3B2**, onde:

C3 – número do colmo;

B – base – amostra retirada da região basal;

2 – número da amostra.

As propriedades físicas e mecânicas dos colmos de bambu estão fortemente relacionadas com sua estrutura anatômica. Macroscopicamente, as propriedades mecânicas do colmo são determinadas pelo peso específico, o qual varia aproximadamente de 5,00 kN/m³ a 9,00 kN/m³. O peso específico depende principalmente do conteúdo de fibras, diâmetro das fibras e espessura da parede das células, daí varia consideravelmente dentro do colmo e entre diferentes espécies (LIESE, 1998).

Os ensaios para a determinação das características físicas e mecânicas foram realizados de acordo com as normas propostas pelo INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN (INBAR, 1999), com exceção dos ensaios de tração que foram de acordo com GHAVAMI (1998) e cisalhamento interlaminar que teve como precedentes ensaios realizados por MOREIRA (1991) e MURAD (2007).

A Figura 3.1 ilustra a estrutura da pesquisa realizada.

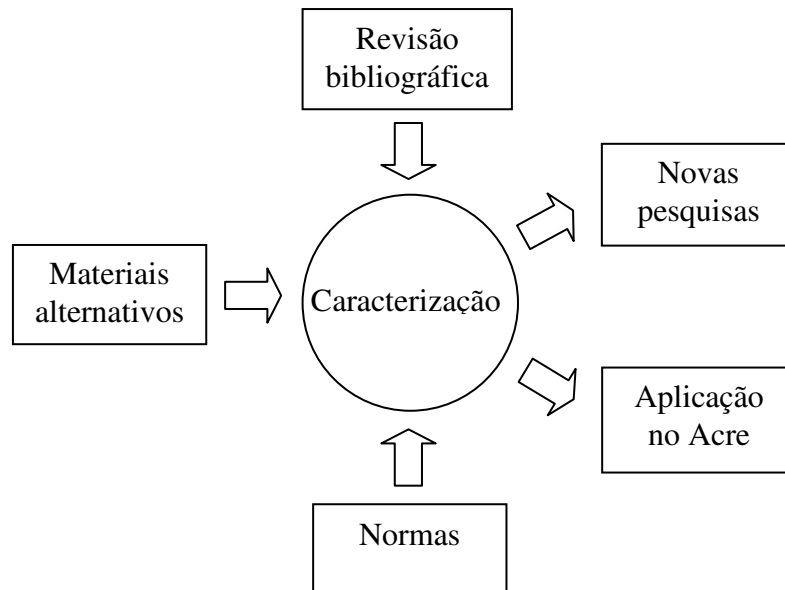


Figura 3.1: Estrutura da pesquisa.

3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

Foram determinadas as características físicas de absorção de água, peso específico, teor de umidade natural e estabilidade dimensional. Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Madeira da FUNTAC.

3.1.1. Absorção de água

O objetivo do ensaio de absorção é medir o aumento do peso do bambu quando estes permanecerem imersos em água. Os corpos-de-prova secos ao ar são “pesados” e logo em seguida imersos em água para que fiquem na condição de saturado P_n . Utilizando-se uma balança eletrônica com precisão de 0,01 g, eles são pesados a cada 24 horas.

A quantidade de água absorvida é obtida, em porcentagem, em relação ao peso seco ao ar pela seguinte fórmula:

$$A = \left(\frac{P_n - P_s}{P_s} \right) 100 \quad (3.3)$$

3.1.2. Peso específico

Para se determinar o peso específico γ , os corpos-de-prova (Figura 3.2), com dimensões 25 mm x e x 25 mm, têm suas massas aferidas em balança eletrônica com precisão de 0,01 g na condição de seco ao ar P_s , e depois medido seu volume V utilizando-se um picnômetro com precisão de 0,25 ml. Eles se encontram secos ao ar após permanecerem estocados horizontalmente e em local coberto durante dois meses.



Figura 3.2: Corpo-de-prova para os ensaios de peso específico, teor de umidade natural, absorção de água e estabilidade dimensional.

O peso específico é dado por:

$$\gamma = \frac{P_s}{V} \quad (3.1)$$

3.1.3. Estabilidade dimensional – inchamento e retração

Para medir as variações dimensionais nos corpos-de-prova fixam-se pares de pontos com caneta esferográfica em faces opostas ao longo da direção longitudinal, circunferencial e radial. As dimensões dos corpos-de-prova secos ao ar foram medidas com um paquímetro e posteriormente os mesmos foram imersos na água. A cada 24 horas são feitas novas medições.

As variações em relação às dimensões secas são obtidas por:

$$V = \left(\frac{D_v - D_s}{D_s} \right) 100 \quad (3.4)$$

3.1.4. Teor de umidade natural

Os corpos-de-prova tem suas massas aferidas na condição de secos ao ar P_s e de secos em estufa P_0 . A condição de seco em estufa é atingida quando a diferença de peso, após duas passagens consecutivas dos corpos-de-prova pela estufa a 103 ± 2 °C for inferior a 0,01 g.

O teor de umidade natural h é expresso percentualmente em relação ao peso seco em estufa pela fórmula:

$$h = \left(\frac{P_s - P_0}{P_0} \right) 100 \quad (3.2)$$

3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Foram determinadas as características mecânicas de resistência à tração, compressão axial e cisalhamento interlaminar. Os ensaios mecânicos de resistência à compressão axial foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais – LEM da UFAC e os ensaios de resistência à tração e cisalhamento foram realizados no Laboratório de Materiais Conjugados – LMC do CETEMM / SENAI. A fim de determinar corretamente as dimensões das peças estruturais é necessário o conhecimento das tensões à que estarão submetidas sob a ação de várias forças. A resistência atingida será função da resistência do material e dos defeitos (principalmente nós) que delimitam as seções (CULZONI, 1986).

Foi proposta a divisão da espessura dos corpos-de-prova sem nó em duas fatias para determinar a resistência à tração em função da espessura, ou seja, desde a região mais externa, onde se tem uma maior concentração de fibras, até a região mais interna da parede do colmo, onde a concentração de fibras é menor, tendo como precedente os ensaios realizados por MURAD (2007) para o bambu *Guadua weberbaueri*.

3.2.1. Determinação da resistência à tração

Para determinar a resistência à tração σ_t e o módulo de elasticidade E da espécie *Guadua spp* foram selecionados três colmos, os quais foram analisados no seu estado de seco ao ar. Para o estudo em questão foram confeccionados três corpos-de-prova de cada região do colmo, de acordo com GHAVAMI (1998), analisando corpos-de-prova com e sem a presença de nós. Foram cortadas tiras de bambu com comprimento de 200 mm por 10 mm de largura e a espessura própria da parede do colmo, de onde foi retirada a amostra.

Em seguida foi feito o fatiamento proposto. Para evitar o esmagamento das fibras e o escorregamento do bambu durante a aplicação de carga foram utilizadas chapas de alumínio com 10 mm de largura por 50 mm de comprimento e espessura em torno de 1,0 mm. Essas foram coladas no bambu utilizando *SIKADUR 32 (Sika)* e arranhadas para melhorar a aderência entre o corpo-de-prova a ser ensaiado e a garra da máquina de ensaio. Os corpos-de-prova foram tratados com produto químico Jimo Cupim®. As Figuras 3.3 e 3.4 representam as dimensões e os corpos-de-prova para este ensaio.

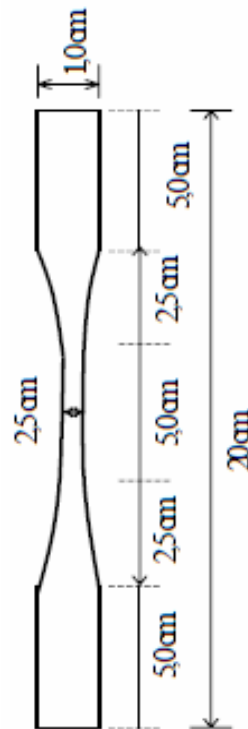


Figura 3.3: Dimensões dos corpos-de-prova para ensaio à tração.



Figura 3.4: Corpos-de-prova para ensaio à tração.

As deformações específicas longitudinais foram calculadas por meio da relação entre o deslocamento do travessão da máquina e a distância entre as pontas das placas de alumínio, sendo desenhadas no diagrama tensão *versus* deformação específica até a ruptura. Para garantir que a deformação longitudinal lida seja verdadeira, tomou-se o cuidado de verificar se não houve o deslizamento entre o corpo-de-prova e o mordente da máquina de ensaio. Caso ocorresse deslizamento, o corpo-de-prova era eliminado. A velocidade da máquina de ensaio foi ajustada em 2 mm / min. A Figura 3.5 ilustra o ensaio de resistência à tração.

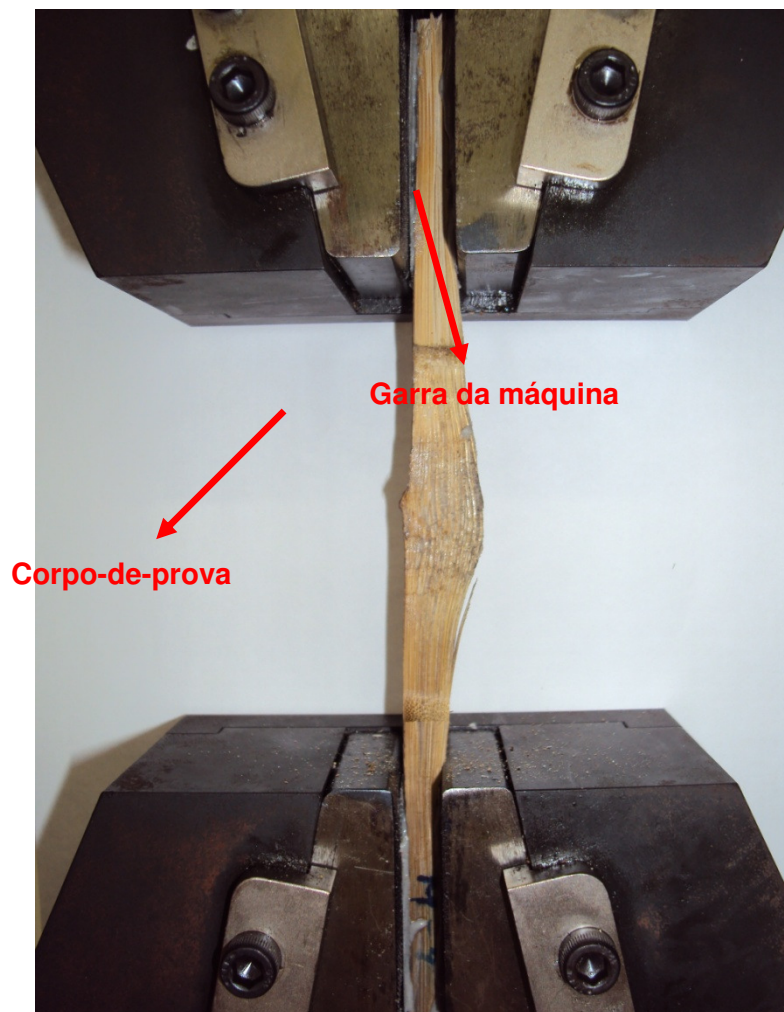


Figura 3.5: Ensaio de resistência à tração.

Foram ensaiados três corpos-de-prova de cada região, com e sem nó, para cada um dos 3 colmos analisados. Os corpos-de-prova sem nó foram fatiados ao meio, ao longo do eixo longitudinal, como proposto, totalizando 81 corpos-de-prova.

Usou-se a nomenclatura a seguir para os corpos-de-prova:

BSNE – Base Sem Nó Externa;
 BSNI – Base Sem Nó Interna;
 MSNE – Meio Sem Nó Externa;
 MSNI – Meio Sem Nó Interna;
 TSNE – Topo Sem Nó Externa;
 TSNI – Topo Sem Nó Interna;
 BSN – Base Sem Nó;
 MSN – Meio Sem Nó;
 TSN – Topo Sem Nó.
 BCN – Base Com Nó;
 MCN – Meio Com Nó;
 TCN – Topo Com Nó.

Onde a designação base, meio e topo refere-se à região do colmo a qual o corpo-de-prova foi retirado, e, externo e interno refere-se à localização do corpo-de-prova fatiado ao longo da espessura da parede do colmo (Figura 3.6).

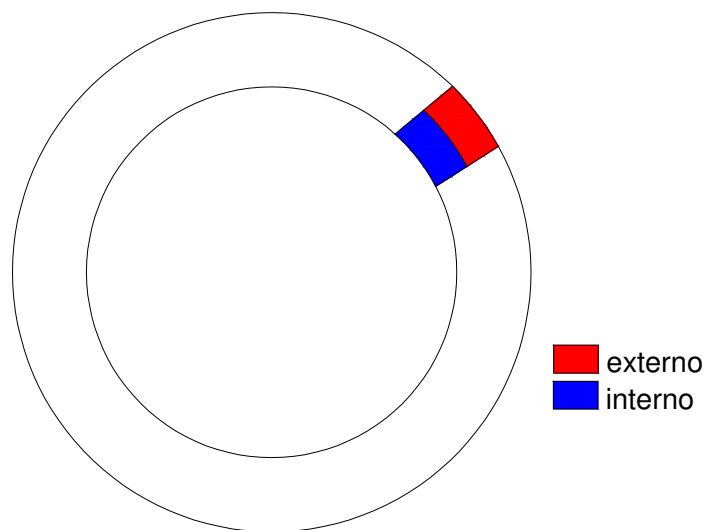


Figura 3.6: Corte transversal do colmo do bambu *Guadua spp.*

Os corpos-de-prova onde foram detectadas anomalias no material durante sua preparação ou durante a realização do ensaio, foram descartados.

3.2.2. Resistência ao cisalhamento interlaminar

Para a determinação da tensão de cisalhamento interlaminar τ ao longo das fibras, utilizam-se as normas de estruturas de madeira adaptadas para bambu tendo como

precedente os ensaios realizados por MOREIRA (1991), de acordo com proposta de normalização de ensaio elaborada por GHAVAMI (1998). Foram retirados três corpos-de-prova com e sem nó da região basal medindo 200 mm de comprimento por 10 mm utilizando-se serra fita e lixadeira elétrica, para em seguida fazer o fatiamento proposto em espessura de 2,0 mm. Foram feitos entalhes de 1,0 mm de largura até o eixo de simetria (Figura 3.7), tendo cuidado para que os cortes transversais não ultrapassassem esse eixo, pois quando isto ocorre o corpo-de-prova pode romper por esforço de tração, tornando o resultado pouco confiável. Os corpos-de-prova foram tratados com produto químico Jimo Cupim®.

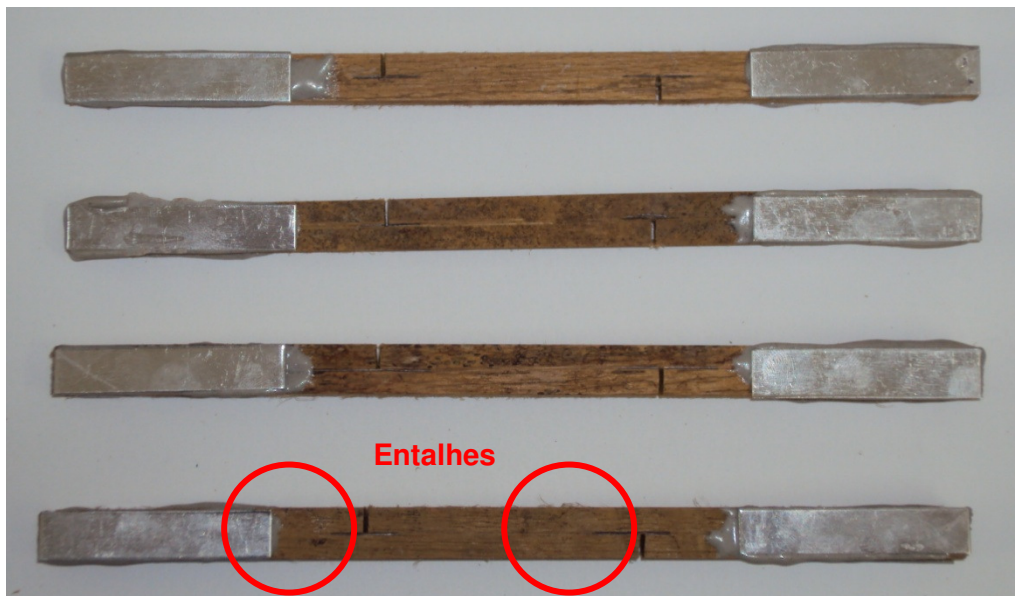


Figura 3.7: Corpos-de-prova de ensaio de resistência ao cisalhamento.

Assim como no ensaio de tração também foram utilizadas chapas de alumínio para evitar o esmagamento das fibras e o escorregamento do corpo-de-prova durante a aplicação de carga.

3.2.3. Resistência à compressão axial

Para determinar a resistência à compressão f_b dos corpos-de-prova submetidos à carga de compressão paralela às fibras foram selecionados três colmos, os quais foram tratados com produto químico Jimo Cupim® e retirados da sua base, meio e topo, três amostras com e sem nó. Os ensaios foram realizados no LEM da UFAC em uma máquina de ensaio universal EMIC, para ensaios de compressão axial, de acordo com a norma proposta pelo INBAR (1999) – ISO 22157, onde a altura do corpo-de-prova de bambu deve ser igual ao seu diâmetro.

Após o corte dos bambus no comprimento ideal ($L = D$), foram niveladas as superfícies dos mesmos com massa epóxi (Plastic), e lixadas as faces laterais marcadas, para torná-las lisas e paralelas.

A partir dos valores obtidos, plotou-se a curva tensão – deformação específica.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

4.1.1. Absorção de água

Foram ensaiados 54 corpos-de-prova medindo 25 mm x e mm x 25 mm (largura x espessura x comprimento), onde e = espessura da parede do colmo. A Tabela 4.1 mostra a média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água, calculados por meio da expressão 3.3.

Tabela 4.1: Absorção de água do bambu *Guadua spp.*

		Absorção de água								
	Tempo (h)	0	24	48	72	96	120	144	168	192
Base	Massa (g)	5,28	8,37	8,94	9,23	9,61	9,72	9,87	9,88	9,94
	Absorção (%)	0,0	58,5	69,4	74,9	82,0	84,1	87,1	87,2	88,4
Meio	Massa (g)	4,24	6,55	6,76	7,04	7,24	7,36	7,52	7,54	7,59
	Absorção (%)	0,0	54,5	59,4	66,1	70,9	73,7	77,3	77,9	79,0
Topo	Massa (g)	3,75	5,51	5,77	5,89	6,22	6,35	6,44	6,45	6,49
	Absorção (%)	0,0	47,0	53,9	57,2	65,8	69,3	71,7	72,0	73,0
	Média	0	53,3	60,9	66,1	72,9	75,7	78,7	79,0	80,2
	Desv. Pad.	0	5,87	7,83	8,88	8,29	7,59	7,77	7,64	7,75
	C.V.	0	0,11	0,13	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10

Observa-se que a maior absorção ocorreu nas primeiras 24 horas. A média dos valores encontrado nesse período foi de 58,5%, 54,5% e 47,0% para corpos-de-prova da base, meio e topo respectivamente. No sexto dia deu-se o início ao processo de estabilização da absorção e chegou-se a saturação no oitavo dia.

Na Figura 4.1 pode-se visualizar as informações referente à absorção de água contidas na Tabela 4.1

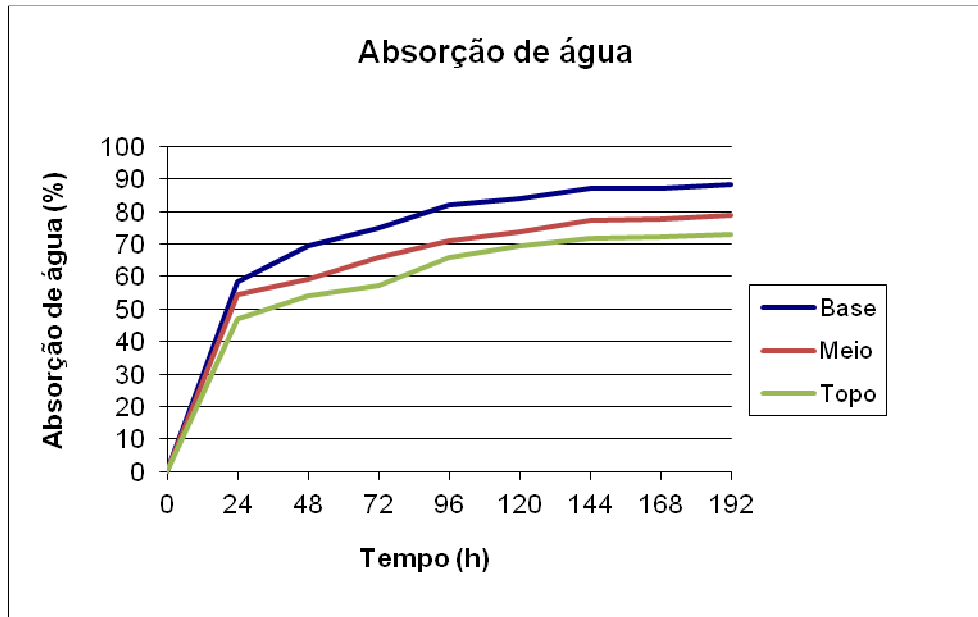


Figura 4.1: Absorção de água do bambu *Guadua spp* maduro, idade estimada 3,5 anos.

Na Tabela 4.2 são mostradas as médias de absorção de água do bambu em estudo e de outras espécies.

Tabela 4.2: Comparação da absorção de água do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Absorção de água (%) - saturado					
	<i>Gsp</i>	<i>Gw</i>	<i>Ga</i>	<i>Gv</i>	<i>Dg</i>
Base	88,4	59,8	73,4	64,1	57,0
Meio	79,0	-	71,8	52,9	37,6
Topo	73,0	-	57,7	47,6	34,8
Média	80,2	59,8	67,6	54,8	43,1
Desvio padrão	7,75	-	8,63	8,44	12,08
C.V.	0,10	-	0,13	0,15	0,28

Sendo:

Gsp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Gv – *Guadua verticillata* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Dg – *Dendrocalamus giganteus* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

– dado não disponível.

Os resultados contidos na Tabela 4.2 são ilustrados na Figura 4.2 para melhor visualização.

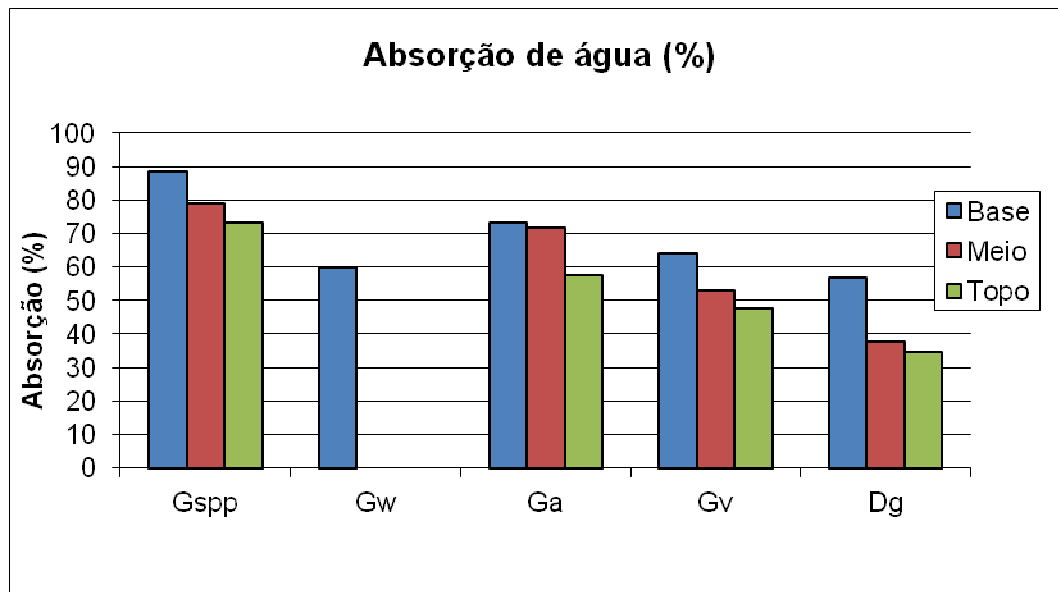


Figura 4.2: Comparação da absorção de água do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Sendo:

Gspp – *Guadua spp* em estudo;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Gv – *Guadua verticillata* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Dg – *Dendrocalamus giganteus* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));.

Observa-se na Tabela 4.2 e na Figura 4.2 que o bambu em estudo apresentou a maior absorção. A média do valor encontrado nesse período foi de 88,4%, 79,0% e 73,0% para corpos-de-prova da base, meio e topo respectivamente. Pode-se notar que, no geral, os bambus do gênero *Guadua* apresentam uma absorção maior que os do gênero *Dendrocalamus*. Observa-se também que a absorção de água decresce no sentido da base para o topo.

4.1.2. Peso específico

Foram ensaiados 18 corpos-de-prova de cada uma das três regiões do colmo. A média dos resultados do ensaio de peso específico foi de 6,91 kN/m³, 7,19 kN/m³ e 7,30 kN/m³ para as regiões da base, meio e topo, respectivamente.

Pode-se ver na Tabela 4.3 a comparação do peso específico do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Tabela 4.3: Comparação do peso específico da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

	Peso específico - kN/m ³						
	Espécie						
	<i>G_{spp}</i>	<i>G_w</i>	<i>G_s</i>	<i>D_g</i> (1)	<i>D_g</i> (2)	<i>D_g</i> (3)	<i>D_g</i> (4)
Base	6,91	8,15	7,50	7,60	7,31	8,60	8,50
Meio	7,19	-	7,75*	8,40	-	9,80	8,30
Topo	7,30	-	8,00	8,40	-	8,20	8,00
Média	7,13	8,15	7,75	8,13	7,31	8,87	8,27
Desvio padrão	0,20	-	0,25	0,46	-	0,83	0,25
C.V.	0,03	-	0,03	0,06	-	0,09	0,03

Sendo:

G_{spp} – Espécie em estudo;

G_w – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

G_s – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

D_g (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a) – unidade transformada;

D_g (2) – *Dendrocalamus giganteus* (ROSA, 2005);

D_g (3) – *Dendrocalamus giganteus* RJ (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

D_g (4) – *Dendrocalamus giganteus* PB (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

* média entre valores da região basal e apical;

– dado não disponível.

Na Figura 4.3 pode-se ver a comparação do peso específico da região basal do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

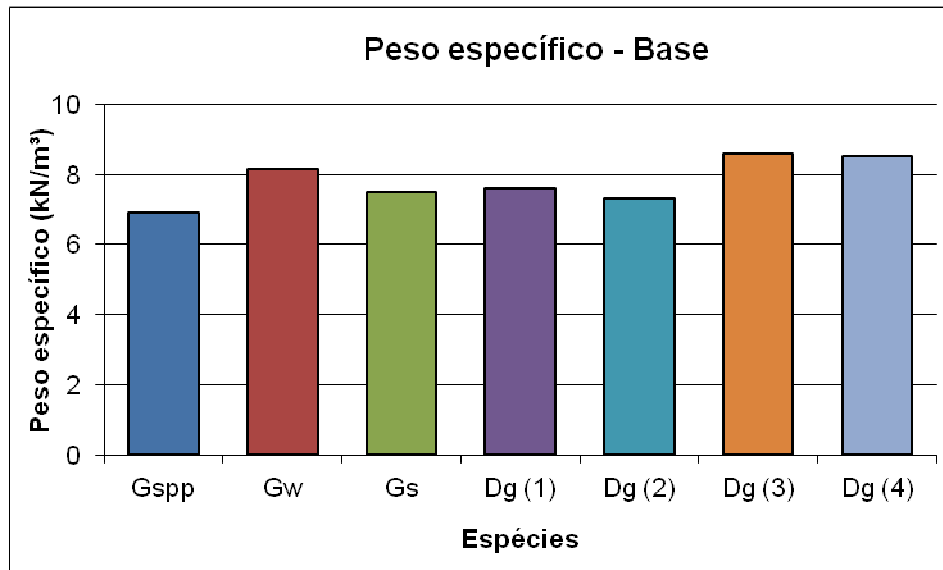


Figura 4.3: Comparação do peso específico (base) da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

Na Figura 4.4 pode-se ver a comparação do peso específico da região mediana do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

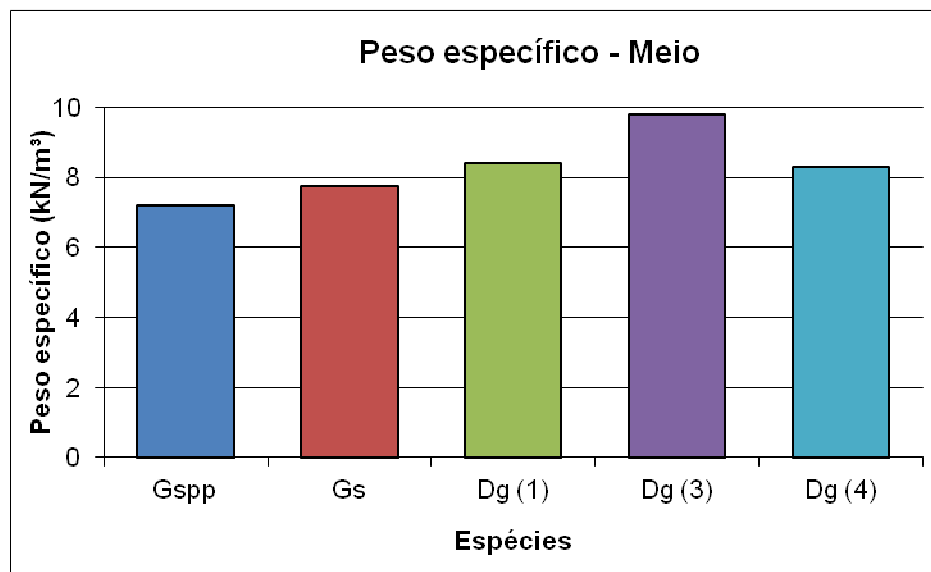


Figura 4.4: Comparação do peso específico (meio) da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

Na Figura 4.5 pode-se ver a comparação do peso específico da região apical do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

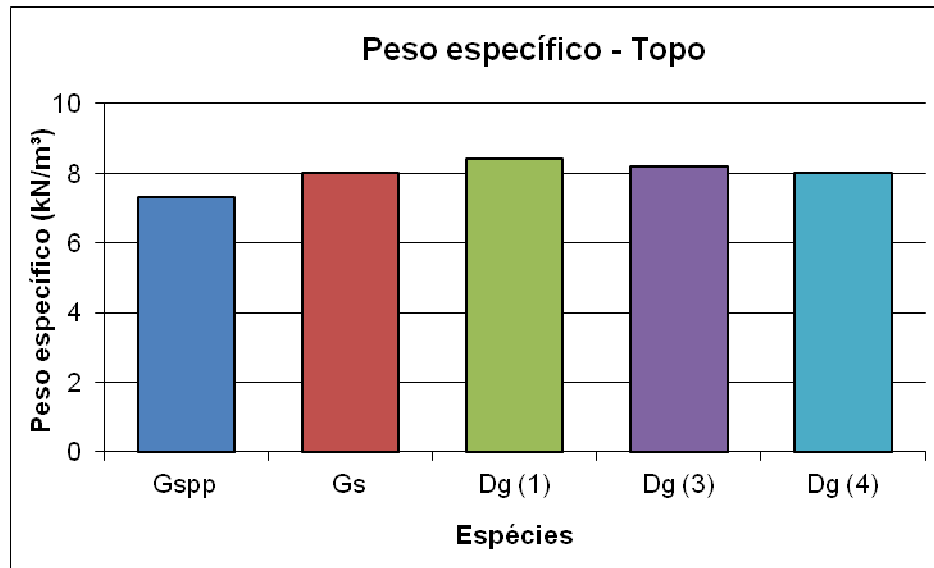


Figura 4.5: Comparação do peso específico (topo) da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

O peso específico da espécie em estudo se enquadrou dentro dos valores de outras espécies estudadas por MURAD (2007), PEREIRA (2006a), ROSA (2005), GHAVAMI e TOLEDO FILHO (1992) e CULZONI (1986).

4.1.3. Estabilidade dimensional – inchamento e retração

4.1.3.1. Inchamento

Foram ensaiados cinquenta e quatro corpos-de-prova medindo 25 mm x e mm x 25 mm (largura x espessura x comprimento), onde e = espessura da parede do colmo. Foram analisadas as seguintes variações de dimensões: variação radial (VR), variação longitudinal ou axial (VL) e variação circunferencial ou tangencial (VC).

Na Tabela 4.4 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de inchamento.

Tabela 4.4: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie *Guadua spp.*

Estabilidade dimensional - Inchamento (%)								
Tempo (h)		24	48	72	96	120	144	168
Base	VR (%)	12,96	14,61	15,21	15,66	15,69	15,75	15,75
	VL (%)	0,43	0,63	0,93	0,97	0,97	0,97	0,97
	VC (%)	6,67	7,33	7,81	7,94	7,96	8,00	8,00
Meio	VR (%)	12,82	13,93	14,87	15,14	15,20	15,24	15,24
	VL (%)	0,34	0,56	0,77	0,86	1,32	1,32	1,32
	VC (%)	5,84	6,33	6,62	6,79	6,85	6,87	6,87
Topo	VR (%)	9,91	11,32	11,91	12,48	12,56	12,67	12,67
	VL (%)	0,57	0,78	0,33	1,18	1,18	1,18	1,18
	VC (%)	4,41	5,06	5,22	5,40	5,41	5,44	5,44
Média	VR (%)	11,90	13,29	14,00	14,43	14,48	14,55	14,55
	VL (%)	0,45	0,66	0,68	1,00	1,16	1,16	1,16
	VC (%)	5,64	6,24	6,55	6,71	6,74	6,77	6,77
Desvio Padrão	VR (%)	1,72	1,74	1,81	1,70	1,68	1,65	1,65
	VL (%)	0,12	0,11	0,31	0,16	0,18	0,18	0,18
	VC (%)	1,14	1,14	1,30	1,28	1,28	1,28	1,28
C.V.	VR (%)	0,145	0,131	0,130	0,118	0,116	0,114	0,114
	VL (%)	0,257	0,174	0,459	0,162	0,153	0,153	0,153
	VC (%)	0,203	0,183	0,198	0,190	0,190	0,189	0,189

Na Figura 4.6 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de inchamento para a região basal.

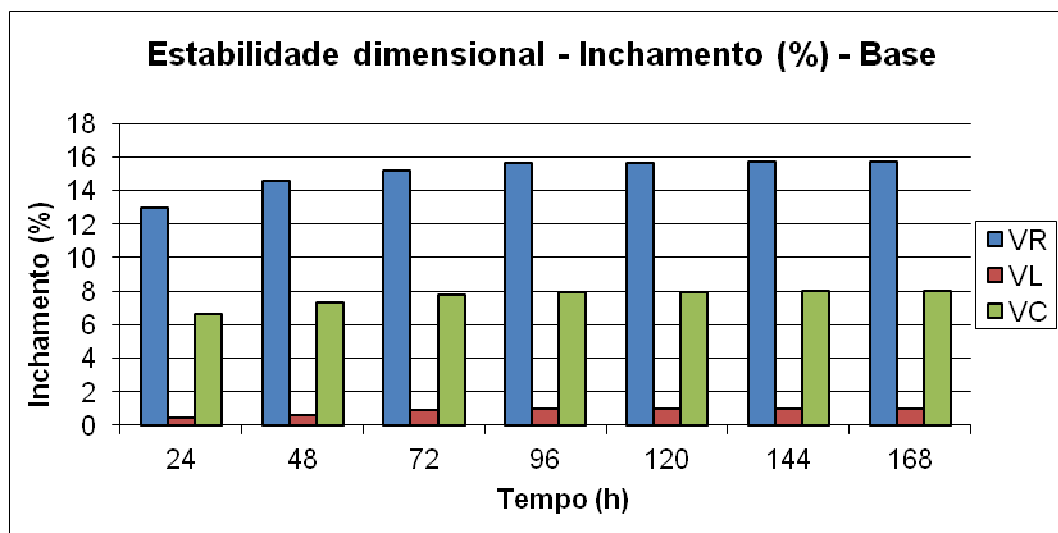


Figura 4.6: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie *Guadua spp.* – região basal.

Na Figura 4.7 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de inchamento para a região mediana.

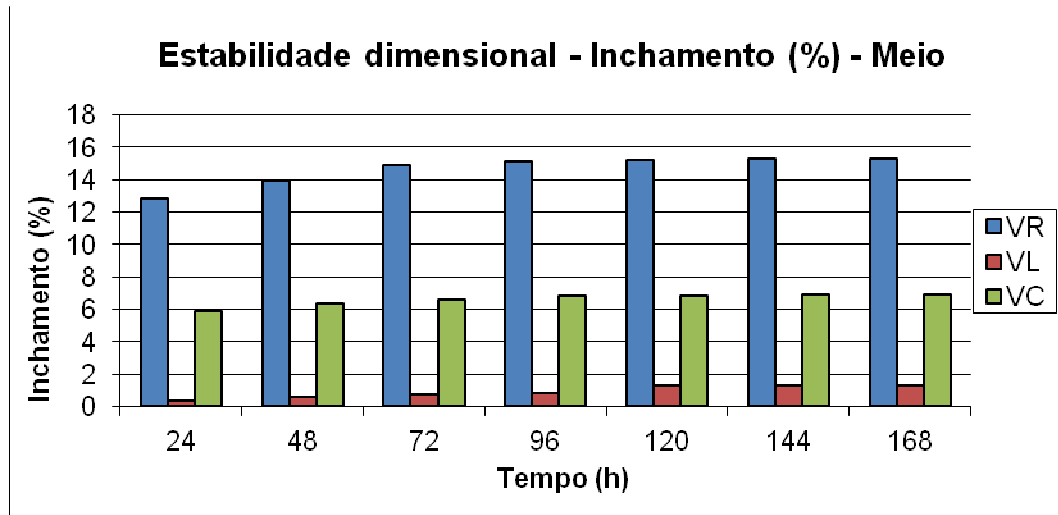


Figura 4.7: Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie *Guadua spp* – região mediana.

Na Figura 4.8 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de inchamento para a região apical.

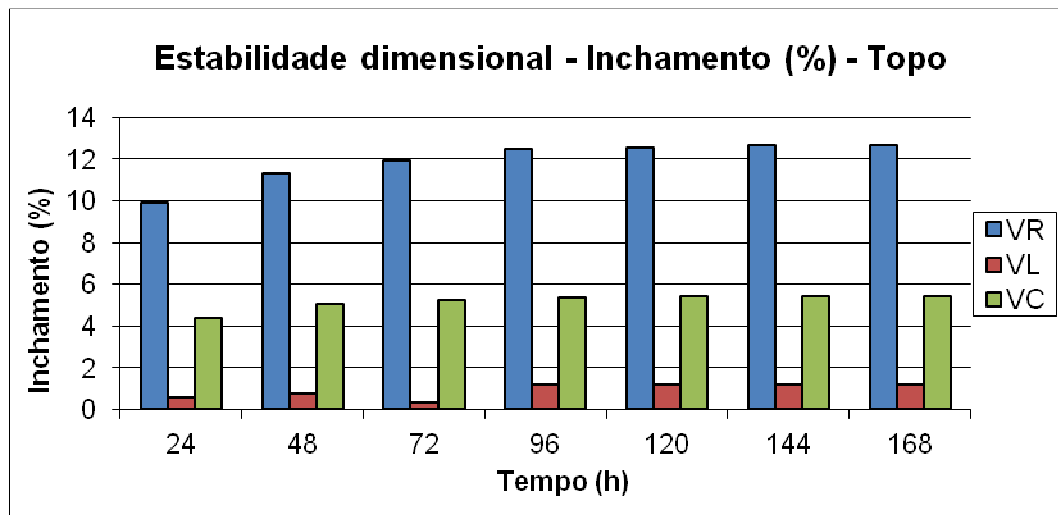


Figura 4.8 :Valores médios de variações dimensionais por inchamento da espécie *Guadua spp* – região apical.

Na Tabela 4.5 nota-se que as variações das dimensões são maiores no sentido radial, chegando ao valor de 15,8% na base, 15,2% no meio e 12,7% no topo. O sentido circunferencial também acusa variações de absorção, porém menores que as radiais, com valores de 8,00% na base, 6,87% no meio e 5,44% no topo. No sentido longitudinal a variação foi mínima, atingindo o valor de 0,97% na base, 1,32% no meio e 1,18% no topo.

A Tabela 4.5 apresenta um resumo dos valores de VR, VL e VC para o bambu em estudo e para outras espécies estudadas por MURAD (2007), PEREIRA (2006a), e CULZONI (1986).

Tabela 4.5: Comparação das variações dimensionais por inchamento do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Estabilidade dimensional - inchamento (%)													
	Base					Meio				Topo			
	<i>Gspp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)
VR	15,75	16,69	11,30	3,14	8,10	15,24	11,10	2,69	5,30	12,67	10,82	3,39	6,20
VL	0,97	0,52	0,13	0,07	0,12	1,32	0,13	0,07	0,13	1,18	0,13	0,08	0,12
VC	8,00	10,48	6,00	5,04	5,30	6,87	5,55	5,25	2,60	5,44	5,10	5,46	3,60
Média	8,24	9,23	5,81	2,75	4,51	7,81	5,59	2,67	2,68	6,43	5,35	2,98	3,31
Desvio padrão	7,39	8,16	5,59	2,51	4,05	7,01	5,49	2,59	2,59	5,81	5,35	2,71	3,05
C.V.	0,90	0,88	0,96	0,91	0,90	0,90	0,98	0,97	0,97	0,90	1,00	0,91	0,92

Sendo,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

* média entre valores da base e topo.

A Figura 4.9 apresenta um resumo dos valores de VR, VL e VC para o bambu em estudo e para outras espécies estudadas por MURAD (2007), PEREIRA (2006a), e CULZONI (1986).

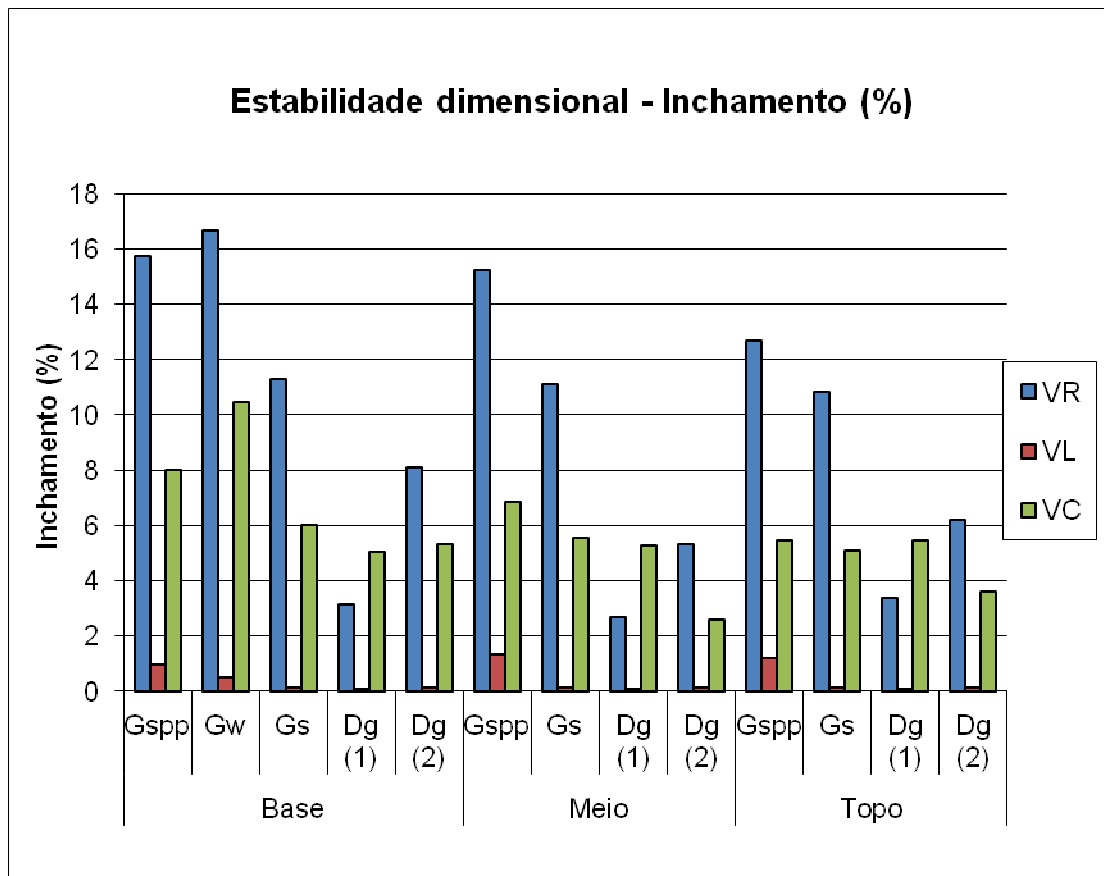


Figura 4.9: Comparação das variações dimensionais por inchamento do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Sendo,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986).

Para o bambu em estudo obteve-se nos sentidos radial e circunferencial variação de dimensões menores que as encontradas por MURAD (2007) para a espécie *Guadua weberbaueri*. Observa-se também que, nos três sentidos, foram obtidas variações nas

dimensões maiores que as encontradas por PEREIRA (2006a) e CULZONI (1986) para as espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua superba*.

4.1.3.2. Retração

Foram ensaiados 54 corpos-de-prova medindo 25 mm x e mm x 25 mm (largura x espessura x comprimento), onde e = espessura da parede do colmo. Foram analisadas as seguintes variações de dimensões: variação radial (VR), variação longitudinal ou axial (VL) e variação circunferencial ou tangencial (VC).

Na Tabela 4.6 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de retração.

Tabela 4.6: Valores médios de variações dimensionais por retração da espécie *Guadua spp.*

Estabilidade dimensional - Retração (%)				
Tempo (h)		24	48	72
Base	VR (%)	-10,68	-10,93	-11,12
	VL (%)	-0,70	-0,73	-0,63
	VC (%)	-9,21	-9,27	-9,29
Meio	VR (%)	-13,65	-13,78	-13,87
	VL (%)	-1,09	-1,11	-1,12
	VC (%)	-9,19	-9,26	-9,27
Topo	VR (%)	-12,80	-13,03	-13,78
	VL (%)	-0,80	-0,83	-0,84
	VC (%)	-8,90	-8,96	-8,99
Média	VR (%)	-12,38	-12,58	-12,92
	VL (%)	-0,86	-0,89	-0,86
	VC (%)	-9,10	-9,16	-9,19
Desv. Padrão	VR (%)	1,53	1,48	1,56
	VL (%)	0,20	0,20	0,24
	VC (%)	0,17	0,17	0,17
C.V.	VR (%)	-0,124	-0,118	-0,121
	VL (%)	-0,234	-0,221	-0,283
	VC (%)	-0,019	-0,019	-0,018

Na Figura 4.10 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de retração para a região basal.

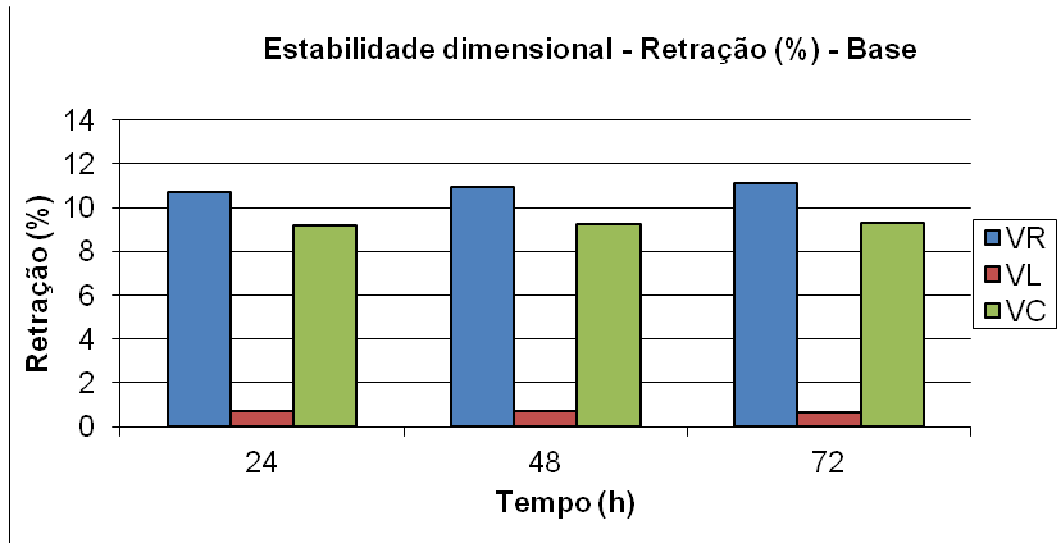


Figura 4.10: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu *Guadua spp* – região basal.

Na Figura 4.11 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de retração para a região mediana.

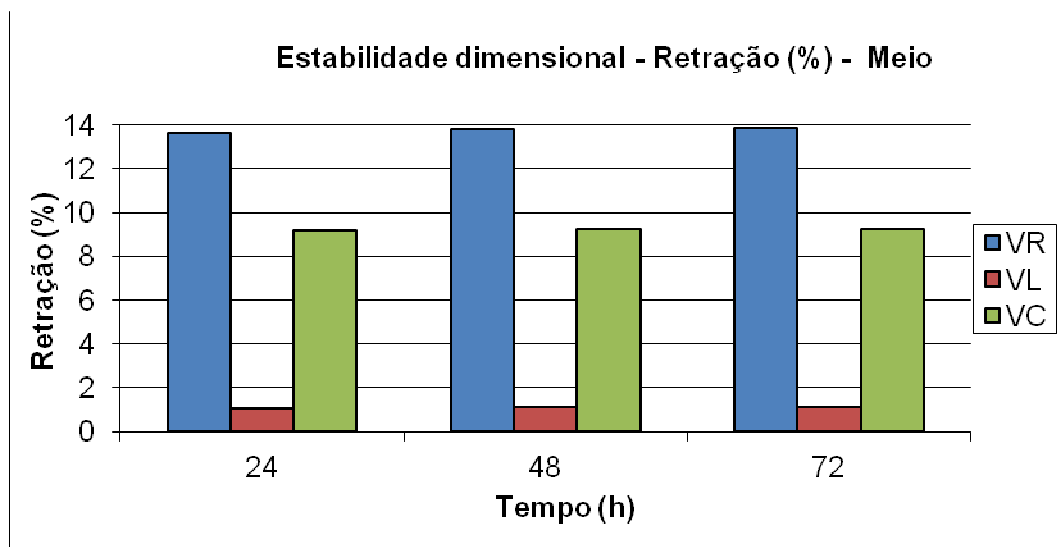


Figura 4.11: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu *Guadua spp* – região mediana.

Na Figura 4.12 são mostradas as médias das variações das dimensões obtidas no ensaio de retração para a região apical.

