Universidade Estadual Paulista

"Júlio de Mesquita Filho"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

JOÃO CARLOS BIAZZON

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO APLAINAMENTO DA MADEIRA SOBRE O DESEMPENHO DE COLAGEM COM ADESIVOS À BASE DE POLIACETATO DE VINILA

Bauru, SP
Dezembro –2016

JOÃO CARLOS BIAZZON

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO APLAINAMENTO DA MADEIRA SOBRE O DESEMPENHO DE COLAGEM COM ADESIVOS À BASE DE POLIACETATO DE VINILA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na Área Processos de Fabricação, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Bauru, SP
Dezembro – 2016

Biazzon, João Carlos.
Influência da velocidade de avanço no aplainamento da madeira sobre o desempenho de colagem com adesivos à base de poliacetato de vinila / João Carlos Biazzon, 2016
177 f. : il.

Orientador: Ivaldo De Domenico Valarelli
Coorientador: Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016

1. *Eucalyptus saligna*. 2. Adesão. 3. Linha de cola. 4. Resistência ao cisalhamento I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Titulo.

ATA DA DEFESA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO CARLOS BIAZZON, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

Aos 07 dias do mês de dezembro do ano de 2016, às 14:30 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MARCOS TADEU T GONCALVES do(a) Engenharia Industrial Madeireira / Campus Experimental de Itapeva, Prof. Dr. REINALDO SEBASTIAO SILVA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. PAULO ROBERTO GOMES ALVES do(a) - / Escola Estadual Professor Silvério Monteiro, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO CARLOS BIAZZON, intitulada **INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO APLAINAMENTO DA MADEIRA SOBRE O DESEMPENHO DE COLAGEM COM ADESIVOS À BASE DE POLIACETATO DE VINILA** . Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. MARCOS TADEU T GONCALVES

Prof. Dr. REINALDO SEBASTIAO SILVA

Prof. Dr. PAULO ROBERTO GOMES ALVES

Dedico este trabalho:

À Deus,

A meus pais: Ada Terezinha Talamonte Biazzon e Vicente Biazzon (*in memorian)*

As minhas irmãs que me apoiaram: Antonieta, Maria Helena e Simone.

Aos meus irmãos: Luiz, Ailton e Adilson.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar e acima de tudo a Deus, pelo Dom da minha vida.

Ao Professor Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves, pela sua nobre e valiosa amizade, por seu companheirismo, pela sua dedicação e orientação durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli, pela dedicação na realização deste trabalho.

Ao meu grande e leal amigo Professor Dr. Paulo Roberto Gomes Alves que muito me incentivou e apoiou em meus estudos.

A minha nobre amiga Professora Drª. Elen Aparecida Martines Morales por seu apoio e incentivo.

Ao técnico de laboratório Juliano Rodrigo de Brito do Campus da UNESP de Itapeva, pela dedicação exemplar.

Ao técnico de laboratório David José Tenório de Aquino do Campus da UNESP de Itapeva, por sua valiosa colaboração.

A todos os técnicos de laboratório do Campus de Itapeva que colaboraram neste trabalho.

Aos Professores da UNESP de Bauru pelos seus ensinamentos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo, verificar o desempenho de juntas coladas em função da qualidade das superfícies da madeira usinadas em operações de fresamento cilíndrico tangencial para diferentes velocidades de avanço, empregando-se quatro tipos de adesivos à base de Poliacetato de Vinila (PVAc) denominados como C1, C2, C3 e C4 e madeira da espécie *Eucalyptus saligna*. Para tanto, foram confeccionadas amostras para ensaios normatizados pela Norma ABNT - NBR 7190:1997, submetidas a testes de resistência à ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento. Na união das peças de madeira para confecção das amostras, essas foram coladas em planos aleatórios em relação aos anéis de crescimento da madeira. As amostras foram usinadas empregando-se as velocidades de avanço V1= 6,0; V2 = 11,0; V3 = 16,0 e V4 = 21,0 $m.min^{-1}$, correspondendo, respectivamente aos avanços por dente "f_z": 0,25 mm; 0,45 mm; 0,66 mm e 0,87 mm. Pôde-se verificar um melhor desempenho para uso do adesivo "C4" e melhor superfície de adesão para a velocidade de avanço V1 = 6,0 $m.min^{-1}$. Dos resultados podem-se destacar o melhor desempenho empregando-se o adesivo C4, e o pior desempenho o adesivo C2 para todas as velocidades de avanço testadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus saligna*, Adesão, Usinagem de Madeira, Linha de cola, Resistência ao cisalhamento.

ABSTRACT

The present work aimed at verifying the performance of bonded joints in function to the quality to the wood surfaces machined tangential cylindrical milling operations to different advance speeds, using four types of adhesives based on vinyl polyacetate (PVAc) denominated as C1, C2, C3 and C4 and wood species *Eucalyptus saligna*. For this, samples were prepared for standardized tests by ABNT - NBR 7190:1997, subjected to tensile strength tests on the glue line shear efforts. In the union of pieces of wood for making the samples, these were glued on random plans in relation to the wood growth rings. The samples machined using the advance speed V1 = 6.0; V2 = 11.0; V3 = 16.0 and V4 = 21.0 m. min^{-1}, corresponding respectively to advances by tooth "f_z": 0.25 mm; 0.45 mm; 0.66 mm and 0.87 mm. It was verified better performance for adhesive use "C4" and better adhesion surface for the advance speed V1 6.0 m. min^{-1}. From the results, it can be highlighted the best performance using the C4 adhesive, and the worst performance C2 adhesive for all tested advance speeds.

Keywords: *Eucalyptus saligna*, Adhesion, Wood Machining, Glue line, Shear Strength.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PVAc	-	Poliacetato de vinila
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MEV	-	Microscopia eletrônica de varredura
EN	-	Norma Européia
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	-	Norma Brasileira
ASTM	-	Americam Society Of Testing Materials
pH	-	potencial Hidrogeniônico
MP	-	Cola – Madeiranit sem diluir
MD	-	Cola – Madeiranit diluída
HP		Cola – Henkel sem diluir
HD		Cola – Henkel diluída
cp	-	Corpo de prova
C1	-	Cola – Madeiranit
C2	-	Cola – Cascola Cascorez Extra
C3	-	Cola – Cascola Cascorez Cola Taco
C4	-	Cola – Eucafloor
V1	-	Velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$
V2	-	Velocidade de avanço 11,0 $m.min^{-1}$
V3	-	Velocidade de avanço 16,0 $m.min^{-1}$
V4	-	Velocidade de avanço 21,0 $m.min^{-1}$

LISTA DE SÍMBOLOS

$g.cm^{-3}$	-	grama por centímetro cúbico
daN/cm^2	-	dekanewton por centímetro quadrado
ρ_{ap}	-	densidade aparente
$Kg.m^{-3}$	-	quilograma por metro cúbico
N	-	Newton
μ	-	Micro
mm	-	Milímetro
MPa	-	Mega pascal
cP	-	Centipoise
cSt	-	Centstoke
Pa.s	-	Pascal-segundo
Aº	-	angstrom
F	-	Flúor
O	-	Oxigênio
N	-	Nitrogênio
β	-	Beta
θ	-	Teta
KJ	-	Quilojoule
mol	-	Mol

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Características de *Eucalyptus saligna*. a- face tangencial. b- face radial. c - fotomacrografia (10x) (IPT,1989). 24

Figura 2.2- Microestrutura do lenho de uma conífera (Gimnosperma) nos três planos de corte: 1-seção transversal; 2-seção radial; 3-seção tangencial; 4-anel de crescimento anual; 5-madeira de primavera-verão; 6-madeira de outono-inverno; 7-raio lenhoso; 8-raio fusiforme; 9-canal resinífero axial; 10-canal resinífero transversal;11-pontuação areolada; 12-pontuação simples (BODIG; JAYNE, 1982). 26

Figura 2.3- Microestrutura do lenho de uma dicotiledônea (Angiosperma) nos três planos de corte: 1-seção transversal; 2-seção radial; 3-seção tangencial; 4-anel de crescimento anual; 5-madeira de primavera-verão; 6-madeira de outono-inverno; 7-raio lenhoso; 8-vaso; 9-canal resinífero axial (BODIG; JAYNE, 1982). 27

Figura 2.4- Parede celular (KLOCK *et al.*, 2005). 28

Figura 2.5- Estrutura de uma fibra vegetal. A imagem de MEV se refere à fibra de Eucalipto. 30

Figura 2.6- Composição química básica da madeira (Adaptado de KLOCK *et al*.,2005). 33

Figura 2.7- Estrutura básica da celulose. (Adaptado de SOLOMOS, 2009). 34

Figura 2.8- Ligações de Hidrogênio nas moléculas de celulose (Adaptado de SANTOS *et al*., 2012). 35

Figura 2.9- Regiões cristalinas e amorfas na celulose. (Adaptado de FARINAS, 2011). 36

Figura 2.10- Principais monossacarídeos que formam as hemiceluloses (Adaptado de ROWELL *et al*., 2005). 37

Figura 2.11- Precursores primários da lignina. (Adaptado de ROWELL *et al*., 2005). 39

Figura 2.12- Principais unidades básicas que constituem a lignina das folhosas (PILÓ-VELOSO; NASCIMENTO; MORAIS, 1993 e D'ALMEIDA; 1988). 40

Figura 2.13- Principais unidades básicas que constituem a lignina da espécie *Eucalyptus grandis* (PILÓ-VELOSO; NASCIMENTO; MORAIS, 1993). 41

Figura 2.14- Composição do caule em seção transversal (CHIMELO, 1986). 45

Figura 2.15- Fórmulas químicas: a) Acetato de vinila; b) Poliacetato de vinila PVAc. (Adaptado de KIM; KIM, 2006). 54

Figura 2.16- Formas de interação entre o adesivo e a madeira. (Adaptado de FRIHART, 2005). 59

Figura 2.17- Esquema do ângulo de contato formado pelo líquido sobre a superfície da madeira. (Adaptado de JENNINGS, 2003). 59
Figura 2.18- Variáveis do processo de penetração do adesivo. (Adaptado de FRIHART, 2005a). 61
Figura 2.19- Fenômenos de adesão e coesão em um processo de colagem. (Adaptado do blogadesivoindustrial.com.br). 62
Figura 2. 20 - Elos de conexção entre adesivo e madeira. Elo de cadeia analogia para a adesão em madeira. (Adaptado de IWAKIRI, 2005 e CAO, 2010). 64
Figura 2.21- Exemplos de alguns tipos ligações: a) dispersão de London, b) dipolo permanente, c) ligação de hidrogênio, d) ligação iônica. (FRIHART ,2005 a). 68
Figura 2.22 - Geometria do fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88). 74
Figura 2.23- Percurso de corte (L_c), percurso de avanço (L_f) e percurso efetivo (L_e) no fresamento discordante. (Norma ABNT 6162/88). 74
Figura 2.24- Avanço por dente (f_z), avanço de corte (f_c) e avanço efetivo (f_e) no fresamento discordante. (Norma ABNT 6162/88). 75
Figura 2.25- Ilustração do processo de fresamento periférico discordante. (KOCH, 1964). ... 76
Figura 3.1- a) Detalhe das pilhas de madeira serrada após recebimento, b) Vista geral do equipamento: módulo de secagem por ventilação forçada, c) Detalhe das pilhas de madeira serrada sendo introduzidas no secador (ALVES, 2012). 77
Figura 3.2- Serra circular multilâminas, empregada para geração de peças na forma de sarrafos (ALVES, 2012). 78
Figura 3.3- Ilustração do aplainamento de uma peça de eucalipto saligna. 81
Figura 3.4- Peças de madeiras eucalipto saligna sendo usinadas 82
Figura 3.5- Serra circular esquadrejadeira - a) corte longitudinal e b) corte transversal. 82
Figura 3.6- Serra destopadeira. 83
Figura 3.7- Plaina Moldureira Plus Advance – 5/6E. 83
Figura 3.8- a) Prensa hidráulica e b) prensagem dos sarrafos a frio 84
Figura 3.9- Aferimento da velocidade de avanço. 84
Figura 3.10- Detalhe de medição da umidade em peça de madeira de *Eucalyptus saligna* após secagem. 85
Figura 3.11- a) Balança semi analítica b) detalhe da pesagem do adesivo. 85
Figura 3.12- a) Paquímetro e b) medidas das dimensões do sarrafo. 86
Figura 3.13- Viscosímetro (Copo Ford). 86
Figura 3.14- Equipamentos utilizados na imagem da linha de cola. 87

Figura 3.15- Termômetro utilizado para determinar a temperatura dos adesivos. 87
Figura 3.16- Estufa usada para elevar a temperatura dos adesivos. 88
Figura 3.17- Máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais a) EMIC e b) Ensaio de cisalhamento na linha de cola. 88
Figura 3.18- Dimensões em centímetros, do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras (Fonte: NBR 7190 – 1997). 89
Figura 3.19- Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm (Fonte: NBR 7190). 90
Figura 3.20- Fresadora utilizada na geração das superfícies de colagem das peças. 91
Figura 3.21- Peças com indicação de anomalias. 92
Figura 3.22- Ilustração das dimensões das peças de eucalipto colada. 94
Figura 3.23- Etapas da colagem e a prensagem das peças: a) e b) etapas da colagem, c) peças sendo preparadas para serem prensadas. 94
Figura 3.24- Peças retiradas da prensa. 94
Figura 3.25- Corpos de prova conforme a NBR 7190.....95
Figura 3.26- Esquema da mensuração da espessura da linha de cola. LP: linha de cola principal; LE: linha de cola estendida; 1: vaso preenchido com adesivo; 2: raios preenchidos com adesivo. (Adaptado de ALBINO, 2009 e BIANCHE, 2014). 97
Figura 3.27- Linha de cola ampliada 25 vezes V1C3 cp 7 (Fonte Autor).....98
Figura 3.28- Linha de cola ampliada 60 vezes V1C3 cp 7(Fonte Autor).....98
Figura 3.29- Ensaio e ruptura dos corpos de prova: a) Ensaio de cisalhamento na linha de cola e b) Ruptura dos corpos de prova na linha de cola. 99
Figura 4.1- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f"....102
Figura 4.2- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc. 105
Figura 4.3- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f". ..107
Figura 4.4- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc. 108
Figura 4.5- Apresentação dos resultados obtidos por Alves com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc. 109
Figura 4.6- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f"....112
Figura 4.7- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f"....114
Figura 4.8- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função das velocidades de avanço "V_f".116

Figura 4.9- Resistência ao cisalhamento “f_{v0}” em função do adesivo Madeiranit (C1) com diferentes velocidades de avanço. 117
Figura 4.10- Resistência ao cisalhamento “f_{v0}” em função do adesivo Cascola Cascorez Extra (C2) com diferentes velocidades de avanço. 118
Figura 4.11- Resistência ao cisalhamento “f_{v0}” em função do adesivo Cascola Cascorez Cola Taco (C3) com diferentes velocidades de avanço. 119
Figura 4.12- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com o resultado deste trabalho. 120
Figura 4.13- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com o resultado deste trabalho. 121
Figura 4.14- Resistência ao cisalhamento “f_{v0}” em função do adesivo Eucafloor (C4) com diferentes velocidades de avanço. 122
Figura 4.15- Resistência ao cisalhamento “f_{v0}” em função dos adesivos com diferentes velocidades de avanço. 123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Valores de densidade aparente, densidade básica, resistência ao cisalhamento e resistência a tração normal, a 12 % de umidade. (Adaptado de Nogueira, 2002).....22

Tabela 2.2- Propriedades mecânicas do *Eucalyptus saligna.* (Adaptado do IPT, 1989).....25

Tabela 2.3- Proporção de elementos celulares que compõem a madeira (KOLLMANN, 1959). 28

Tabela 2.4- Dimensões limites das células que compõem o lenho (KOLLMANN, 1959).....28

Tabela 2.5 - Componentes químicos da parede celular. (BURGER; RICHTER, 1991),.....31

Tabela 2.6- Componentes químicos da parede celular completa. (BURGER; RICHTER, 1991).....32

Tabela 2.7- Composição média de madeiras de coníferas e folhosas (Adaptado de Kollmann; Côté, 1984). 33

Tabela 2.8- Diferenças entre celulose e hemiceluloses. (Adaptado de D'ALMEIDA, 1988). 38

Tabela 2.9- Quantidade relativa das hemiceluloses (Adaptado de D' ALMEIDA, 1988).....38

Tabela 2.10- Classificação dos adesivos. (Adaptado de KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 2005).....50

Tabela 2.11- Classes de durabilidade e suas condições para aplicação segundo Norma Europeia EN 204. (Adaptada da EN 204:2001). 56

Tabela 2.12- Requisitos para a classificação dos adesivos segundo a Norma Europeia - EN204. (Adaptada da EN 204:2001).....57

Tabela 2.13- Tipos de l igações químicas e suas energias (Adaptado de PIZZI, 1984; PETRIE, 1999; MANO; MENDES, 2004).....68

Tabela 3.1- Características dos adesivos segundo os fabricantes. (Adaptada).....79

Tabela 3.2- Valores médios do tempo de escoamento, densidade e viscosidade. (25ºC) 80

Tabela 3.3- Velocidades de avanço, tipos de adesivos e a quantidade de corpos de provas usados. 96

Tabela 4.1- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$ e adesivo Madeiranit C1 (V1C1).....101

Tabela 4.2- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$ e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V1C2).....101

Tabela 4.3- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V1C3). 101
Tabela 4.4- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V1C4). 102
Tabela 4.5 - Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI). 104
Tabela 4.6- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V2C1). 105
Tabela 4.7- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V2C2). 106
Tabela 4.8- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V2C3). 106
Tabela 4.9- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V2C4). 106
Tabela 4.10- Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011). 108
Tabela 4.11- Valores médios da resistência ao cisalhamento para superfícies lixadas com diferentes granulometrias das lixas (Adaptado de ALVES, 2012). 109
Tabela 4.12- Valores médios de "f_{v0}" (MPa) para superfícies lixadas. (Adaptado de SILVA, 2013). 110
Tabela 4.13- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V3C1). 110
Tabela 4.14- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V3C2). 111
Tabela 4.15- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V3C3). 111
Tabela 4.16- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V3C4). 111
Tabela 4.17- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V4C1). 113

Tabela 4.18- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C2 (V4C2). 113
Tabela 4.19- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C4 (V4C3). 113
Tabela 4.20- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V4C4). 114
Tabela 4.21- Comparações entre as velocidades de avanço em $f_{v0,\ \max}$ (N) e em f_{v0} (MPa) e os diferentes adesivos. 115
Tabela 4.22- Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011). 120
Tabela 4.23- Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011). 121

Sumário

1. INTRODUÇÃO **19**

1.1 Objetivo 21

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **22**

2.1 A Madeira de Eucalipto e a Espécie *Eucalyptus saligna* 22

2.2 Anatomia da Madeira 25

2.3 Química da Madeira 32

2.4 Fatores que Influenciam na Colagem de Madeiras 42

2.4.1 Propriedades anatômicas 42

2.4.2 Propriedades mecânicas 48

2.4.3 Propriedades químicas (extrativos e pH) 49

2.5 Adesivos para Madeira 49

2.6 Características Físicas dos Adesivos na Colagem de Madeira 58

2.6.1 Molhabilidade 58

2.6.2 Viscosidade 60

2.6.3 Adesão 61

2.7 Ligações Químicas e Forças Intermoleculares 69

2.7.1 Definições 69

2.7.2 Interações das ligações químicas com a madeira 70

2.8 O Processo de Fresamento na Usinagem da Madeira 72

3. MATERIAIS E METODOLOGIA **77**

3.1 Materiais 77

3.1.1 Madeira utilizada na experimentação 77

3.1.2 Adesivos à base de PVAc 79

3.1.3 Máquinas, equipamentos e instrumentos 81

3.2 Metodologia dos Ensaios 89

3.2.1 Ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola 89

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 100

5. CONCLUSÕES 124

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 127

APÊNDICE A - *Eucalyptus saligna* – Testes de Cisalhamento 134

APÊNDICE B - *Eucalyptus saligna* - Dados estatísticos 150

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma vasta área de florestas nativas e de reflorestamento. O setor florestal possui grande importância econômica no país, destacando-se pela produção e exportação de produtos de maior valor agregado a partir da madeira de reflorestamento. Dentre as espécies de reflorestamento destacam-se o pinus e o eucalipto como sendo as mais plantadas principalmente pelo fato de possuírem um crescimento mais rápido, adquirido muitas vezes com o melhoramento genético.