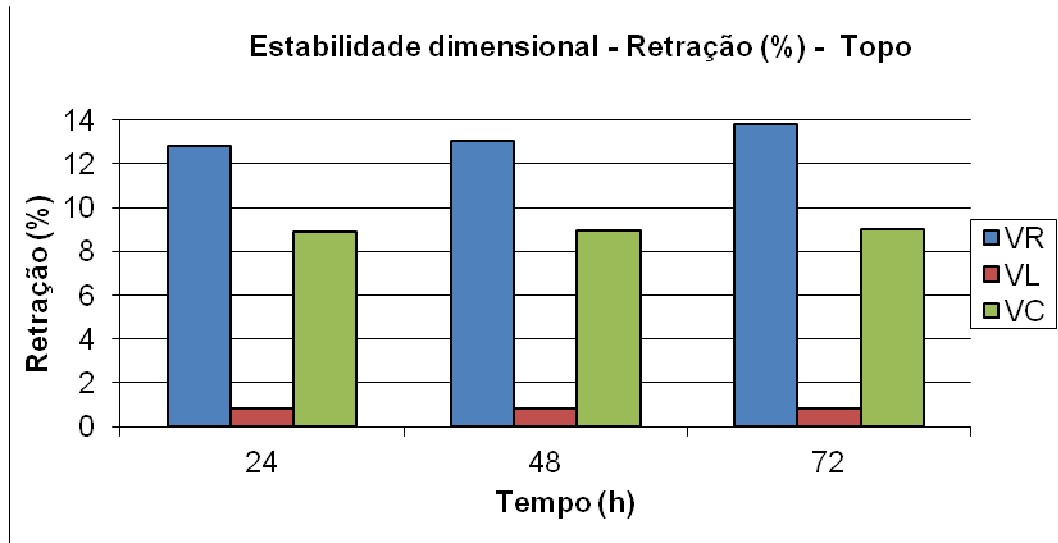


Figura 4.12: Valores médios de variações dimensionais por retração do bambu *Guadua spp* – região apical.

A Tabela 4.7 apresenta um resumo dos valores de VR, VL e VC para o bambu em estudo e para outras espécies estudadas por PEREIRA (2006a), LOPES *et al.*, (2000) *apud* PEREIRA e BERALDO (2008) e CULZONI (1986).

Tabela 4.7: Comparação das variações dimensionais por retração do bambu *Guadua spp.*

Estabilidade dimensional - Retração (%)															
	Base					Meio					Topo				
	<i>Gspp</i>	<i>Ga</i>	<i>Gv</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)	<i>Gspp</i>	<i>Ga</i>	<i>Gv</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)	<i>Gspp</i>	<i>Ga</i>	<i>Gv</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)
VR	11,12	5,52	3,70	3,03	5,29	13,87	8,82	7,1	2,62	5,13	13,78	7,47	8,70	3,27	6,65
VL	0,63	1,77	0,29	0,07	0,19	1,12	0,88	0,17	0,07	0,26	0,84	0,84	0,21	0,08	0,15
VC	9,29	8,75	2,83	4,80	5,73	9,27	8,14	5,95	4,98	5,23	8,99	5,43	5,48	5,19	5,46
Média	7,01	5,35	2,27	2,63	3,74	8,08	5,95	4,41	2,56	3,54	7,87	4,58	4,80	2,85	4,09
Desvio padrão	5,60	3,49	1,77	2,39	3,08	6,46	4,40	3,71	2,46	2,84	6,54	3,40	4,29	2,58	3,46
C.V.	0,80	0,65	0,78	0,91	0,82	0,80	0,74	0,84	0,96	0,80	0,83	0,74	0,89	0,91	0,85

Onde:

VR – Variação radial;

VL – Variação longitudinal ou axial;

VC – Variação circunferencial ou tangencial;

Gspp – *Guadua spp.*;

Ga – *Guadua angustifolia* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Gv – *Guadua verticillata* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008)).

A Tabela 4.8 apresenta um resumo dos valores médios de variações dimensionais por retração e inchamento da espécie *Guadua spp.*

Tabela 4.8: Resumo dos valores médios de variações dimensionais por retração e inchamento do bambu *Guadua spp.*

Região	Retração (%)			Inchamento (%)		
	VR	VL	VC	VR	VL	VC
Base	-11,12	-0,63	-9,29	15,75	0,97	8,00
Meio	-13,87	-1,12	-9,27	15,24	1,32	6,87
Topo	-13,78	-0,84	-8,99	12,67	1,18	5,44
Média	-12,92	-0,86	-9,19	14,55	1,16	6,77
Desvio padrão	1,56	0,24	0,17	1,65	0,18	1,28
C.V.	-0,12	-0,28	-0,02	0,11	0,15	0,19

Nota-se que as médias das variações dimensionais por inchamento são maiores que as médias das variações dimensionais por retração nos sentidos radial e longitudinal.

4.1.4. Teor de umidade natural

Para se determinar o teor de umidade natural foram utilizados seis corpos-de-prova para cada região do colmo de cada um dos três colmos analisados. Foram ensaiados 54 corpos-de-prova medindo 25 mm x e mm x 25 mm (largura x espessura x comprimento), onde e = espessura da parede do colmo. O teor de umidade natural encontrada para o bambu *Guadua spp* foi de 15,3%, 13,3% e 13,9% para a as regiões da base, meio e topo, respectivamente.

MURAD (2007) encontrou para a região basal do bambu *Guadua weberbaueri* 14,1% de umidade natural. GHAVAMI (2005) obteve valores para o teor de umidade natural do bambu *Guadua angustifolia* variando entre 13,0% e 14,0%, e para a espécie *Dendrocalamus giganteus* encontrou variação entre 13,0% e 15,0%. ROSA (2005) encontrou para a espécie *Dendrocalamus giganteus* 14,4% em sua base. LOPES *et al.*, (2000) *apud* PEREIRA e BERARDO (2008) obtiveram valores para a espécie *Guadua verticillatta* variando entre 9,6% e 12,3%, para a espécie *Guadua angustifolia* a variação foi entre 14,1% e 16,9% e para a espécie *Dendrocalamus giganteus* o teor de umidade variou entre 13,5% e 15,7%. GHAVAMI e TOLÊDO FILHO (1992) obtiveram valores de teor de umidade na base, meio e topo de 19,5%, 18,9% e 13,9%, respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada no Rio de Janeiro e 15,6%, 15,3% e 14,5% para a base, meio e topo, respectivamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus* estudada na Paraíba. CULZONI (1986) obteve o valor de 17,5% para a espécie *Guadua superba*.

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.

Na Tabela 4.9 são mostradas as médias do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp.*

Tabela 4.9: Valores médios do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp.*

		Teor de umidade (h)				
Tempo (h)		0	24	48	72	96
Base	massa (g)	5,2	4,6	4,5	4,5	4,5
	teor (%)	0	14,0	15,3	15,3	15,3
Meio	massa (g)	4,2	3,7	3,7	3,7	3,7
	teor (%)	0	12,8	13,3	13,3	13,3
Topo	massa (g)	3,7	3,2	3,2	3,2	3,2
	teor (%)	0	13,1	14,3	13,9	13,9
Média		-	13,30	14,28	14,15	14,15
Desvio padrão		-	0,63	0,98	1,01	1,01
C.V.		-	0,05	0,07	0,07	0,07

Na Figura 4.13 são mostrados os valores médios do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp.*

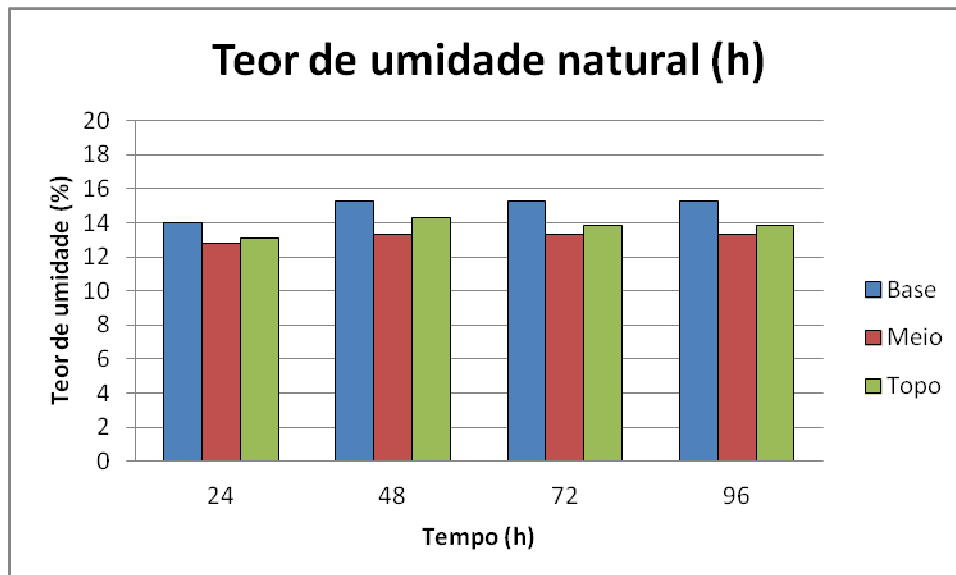


Figura 4.13 : Valores médios do teor de umidade natural da espécie *Guadua spp.*

Observa-se na Tabela 4.10 a comparação dos valores do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Tabela 4.10: Comparação do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Teor de umidade natural (%)											
	<i>Gsp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gv</i>	<i>Ga*(1)</i>	<i>Ga*(2)</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg* (1)</i>	<i>Dg (2)</i>	<i>Dg (3)</i>	<i>Dg (4)</i>	<i>Dg (5)</i>
Base	15,3	14,1	12,3	13,5	16,9	17,5	14,0	14,4	19,5	15,6	13,5
Meio	13,3	-	9,9	13,5	15,9	-	14,0	-	18,9	15,3	13,2
Topo	13,9	-	9,6	13,5	14,1	19,2	14,0	-	13,9	14,5	15,7
Média	14,17	14,06	10,62	13,50	15,61	18,35	14,00	14,36	17,43	15,13	14,10
Desvio padrão	1,03	-	1,50	0,00	1,41	1,20	0,00	-	3,07	0,57	1,37
C.V.	0,07	-	0,14	0,00	0,09	0,07	0,00	-	0,18	0,04	0,10

Sendo:

Gsp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gv – *Guadua verticillata* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Ga (1) – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI, 2005);

Ga (2) – *Guadua angustifolia* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

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);

Dg (5) – *Dendrocalamus giganteus* ((LOPES *et al.*, 2000) *apud* (PEREIRA e BERALDO, 2008));

– dado não disponível

* média entre valores da base, meio e topo.

Na Figura 4.14 pode-se ver a comparação do teor de umidade natural, para a região basal, do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

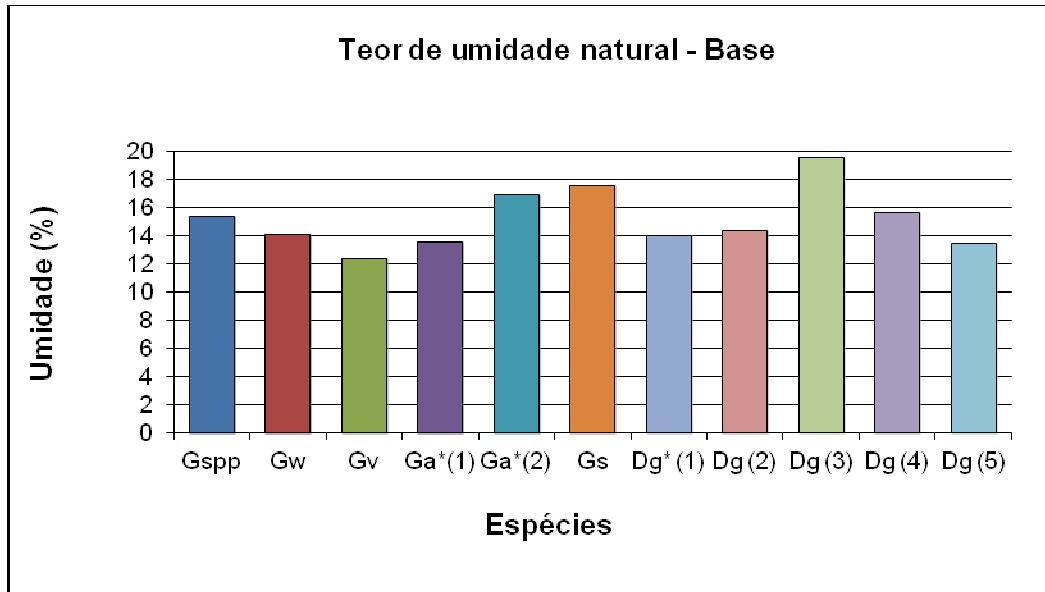


Figura 4.14: Comparação do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp* com outras espécies – região basal.

Na Figura 4.15 pode-se ver a comparação do teor de umidade natural, para a região mediana, do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

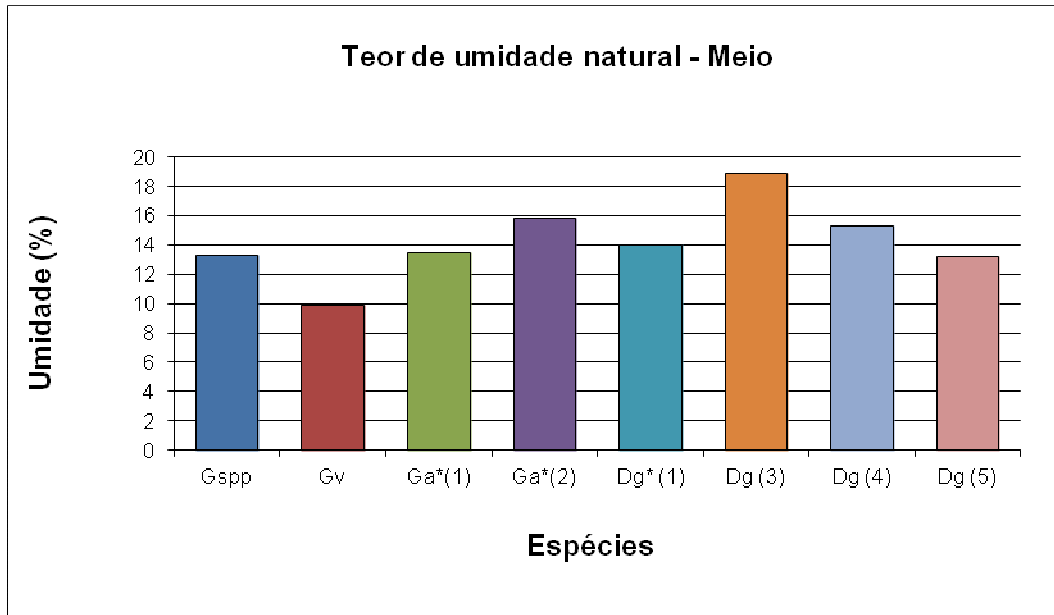


Figura 4.15: Comparação do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp* com outras espécies – região mediana.

Na Figura 4.16 pode-se ver a comparação do teor de umidade natural, para a região apical, do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

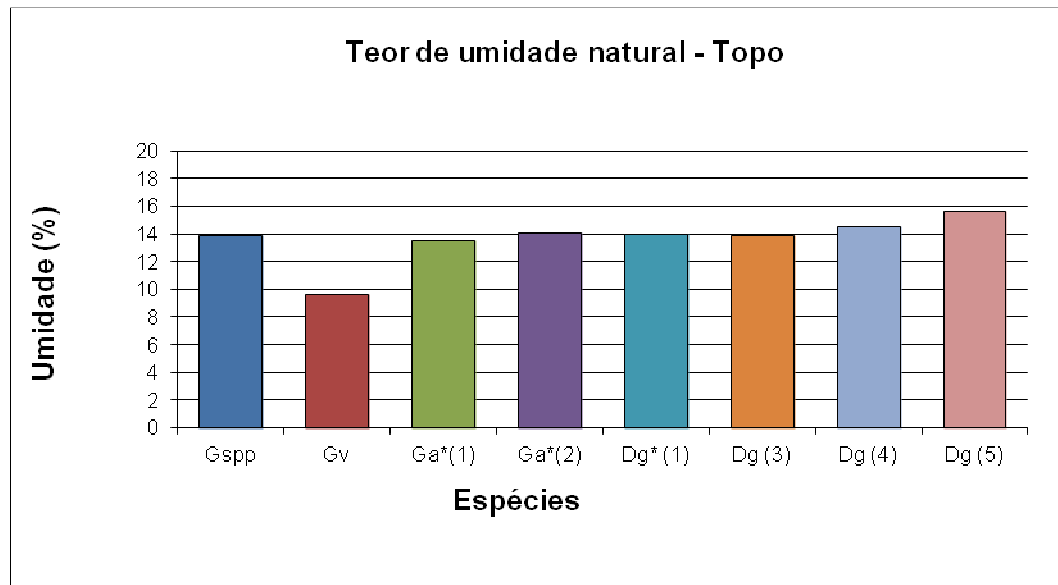


Figura 4.16: Comparação do teor de umidade natural do bambu *Guadua spp* com outras espécies – região apical.

O bambu analisado apresentou teor de umidade natural semelhante ao das espécies *Guadua verticillata*, *Guadua angustifolia*, *Guadua superba*, e *Dendrocalamus giganteus* estudados por MURAD (2007), GHAVAMI (2005), ROSA (2005), LOPES *et al.*, (2000) *apud* PEREIRA e BERALDO (2008), GHAVAMI e TOLEDO FILHO (1992) e CULZONI (1986).

4.2.PROPRIEDADES MECÂNICAS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos para resistências à tração axial, módulo de elasticidade, cisalhamento interlaminar e compressão axial. Os resultados brutos obtidos pela máquina universal EMIC do CETEMM / SENAI e pela EMIC do LEM da UFAC foram tratados com programas gráficos como Microsoft Excel 2007 e Origin 7.0, eliminando-se os valores de deformação específica negativa que surgiram com a acomodação do corpo-de-prova na máquina de ensaio.

4.2.1.Resistência à tração axial

Os resultados de resistência à tração e módulo de elasticidade da parede do colmo do bambu *Guadua spp* estão apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Resistência à tração e módulo de elasticidade do bambu *Guadua spp.*

Região do colmo	Resistência à tração – σ (MPa)		Módulo de elasticidade – E (GPa)	
		Média		Média
BSNE	283	239	20,4	17,8
BSNI	195		15,1	
MSNE	293	228	23,2	18,4
MSNI	163		13,6	
TSNE	269	209	20,9	17,5
TSNI	150		14,1	
BCN	86,5		9,61	
MCN	73,5		8,47	
TCN	91,2		8,95	
Média	178		14,9	
Desv. Pad.	87,1		5,50	
C.V.	0,49		0,37	

Na Tabela 4.11 observa-se que o bambu atinge uma resistência à tração superior nas fatias externas, devido à maior concentração de fibras nessa região.

As médias de tensões máximas de tração encontradas para as fatias externas e internas, sem nó, para corpos-de-prova das regiões da base, meio e topo foram, respectivamente, 239 MPa, 228 MPa e 209 MPa. As fatias sem nó obtiveram tensões superiores àquelas com nó, devido à 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 86,5 MPa, 73,5 MPa e 91,2 MPa para as regiões da base, meio e topo, respectivamente. Como já ocorrido em outros ensaios, os corpos-de-prova sempre rompem no nó ou bem próximo a ele.

A Figura 4.17 mostra a comparação das médias de resistência à tração das diferentes regiões da parede do colmo do bambu *Guadua spp.*

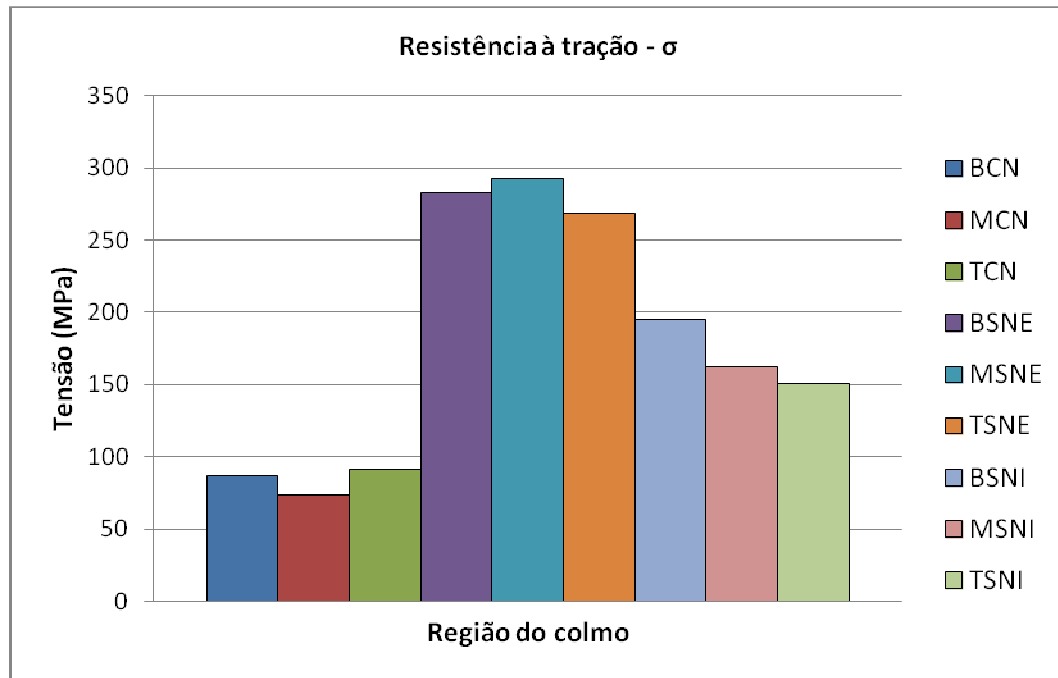


Figura 4.17: Resistência à tração do bambu *Guadua spp.*

MURAD (2007) analisou as propriedades mecânicas da região basal do bambu *Guadua weberbaueri* e obteve valores de resistência à tração de 312 MPa e 200 MPa para as fibras externas e internas sem nó e 87,4 MPa e 57,1 MPa para as fibras externas e internas com nó.

PEREIRA (2006b) constatou que a resistência à tração encontrada na espécie *Dendrocalamus giganteus* foi de 240 MPa, 250 MPa e 247 MPa para as regiões basal, mediana e apical, sem nó, respectivamente. Para corpos-de-prova das mesmas regiões, com nó, obteve 103 MPa, 118 MPa e 114 MPa, respectivamente.

GHAVAMI e MARINHO (2005) analisaram os valores de resistência à tração da espécie *Guadua angustifolia* e encontraram valores de 69,9 MPa e 93,8 MPa para a região da base, 82,6 MPa e 95,8 MPa para a região central e 64,3 MPa e 116 MPa, com e sem nó, respectivamente

GHAVAMI e MARINHO (2001) constataram que a resistência à tração encontrada na espécie *Dendrocalamus giganteus* foi da ordem de 159 MPa e 109 MPa para a base, 224 MPa e 170 MPa para o meio e 147 MPa e 119 MPa para o topo, sem nó e com nó, respectivamente.

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 107 MPa, 144 MPa e 114 MPa, respectivamente, e para corpos-de-prova sem nó, 147 MPa, 188 MPa e 158 MPa, respectivamente.

GHAVAMI e TOLÊDO FILHO (1992) analisaram a espécie *Guadua superba* e constataram valores de resistência à tração na base e topo, em corpos-de-prova com nó, de

109 MPa e 116 MPa, respectivamente, e para corpos-de-prova sem nó, 143 MPa e 151 MPa, respectivamente.

A Figura 4.18 apresenta uma comparação dos resultados de resistência à tração do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

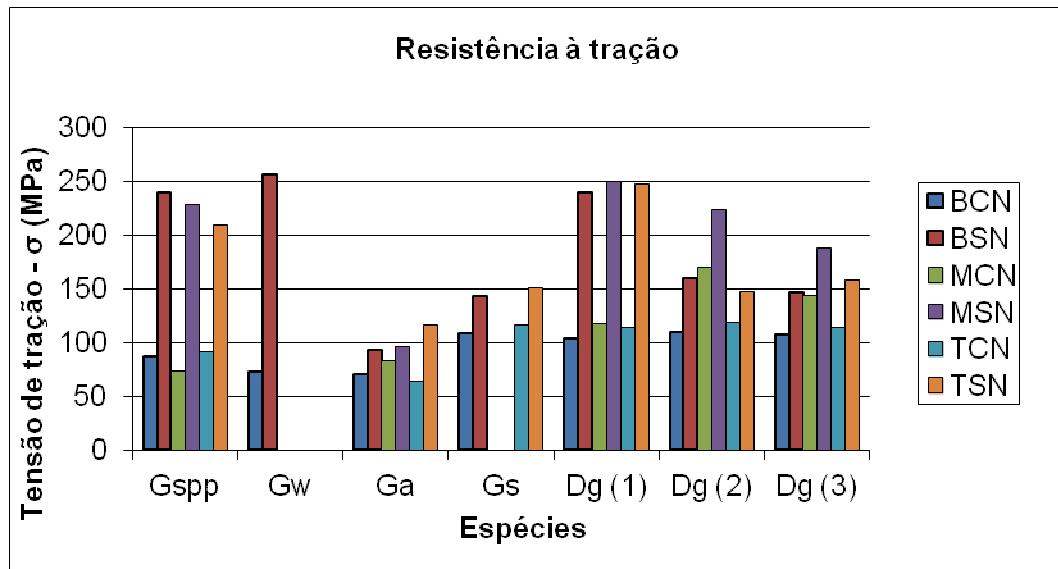


Figura 4.18: Comparação da resistência à tração do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Sendo,

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs – *Guadua superba* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006b);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

Dg (3) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992).

Nota-se que o bambu *Guadua spp* apresentou resistência à tração compatível com outras espécies pesquisadas, para corpos-de-prova com ou sem a presença de nós.

Os resultados do módulo de elasticidade para as diferentes regiões da parede do colmo do bambu *Guadua spp* estão apresentados na Figura 4.19.

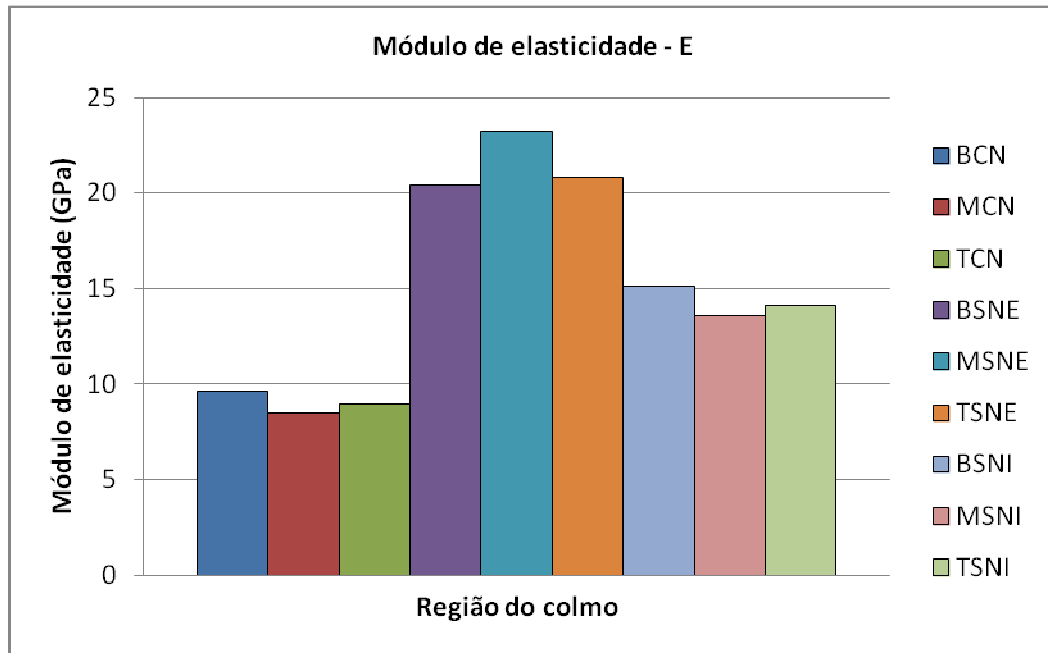


Figura 4.19: Módulo de elasticidade do bambu *Guadua spp.*

No bambu em estudo, o módulo de elasticidade para as fibras externas e internas sem nó foram respectivamente de 20,4 GPa e 15,1 GPa para a região basal, 23,2 GPa e 13,6 GPa para a região mediana e 20,9 GPa e 14,1 GPa para a região apical. Para as fibras com nó obteve-se 9,61 GPa para a região basal, 8,47 GPa para região mediana e 8,95 GPa para a região apical.

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

MURAD (2007) obteve para a região basal do bambu *Guadua weberbaueri* módulo de elasticidade para as fibras externas e internas sem nó de 9,13 GPa e 5,67 GPa, respectivamente. Para as fibras externas e internas com nó obteve-se 7,76 GPa e 5,62 GPa, respectivamente.

PEREIRA (2006b) encontrou para o bambu *Dendrocalamus giganteus* módulo de elasticidade de 20,1 GPa, 20,7 GPa e 20,7 GPa para a base, meio e topo, sem nó, respectivamente. Para as mesmas regiões, com nó, obteve 16,9 GPa, 18,6 GPa e 19,5 GPa.

GHAVAMI e MARINHO (2005) obtiveram valores de 15,7 GPa e 16,3 GPa para a região da base, 11,1 GPa e 18,1 GPa para a região mediana e 11,2 GPa e 18,4 GPa para a região do ápice, com e sem nó, respectivamente, para a espécie *Guadua angustifolia*.

GHAVAMI e MARINHO (2001) constataram que o módulo de elasticidade encontrada na espécie *Dendrocalamus giganteus* foi da ordem de 23,1 GPa e 13,6 GPa,

respectivamente, para a base sem nó e com nó, 20,8 GPa para o meio com nó e 18,3 GPa para o topo com nó.

GHAVAMI e TOLÊDO FILHO (1992) obtiveram módulo de elasticidade para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, em corpos-de-prova com nó, de 13,0 GPa, 16,7 GPa e 13,4 GPa, na base, meio e topo respectivamente, e para corpos-de-prova sem nó obtiveram 19,1 GPa, 15,7 GPa e 10,7 GPa, respectivamente.

GHAVAMI e TOLÊDO FILHO (1992) analisaram a espécie *Guadua superba* e constataram valores de módulo de elasticidade na base e topo, em corpos-de-prova com nó, de 8,33 GPa e 9,42 GPa, respectivamente, e para corpos-de-prova sem nó, 10,5 GPa e 11,8 GPa, respectivamente.

A Figura 4.20 apresenta uma comparação do módulo de elasticidade do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

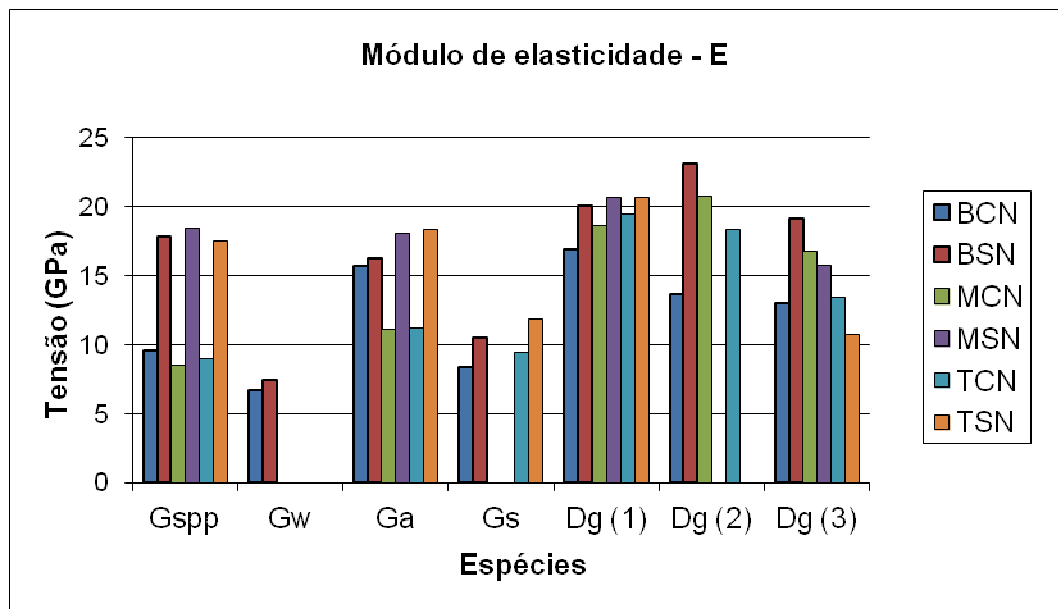


Figura 4.20: Comparação do módulo de elasticidade da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

Sendo,

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs – *Guadua superba* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006b);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

Dg (3) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992).

As curvas tensão de tração x deformação específica correspondente a cada corpo-de-prova analisado constam do Anexo II.

4.2.2. Resistência ao cisalhamento interlaminar

As médias dos resultados da resistência ao cisalhamento interlaminar para os corpos-de-prova localizados na base, meio e topo do bambu *Guadua spp* são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Resistência ao cisalhamento do bambu *Guadua spp*.

	Resistência ao cisalhamento (MPa)			
	Espécies			
	Gspp	GW	GA	DG
BCN	2,47	3,56	1,67	3,24
BSN	3,68	4,53	2,20	2,34
MCN	2,71	-	1,43	3,24
MSN	4,40	-	2,27	4,20
TCN	2,29	-	2,11	4,20
TSN	3,81	-	2,42	3,59
Média	3,23	4,05	2,02	3,47
Desv. Pad.	0,85	0,69	0,38	0,70
C.V.	0,26	0,17	0,19	0,20

A Figura 4.21 ilustra esses valores.

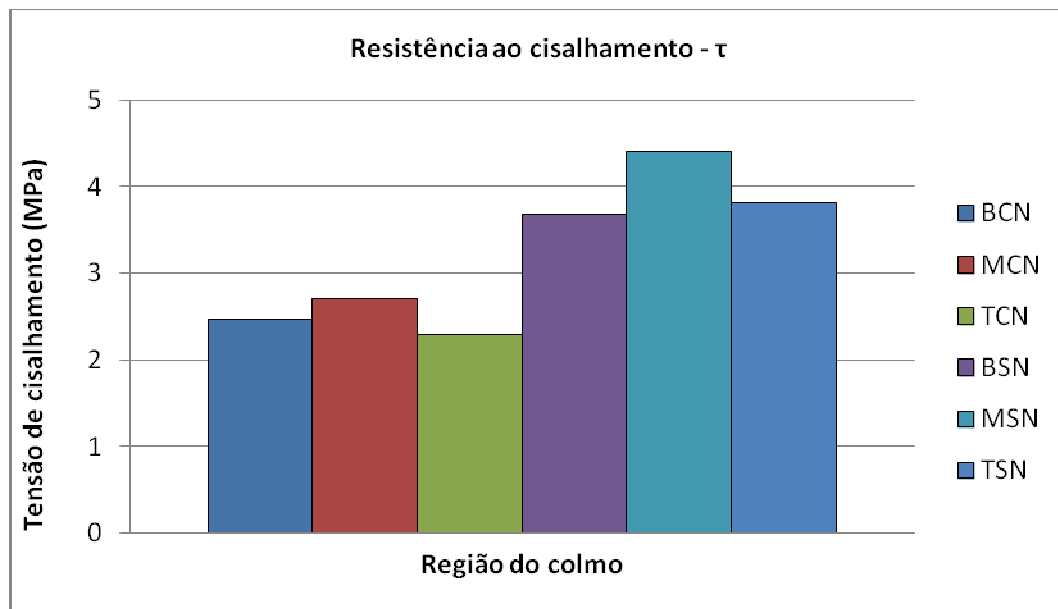


Figura 4.21: Resistência ao cisalhamento do bambu *Guadua spp*.

As médias das tensões encontradas para os corpos-de-prova da base, meio e topo, sem nó, foram de 3,68 MPa, 4,41 MPa e 3,81 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-prova da base, meio e topo, com nó, foram de 2,41 MPa, 2,95 MPa e 2,29 MPa, respectivamente.

Segundo MURAD (2007), a região basal do bambu *Guadua weberbaueri* atinge uma tensão máxima de cisalhamento superior nas regiões externas devido à maior concentração de fibras nessa região. Para as fatias externas e internas sem nó encontrou tensões de 4,71 MPa e 4,34 MPa, respectivamente. As médias da resistência ao cisalhamento para os corpos-de-prova com nó foram de 4,31 MPa e 2,81 MPa para a região externa e interna, respectivamente.

GHAVAMI e MARINHO (2002) realizaram ensaios de cisalhamento interlaminar do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. Na base, a resistência ao cisalhamento foi de 2,20 MPa para o corpos-de-prova sem nó e 1,67 MPa para o corpos-de-prova com nó. Na região intermediária os valores foram 2,27 MPa e 1,43 MPa para corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente. No topo, estes valores foram de 2,20 MPa para corpos-de-prova sem nó e 1,67 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. GHAVAMI e MARINHO (2001) obtiveram para a espécie *Dendrocalamus giganteus* a resistência ao cisalhamento de 4,20 MPa para o corpos-de-prova sem nó e 3,60 MPa para o corpos-de-prova com nó da região superior. 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.

Nos dados da Tabela 4.13 observa-se a comparação da resistência ao cisalhamento do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Tabela 4.13: Comparação da resistência ao cisalhamento do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

	Resistência ao cisalhamento (MPa)			
	Gspp	Gw	Ga	Dg
BCN	2,47	3,56	1,67	3,24
BSN	3,68	4,53	2,20	2,34
MCN	2,71	–	1,43	3,24
MSN	4,40	–	2,27	4,20
TCN	2,29	–	2,11	4,20
TSN	3,81	–	2,42	3,59

Onde:

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2002);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

– dado não disponível.

Na Figura 4.22 tem-se a ilustração dos valores contidos na tabela 4.13.

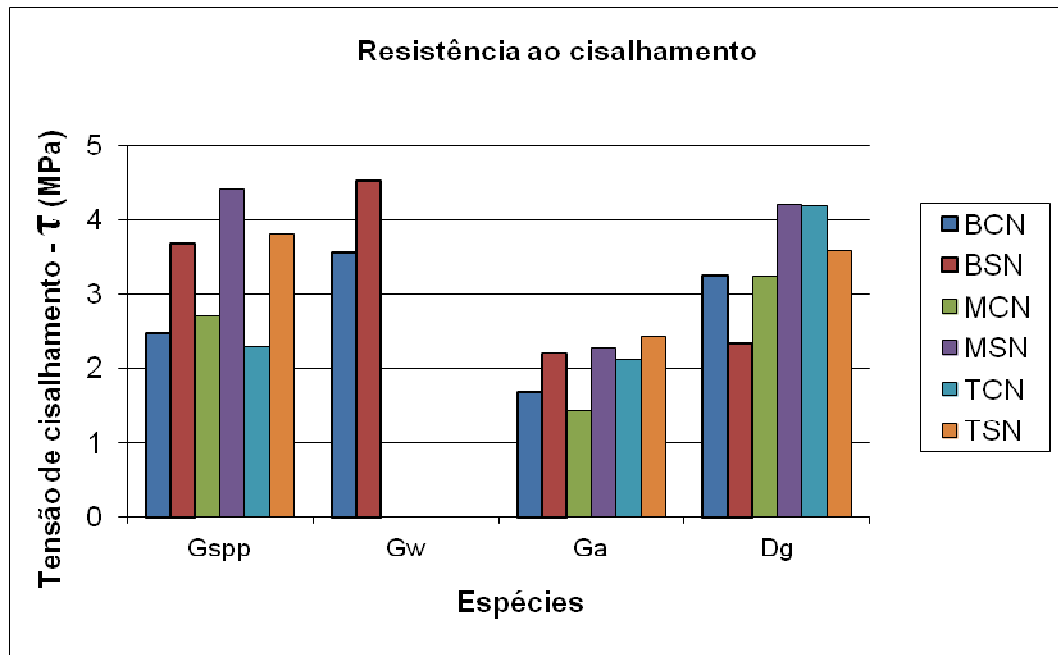


Figura 4.22: Comparação da resistência ao cisalhamento da base do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Onde:

Gsp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2002);

Dg – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001).

Observa-se que o bambu *Guadua spp* atinge uma tensão de cisalhamento maior que a espécie *Guadua angustifolia* estudada por GHAVAMI e MARINHO (2002). Comparando com os bambus *Guadua weberbaueri* e *Dendrocalamus giganteus*, pode-se dizer que os valores foram semelhantes.

As curvas tensão de cisalhamento correspondente a cada corpo-de-prova constam do Anexo II.

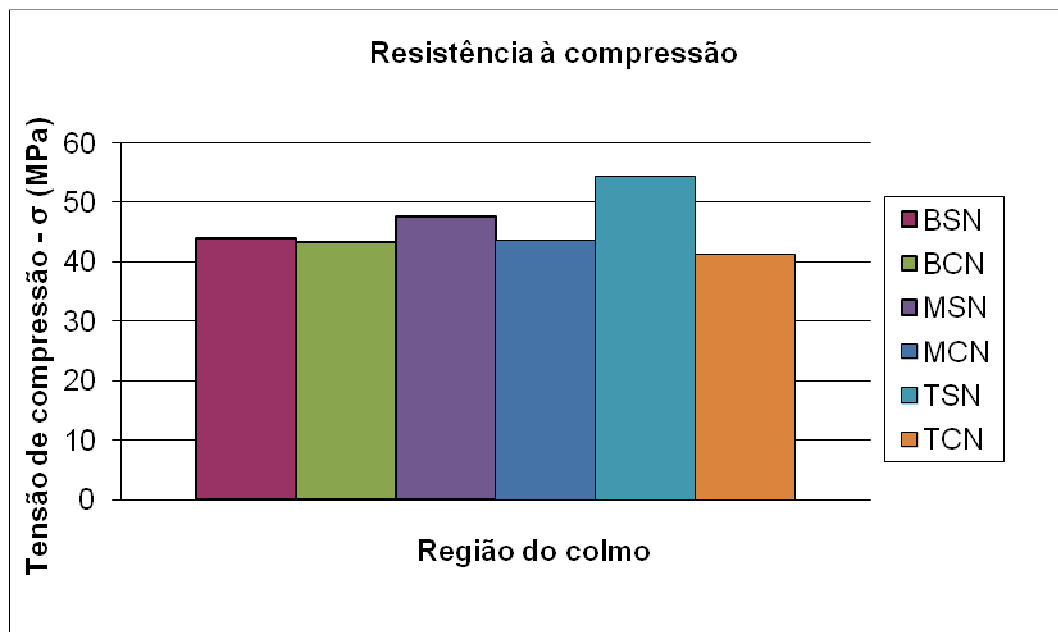
4.2.3. Resistência à compressão axial

Os resultados obtidos para resistência à compressão das partes basal, central e apical do bambu *Guadua spp* estão apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Resistência à compressão do bambu *Guadua spp.*

Região do colmo	Resistência à compressão (MPa)
BSN	44,0
BCN	43,4
MSN	47,7
MCN	43,6
TSN	54,4
TCN	41,3
Média	45,7
Desvio Padrão	4,74
C.V.	0,10

A Figura 4.23 mostra a comparação das médias de resistência à compressão das diferentes regiões da parede do colmo do bambu *Guadua spp.*

Figura 4.23: Resistência à compressão do bambu *Guadua spp.*

Observa-se que a resistência à compressão é aproximadamente cinco vezes menor que a resistência à tração para os corpos-de-prova sem nó e duas vezes menor para os corpos-de-prova com nó. A resistência à compressão foi de 44,0 MPa, 47,7 MPa e 54,4 MPa para os corpos-de-prova sem nó e 43,4 MPa, 43,6 MPa e 41,3 MPa para os corpos-de-prova com nó, respectivamente.

A Tabela 4.15 apresenta uma comparação entre valores de resistência à compressão do bambu *Guadua spp.* com outras espécies.

Tabela 4.15: Comparação da resistência à compressão do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

	Resistência à compressão - σ (MPa)					
	Gsp	Gw	Ga	Gs	Dg (1)	Dg (2)
BSN	44,0	54,5	28,4	50,6	68,5	72,6
BCN	43,4	37,3	25,3	36,4	59,1	71,4
MSN	47,7	-	31,8	-	70,8	78,8
MCN	43,6	-	28,4	-	65,4	72,7
TSN	54,4	-	25,3	45,0	71,5	96,8
TCN	41,3	-	31,8	35,0	65,6	75,5
Média	45,7	45,9	28,5	41,8	66,8	78,0
Desv. Pad.	4,74	12,14	2,91	7,37	4,55	9,58
C.V.	0,10	0,26	0,10	0,18	0,07	0,12

Sendo:

Gsp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Gs – (GHAVAMI E TOLEDO FILHO, 1992);

DG (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

DG (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

– dado não disponível.

MURAD (2007) obteve valores de resistência à compressão de 54,50 MPa e 37,33 MPa para os corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente. GHAVAMI e MARINHO (2005) ensaiaram o bambu *Guadua angustifolia* e encontraram valores para a resistência à compressão de 28,4 MPa, 31,8 MPa e 25,3 MPa para os corpos-de-prova sem nó, para as regiões da base, meio e topo, respectivamente. Para as mesmas regiões, com a presença de nós, 25,3 MPa, 28,4 MPa e 31,8 MPa. PEREIRA (2006a) obteve para a espécie *Dendrocalamus giganteus* a resistência à compressão de 71,5 MPa para o corpos-de-prova sem nó e 65,5 MPa para o corpos-de-prova com nó da região superior. Na região intermediária os valores foram 70,8 MPa e 65,4 MPa para corpos-de-prova sem e com nó respectivamente. Na base, estes valores foram 68,5 MPa para corpos-de-prova sem nó e 59,1 MPa para corpos-de-prova com nó. GHAVAMI e MARINHO (2001) determinaram a resistência à compressão do bambu *Dendrocalamus giganteus* e obtiveram valores de 71,4 MPa e 72,6 MPa em corpos-de-prova com e sem nó, respectivamente, para a região basal. Na região intermediária os valores foram 70,8 MPa e 65,4 MPa para corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente. No topo, esses valores foram de 71,5 MPa para corpos-de-prova sem nó e 65,6 MPa para corpos-de-prova com nó. GHAVAMI e TOLEDO FILHO (1992)

realizaram ensaios de compressão do bambu *Guadua superba*. Na base, a resistência à compressão foi de 50,6 MPa para o corpos-de-prova sem nó e 36,4 MPa para o corpos-de-prova com nó. No topo esses valores foram de 45,0 MPa para corpos-de-prova sem nó e 35,0 MPa para corpos-de-prova com nó.

Pode-se ver na figura 4.24 a comparação da resistência à compressão do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

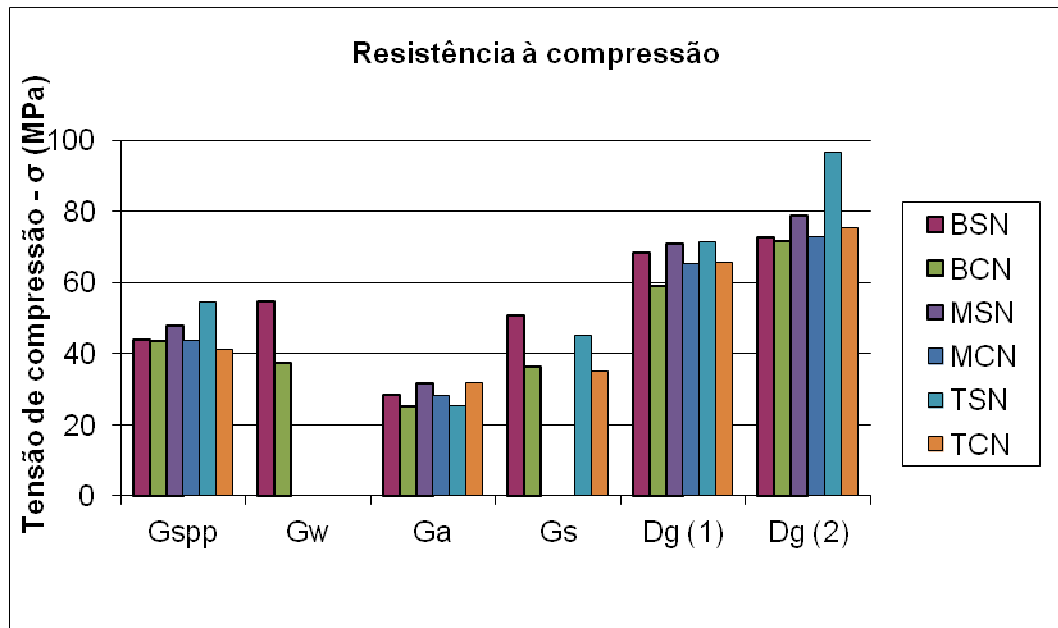


Figura 4.24: Comparação da resistência à compressão do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Sendo:

Gsp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Gs – (GHAVAMI E TOLEDO FILHO, 1992);

DG (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

DG (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão demonstram que o bambu em estudo apresentou números superiores aos do bambu *Guadua angustifolia*, semelhantes às espécies *Guadua weberbaueri* e *Guadua superba*, e inferiores aos bambus *Dendrocalamus giganteus*.

5. ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA TRELIÇADA DE BAMBU

Neste capítulo foi realizada a análise estrutural de uma escola rural, composta de uma treliça de bambu *Guadua spp*, calculada utilizando-se o programa SAP 2000 com a finalidade de fornecer a ordem da grandeza das solicitações atuantes a serem resistidas pelos elementos, e para ajustes dimensionais no projeto estrutural.

5.1. ANÁLISE TEÓRICA DAS ESTRUTURAS TRELIÇADAS DE BAMBU

Partiu-se de um modelo de estruturas adequado para o bambu, uma vez que as solicitações predominantes nos elementos são tração e compressão, em relação às quais o bambu tem excelente resistência mecânica.

Para efeito de comparação de resultados também foi realizada a análise da mesma estrutura utilizando os bambus *Guadua weberbaueri* e *Dendrocalamus giganteus*, estudados por MURAD (2007) e por GHAVAMI e MARINHO (2001), respectivamente.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram a perspectiva, a planta baixa e o corte transversal do projeto, respectivamente.



Figura 5.1: Perspectiva.

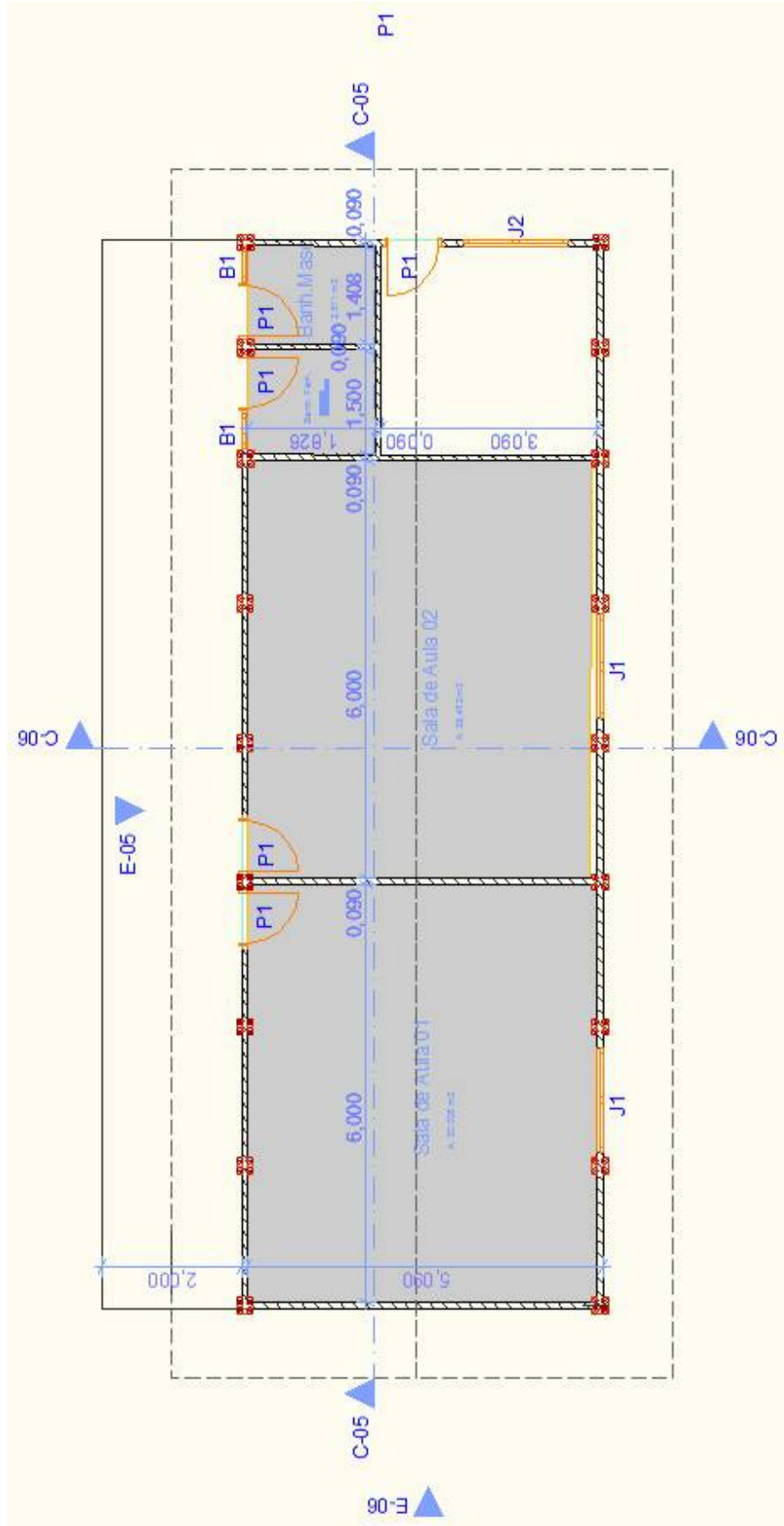


Figura 5.2: Planta Baixa (cotas em metros).

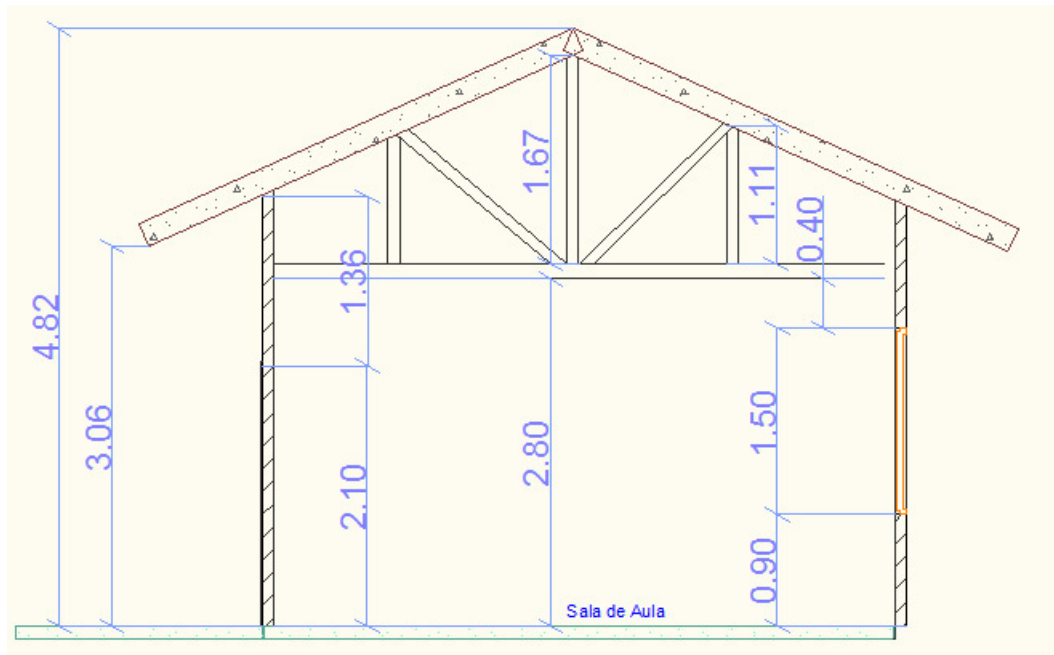


Figura 5.3: Corte transversal (cotas em metros).

Para os cálculos da estrutura com o bambu *Guadua spp* foram adotados os valores a seguir, utilizando-se o critério de adotar sempre o valor mais desfavorável, com exceção dos colmos utilizados nos pilares, onde foi adotado espessura e diâmetro médio.

- Diâmetros dos elementos utilizados nos pilares: 90 mm.
- Espessura das paredes dos elementos utilizados nos pilares: 9,5 mm.
- Diâmetros dos elementos utilizados nas treliças: 73 mm.
- Espessura das paredes dos elementos utilizados nas treliças: 7,6 mm.
- Módulo de elasticidade: 9,61 GPa.
- Coeficiente de Poisson: 0,25.

A Figura 5.4 mostra a treliça analisada no programa SAP2000.

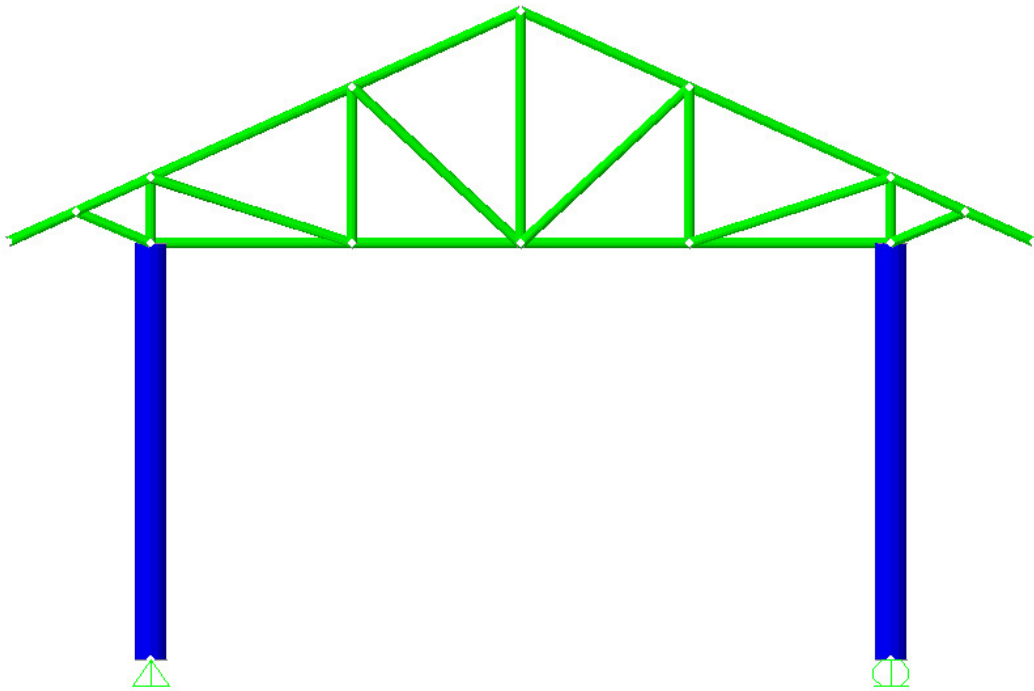


Figura 5.4: Treliça analisada no programa SAP 2000.

5.1.1. Estudo do carregamento

O carregamento da estrutura foi elaborado segundo a NBR 8800:1986 (Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios) e NBR 6123:1988 (Forças Devidas ao Vento em Edificações). Foram adotadas telhas ecológicas apoiadas sobre uma grelha confeccionada com bambu. As ações permanentes e variáveis foram consideradas com os seguintes valores:

- cobertura em telhas ecológicas com peso específico de $0,042 \text{ kN/m}^2$;
- grelha de cobertura: $0,053 \text{ kN/m}^2$;
- peso dos elementos de ligação: $0,130 \text{ kN/m}^2$;
- peso próprio do bambu: $7,3 \text{ kN/m}^3$;
- sobrecarga da cobertura: $0,250 \text{ kN/m}^2$.

Ação do vento

Para o tratamento estatístico das ações do vento considerou-se que a estrutura seria construída em Rio Branco, AC. Para essa região, segundo a NBR 6123:1988 e as características da estrutura, tem-se:

- velocidade básica do vento: $V_0 = 36 \text{ m/s}$;

- fator topográfico: $S_1 = 1,0$;
- fator de rugosidade: $S_2 = 0,86$;
- fator estatístico: $S_3 = 0,95$;
- velocidade característica do vento: $V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 = 29,41 \text{ m/s}$;
- pressão dinâmica do vento: $V_k^2/16 = 0,54 \text{ kN/m}^2$.

Considerou-se apenas um ângulo de incidência do vento ($\alpha = 90^\circ$), por ser a pior situação, atuante na parede A (Figura 5.5).

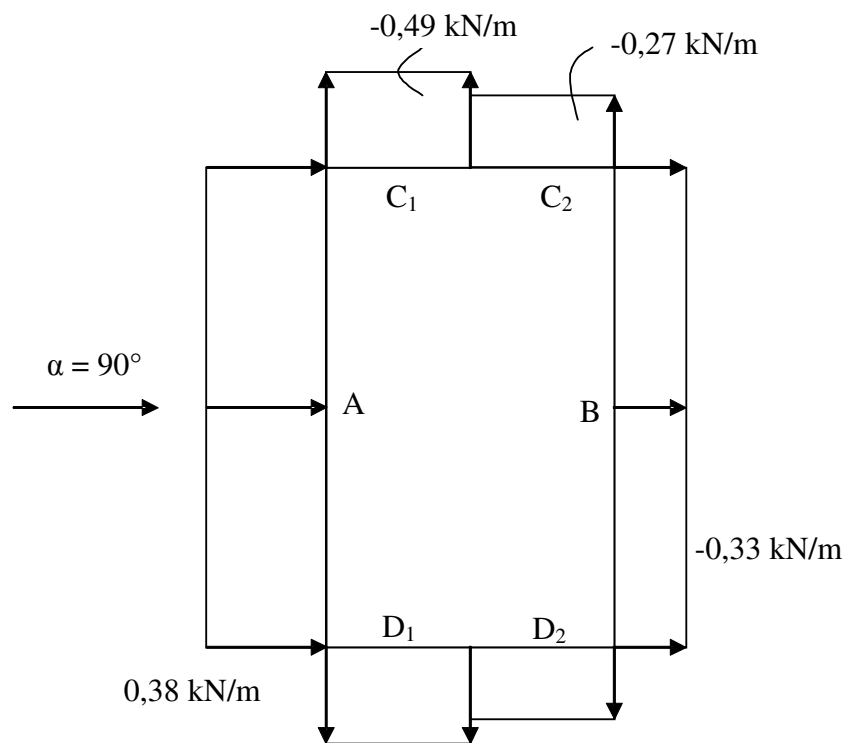


Figura 5.5: Pressões e sucções externas nas paredes.

Tem-se também:

- altura da edificação / largura = $2,98 \text{ m} / 5,2 \text{ m} = 0,57 \rightarrow 0,5 < 0,57 < 1,5$;
- relação das dimensões horizontais: $15,4 \text{ m} / 5,20 \text{ m} = 2,96$.

Para estes dados a NBR 6123:1988 fornece os coeficientes de pressão e forma externos para as paredes listados na Tabela 5.1:

Tabela 5.1– Coeficientes de pressão e forma externos.

Faces	A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂	+ Pressão
C _e	0,7	-0,6	-0,9	-0,5	- Sucção

O produto desses coeficientes pela pressão dinâmica do vento resulta nas pressões e sucções externas mostradas na Figura 5.5, onde também se indicam as faces.

Considerando-se o ângulo de inclinação da cobertura para telhados em duas águas ($\theta=30^\circ$), têm-se os coeficientes de pressão e forma externos mostrados na Figura 5.6.

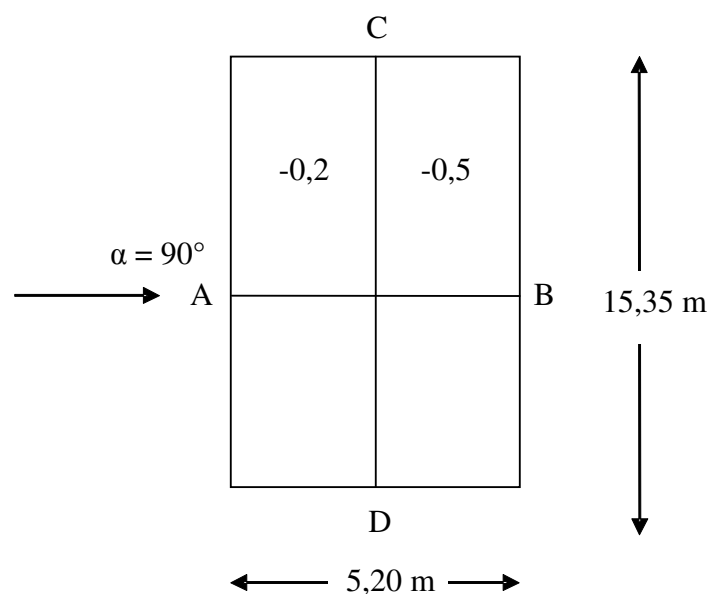


Figura 5.6: Coeficientes de pressão e formas externos no telhado.

Para o coeficiente de pressão interno efetuou-se o cálculo expedito, considerando-se o mais desfavorável dos dois valores para a combinação de carregamento em estudo. Nessas figuras indicam-se também as pressões e sucções resultantes.

5.1.1.1. Condições de carregamento

As condições de carregamento foram montadas segundo a NBR 8800:1986, que utiliza o Método dos Estados Limites para o dimensionamento das estruturas, que deve satisfazer a seguinte condição:

$$\gamma_{q2} \psi_2 Q_2 + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_g G_i \leq \phi R$$

sendo

- G: ações permanentes;
- Q_1 : ação variável predominante (vento);
- Q_2 : sobrecarga;
- $\gamma_1 \geq 1$: coeficiente de ponderação das cargas;
- $\varphi < 1$: coeficiente de resistência;
- ψ : fatores de combinação das ações.

Condições de carregamento:

Combinação 1: $1,3 G + 1,4 Q_{1a} + 1,5 * 0,75 Q_2$, para Q_{1a} = sucção externa + pressão interna;

Combinação 2: $1,3 G + 1,4 Q_{1b} + 1,5 * 0,75 Q_2$, para Q_{1b} = sucção externa + sucção interna;

Combinação 3: $1,3 G + 1,4 Q_2$;

Combinação 4: $1,0 G + 1,4 Q_{1a}$.

A estrutura foi resolvida usando-se o programa SAP 2000 V9.0, considerando-se os nós como rótulas perfeitas, exceto nos vínculos, nos quais as translações foram restritas. Apenas solicitações de tração e compressão foram desenvolvidas no sentido longitudinal dos elementos, e os deslocamentos consistiram de duas translações em cada nó. Sob essas solicitações o bambu se comporta muito bem, não correndo tanto risco de fendilhamento, como no caso de ser submetido à torção.

5.1.2. Propriedades mecânicas dos bambus utilizados nos projetos

O dimensionamento da treliça foi realizado para mais dois tipos de bambu, de modo a possibilitar as comparações dos valores máximos resistidos por cada um.

Neste item são apresentadas as propriedades mecânicas dos bambus utilizados nos projetos das treliças assim como as relações entre essas.

A Tabela 5.2 mostra as tensões máximas oriundas dos dimensionamentos e as tensões de ruptura dos bambus *Guadua spp*, *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007) e *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001). Foi considerada a situação mais desfavorável dentre as três regiões do colmo – base, meio e ápice – e a presença ou a ausência de nós.

Na Tabela 5.2 tem-se:

- Tensão máxima de projeto à tração $\sigma_{t \text{ dim}}$;
- Tensão máxima de projeto à compressão $\sigma_{c \text{ dim}}$;
- Tensão máxima de ruptura à tração σ_{Rt} ;
- Tensão máxima de ruptura à compressão σ_{Rc} ;
- Tensão máxima de ruptura ao cisalhamento τ_R .

Tabela 5.2: Tensões máximas de dimensionamento e ruptura.

Tensão (MPa)	<i>G. spp</i>	<i>G. weberbaueri</i>	<i>D. giganteus</i>
$\sigma_{t \text{ dim}}$	3,05	5,85	1,65
$\sigma_{c \text{ dim}}$	3,19	5,33	1,58
σ_{Rt}	73,5	72,3	109
σ_{Rc}	41,3	37,3	71,4
τ_R	2,29	3,56	2,34

A Figura 5.7 apresenta a comparação da tensão de ruptura à tração para cada uma das espécies.

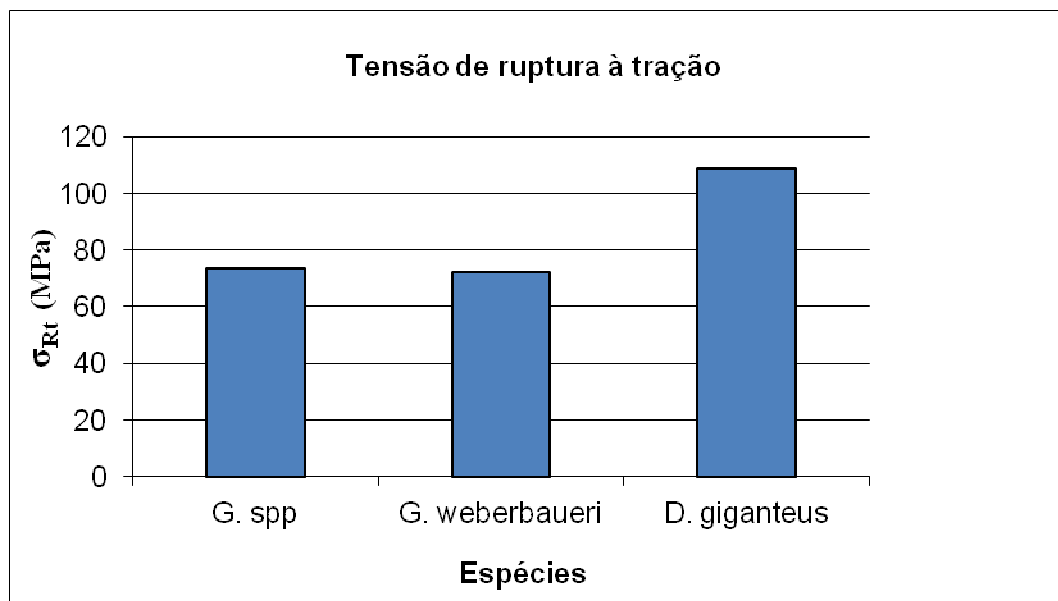


Figura 5.7: Tensão de ruptura à tração.

Observa-se que os bambus do gênero *Guadua* apresentaram tensões de ruptura à tração aproximadamente iguais, porém, inferiores ao gênero *Dendrocalamus*.

A Figura 5.8 mostra a comparação das tensões de ruptura à compressão.

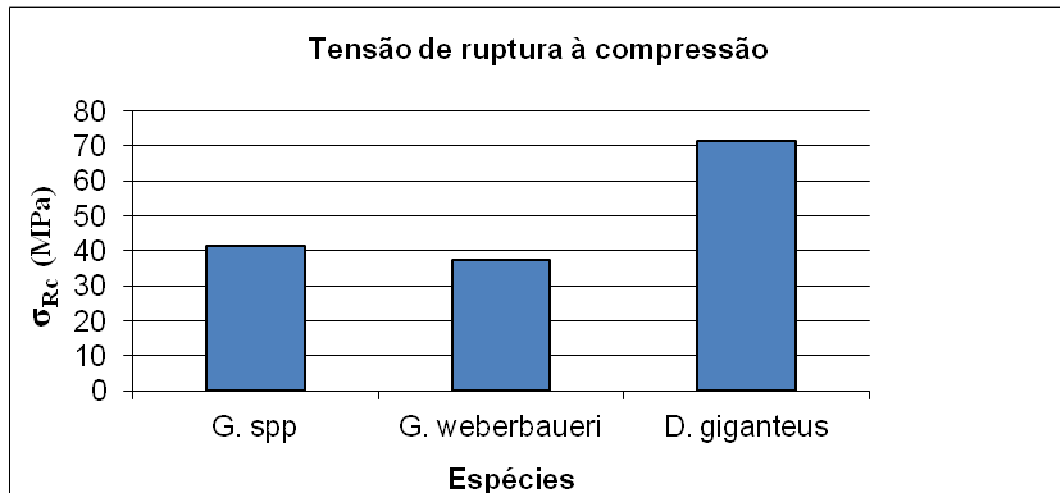


Figura 5.8: Tensão de ruptura à compressão.

Nota-se que as mesmas conclusões do comportamento à tração são aplicadas à compressão.

A Tabela 5.3 mostra as razões entre as tensões à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com o *Guadua spp.*

Tabela 5.3: Razão entre tensões de ruptura à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com o *Guadua spp.*

	<i>G. weberbaueri</i> / <i>G. spp</i>	<i>D. giganteus</i> / <i>G. spp</i>
Tração	0,984	1,483
Compressão	0,903	1,729
Cisalhamento	1,555	1,022

Na Figura 5.9 pode-se visualizar a razão entre as tensões de ruptura à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com o *Guadua spp.*

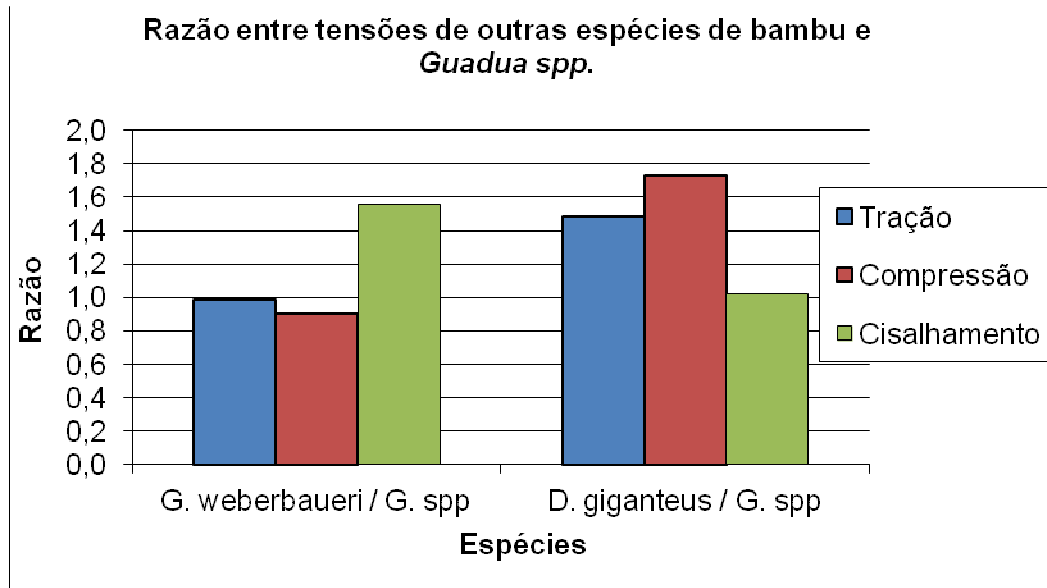


Figura 5.9: Razão entre tensões de ruptura à tração, compressão e cisalhamento de outras espécies com *Guadua spp.* Fonte: Adaptado de Murad (2007) e de Ghavami e Marinho (2001).

Observa-se que nos bambus de mesmo gênero – *Guadua* – as razões das tensões de tração e de compressão apresentam pouca variabilidade entre elas (próximo de 1). Já no *Dendrocalamus* nota-se um aumento da diferença de valores, devido a maior resistência desse gênero.

Definindo-se α como a razão entre tensão de compressão à ruptura e a tensão de tração, β como a razão entre tensão de cisalhamento e a tensão de tração, e ψ como a razão entre tensão de tração da espécie em questão e a tensão de tração do *Guadua spp* (referência), tem-se na Tabela 5.4 os valores dessas razões, assim como as médias, desvios padrão e coeficientes de variação.

Tabela 5.4: Razões entre tensões de ruptura.

Bambu	α	α normalizado	β	β normalizado	ψ
<i>G. spp</i>	0,562	1	0,031	1	1
<i>G. weberbaueri</i>	0,516	0,918	0,049	1,581	0,984
<i>D. giganteus</i>	0,655	1,165	0,021	0,677	1,483
Média		1,028		1,086	
Desvio padrão		0,126		0,458	
Coef. Variação		0,122		0,421	

As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 confrontam as razões α , β e ψ , respectivamente, entre as três espécies.

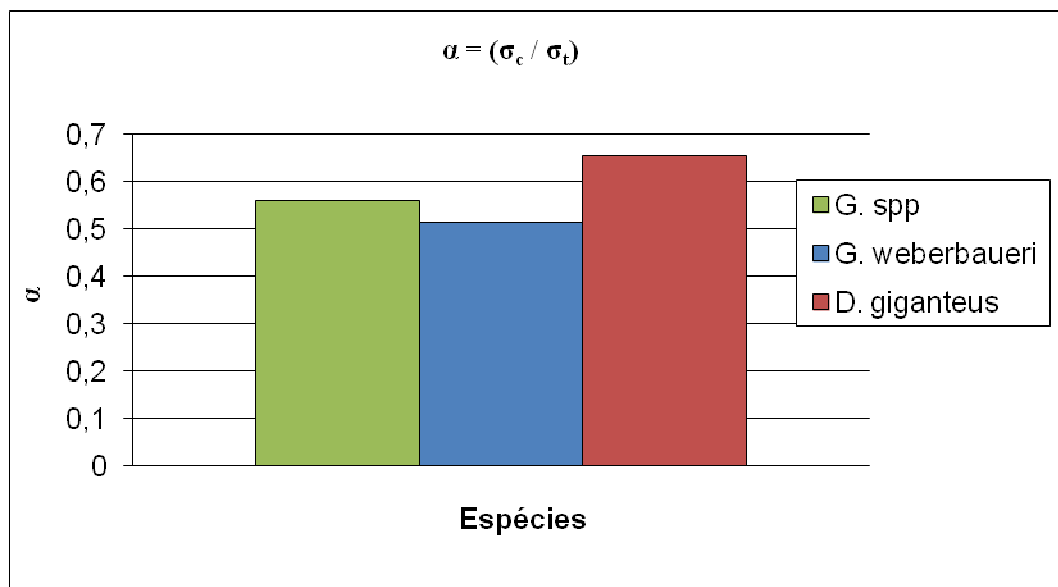


Figura 5.10: Razões entre tensões de ruptura à compressão e tração.

Observa-se que o *D. giganteus* apresenta uma razão mais constante, seguido do *G. spp* e *G. weberbaueri*.

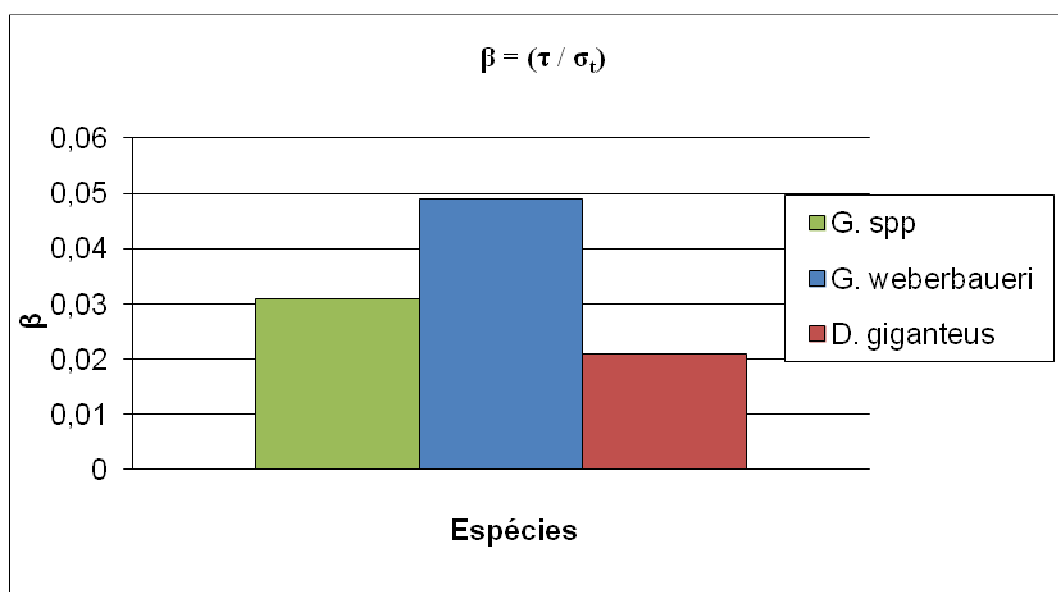


Figura 5.11: Razões entre tensões de ruptura ao cisalhamento e tração.

Observa-se que o *D. giganteus* apresenta maior variação, seguido pelo *G. spp* e pelo *G. weberbaueri*.

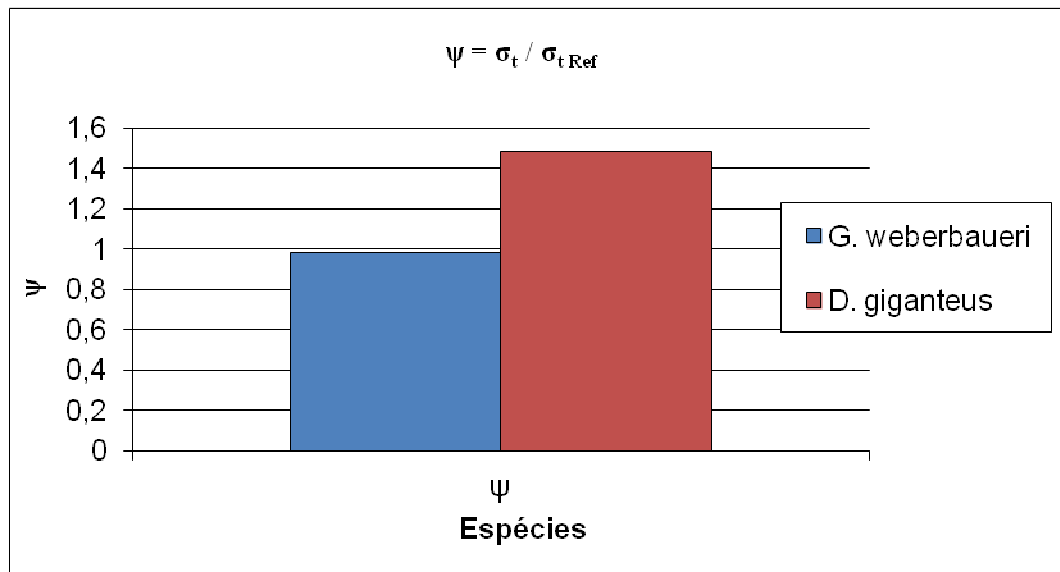


Figura 5.12: Razões entre tensões de tração de outra espécie e Guadua spp.

Conclui-se que os bambus do gênero *Guadua* apresentaram razão de tração semelhante, uma vez que o valor da razão entre eles ficou bem próximo da referência (1). Já o *Dendrocalamus* apresentou razão superior a 1, por ser mais resistente.

Sendo n a razão entre a tensão de tração máxima de projeto e a tensão de ruptura à tração da espécie, N a razão (normalizada) entre o n de outra espécie com o n do *Guadua spp* (referência), n' a razão entre a tensão de compressão máxima de projeto e a tensão de ruptura à compressão da espécie, N' a razão (normalizada) entre o n' de outra espécie com o n' do *Guadua spp* (referência), tem-se na Tabela 5.5 os valores dessas razões.

Tabela 5.5: Razões entre as tensões.

Bambu	n	N	n'	N'
<i>G. spp</i>	0,042	1	0,077	1
<i>G. weberbaueri</i>	0,081	1,929	0,143	1,857
<i>D. giganteus</i>	0,015	0,357	0,022	0,286
Média	0,046	1,095	0,081	1,048
Desv. padrão	0,033	0,790	0,061	0,787
Coef. Variação	72,1 %	72,1 %	75,1 %	75,1 %

Isso mostra que estabelecer tensões de cálculo de modo genérico para dimensionamento de estruturas de bambu pode levar a erros, pois a variabilidade das tensões entre diferentes espécies é grande.

As Figuras 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16 ilustram as comparações dessas relações para as três espécies de bambu utilizadas nos dimensionamentos das treliças.

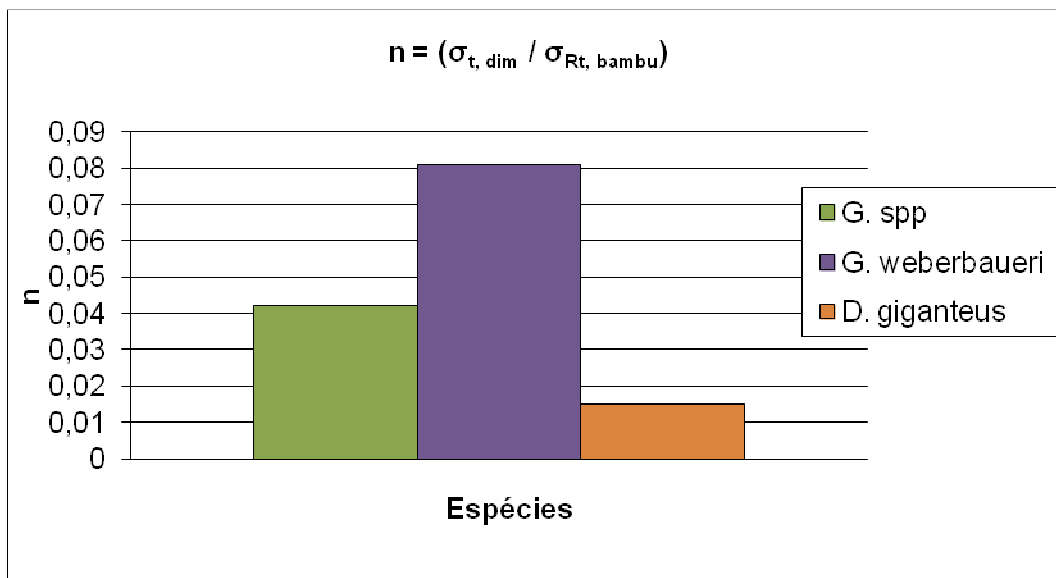


Figura 5.13: Razões entre tensões de tração de dimensionamento e de ruptura do bambu.

Observa-se que o *D. giganteus* apresentou a menor razão, o que significa que a tensão de ruptura é muito maior que a tensão de dimensionamento, seguido pelo *G. spp* e *G. weberbaueri*.

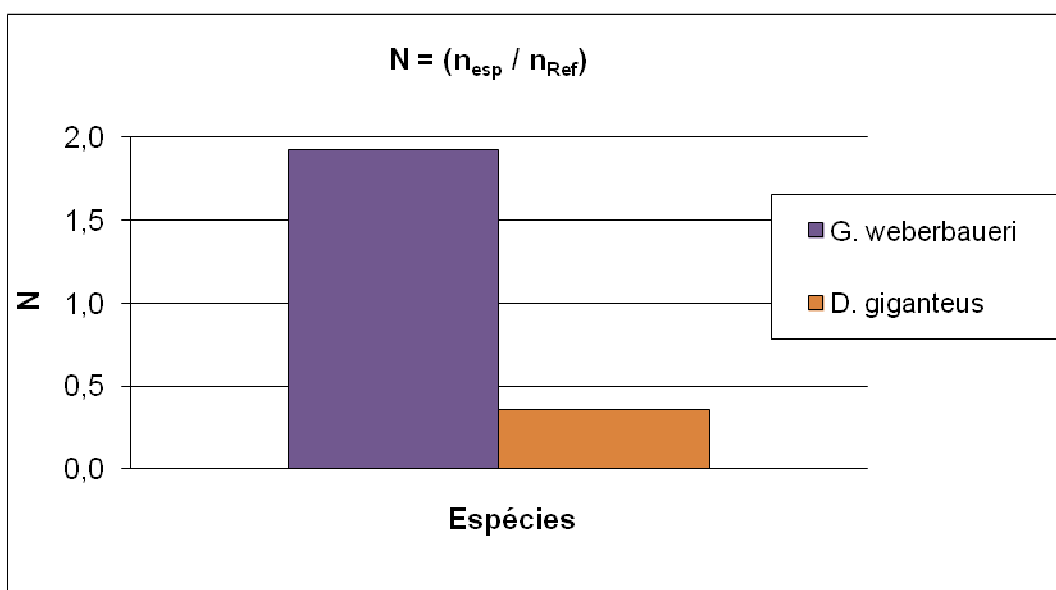


Figura 5.14: Razão (normalizada) entre o n de outra espécie com o n do *Guadua spp* (referência).

Como o *G. spp* é a referência seu valor é igual a 1. Logo o *D. giganteus* apresenta melhor relação que o *G. weberbaueri*.

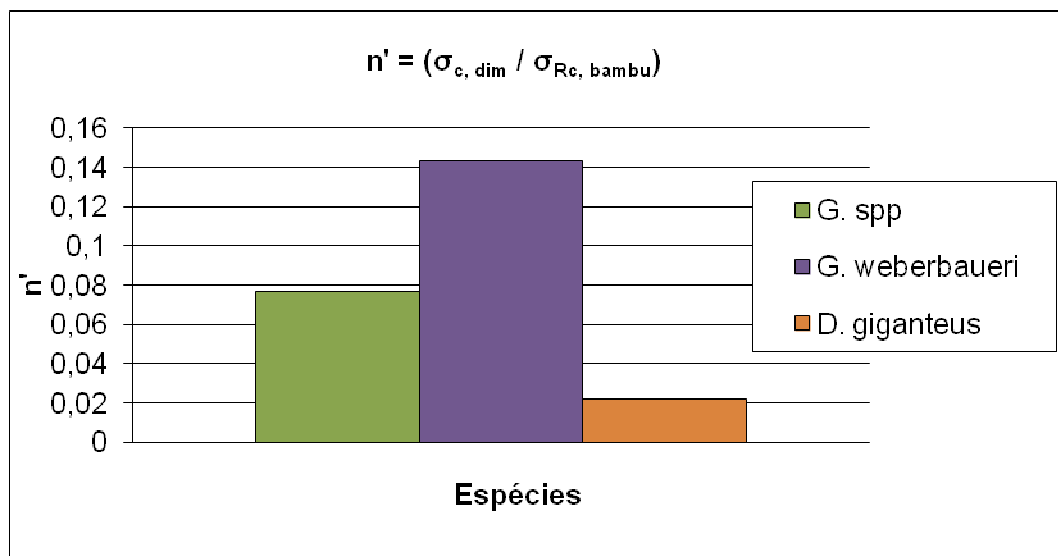


Figura 5.15: Relações entre tensões de compressão de dimensionamento e tensões de ruptura do bambu.

Observa-se que o *D. giganteus* apresentou a menor razão, o que significa que a tensão de ruptura é muito maior que a tensão de dimensionamento, seguido pelo *G. spp* e *G. weberbaueri*.

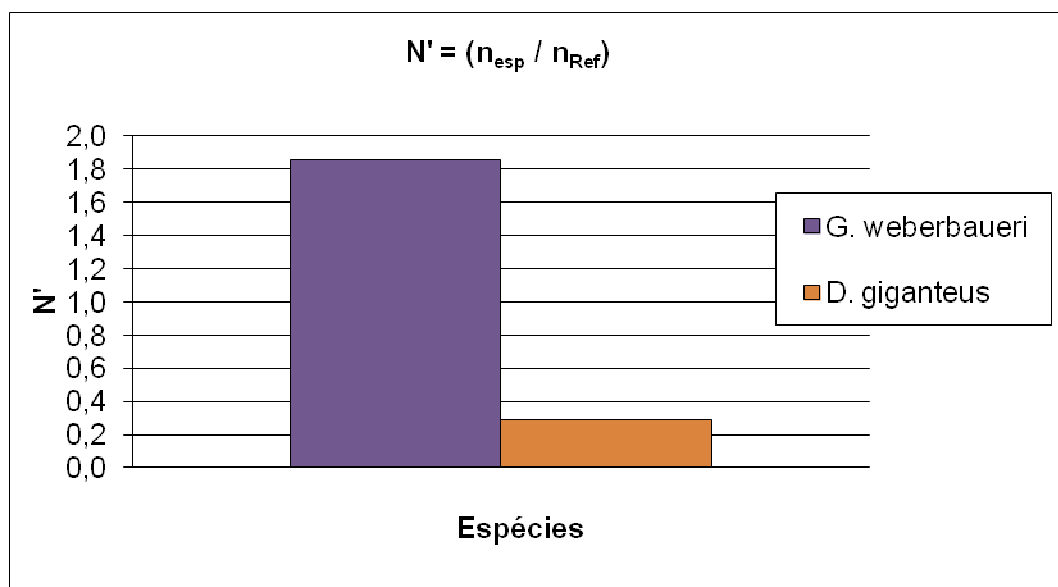


Figura 5.16: Razão (normalizada) entre o n' de outra espécie com o n' do *Guadua spp* (referência).

Como o *G. spp* é a referência seu valor é igual a 1. Logo o *D. giganteus* apresenta melhor relação que o *G. weberbaueri*.

5.1.3. Solicitações e reações de apoio

A Figura 5.17 apresenta os elementos da treliça sujeitos as solicitações atuantes.

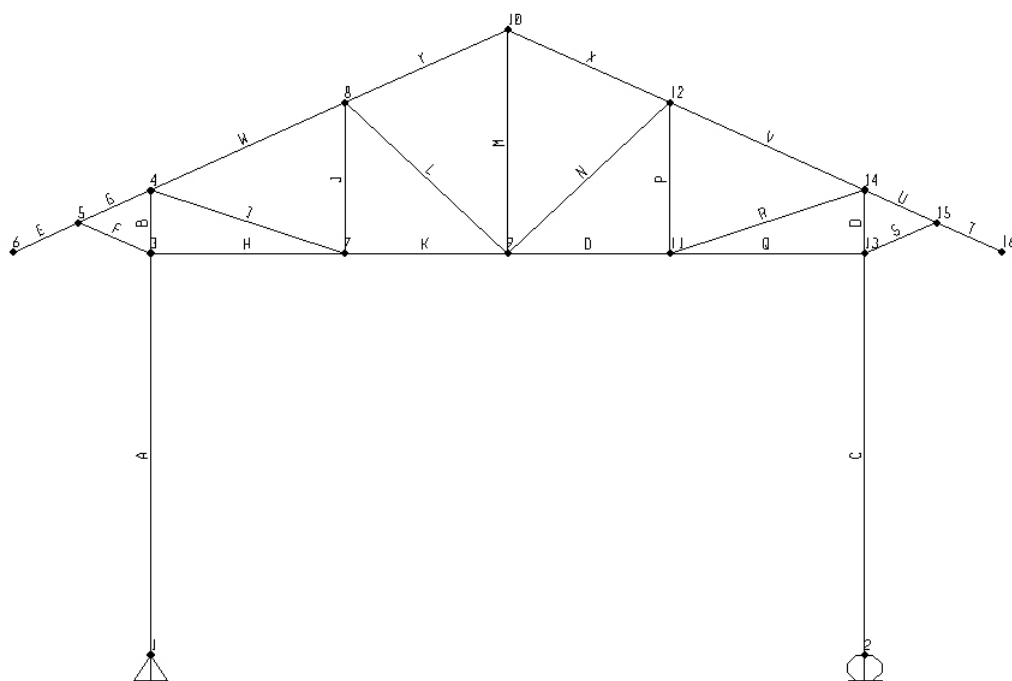


Figura 5.17: Elementos da treliça.

A Tabela 5.6 mostra os dados dos carregamentos em cada posição da treliça, primeira e segunda metade.

Tabela 5.6: Carregamentos nodais na estrutura.

Tipo de carregamento	Carregamentos nodais (kN/m ²)	
	Posição	
	0 a 0,5	0,5 a 1
1. Sucção externa	0,11	0,27
2. Pressão interna	0,11	0,11
3. Sucção interna	0,17	0,17
Q_{1a} (1+2)	0,22	0,38
Q_{1b} (1-3)	-0,06	0,10
4. Ligações	0,13	0,13
5. Grelha de cobertura	0,053	0,053
6. Telha ecológica	0,042	0,042
7. Sobrecarga – Q_2	0,025	0,025
8. G – sem o peso próprio – (4+5+6)	0,23	0,23

Os resultados máximos das solicitações de tração e compressão, e dos deslocamentos nodais vertical e horizontal são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Solicitações e deslocamentos máximos nos nós.

Resultados	Combinação de carregamento			
	1	2	3	4
Esforço máximo de tração (kN)	10,94	11,95	11,27	5,65
Esforço máximo de compressão (kN)	13,05	14,60	14,08	5,98
Deslocamento vertical máximo (mm)	-6,415	-6,581	-6,554	-2,806
Deslocamento horizontal máximo (mm)	4,363	-9,161	4,399	4,022

As solicitações máximas de tração e de compressão, ambas oriundas da combinação de carregamento 2, são resistidas pelos elementos da treliça. Os deslocamentos verticais máximos são inferiores a $l/300$.

KRAUSE (2009) estudou elementos de ligação para estruturas treliçadas com bambu e criou uma junta elaborada com Bambu Laminado e Colado – BLC que resiste a esforços de até 10 kN. Recomenda-se a utilização dessa junta na estrutura calculada, com exceção dos nós relacionados na Tabela 5.8 que ultrapassaram este limite. Nesses nós, é recomendado à utilização das mesmas juntas, porém, fabricadas em aço.

Tabela 5.8: Resumo dos nós que ultrapassaram o limite de 10 kN.

Nó	Força (kN)	Combinação de carregamento
3	-14,60	2
4	-13,12	2
7	11,95	2
9	10,94	1
11	-11,58	2
13	-14,08	3
14	-12,58	2

Os resultados das solicitações máximas de tração e compressão nas barras da treliça estão listados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Solicitações máximas nas barras da treliça.

Resultados	Combinação de carregamento			
	1	2	3	4
Solicitação máxima de tração (kN)	10,94	12,64	11,93	5,65
Solicitação máxima de compressão (kN)	11,74	13,21	12,68	5,62

Observa-se que as solicitações de maiores magnitudes são provenientes da condição de carregamento 2, devido a essa condição ser a mais desfavorável.

A Tabela 5.10 mostra os valores das reações de apoio dos pilares para as diversas condições de carregamento.

Tabela 5.10: Reações de apoio nos pilares.

Reações de apoio (kN)	Combinação de carregamento			
	1	2	3	4
Pilar A	14,65	16,20	15,60	6,18
Pilar C	14,04	15,60	15,60	5,57

Observa-se também que a condição de carregamento 2 gerou maiores reações.

5.1.4. Análises e resultados

O resumo com as propriedades dos bambus *Guadua weberbaueri* e *Dendrocalamus giganteus*, utilizados no projeto, são apresentadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Dados para projeto.

	<i>G. weberbaueri</i>	<i>D. Giganteus</i>
E (GPa)	6,69	13,6
Coef. Poisson	0,31	0,25
Peso específico (kN/m³)	8,15	8,80
Diâmetro externo (mm)	52,9	98,30
Espessura (mm)	4,60	8,00

Na Tabela 5.12 tem-se a comparação das forças e deslocamentos máximos nos nós do bambu em estudo com outras espécies.

Tabela 5.12: Comparação das forças e deslocamentos máximos nos nós entre três espécies de bambu .

Resultados	<i>G. spp</i>	<i>G. weberbaueri</i>	<i>D. giganteus</i>
Força máxima de tração (kN)	11,95	15,69	16,52
Força máxima de compressão (kN)	14,60	14,43	14,86
Deslocamento vertical Max. (mm)	-6,58	-30,05	-3,36
Deslocamento horizontal Max. (mm)	-9,16	349,60	-5,14

As forças máximas de tração e de compressão são absorvíveis pelos elementos da treliça, atendendo aos parâmetros estabelecidos de estabilidade dos colmos. Os deslocamentos verticais máximos são inferiores a $l/300$ nos bambus *Guadua spp* e *Dendrocalamus giganteus*, já no *Guadua weberbaueri* este limite é superado, causando um deslocamento excessivo nos nós, impossibilitando a execução do projeto com essa espécie.

Os resultados das forças máximas de tração e compressão nas barras da treliça para as diferentes espécies estão listados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Comparação dos esforços solicitantes máximos nos elementos da treliça para diferentes espécies de bambu.

Resultados	<i>G. spp</i>	<i>G. weberbaueri</i>	<i>D. giganteus</i>
Força máxima de tração (kN)	12,64	12,75	12,40
Força máxima de compressão (kN)	13,21	11,62	11,90

Observa-se que os esforços máximos são bem semelhantes, uma vez que o carregamento é o mesmo nos três projetos, mudando apenas o peso da estrutura em bambu, devido ao peso específico de cada espécie.

Pode-se ver na Tabela 5.14 as reações de apoio dos pilares para os três modelos.

Tabela 5.14: Comparação das reações de apoio nos pilares para as diferentes espécies.

Reações de apoio (kN)	<i>G. spp</i>	<i>G. weberbaueri</i>	<i>D. giganteus</i>
Pilar A	16,20	15,68	16,52
Pilar C	15,60	15,09	15,91

Observa-se que a conclusão do item anterior também se aplica aqui. As reações de apoio também se assemelham devido ao mesmo motivo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estabelecidas as principais propriedades físicas e mecânicas do bambu *Guadua spp.* Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização mecânica mostram sua capacidade de resistir com eficiência a solicitações de tração, cisalhamento longitudinal e compressão, mostrando que é um material capaz de ser utilizado em grande escala na construção civil, podendo substituir madeiras e até mesmo o aço. Apesar de o aço ser um material mais homogêneo às solicitações mecânicas, o bambu apresenta-se como um material mais econômico e exige menos energia de produção. Considerando-se que estudos anteriores sobre as características mecânicas do bambu *Guadua spp* não foram reportados na literatura consultada, pode-se afirmar que os resultados obtidos neste trabalho, ensaiados de acordo com normas atuais, ajudam a valorizar este tipo particular de bambu para sua utilização na construção civil.

Os ensaios experimentais realizados mostram que essa espécie de bambu resiste aproximadamente três vezes mais à tração que à compressão.

As curvas tensão-deformação específica mostram que o bambu estudado apresenta uma fase linear bem definida.

As fatias dos corpos-de-prova sem a presença de nós apresentaram maior resistência à tração, com média de 282 MPa nas fatias externas e 169 MPa nas fatias internas. As menores médias foram observadas nos corpos-de-prova com a presença de nós, 83,7 MPa. Essa maior resistência à tração nas fatias externas se dá exclusivamente devido à maior fração volumétrica de fibras na região mais externa do bambu.