Apesar do reflorestamento, com o passar dos anos percebeu-se a necessidade cada vez maior na racionalização do processo de usinagem da madeira, principalmente através do desenvolvimento de novas tecnologias, que além de diminuírem a geração de resíduos com a melhor utilização dos recursos florestais, também melhoram algumas de suas características.

Mais que 70% dos produtos derivados da madeira consomem algum tipo de adesivo, em razão da crescente substituição da madeira por seus derivados, gerando o crescimento no consumo de adesivos sintéticos. Os adesivos PVAc (cola branca) atualmente são mais usados pelos diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira para aplicações de uso interior.

Visando obter uma melhor aderência do adesivo na madeira é necessário que a mesma sofra processos de usinagem (aplainamento, fresamento, lixamento) para que sua superfície se torne mais favorável na aplicação dos adesivos.

A usinagem está presente na fabricação de diversos produtos que são industrializados principalmente no setor madeireiro, sendo que dentro do seu processo, em algum momento ou etapa de produção a madeira será usinada. A compreensão dos conceitos desses processos e as suas variáveis tornam-se imprescindíveis para uma melhor visão de mercado e qualidade dos produtos dentro do âmbito industrial.

Todas as superfícies das peças em madeira devem ser lisas, aplainadas e sem marcas de usinagem ou outras irregularidades, incluindo ondulações da operação de aplainamento, partes esmagadas, farpas e fibras soltas. Portanto, as condições físicas e químicas das superfícies são extremamente importantes para um resultado satisfatório, pois a colagem por adesivos consiste na união de superfícies.

Dentre as várias espécies do genero *Eucalyptus*, o *Eucalyptus saligna* é considerado uma das espécies mais versáteis, sendo indicado para múltiplos usos, ela é considerada de

fácil trabalhabilidade em operações de usinagem e considerada de boa estabilidade dimensional.

A seguir apresento algumas razões que levam ao uso desta madeira no presente trabalho.

Um dos principais problemas que ocorrem com o eucalipto ao ser utilizado como madeira serrada, é que durante a sua fase de crescimento o mesmo acumula tensões que são liberadas no processo de usinagem, resultando em má qualidade das peças. Somado a este efeito, ele possui uma considerável instabilidade dimensional quanto à retração e ao inchamento. Assim, é necessário o uso de técnicas adequadas na produção de peças serradas desse material.

Considerando-se as múltiplas possibilidades de uso da madeira de eucalipto, na forma de painéis laminados, composto por ripas ou sarrafos colados, podemos afirmar:

O uso da madeira serrada de eucalipto é destaque em serrarias. Outra forma no desenvolvimento de produtos industriais, considerando os rejeitos e a racionalização, construídos com peças de menores dimensões como os sarrafos na produção de painéis sarrafeados, possibilita a diminuição do desperdício.

A tecnologia para fabricação de painéis sarrafeados, apesar de bastante difundida, ainda não se aplica a madeira de eucalipto e, este material é praticamente inexistente no mercado brasileiro, fato que não justifica a inviabilidade de sua aplicação. Para tanto, pesquisas devem ser desenvolvidas, a fim de que sejam respondidas muitas questões técnicas e científicas.

Em relação ao adesivo, o poliacetato de vinila (PVAc) possui algumas características relevantes em seu uso, é um adesivo a base de água, de aplicação simples, tem baixa toxicidade, apresenta baixo custo se comparados a outras resinas comerciais, sob condições adequadas secam rápido, são de fácil limpeza, possuem boa estabilidade à estocagem e possui baixa inflamabilidade.

1.1 Objetivo

O presente trabalho teve como objetivo, verificar a resistência de juntas da madeira *Eucalyptus saligna* coladas com adesivos de poliacetato de vinila (PVAc) em função da qualidade das superfícies usinadas para diferentes velocidades de avanço em operações de fresamento cilíndrico tangencial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Madeira de Eucalipto e a Espécie *Eucalyptus saligna*

Nogueira (2002) desenvolveu um trabalho detalhado sobre as características e propriedades físico-mecânicas de 16 espécies de eucalipto. Como ilustração da importância deste trabalho, selecionou-se alguns dados, desta caracterização, os quais são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1- Valores de densidade aparente, densidade básica, resistência ao cisalhamento e resistência a tração normal, a 12 % de umidade. (Adaptado de Nogueira, 2002).

Espécies	Densidade Aparente ($g.cm^{-3}$)	Densidade Básica ($g.cm^{-3}$)	Resistência ao Cisalhamento (daN/cm^2)	Resistência à Tração Normal (daN/cm^2)
Microcorys	0,93	0,75	170	46
Maculata	0,95	0,73	177	47
Propínqua	0,96	0,74	164	44
Paniculata	1,09	0,83	205	45
Citriodora	1,00	0,78	180	39
Grandis	0,63	0,50	116	30
Umbra	0,89	0,70	156	30
Punctata	0,95	0,75	215	60
Tereticornis	0,90	0,69	162	46
Urophylla	0,74	0,57	139	42
Camaldulensis	0,90	0,71	153	46
Triantha	0,76	0,60	153	27
Maideni	0,92	0,74	172	48
Saligna	0,73	0,58	135	41
Cloesiana	0,92	0,64	175	40
Alba	0,71	0,56	159	39

O gênero Eucalipto pertence à família Mirtaceae e tem em torno de 600 espécies e grande número de variedades e híbridos (LIMA, 1996).

Segundo Vital, Maciel e Della Lucia, (2005) relatam que nos últimos anos, as madeiras de reflorestamento, particularmente as do gênero *Eucalyptus*, têm despertado grande interesse na construção civil e pelo potencial que apresentam como fonte de matéria-prima para a fabricação de móveis, levando a motivação de vários trabalhos de pesquisa, visando a uma melhor caracterização de suas propriedades. Os mesmos autores afirmam que das diversas propriedades do eucalipto devem ser avaliadas, uma das mais importantes é a capacidade de adesão dessas madeiras. Mencionam que existem estudos realizados sobre o comportamento das juntas coladas de muitas espécies de madeira, incluindo algumas do gênero *Eucalyptus.* Comentam ainda que algumas espécies de eucaliptos apresentam boa adesão (colam bem), outras produzem juntas consideradas insatisfatórias.

Segundo Valverde (2007) o cultivo do eucalipto em escala econômica no Brasil deu-se a partir de 1904.

Para Leite *et al.* (2011), as espécies de *Eucalyptus* são de grande versatilidade, com possibilidade de utilização em diversos segmentos, como óleos essenciais, madeira tratada, carvão vegetal e lenha, madeira serrada, painéis a base de madeira, entre outros. Trabalhos realizados com a madeira de eucalipto no Instituto de Pesquisas Tecnológicas em São Paulo - SP, indicam que algumas espécies tem aplicações na construção civil.

De Conti (2011) e Silva (2013) comentam que em 2002, 79,4% dos reflorestamentos ocorrido no Estado de São Paulo correspondiam às áreas de plantio de eucalipto, sendo que a maior parte desse plantio era utilizada pelas indústrias de celulose.

***Eucalyptus saligna* (*Eucalyptus saligna* Sm., Myrtaceae)**

O Eucalipto saligna (*Eucalyptus saligna* Sm., Myrtaceae) é originário da Austrália, no Brasil, as regiões onde a espécie eucalipto saligna se desenvolve melhor estão localizadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo (GONZAGA, 1983).

Segundo o IPT (1989) no Brasil o eucalipto saligna é encontrado em vários estados dentre eles: Bahia, Góias, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo. O cerne se distingue do alburno pela cor, o cerne é avermelhado ou castanho-avermelhado-claro de cheiro e gosto imperceptíveis, tem densidade média, grã direita e textura média. O alburno é fácil de ser tratado, já o cerne é difícil de ser tratado, pois, o cerne é impermeável às soluções preservativas mesmo quando submetido à impregnação sob pressão.

É uma madeira considerada de fácil desdobrado (trabalhabilidade), de fácil usinagem (torneamento, furação e lixamento) e possui bom acabamento, sendo usado em vários setores da construção civil e mobiliário, e também no fábrico de lâminas com utilidade geral, chapas compensadas e embalagens, quando seca apresenta rachaduras e empenamentos (IPT,1989).

De acordo com IPT (1989) as propriedades físicas do *Eucalyptus saligna* são as seguintes: densidade aparente de ($\rho_{ap,\ 15}$): 690 kg.m^{-3} a 15% de umidade; contrações Radial de 6,8 %; Tangencial de 13,4 % e Volumétrica de 23,4 %.

A descrição anatômica macroscópica do eucalipto saligna segundo o IPT (1989) são as seguintes:

- *Parênquima axial*: indistinto mesmo sob lente; as vezes paratraqueal vasicêntrico formando confluências curtas e oblíquas.
- *Raios*: visíveis só sob lente no topo e na face tangencial.
- *Vasos*: visíveis só sob lente no topo e na face tangencial; porosidade difusa, disposição diagonal; numerosos, médios, exclusivamente solitários; obstruídos por tilos.
- *Camadas de crescimento*: variando de distintas a indistintas.

A Figura 2.1 apresenta as características anatômicas macroscópicas do *Eucalyptus saligna*.

a b c

Figura 2. 1- Características de *Eucalyptus saligna*. a – face tangencial. b – face radial. c – fotomacrografia (10x) (IPT,1989).

A Tabela 2.2 apresenta as principais propriedades mecânicas da madeira verde do *Eucalyptus saligna*.

Segundo Nogueira (2002) o *Eucalyptus saligna* é uma espécie que origina árvores com altura variando de 20 a 50 metros, tronco reto, grosso e excelente fuste, casca fraca, clara na cor branco-acinzentada, a madeira é da cor castanho-rosada e semidura.

Tabela 2. 2- Propriedades mecânicas do *Eucalyptus saligna*. (Adaptado do IPT, 1989).

Flexão	-Resistência (f_M): Madeira verde: 77,4 MPa e a 15% de umidade: 101,6 MPa. - Limite de proporcionalidade: Madeira verde: 29,7 MPa. - Módulo de elasticidade: Madeira verde: 11876 MPa.
Compressão paralela às fibras	- Resistência (f_{c0}): Madeira verde: 32,1 MPa e a 15% de umidade: 49,2 MPa. - Coeficiente de influência de umidade: 4,6 %. - Limite de proporcionalidade: Madeira verde: 25,1 MPa. - Módulo de elasticidade: Madeira verde: 13288 MPa.
Outras propriedades	- Resistência ao impacto na flexão: Madeira a 15% (choque): Trabalho absorvido: 32,2; Coeficiente de resiliência R: 0,52. - Cisalhamento: Madeira verde: 9,2 MPa. - Dureza janka paralela: Madeira verde: 4531 N. - Tração normal às fibras: Madeira verde: 6,3 MPa.

Segundo Arango Alzate (2004) o eucalipto saligna é uma das espécies mais versáteis sendo indicada para usos múltiplos, sua madeira é considerada medianamente leve, fácil de trabalhar em operações de usinagem, considerada de boa estabilidade dimensional e de elevada permeabilidade.

2.2 Anatomia da Madeira

Segundo Burger e Richter (1991) e Gonçalves (2000), a anatomia da madeira é o estudo dos diversos tipos de células que compõem o lenho, suas funções, organização e peculiaridades estruturais. A anatomia descreve e relaciona os diversos tecidos da madeira, suas funções e suas composições celulares, são de interesse da anatomia da madeira, as coníferas (*softwood*), e as dicotiledôneas (*hardwood*) as quais possuem estruturas anatômicas de suas madeiras completamente distintas, como descrito a seguir.

Coníferas

A estrutura microscópica das coníferas segundo Bodig e Jayne (1982) é bem mais simples que a das folhosas (dicotiledônias), sendo composta basicamente por: traqueídeos,

raios medulares, canais resiníferos, células de parênquima e pontuações areoladas. Sendo representada esquematicamente pela Figura 2.2.

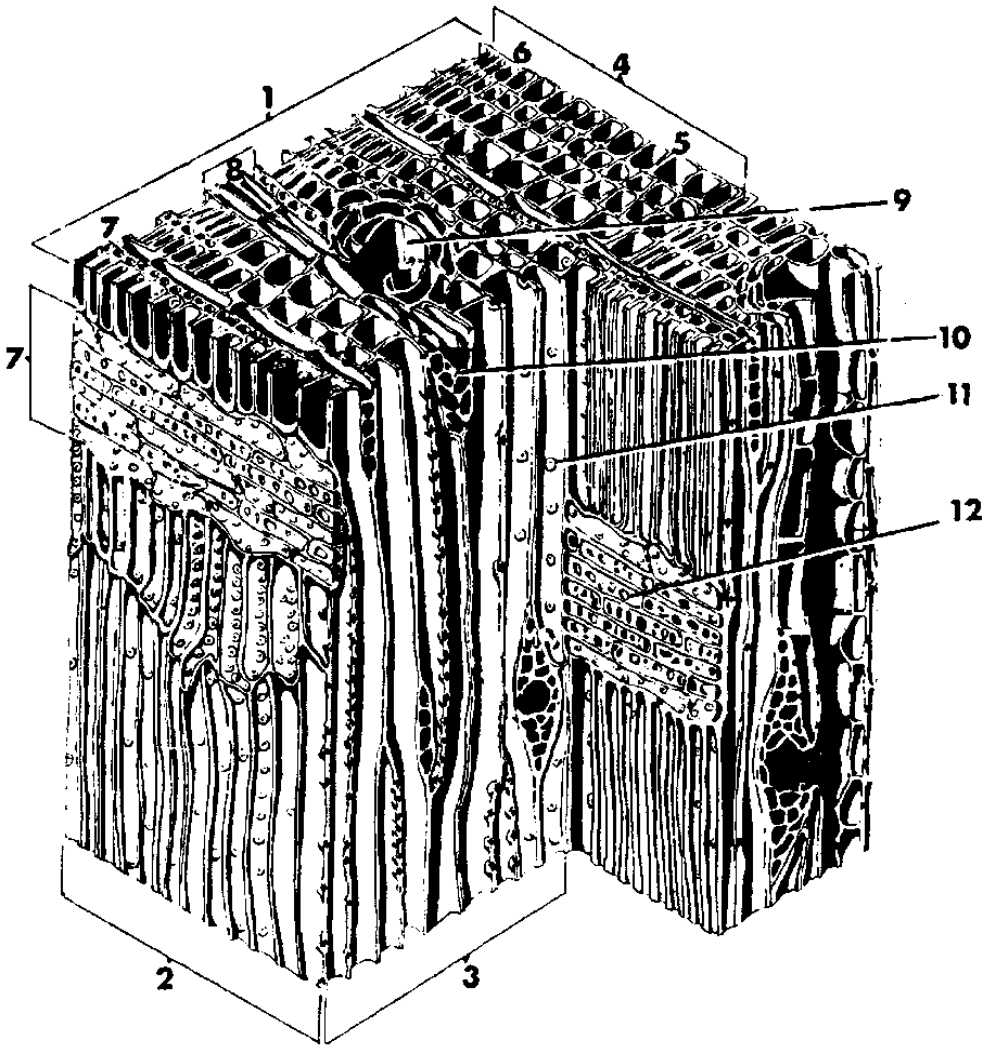


Figura 2. 2- Microestrutura do lenho de uma conífera (Gimnosperma) nos três planos de corte: 1-seção transversal; 2-seção radial; 3-seção tangencial; 4-anel de crescimento anual; 5-madeira de primavera-verão; 6-madeira de outono-inverno; 7-raio lenhoso; 8-raio fusiforme; 9-canal resinífero axial; 10-canal resinífero transversal;11-pontuação areolada; 12-pontuação simples (BODIG; JAYNE, 1982).

Dicotiledôneas

A estrutura microscópica do lenho das dicotiledôneas (folhosas) segundo Bodig e Jayne (1982) é constituída principalmente por fibras, vasos e raios medulares, além de células de parênquima, conforme ilustra a Figura 2.3.

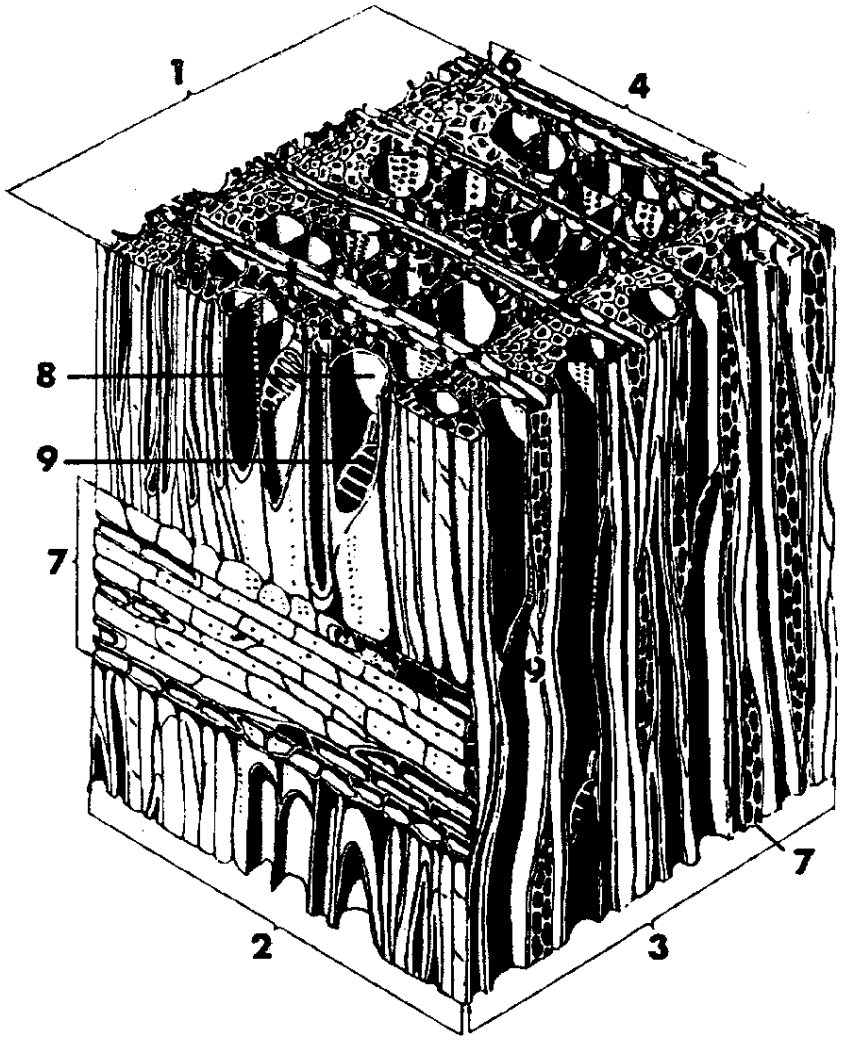


Figura 2. 3- Microestrutura do lenho de uma dicotiledônea (Angiosperma) nos três planos de corte: 1-seção transversal; 2-seção radial; 3-seção tangencial; 4-anel de crescimento anual; 5-madeira de primavera-verão; 6-madeira de outono-inverno; 7-raio lenhoso; 8-vaso; 9-canal resinífero axial (BODIG; JAYNE, 1982).

Elementos Celulares

A Tabela 2.3 apresenta a proporção de elementos celulares que compõem as coníferas e as folhosas.

A maioria das células de madeira apresenta a parede celular e o lúmen celular. O lúmen é o espaço vazio no interior da célula (WIEDENHOEFT ; MILLER 2005; WIEDENHOEFT 2010). A Figura 2.4 ilustra as paredes celulares da madeira.

Tabela 2. 3- Proporção de elementos celulares que compõem a madeira (KOLLMANN, 1959).

	Coníferas			Folhosas		
	Proporção Volumétrica (%)					
Tipos de Tecidos	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior
Vasos	---	---	---	2	15	65
Traqueídeos	87	93	96	---	---	---
Fibras	---	---	---	13	55	80
Parênquima	---	1	2	2	12	75
Raios medulares	4	7	12	1,2	15	50
Canais resiníferos	---	0,4	1,1	---	---	---

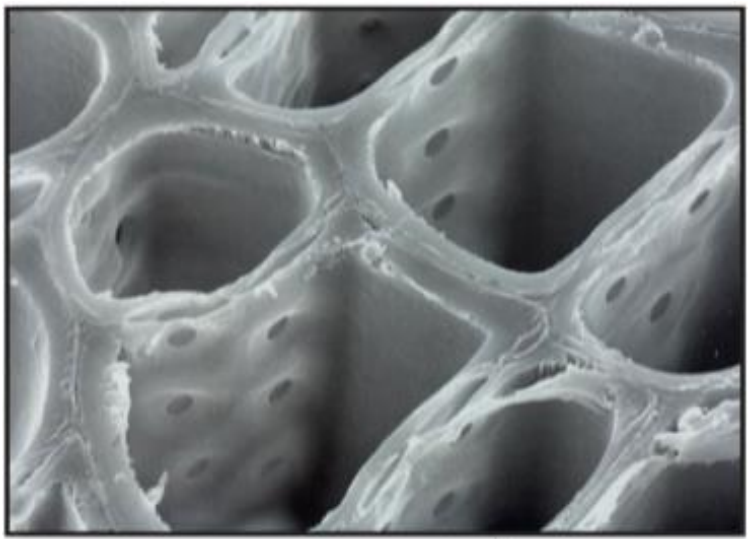


Figura 2. 4- Parede celular (KLOCK *et al.*, 2005).

Os valores limites dimensionais das células do lenho são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2. 4- Dimensões limites das células que compõem o lenho (KOLLMANN, 1959).

Classes de células	Diâmetro do lúmen (μ)	Espessura da parede (μ)	Comprimento (mm)
Vasos	10 - 500	1,6 – 20	0,1 - 2
Traqueídeos	4 - 80	2 – 12	0,7 - 11
Fibras	5 - 50	2 – 7	0,1 - 7
Parênquima	5 - 100	2 - 4,5	0,02 - 0,2

O principal componente da parede da célula vegetal é a celulose, constituída por cadeias de moléculas de glicose, ligadas entre si. Estas cadeias são agrupadas em feixes, formando as micelas das microfibrilas (D`ALMEIDA, 1988; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001). As micelas são agregadas em unidades maiores, as microfibrilas, que reúnem em torno de 2000 moléculas de celulose. As microfibrilas agregam-se em fibrilas mais grossas, as macrofibrilas (D`ALMEIDA, 1988).

Após a divisão celular, a primeira camada de separação que surge entre as novas células adjacentes é a lamela média, formada basicamente por pectinas, segundo Wiedenhoeft e Miller (2005) a lamela média possui a função de unir as células umas às outras, portanto é a camada mais externa da célula. Os mesmos autores comentam que da lamela média para o interior da célula depositam-se as primeiras camadas de microfibrilas celulose em diversas orientações ao longo do eixo, compondo a parede primária, etapa em que a célula cresce forçando a parede a se expandir e após o crescimento da célula ter cessado. Em seguida, deposita- se junto à parede primária microfibrilas de celulose, obedecendo às orientações que distingue três camadas distintas. Essas camadas, designadas S1, S2 e S3 na sequência cronológica de formação, constituindo a parede secundária (D`ALMEIDA, 1988; BURGER; RICHTER, 1991). Essa progressiva deposição de novas camadas segundo Burger e Richter (1991), engrossa a parede celular provocando a diminuição do diâmetro do lúmen. A parede secundária da célula perde a elasticidade. Nas camadas secundárias, as microfibrilas apresentam orientação quase paralela ao eixo principal da célula (S2) e quase perpendicular ao mesmo eixo (S1 e S3).

Paralelamente à formação da parede secundária, inicia-se do exterior para o interior o processo de lignificação sendo o último componente na parede, interpenetrando nas fibrilas e assim fortalecendo, enrijecendo as paredes celulares, ocorrendo de maneira intensa na lamela média e na parede primária, finalizando com a completa formação da parede celular (BURGER; RICHTER, 1991; KLOCK, *et al*., 2005), porém a lignificação raramente ocorre na camada S3 e há também, a camada verrugosa na célula.

A estrutura da parede primária é a mesma para quase todos os tipos de células e espécies, enquanto a parede secundária apresenta diferenças quanto ao tipo de célula e espécie (BURGER; RICHTER, 1991).

Os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular são celulose, hemicelulose e lignina (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; KLOCK *et. al*., 2005; WIEDENHOEFT, 2010).

A Figura 2.5 ilustra a estrutura da parede celular com as diversas camadas e orientação das microfibrilas de celulose.

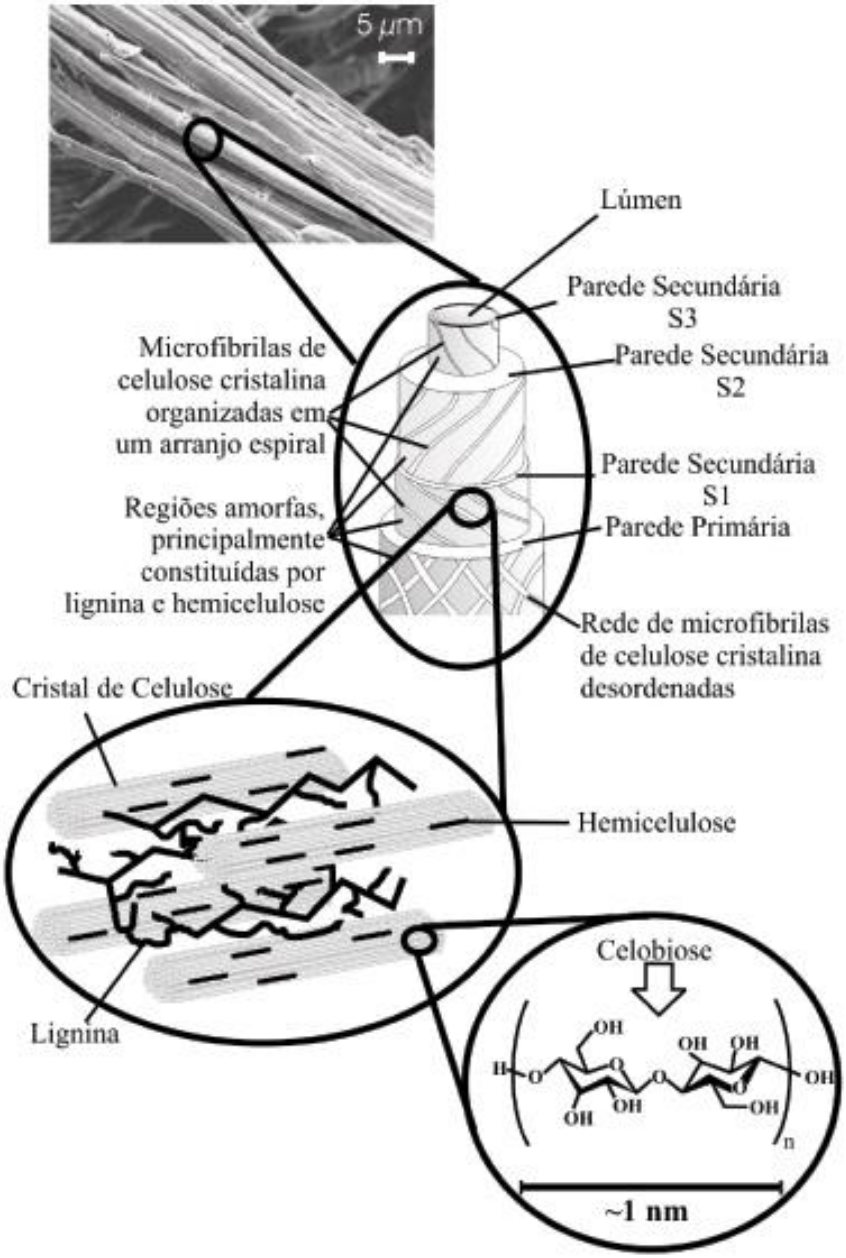


Figura 2. 5- Estrutura de uma fibra vegetal. A imagem de MEV se refere à fibra de Eucalipto. (SILVA *et al*., 2009).

Como supracitado a parede celular consiste em três regiões principais: a lamela média, a parede primária, e a parede secundária:

- *Lamela média* – une as células umas às outras contribuindo no suporte estrutural. É formada principalmente de pectinas e uma quantidade menor de proteínas (RAVEN;

EVERT; EICHHORN, 2001), entretanto pode ser lignificada (BURGER; RICHTER, 1991).

- *Parede primária* – caracteriza-se por uma orientação aleatória, em grande parte de microfibrilas de celulose, a parede é fina e geralmente indistinguível da lamela média.
- *Parede secundária* – é constituída de celulose, hemiceluloses e lignina, a maioria das paredes secundárias é menos hidratada do que a parede primária. A celulose e as hemiceluloses são estruturalmente mais organizadas na parede secundária do que na primária resultando em uma estrutura mais compacta e rígida. A parede celular secundária é composta de três camadas S1, S2 e S3 (WIEDENHOEFT; MILLER, 2005; WIEDENHOEFT, 2010), As camadas diferem entre si na orientação das microfibrilas de celulose (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

Camada S1 é uma camada fina, e é caracterizada por um grande ângulo de microfibrilas.

Camada S2 é a mais importante da parede celular, na determinação das propriedades da célula, é a camada mais espessa da parede celular o que faz com tenha uma maior contribuição para as propriedades globais da parede da célula. Em outras palavras, a camada S2 determina a espessura da parede celular. A espessura da parede secundária varia consideravelmente entre as espécies e entre as diferentes células. A camada S2 tem de 5 a 100 vezes a espessura das outras camadas (BURGER; RICHTER, 1991).

Camada S3 é uma camada de parede relativamente fina. O ângulo de microfibrilas esta camada é relativamente elevado e semelhante ao S1.

A Tabela 2.5 apresenta os componentes químicos da parede celular primária e secundária.

Tabela 2. 5 - Componentes químicos da parede celular. (BURGER; RICHTER, 1991),

Parede	Celulose	Lignina	Hemiceluloses	Pectinas	Proteínas
			(%)		
Primária	9-25		25-50	10-35	10
Secundária	40-80	5-36	10-40		

A Tabela 2.6 apresenta os componentes da parede celular completa.

Tabela 2. 6- Componentes químicos da parede celular completa. (BURGER; RICHTER, 1991).

Camadas		Celulose	Lignina	Hemiceluloses	Ângulo das microfibrilas
			(%)		(Graus)
Lamela média		0	100	0	
Parede primária		10	70	20	
	S1	25	35	45	50 - 70
Parede secundária	S2	50	20	30	10 - 30
	S3	45	20	35	60 - 90

2.3 Química da Madeira

Em termos químicos, a madeira é melhor definida como um composto de biopolímero tridimensional composto por uma rede interligada de celulose, hemicelulose (ou poliose), lignina e com quantidades menores de substâncias com baixo peso molecular, extrativos e minerais (ROWELL *et al.*, 2005).

O principal componente químico de uma árvore viva é a água, mas na madeira seca as paredes celulares da madeira são constituidas de polímeros à base de açúcar (hidratos de carbono, 65-75%) que são combinadas com a lignina (18-35%) (ROWELL *et al.*, 2005).

A celulose é o principal constituinte da madeira variando em média, de 40 - 45% da matéria seca em madeira na maioria das espécies (KOLLMAN, 1959).

A composição química elementar da madeira, não possui diferenças consideráveis entre as espécies de madeiras coníferas e folhosas. A madeira seca em geral tem uma composição elementar com cerca de 50% de Carbono (C), 6% de Hidrogênio (H), 43% de Oxigênio (O), e em pequenas quantidades variando 0,1-1% de Nitrogênio (N) e minerais (<1%) - Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros (KOLLMAN 1959; KLOCK *et al.*, 2005; ROWEEL *et al.*, 2005).

Segundo Kollmann e Côté (1984), Klock *et al.* (2005) a composição química da celulose nas coníferas e folhosas (dicotiledôneas) são relativamente uniforme nas madeiras, porém a lignina e a hemicelulose diferem-se.

A Tabela 2.7 apresenta a composição média de madeiras de coníferas e dicotiledôneas.

Tabela 2. 7- Composição média de madeiras de coníferas e folhosas (Adaptado de Kollmann; Côté, 1984).

Constituintes	Folhosas	Coníferas
Celulose	45 ± 2	42 ± 2
Hemicelulose (ou polioses)	30 ± 5	27 ± 2
Lignina	20 ± 4	28 ± 2
Extrativos	3 ± 2	5 ± 3

A Figura 2.6 apresenta um fluxograma sobre a composição química básica da madeira.

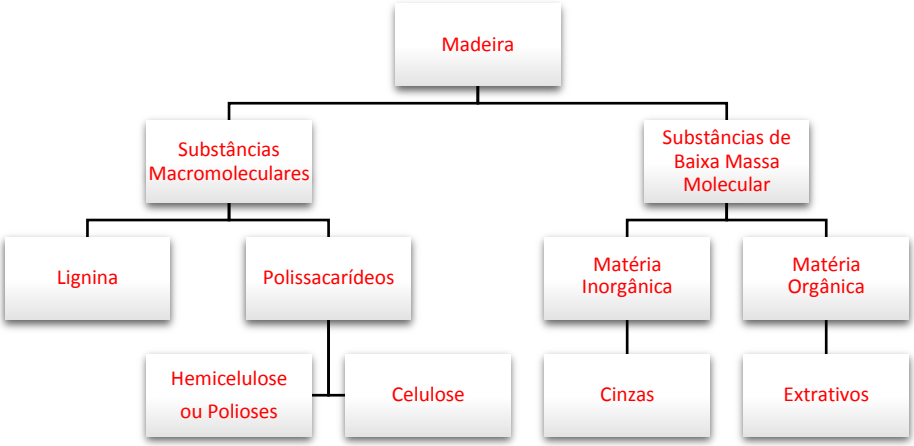


Figura 2. 6- Composição química básica da madeira (Adaptado de KLOCK *et al*.,2005).

Celulose

Em termos químicos, a celulose é um homopolissacarídeo formado por unidades de β–D-glicopiranose (D- glicopiranosídeos), que se ligam entre si por ligações glicosídicas β–(1→4), dando origem a um polímero linear (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; SOLOMOS, 2009). A cadeia de celulose é formada pela repetição do monômero, sendo a unidade a acelobiose. As moléculas de celulose formam longas cadeias denominadas de fibras elementares.

As cadeias das moléculas de celulose são lineares, quando duas moléculas de celulose fazem contato os grupos hidroxila ou oxidrilas (OH) estão situados de forma ideal para "unir" as cadeias através da formação das ligações ou pontes de hidrogênio e forças de Van der Walls (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; SOLOMOS, 2009).

Na Figura 2.7 é ilustrada a unidade estrutural da celulose.

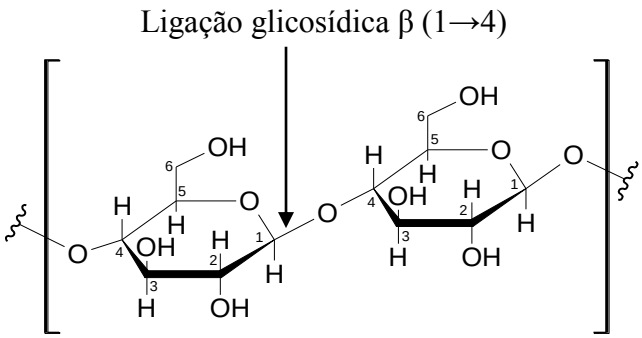


Figura 2. 7- Estrutura básica da celulose. (Adaptado de SOLOMOS, 2009).

A união de muitas cadeias de celulose dessa maneira fornece um polímero altamente insolúvel, fibroso, rígido, sendo o material que compõem a parede celular dos vegetais (SOLOMOS, 2009).

As ligações de hidrogênio de acordo com Rowell *et al.*, (2005) e Santos *et al*. (2012), ocorrem de duas maneiras dependendo da posição das unidades de glicose, as ligações intramoleculares e as intermoleculares.

As ligações intramoleculares ocorrem entre os grupos -OH de unidades de glicose da mesma molécula de celulose, já as intermoleculares ocorrem também ligações entre os grupos -OH de unidades de glicose de moléculas de celulose adjacentes (D`ALMEIDA, 1988; ROWELL *et al.* ,2005; SANTOS *et al*., 2012).

D`Almeida (1988), Solomos (2009) e Santos *et al*. (2012), relatam que as ligações intermoleculares são responsáveis pela formação da fibra vegetal, isto é, as moléculas de celulose se dispõem, produzindo as microfibrilas, as quais formam as fibrilas que se ordenam para formar as sucessivas paredes celulares da fibra. D`Almeida (1988) e Santos *et al*. (2012) descrevem que ligações intramoleculares são responsáveis pela resistência à celulose.

A Figura 2.8 ilustra as ligações intramoleculares e intermoleculares nas moléculas de celulose.

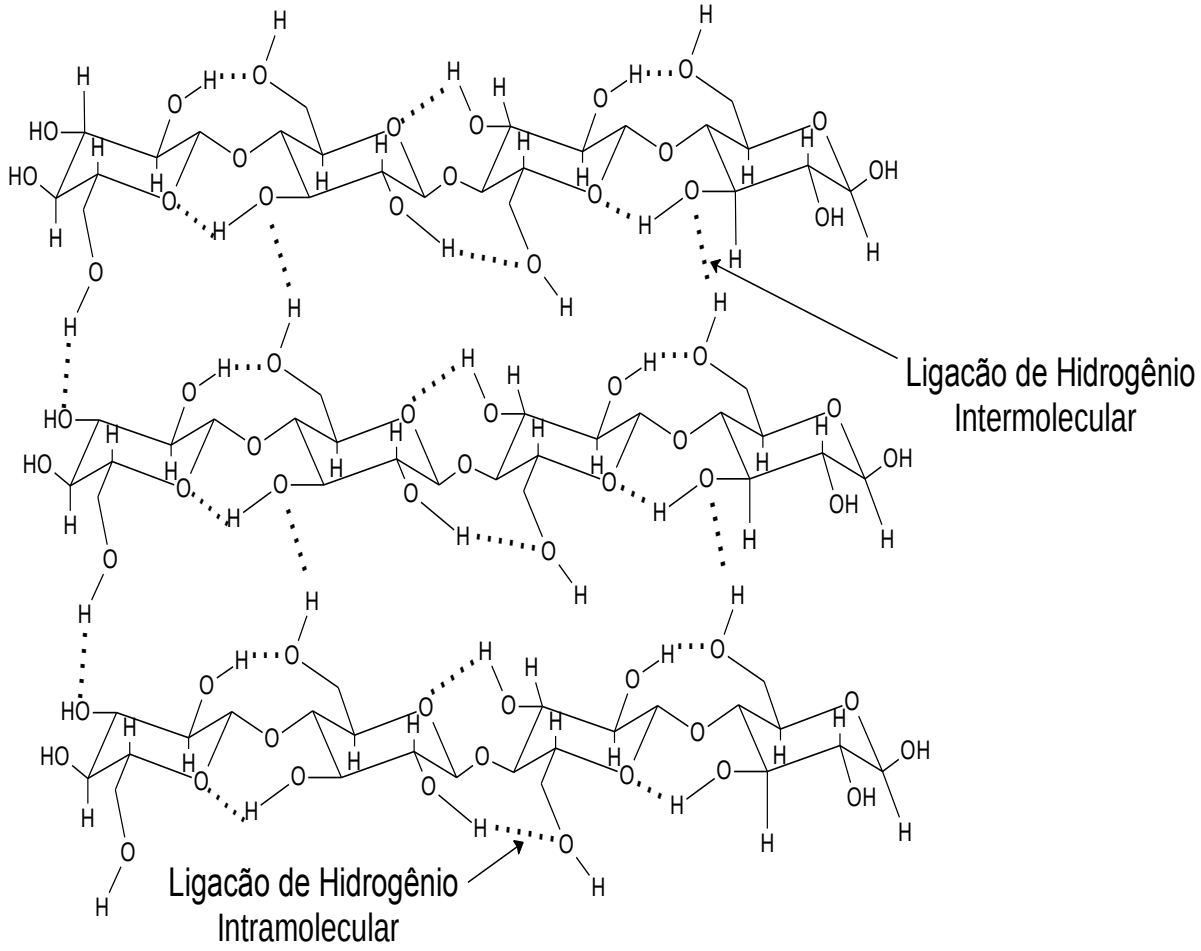


Figura 2. 8- Ligações de Hidrogênio nas moléculas de celulose (Adaptado de SANTOS *et al*., 2012).