A presença de nó influencia também a resistência à compressão, variando entre 48,5 MPa e 42,8 MPa para os corpos-de-prova sem e com nó, respectivamente.

A resistência média ao cisalhamento longitudinal foi de 3,97 MPa para os corpos-de-prova sem nó, e 2,55 MPa para os corpos-de-prova com nó, o que fornece uma resistência ao cisalhamento compatível com a de outras espécies.

No que se refere aos bambus utilizados nos dimensionamentos da treliça no capítulo 5 seguem-se algumas conclusões.

Os bambus do gênero *Guadua* apresentaram tensões de ruptura à tração aproximadamente igual, porém, inferiores ao *Dendrocalamus*. Essa mesma conclusão se aplica as solicitações de compressão.

A razão entre tensões de ruptura à tração do *G. weberbaueri* e *G. spp* foi próxima de 1, confirmando que ambas espécies tem resistência semelhante à essa solicitação. A mesma razão para o *D. giganteus* foi 1,483, devido a maior resistência dessa espécie. As espécies apresentaram os mesmos comportamentos quando sujeitos a solicitações de compressão.

Quanto à razão entre a tensão de cisalhamento das espécies, pode-se concluir que o comportamento é o inverso da tração e da compressão. Pelo fato do *G. weberbaueri* ter uma tensão de ruptura ao cisalhamento maior, a razão com o *G. spp* foi de 1,555, e a razão com o *D. giganteus* 1,022, devido terem tensões de ruptura semelhantes.

Analisando-se a razão entre tensão de ruptura à compressão e tensão de ruptura à tração α o *D. giganteus* apresenta um α maior que as outras espécies, o que indica menor diferença entre essas tensões. O *G. spp* e *G. weberbaueri* apresentaram razão próxima de 0,5, indicando que a tensão de ruptura à tração é aproximadamente o dobro da tensão de ruptura à compressão (considerando-se os valores mais desfavoráveis para o dimensionamento, e não a média).

A razão entre a tensão de ruptura ao cisalhamento e tensão de ruptura à tração β para o *G. spp* ficou na média dos valores das outras espécies.

As razões entre a tensão de tração máxima de projeto e a tensão de ruptura à tração n foi 0,015 para o *D. giganteus*, 0,042 para o *G. spp* e 0,081 para o *G. weberbaueri*, sendo esses valores muito pequenos, o que significa que a tensão de tração máxima de projeto é muito menor que a tensão de ruptura à tração.

As razões entre tensão de compressão máxima de projeto e a tensão de ruptura à compressão n' foi de 0,022 para o *D. giganteus*, 0,077 para o *G. spp* e 0,143 para o *G. weberbaueri*, valores muito pequenos, o que significa que a tensão de compressão máxima de projeto é muito menor que a tensão de ruptura à compressão, o que indica maior margem de segurança.

Quanto ao dimensionamento o programa SAP 2000 forneceu a grandezas das solicitações a serem resistidos pelos elementos da treliça analisada.

A combinação de carregamento 2 mostrou-se mais desfavorável, resultando nas solicitações de maiores magnitudes.

As solicitações máximas advindas da combinação de cargas são perfeitamente resistidas pelo bambu, que apresenta tensões de tração e compressão próximos a 70 MPa e

40 MPa, respectivamente, para as espécies *G. spp* e *G. weberbaueri*, e 109 MPa e 71 MPa para o *D. giganteus*, para tensões de tração e compressão, respectivamente.

Os deslocamentos verticais máximos são inferiores a $l/300$ nos bambus *G. spp* e *D. giganteus*, já no *G. weberbaueri* esse limite é superado, causando um deslocamento nodal excessivo, impossibilitando a execução desse projeto com essa espécie.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

– Identificar, marcar os brotos de bambus e observar o tempo de crescimento para estabelecer relações entre idade e resistência para regiões da base, meio e topo do bambu *Guadua spp*.

– Realizar ensaios de flexão e torção.

– Ensaiar vigas, lajes e pilares armados com bambu e comparar com elementos similares armados com aço.

– Estudar materiais compósitos a base de cimento reforçado com polpa dessa espécie de bambu.

– Realização de ensaios mecânicos com bambus tratados e não tratados, para verificar a influência do tratamento nos resultados.

– Estabelecer relação entre resistência e umidade.

– Construir uma edificação de bambu e monitorar o seu comportamento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, jun. 1988.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8800 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*. Rio de Janeiro, abr. 1986.

ACHÁ, E. H. N. *Estudo teórico experimental a flexão de lajes de concreto reforçadas com bambu*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2002.

AMADA, S.; ICHIKAWA, Y.; MUNEKATA, T.; NAGASE, Y.; SHIMIZU, H. *Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo*. Elsevier Science Limited, 1997, pp. 13–20.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM, Standard methods of evaluating the properties of wood – base fiber and particle materials. ASTM D – 1037–91 Philadelphia: 1987. v. 04.09 (Annual Book of ASTM standards).

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.

CLARK, L. G. *Diversity and distribution of the Andean woody bamboos (Poaceae: Bambuseae)*. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest . Ed. by S.P., 1995.

CRUZ, M. L. S. *Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie Phyllostachys áurea: Comportamento a flambagem*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2002.

CULZONI, R. A M. *Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto*. Rio de Janeiro, 1986. pp. 134. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio.

FERREIRA, L. S. *Durabilidade das armaduras de bambu tratado utilizadas como reforço em pilares de concreto armado*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.

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

GHAVAMI, K., *Bambu, um material alternativo na engenharia*. *Revista Engenharia. Construção Civil*. Pesquisa Engenho. Editora Técnica Ltda, São Paulo, No. 492. p. 23–27, 1992.

GHAVAMI, K. *Ultimate load behaviour of bamboo reinforced lightweight concrete beams*. Cement & Concrete Composites (17), Elsevier Science Limited 0958-9465(95)0001-6, 1995, p. 281-288.

GHAVAMI, K.; HOMBECK, R.V. *Application of bamboo as a construction material: Part I- Mechanical properties and water repellent treatment of bamboo*. Proceedings of the Latin American Symposium on Rational Organization of Building Applied Low cost Housing. IPT CIB. São Paulo, Brasil, 1981. p. 49- 66.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. *Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tigoara e Dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia*. Rio de Janeiro: PUC-Rio. Publicação RMNC Bambu 01/2001, 2001. p. 53.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. *Propriedades Mecânicas dos Colmos dos Bambus das Espécies: Mosó e Guadua angustifolia para Utilização na Engenharia*. Rio de Janeiro: PUC-Rio. Publicação RMNC-2 Bambu 02/2002, 2002. p. 90.

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

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. S.; PACIORNIK, S. *Bamboo: Functionally Graded Composite Material*. Asian Engineering (building and housing), Irã, v.4, n.1, p.1-10, 2003.

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.; TOLEDO FILHO, R. D. *Desenvolvimento de materiais de construção de baixo consumo de energia usando fibras naturais, terra e bambu*. Revista Engenharia Agrícola. Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Vol.2, p.1-19, 1992.

GOVERNO DO ESTADO DO ACRE, *Zoneamento ecológico-econômico do Acre*. Recursos Naturais e Meio Ambiente, vol. 1. Rio Branco, Ministério do Meio Ambiente/Cooperação Brasil-alemanha/PPG-7, 2000.

GRIMM, N. B. *Why link species and ecosystems? A perspective from ecosystem ecology*. Linking species & ecosystems (Ed. by C.G. Jones & J. H. Lawton), p5-14. Chapman & Hall, New York, 1995.

GROSSER D.; LIESE, W. *On the Anatomy of Asian Bamboo's, with Special Reference to their Vascular Bundles*. Wood Science and Technology, N. 5, p. 290-312, 1974.

HUBER, J. *La végétation le la vallée du Rio Purus (Amazonie)*. Bulletin de l'Herbier Boissier 4, p.199-289, 1906.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, *Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal (CD-ROM)*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1997.

INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATAN. INBAR: *International Model Building Code for Bamboo*. Edited by Dr. Jules J. A. Jansen, 1999, p. 2-20.

ISO / DIS 22157 – *Determination of physical and mechanical properties of bamboo*. 1999.

- JANSEN, J. J. A. *The mechanical properties of bamboo used in construction*. Bamboo research in Asia: Proceedings of workshop held in Singapura, Ottawa, 1980, p. 173–188.
- KRAUSE, J. Q. *Desenvolvimento de elementos espaciais de bambu para treliças espaciais*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2007.
- LEE, A.W.C.; BAI, X.; PERALTA, P.N. *Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina*. *Forest Products Journal*, Vol.44, No.9, p. 40–46, 1994.
- LENGEN, J. V. *Manual do arquiteto descalço*. Ed. TIBÁ e papéis e cópias, 1996.
- LIESE, W. *Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization*. GTZ, Germany, 132p., 1985.
- LIESE, W. *The structure of bamboo in relation to its properties and utilization*. Proc Int Symposium on Industrial use of Bamboo, Beijing, China, 1992, p. 95–100.
- LIESE, W. *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. International network of bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, 1998, p.203.
- LONDOÑO, X.; PETERSON, P. M. *Guadua sarcocarpa (Poaceae:Bambuseae), a new species of Amazonian bamboo with fleshy fruits*. *Systematic Botany* 16, p.630–638, 1991.
- LONDOÑO, X. P. *Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo*. *Cespedezia* 19, p.87–137, 1992.
- LONDOÑO, X. D. *European bamboo network*. 1999, <http://www.bambu.es.org>. (6 ago/01) *apud* ACHÁ (2002).
- LOPES, W.G.R.; VALENCIANO, M.C.M.; MARTINS, S.C.F.; BERARDO, A.L. *Variação volumétrica em três espécies de bamboo gigante*. In: Anais do XXIX CONBEA – Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE, CD-ROM, 2000.
- LOPEZ, O. H. *Bamboo the gift of the gods*. 1 ed Bogotá: D`VINNI Ltda, 2003, p. 553.
- MC CLURE, F. A. *The bamboo*. 368 p, 1993.
- MOREIRA, L. E. *Aspectos Singulares das Treliças de Bambu: Flambagem e Conexões*. Tese de Doutorado, PUC-Rio, 1998.
- MOREIRA, L. E. *Desenvolvimento de Estruturas Treliçadas Espaciais de Bambu*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 1991.
- MURAD, J. R. L. *As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu Guadua weberbaueri do Acre*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2007.
- NELSON, B. W. *Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon*. *Remote Sensing Reviews* 10, p.105–125, 1994.
- OLIVEIRA, A. C. A. *Efeitos do bambu Guadua weberbaueri Pilger sobre a fisionomia e estrutura de uma floresta no sudoeste da Amazônia*. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. p.84, 2000.

- PRANCE, G.T. *American Tropical Forest. Tropical Rain Forest Ecosystem, Biogeographical and ecological studies, Ecosystem of the world 14B, Tropical Forest ecosystem (Ed by H. Lieth & M.J.A. Werger)*, 1989, p.99–132. New York, Elsevier Scientific Publications.
- PEREIRA, M. A. R. *Bambu: Espécies, Características e Aplicações*. Departamento de Engenharia Mecânica / Unesp. Apostila. Bauru. 2001, 56p.
- PEREIRA, M. A. R. *Projeto bambu: manejo e produção do bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) cultivado na Unesp / Campus de Bauru e determinação de suas características físicas e de resistência mecânica*. Relatório Fapesp (2003/04323–7), 2006a.
- PEREIRA, M. A. R. *Projeto bambu: manejo e produção do bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) cultivado na Unesp de Bauru / SP e determinação de características mecânicas de ripas laminadas*. In: Seminário Nacional de Bambu: estruturação da rede de pesquisa e desenvolvimento. 13 a 15 de setembro, Brasília, D.F., p.91–103, 2006b.
- PEREIRA, M. A.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Bauru – SP: Canal6, 2008.
- ROSA, C. C. *Análise experimental das propriedades dinâmicas dos bambus das espécies Guadua, Dendrocalamus e Áurea*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.
- SILVEIRA, M. *A floresta aberta com bambu no sudoeste da amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas*. Tese de Doutorado, UNB, 2001.
- SILVEIRA, M. *Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazonia: an ethnoscience perspective*. *Ecotropica* 5, p.213–216, 1999.
- SPENCE, R.; COOK, D. *Building materials in developing Countries*, Wiley and Sons LTD., Inglaterra, 1982.
- TOREZAN, J. M. D; SILVEIRA, M. *Biomass of Guadua weberbaueri Pilger (Poaceae: Bambusoideae) in bamboo-forest, southwestern of Amazon*. *Ecotropica* 6, p.71–76, 2000.
- VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Rio de Janeiro, 1991.
- YOUSSEF, M. A. R. *Bamboo as a substitute for steel reinforcement in structural concrete*, New Horizons in Constructions Materials, Envo Publishing Co. Inc., 1979.

ANEXOS

Anexo I. Figuras e Tabelas referentes à análise dos resultados dos ensaios físicos, mecânicos e meso-estruturais.

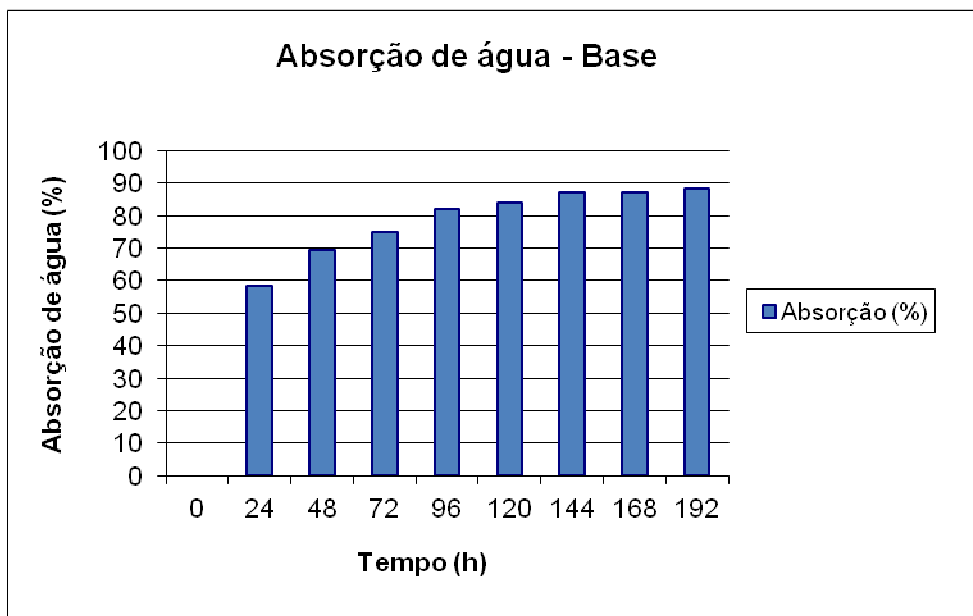


Figura A.I. 1: Absorção de água da espécie *Guadua spp* – base.

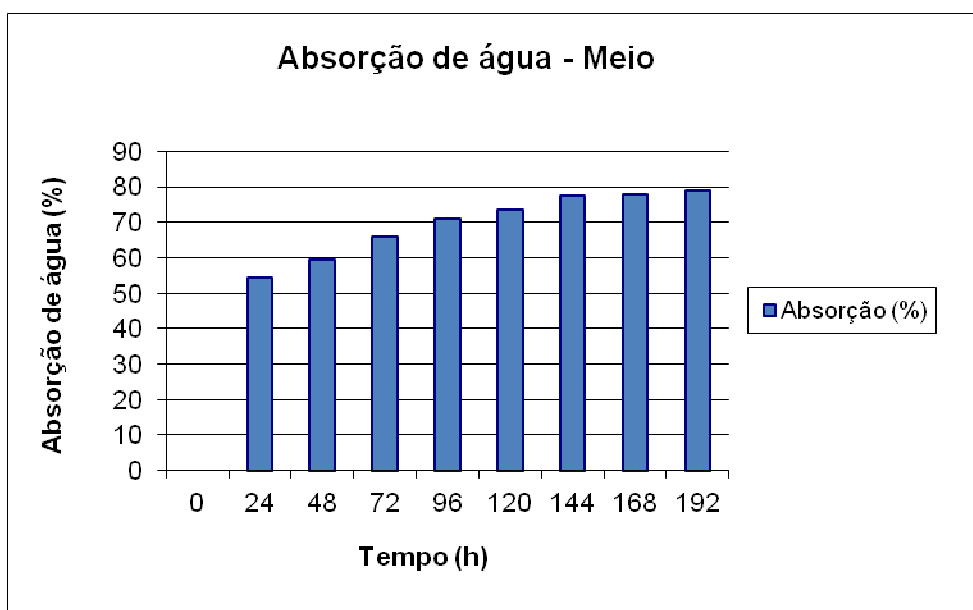


Figura A.I. 2: Absorção de água da espécie *Guadua spp* – meio.

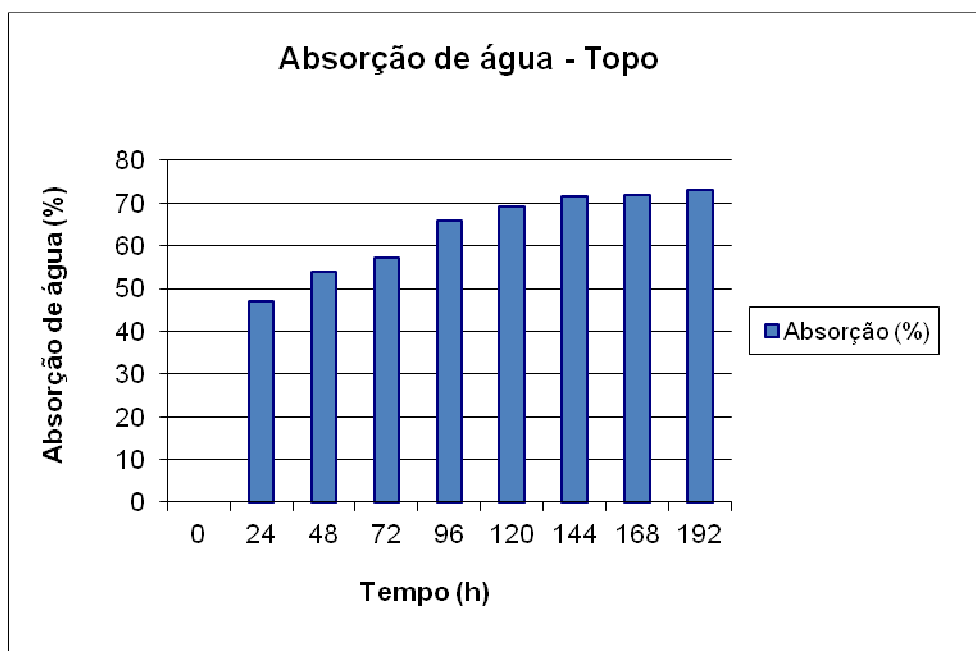


Figura A.I. 3: Absorção de água da espécie *Guadua spp.* – topo.

Tabela A.I. 1 – Absorção de água da espécie *Guadua spp* – base.

absorção de água – base amostra 03	N° CORPO-DE-PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h	Massa 96 h	Massa 120 h	Massa 144 h	Massa 168 h	Massa 192 h
	3 – B– 1	5,0	8,3	8,7	8,8	9,4	9,5	9,6	9,6	9,7
	3 – B– 2	4,9	7,9	8,4	8,4	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3
	3 – B– 3	4,9	7,9	8,3	8,6	9,1	9,2	9,3	9,3	9,4
	3 – B– 4	4,8	7,7	8,3	8,4	8,9	9,0	9,1	9,1	9,3
	3 – B– 5	4,6	7,7	8,2	8,3	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2
	3 – B– 6	5,0	8,1	8,1	8,7	9,2	9,4	9,4	9,4	9,5
absorção de água – base amostra 04	4 – B– 1	5,2	7,7	8,2	8,7	8,7	8,8	9	9	9,1
	4 – B– 2	5,3	7,7	8,2	8,7	8,9	8,9	9,2	9,2	9,2
	4 – B– 3	5,0	7,2	7,9	8,2	8,3	8,4	8,6	8,6	8,6
	4 – B– 4	4,9	7,2	7,7	8,1	8,2	8,2	8,4	8,4	8,5
	4 – B– 5	4,8	6,9	7,3	7,6	7,9	7,9	8,2	8,2	8,2
	4 – B– 6	5,4	7,9	8,5	9,1	9,3	9,4	9,6	9,6	9,7
absorção de água – base amostra 08	8 – B– 1	6,1	10,1	11,1	11,2	11,6	11,9	12	12	12,1
	8 – B– 2	6,0	10,3	11	11,3	11,7	11,9	12,1	12,1	12,1
	8 – B– 3	5,8	9,5	10,3	10,5	10,9	11	11,2	11,3	11,3
	8 – B– 4	5,8	9,3	10,3	10,5	10,9	11,1	11,3	11,3	11,3
	8 – B– 5	5,7	9,4	9,9	10,3	10,8	10,9	11	11	11,1
	8 – B– 6	5,8	9,8	10,5	10,8	11,1	11,3	11,4	11,4	11,4
Média Base	Média da absorção de água – Região basal									
	Tempo (h)	0	24	48	72	96	120	144	168	192
	Massa (g)	5,3	8,4	8,9	9,2	9,6	9,7	9,9	9,9	9,9
Absorção (%)	0,0	58,5	69,4	74,9	82,0	84,1	87,1	87,2	88,4	

Tabela A.I. 2: Absorção de água da espécie *Guadua spp* – meio.

absorção de água – meio amostra 03	N° CORPO-DE-PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h	Massa 96 h	Massa 120 h	Massa 144 h	Massa 168 h	Massa 192 h
	3 – M – 1	3,3	5,9	6,1	6,5	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9
3 – M – 2	3,0	5,7	5,9	6,2	6,4	6,5	6,5	6,5	6,6	
3 – M – 3	3,1	5,3	5,6	5,9	6,1	6,1	6,2	6,2	6,3	
3 – M – 4	3,4	5,3	5,4	5,9	6,1	6,2	6,3	6,3	6,4	
3 – M – 5	3,8	5,4	5,7	6,1	6,1	6,2	6,3	6,3	6,3	
3 – M – 6	3,2	5,4	5,7	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,4	
absorção de água – meio amostra 04	4 – M – 1	4,7	6,8	7	7,3	7,4	7,6	7,7	7,8	7,8
	4 – M – 2	4,9	7,2	7,4	7,9	8	8	8,2	8,2	8,3
	4 – M – 3	4,8	6,9	7,4	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,2
	4 – M – 4	4,9	7	7,4	7,8	7,9	8	8,2	8,2	8,2
	4 – M – 5	4,9	6,9	7,3	7,8	7,9	8,1	8,3	8,3	8,4
	4 – M – 6	4,6	6,6	6,9	7,2	7,3	7,5	7,7	7,8	7,8
absorção de água – meio amostra 08	8 – M – 1	4,6	7,3	7,6	7,7	8	8,1	8,4	8,5	8,5
	8 – M – 2	4,6	7,1	7,1	7,1	7,5	7,7	7,9	7,9	7,9
	8 – M – 3	4,6	7,1	7,1	7,2	7,6	7,8	8	8	8,1
	8 – M – 4	4,5	7,1	7,1	7,1	7,5	7,6	7,9	8	8
	8 – M – 5	4,7	7,4	7,4	7,4	7,9	8,1	8,2	8,2	8,2
	8 – M – 6	4,7	7,5	7,5	7,5	7,8	8,1	8,3	8,3	8,3
Média Meio	Tempo (h)	0	24	48	72	96	120	144	168	192
	Massa (g)	4,2	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,5	7,5	7,6
	Absorção (%)	0,0	54,5	59,4	66,1	70,9	73,7	77,3	77,9	79,0

Tabela A.I. 3: Absorção de água da espécie *Guadua spp* – topo.

absorção de água – topo amostra 03	N° CORPO-DE-PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h	Massa 96 h	Massa 120 h	Massa 144 h	Massa 168 h	Massa 192 h
	3 – T – 1	3,1	5,4	5,5	5,8	6,0	6,1	6,1	6,1	6,2
	3 – T – 2	3,3	5,2	5,4	5,7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,3
	3 – T – 3	3,2	5,1	5,3	5,5	5,9	5,9	6,1	6,1	6,1
	3 – T – 4	3,2	4,9	5,3	5,4	5,7	5,8	5,9	5,9	5,9
	3 – T – 5	3,3	5,2	5,5	5,8	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3
	3 – T – 6	3,2	4,9	5,4	5,4	5,8	5,9	6,1	6,1	6,1
absorção de água – topo amostra 04	4 – T – 1	3,8	5,2	5,4	5,4	5,8	5,9	6,1	6,1	6,2
	4 – T – 2	3,4	4,7	5	5	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5
	4 – T – 3	3,9	5,4	5,6	5,6	5,9	6,1	6,2	6,2	6,2
	4 – T – 4	4,1	5,7	5,9	5,9	6,2	6,4	6,4	6,4	6,5
	4 – T – 5	3,6	5	5,3	5,3	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8
	4 – T – 6	4,0	5,6	5,8	5,8	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5
absorção de água – topo amostra 08	8 – T – 1	4,2	6,3	6,6	6,8	7	7,3	7,3	7,3	7,3
	8 – T – 2	4,1	5,8	6	6,1	6,4	6,8	6,8	6,8	6,8
	8 – T – 3	4,2	6,1	6,5	6,7	6,9	7,1	7,1	7,1	7,1
	8 – T – 4	4,2	5,9	6,1	6,2	6,6	6,7	6,9	6,9	6,9
	8 – T – 5	4,4	6,3	6,5	6,8	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4
	8 – T – 6	4,3	6,5	6,8	6,9	7,3	7,4	7,6	7,6	7,7
Média Topo	Tempo (h)	0	24	48	72	96	120	144	168	192
	Massa (g)	3,8	5,5	5,8	5,9	6,2	6,4	6,4	6,5	6,5
	Absorção (%)	0,0	47,0	53,9	57,2	65,8	69,3	71,7	72,0	73,0

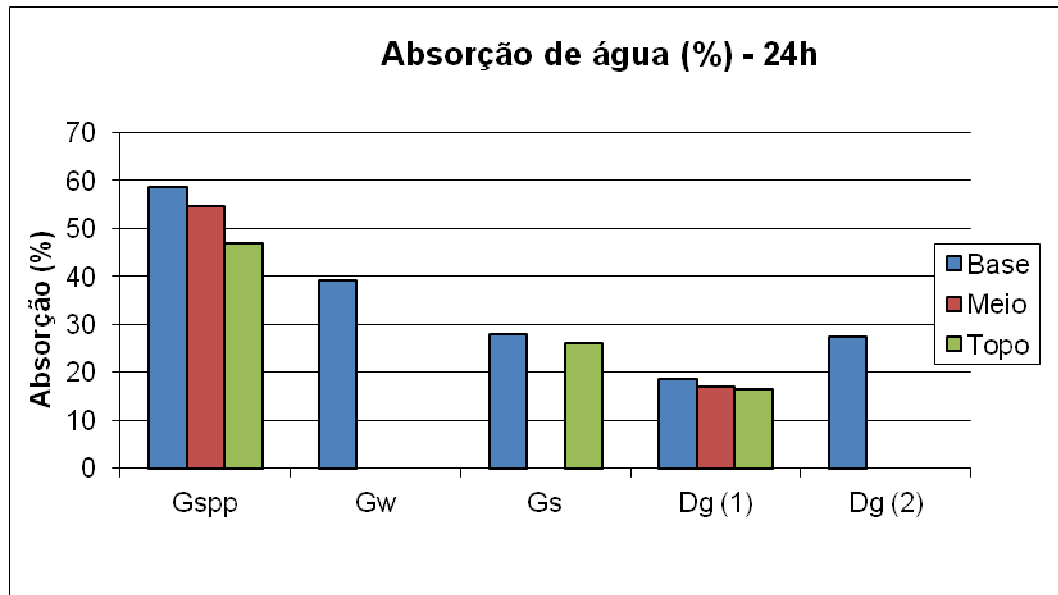


Figura A.I. 4: Comparação da absorção de água da espécie *Guadua spp* com outras espécies estudadas – t = 24 h.

Onde,

Gspp - *Guadua spp* em estudo

Gw - *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007)

Gs - *Guadua superba* (CULZONI, 1986)

Ga - *Guadua angustifolia* (LOPES *et al.*,2000)

Gv - *Guadua verticillatta* (LOPES *et al.*,2000)

Dg (1) - *Dendrocalamos giganteus* (CULZONI, 1986)

Dg (2) - *Dendrocalamos giganteus* (GHAVAMI, 2005)

Dg (3) - *Dendrocalamus giganteus* (LOPES *et al.*,2000)

Tabela A.I. 4: Comparação da absorção de água da espécie *Guadua spp* com outras espécies.

Absorção de água (%) – 24h					
	<i>Gspp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg (1)</i>	<i>Dg (2)</i>
Base	58,5	39,2	28,0	18,5	27,5
Meio	54,5			17,0	
Topo	47,0		26,0	16,5	

Onde,

Gspp - *Guadua spp* em estudo

Gw - *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007)

Gs - *Guadua superba* (CULZONI, 1986)

Ga - *Guadua angustifolia* (LOPES *et al.*,2000)

Gv - *Guadua verticillatta* (LOPES *et al.*,2000)

Dg (1) - *Dendrocalamos giganteus* (CULZONI, 1986)

Dg (2) - *Dendrocalamos giganteus* (GHAVAMI, 2005)

Dg (3) - *Dendrocalamus giganteus* (LOPES *et al.*,2000)

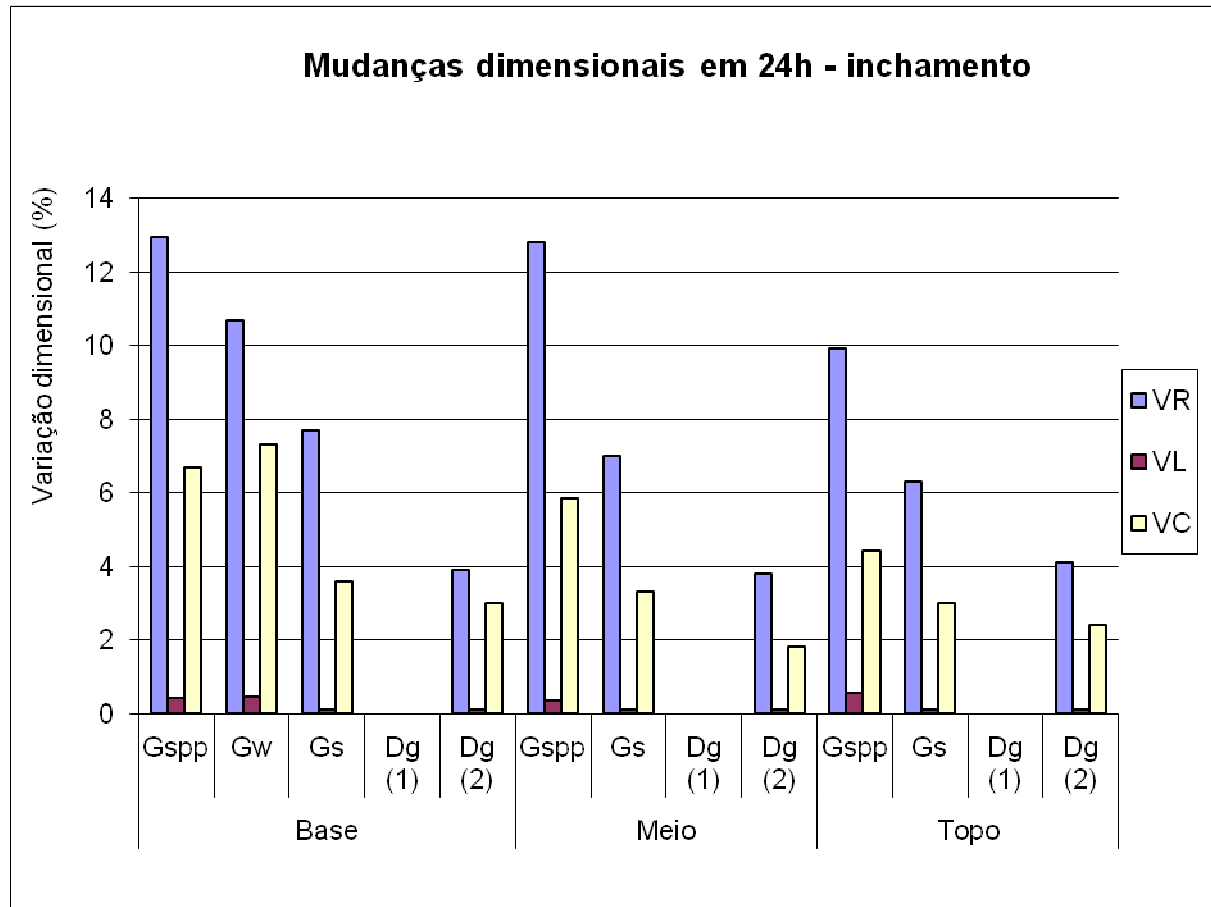


Figura A.I. 5: Comparação do inchamento da espécie *Guadua spp* com outras espécies estudadas – t = 24 h.

Onde,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gsp – espécie em estudo

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

* média.

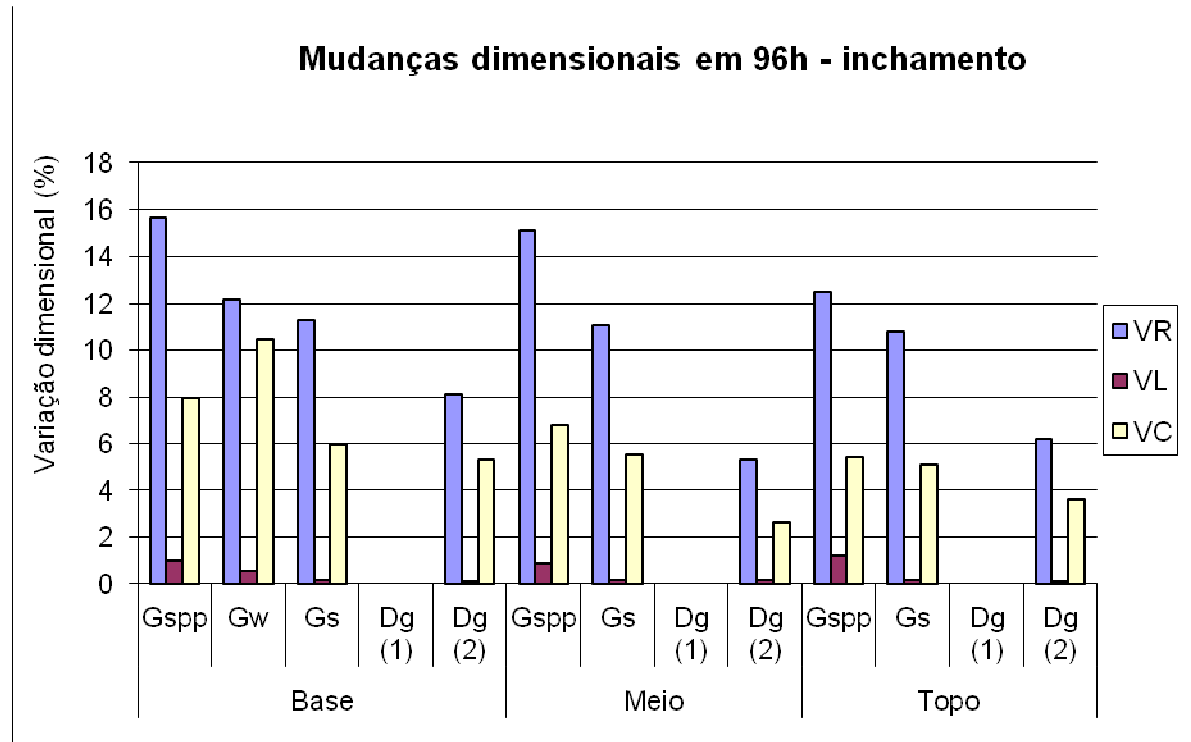


Figura A.I. 6: Comparação do inchamento da espécie *Guadua spp* com outras espécies estudadas – t = 96 h.

Onde,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gspp – espécie em estudo

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006a);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

* média.

Tabela A.I. 5: Comparação do inchamento da espécie *Guadua spp* com outras espécies estudadas –
t = 24 h.

Mudanças dimensionais no primeiro dia (24h)										
	Base				Meio			Topo		
	<i>Gspp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i>	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i>	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i>
VR	13,0	10,7	7,70	3,90	12,8	7,00	3,80	9,91	6,30	4,10
VL	0,43	0,44	0,12	0,12	0,34	0,12	0,12	0,57	0,12	0,12
VC	6,67	7,32	3,60	3,00	5,84	3,30	1,80	4,41	3,00	2,40

Onde,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gspp – espécie em estudo

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Dg – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

* média.

Tabela A.I. 6 : Comparação do inchamento da espécie *Guadua spp* com outras espécies estudadas –
t = 96 h.

Mudanças dimensionais no quarto dia (96h)										
	Base				Meio			Topo		
	<i>Gspp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i>	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i> (2)	<i>Gspp</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i>
VR	15,7	12,2	11,3	8,10	15,1	11,10	5,30	12,5	10,8	6,20
VL	0,97	0,52	0,13	0,12	0,86	0,13	0,13	1,18	0,13	0,12
VC	7,94	10,5	6,00	5,30	6,79	5,55	2,60	5,40	5,10	3,60

Onde,

VR – variação radial;

VL – variação longitudinal ou axial;

VC – variação circunferencial ou tangencial;

Gsp – espécie em estudo

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Dg – *Dendrocalamus giganteus* (CULZONI, 1986);

Gs – *Guadua superba* (CULZONI, 1986);

- média.

Tabela A.I. 7: Peso específico da espécie *Guadua spp* – base.

N° CORPO- DE- PROVA	INICIAL (16/12/2010)						
	Medidas						
	Paquímetro (cm)						
	MASSA (G)	e (Rad)	compr. (LONG)	larg. (circ.)	massa (kg)	Volume (m3)	peso específico (kN/m3)
3 – B– 1	4,8	1,045	2,565	2,478	0,0048	0,00000664	7,09
3 – B– 2	4,7	1,064	2,490	2,501	0,0047	0,00000663	6,96
3 – B– 3	5,1	1,109	2,506	2,563	0,0051	0,00000712	7,02
3 – B– 4	5,1	1,124	2,525	2,555	0,0051	0,00000725	6,90
3 – B– 5	4,9	1,127	2,480	2,514	0,0049	0,00000703	6,84
3 – B– 6	4,7	1,045	2,507	2,498	0,0047	0,00000654	7,05
4 – B– 1	5,1	1,047	2,594	2,553	0,0051	0,00000693	7,22
4 – B– 2	4,9	1,036	2,498	2,547	0,0049	0,00000659	7,29
4 – B– 3	5	1,066	2,558	2,569	0,005	0,00000701	7,00
4 – B– 4	4,8	1,013	2,532	2,506	0,0048	0,00000643	7,33
4 – B– 5	5	1,049	2,555	2,540	0,005	0,00000681	7,21
4 – B– 6	5,1	1,052	2,514	2,494	0,0051	0,00000660	7,59
8 – B– 1	6,3	1,475	2,56	2,545	0,0063	0,00000961	6,43
8 – B– 2	6,4	1,414	2,56	2,540	0,0064	0,00000919	6,83
8 – B– 3	6,1	1,474	2,509	2,536	0,0061	0,00000938	6,38
8 – B– 4	5,8	1,431	2,506	2,559	0,0058	0,00000918	6,20
8 – B– 5	6,4	1,477	2,574	2,548	0,0064	0,00000969	6,48
8 – B– 6	6,4	1,436	2,567	2,559	0,0064	0,00000943	6,66
Média							6,91

Tabela A.I. 8: Peso específico da espécie *Guadua spp* – meio.

N° CORPO- DE-PROVA	INICIAL (16/12/2010)						
	Medidas						
	Paquímetro (cm)						
	MASSA (G)	e (Rad)	compr. (LONG)	larg. (circ.)	massa (kg)	Volume (m3)	peso específico (kN/m3)
3 – M – 1	3,6	0,880	2,525	2,555	0,0036	0,00000568	6,22
3 – M – 2	3,5	0,866	2,663	2,608	0,0035	0,00000601	5,71
3 – M – 3	3,4	0,869	2,510	2,522	0,0034	0,00000550	6,06
3 – M – 4	3,3	0,868	2,505	2,594	0,0033	0,00000564	5,74
3 – M – 5	3,4	0,837	2,537	2,593	0,0034	0,00000551	6,06
3 – M – 6	3,3	0,837	2,567	2,546	0,0033	0,00000547	5,92
4 – M – 1	5,1	1,014	2,548	2,519	0,0051	0,00000651	7,69
4 – M – 2	4,8	0,971	2,546	2,480	0,0048	0,00000613	7,68
4 – M – 3	4,8	0,989	2,507	2,468	0,0048	0,00000612	7,70
4 – M – 4	5,1	1,001	2,562	2,524	0,0051	0,00000647	7,73
4 – M – 5	4,9	0,945	2,54	2,533	0,0049	0,00000608	7,91
4 – M – 6	4,9	0,933	2,54	2,553	0,0049	0,00000605	7,95
8 – M – 1	4,8	0,776	2,536	2,538	0,0048	0,00000499	9,43
8 – M – 2	4,8	0,991	2,515	2,558	0,0048	0,00000638	7,39
8 – M – 3	4,7	0,959	2,509	2,553	0,0047	0,00000614	7,51
8 – M – 4	5	0,972	2,584	2,529	0,005	0,00000635	7,72
8 – M – 5	4,5	0,958	2,513	2,505	0,0045	0,00000603	7,32
8 – M – 6	5	0,987	2,554	2,542	0,005	0,00000641	7,65
Média							7,19

Tabela A.I. 9 : Peso específico da espécie *Guadua spp* – topo.

N° CORPO- DE- PROVA	INICIAL (16/12/2010)						
	Medidas						
	Paquímetro (cm)						
	MASSA (G)	e (Rad)	compr. (LONG)	larg. (circ.)	massa (kg)	Volume (m3)	peso específico (kN/m3)
3 – T – 1	3,3	0,743	2,535	2,578	0,0033	0,00000486	6,67
3 – T – 2	3,2	0,779	2,479	2,528	0,0032	0,00000488	6,43
3 – T – 3	3,1	0,867	2,523	2,526	0,0031	0,00000553	5,50
3 – T – 4	3,2	0,800	2,497	2,554	0,0032	0,00000510	6,15
3 – T – 5	3,2	0,797	2,526	2,584	0,0032	0,00000520	6,03
3 – T – 6	3,3	0,759	2,540	2,539	0,0033	0,00000489	6,61
4 – T – 1	3,5	0,683	2,497	2,520	0,0035	0,00000430	7,99
4 – T – 2	4,1	0,812	2,534	2,526	0,0041	0,00000520	7,74
4 – T – 3	4	0,775	2,538	2,542	0,004	0,00000500	7,85
4 – T – 4	3,7	0,677	2,499	2,533	0,0037	0,00000429	8,47
4 – T – 5	3,9	0,790	2,457	2,550	0,0039	0,00000495	7,73
4 – T – 6	3,8	0,707	2,489	2,549	0,0038	0,00000449	8,31
8 – T – 1	4,2	0,846	2,549	2,543	0,0042	0,00000548	7,51
8 – T – 2	4,6	0,898	2,622	2,519	0,0046	0,00000593	7,61
8 – T – 3	4,1	0,828	2,478	2,547	0,0041	0,00000523	7,70
8 – T – 4	4,2	0,851	2,549	2,493	0,0042	0,00000541	7,62
8 – T – 5	4	0,821	2,47	2,467	0,004	0,00000500	7,84
8 – T – 6	4,4	0,897	2,497	2,542	0,0044	0,00000569	7,58
						Média	7,30

Tabela A.I. 10: Comparação do peso específico do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

	Peso específico – kN/m ³						
	Espécie						
	<i>Gsp</i>	<i>Gw</i>	<i>Gs</i>	<i>Dg</i> (1)	<i>Dg</i> (2)	<i>Dg</i> (3)	<i>Dg</i> (4)
Base	6,91	8,15	7,50	7,60	7,31	8,60	8,50
Meio	7,19	–	7,75 *	8,40	–	9,80	8,30
Topo	7,30	–	8,00	8,40	–	8,20	8,00

Gsp - Espécie em estudo

Gw - *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs - *Guadua superba* (CULZONI, 1986)

Dg (1) - *Dendrocalamos giganteus* (PEREIRA, 2006a) – unidade transformada

Dg (2) - *Dendrocalamos giganteus* (ROSA, 2005)

Dg (3) - *Dendrocalamos giganteus* RJ (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992)

Dg (4) - *Dendrocalamos giganteus* PB (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992)

*média

- não disponível

Tabela A.I. 11: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – base.

Teor de umidade natural – base amostra 03	N° CORPO- DE-PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h
	3 – B– 1	5,0	4,2	4,2	4,2
3 – B– 2	4,8	4,2	4,2	4,2	4,2
3 – B– 3	4,9	4,2	4,2	4,2	4,2
3 – B– 4	4,8	4,2	4,1	4,1	4,1
3 – B– 5	4,7	4,1	4,0	4,0	4,0
3 – B– 6	5,0	4,3	4,3	4,3	4,3
Teor de umidade natural – base amostra 04	4 – B– 1	5,1	4,5	4,4	4,4
	4 – B– 2	5,2	4,6	4,5	4,5
	4 – B– 3	4,9	4,4	4,3	4,3
	4 – B– 4	4,8	4,3	4,2	4,2
	4 – B– 5	4,8	4,3	4,2	4,2
	4 – B– 6	5,2	4,7	4,6	4,6
Teor de umidade natural – base amostra 08	8 – B– 1	6,0	5,2	5,2	5,2
	8 – B– 2	5,9	5,2	5,1	5,1
	8 – B– 3	5,6	4,9	4,9	4,9
	8 – B– 4	5,7	5,0	5,0	5,0
	8 – B– 5	5,6	4,9	4,9	4,9
	8 – B– 6	5,6	4,9	4,9	4,9

Tabela A.I. 12: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – meio.

Teor de umidade natural – meio amostra 03	N° CORPO- DE-PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h
		3 – M – 1	3,2	2,7	2,7
	3 – M – 2	3,0	2,6	2,6	2,6
	3 – M – 3	3,1	2,8	2,7	2,7
	3 – M – 4	3,4	3,1	3,1	3,1
	3 – M – 5	3,8	3,3	3,3	3,3
	3 – M – 6	3,2	2,9	2,9	2,9
Teor de umidade natural – meio amostra 04	4 – M – 1	4,6	4,1	4,1	4,1
	4 – M – 2	4,8	4,3	4,3	4,3
	4 – M – 3	4,7	4,1	4,1	4,1
	4 – M – 4	4,8	4,2	4,2	4,2
	4 – M – 5	4,8	4,2	4,2	4,2
	4 – M – 6	4,5	4,0	4,0	4,0
Teor de umidade natural – meio amostra 08	8 – M – 1	4,5	4,0	4,0	4,0
	8 – M – 2	4,5	4,1	4,0	4,0
	8 – M – 3	4,4	3,9	3,9	3,9
	8 – M – 4	4,4	4,0	3,9	3,9
	8 – M – 5	4,6	4,1	4,1	4,1
	8 – M – 6	4,6	4,0	4,0	4,0

Tabela A.I. 13: Dados para o cálculo do teor de umidade natural – topo.

Teor de umidade natural – topo amostra 03	N° CORPO-DE- PROVA	Massa inicial (g)	Massa 24h	Massa 48 h	Massa 72h
		3 – T – 1	3,0	2,7	2,7
	3 – T – 2	3,2	2,9	2,9	2,9
	3 – T – 3	3,2	2,8	2,8	2,8
	3 – T – 4	3,1	2,7	2,7	2,7
	3 – T – 5	3,2	2,8	2,8	2,8
	3 – T – 6	3,1	2,8	2,8	2,8
Teor de umidade natural – topo amostra 04	4 – T – 1	3,7	3,2	3,2	3,2
	4 – T – 2	3,3	3,0	2,9	2,9
	4 – T – 3	3,8	3,3	3,3	3,3
	4 – T – 4	4,0	3,6	3,5	3,5
	4 – T – 5	3,5	3,1	3,1	3,1
	4 – T – 6	3,8	3,4	3,4	3,4
Teor de umidade natural – topo amostra 08	8 – T – 1	4,1	3,6	3,4	3,6
	8 – T – 2	4,0	3,6	3,5	3,5
	8 – T – 3	4,1	3,6	3,5	3,5
	8 – T – 4	4,1	3,5	3,5	3,5
	8 – T – 5	4,3	3,8	3,8	3,8
	8 – T – 6	4,2	3,7	3,7	3,7

Tabela A.I. 14: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu *Guadua spp* – base.

Inchamento								
	0	24	48	72	96	120	144	168
m (g)	5,37	8,41	8,88	9,24	9,64	9,74	9,85	9,85
r (mm)	11,94	13,48	13,68	13,75	13,80	13,81	13,82	13,82
l (mm)	25,33	25,44	25,49	25,57	25,58	25,58	25,58	25,58
c (mm)	25,34	27,03	27,19	27,32	27,35	27,35	27,36	27,36
vr (%)		12,96	14,61	15,21	15,66	15,69	15,75	15,75
vl (%)		0,43	0,63	0,93	0,97	0,97	0,97	0,97
vc (%)		6,67	7,33	7,81	7,94	7,96	8,00	8,00

Tabela A.I. 15: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu *Guadua spp* – meio.

Inchamento								
	0	24	48	72	96	120	144	168
m (g)	4,38	6,45	6,76	6,96	7,31	7,44	7,51	7,51
r (mm)	9,25	10,44	10,54	10,63	10,65	10,66	10,66	10,66
l (mm)	25,42	25,51	25,57	25,62	25,64	25,76	25,76	25,76
c (mm)	25,40	26,88	27,01	27,08	27,12	27,14	27,14	27,14
vr (%)		12,82	13,93	14,87	15,14	15,20	15,24	15,24
vl (%)		0,34	0,56	0,77	0,86	1,32	1,32	1,32
vc (%)		5,84	6,33	6,62	6,79	6,85	6,87	6,87

Tabela A.I. 16: Estabilidade dimensional – Inchamento – do bambu *Guadua spp* – topo.

Inchamento								
	0	24	48	72	96	120	144	168
m (g)	3,77	5,46	5,74	5,86	6,20	6,27	6,41	6,41
r (mm)	7,96	8,75	8,86	8,91	8,96	8,96	8,97	8,97
l (mm)	25,16	25,30	25,35	25,24	25,45	25,45	25,45	25,45
c (mm)	25,36	26,47	26,64	26,68	26,72	26,73	26,74	26,74
vr (%)		9,91	11,32	11,91	12,48	12,56	12,67	12,67
vl (%)		0,57	0,78	0,33	1,18	1,18	1,18	1,18
vc (%)		4,41	5,06	5,22	5,40	5,41	5,44	5,44

Tabela A.I. 17: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu *Guadua spp* – base.

Retração					
t (h)		0	24	48	72
m (g)			4,71	4,62	4,59
r (mm)		13,82	12,34	12,31	12,28
l (mm)		25,58	25,40	25,39	25,42
c (mm)		27,36	24,84	24,83	24,82
vr (%)		–	-10,68	-10,93	-11,12
vl (%)		–	-0,70	-0,73	-0,63
vc (%)		–	-9,21	-9,27	-9,29

Tabela A.I. 18: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu *Guadua spp* – meio.

Retração					
t (h)		0	24	48	72
m (g)		g	3,79	3,76	3,75
r (mm)		10,66	9,21	9,19	9,18
l (mm)		25,76	25,48	25,47	25,47
c (mm)		27,14	24,65	24,63	24,63
vr (%)			-13,65	-13,78	-13,87
vl (%)			-1,09	-1,11	-1,12
vc (%)			-9,19	-9,26	-9,27

Tabela A.I. 19: Estabilidade dimensional – Retração – do bambu *Guadua spp* – topo.

Retração					
t (h)		0	24	48	72
m (g)		g	-3,37	-3,31	-3,26
r (mm)		-8,97	-7,82	-7,80	-7,73
l (mm)		-25,45	-25,25	-25,24	-25,24
c (mm)		-26,74	-24,36	-24,34	-24,33
vr (%)			-12,80	-13,03	-13,78
vl (%)			-0,80	-0,83	-0,84
vc (%)			-8,90	-8,96	-8,99

Tabela A.I. 20: Estabilidade dimensional – comparação da retração e inchamento do bambu *Guadua spp.*

Região	Retração (%)			Inchamento (%)		
	VR	VL	VC	VR	VL	VC
Base	-11,12	-0,63	-9,29	15,75	0,97	8,00
Meio	-13,87	-1,12	-9,27	15,24	1,32	6,87
Topo	-13,78	-0,84	-8,99	12,67	1,18	5,44
Média	-12,92	-0,86	-9,19	14,55	1,16	6,77

Tabela A.I. 21: Comparação da resistência à tração do bambu *Guadua spp* com outras espécies..

Resistência à tração – σ (MPa)							
	Gspp	Gw	Ga	Gs	Dg (1)	Dg (2)	Dg (3)
BCN	86,5	72,2	69,9	109	103	109	107
BSN	239	256	93,4	143	240	159	147
MCN	73,5	–	82,6	–	118	170	144
MSN	228	–	95,8	–	250	224	188
TCN	91,2	–	64,3	116	114	119	114
TSN	210	–	116	151	247	147	158

Onde,

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs – *Guadua superba* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006b);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

Dg (3) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992).

Tabela A.I. 22: Comparação do módulo de elasticidade do bambu *Guadua spp* com outras espécies.

Módulo de elasticidade – E (Gpa)							
	Gspp	Gw	Ga	Gs	Dg (1)	Dg (2)	Dg (3)
BCN	9,61	6,70	15,7	8,33	16,90	13,61	12,98
BSN	17,8	7,40	16,3	10,48	20,10	23,12	19,11
MCN	8,47	–	11,1	–	18,6	20,76	16,73
MSN	18,4	–	18,1	–	20,7	–	15,70
TCN	8,95	–	11,17	9,42	19,5	18,31	13,44
TSN	17,5	–	18,4	11,83	20,7	–	10,71

Onde,

Gspp – *Guadua spp*;

Gw – *Guadua weberbaueri* (MURAD, 2007);

Gs – *Guadua superba* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992);

Ga – *Guadua angustifolia* (GHAVAMI e MARINHO, 2005);

Dg (1) – *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006b);

Dg (2) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e MARINHO, 2001);

Dg (3) – *Dendrocalamus giganteus* (GHAVAMI e TOLEDO FILHO, 1992).

ANEXO II. FIGURAS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, CISALHAMENTO E COMPRESSÃO.

Resistência à tração: Colmo 03

Observação: Algumas curvas tensão x deformação poderão ter um patamar decorrente da acomodação do corpo-de-prova na máquina de ensaio devido a curvatura de algumas regiões do colmo do bambu.

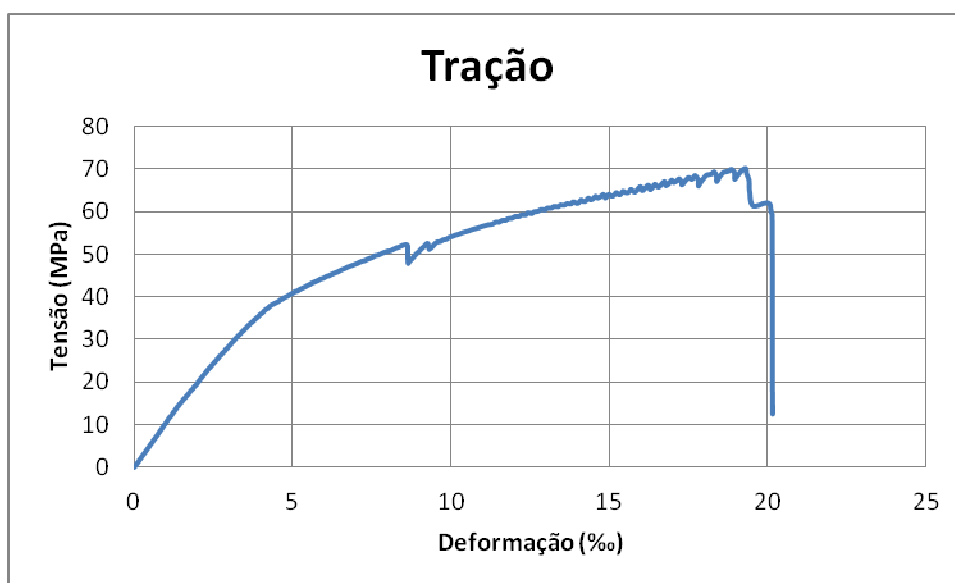


Figura A.II. 1: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1.



Figura A.II. 2: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.

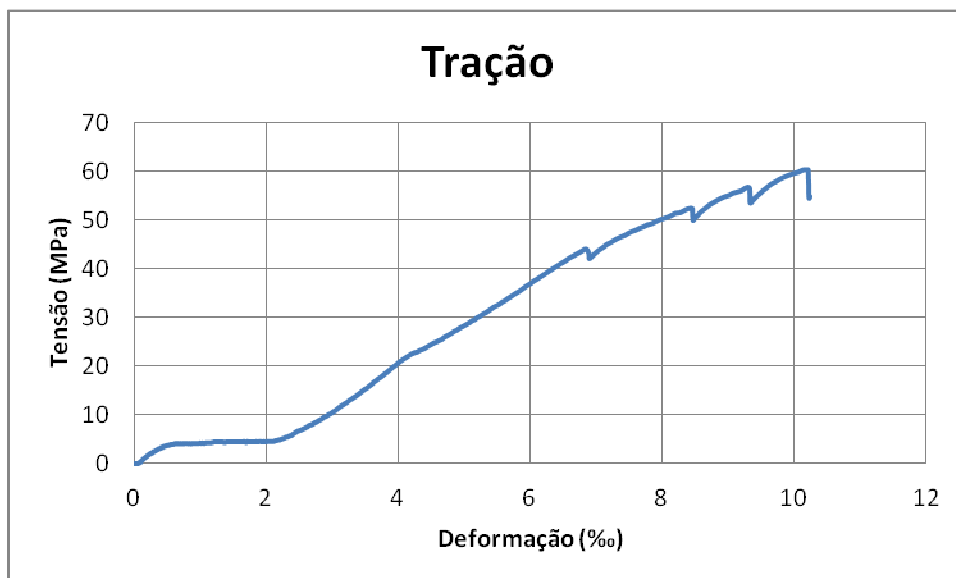


Figura A.II. 3: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB3.

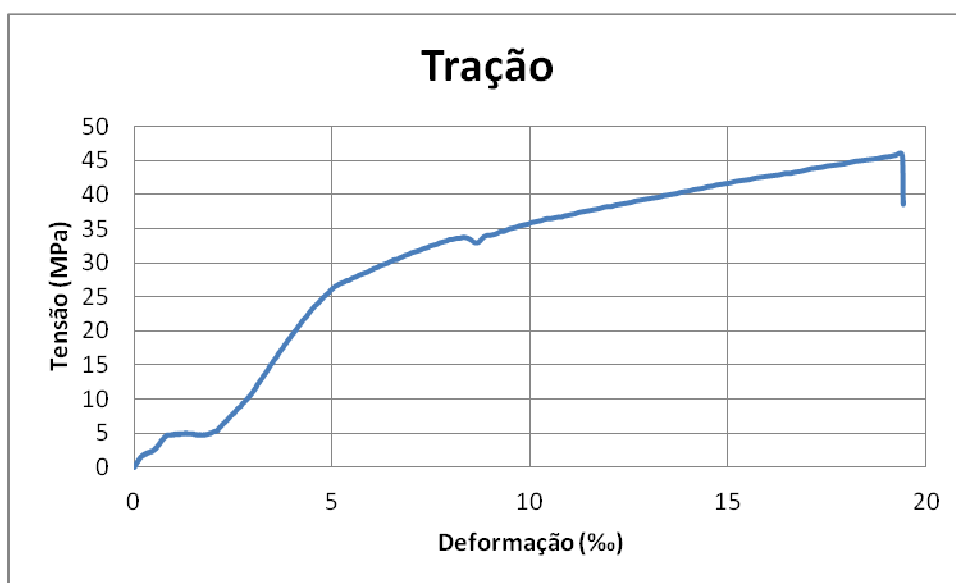


Figura A.II. 4: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.

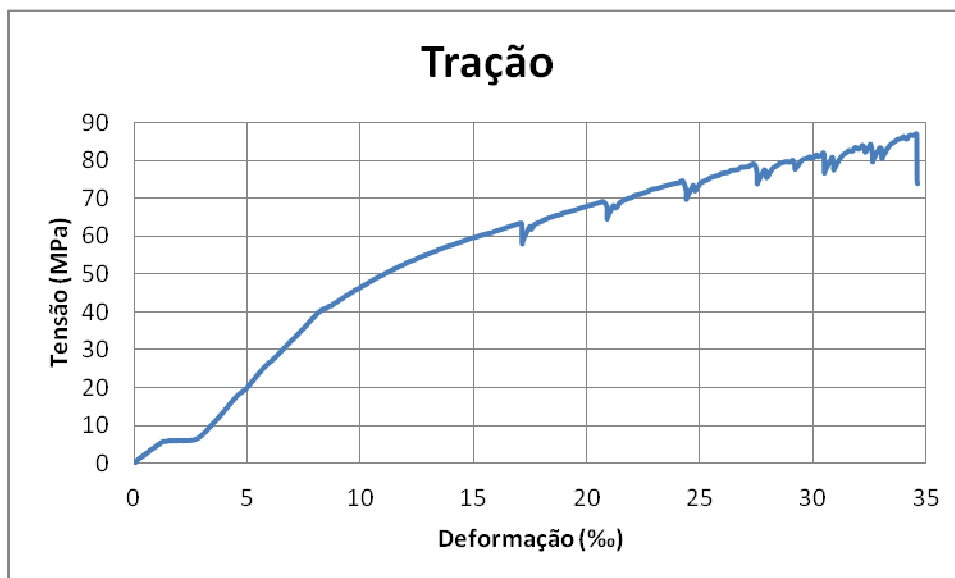


Figura A.II. 5: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.

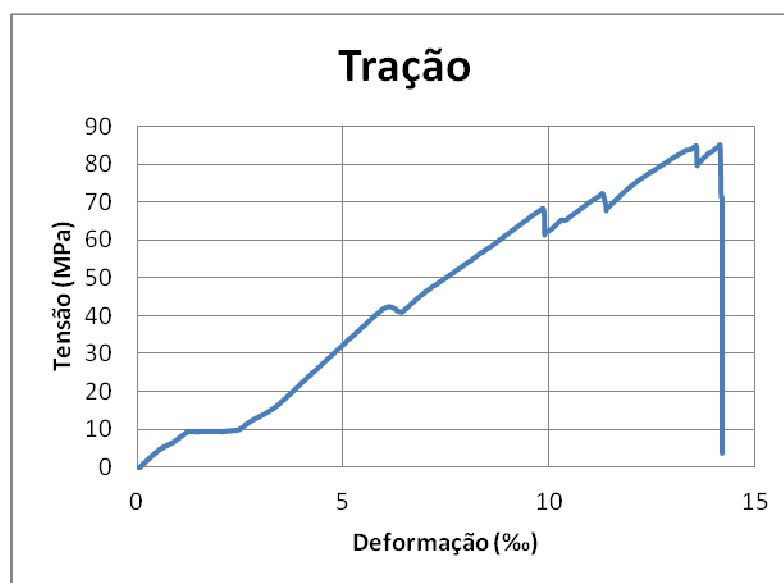


Figura A.II. 6: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.

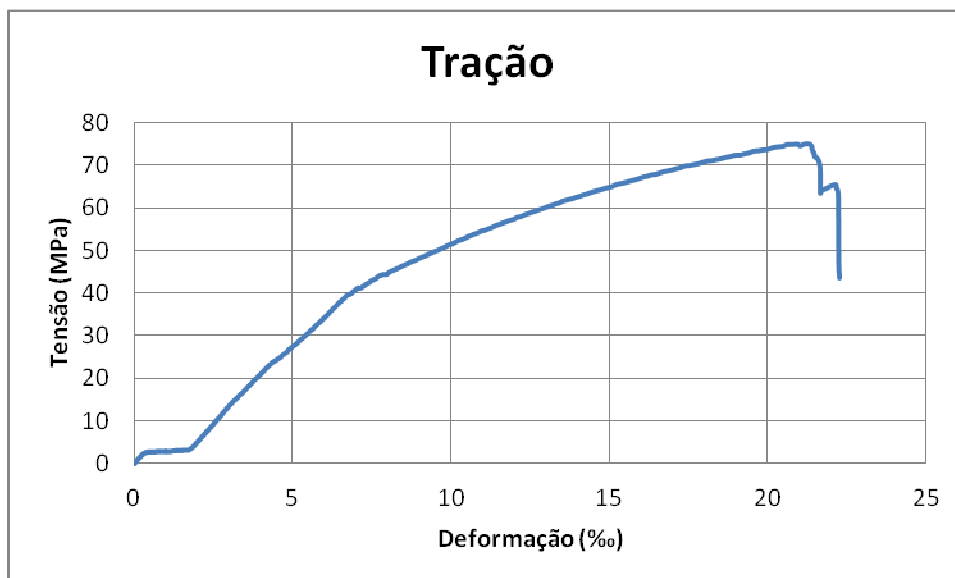


Figura A.II. 7: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.

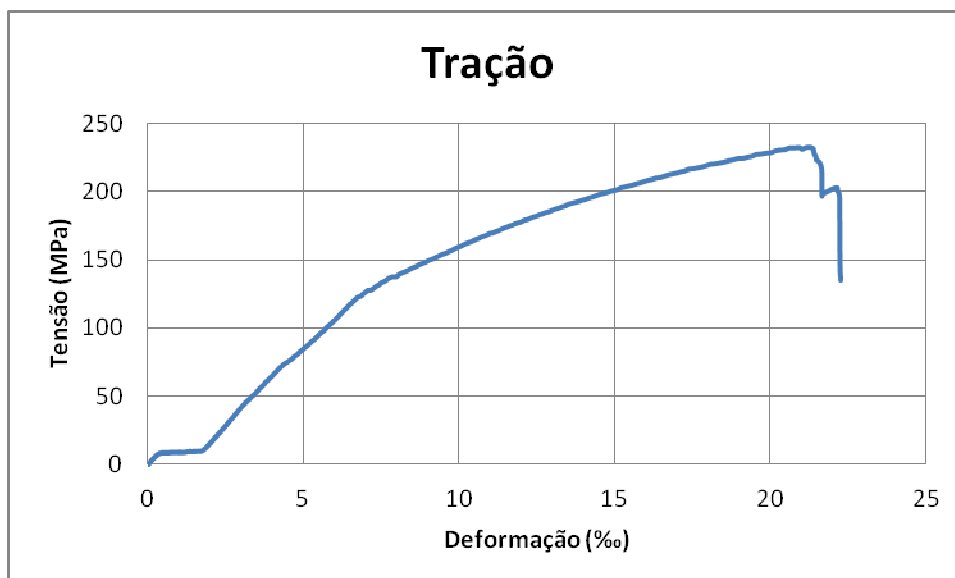


Figura A.II. 8: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.

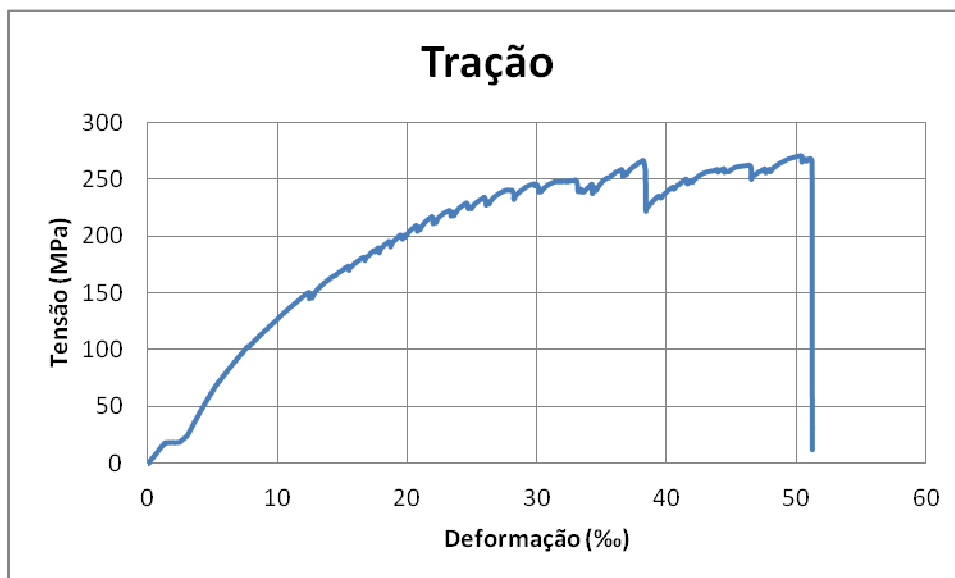


Figura A.II. 9: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.

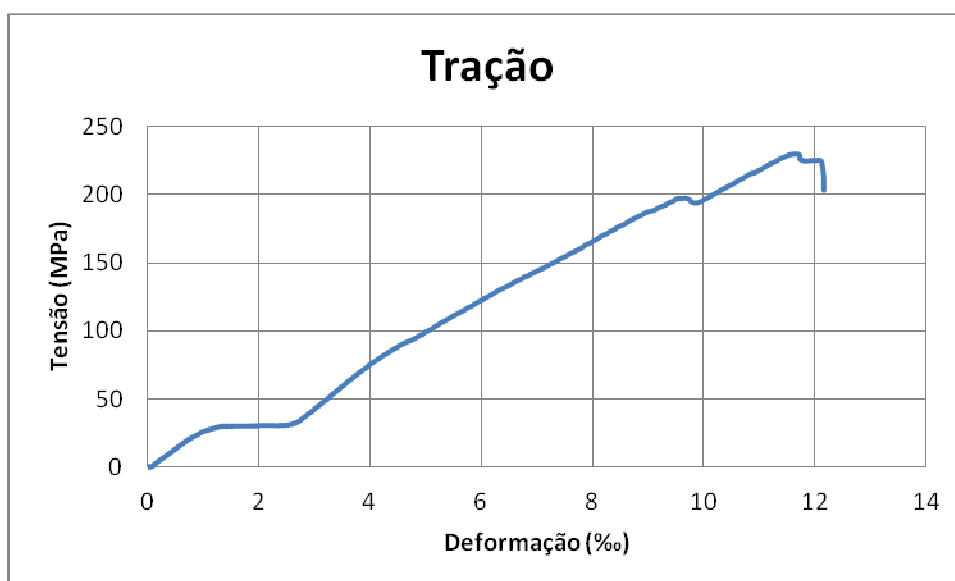


Figura A.II. 10: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.

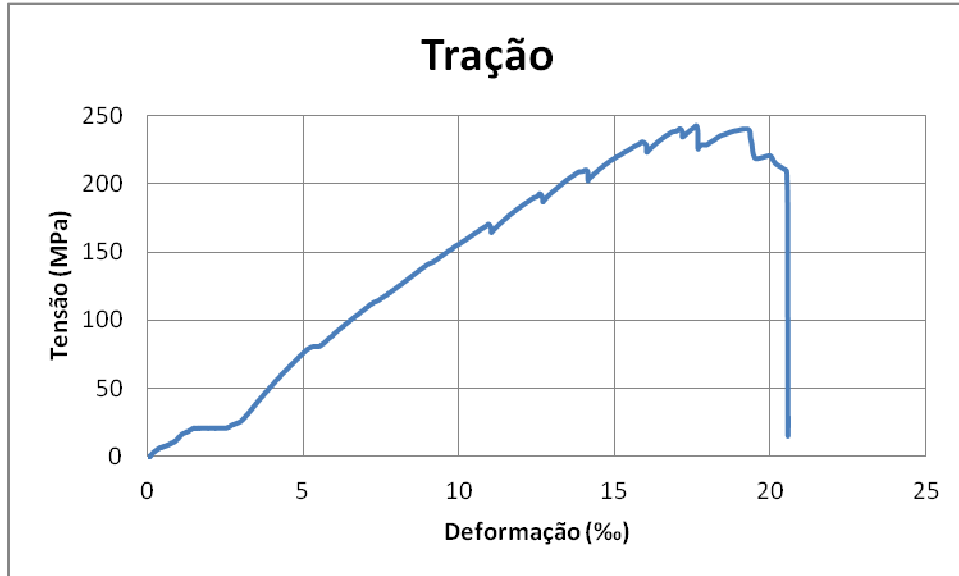


Figura A.II. 11: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.

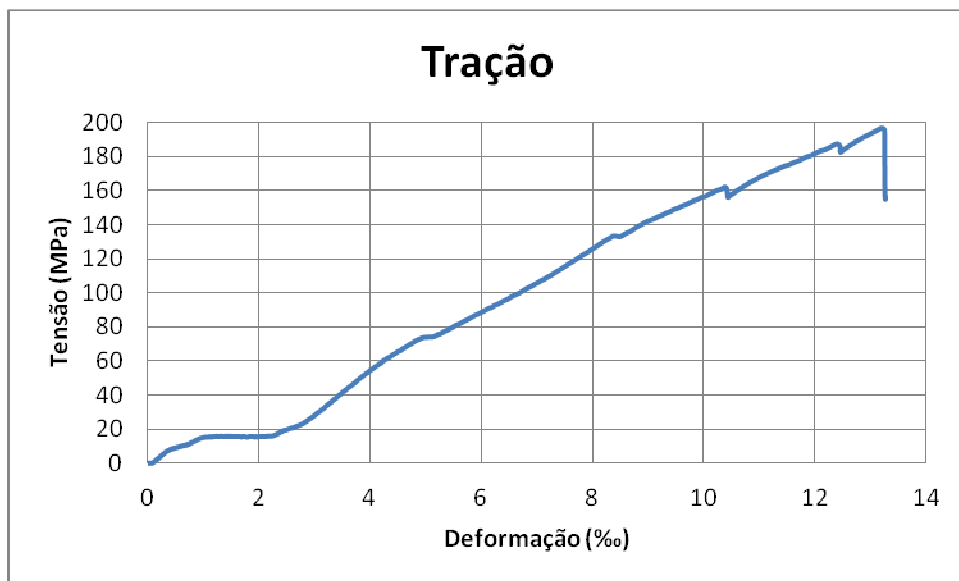


Figura A.II. 12: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.

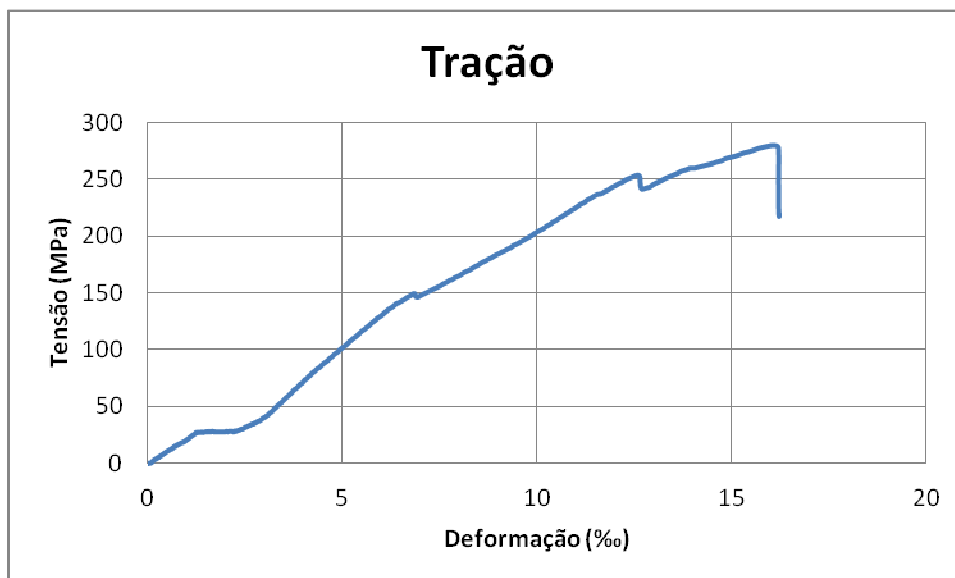


Figura A.II. 13: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.

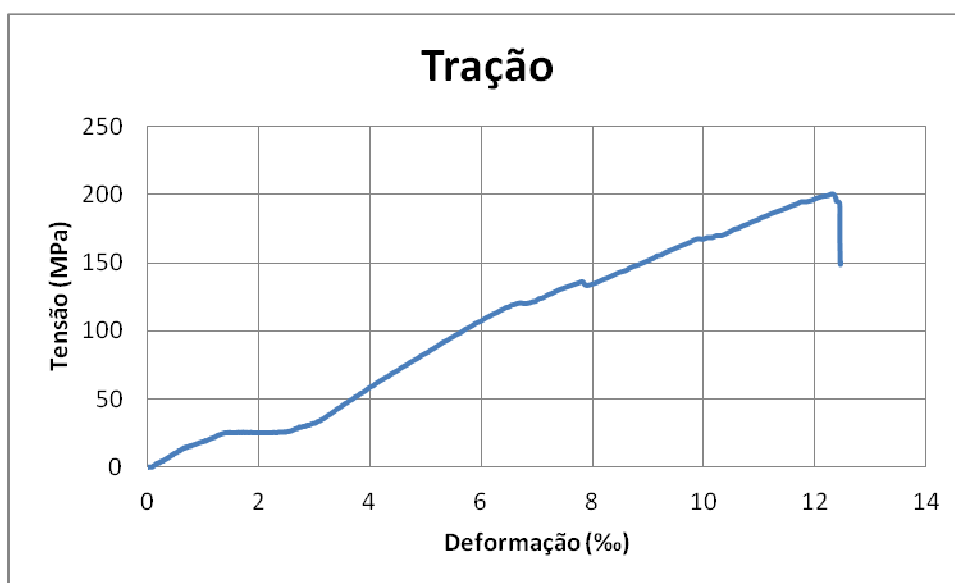


Figura A.II. 14: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.

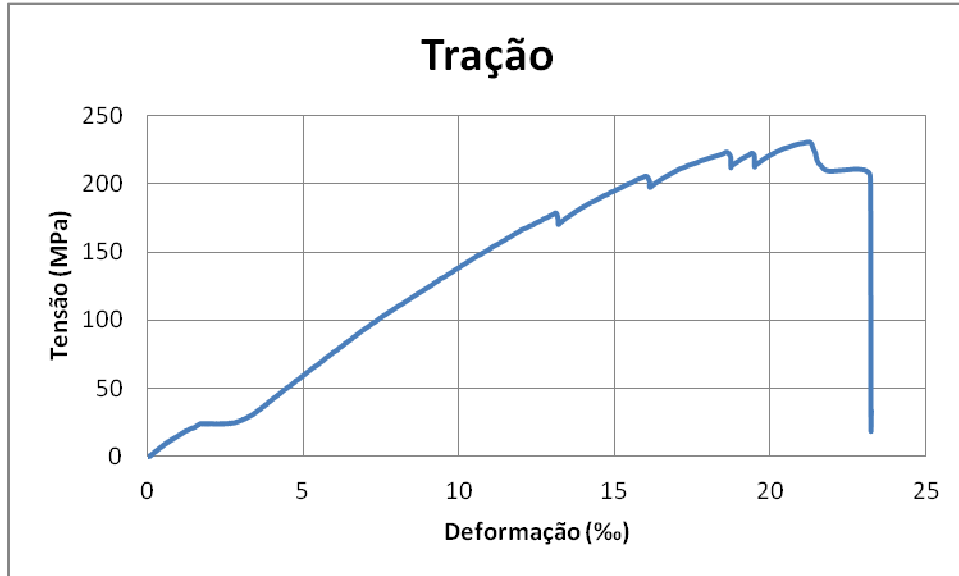


Figura A.II. 15: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.

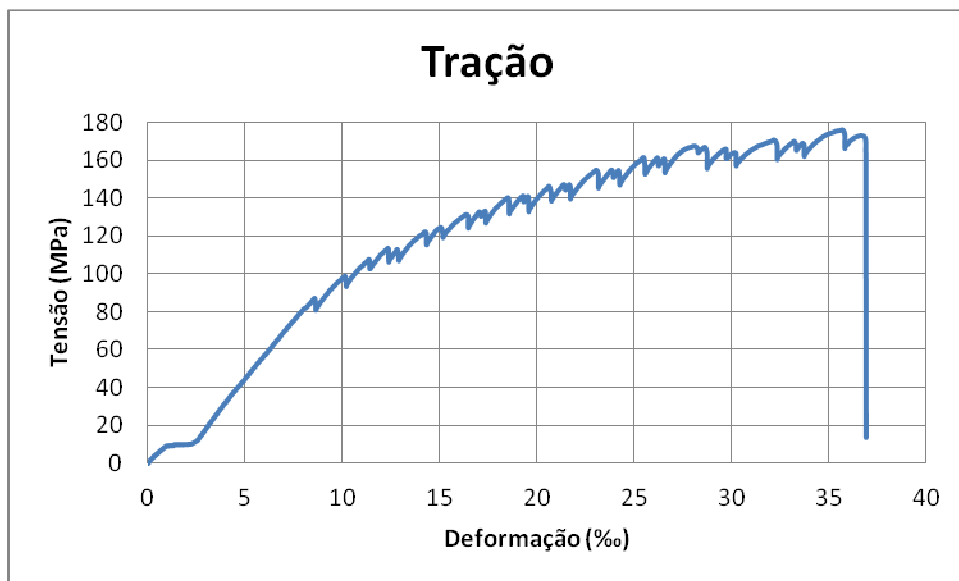


Figura A.II. 16: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.

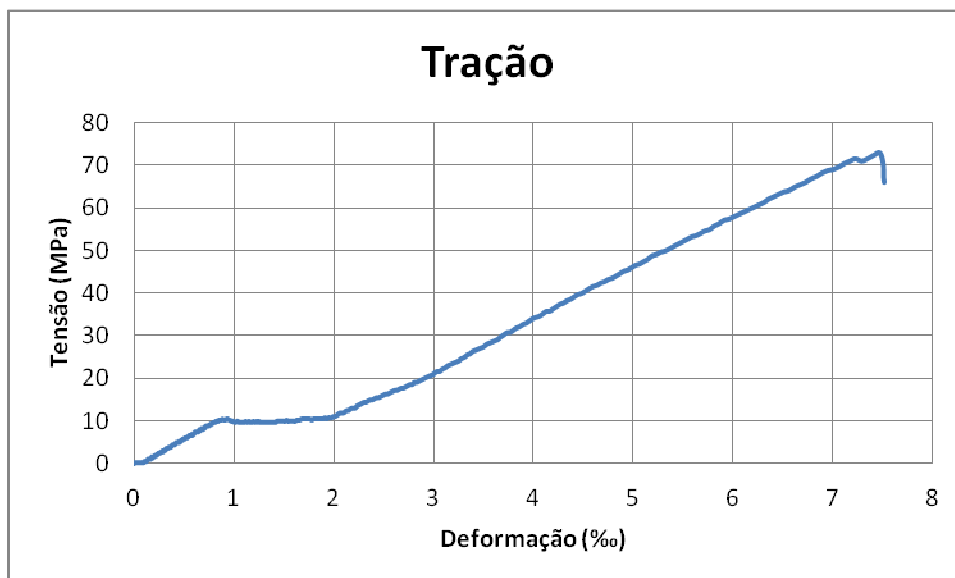


Figura A.II. 17: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.

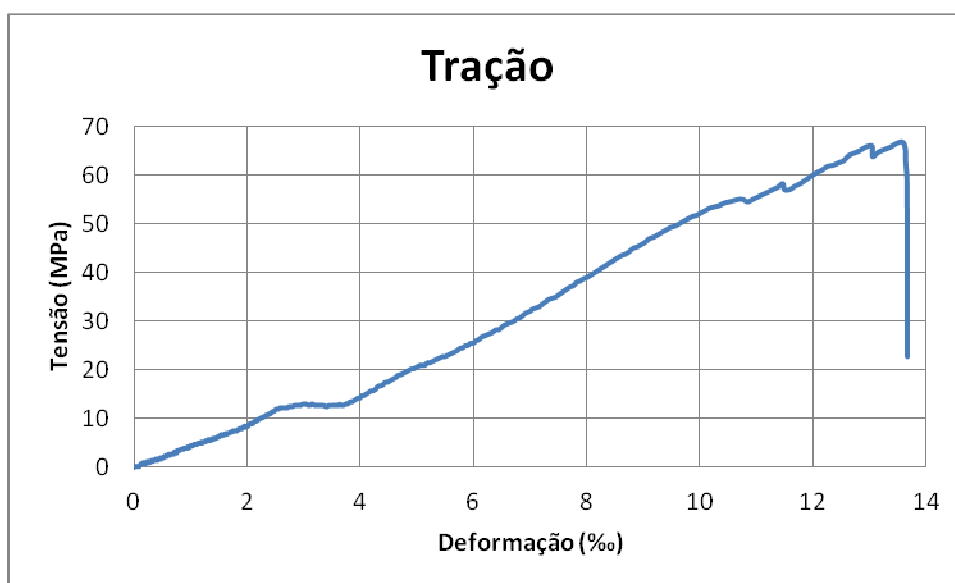


Figura A.II. 18: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.

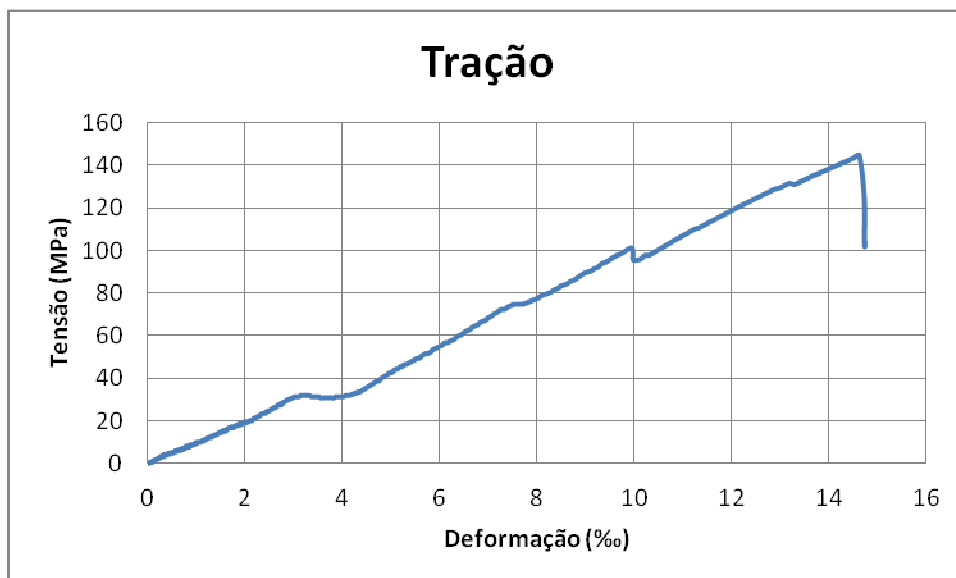


Figura A.II. 19: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT11.

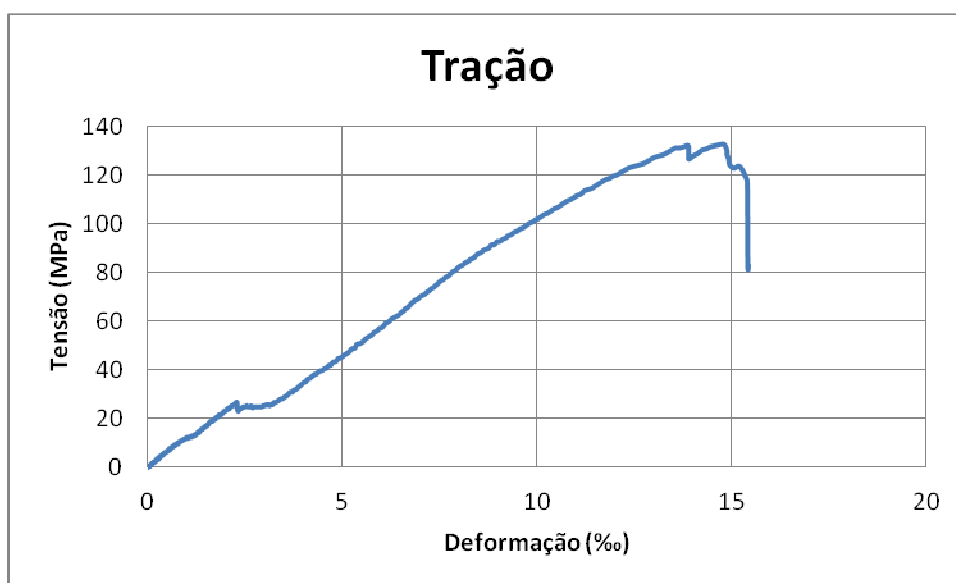


Figura A.II. 20: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT12.

Resistência à tração: Colmo 04

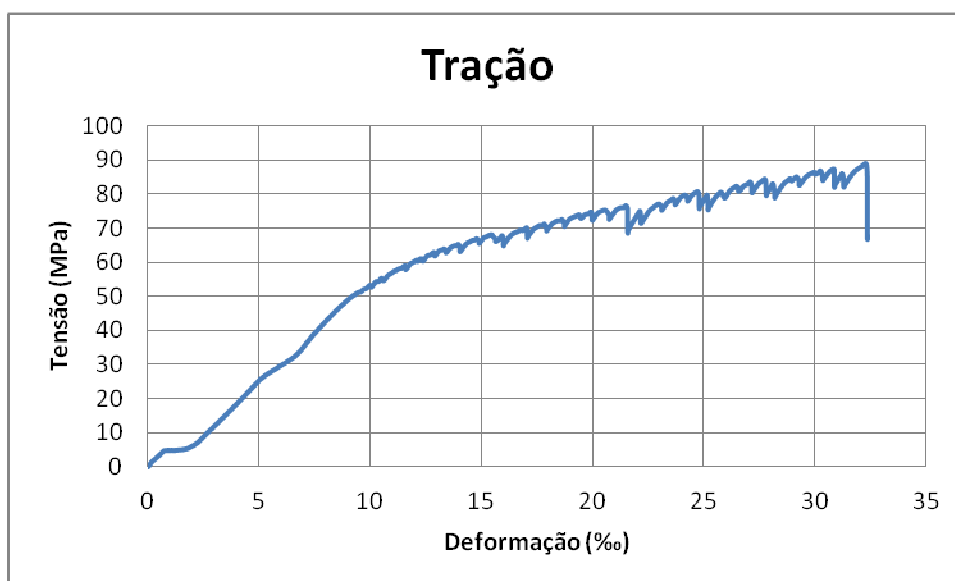


Figura A.II. 21: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1.

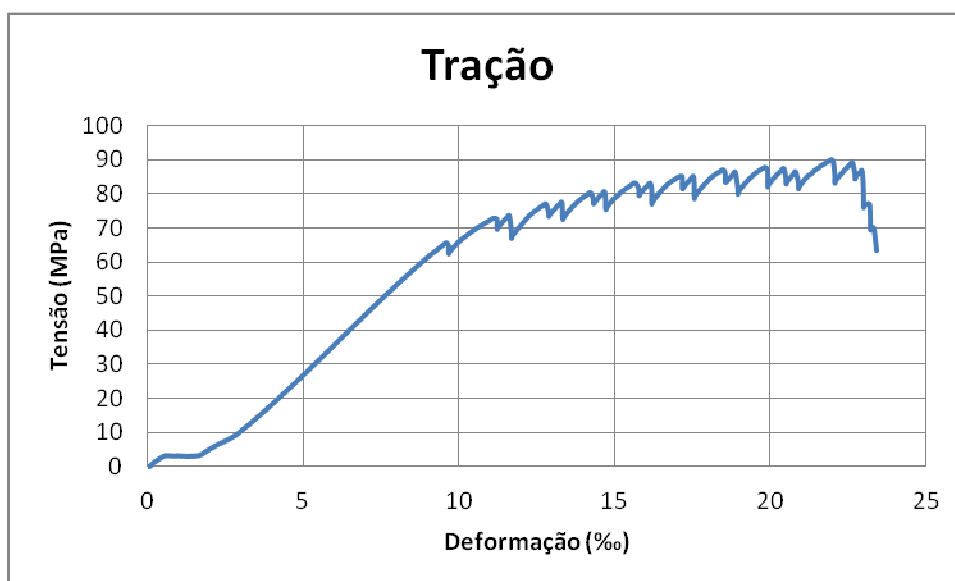


Figura A.II. 22: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.

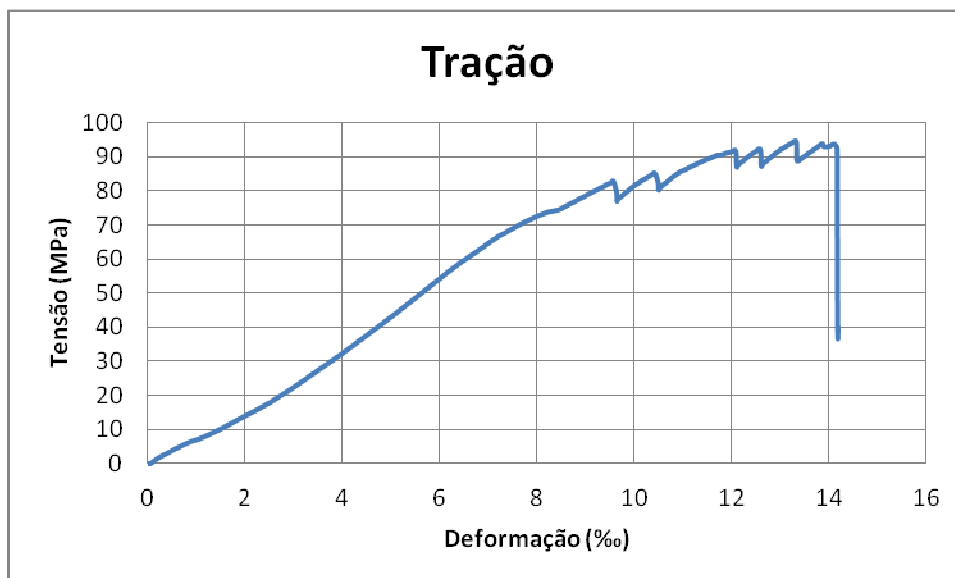


Figura A.II. 23: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.

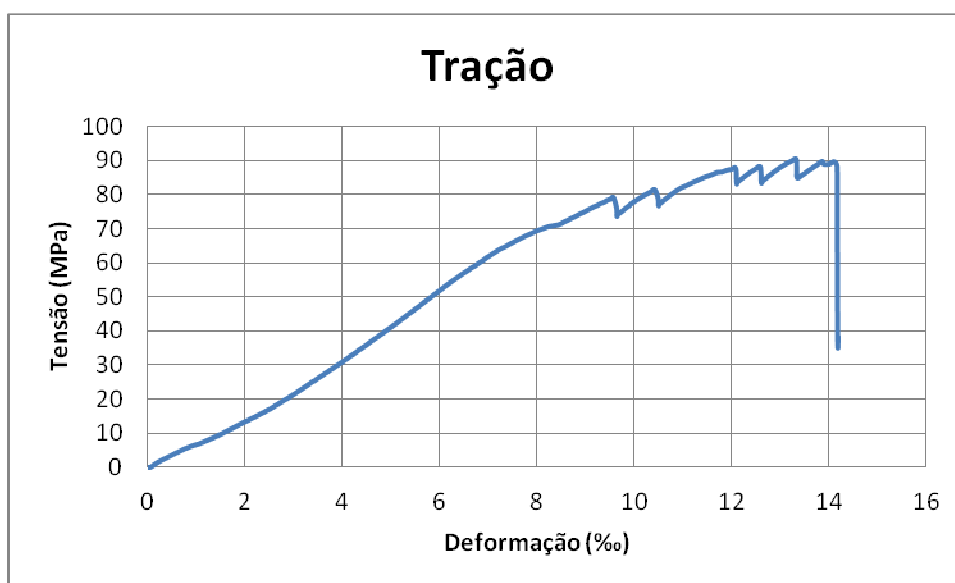


Figura A.II. 24: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.

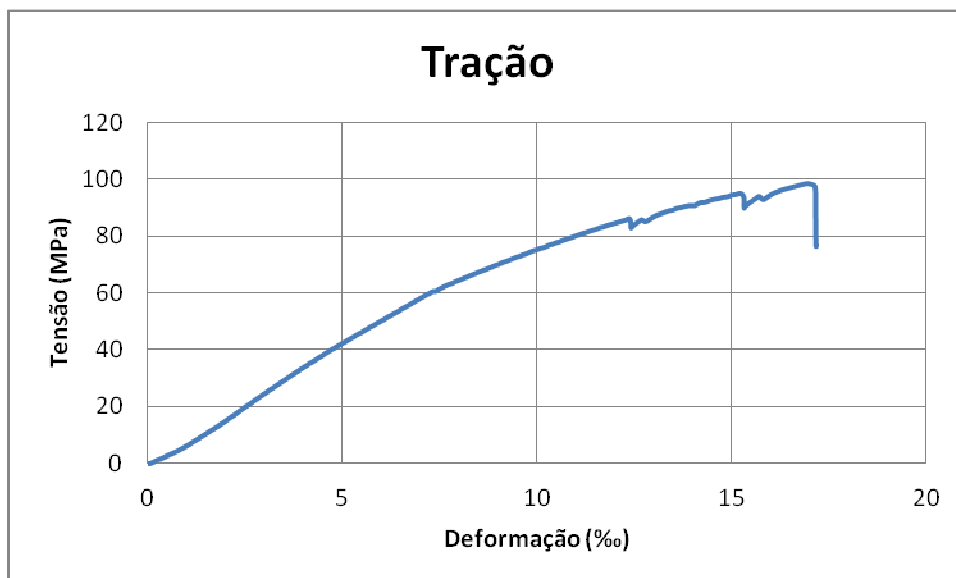


Figura A.II. 25: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.

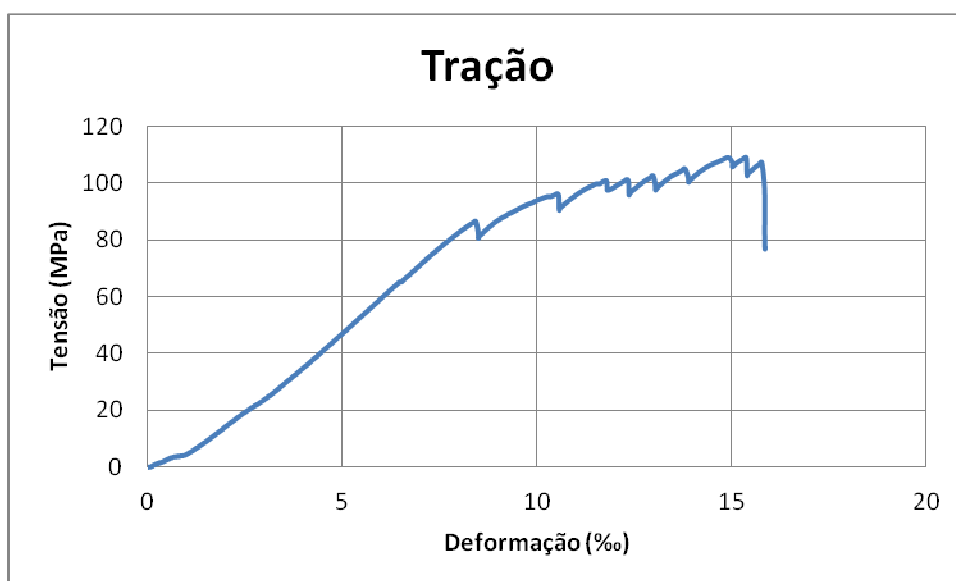


Figura A.II. 26: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.

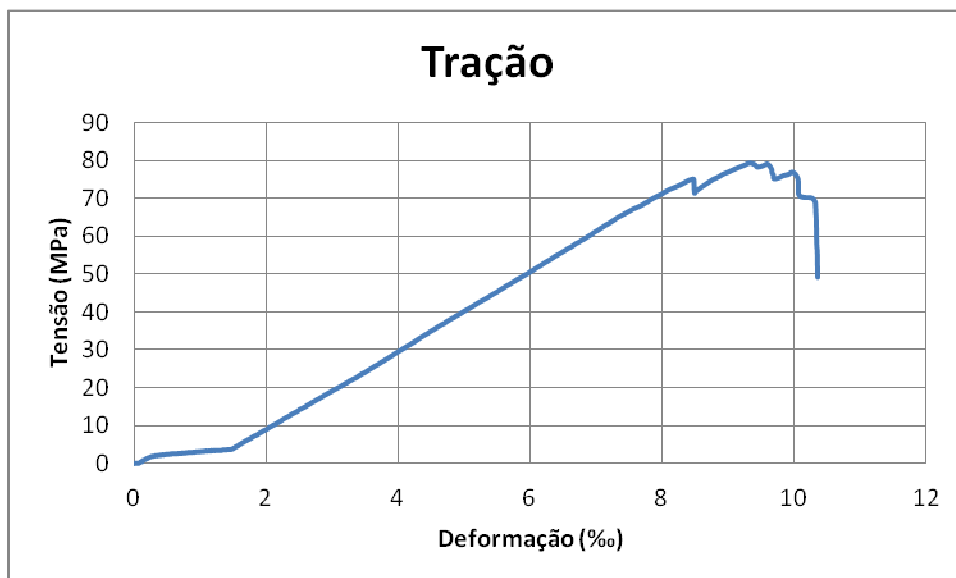


Figura A.II. 27: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT3.