Silva *et al.* (2009) e Santos *et al*. (2012) afirmam, as ligações de hidrogênio, é o principal fator que influencia as propriedades físicas da celulose, tais como solubilidade (a celulose é completamente insolúvel a água e a maioria dos solventes orgânicos), reatividade (altamente resistente à hidrólise ácida, alcalina ou enzimática) e cristalinidade (principal responsáveis pela formação das regiões cristalinas da celulose).

Kollmann e Côté (1984), Raven, Evert e Eichhorn (2001) afirmam que a celulose possui duas regiões a cristalina e a amorfa, as regiões cristalinas são devido ao arranjo ordenado de suas moléculas em certas partes, e regiões amorfas apresentam um arranjo desordenado (uma menor orientação) das cadeias de celulose. A Figura 2.9 ilustra as regiões cristalinas e amorfas na celulose.

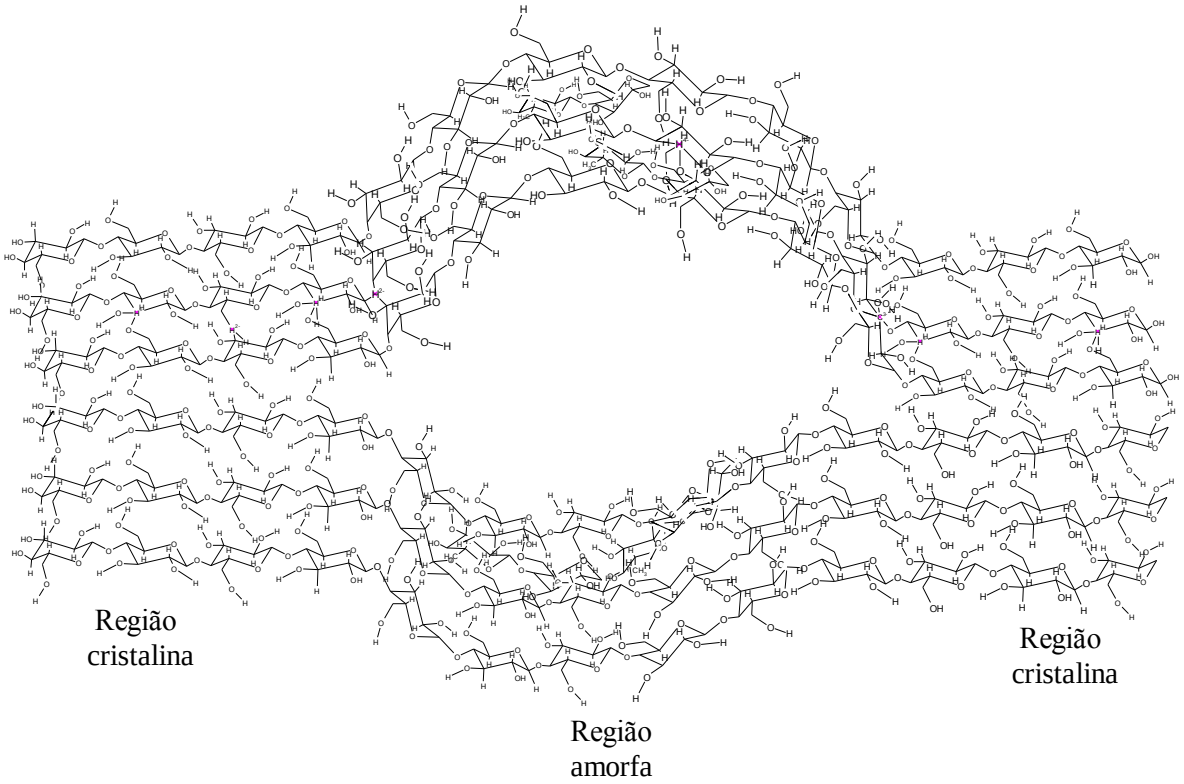


Figura 2. 9- Regiões cristalinas e amorfas na celulose. (Adaptado de FARINAS, 2011).

Na região cristalina, a fibra tem maior resistência à tração, ao alongamento, e a absorção de solvente, que na região amorfa, onde a fibra tem sua maior flexibilidade (D`ALMEIDA, 1988).

O grau de cristalinidade, da celulose segundo Silva *et al.* (2009) varia de acordo com sua origem e processamento, a celulose de árvores apresenta índice de cristalinidade ao redor de 40% enquanto celulose de algodão apresenta cristalinidade de aproximadamente 70%.

Além da ligação entre as celuloses, as oxidrilas (OH) podem também unir-se às moléculas de água, pelas mesmas pontes de hidrogênio, cada unidade de celulose tem três oxidrilas (OH), em tese, pode ligar-se a três moléculas de água, por pontes de hidrogênio (GONZAGA, 2006).

Hemicelulose

O termo hemicelulose é utilizado coletivamente para denominar grupos distintos de polissacarídeos constituídos por açúcares pentoses como β-D-xilose, α-L-arabionose, e/ou hexoses como β-D-manose, β-D-glicose e β -D-galactose, ácidos urônicos (ácido β-D-glucurônico, ácido α-D-4-O-metilglucurônico, ácido α-D-galacturônico) e grupos acetila (α-L-Ramnose e α-L-Fucose) (RAMOS, 2003; ROWELL *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2009).

A Figura 2.10 ilustra os principais monossacarídeos que formam as hemiceluloses.

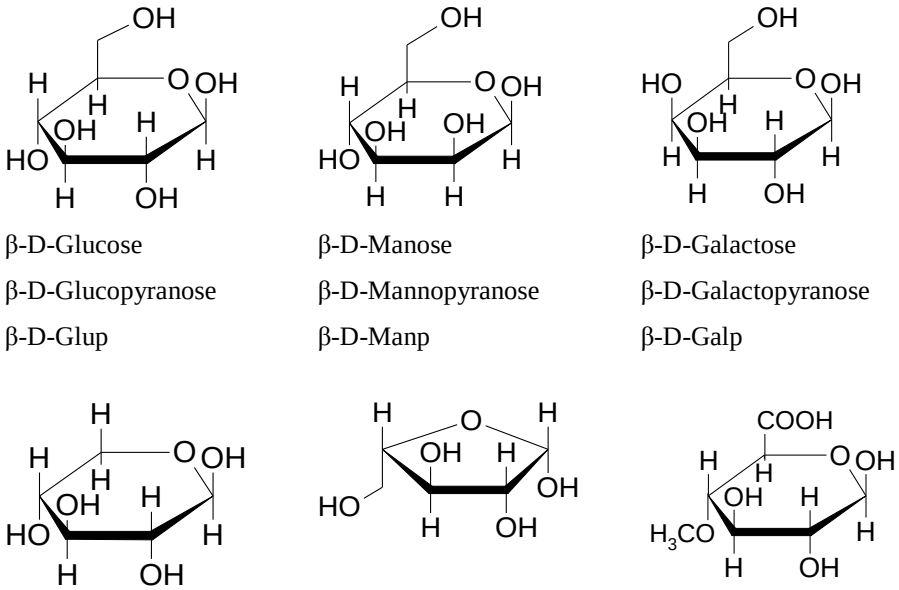


Figura 2. 10- Principais monossacarídeos que formam as hemiceluloses (Adaptado de ROWELL *et al*., 2005).

A unidade mais abundante na hemicelulose, em vegetais lenhosos, é a xilose, em geral, as madeiras de folhosas são compostas principalmente por heteroxilanas altamente acetiladas e as madeiras de coníferas apresentam uma elevada proporção de glucomananas e galactoglucomananas parcialmente acetiladas (RAMOS, 2003; SILVA *et al*., 2009).

Segundo Burger e Richter (1991) as hemiceluloses são grupo de polissacarídeos ramificados, amorfos, muito hidrofílicos, altamente hidratados e formam géis. São abundantes na parede primária.

As hemiceluloses realizam ligações por pontes de hidrogênio com a celulose (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001), e através de pontes de éster e éter com a lignina segundo Burger e Richter (1991). As hemiceluloses variam muito nos diferentes tipos de células e entre os diferentes grupos de plantas (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

As hemiceluloses são mais reativas que a celulose, portanto a maioria dos agentes químicos atinge muito mais facilmente as hemiceluloses do que a celulose, que possui regiões cristalinas (D`ALMEIDA, 1988).

As principais características que diferem a celulose das hemiceluloses estão apresentadas na Tabela 2.8.

Tabela 2. 8– Diferenças entre celulose e hemiceluloses. (Adaptado de D'ALMEIDA, 1988).

Celulose	Hemicelulose (polioses)
I) consiste em unidades de glicose ligadas entre si	I) consiste em várias unidades de açúcar ligadas entre si
II) tem grau de polimerização elevado	II) tem grau de polimerização baixo
III) possui regiões amorfas e cristalinas	III) são amorfas
IV) estrutura não-ramificada	IV) estrutura ramificada

As hemiceluloses constituem de 20 - 30% da composição total da madeira (D`ALMEIDA, 1988). As coníferas e folhosas conforme supracitados diferem - se nas porcentagens de hemiceluloses totais e individuais, e também na composição de tais hemiceluloses, as folhosas, de maneira geral, contêm maior teor de polioses que as coníferas, e sua composição é diferenciada (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; KLOCK *et al.*, 2005).

A Tabela 2.9 relaciona a quantidade relativa das macromoléculas presentes em coníferas e folhosas (D`ALMEIDA, 1988).

Tabela 2. 9- Quantidade relativa das hemiceluloses (Adaptado de D' ALMEIDA, 1988).

Hemiceluloses	Folhosas%	Coníferas %
glucouranoxilana	20 a 35	Traços
arabinoglucouranoxilana	Traços	10-14
Glucomanana	2-5	12-20
galactoglucomanana	2-5	12-20
arabinogalactana	1-2	~2

Lignina

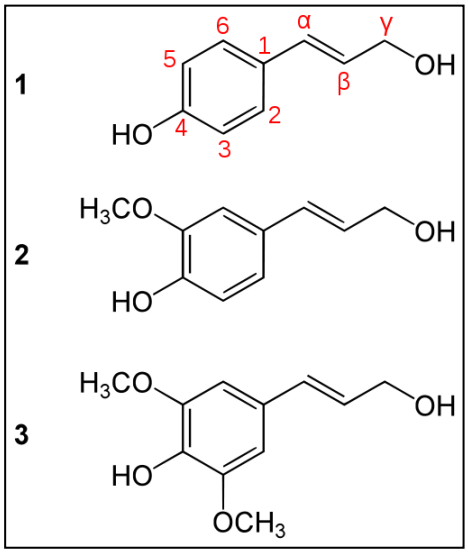
A lignina está associada com a celulose e a hemicelulose na composição de materiais lignocelulósicos, é um material hidrofóbico com estrutura tridimensional, altamente ramificada, podendo ser classificada como um polifenol, o qual é constituído por um arranjo irregular de várias unidades de fenilpropano que pode conter grupos hidroxila e metoxila como substituintes no grupo fenil (SILVA *et al.*, 2009).

A lignina é encontrada na parede celular, fornece resistência à compressão, rigidez a parede celular, tem a função de sustentação, é hidrofóbica (impermeabiliza as células

condutoras) e torna as paredes resistentes a degradação (BURGER; RICHTER, 1991; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001).

Segundo Silva *et al.* (2009), as ligações éteres dominam a união entre as unidades da lignina, que apresenta um grande número de interligações. A força de adesão entre as fibras de celulose e a lignina é ampliada pela existência de ligações covalentes entre as cadeias de lignina e os constituintes da celulose e da hemicelulose.

Há uma grande dificuldade na elucidação química da estrutura da lignina devido ao fato de não haver um método bem definido para isolar a lignina em sua forma nativa. A lignina, por sua vez, é uma macromolécula sintetizada por via radicalar a partir de três álcoois p-hidróxi-cinamílicos precursores: *p*-cumarílico, coniferílico e sinapílico (D`ALMEIDA, 1988; CARVALHO *et al.*, 2009). A Figura 2.11 ilustra os precursores primários da lignina.



Álcool cumárico (hidroxifenil)

Álcool coniferílico (guaiacil)

Álcool sinapílico (seringil)

Figura 2. 11- Precursores primários da lignina. (Adaptado de ROWELL *et al.*, 2005).

Os principais grupos funcionais encontrados nas ligninas são: metoxílicos ($-OCH_3$) – é o grupo funcional mais característico da lignina, os grupos hidroxilas (-OH) – de natureza fenólica ou alcoólica, grupos carbonila (-CHO), grupos carboxílicos ($-CO_2H$), grupos éter (R-O-R) – que podem ser aromáticos ou alifáticos, duplas ligações (-C=C-) e éster (R-COO-R) (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; D`ALMEIDA, 1988).

Segundo Carvalho *et al.* (2009) a formação da lignina é dada por ligações, as quais podem ocorrer nos átomos de carbono da cadeia lateral do propano, no núcleo aromático e na hidroxila fenólica. A ligação de principal ocorrência entre as unidades de fenilpropano é do

tipo β-O-4 (éter-arila) e α-O-4 (50-65%), e outras com menor contribuição β-1 (9-15%), β-5 (6-15%), 5-5 (2-9%) e β-β (2-5%).

Klock *et al.* (2005) citam que há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas representando de 20 a 30% da massa total do material lignocelulósico.

Segundo D'Almeida (1988) e Carvalho *et al.* (2009) as ligninas de madeiras de coníferas são compostas basicamente por unidades guaiacil, sendo denominadas de ligninas tipo G, as ligninas de madeiras de folhosas são mais ricas em unidades siringil, sendo denominadas de ligninas tipo GS.

A Figura 2.12 ilustra as principais unidades básicas que constituem a lignina das folhosas.

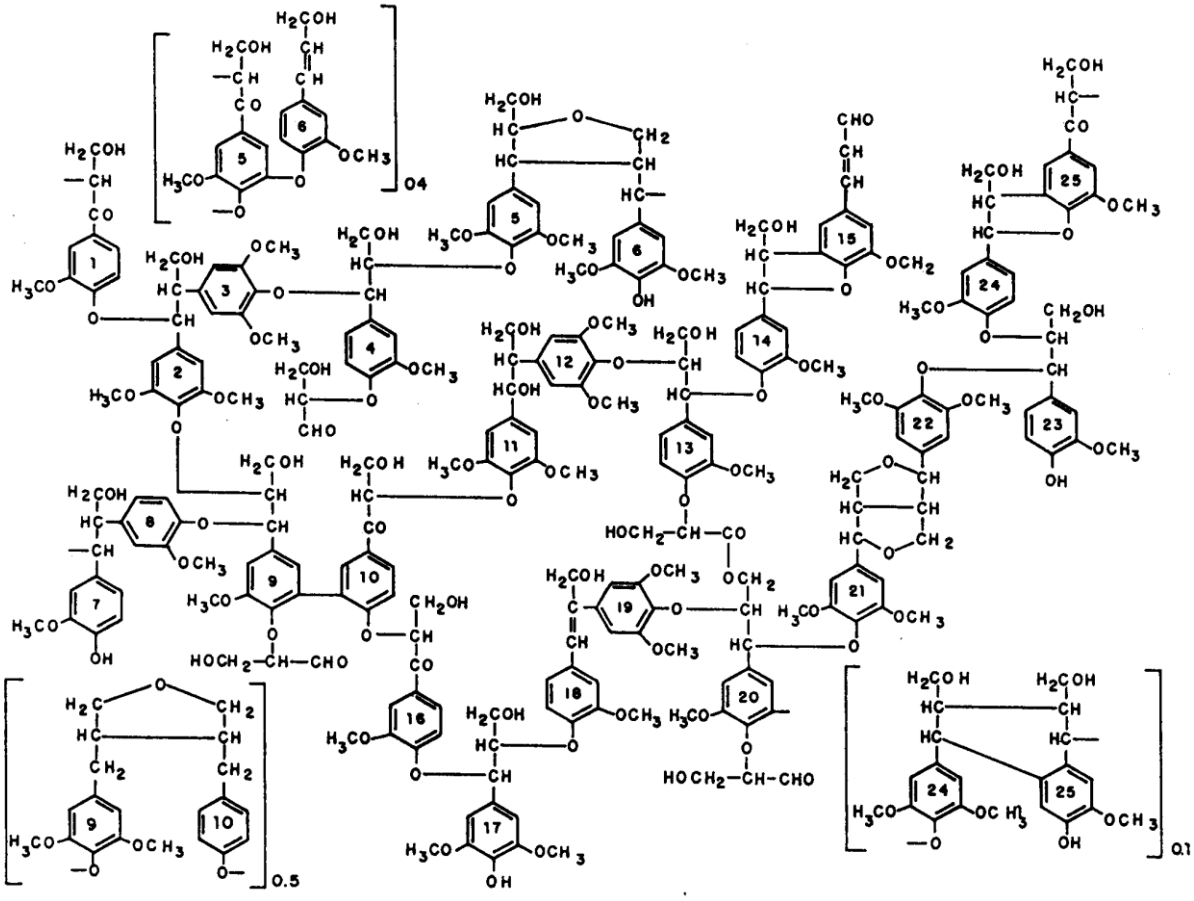


Figura 2. 12- Principais unidades básicas que constituem a lignina das folhosas (PILÓ-VELOSO; NASCIMENTO; MORAIS, 1993 e D'ALMEIDA; 1988).

A Figura 2.13, apresentada a estrutura da lignina para o *Eucalyptus grandis*.