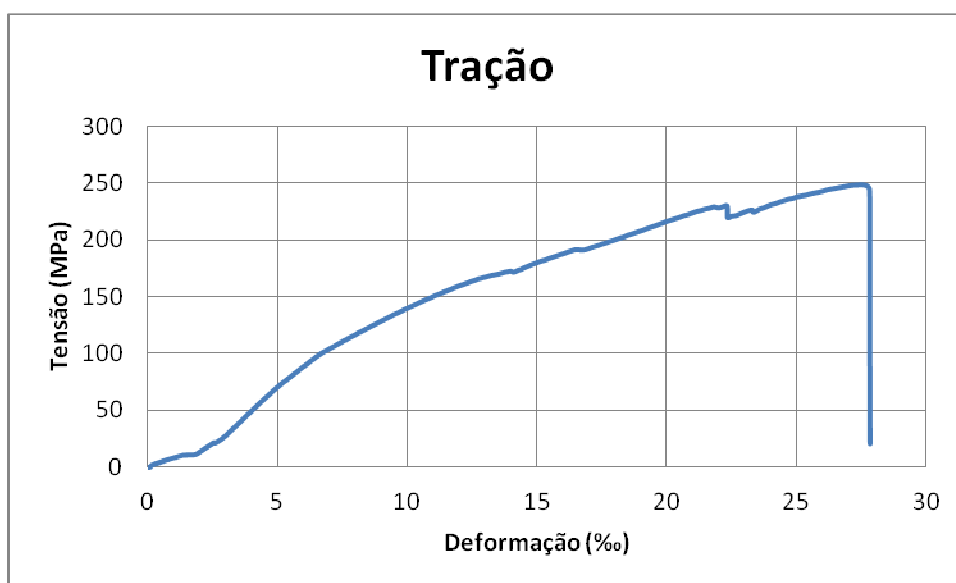


Figura A.II. 28: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.

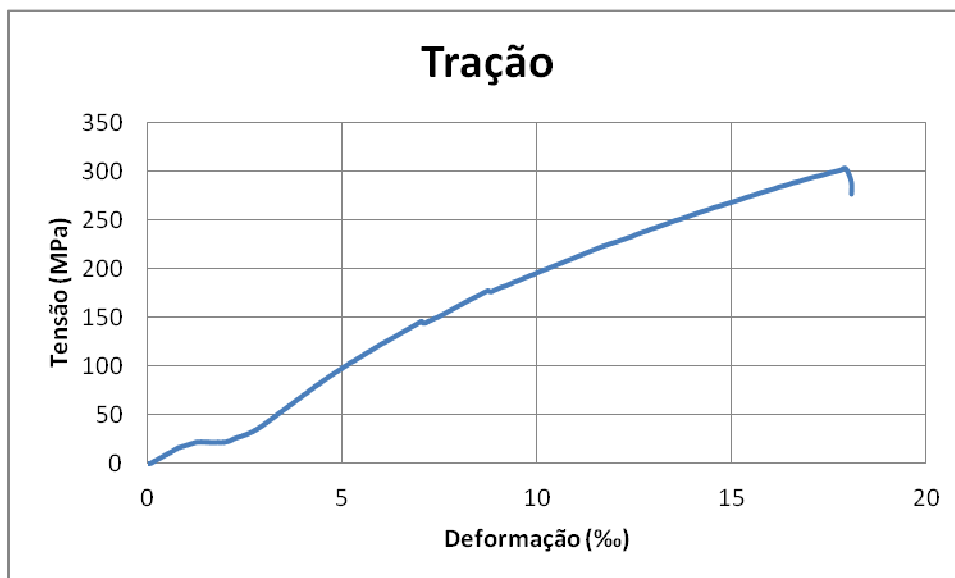


Figura A.II. 29: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.

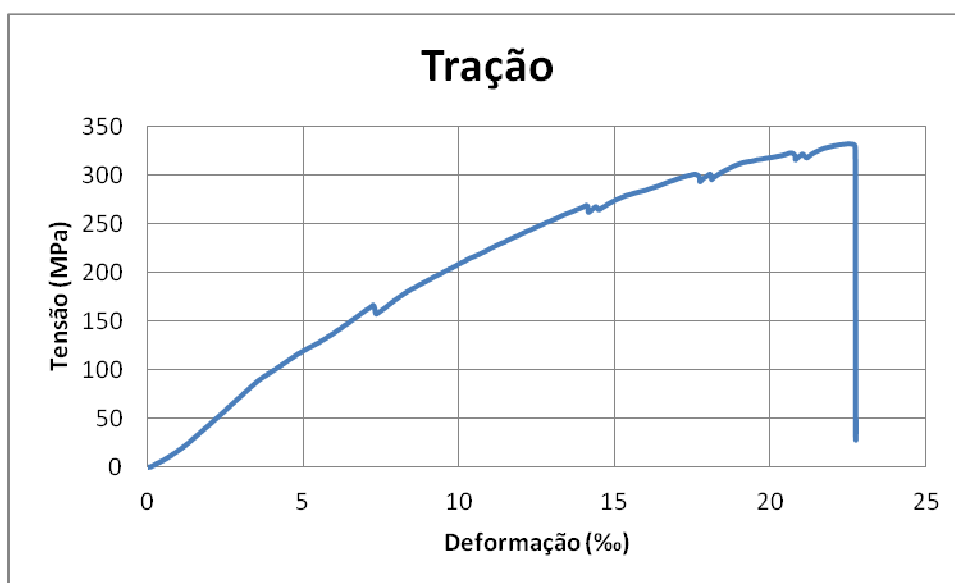


Figura A.II. 30: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.

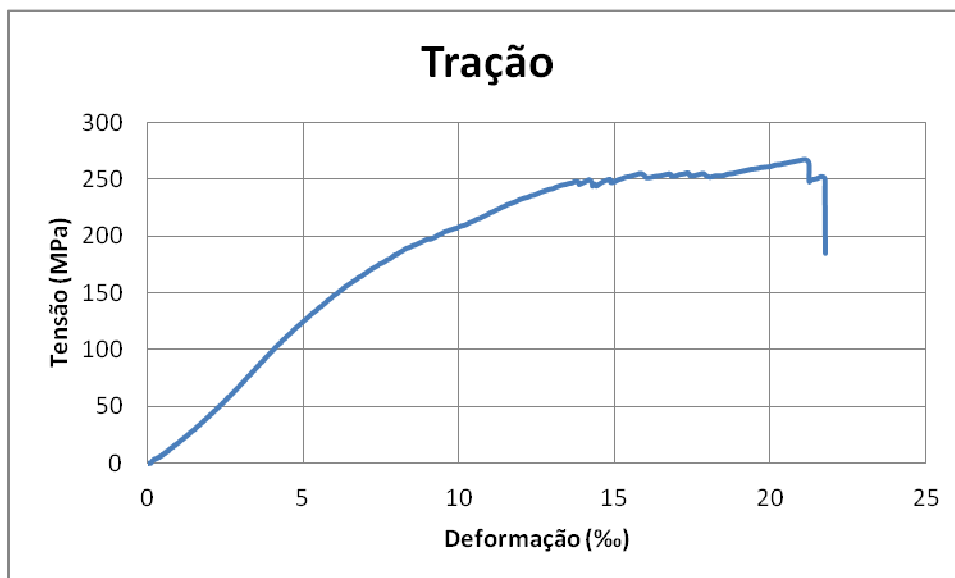


Figura A.II. 31: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.

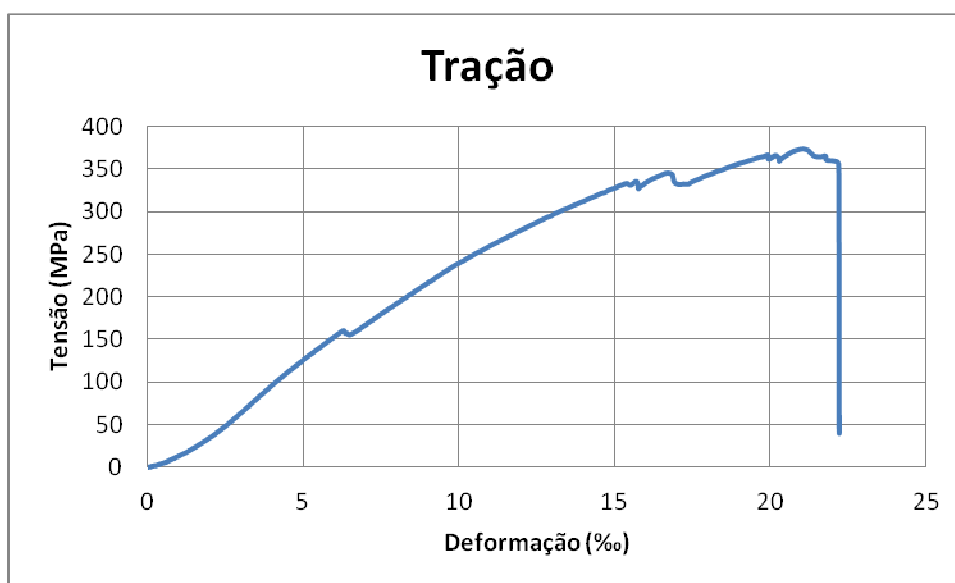


Figura A.II. 32: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.

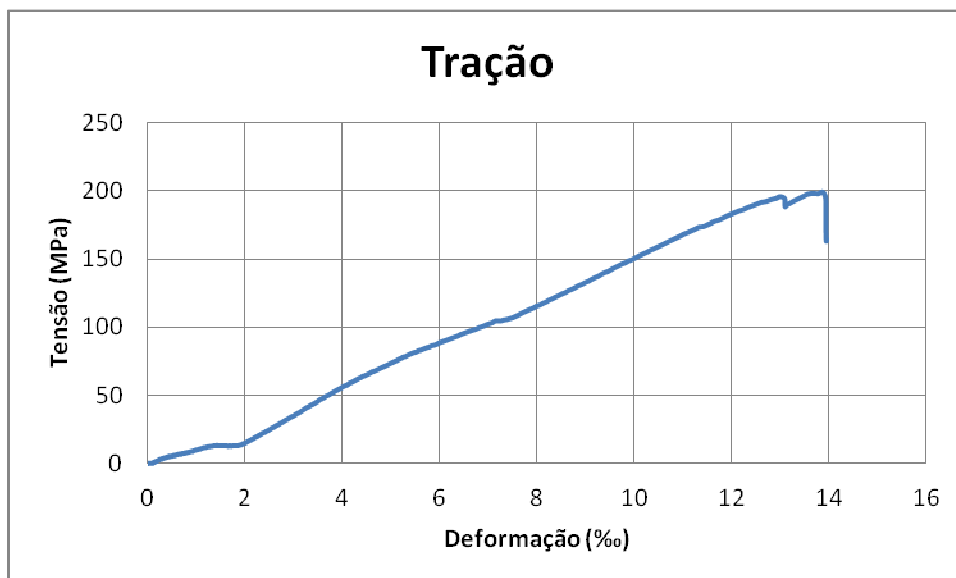


Figura A.II. 33: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.

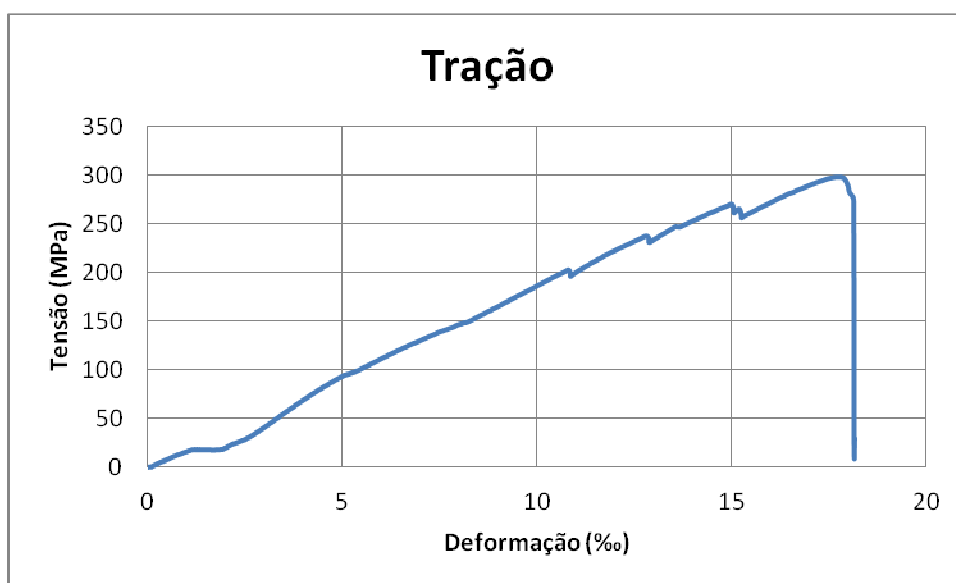


Figura A.II. 34: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.

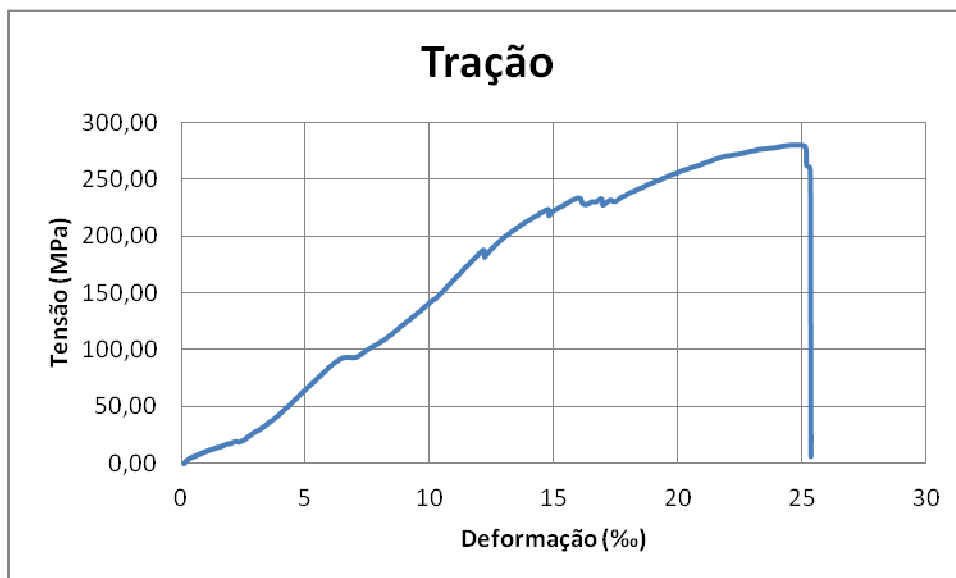


Figura A.II. 35: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE3.

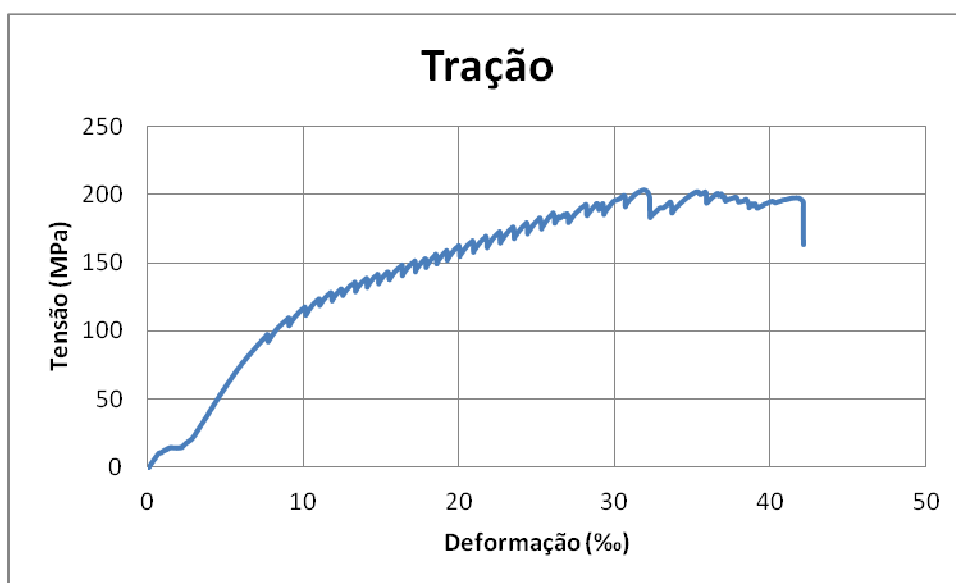


Figura A.II. 36: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.

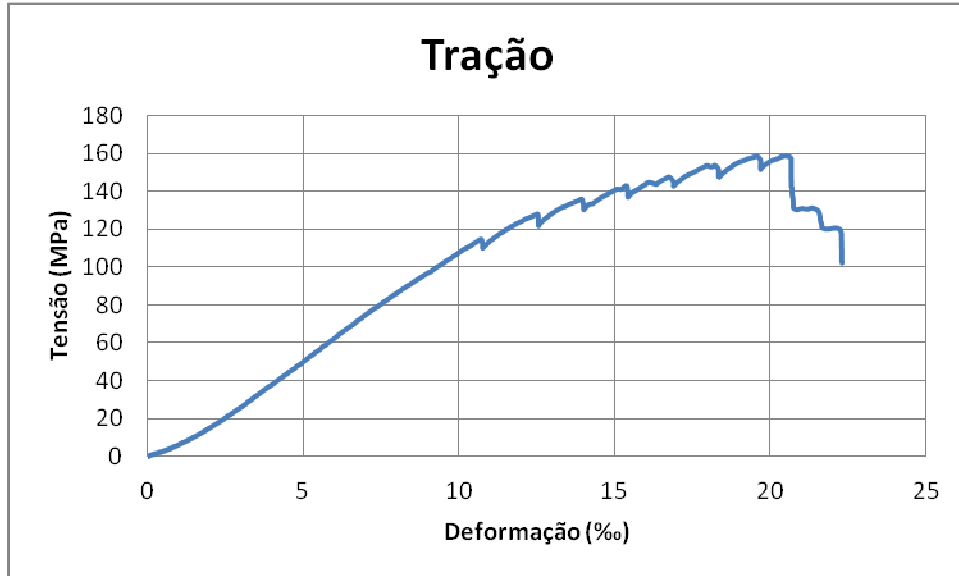


Figura A.II. 37: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.

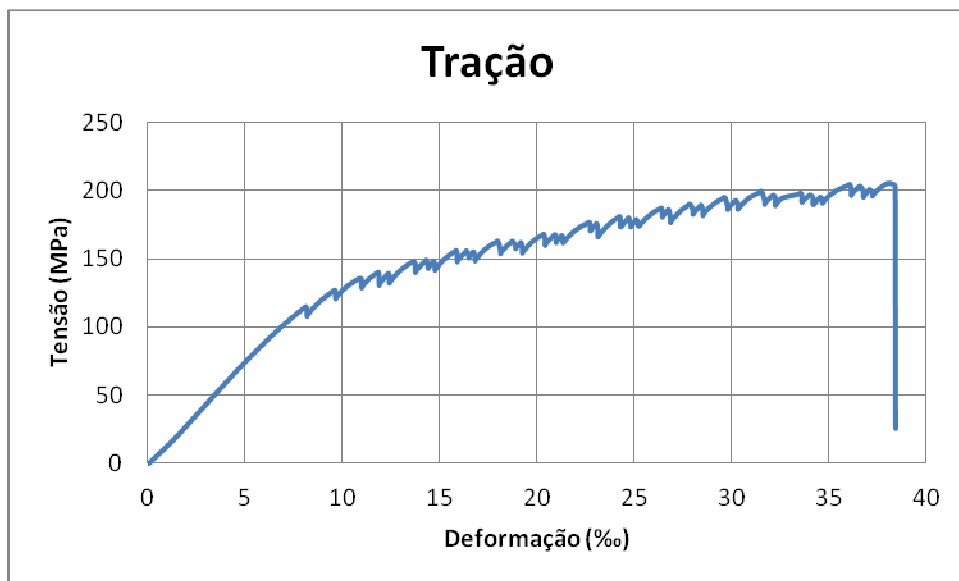


Figura A.II. 38: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI3.

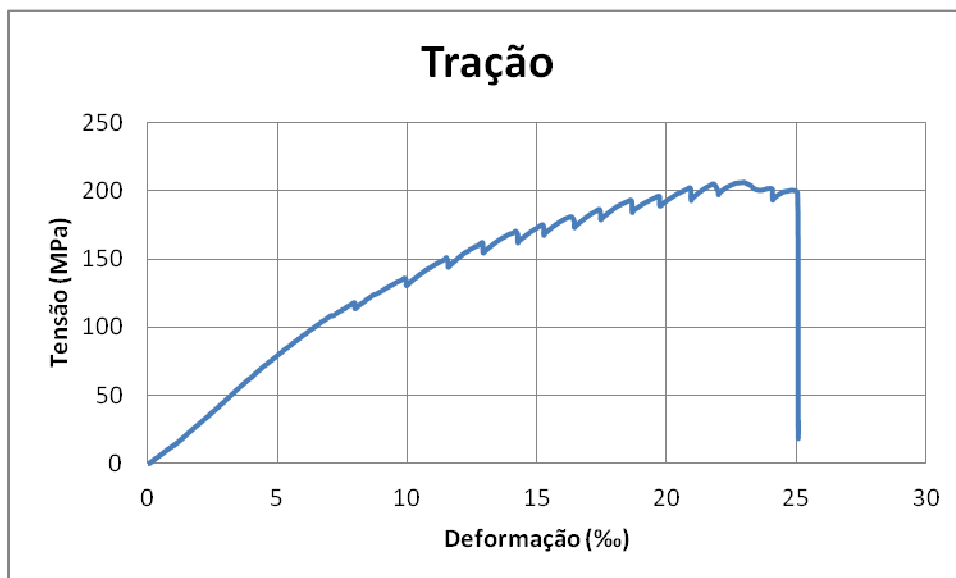


Figura A.II. 39: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.

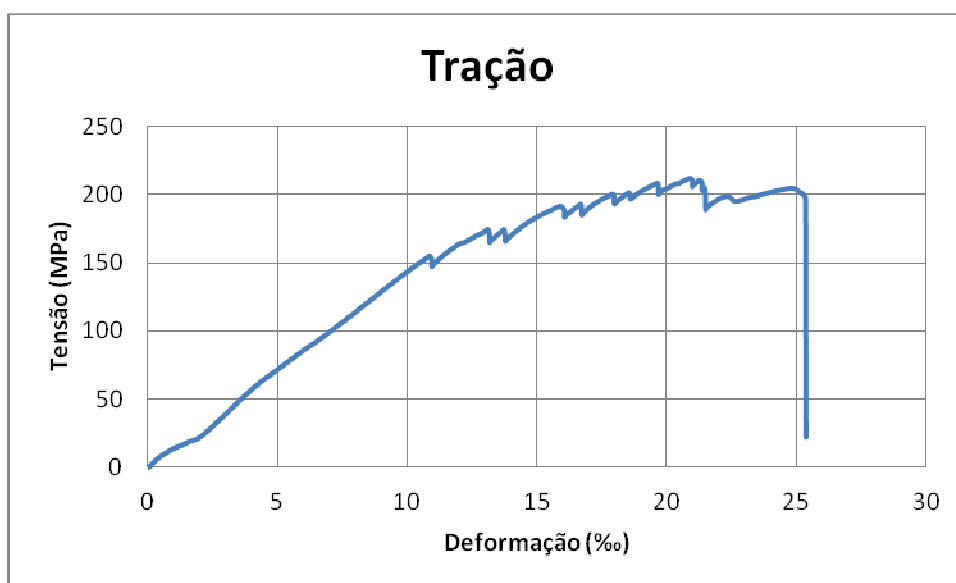


Figura A.II. 40: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.

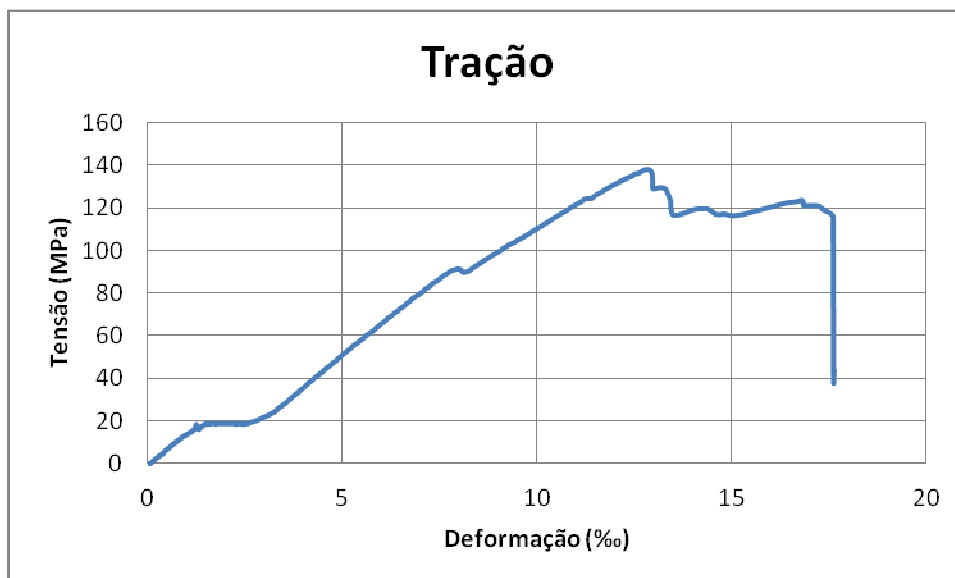


Figura A.II. 41: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT11.

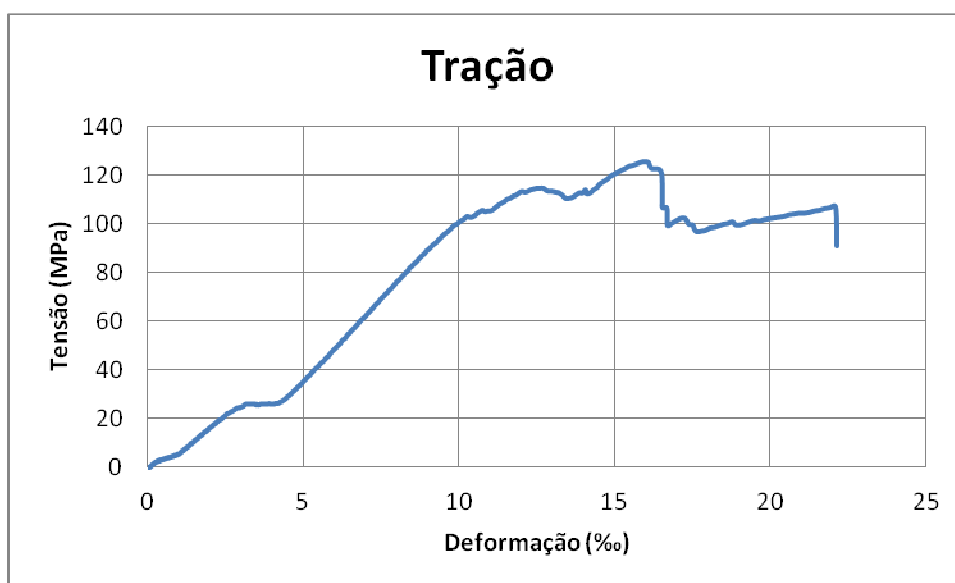


Figura A.II. 42: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT12.

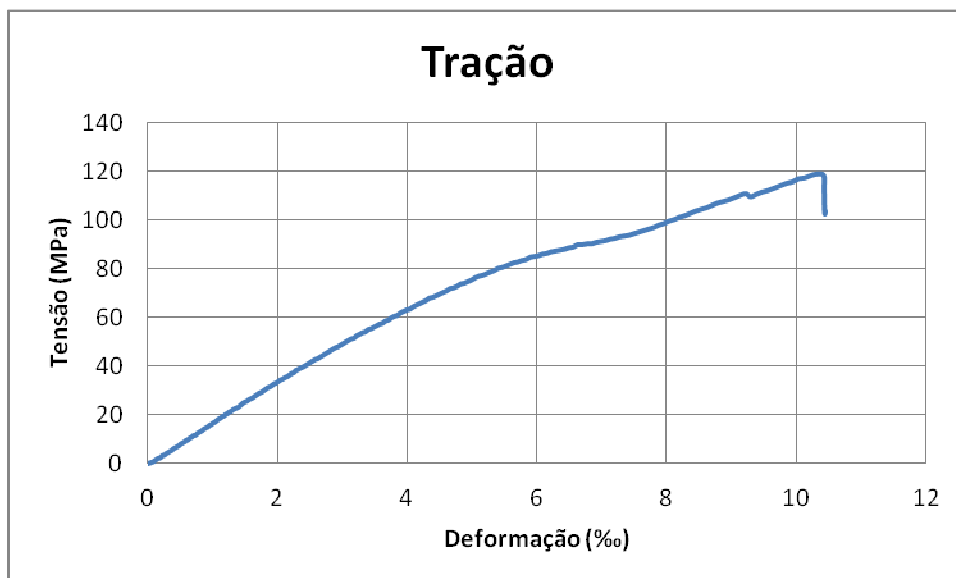


Figura A.II. 43: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT13.

Resistência à tração: Colmo 08

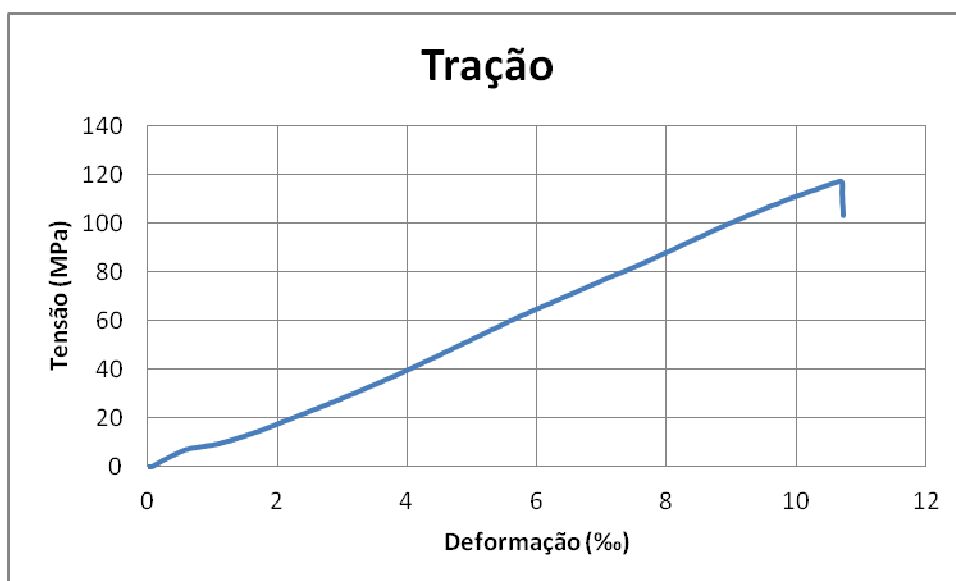


Figura A.II. 44: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB1.

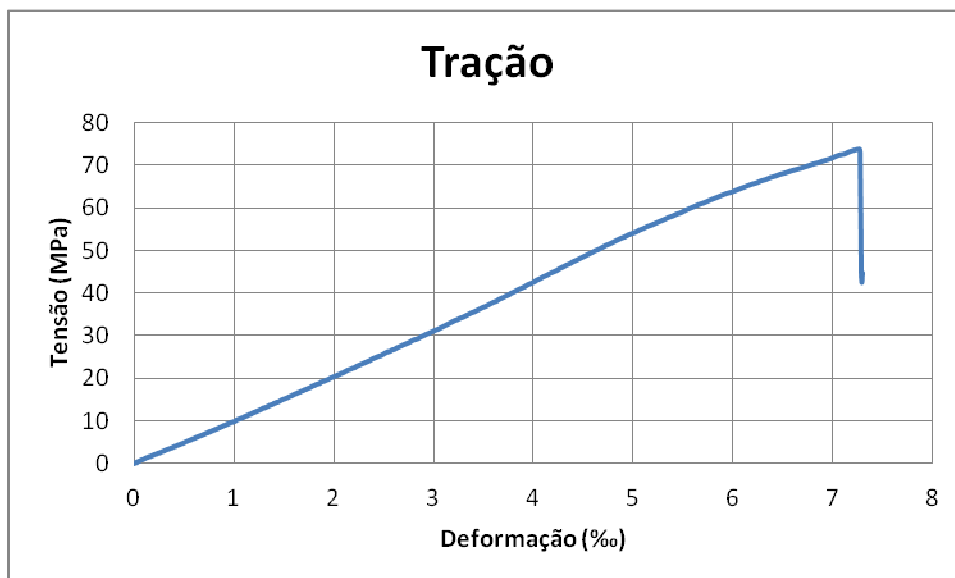


Figura A.II. 45: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNB2.

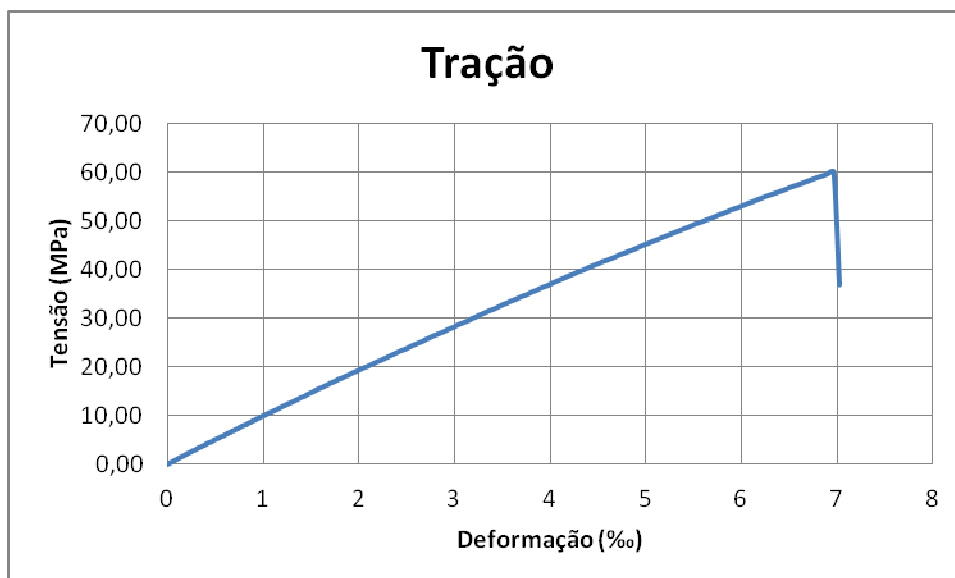


Figura A.II. 46: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM1.

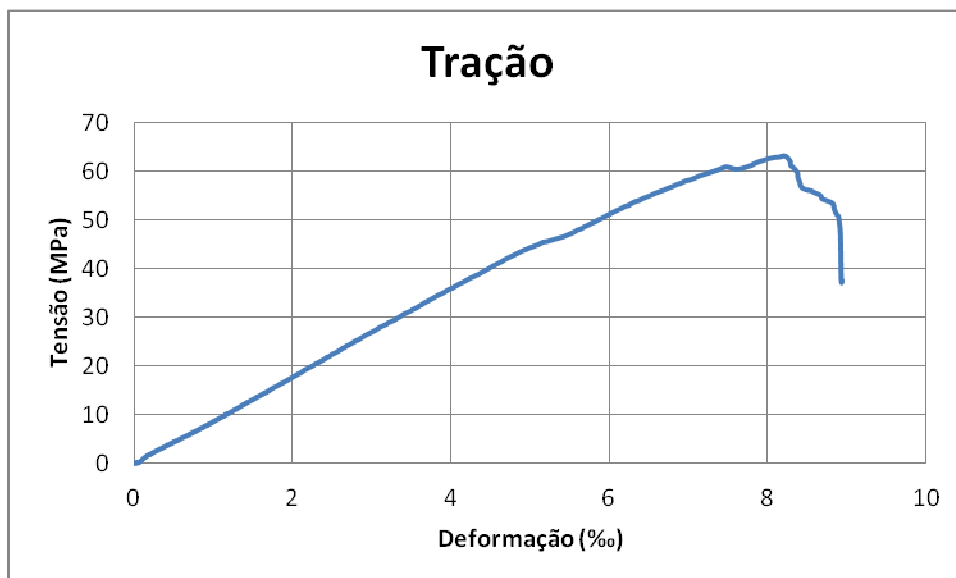


Figura A.II. 47: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNM2.

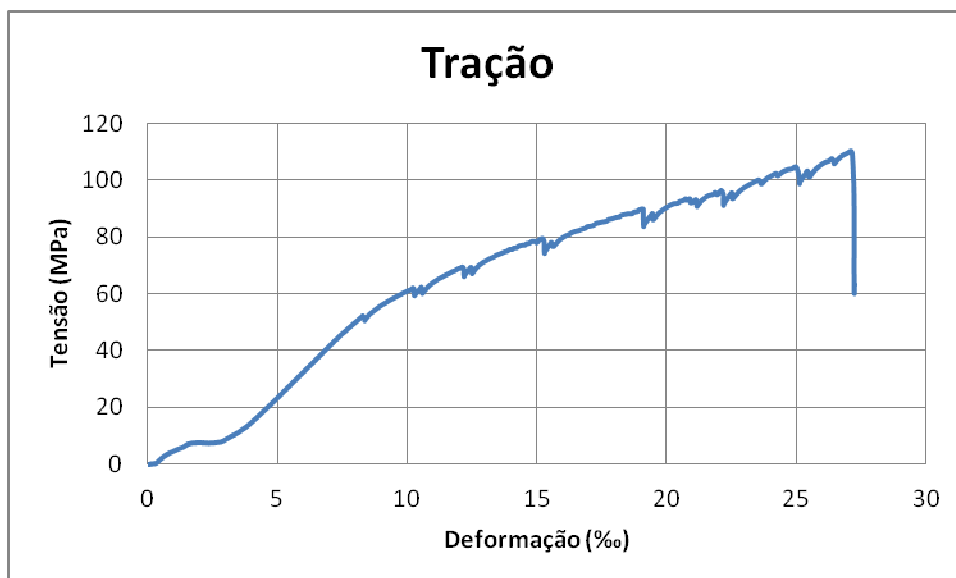


Figura A.II. 48: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT1.

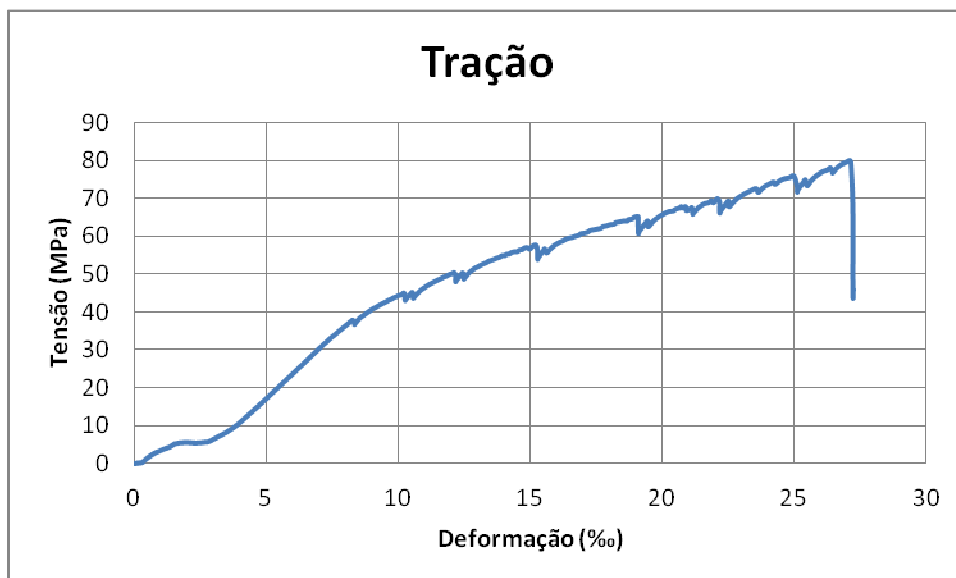


Figura A.II. 49: Curva tração-deformação do corpo-de-prova CNT2.

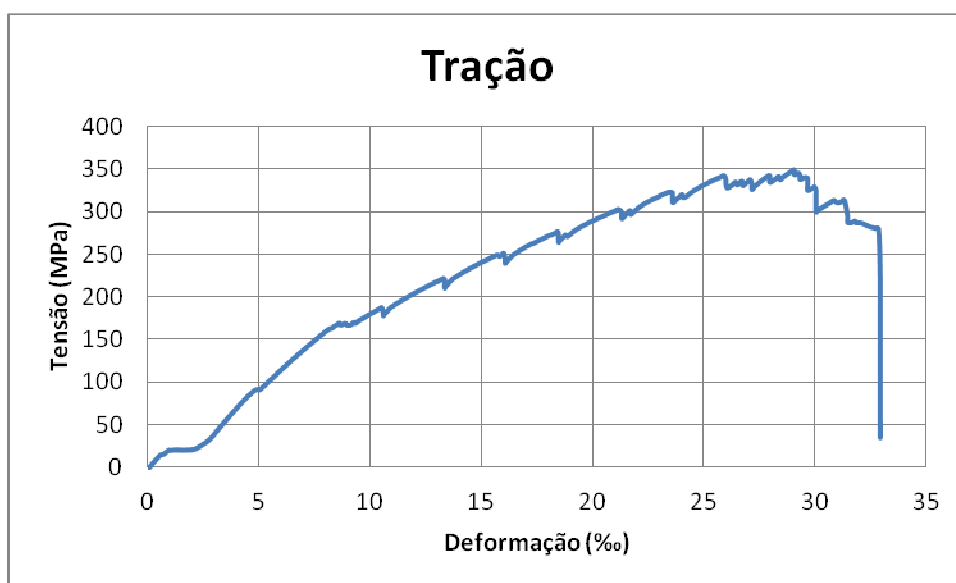


Figura A.II. 50: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE1.

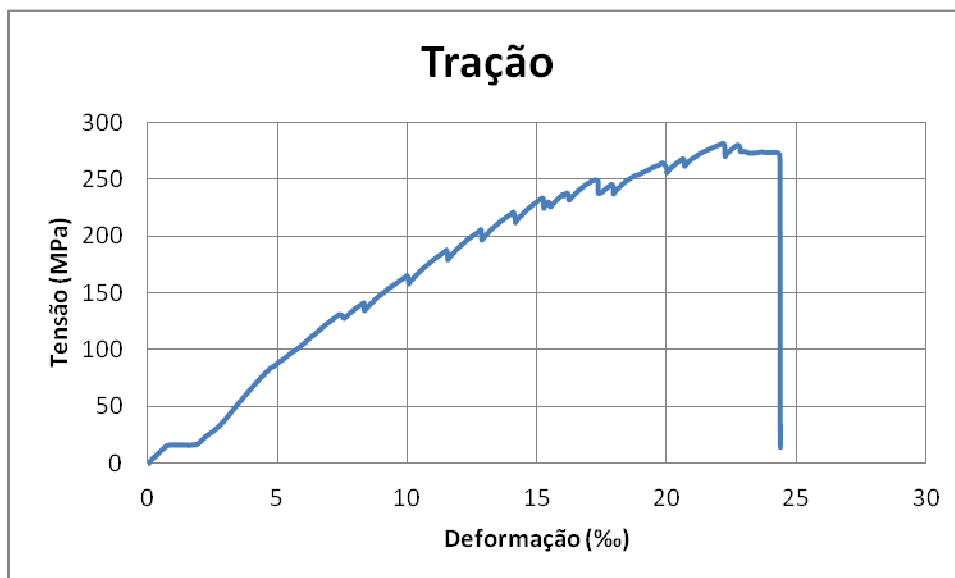


Figura A.II. 51: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE2.

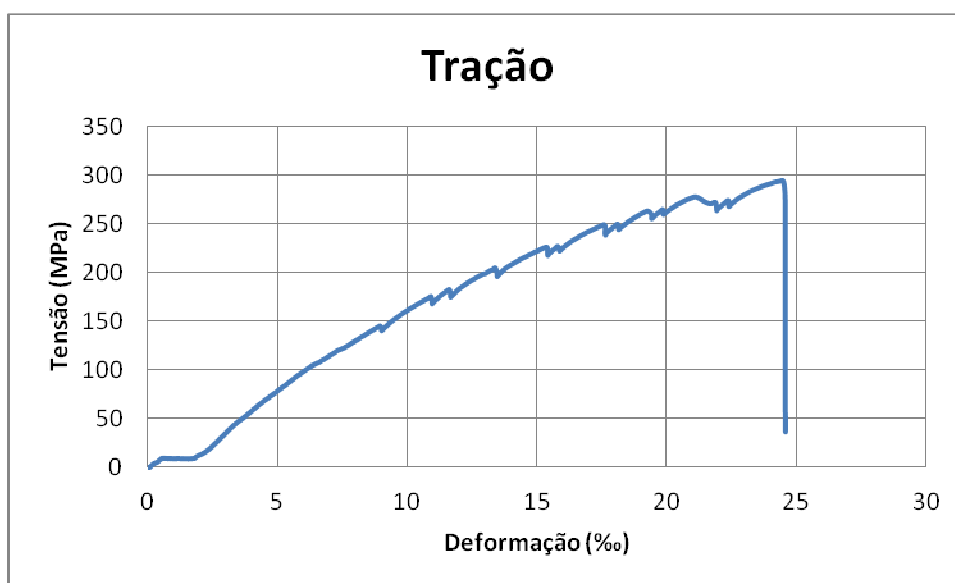


Figura A.II. 52: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBE3.

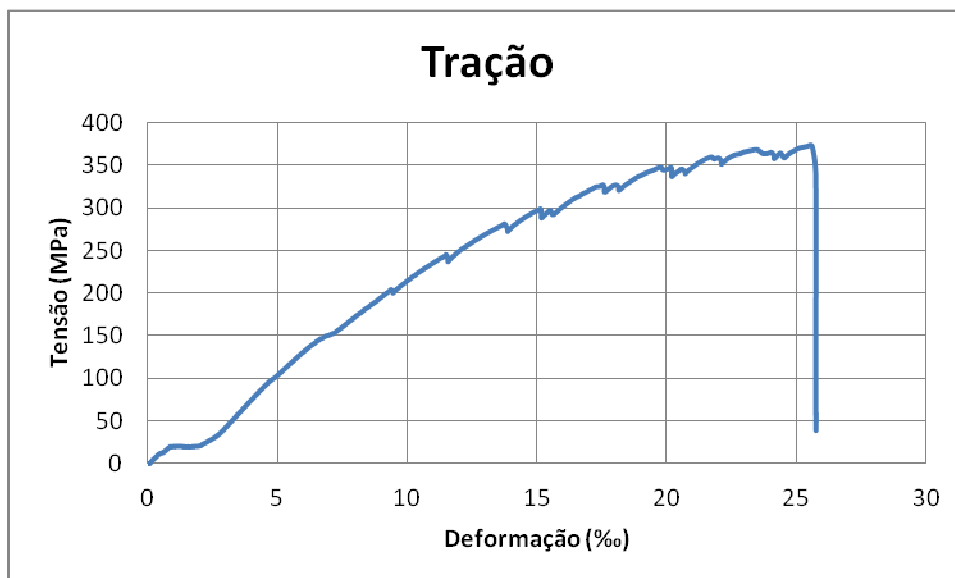


Figura A.II. 53: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME1.

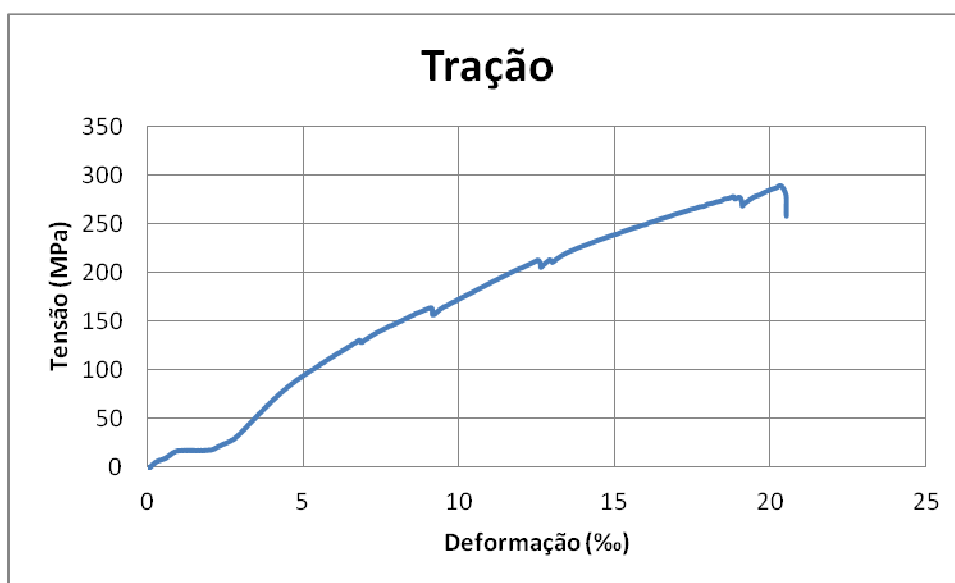


Figura A.II. 54: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME2.

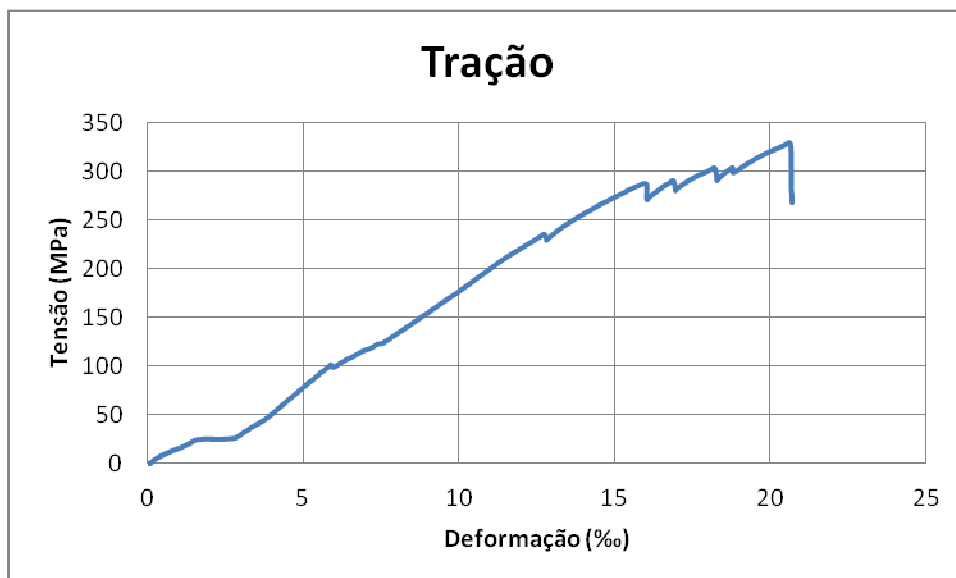


Figura A.II. 55: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNME3.

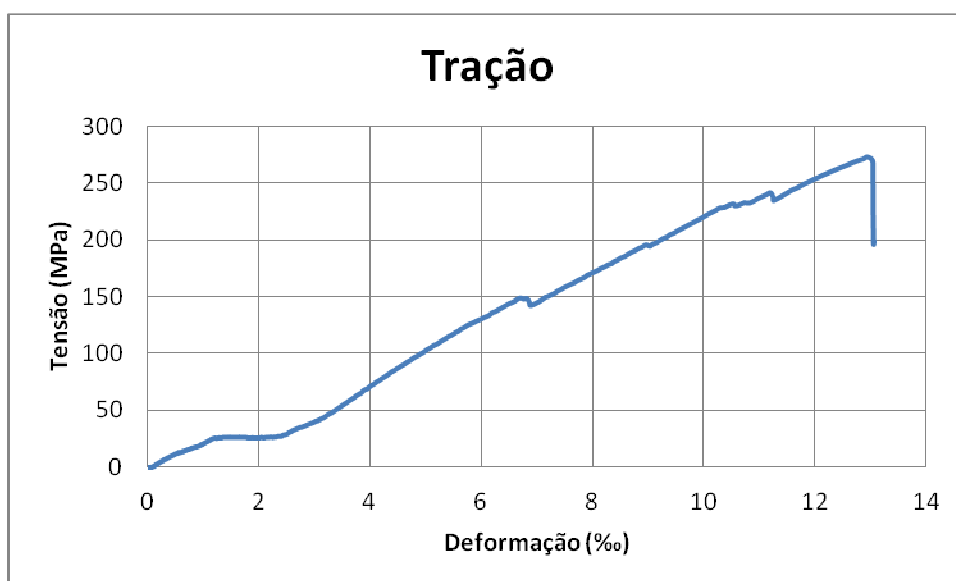


Figura A.II. 56: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE1.

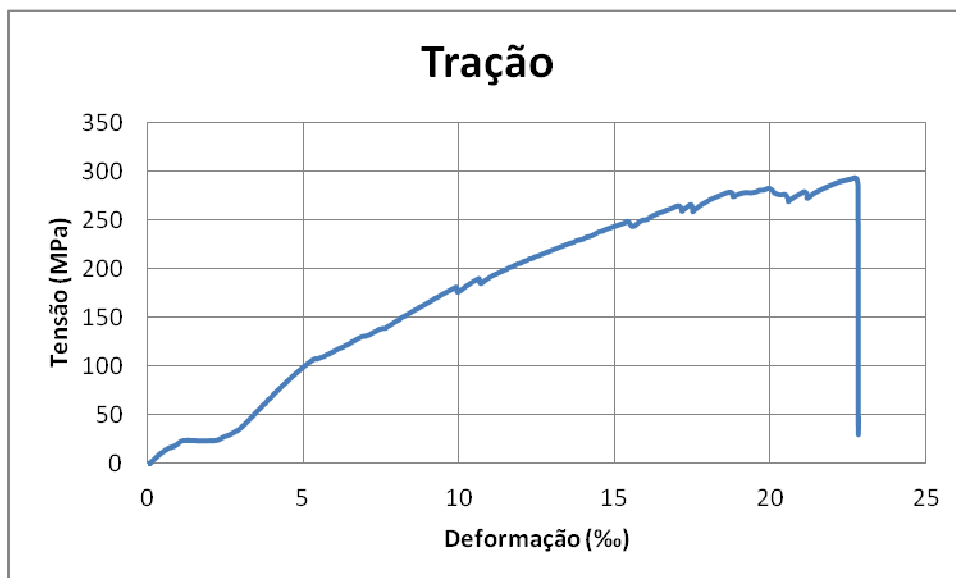


Figura A.II. 57: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE2.

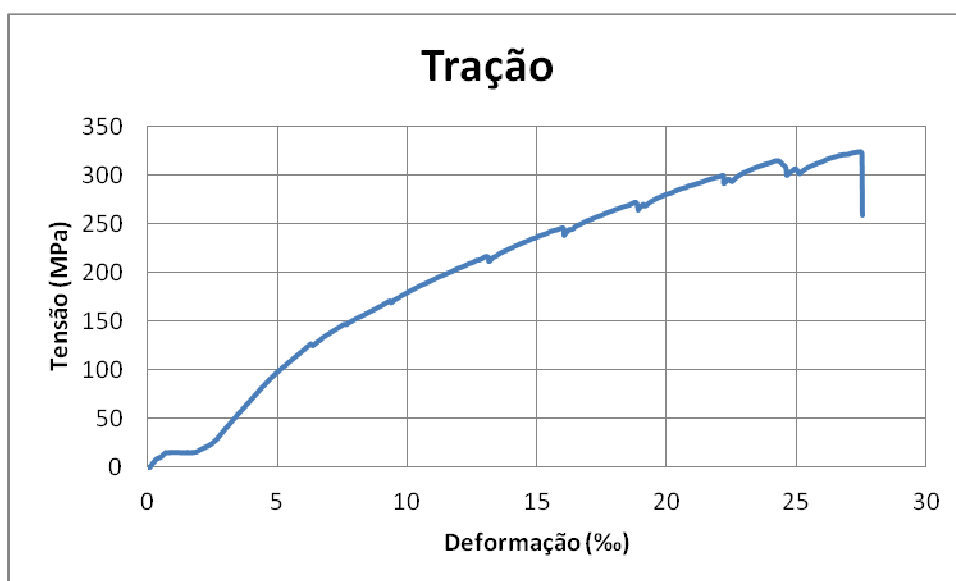


Figura A.II. 58: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNTE3.

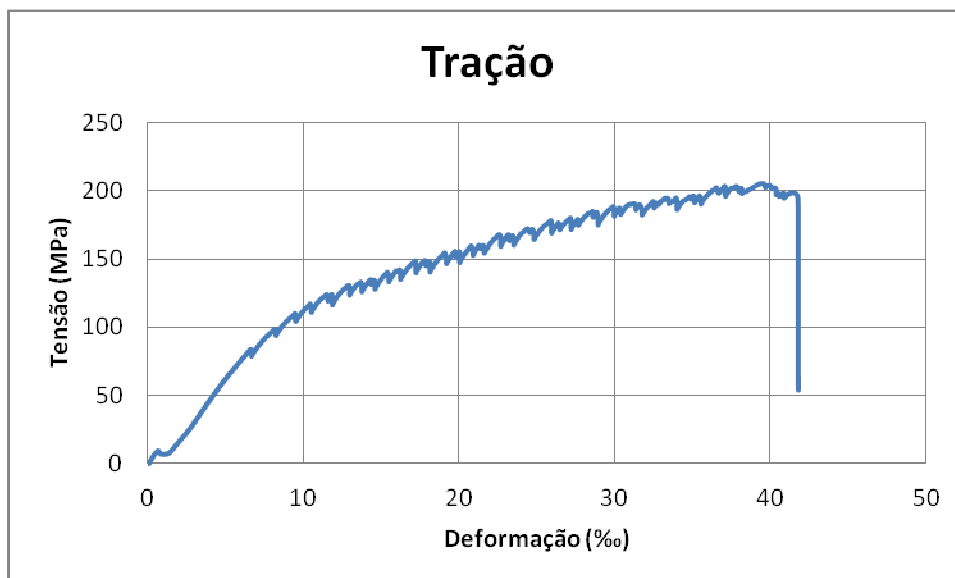


Figura A.II. 59: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI1.

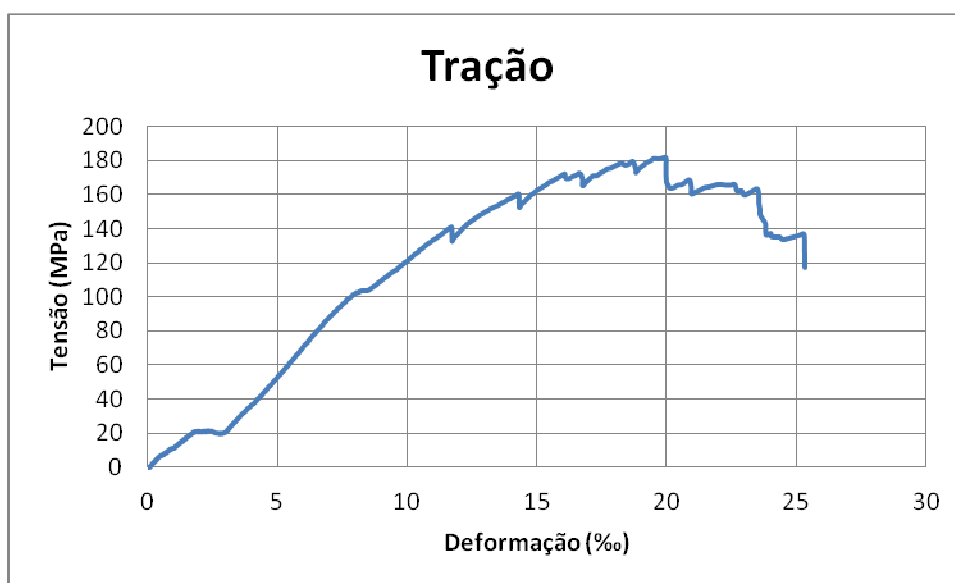


Figura A.II. 60: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI2.

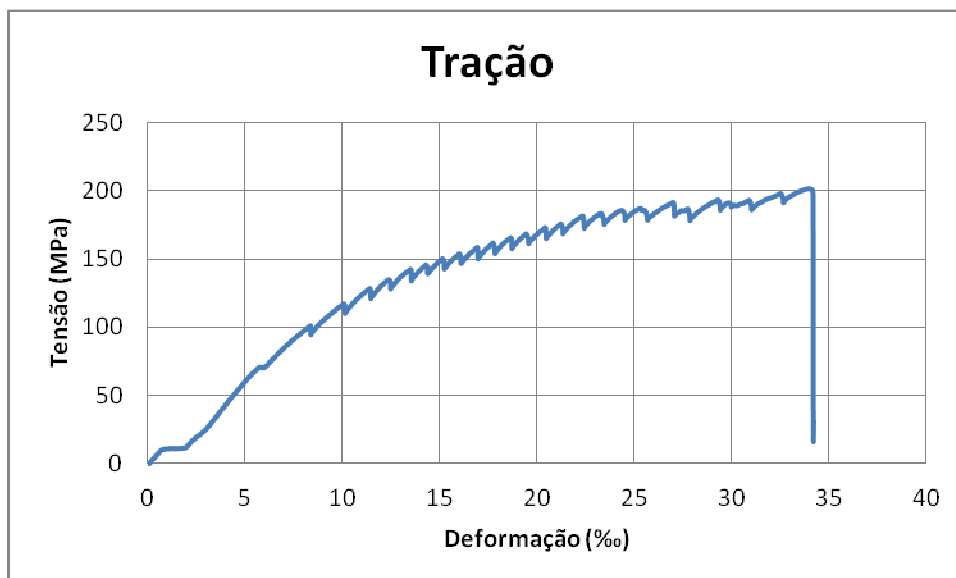


Figura A.II. 61: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNBI3.

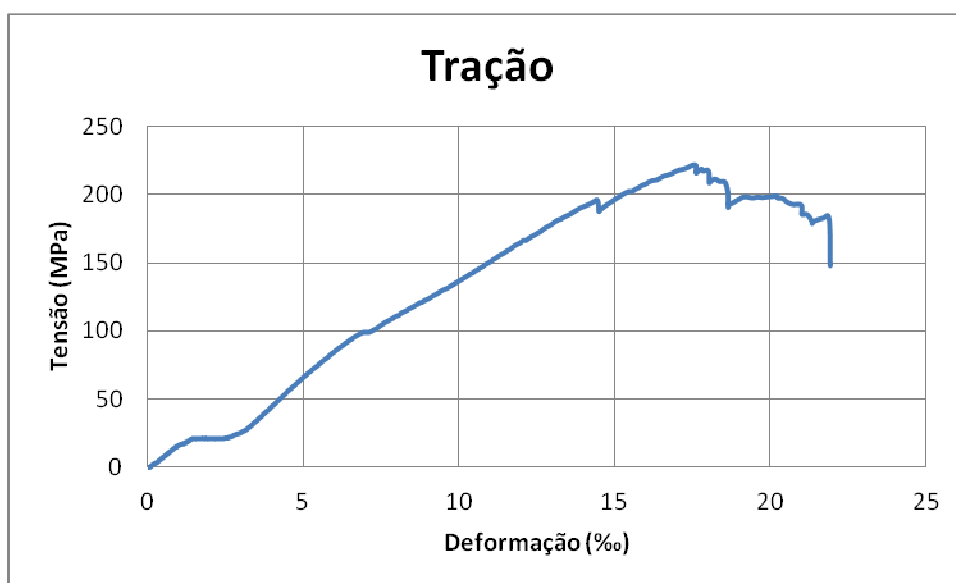


Figura A.II. 62: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI1.

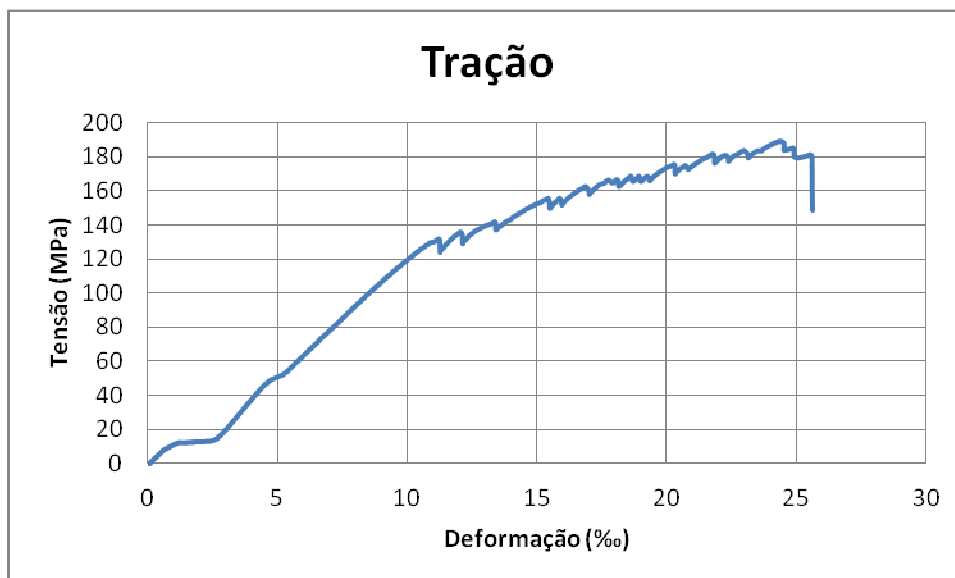


Figura A.II. 63: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI2.

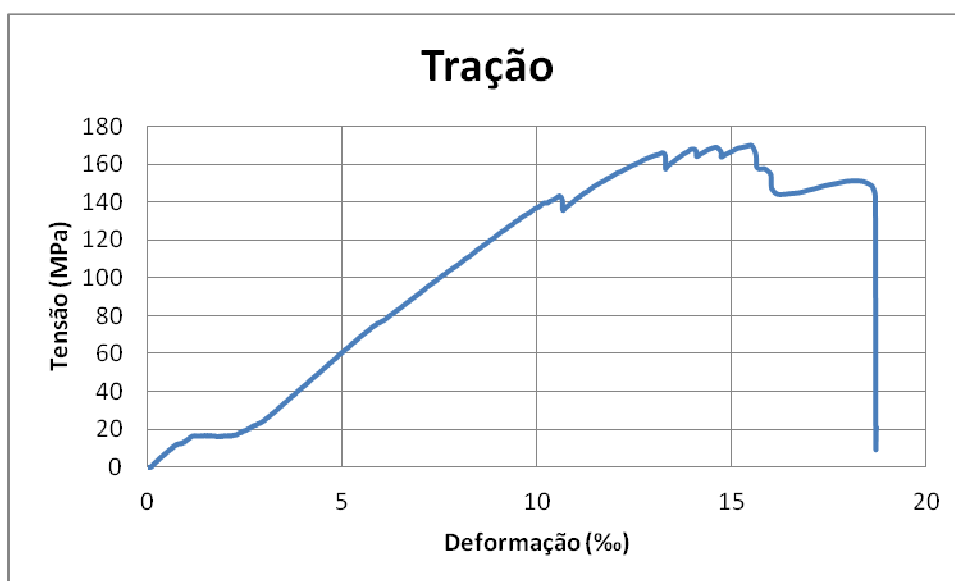


Figura A.II. 64: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNMI3.

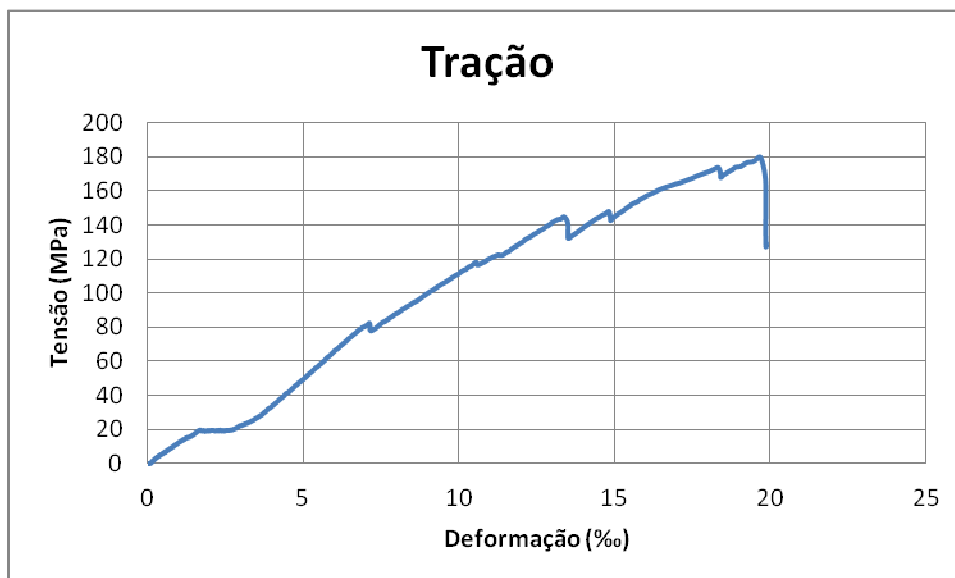


Figura A.II. 65: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT11.

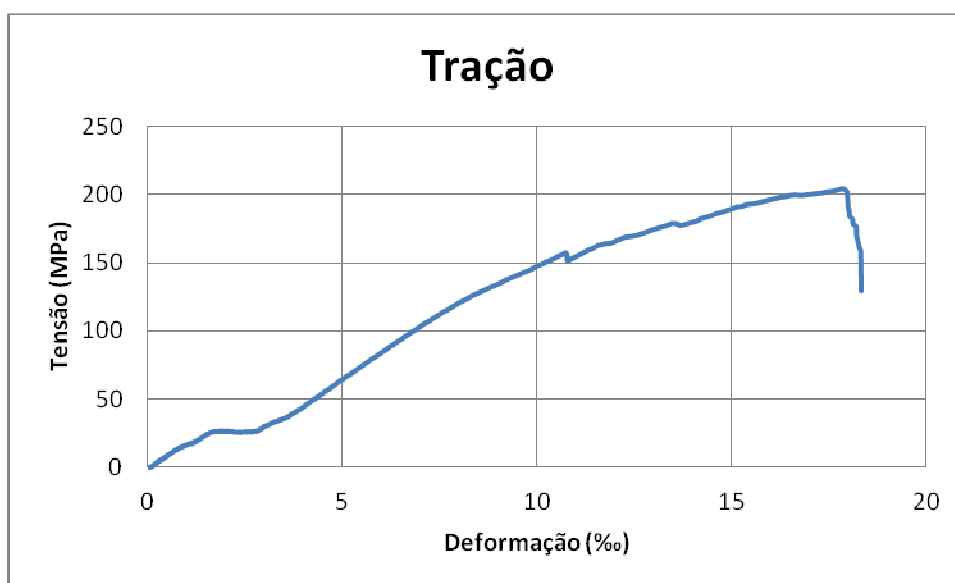


Figura A.II. 66: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT12.

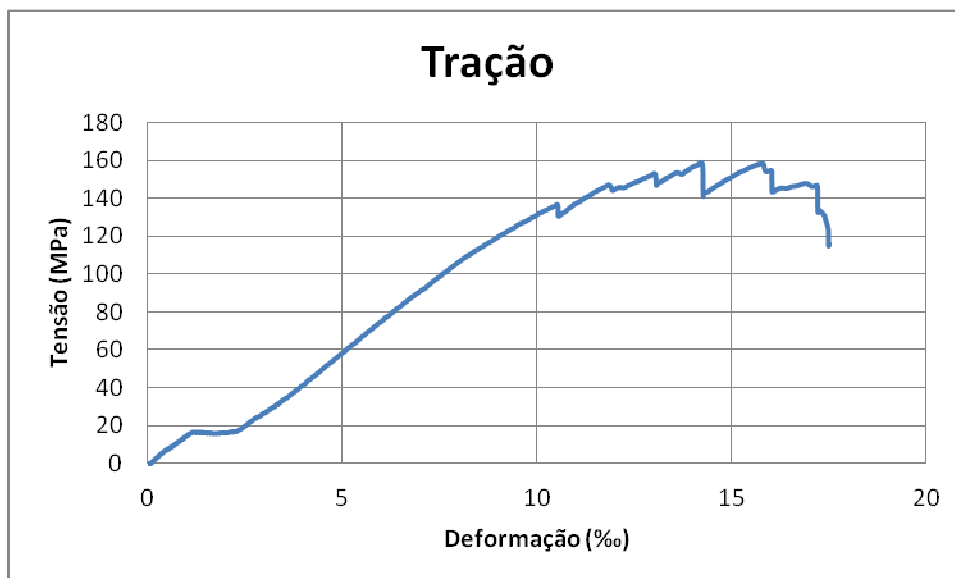


Figura A.II. 67: Curva tração-deformação do corpo-de-prova SNT13.

Resistência à compressão:

Região basal com nó

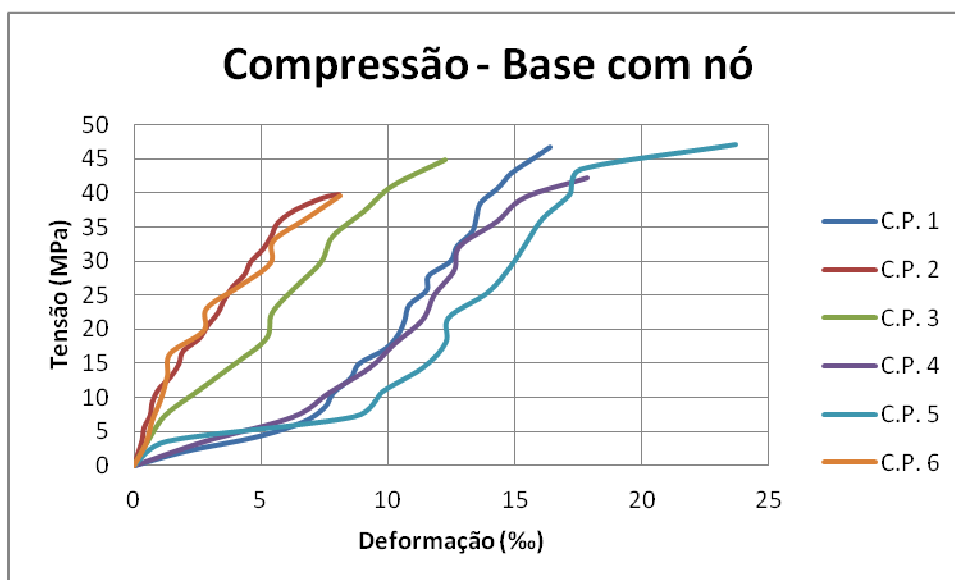


Figura A.II. 68: Curva compressão-deformação da região basal com nó do bambu *Guadua spp.*

Região basal sem nó

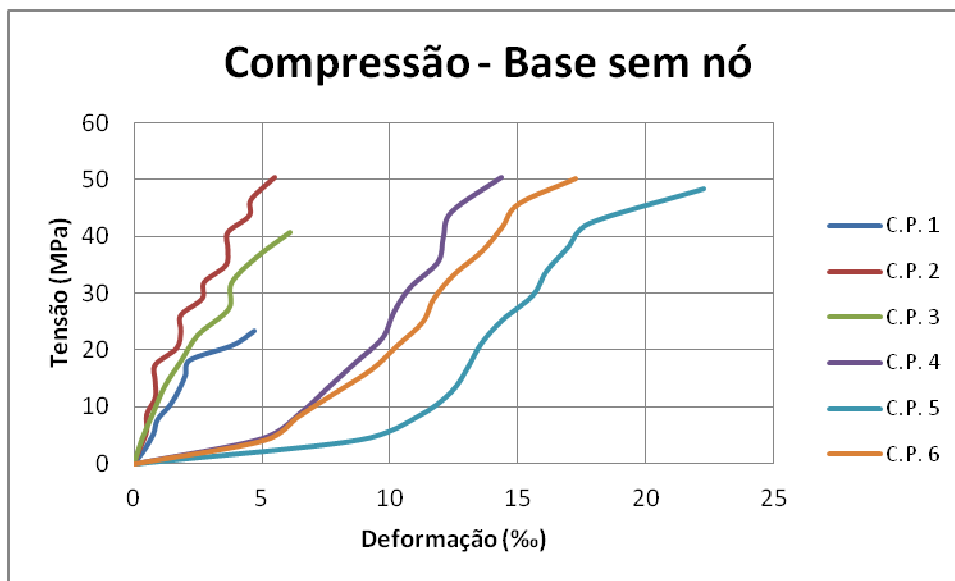


Figura A.II. 69: Curva compressão-deformação da região basal sem nó do bambu *Guadua spp.*

Região mediana com nó

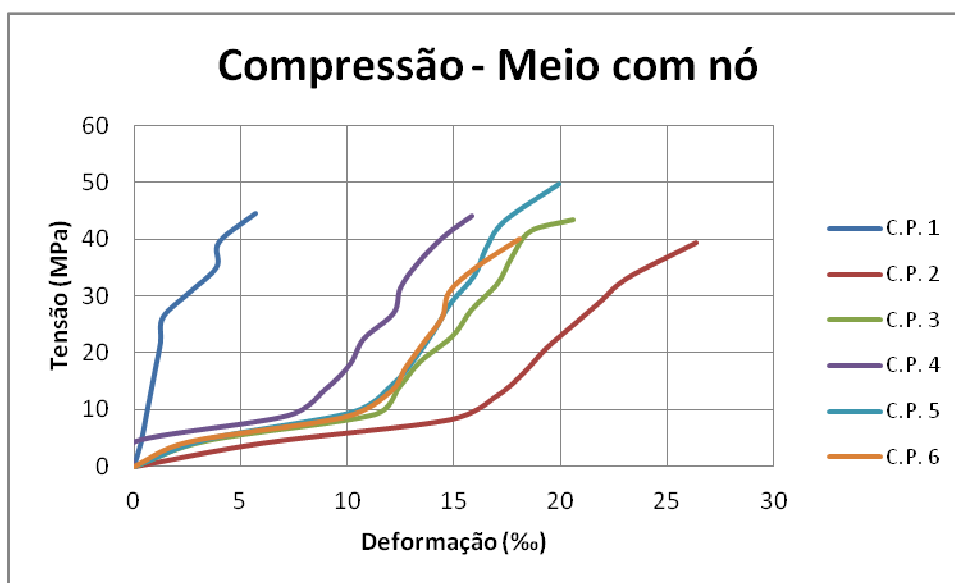


Figura A.II. 70: Curva compressão-deformação da região mediana com nó do bambu *Guadua spp.*

Região mediana sem nó

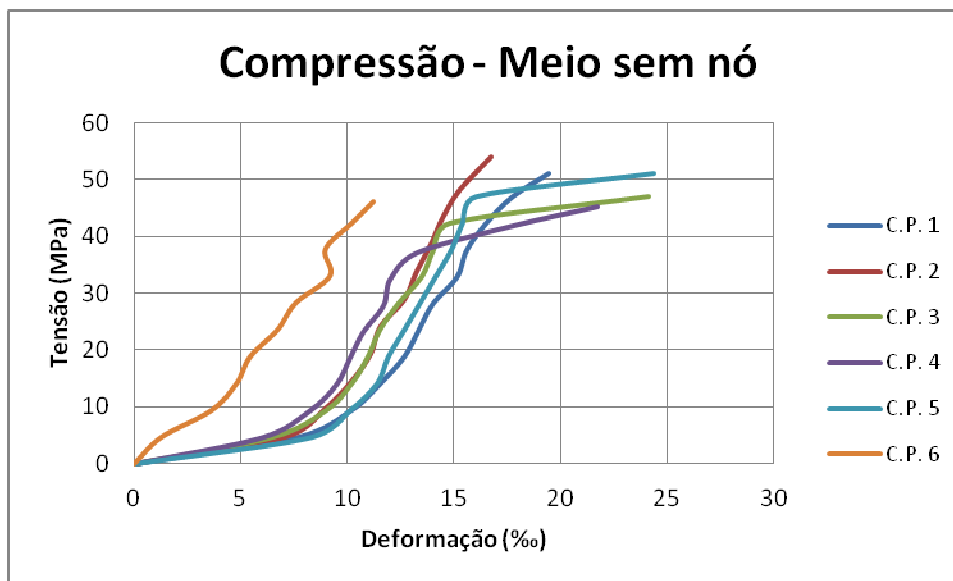


Figura A.II. 71: Curva compressão-deformação da região mediana sem nó do bambu *Guadua spp.*

Região apical com nó

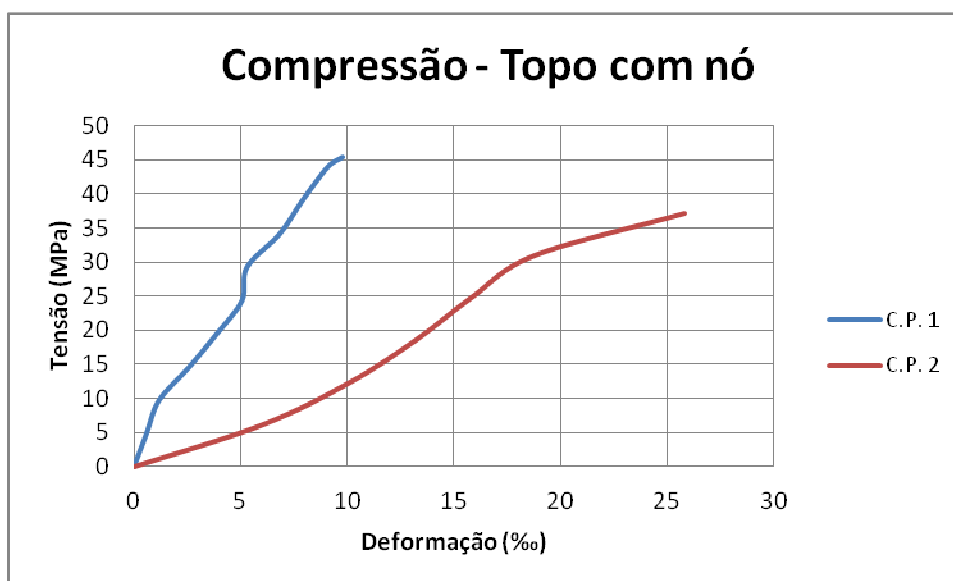


Figura A.II. 72: Curva compressão-deformação da região apical com nó do bambu *Guadua spp.*

Região apical sem nó

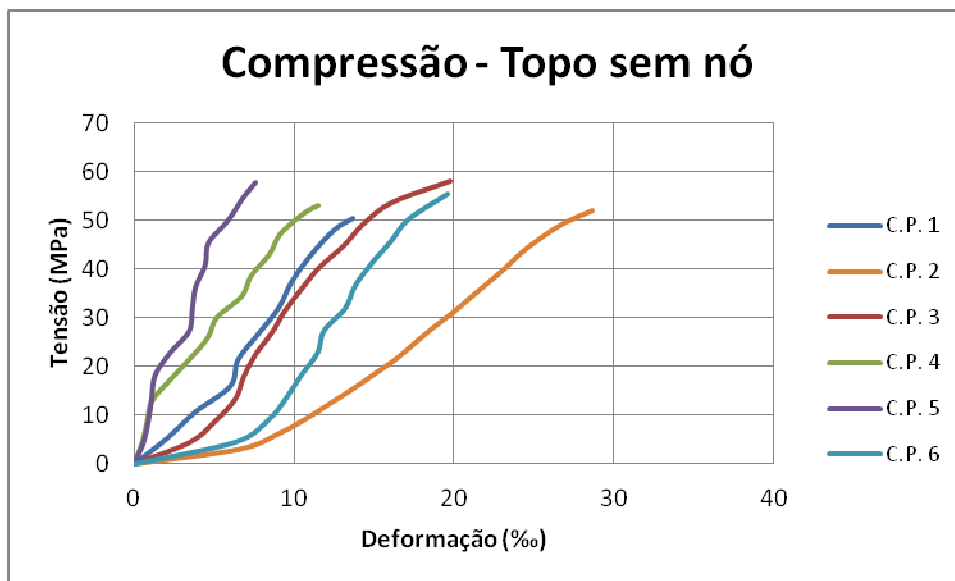


Figura A.II. 73: Curva compressão-deformação da região apical sem nó do bambu *Guadua spp.*

Resistência ao cisalhamento: Colmo 03



Figura A.II. 74: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.

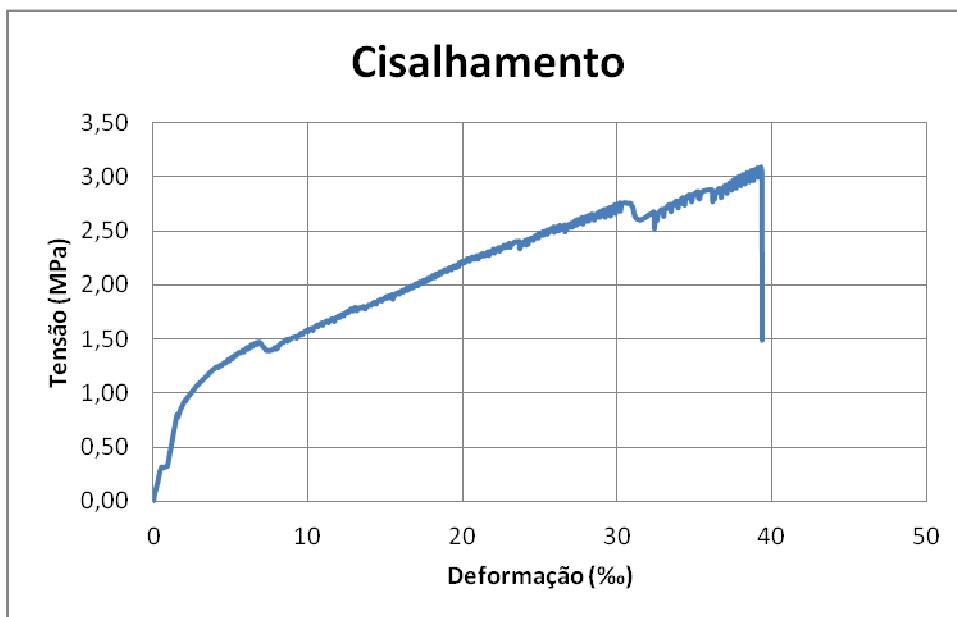


Figura A.II. 75: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.

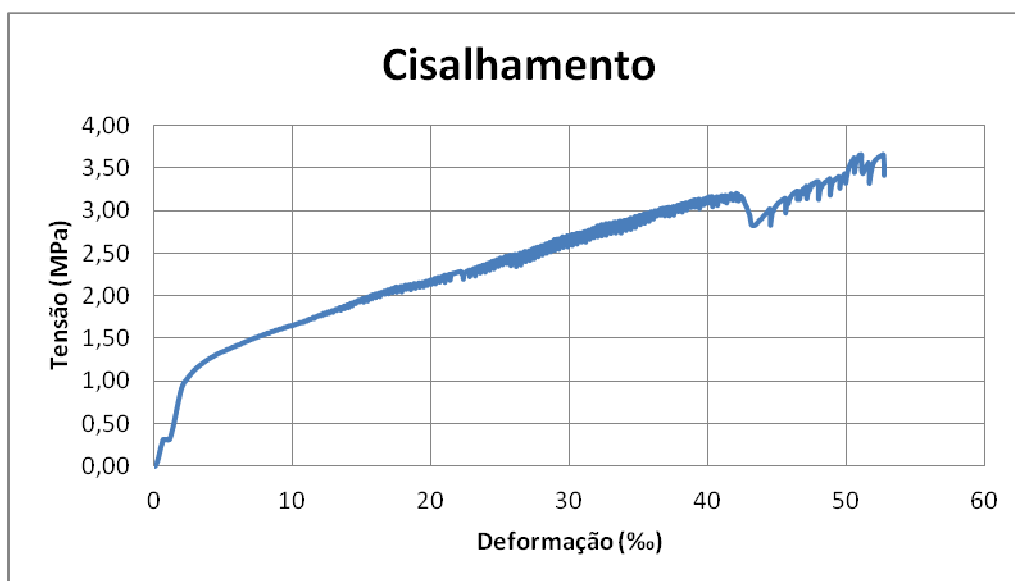


Figura A.II. 76: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.

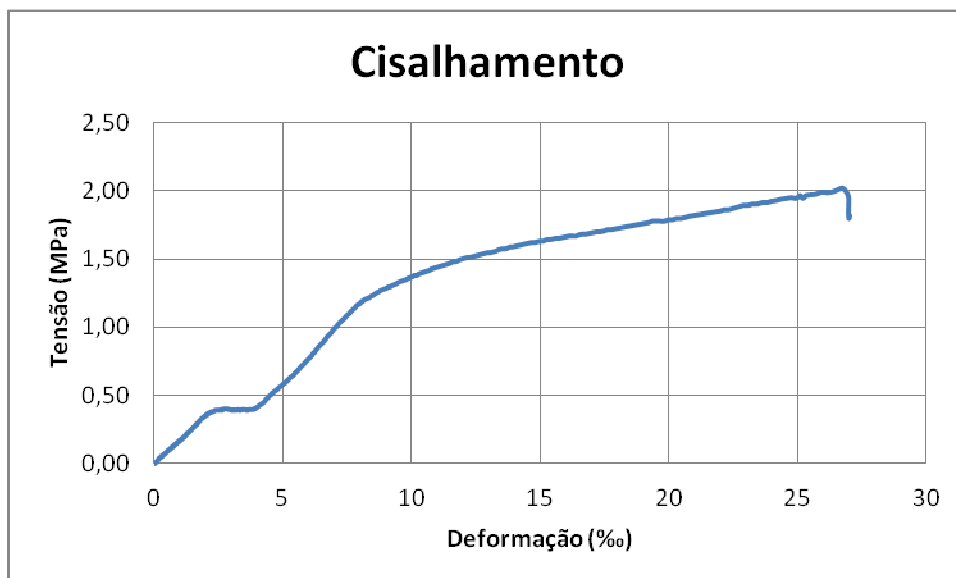


Figura A.II. 77: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.

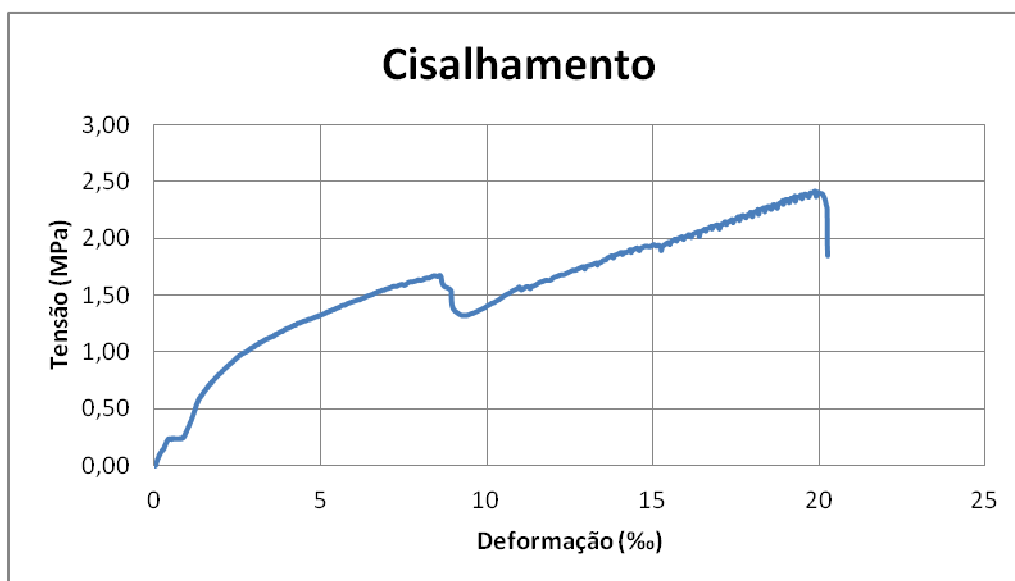


Figura A.II. 78: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.

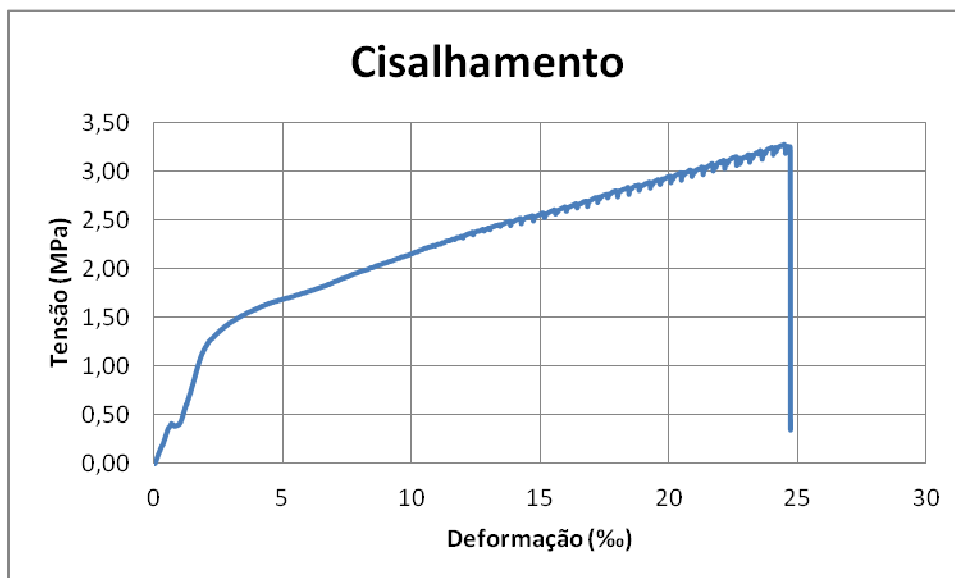


Figura A.II. 79: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.

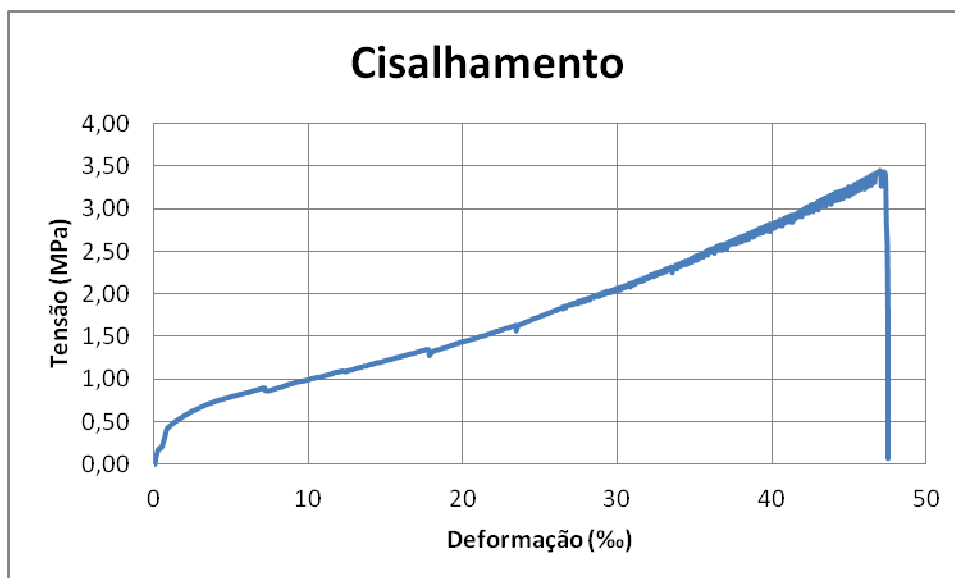


Figura A.II. 80: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.

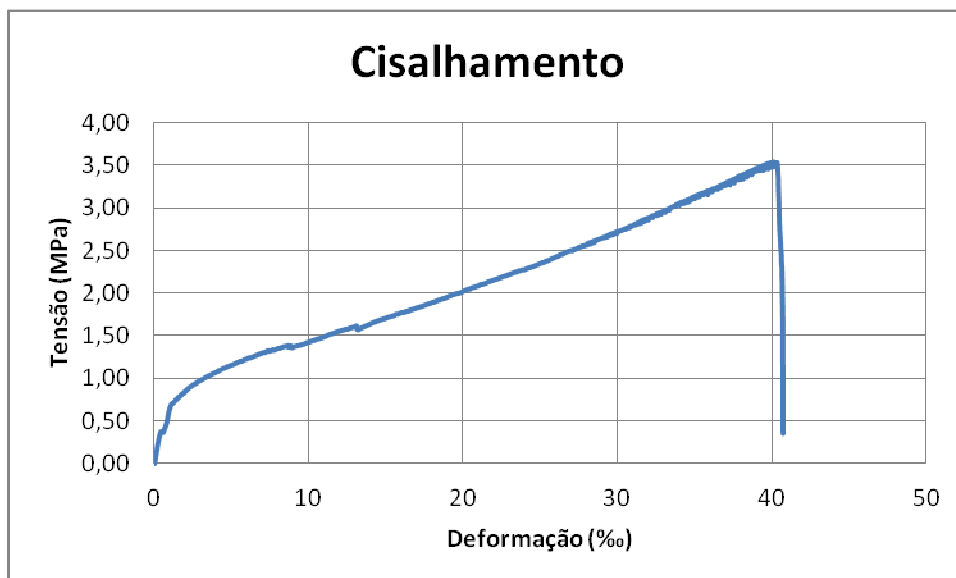


Figura A.II. 81: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.



Figura A.II. 82: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.

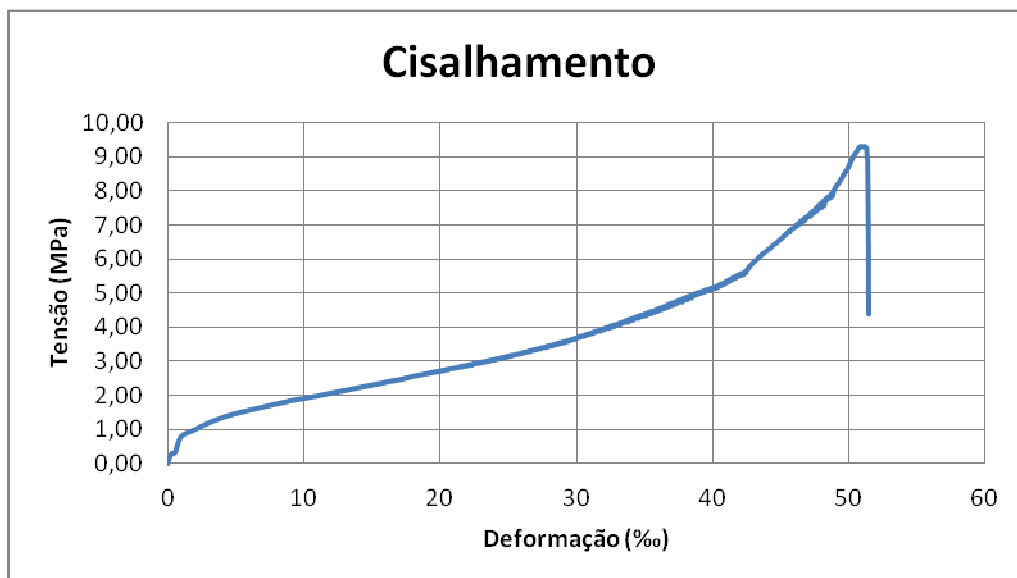


Figura A.II. 83: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.

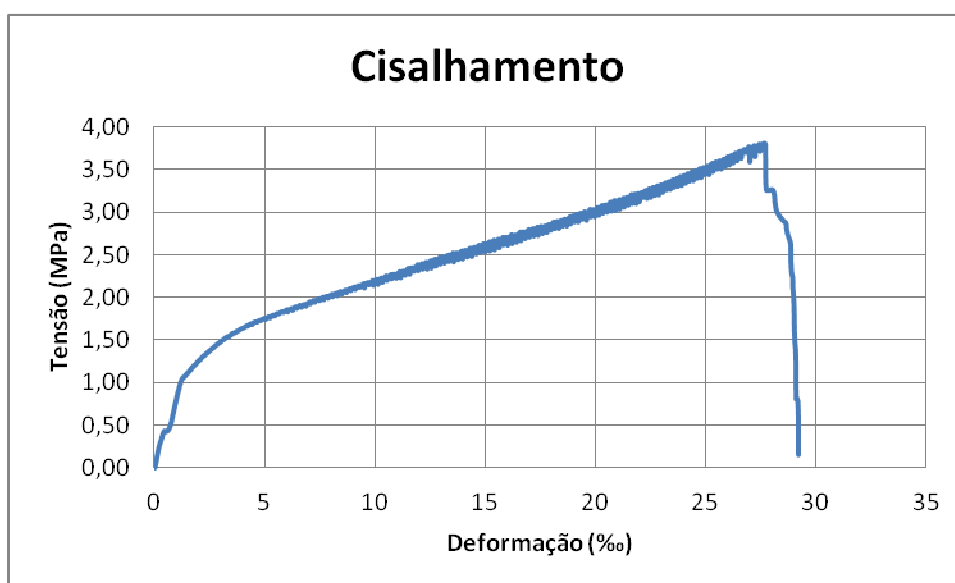


Figura A.II. 84: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.

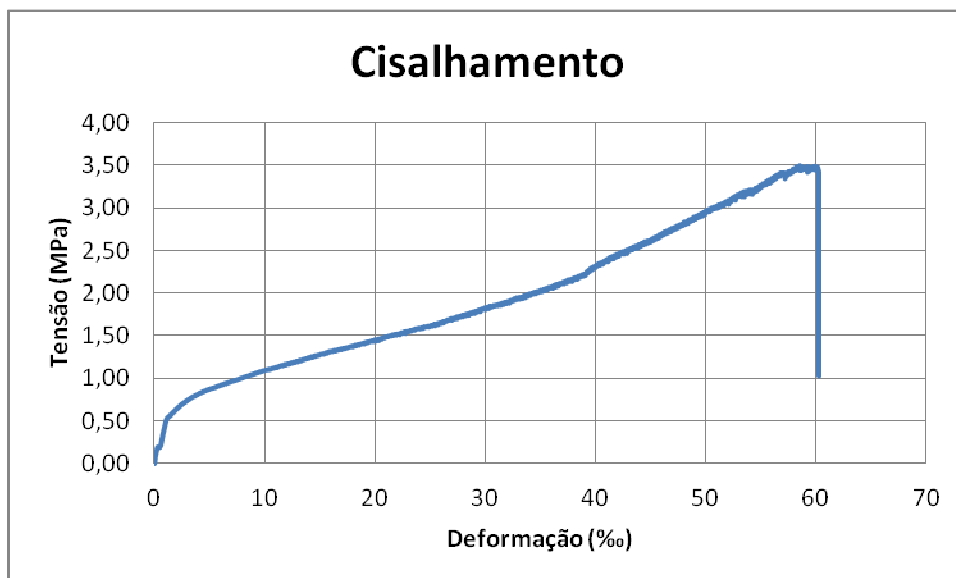


Figura A.II. 85: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM3.