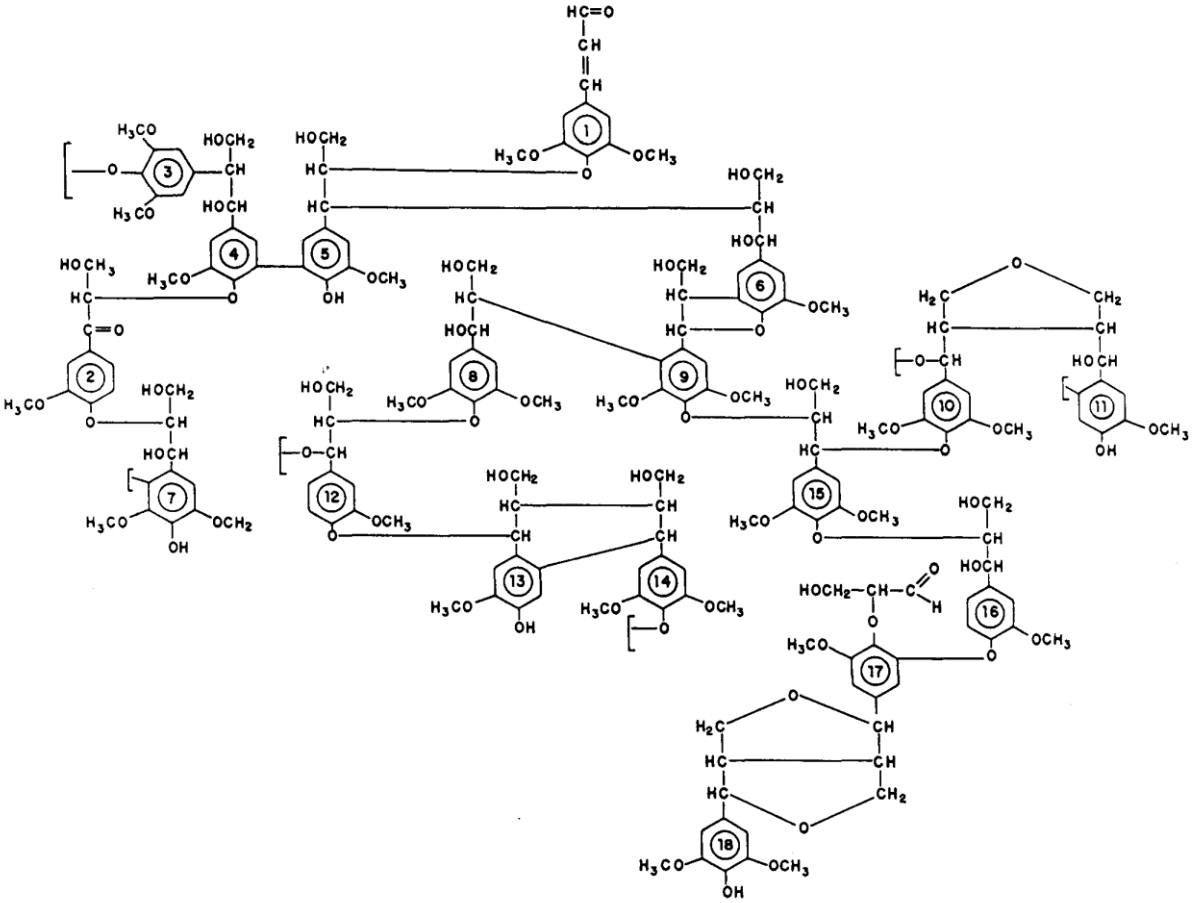


Figura 2. 13- Principais unidades básicas que constituem a lignina da espécie *Eucalyptus grandis* (PILÓ-VELOSO; NASCIMENTO; MORAIS, 1993).

Extrativos

Todas as espécies de madeira possuem além da celulose, das hemiceluloses e da lignina, quantidades variáveis de outras substâncias de baixo peso molecular, estes compostos orgânicos geralmente são mencionados como extrativos (teor de extrativos). Muitas vezes os extrativos são responsáveis por certas propriedades da madeira, tais como cheiro, gosto, cor e durabilidade da madeira. Embora estes componentes contribuam somente com uma pequena porcentagem da massa da madeira, eles podem ter uma grande influência nas propriedades e qualidade de processamento das madeiras (BODIG; JAYNE, 1982; KOLMANN; CÔTÉ, 1984).

Os extrativos são compostos orgânicos que incluem: taninos, terpenos, fenóis, graxas, óleos essenciais, gorduras, ácidos, gomas, resinas e ceras, os extrativos são preservantes naturais ao ataque de insetos e resistência a fungos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; MILLER, 1999; LOPES, 2008). Em geral, perfazem de 2 a 8% da massa total em base seca, sendo os

teores encontrados em folhosas geralmente superiores àqueles presentes em coníferas (CARVALHO *et al*., 2009).

2.4 Fatores que Influenciam na Colagem de Madeiras

Existem vários fatores que podem influenciar na colagem da madeira, Frihart e Hunt (2010), relatam sobre a importância da superfície das peças de madeira, que devem ser lisa, aplainada e livre de marcas, tanto de usinagem ou outras irregularidades, incluindo "batidas" de plaina, partes esmagadas, farpas e fibras soltas. Portanto, as condições físicas e químicas das superfícies são extremamente importantes para um resultado satisfatório, pois a colagem por adesivos consiste na união de superfícies.

Segundo Kollmann; Kuenzi; Stamm (1975) e Kollmann e Côté (1984) outros fatores que influenciam na colagem são as suas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e propriedades químicas (teor de extrativos e valor de pH).

2.4.1 Propriedades anatômicas

As propriedades anatômicas da madeira têm significativa influência na colagem de madeiras, devido às diferentes dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares, que por sua vez estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984).

Dentre as propriedades anatômicas da madeira temos: os anéis de crescimento, cerne e alburno, idade da árvore, que apresentam diferenças em termos de densidade e porosidade, e a grã, que está relacionada à penetrabilidade do adesivo devido a porosidade resultante nos diferentes cortes (ALBUQUERQUE ; LATORRACA, 2005). A variabilidade estrutural e anatômica existente na madeira afeta de modo significativo o desempenho de uma ligação adesiva (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975, ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000, 2005).

Ângulo da direção das fibras (Grã)

Segundo Albuquerque e Latorraca (2000) o ângulo da direção das fibras da madeira é importante, por possuir uma forte influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira. O ângulo da grã está diretamente relacionado com o teor de umidade, a estabilidade dimensional, a resistência e propriedades relativas ao acabamento de superfícies da madeira.

Grã refere-se ao alinhamento dos elementos da madeira, ou componentes axiais - fibras, traqueídes, células parenquimáticas e vasos - quando considerado como um todo. Este alinhamento (orientação) é decorrente das mais diversas influências em que a árvore é submetida durante o seu processo de crescimento, culminando em grande variação natural no arranjo e na direção dos tecidos axiais, originando vários tipos de grãs (BURGER; RICHTER, 1991), como descrito a seguir:

- *Grã direita ou normal*: Quando componentes axiais estão orientados paralelamente ao eixo longitudinal, do fuste da árvore ou de peças de madeira.
- *Grã irregular:* Quando o alinhamento dos componentes axiais, em uma peça de madeira, não coincide com o eixo longitudinal da peça, a madeira, sendo as principais:

Grã em espiral***:*** Determinada pela orientação espiral dos elementos axiais constituintes da madeira em relação ao fuste da árvore. A tora ou tronco com grã ondulada possui uma aparência em espiral depois que a casca é removida.

Grã entrecruzada: a orientação em espiral é contrária, a intervalos mais ou menos regulares, ao longo de um único raio a grã.

Grã ondulada: Neste tipo de grã os elementos axiais do lenho alteram constantemente suas direções, apresentando-se na madeira como uma linha sinuosa regular.

Grã inclinada, diagonal ou oblíqua: Neste tipo de grã que ocorre pelo desvio angular dos elementos axiais, em relação ao eixo longitudinal de uma peça de madeira. Este tipo de grã afeta significativamente as propriedades tecnológicas da madeira.

O efeito da direção da grã na formação da ligação adesiva está ligado a porosidade que ocorrem em diferentes planos de corte, em madeira de grã cruzada, ocorrem penetrações excessivas do adesivo, podendo ocorrer linha de cola faminta (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005). Para a formação de ligações fortes, a madeira de grã ligeiramente inclinada se ilustra mais adequada em relação a grã direita. Isso ocorre pelo fato de que os adesivos de madeira possuem uma composição que combina com a porosidade, ou seja, eles não possuem mobilidade suficiente para penetrar através da parede celular.

Madeira com grã diagonal não possui relação na formação da ligação adesiva, mas ocorrem comportamentos indesejáveis no produto colado (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Porosidade

A porosidade da madeira está relacionada a sua estrutura e densidade, que influencia o movimento dos líquidos através da estrutura lenhosa influenciando na penetração dos

adesivos na madeira. Quanto mais porosa a madeira, maior será a penetração do adesivo em sua estrutura, podendo resultar em linha de cola faminta e ao contrário poderá ocorrer linha de cola espessa (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005).

Segundo Lopes (2008) a porosidade e a permeabilidade influenciam na adesão entre a madeira e o adesivo, pois conforme a disposição dos espaços vazios haverá a penetração do adesivo, promovendo a adesão mecânica com a madeira.

Burger e Richter, (1991) comentam que nas angiospermas, a presença ou não de substâncias obstrutoras nos poros como os tilos, as resinas, o látex e outras substâncias, influenciam na permeabilidade e na mobilidade do adesivo na madeira.

Anéis de crescimento - lenho inicial e tardio

Durante a estação de crescimento, formam-se diferentes tipos e tamanhos de células, isto dependendo da demanda geneticamente conduzida, que sofre alterações ao longo do tempo. Os anéis de crescimento são formados por dois tipos de lenho; inicial e tardio. Os anéis resultantes devem ser largos ou estreitos (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Burger e Richter, (1991) demonstram as diferenças entre os lenhos:

- *Lenho inicial* - possuem elementos anatômicos menores, paredes celulares finas, lúmens grandes, numerosas pontuações grandes, madeira macia, menor densidade e resistência mecânica e maior porosidade.
- *Lenho tardio* - elementos anatômicos maiores, paredes celulares espessas, lúmens pequenos, poucas pontuações pequenas, madeira dura, maior densidade e resistência mecânica e menor porosidade.

A Figura 2.14 ilustra a composição do caule com destaque ao lenho inicial e tardio.

No lenho inicial a camada S2 tem uma espessura fina, no lenho tardio é espessa, no entanto as camadas S1 e S3 possuem espessuras similares nos dois lenhos (BURGER; RICHTER, 1991).

Esta estrutura diferenciada pode ocasionar problemas relativos à penetração de adesivos, à linha de cola “faminta” ou “espessa”, o que é contornável pela alteração na formulação do adesivo. Já a viscosidade, é dificultada em função da variabilidade, causada pelos diferentes planos de corte obtidos na obtenção dos elementos de madeira (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005).

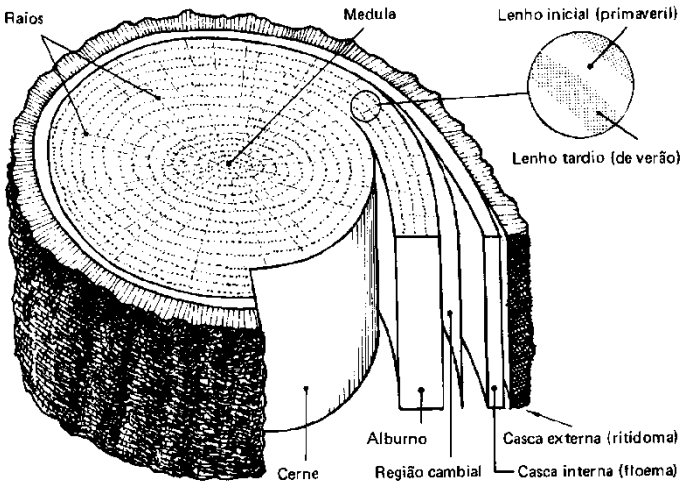


Figura 2. 14- Composição do caule em seção transversal (CHIMELO, 1986).

Cerne e alburno.

Segundo Albuquerque e Latorraca (2005) as diferenças entre cerne e alburno são devido ao crescimento e diferenciações físicas, químicas da madeira decorrentes do desenvolvimento da árvore, deixando a existência de duas regiões distintas nestas propriedades. A proporção de cerne e alburno é uma característica de cada espécie, idade, sítio, solo e clima, além de outros fatores.

O cerne, em relação ao alburno, é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de produtos preservativos (BURGER; RICHTER, 1991).

O cerne se torna mais denso devido ao deposito de substâncias nas células como óleos, graxas e compósitos fenólicos, também com isto aumenta a dificuldade de ocorrer reações químicas para a efetuação da colagem (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005).

Durante a formação do cerne, certas madeiras de folhosas, ocorre a oclusão de vasos por tiloses. A tilose provoca, então, o entupimento dos poros e, consequentemente, reduz de forma significativa a permeabilidade da madeira com relação aos fluídos (BURGER; RICHTER, 1991).

Em geral, a variabilidade entre cerne e alburno se relaciona com porosidade e a densidade (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005).

Idade da árvore.

Segundo Albuquerque e Latorraca (2000) as árvores possuem fases de crescimento ou desenvolvimento mais ou menos distintos em seus ciclos de vida, processos que estão associados a diversas alterações em seu ciclo.

O lenho juvenil possui anéis de crescimento mais largos, menor densidade, maior porosidade, apresentando maior facilidade de colagem em relação ao lenho adulto (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005).

Lenhos de reação.

O lenho de reação, que corresponde ao lenho de compressão nas coníferas e ao lenho de tração nas folhosas, apresenta anormalidades em sua estrutura. Esse tipo de lenho apresenta contração e inchamento em níveis altos ao longo da grã, elevando a densidade e diminuindo a resistência. A elevada instabilidade, de forma não comum, ao longo da grã, causa excessivos empenamentos e, se reprimidos, ocasionam fraturas transversais às fibras. Apesar disso não apresentam dificuldades na colagem, mas apresentam alta instabilidade dimensional, podendo gerar tensões difusas na linha de cola comprometendo a ligação (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000, 2005).

Propriedades físicas

Das propriedades físicas da madeira, as que mais interferem na colagem é a densidade e o teor de umidade (VICK,1999), que estão relacionados respectivamente com a porosidade e ao processo de prensagem, e também a rugosidade da superfície da madeira (FRIHART, 2005a; FRIHART; HUNT, 2010).

Densidade

A densidade da madeira apresenta uma relação inversa com a porosidade e a ação de penetração do adesivo na madeira (IWAKIRI, 2005). Madeiras de alta densidade segundo Frihart e Hunt (2010), possuem um grau de dificuldade de colagem mais elevado se comparadas às de baixas densidades, os mesmos autores afirmam que madeiras densas apresentam paredes celulares mais espessas, lúmens reduzidos e pontuações reduzidas. Essas características tendem a limitar a penetração do adesivo na madeira.

Portanto quanto mais densa for a madeira, menos permeável será ao adesivo e, consequentemente, ocasiona uma ligação adesiva mais superficial e provavelmente mais fraca (VICK, 1999; ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Madeiras densas segundo Vick (1999) apresentam maiores alterações dimensionais com alterações do conteúdo da umidade, gerando maiores tensões na linha de cola.

Teor de umidade

Gonçalves (2000) salienta que vários pesquisadores indicam que as propriedades de resistência da madeira se relacionam ao teor de umidade contido na mesma. A quantidade de água contida na madeira exerce grande influência nas suas características.

Segundo Kollmann (1959), a madeira verde contém em seu cerne entre 30% e 100% de água, e no alburno entre 40% e 200% (referido ao peso seco). Se referido ao peso úmido, se deduz para o cerne de 25% a 50% e para o alburno de 29% a 67%.

O teor de umidade da madeira na ocasião da colagem influi decisivamente na resistência da junta, no desenvolvimento de rachaduras na madeira e na estabilidade dimensional do produto colado (SELBO, 1975; VICK, 199).

A influência do conteúdo de umidade da madeira na formação da ligação adesiva está relacionada com a quantidade e o ritmo de absorção do adesivo líquido pela madeira. Portanto, quanto menor o conteúdo de umidade da madeira, maior será a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo (IWAKIRI, 2005).

Quando a madeira contém quantidades excessivas de umidade, então menos água e adesivo podem ser absorvidos pela madeira, portanto as faixas de umidade de melhor adesão para a madeira estão entre 6-14% e valores abaixo do valor inferior requerem uma formulação específica do adesivo (VICK, 1999).

Estabilidade dimensional (Retratibilidade e inchamento)

Segundo Nogueira (2002) o aumento ou a redução da quantidade de água livre no interior dos elementos anatômicos da madeira não provoca variações nas dimensões das peças. Porém a estabilidade dimensional da madeira se manifesta com a perda e o ganho da água de impregnação, que provoca uma aproximação ou distanciamento das cadeias de celulose.

Retratibilidade: a retração da madeira se manifesta com a perda da água de impregnação, que provoca uma aproximação das cadeias de celulose, ocorre em porcentagens diferentes, se consideradas as três direções das seções ou planos de corte axial, tangencial e radial, da mesma forma a retratibilidade da madeira ocorre nos mesmos planos (GONÇALVES, 2000; NOGUEIRA, 2002).

A retração axial se dá na direção das fibras da madeira, em termos percentuais é a menor, a retração radial ocorre na direção dos raios medulares da seção transversal do tronco da árvore e a retração tangencial é a maior e ocorre na tangente aos anéis de crescimento no

plano transversal ao eixo da árvore. Sendo a retração volumétrica uma composição das outras três, ela é bastante significativa (GONÇALVES 2000).

Segundo Poubel *et al* (2011) a contração volumétrica é proporcional ao número de moléculas de água adsorvidas na parede celular, e que, por sua vez, está relacionado ao número de hidroxilas acessíveis na celulose, hemicelulose e lignina e ao volume de parede celular, ou seja, à densidade básica da madeira.

Nogueira (2002) relata que as diferenças entre as retrações tangencial e radial forem elevadas, podem inviabilizar o emprego de determinadas espécies de madeira para a construção civil de um modo geral. Devido às diferenças percentuais entre as direções de retratibilidade, pode-se explicar os defeitos observados após a secagem das várias espécies de madeira, tais como trincas e empenamento (GONÇALVES 2000).

***Inchamento*:** A água, ao penetrar nas zonas amorfas da celulose, provoca uma desorganização em sua estrutura, ocasionando um aumento da superfície interna da parede celular, pelo surgimento de microporos transitórios, responsáveis pelo inchamento da madeira de acordo com a umidade do ambiente (VITAL; MACIEL; DELLA LUCIA, 2005).

2.4.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas analisam a composição do adesivo seguido das características da madeira, estão relacionados com o desempenho das ligações a resistência gerada na linha de cola, a qual é de grande importância para a resistência do produto colado, pois o comportamento estrutural depende da perfeita união dos substratos (VICK, 1999).

Quanto maior a resistência na linha de cola em relação à resistência da madeira, significa que a interação do adesivo com a madeira foi eficiente. Para madeira de menores densidades e em menor quantidade serão exigidas menores tensões na linha de cola (FRIHART; HUNT, 2010).

Segundo Iwakiri (2005) as tensões na linha de cola podem ser resultantes de fontes externas e internas.

- *Tensões externas:* ocorrem através de cargas acumulativas ou dissipativas sobre a linha de cola.
- *Tensões internas:* ocorrem devido as diferenças nas estruturas anatômicas e nas propriedades físicas da madeira, estes fatores irão gerar diferentes níveis de tensões na interface madeira - adesivo.

2.4.3 Propriedades químicas (extrativos e pH)

Segundo Iwakiri (2005) as propriedades químicas que mais afetam a colagem da madeira são os extrativos, pH e as substâncias inorgânicas (teor de cinzas).

Os extrativos da madeira interferem na umectação e permeabilidade do adesivo, e no tempo de prensagem do mesmo, outra influência do extrativo se dá na alteração do pH da superfície da madeira interferindo na cura (VICK, 1999; FRIHART; HUNT, 2010).

Segundo Bianche (2014) no processo da prensagem os extrativos presentes no cerne quando voláteis influenciam na permeabilidade da madeira, podendo afetar a colagem, formando as bolhas.

O teor de cinzas segundo Iwakiri (2005) pode afetar o pH da madeira. O mesmo autor comenta que a faixa do pH do adesivo deve ser entre 2,5 a 11, estando fora deste limite ocorre a degradação das fibras de madeira.

2.5 Adesivos para Madeira

Atualmente um dos adesivos mais usados na colagem de madeira e seus derivados é o poliacetato de vinila (PVAc) por ser um adesivo versátil e de baixo custo (FRIHART, 2005a).

O principal uso de adesivos é na indústria e no fábrico de materiais de construção, incluindo madeira compensada, strandboard orientado, aglomerado, MDF, fiberboards, flakeboards estruturais, madeira estrutural composta, portas, janelas, quadros, e produtos de madeira laminada de fábrica. Os adesivos também são utilizados na montagem de móveis e armários (VICK,1999; FRIHART; HUNT,2010).

Segundo Pizzi (1983) o adesivo é um componente importante, com implicações técnicas e econômicas significativas na utilização da madeira e seu custo pode chegar a 50% do preço total desta. Os adesivos podem ser classificados em naturais e sintéticos conforme a tabela 2.10.

Os termoplásticos são polímeros de cadeias longas que amolecem e fluem no aquecimento e, em seguida, endurecem novamente com o resfriamento, geralmente possuem menor resistência ao calor, a umidade e a carga estática. Já os termofíxos são excelentes adesivos estruturais porque sofrem uma transformação química irreversível quando curada, e no reaquecimento, eles não amolecem e não fluem (VICK, 1999; FRIHART; HUNT, 2010).

Os adesivos podem ser agrupados em estruturais, semi-estruturais e não estruturais, estas categorias são definidas a partir do uso externo e interno (FRIHART; HUNT, 2010),

mas podem também ser classificados em relação a sua permanência e durabilidade. A permanência do adesivo é analisada sob condições ambientais irreversíveis, enquanto, a durabilidade refere-se às condições ambientais reversíveis (FRIHART, 2005a).

Tabela 2. 10- Classificação dos adesivos. (Adaptado de KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 2005).

Classificação dos adesivos		
Naturais	Origem animal	Caseína, glutina, albumina,
	Origem vegetal	Amido, borracha natural,
	Origem Inorgânica	Silicatos.
Sintéticos	Termoplásticos	polivinílico – acetato , álcool, acrilato - poliamida, borracha sintética,
	Termoendurecedores ou Termofíxos	uréia, melamina, fenol, resorcinol, furano, epóxi, isocianato.

A ligação de madeira com cola é conhecida desde os tempos dos faraós egípcios como, por exemplo, cola de osso ou de caseína. Nas últimas décadas, a tecnologia dessa interação madeira/cola tem sido associado a grandes esforços para melhorar os adesivos existentes e para projetar e fabricar adesivos de melhor desempenho (FOLLRICH *et al*.,2010).

Segundo Pizzi (2005), uma grande variedade de adesivos termofixos ou termoendurecedores e termoplásticos são utilizados para unir uma infinidade de produtos de madeira. Hoje em dia, pelo menos 80% de produtos derivados da madeira estão ligados de alguma maneira.

Para Renzo (2008) a colagem da madeira é de fato importante nas indústrias madeireiras, permitindo um melhor aproveitamento das florestas, tendo um uso mais racional do material madeira. Relata ainda que a utilização dos adesivos permitiu e ainda permite o crescimento das indústrias de base florestal.

Além de aderir dois substratos, Pizzi (2005) relata que o adesivo tem que fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas.

Segundo Vick (1999) a água é utilizada como veículo para a maioria dos adesivos usados em madeira, principalmente porque a água é absorvida pela madeira, é barata, e é livre de problemas de toxicidade.

Há vários tipos de adesivos citados na literatura usados em madeira e seus derivados podendo ser termoplásticos e termofíxos, os mais comuns:

Ureia-formaldeído

Pizzi (2005) cita que este adesivo é o mais importante e mais utilizado, constituem mais de 80% de todos os adesivos termofixos usados na madeira da Europa, e cerca de 50% na América do Norte. As vantagens desse adesivo são: inicialmente solúvel em água (isso torna eminentemente adequado para o volume e de produção relativamente barata), dureza, não-inflamável, boas propriedades térmicas, ausência de cor em polímeros curados e capacidade de adaptação fácil a uma variedade de condições de cura.

Iwakiri (2005) cita que as desvantagens deste adesivo é que perdem resistência quando atuam sob a ação da umidade por tempo relativamente curto, principalmente com a combinação do calor, o que limita este adesivo ao uso interno. Possuem um sério inconveniente em virtude da emanação de formaldeído e seu emprego é problemático em países cujo controle ambiental é rigoroso.

Fenol-formaldeído

O fenol-formaldeído segundo Pizzi (2005) é o principal adesivo utilizado no fabrico de contraplacado. Iwakiri (2005) salienta que esta resina é usada em aglomerados e compensados a prova de água, indicado para uso em aplicações externas. Segundo o mesmo autor este adesivo apresenta alto preço de mercado e precisa de altas temperaturas para ser curado (130° a 160°C).

Resorcinol-formaldeído

O resorcinol segundo Andrew (2008) é um adesivo adequado para uso externo não sendo afetado pela água (mesmo água fervente), graxa, óleo e a maioria dos solventes, suas aplicações incluem principalmente, madeira (emendas denteadas), compensado, laminados colados estruturais. O Resorcinol-formaldeído são excelentes adesivos usados na colagem de laminados marítimos e de aviação.

Melamina-formaldeído

A melamina é um adesivo de uso intermediário entre a ureia e fenol, resiste mais a ambientes úmidos do que a ureia. Para aumentar a resistência à umidade e diminuir seu elevado custo, a melamina pode ser usada em conjunto com a ureia - Melamina-ureia-formaldeído (MUF), sendo utilizados para painéis de madeira, sendo de uso externo e semi-externo, sua elevada resistência ao ataque da água é a principal característica em relação de ureia-formaldeído (PIZZI, 2005).

Hot-melt

São adesivos sólidos a temperatura ambiente, sendo utilizado na montagem de embalagens e na junção de bordas ou de topo de painéis. Sua aplicação é feita a altas temperaturas, onde a colagem ocorre após o resfriamento e a consequente solidificação do adesivo (ANDREW, 2008).

Poliuretanos

Os adesivos de poliuretano são produzidos por reação conjunta de duas matérias-primas básicas – um poliol e um isocianato , sendo os dois polióis mais comuns poliéter e poliéster, e os isocianatos mais utilizados, tolueno di-isocianato (TDI) e difenilmetano di-isocianato (MDI) (PARKER, 2005a). Frihart e Hunt (2010) salientam que os adesivos poliuretanos podem ser monocomponentes ou bicomponentes, sendo que a seleção depende da aplicação, segundo Vick (1999) apresentam limitações para uso externo e requer alta pressão e cura a temperatura ambiente. Estes adesivos são aplicados em pisos, laminados plásticos e metálicos, laminados especiais (FRIHART; HUNT, 2010).

Segundo Dias (2005) existe uma tendência mundial na procura de materiais biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa. No Brasil se desenvolveu poliuretano a base de óleo de mamona classificado como bicomponente. Sendo uma boa alternativa ao mercado de painéis estruturais de madeira. A partir do óleo de mamona é possível sintetizar poliois e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, a frio, leva a reação de polimerização da mistura.

Poliacetato de vinila (PVAc)

Segundo Mesquita (2002) o poliacetato de vinila (PVAc) é um polímero termoplástico, amorfo e atático (grupos laterais estão distribuídos aleatoriamente e ramificados), comenta ainda que algumas de suas propriedades dependem intrinsicamente da massa molar, alterando suas propriedades como por exemplo: a solubilidade, densidade, ponto de amolecimento, podendo variar de líquidos viscosos a sólidos.

Segundo Petrie (1999) o poliacetato de vinila (PVAc) é a mais versátil das resinas vinílicas conhecidas como “cola branca”, geralmente são disponíveis em soluções ou emulsões, podendo ser plastificado ou não.

Frihart (2005a) relata que os PVAc atualmente são os adesivos mais usados pelos diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira para aplicações de uso interior.

Para Kim e Kim (2006) há um maior interesse em adesivos à base de PVAc por apresentar uma maior força vinculativa e melhores propriedades de filme e tem crescido consideravelmente nas últimas duas décadas, devido à sua ampla utilização em adesivos.

Por serem à base de água, os adesivos de PVAc apresentam vantagens como: aplicação simples, tem baixa toxicidade, apresenta baixo custo se comparadas a outras resinas comerciais, possui baixa inflamabilidade, sob condições adequadas secam rápido, são de fácil limpeza e possuem boa estabilidade à estocagem (IWAKIRI, 2005).

Kim e Kim (2006), Özçifçi e Yapıcı (2007) relatam que PVAc é um adesivo inodoro, podendo ser utilizado em temperaturas frias (ambiente) e solidifica rapidamente. Sendo de fácil aplicação, não danifica as ferramentas durante o processo de corte. No entanto, a resistência mecânica de PVAc diminui com o aumento da temperatura perdendo a capacidade de resistência de ligação acima de 70 ºC.

Petrie (1999) relata que o PVAc é resistente a maioria dos solventes, mas é um adesivo com resistência à umidade menor que os adesivos termofíxos, por isso apresenta a limitação de uso externo.

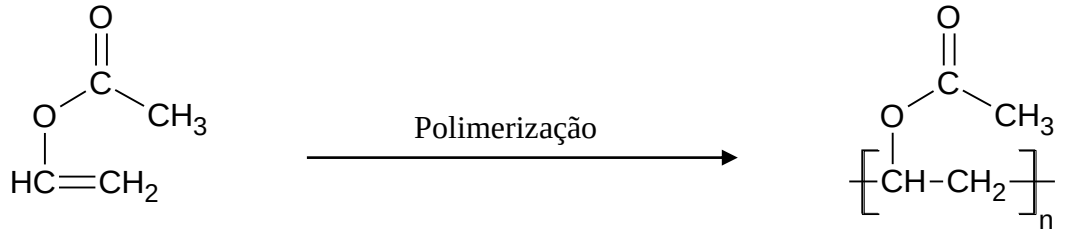
Santos (2008) relata que os adesivos de PVAc possuem uma boa adesão a superfícies celulósicas tais como madeira e papel.

Segundo Brydson (1999), o acetato de vinila é produzido a partir do etileno ou acetileno e ácido acético, atualmente, por oxidação de etileno. Os adesivos vinílicos são resultantes da polimerização em dispersão aquosa do acetato de vinila convertendo-o no poliacetato de vinila (PVAc), também podendo ser feito em sistemas de suspensão ou de emulsão.

A maior parte dos poliacetatos de vinila comercialmente disponíveis, são feitos por meio de mecanismos de polimerização em emulsão (BRYDSON, 1999). Parker (2005b) corrabora com Brydson e descreve também que são utilizados catalisadores, agentes tensioativos (emulsionantes) e colóides protetores solúveis em água, facilitando este processo, resultando numa dispersão estável de partículas de polímero discretas na fase aquosa.

O adesivo PVAc, pertencente à família dos ésteres polivinílicos, este grupo de adesivos são pré-polimerizados, sendo empregado em colagem de madeira, na qual a cura é feita por perda do solvente dispersante (água). Possui uma vida útil longa devido à alta estabilidade química e física, apresentando grande resistência à ação de micro-organismos. Tem boas propriedades de contato e exige pouca pressão na prensagem (JESUS, 2000).

A Figura 2.15 ilustra as fórmulas químicas do acetato de vinila e do poliacetato de vinila (PVAc).



a) b)

Figura 2. 15- Fórmulas químicas: a) Acetato de vinila; b) Poliacetato de vinila PVAc.(Adaptado de KIM; KIM, 2006).

As formulações de PVAc segundo Salvini *et al.* (2010) atualmente disponíveis no mercado de adesivos são bastante complexas que contem: um poliacetato de vinila de dispersão, um promotor de formação de película, um agente de ligação cruzada e / ou um endurecedor. A utilização de poliacetato de vinila em dispersões modificado geralmente requer um tratamento térmico para se obter os melhores resultados e o uso de um comonômero de ligações cruzadas específico (SALVINI *et al.*, 2010).

Segundo Parker (2005b) os plastificantes e espessantes são dois dos materiais mais comuns utilizados na formulação de adesivos à base de PVAc, mas muitos outros modificadores podem ser incorporados, resultando numa ampla gama de adesivos à base de PVAc, estando disponível para satisfazer as exigências específicas de muitos diferentes aplicações no mercado.

Lopes (2008) salienta que os adesivos de PVAc possuem algumas modificações para melhorar o desempenho, tais modificações são como, a adição de outros monômeros de vinil durante a polimerização e/ou a adição de agentes de ligações cruzadas (*cross-linking*) que aumentam a rigidez do polímero.

Kim e Kim (2006) citam que na fabricação do PVAc há estabilizadores para polímeros e outros copolímeros para melhorar sua eficiência. Sendo encontrados na forma líquida com viscosidade variando de 2000 para 3000 cPs a 21 ºC.

Para escolher o tipo de adesivo deve-se levar em consideração quais as condições a que ele será exposto, os fatores ambientais que mais influenciam na ligação adesiva são a temperatura e a umidade, e a escolha do adesivo está também diretamente ligada a posição da peça; se ela estará abrigada no interior da edificação ou exposta à variação das condições atmosféricas, como alternância de sol e chuva (VICK, 1999).

Segundo Prata (2010) atualmente existem várias normas que regulamentam a resistência dos adesivos para madeira, porém a norma adotada no Brasil é EN- 204, que classifica os adesivos em quatro grupos de durabilidade: D1; D2; D3 e D4.

Classificação dos adesivos PVAc em classes de durabilidade em D1, D2, D3 e D4

Os ambientes apresentam variações de umidade, segundo Prata (2010) devido a este fator foram criadas normas para classificar os adesivos conforme sua resistência a umidade, no Brasil as normas adotadas são as Normas Européias EN-204 e EN-205.

EN-204:2001 - Requisito de classificação dos adesivos não estruturais para junção de madeiras e produtos derivados de madeira "em classes de durabilidade".

EN-205:2003 - Método de ensaio de adesivos para madeira de uso não estrutural, determina como devem ser os ensaios para preparação dos corpos de prova, e consequente teste de resistência a tração de juntas coladas.

Salvini *et al.* (2010) com relação aos adesivos vinílicos (PVAc) comerciais para madeira são avaliados utilizando testes padrão para aplicações não-estruturais, citados na EN 205, e eles são classificados em acordo com a norma EN-204. Adesivos D1 apresentam uma boa resistência apenas em condições secas, sendo adequados para móveis para salas e quartos; adesivos D2 devem resistir a uma presença muito baixa de água, tais como na exposição ocasional em cozinhas e banheiros; adesivos D3 são adequados para entrar em contato com água fria, como janelas e portas exteriores; adesivos D4 são adequados para serem usados em condições extremas resistência à água quente.

A norma EN-204 permite classificar os adesivos de madeira em quatro categorias de D1, D2, D3 e D4 e suas condições de aplicação.

Homopolimero de acetato de vinila podem ser utilizados para formular adesivos D1 ou D2. Adesivos à base de acetato de vinila (cross-linked) reticulados com endurecedores e adesivos ureia-formaldeído (UF) pertencem a classe D3. Apenas adesivos de fenol-formaldeído (PF), resorcinol-formaldeído (RF), de melamina-formaldeído (MF), alguns poliuretanos bicomponentes especiais (PUs), e adesivos de reticulados (cross-linking) de vinil pertencem a classe D4 (SALVINI *et al.* , 2010)

A Tabela 2.11, ilustra as classes de durabilidade e suas condições para aplicação segundo Norma Europeia, EN - 204.

Tabela 2. 11– Classes de durabilidade e suas condições para aplicação segundo Norma Europeia EN 204. (Adaptada da EN 204:2001).

Classes de durabilidade	Condições para aplicação
D1	Uso interior, onde o teor de umidade da madeira seja inferior 15%.
D2	Uso interior com exposição ocasional e por curto período de tempo à água ou vapor, e/ou exposição ocasional à elevada umidade do ar, desde que a umidade da madeira seja inferior 18%.
D3	Uso interior com exposição frequente, por curtos períodos de tempo à água ou vapor, e/ou exposição à elevada umidade. Também pode ser usado para aplicações exteriores sem exposição as condições climáticas.
D4	Uso interior com exposição frequente, e por longos períodos à água ou vapor. Uso exterior com exposição as condições climáticas, mas com proteção adequada através de um revestimento.

A norma Européia EN-204, segundo Martins (2011) classifica os adesivos vinílicos em termoplásticos e termofíxos. Os termoplásticos são os adesivos D1 e D2, e os termofíxos são adesivos D3 e D4, os adesivos D3 são monocomponentes, e os adesivos D4 são bicomponentes requerendo a adição de um catalisador.

A norma EN-204 estipula um tempo mínimo de 7 dias à temperatura entre 21° e 25°C entre o momento da colagem e o início dos testes, exatamente para que ocorra a cura do adesivo.

A Tabela 2.12 ilustra os requisitos para a classificação dos adesivos segundo a Norma Europeia - EN 204.

Tabela 2. 12- Requisitos para a classificação dos adesivos segundo a Norma Europeia - EN204. (Adaptada da EN 204:2001).

Sequência de Condições Climáticas		Classe de Durabilidade Resistência à Tração (N/mm^2)			
Sequência	Condição/Duração	D1	D2	D3	D4
1	7 dias de Secagem em sala climatizada [1]	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 dias de Secagem em sala climatizada 3 horas de Imersão em água fria[2] 7 dias de Secagem em sala climatizada		≥8		
3	7 dias de Secagem em sala climatizada 4 dias de Imersão em água fria			≥2	≥4
4	7 dias de Secagem em sala climatizada 4 dias de Imersão em água fria 7 dias de Secagem em sala climatizada			≥8	
5	7 dias de Secagem em sala climatizada 6 horas de Imersão em água em ebulição [3] 2 horas de Imersão em água fria				≥4

[1] Secagem em sala climatizada: T = 23 ± 2°C e 50 ± 5% de Umidade relativa ou 20ºC ± 2 e 65% ± 5 de umidade relativa; [2] Imersão em água fria à temperatura = 20°C ± 5°C; [3] Imersão em água em ebulição. Norma Européia - EN 204: 2001

2.6 Características Físicas dos Adesivos na Colagem de Madeira

Segundo Frihart (2005a) as formas de interação entre o adesivo e a madeira dependem de características importantes como a molhabilidade (umectação, a fluidez e a penetração) e a viscosidade do adesivo.

2.6.1 Molhabilidade

Segundo Jennings (2003) molhabilidade é a capacidade de um líquido de se espalhar e estabelecer um contato íntimo sobre a superfície da madeira, este contato íntimo é muito influenciado pela energia livre da superfície. A baixa energia livre na superfície da madeira leva as moléculas do líquido a serem atraídas por outras moléculas do mesmo líquido, mais do que pelas moléculas da madeira. Este estado caracteriza-se pela ocorrência de um grande ângulo de contato. Por outro lado, alta energia superficial na madeira leva as moléculas do líquido a serem mais atraídas pelas moléculas da superfície da madeira, estado que se caracteriza por um pequeno ângulo de contato e é um indicativo de boa molhabilidade da madeira.

Segundo Frihart (2005a) as formas de interação entre o adesivo e a madeira são a umectação, a fluidez e a penetração do adesivo na madeira.

- *Umectação:* é a habilidade que uma gota do adesivo tem de formar um pequeno ângulo de contato com a superfície.
- *Fluidez:* envolve o escoamento e espalhamento do adesivo sobre a superfície em um tempo razoável, essa é uma característica importante, pois quanto maior a fluidez mais a superfície é coberta pelo adesivo resultando em uma colagem mais forte.
- *Penetração:* é a capacidade que o adesivo possui de entrar pelos poros e espaços vazios da superfície (os lúmens ou fendas) ou penetrar na própria parede.