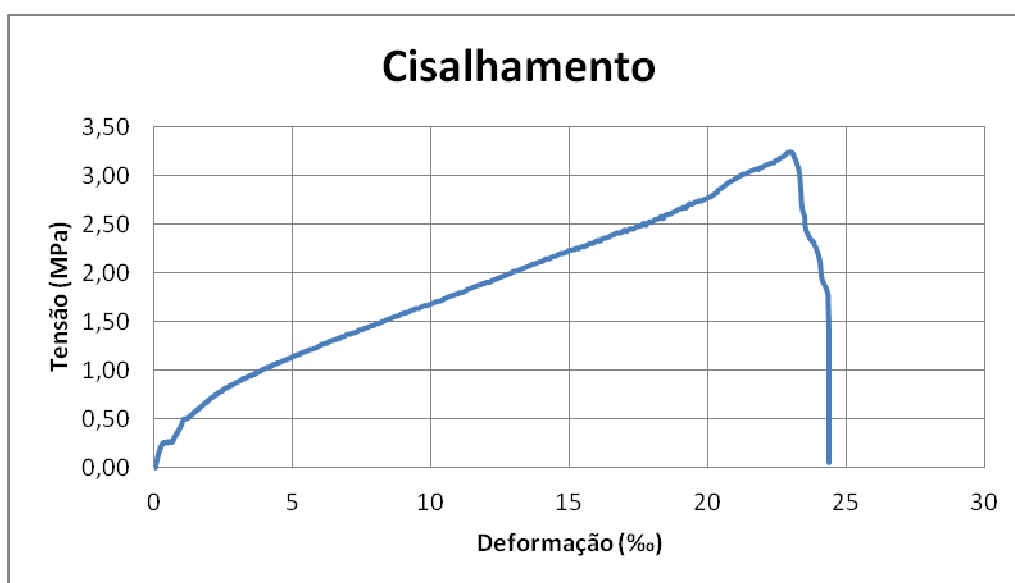


Figura A.II. 86: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.

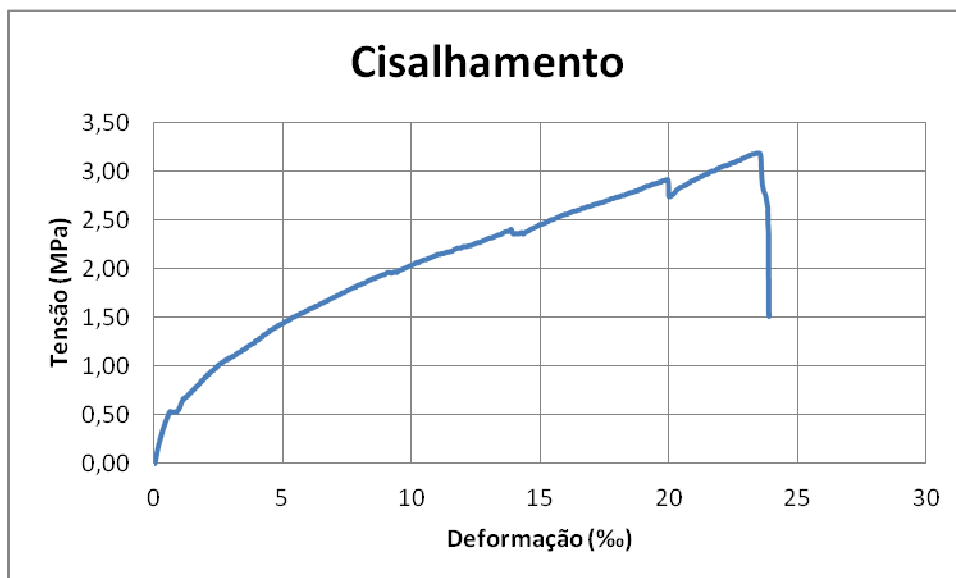


Figura A.II. 87: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.



Figura A.II. 88: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.

Resistência ao cisalhamento: Colmo 04

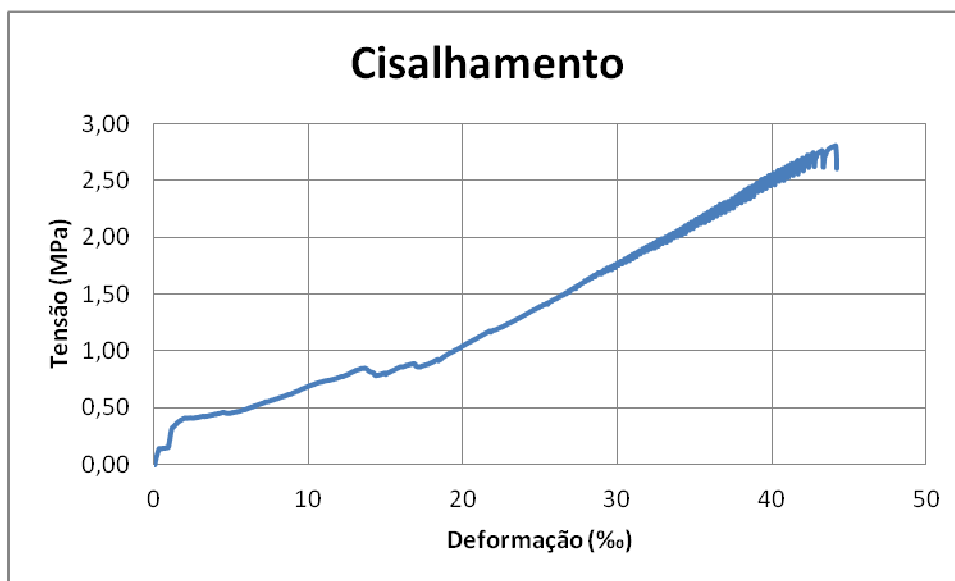


Figura A.II. 89: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.

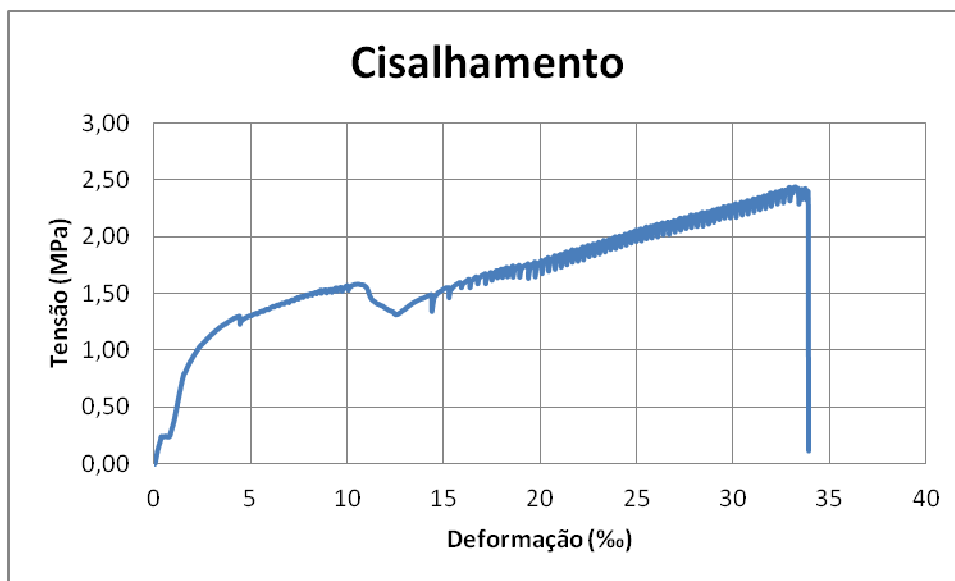


Figura A.II. 90: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.

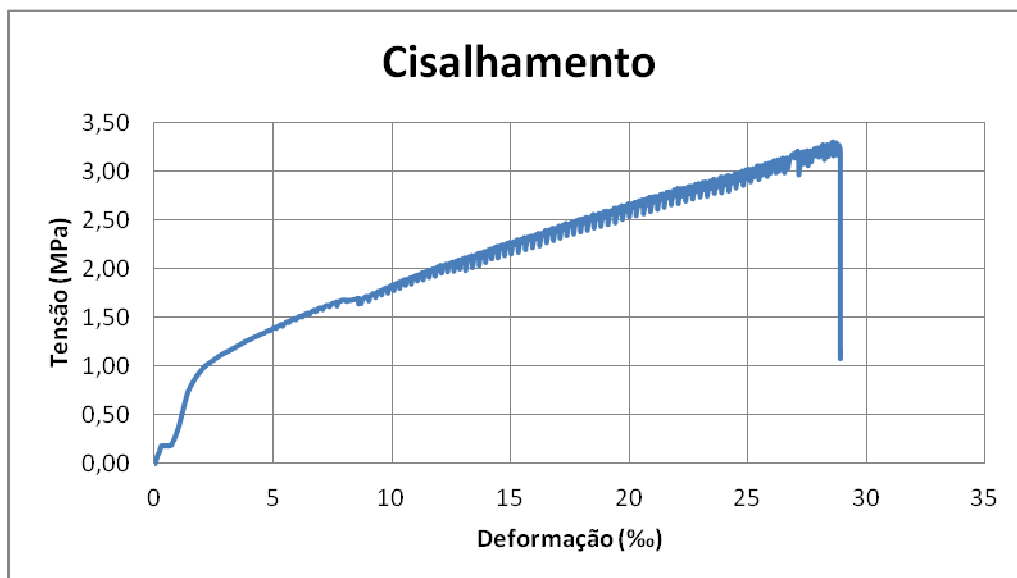


Figura A.II. 91: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB3.

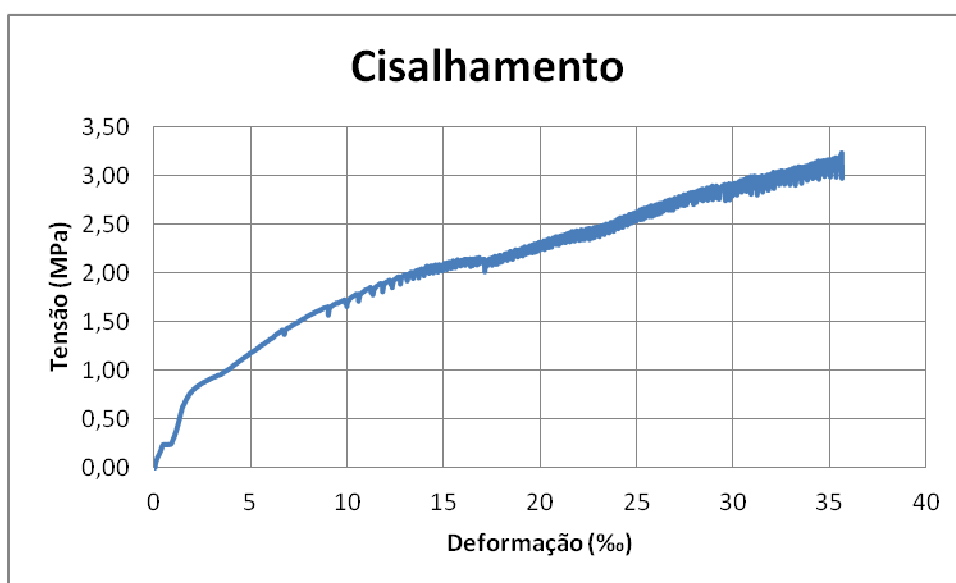


Figura A.II. 92: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.

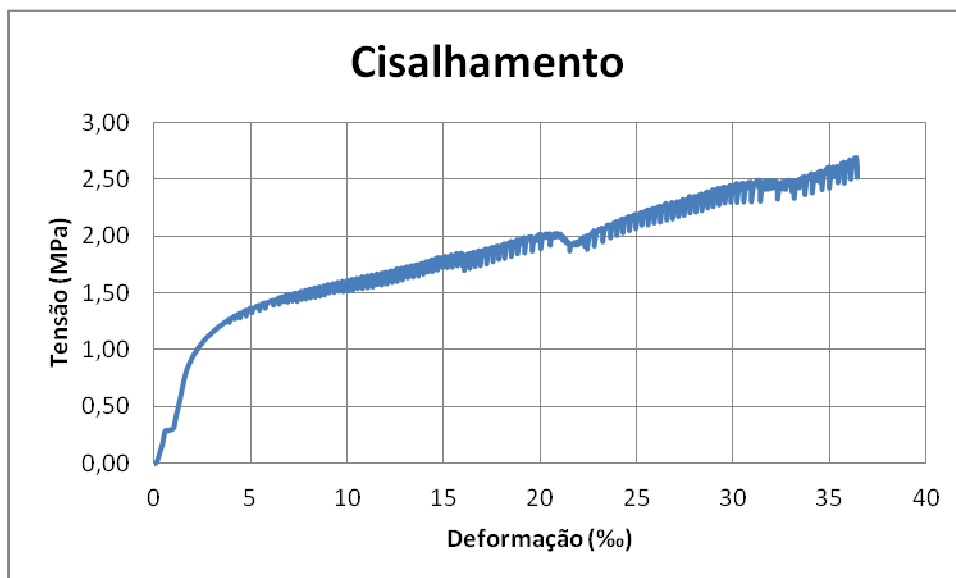


Figura A.II. 93: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM2.

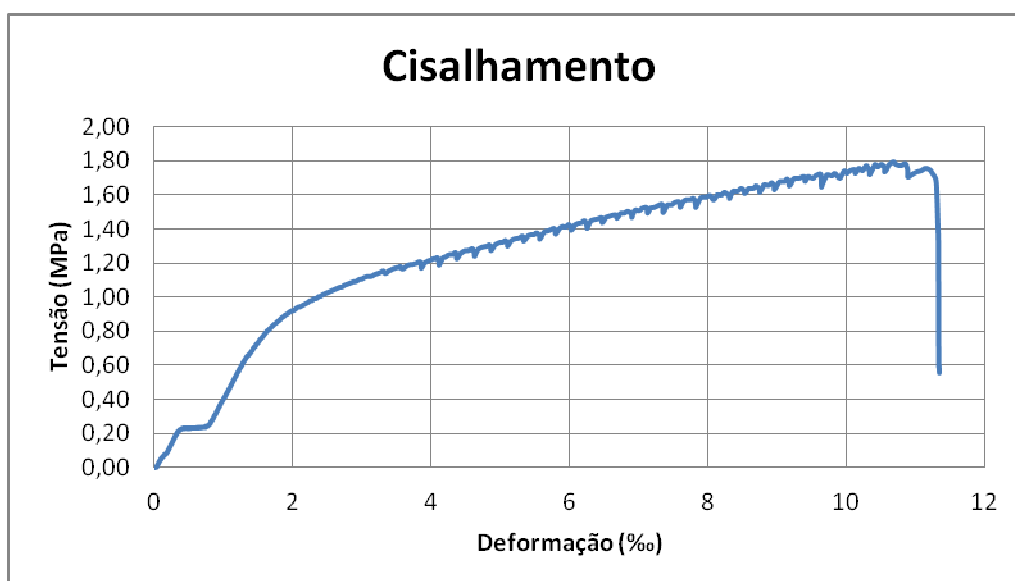


Figura A.II. 94: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.



Figura A.II. 95: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.



Figura A.II. 96: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.

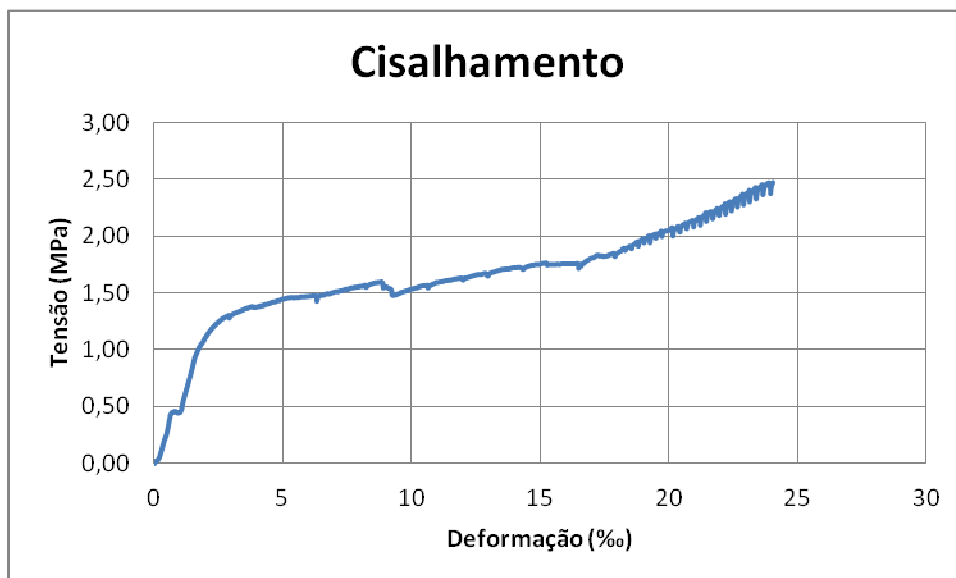


Figura A.II. 97: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.

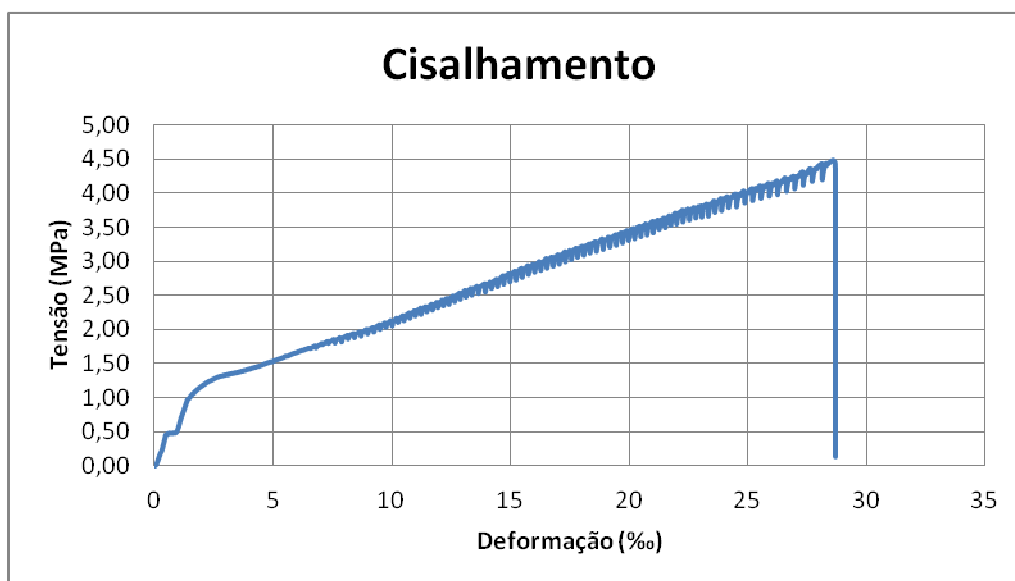


Figura A.II. 98: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.

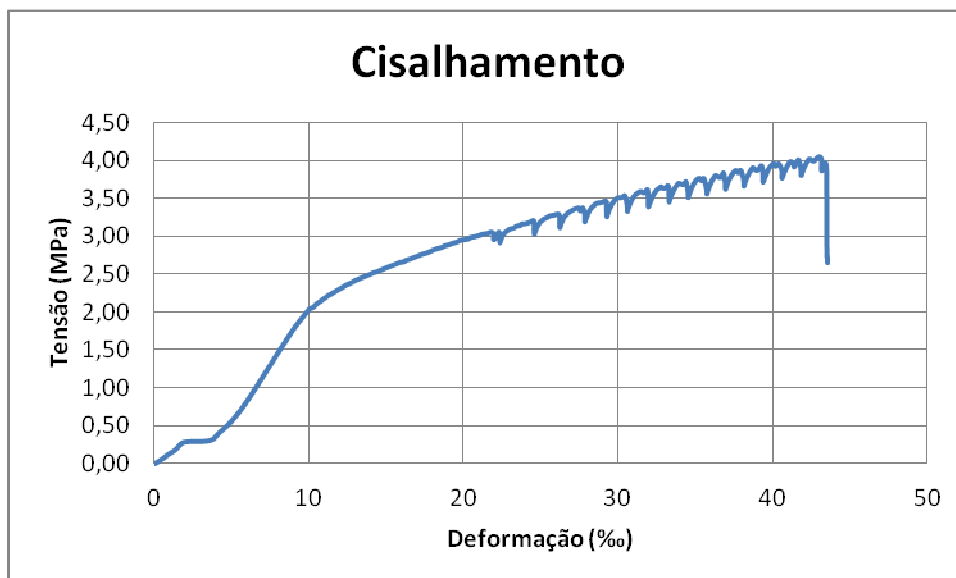


Figura A.II. 99: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.



Figura A.II. 100: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.

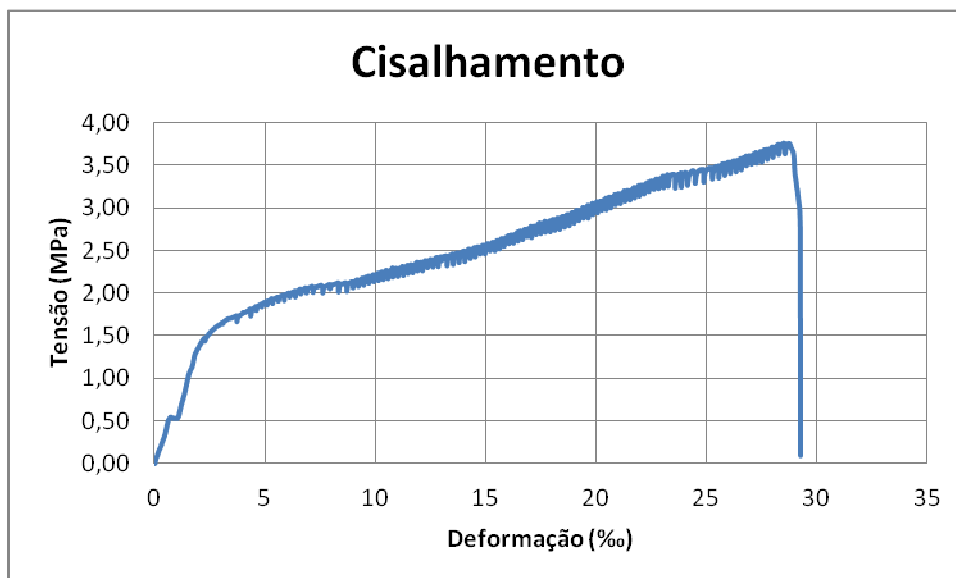


Figura A.II. 101: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.

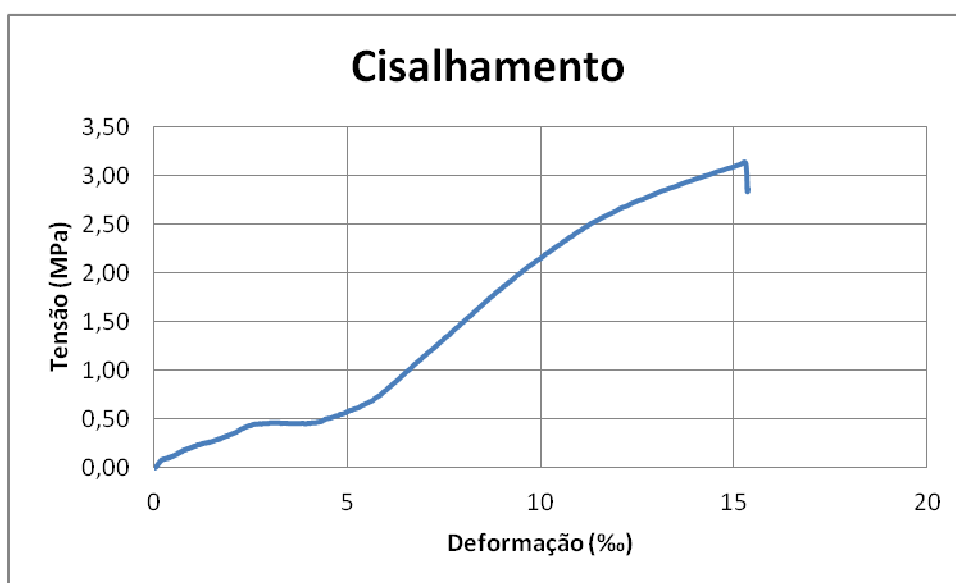


Figura A.II. 102: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM3.

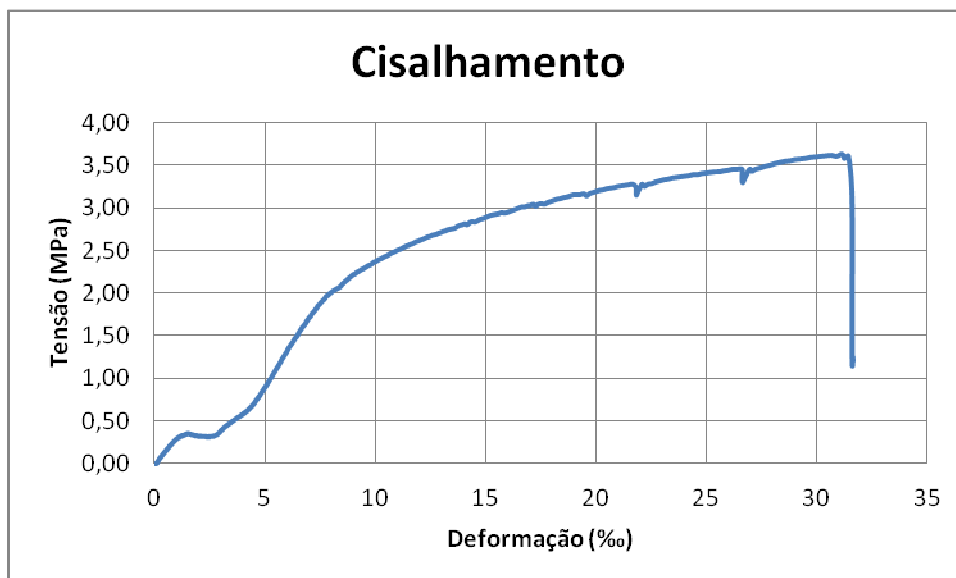


Figura A.II. 103: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.

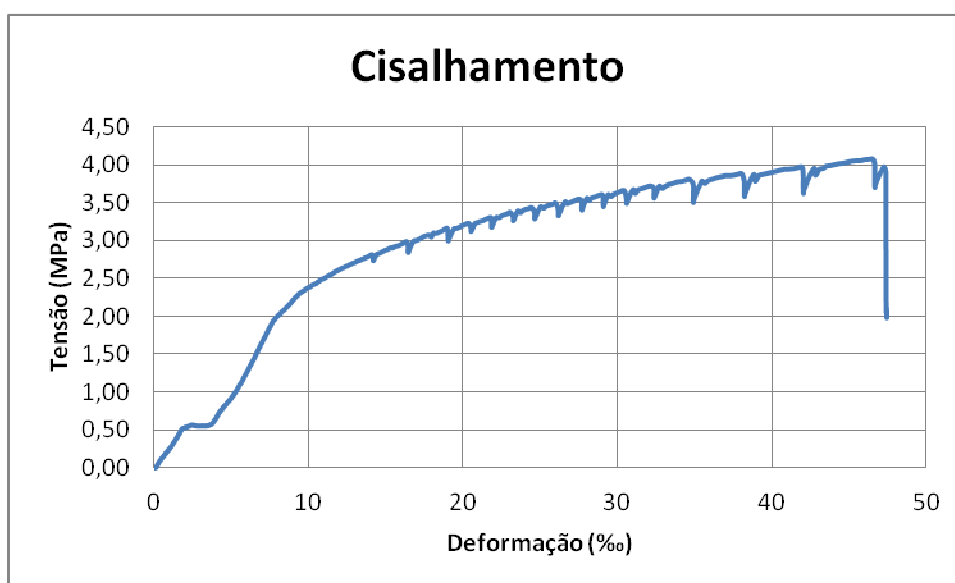


Figura A.II. 104: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.

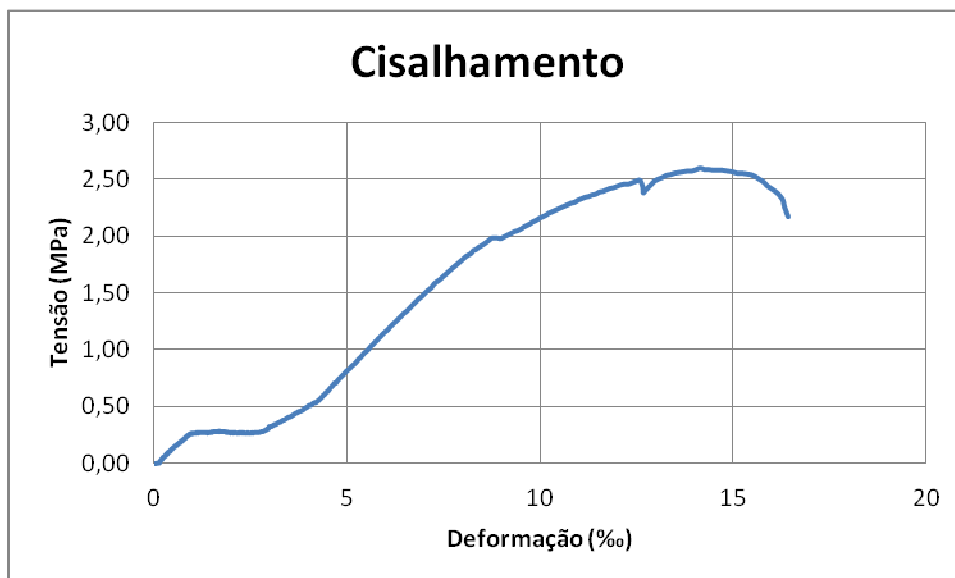


Figura A.II. 105: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.

Resistência ao cisalhamento: Colmo 08

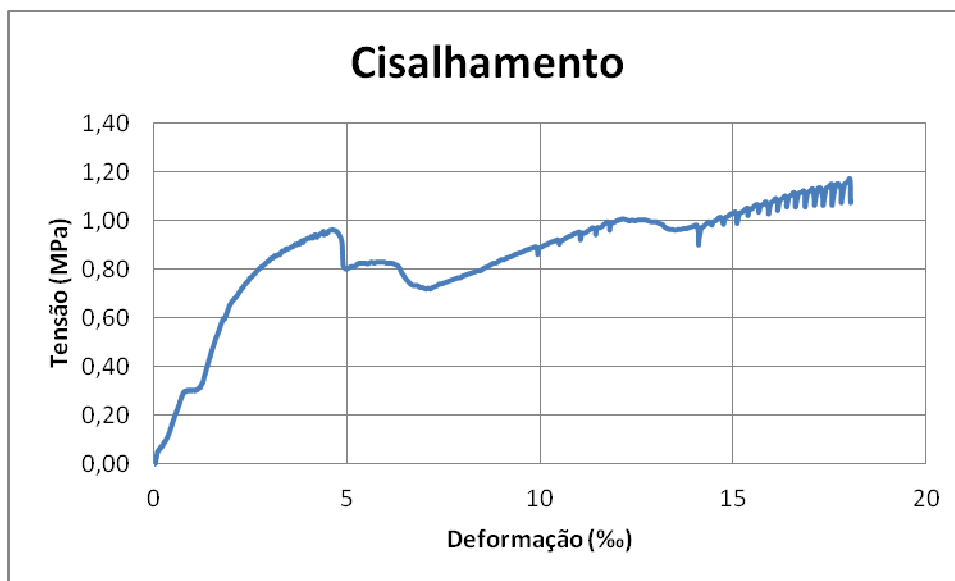


Figura A.II. 106: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB1.

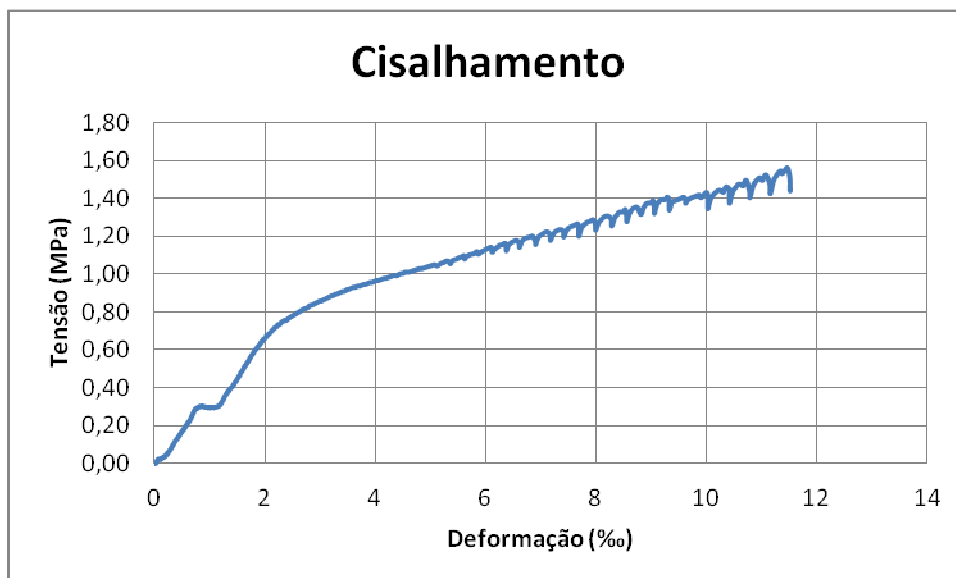


Figura A.II. 107: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNB2.



Figura A.II. 108: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM1.

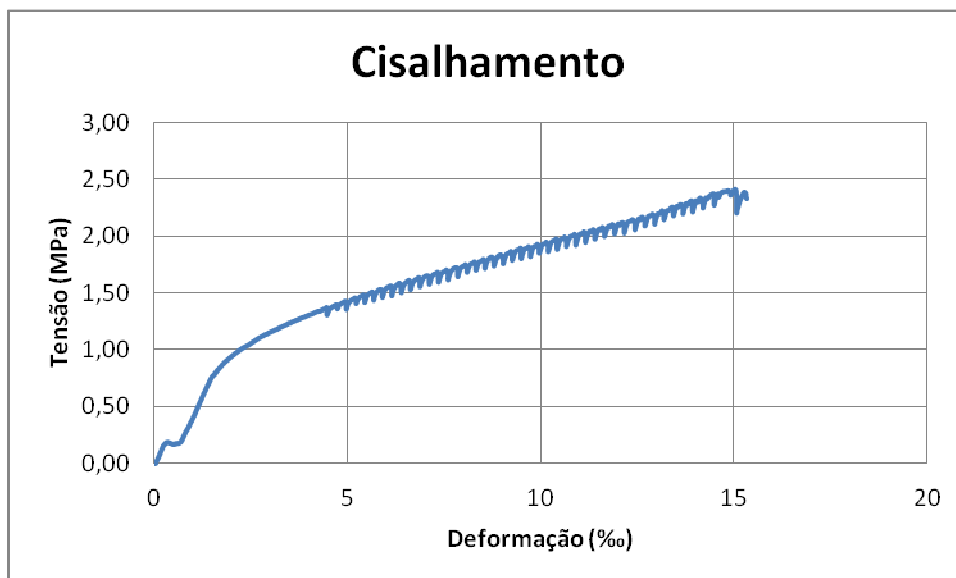


Figura A.II. 109: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM2.

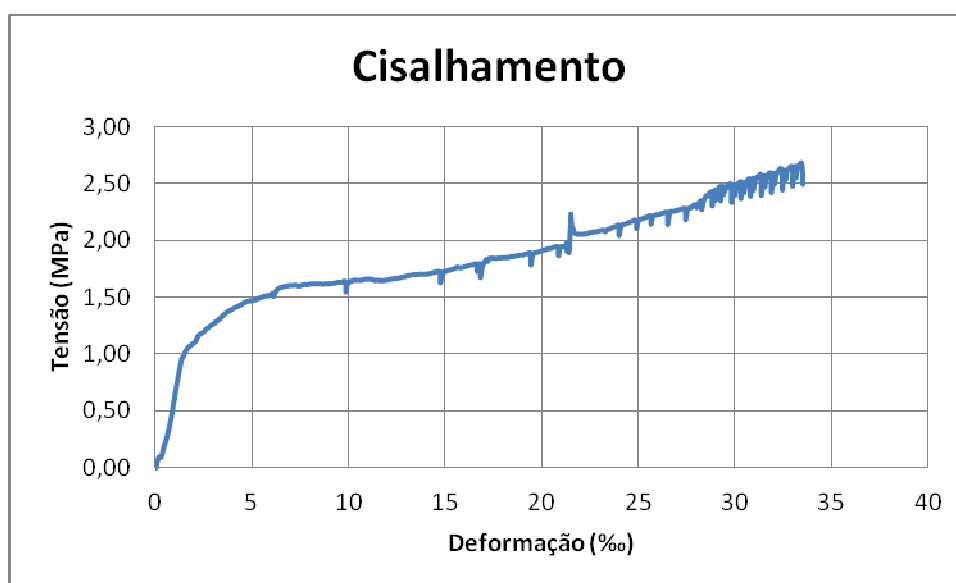


Figura A.II. 110: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNM3.

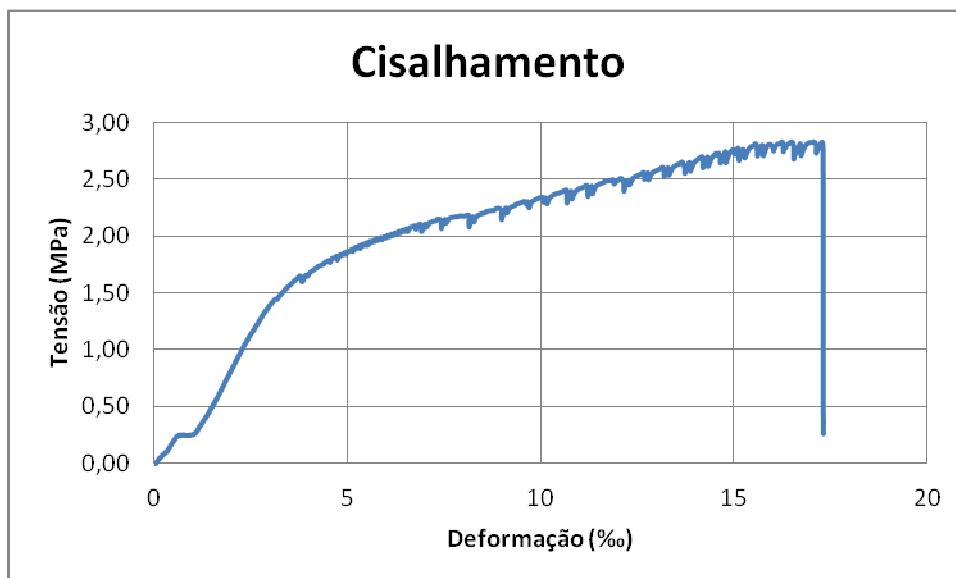


Figura A.II. 111: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT1.



Figura A.II. 112: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT2.

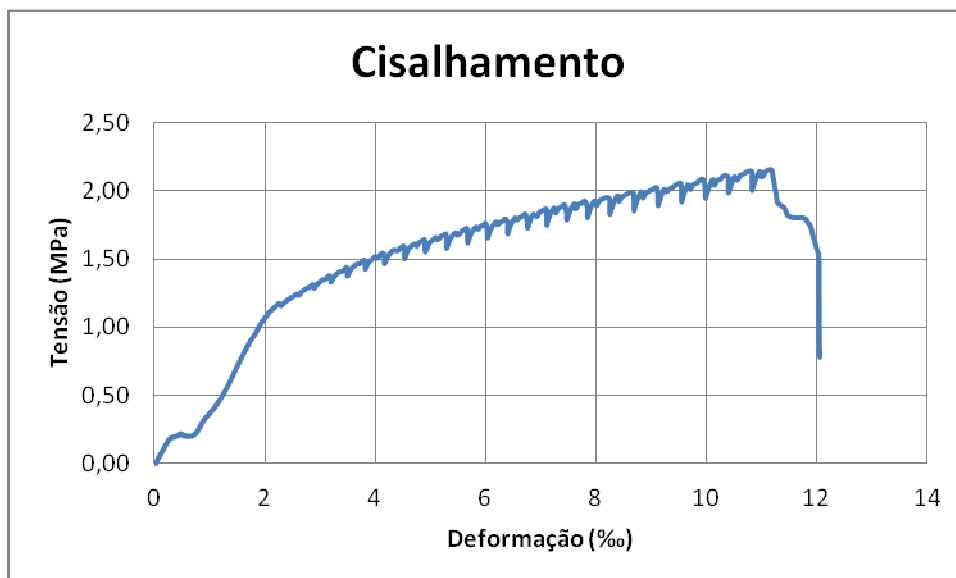


Figura A.II. 113: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova CNT3.



Figura A.II. 114: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB1.

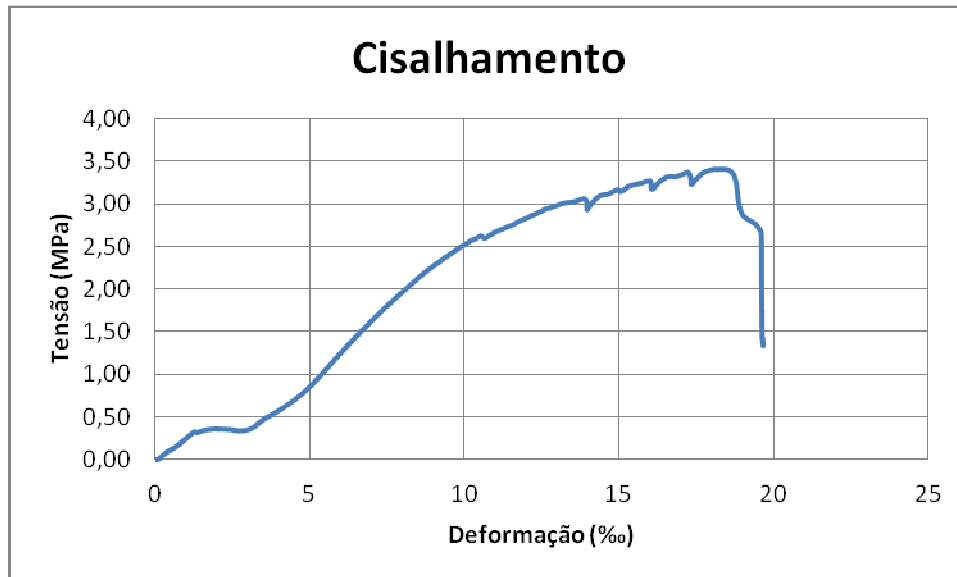


Figura A.II. 115: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB2.



Figura A.II. 116: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNB3.

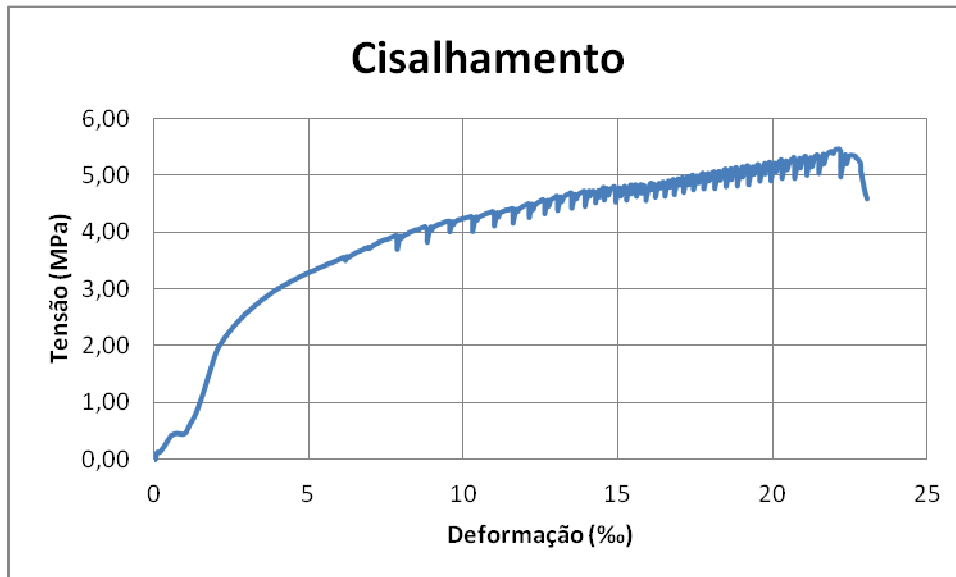


Figura A.II. 117: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM1.

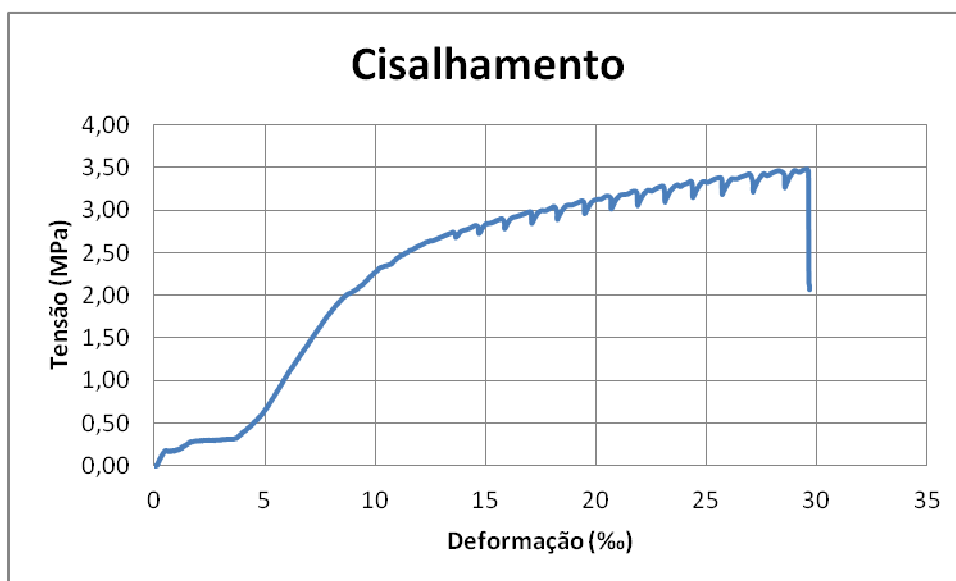


Figura A.II. 118: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNM2.

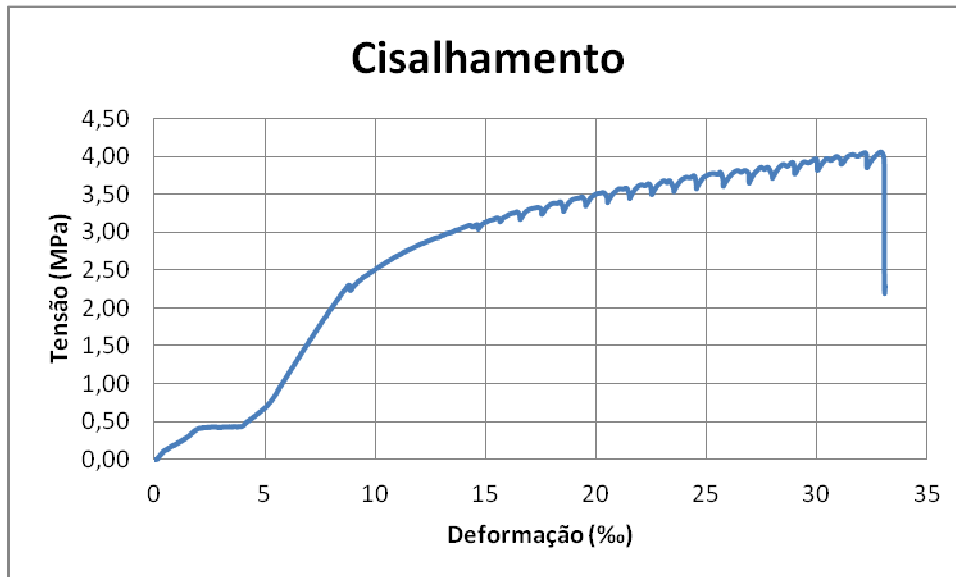


Figura A.II. 119: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT1.

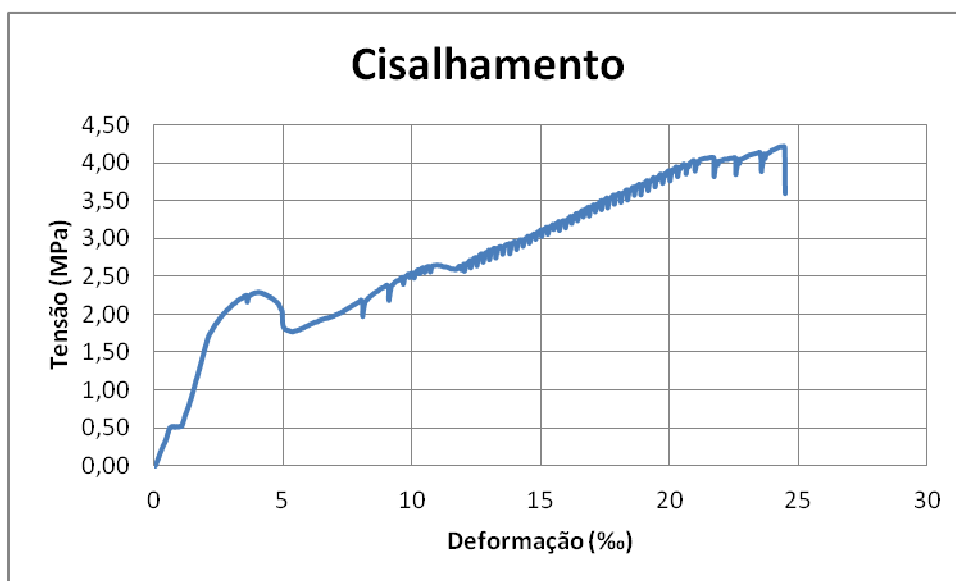


Figura A.II. 120: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT2.

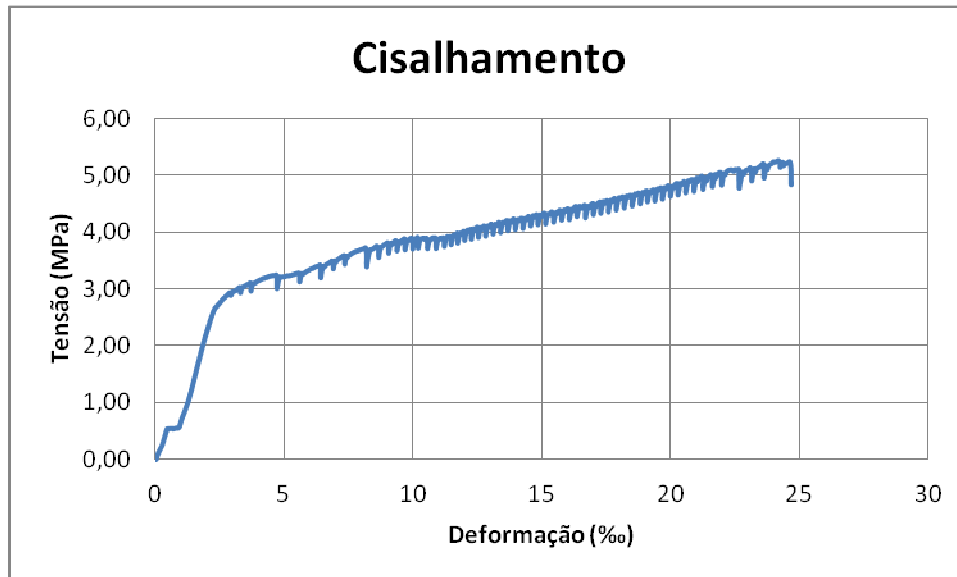


Figura A.II. 121: Curva cisalhamento-deformação do corpo-de-prova SNT3.