Quando a penetração é muito baixa Frihart (2005 a), comenta que o adesivo não penetra suficientemente na madeira para garantir uma interação madeira – adesivo, quando a penetração é muito alta a linha de cola não permanece com adesivo suficiente para ligar as superfícies a serem coladas, resultando na chamada “linha de cola faminta”.

A Figura 2.16 apresenta a diferença entre fluidez, penetração e transferência do adesivo sobre a superfície da madeira.

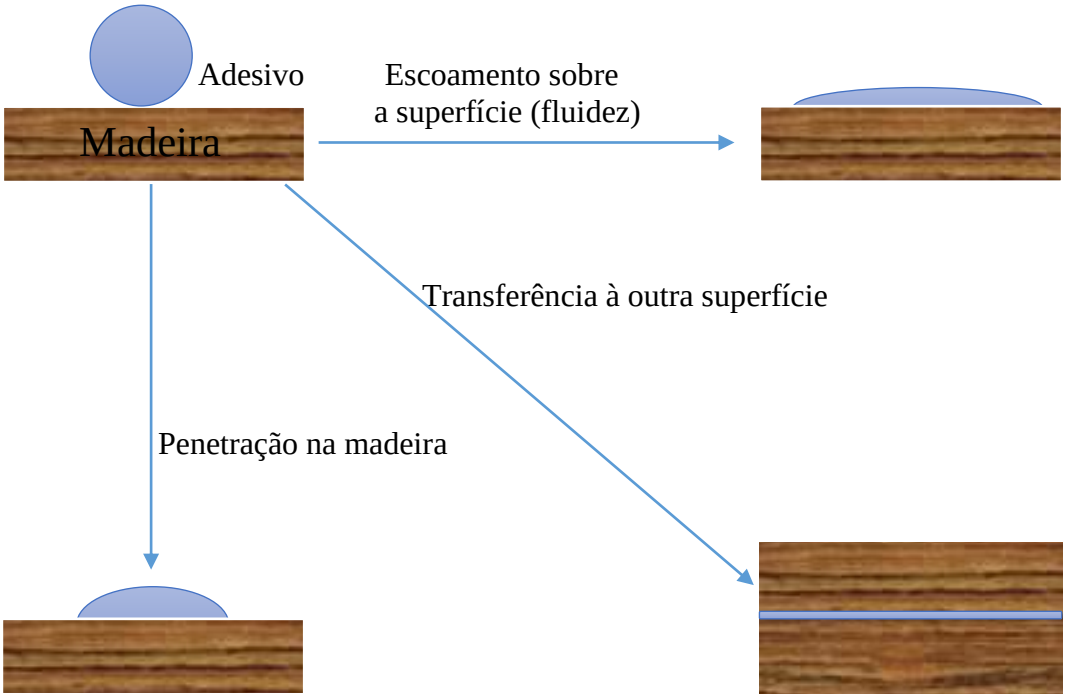


Figura 2. 16– Formas de interação entre o adesivo e a madeira. (Adaptado de FRIHART, 2005).

Petrie (1999) afirma que o molhamento insuficiente causa menos área real de contacto entre o adesivo e aderente, e desenvolvem regiões de stress e pequenas bolsas de ar ao longo da interface.

O ângulo de contato teta (θ) permite quantificar a afinidade do líquido pelo sólido, a Figura 2.17, ilustra o ângulo de contato entre o adesivo e a madeira.

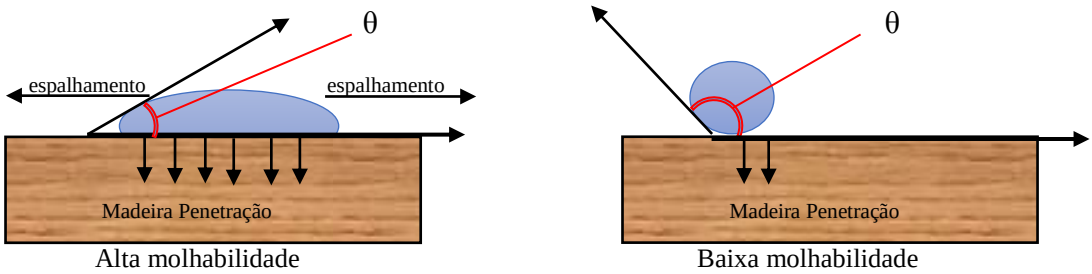


Figura 2. 17 - Esquema do ângulo de contato formado pelo líquido sobre a superfície da madeira. (Adaptado de JENNINGS, 2003).

Quando o ângulo é grande a molhabilidade é baixa e vice-versa. Se o ângulo é nulo a molhabilidade é perfeita, e indica a máxima afinidade do adesivo pelo substrato (MANO; MENDES, 2004).

De acordo com Jennings (2003), ângulos grandes de contato podem ser influenciados por diversos fatores, como tensão superficial do líquido, energia de superfície da madeira, rugosidade superficial da madeira, viscosidade do líquido, porosidade da madeira e orientação com relação à grã. Portanto madeira não é um material fácil de extrair medidas de ângulo de contato devido a aspectos como a porosidade que favorece o espalhamento ou absorção do líquido.

2.6.2 Viscosidade

Para Frihart e Hunt (2010) a viscosidade do adesivo é importante durante a aplicação, afeta fortemente mobilidade o fluxo e a penetração, e, em particular, a transferência de adesivo para superfícies da madeira oposta, quando a pressão é aplicada no conjunto. A viscosidade do adesivo depende do tipo de adesivo, a quantidade de solvente, a idade do adesivo e da temperatura. Segundo os mesmos autores após a aplicação, a viscosidade do adesivo pode se modificar, dependendo da propagação e da quantidade de adesivo utilizado; espécies, teor de umidade e temperatura da madeira; temperatura e humidade do ar ambiente; evaporação e absorção de solvente.

Viscosidade segundo Iwakiri (2005) é a resistência ao fluxo ilustrada por um fluido, disponibilizando muitas características e propriedades do adesivo, da natureza molecular e da composição. Todavia, a viscosidade será interpretada, principalmente, no sentido de fluidez (mobilidade) do adesivo, como sua função mais forte na linha de cola, e relata que a viscosidade dos adesivos PVAc está na faixa de 6000cP a 8000cP a temperatura de 25ºC.

Segundo Albuquerque e Latorraca (2005) quando a viscosidade do adesivo for alta dificulta o espalhamento do mesmo sobre a madeira, provoca condições desfavoráveis de umectação e resulta em menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, causando qualidade inferior de colagem, e quando a viscosidade for baixa, a penetração do adesivo na madeira pode ocorrer em demasia.

Frihart (2005a) relata que quanto maior for o teor de água na composição do adesivo, menor sua viscosidade, madeira com baixo teor de umidade tende a absorver a água do adesivo, aumentado sua viscosidade dificultando a penetração na madeira, assim como o alto teor de umidade da madeira retarda a penetração do adesivo, pois a água existente impossibilita a penetração. O mesmo autor menciona que a penetração do adesivo na madeira cresce linearmente tanto para o tempo como para a pressão de prensagem, e que o aumento da temperatura torna o adesivo mais fluído até certo ponto, contribuindo com a penetração.

Porém, temperaturas muito elevadas limitam o tempo de cura, pois ocorre a polimerização do mesmo, diminuindo a penetração do adesivo na madeira. Através da Figura 2.18 são ilustradas as variáveis do processo de penetração do adesivo.

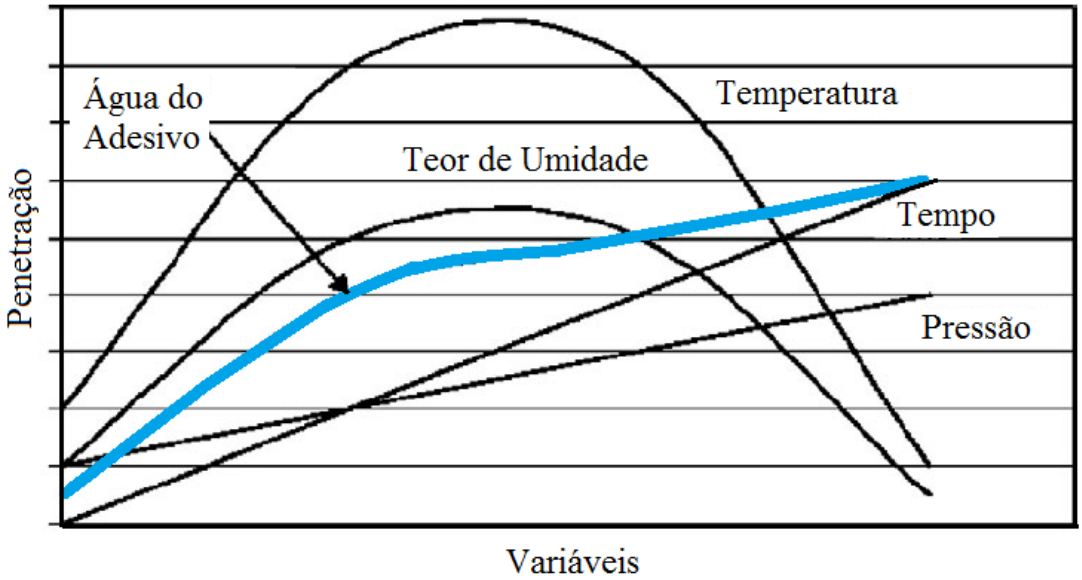


Figura 2. 18- Variáveis do processo de penetração do adesivo. (Adaptado de FRIHART, 2005a).

Segundo Prata (2010) adesivo com baixa viscosidade, nem sempre significa que este contenha mais água, pois existem adesivos com altos teores de sólidos, mas com a viscosidade baixa.

Com relação à qualidade da colagem, cabe ressaltar que não são desejáveis valores extremos de viscosidade. Quando a viscosidade do adesivo é alta, a distribuição uniforme do adesivo sobre a madeira é difícil, ocorrendo insuficiente penetração na estrutura da madeira, prejudicando a umectação e podendo originar em linha de cola espessa. Entretanto adesivos com baixa viscosidade têm maior penetração e sua absorção pela madeira também é maior, sendo que em situações extremas pode resultar em linha de cola faminta ou de absorção excessiva pela madeira (ALMEIDA, 2009).

2.6.3 Adesão

No processo de colagem há dois fenômenos físico-químicos: a adesão e a coesão. A adesão é a resistência mecânica da interface entre o filme adesivo e o substrato, enquanto que a coesão é a resistência interna do filme adesivo através de forças de valência primárias ou secundárias. A força coesiva de um adesivo polimérico depende do tamanho molecular, da

organização macromolecular e da uniformidade supermolecular (MANO; MENDES, 2004). A Figura 2.19 ilustra os fenômenos de adesão e coesão em um processo de colagem.

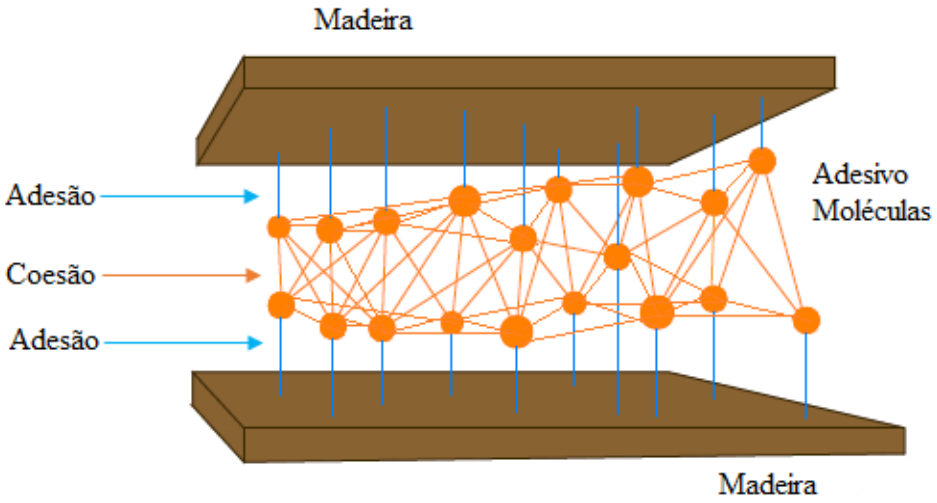


Figura 2. 19- Fenômenos de adesão e coesão em um processo de colagem. (Adaptado do blogadesivoindustrial.com.br).

Segundo Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975) a coesão é causada pelas forças de atração entre átomos ou moléculas. Fundamentalmente, as forças de coesão e adesão são idênticas. Geralmente, a adesão é a força adesiva das moléculas adjacentes. Esta força do adesivo somente será desenvolvida se as moléculas estiverem suficientemente próximas para ocorrer interação (distância abaixo de 3 x 10^{-8}cm). Nesta proximidade as moléculas podem interagir.

Frihart e Hunt (2010) descrevem que o adesivo é responsável pela adesão da madeira e produtos de madeira, que envolve fatores químicos e mecânicos. Para Vick (1999) a adesão entre componentes da madeira depende de diversos parâmetros, relacionados às características físico-químicas do material e do adesivo, do procedimento adotado na colagem, na forma geométrica e no tamanho das peças a serem coladas, nas condições a que as peças coladas serão expostas.

A adesão é resultante do contato molecular entre dois materiais que desenvolvem forças de atração superficiais. Para que ocorra uma boa adesão é necessário um contato íntimo e contínuo entre o adesivo e o substrato, sendo necessário que o adesivo umidifique a madeira, fenômeno que envolve a migração do adesivo para dentro da estrutura microscópica da parede celular (GALEMBECK; GANDUR, 2001).

Segundo Schultz e Nardin (2003) a estabilidade mecânica de juntas coladas esta é influenciada por vários fatores como: anatomia da madeira, umidade da superfície de madeira, a força coesiva da linha de cola e a penetração do adesivo na madeira.

Jakes, Stone e Frihart (2007), Follrich *et al*. (2010) descrevem que de penetração do adesivo na estrutura porosa da madeira pode ocorrer na escala micrométricas, nesta escala a penetração do adesivo ocorre na célula lumina, ou seja, no lúmen, e na escala nanométrica a penetração do adesivo ocorre na parede celular.

Segundo Follrich *et al.* (2010) o fluxo hidrodinâmico e ação capilar são as principais causas para penetração do adesivo, sendo influenciados pela viscosidade, temperatura e a formulação do adesivo (teor de sólidos, distribuição de peso molecular).Outros fatores também podem apresentar efeitos sobre o resultado de adesão, como o espalhamento do adesivo, a pressão aplicada e as propriedades de superfície resultantes de processos de usinagem, incluindo limpeza da superfície, danos estruturais e rugosidade.

Pizzi (1983) cita que para dois materiais estarem colados com aderência máxima, o adesivo tem que fluir para molhar os aderentes, produzindo um contato íntimo antes de atingir um estado rígido (a cura). O mesmo autor, afirma que as moléculas do adesivo devem difundir na superfície para um maior contato com a estrutura molecular da madeira, de modo que as forças intermoleculares do adesivo e da madeira possam se tornar eficazes.

Frihart (2005a) descreve que há três etapas ou passos no processo de ligação adesiva. O primeiro é a preparação de superfície para proporcionar a melhor interação entre o adesivo com o substrato. O segundo o adesivo necessita formar um contato em nível molecular, com a superfície, assim, o adesivo deve ser um líquido, de modo que ele pode desenvolver um contato próximo com os substratos. O terceiro é a fixação, o qual envolve a solidificação e / ou cura do adesivo.

Para os autores como: Kollmann; Kuenzi e Stamm (1975), Pizzi (1994), Pietre (1999), Schultz e Nardin (2003), Fhirart (2005 a, 2005b) e Frihart e Hunt (2010) não há uma única teoria que explique a adesão de uma forma geral e abrangente, mas várias teorias tentam descrever a adesão entre o adesivo e o aderente. Kollmann; Kuenzi e Stamm (1975) acreditam que a combinação entre as teorias de adesão é o que mais se aproxima da realidade.

Segundo Schultz e Nardin (2003), enfatizam que estes modelos teóricos de adesão têm sido propostos, que, juntos, são complementares e contraditórios, mas não se anulam e dependem em grande parte do sistema escolhido. Cada uma destas teorias são válidas, em certa medida, dependendo da natureza dos sólidos em contato e com as condições de formação do sistema ligado. Também mencionam que normalmente estes modelos se

distinguem entre mecânica e adesão específica, sendo esta última calculada com base nos vários tipos de ligações (eletrostática, secundária, primária) que podem ocorrer entre dois sólidos.

Pizzi (1994), alerta que é necessário entender que cada teoria pode ser apropriada para uma classe particular de adesivos, sob certas circunstâncias. Muitas vezes, cada mecanismo faz uma contribuição para as forças de adesão na interface adesivo-substrato.

Na Figura 2.20 apresenta-se as interações do mecanismo de adesão que ocoreem entre duas peças de madeira e o adesivo e em qual cada elo é responsável por uma ação particular do adesivo cadeia.

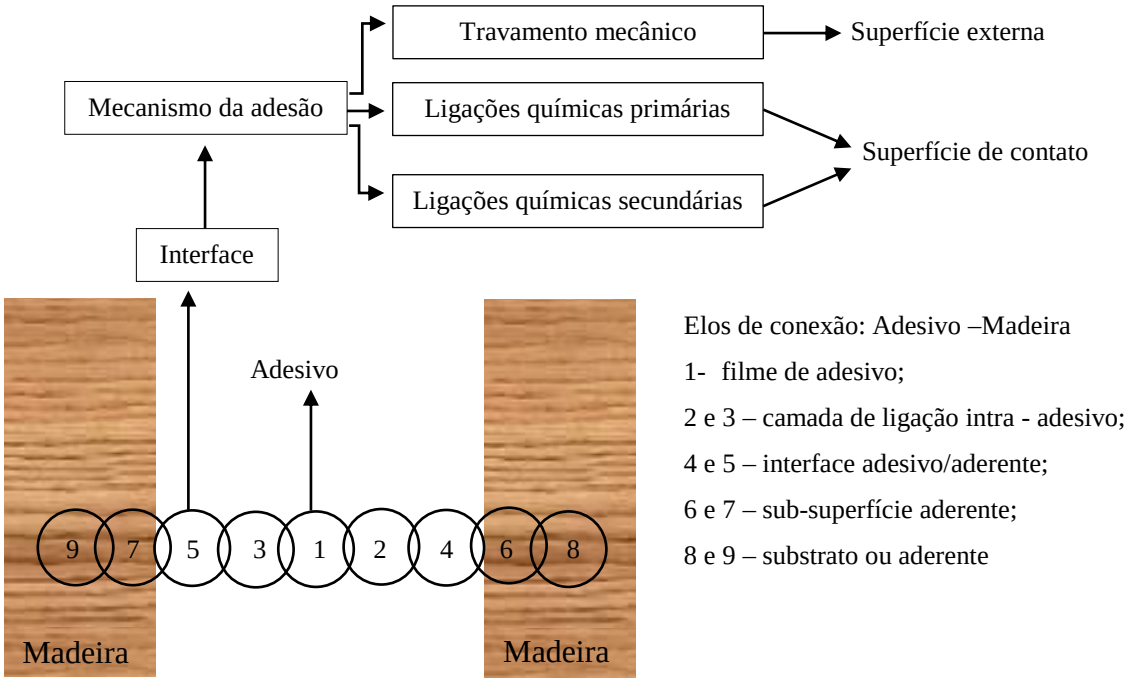


Figura 2. 20 - Elos de conexção entre adesivo e madeira. Elo de cadeia analogia para a adesão em madeira. (Adaptado de IWAKIRI, 2005 e CAO, 2010).

As teorias de adesão serão discutidas a partir da perspectiva de adesão da madeira e adesivos para madeira. As principais teorias existentes sobre adesão apresentadas na literatura são: Mecânica; Adsorção; Difusão; Adesão química e Eletrônica. As quais serão descritas a seguir.

Segundo Pizzi (1994) a teoria eletrônica não é aplicada para a adesão da madeira, e nenhuma evidência experimental demonstrou a existência ou algum tipo de contribuição desta teoria na adesão madeira.

Teoria mecânica

De acordo com a teoria mecânica, o adesivo líquido, devido à sua fluidez, penetra em substratos porosos, a penetração do adesivo deve deslocar o ar aprisionado na interface do substrato poroso, após a cura e endurecimento leva à formação de ganchos ou entrelaçamento mecânico do adesivo, que se prende nas camadas superficiais dos substratos, ficando fortemente presos (PETRIE 1999; VICK, 1999).

De acordo com essa teoria, a rugosidade, aspereza e irregularidades da superfície podem propiciar ganchos mecânicos para a ancoragem do adesivo, esse fator contribui para o aumento da adesão (PIZZI, 1994; PETRIE, 1999; SCHULTZ; NARDIN, 2003; ALLEN, 2005a, 2005b; PACKHAM, 2005a).

Enquanto que na escala macroscópica o travamento mecânico pode ser de pouca relevância, Allen (2005 b) afirma que na escala microscópica é vital. Allen (2005 a) comenta que a medida que a água do adesivo é perdida por evaporação e por difusão através dos dois materiais, haverá a interligação mecânica entre o adesivo solidificado e o outro material.

A madeira segundo Frihart e Hunt (2010) é um material que possui poros naturais, o mecanismo de ancoragem tem um papel importante na colagem de madeiras. Por ser um material poroso, a adesão da madeira e dos produtos de madeira devem ser realizadas por um mecanismo de encravamento mecânico, fazendo que os esforços solicitados sejam transmitidos entre os componentes aderidos, aumentando a resistência e a rigidez da madeira. Os mesmos autores mencionam que o ideal é que a interação entre adesivo e madeira seja tão resistente quanto à própria madeira, sendo que o rompimento ocorra na madeira.

Uma boa penetração do adesivo na madeira é um aspecto muito importante da colagem de madeira, se a penetração for profunda aumenta a área de superfície de contato entre adesivo e madeira tornando-se mais eficaz mecânica encravamento (VICK, 1999; FRIHART, 2005a, 2005b; FRIHART; HUNT, 2010).

Segundo Frihart, Jakes e Stone (2007) sobre a penetração do adesivo na escala micrométrica, os adesivos devem penetrar e preencher os lúmens das células para proporcionar uma interligação mecânica. Cool e Hernández (2011) corroboram com essa ideia e relatam em seu trabalbalho, que a penetração do adesivo é favorecida pela quantidade e pelo número de lúmens celulares disponíveis.

Para uma ligação forte, o adesivo deve alcançar a camada de madeira intacta abaixo da superfície, o que ocorre através da penetração pelo lúmen celular ou pontuação, ou fenda na parede celular (ALBUQUERQUE; LATORRACA 2000).

Cao (2010) relata que a penetração do adesivo em substrato de madeira ocorre em dois níveis: a penetração bruta e penetração da parede celular, penetração bruta ocorre principalmente em lúmens celulares sendo esta penetração responsável pelo intertravamento mecânico, enquanto a penetração nas paredes celulares muda a resistência mecânica e reação à umidade.

Frihart (2005a, 2005b) afirma que vários fatores influenciam na penetração do adesivo no lúmen, sendo: o tamanho do lúmen, a área da superfície da madeira, o tempo de montagem, a pressão e a temperatura, a viscosidade do adesivo e as energias de superfícies envolvidas.

Vick (1999) reforça que a teoria mecânica é provavelmente o mecanismo primário pelo qual os adesivos se aderem a estruturas porosas, tais como a madeira.

Teoria Adsorção

Petrie (1999), Schultz e Nardin (2003), Mano e Mendes (2004) reforçam que a teoria da adsorção é a mais aplicada à adesão, esta teoria propõe que haja um contato íntimo entre o adesivo e o substrato. Os materiais aderem-se devido a forças interatômicas e intermoleculares, que são estabelecidas entre as superfícies do substrato e da película.

Segundo Allen (2005a, 2005c) esta teoria abrange explicações que dependem das ligações secundárias entre o adesivo e o aderente, sendo as forças de dispersão (ou de London) a mais importante, por tratar-se de uma força mais comum, encontrada praticamente em todos os materiais, e possuem um raio de interação curto. Embora estas forças sejam relativamente pequenas, tem-se demonstrado que são suficientemente grandes, para atrações consideravelmente maior do que quaisquer forças observadas.

Segundo Petrie (1999) para que as forças atrativas de Van der Waals comecem a atuar, as respectivas superfícies não devem ser separadas mais do que 5 Aº em distância entre as moléculas do adesivo e do substrato.

Allen (2005c) relata que todas as forças secundárias são de curto alcance e que os adesivos têm que passar por uma fase líquida, de modo que eles possam alcançar um contato estreito, o que é necessário para interação superfície - substrato.

Petrie (1999), Schultz e Nardin (2003) os critérios de boa adesão dependem de uma boa molhagem, embora esta seja uma condição necessária, mas não suficiente.

Teoria da difusão

Para Schultz e Nardin (2003) essa teoria admite que a adesão ocorre através da difusão de cadeias poliméricas ou de seus segmentos individuais a nível molecular, segundo os mesmos autores, ocorre tanto a difusão como a interdifusão, mencionando que essa teoria é de suma importância, pois ocorre absorção gradual de macromoléculas através de espaços formados por irregularidades, poros e cavidades na superfície do substrato.

Pizzi (1994), Mano e Mendes (2004) descrevem que esta teoria está diretamente ligada à penetração e à solidificação do adesivo. Isso requer que os segmentos da cadeia polimérica do adesivo e do substrato possuam mobilidade suficiente e sejam mutuamente compatíveis e miscíveis, o que ocorre se os dois materiais possuírem valores similares de parâmetro de solubilidade, permeando através de vazios, formados entre as macromoléculas adjacentes.

O fenômeno da interdifusão está envolvido a resistência da junta, a interdifusão depende de diferentes fatores, como tempo de contato, temperatura, natureza e peso molecular dos polímeros, essa teoria é de suma importância, uma vez que está diretamente ligada à penetração e à solidificação do adesivo. Em consequência, refletirá na resistência da linha de cola (SCHULTZ; NARDIN, 2003).

Teoria da adesão química

Segundo Pizzi (1994), a teoria da adesão química deve ser entendida como uma subdivisão da teoria da adsorção. Esta hipótese baseia-se que as ligações químicas formadas entre adesivo e substrato seriam consideradas como os principais mecanismos de adesão.

Para Schultz e Nardin (2003), é nítido que as ligações químicas formadas na interface adesivo-substrato podem participar em grande medida para o grau de adesão entre os dois materiais.

As ligações químicas segundo Pizzi(1994) Schultz e Nardin (2003), Frihart e Hunt (2010), estão divididas em ligações primárias (ligações covalentes, iônicas e metálicas) em comparação às interações físicas, e ligações secundárias tais como as forças de Van der Waals, (forças dipolo-dipolo, dipolo permanente) e ligação de hidrogênio ou pontes de hidrogênio, estas ocorrem com tanta frequência sendo muito importante para a resistência de união, especialmente tendo em conta alta a área de contato do adesivo com a madeira.

A resistência ou energia de adesão das ligações primárias apresenta maior magnitude do que aquelas provenientes de forças secundárias (PIZZI, 1994; SCHULTZ; NARDIN, 2003; FRIHART; HUNT, 2010). Segundo esses autores, a adesão seria resultante do contato molecular entre o adesivo e a madeira, que desenvolveria forças de atrações superficiais,

especialmente forças de Van der Waals. Petrie (1999) e Packham (2005 b) corroboram com essas afirmações sobre as forças de Van der Waals, sendo estas as mais importantes relativas à adesão.

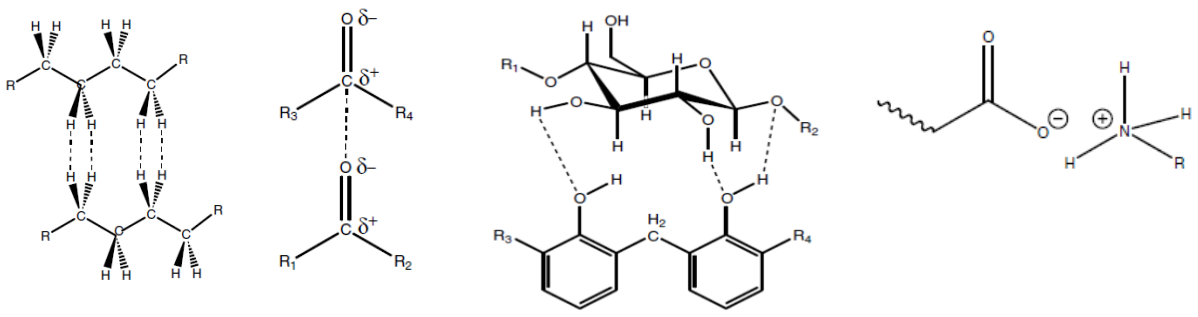
Packham (2005 c) relata que as pontes ou ligações de hidrogênio dão origem a laços de forças intermediárias entre as ligações primárias e secundárias.

A Tabela 2.13 caracteriza os tipos de ligações químicas e suas energias que podem atuar na interface ou no interior da massa de um material.

Tabela 2. 13- Tipos de l igações químicas e suas energias (Adaptado de PIZZI, 1984; PETRIE, 1999; MANO; MENDES, 2004).

Tipo de ligação química		**Fonte de força**	**Energia Ligação (KJ / mol)**
Forças primárias		Forças covalentes	60–700
		Electrostáticas ou iónicas	600-1000
		Metálicas	100-350
Doador - aceptor		Interação ácido – base Lewis	Até 80
		Interação ácido – base Brønsted	Até 1000
Forças secundárias	Van Der Waals	Força de Dispersão (London)	0,1-40
		Dipolo–diplo permanente	4-20
		Dipolo–diplo induzido	Até 2
	Pontes de hidrogênio	Com flúor	Até 40
		Com oxigênio, nitrogênio	10-25

A Figura 2.21 ilustra algumas possíveis interações de ligações químicas entre moléculas.



a) b) c) d)

Figura 2. 21- Exemplos de alguns tipos ligações: a) dispersão de London, b) dipolo permanente, c) ligação de hidrogênio, d) ligação iônica. (FRIHART ,2005 a).

2.7 Ligações Químicas e Forças Intermoleculares

2.7.1 Definições

Os átomos unem-se através das ligações químicas, e estas podem ocorrer de maneiras diferentes, como as forças eletrostáticas, as ligações covalentes e as interações ácido-base, detalhadas a seguir:

Forças Eletrostáticas: surgem da interação entre átomos (íons) ou moléculas carregadas eletricamente por cargas opostas. Esta força de atração eletrostática que mantém "dois" íons (átomos ou moléculas) de cargas opostas unidos (ATKINS; JONES, 2001).

Ligações Covalentes: são formadas pelo compartilhamento de elétrons das camadas externas dos átomos que constituem uma molécula, sendo que os elétrons do par compartilhado pertencem a ambos os átomos, ou seja, um de cada (ATKINS; JONES, 2001).

Segundo Solomos (2009) a força de Van der Waals podem ser atrativas ou repulsivas (nuvens eletrônicas muito próximas se repelem) entre entidades moleculares ou entre grupos dentro da mesma entidade molecular. A expressão inclui forças; dipolo-dipolo; dipolo-dipolo induzido e forças de London (forças de dispersão) ou dipolo instantâneo-dipolo induzido.

- *Interação dipolo-dipolo (Forças de Keesom)* - ocorre entre moléculas polares, devido a eletronegatividade dos átomos que constituem uma molécula, fazendo com que esta apresente cargas (dipolos permanentes) em função da distribuição não uniforme dos elétrons ligantes. As atrações dipolo-dipolo faz com que as moléculas se orientem de tal forma que a extremidade positiva de uma molécula seja direcionada no sentido da extremidade negativa da outra molécula (SOLOMOS, 2009).

  As distâncias intermoleculares de interações dipolo-dipolo normais estão em torno de 3,5 a 4,5 Å (GALEMBECK; GANDUR, 2001).
- *Interação dipolo-dipolo induzido* - Uma molécula com dipolo permanente pode provocar um dipolo induzido em uma outra molécula vizinha, gerando uma força de atração dipolo-dipolo induzido.
- *Forças de dispersão (Forças de London)* ocorrem em moléculas apolares, são forças fracas entre átomos ou moléculas, devido a flutuações momentâneas da distribuição eletrônica da nuvem carregada, gera um dipolo induzido nas moléculas vizinhas (SOLOMOS, 2009). Trata-se da força de adesão mais comum, encontrada em praticamente todos os materiais, é responsável, pela coesão molecular de polímeros apolares como o polietileno, borracha natural, adesivos (GALEMBECK; GANDUR, 2001).

- *Ligações de hidrogênio ou pontes de hidrogênio*: são atrações dipolo-dipolo muito fortes e ocorre somente quando o átomo de hidrogênio estiver ligado a um átomo pequeno e muito eletronegativo, sendo apenas F, O, N satisfazem as condições necessárias (SOLOMOS, 2009). Quando o hidrogênio está ligado a um átomo muito eletronegativo, a densidade eletrônica em torno do próton fica muito baixa; esta parte da molécula é então fortemente atraída pelos pares de elétrons do F, O, N de outra molécula, estabelecendo então a ligação de hidrogênio.

  As distâncias intermoleculares de interações por pontes de hidrogênio são de cerca de 2 a 3 Å. (GALEMBECK; GANDUR, 2001).

Interações Ácido-Base: teoria de Brönsted-Lowry – ácido substância doadora de prótons (H^+) e base substância receptora de prótons (H^+). Teoria de Lewis – ácido substância receptora de um par eletrônico e base substância doadora de um par eletrônico (ATKINS; JONES, 2001).

2.7.2 Interações das ligações químicas com a madeira

A madeira é um material poroso, anisotrópico e higroscópico (KOLLMANN, 1959; VICK, 1999). A madeira tem capacidade de adsorver água, isto se deve principalmente as polioses (hemiceluloses), seguidas das celuloses. A adsorção da água ocorre com maior intensidade na celulose principalmente na camada S2 da parede celular. Na parede celular a água ocupa somente os espaços entre as cristalites, nas zonas amorfas das microfibrilas de celulose. Nessas zonas, as ligações entre as cadeias celulósicas são muito mais fracas do que as correspondentes existentes nas regiões cristalinas, sendo os sítios disponíveis para ligação mais abundantes (VITAL; MACIEL; DELLA LUCIA, 2005).

Segundo Schultz e Nardin (2003), Frihart (2005 a) a formação de ligações químicas depende da reatividade do adesivo e do substrato e dos diferentes tipos de ligações primárias e sundárias que ocorrem. A adesão específica é o resultado da ação de forças intermoleculares de naturezas primária e secundária, cujo efeito se manifesta nas regiões interfaciais dos substratos (PIZZI, 1994).

As moléculas do adesivo devem difundir na superfície da madeira, e entrar em contato com a estrutura molecular da madeira de modo que forças de atração intermoleculares entre adesivo e madeira pode se tornar eficaz (VICK 1999).

Frihart, Jakes e Stone (2007) descrevem que na escala nanométrica, alguns adesivos difundem-se para as paredes celulares e possivelmente reagem com os componentes

poliméricos da madeira, mas como esta difusão afeta as propriedades mecânicas da parede celular, ainda não está claro.

Vick (1999) descreve que as pontes ou ligações de hidrogênio são importantes para a atração interfacial dos adesivos polares com a hemicelulose e os materiais celulósicos, que são ricos em grupos hidroxilas (polares), estas forças físicas de atração são referidas como adesões específicas, para que ocorra esta interação é importante a molhabilidade, fluidez, penetração e adsorção do adesivo sobre as estruturas moleculares da madeira.

Frihart (2005a) relata que quase todos os componentes que constituem a madeira são ricos em grupos hidroxila e alguns contêm grupos ácidos e ésteres carboxílicos. Estes grupos formam ligações de hidrogênio muito forte, estas ligações internas e externas que dão a madeira a sua força. Todos os adesivos de madeira têm grupos polares que podem formar ligações de hidrogênio internas e externas com a madeira. Também diz que existe uma limitação na ligação de hidrogênio, na presença da água a ligação pode ser interrompida, e formar outros grupos de ligação de hidrogênio com a água, este processo suaviza as ligações intercadeias, de modo que eles são menos capazes de resistir à cargas aplicadas. Assim quando a madeira absorve a água, vai enfraquecendo as ligações e perdendo sua força de adesão formando uma zona de falha.

Frihart (2005b) cita que vários trabalhos na literatura indicaram que a hemicelulose é o principal composto formador das ligações de hidrogênio na superfície da madeira, devido à sua maior acessibilidade.

Outro tipo é a interação comum que ocorre entre o adesivo e a madeira doador-aceitador, são ligações fortes que podem ser formadas a partir de interações ácido-base (Brønsted). Algumas interações ácido-base, de cátions com ânions são possíveis na adesão a substratos. A madeira contém ácidos carboxílicos que podem formar sais com os adesivos que contêm grupos básicos, tais como a amina grupos de melamina-formaldeído, de proteínas, e adesivos de epóxi curado com amina (FRIHART, 2005a).

O modelo eletrostático segundo Frihart (2005a) é outro modelo de adesão que, geralmente, não está relacionada com o passo de formação da ligação, mas é observado durante vínculo quebra adesivo-madeira.

Apesar das ligações covalentes entre o adesivo e a madeira parecem plausível com alguns adesivos, Pizzi (1999), Frihart (2005 a) e Frihart e Hunt (2010) afirmam que este tipo de ligação não existe entre o adesivo e a madeira.

Frihart (2005a) descreve que muitos adesivos sintéticos são menos dependentes da ligação de hidrogênio por sua força coesiva porque eles têm ligações cruzadas internas, mas certamente formam ligações de hidrogênio com a madeira.

Com parênquima, as células da fibra, vasos, canais de resina, e células dos raios que variam na sua composição e estrutura do lenho inicial, lenho tardio, alburno e domínios de cerne, há uma enorme variedade de superfícies de ligação, cada um dos quais podem interagir de modo diferente com os adesivos. A diferença mais dramática é muitas vezes entre espécies de madeira por causa da grande diferença na anatomia celular (FRIHART, 2005b).

Segundo Kollmann; Kuenzi e Stamm (1975) adesivos de PVAc não são recomendados para a colagem de superfícies não porosas ou muito pouco porosas, o que justifica uma boa adesão a madeira, geralmente, as madeiras das folhosas por serem mais densas e menos porosas apresentam maior dificuldades de colagem do que as coníferas que são menos densas e mais porosas.

Frihart (2005b) relatou em seu trabalho que o adesivo PVAc demostrou um bom fluxo nos lúmens das células expostas, mas devido ao seu alto peso molecular impede a penetração da parede celular.

Follrich *et al*. (2010) corroboram com essa ideia afirmando que adesivos a base de PVAc penetram apenas nos lúmens das células, mas não penetram nas paredes celulares.

2.8 O Processo de Fresamento na Usinagem da Madeira

Koch (1964) descreve que o processo de usinagem fresamento da madeira, pode ser chamado aplainamento, onde é feita a remoção do excesso de material em uma peça formando cavacos que são produzidos a partir do contato da peça com a ferramenta utilizada.

Segundo Gonçalves (2000) em razão de uma estrutura ordenada na madeira, caracterizada por um crescimento orientado das fibras, dos vasos e raios, as propriedades físicas e mecânicas variam segundo a direção considerada. Os diferentes modos de cortar não podem ser abordados sem uma definição prévia do comportamento anisotrópico da madeira. Existem três direções principais relativas ao corte, padronizadas na literatura específica, como descritas a seguir:

- *Direção Longitudinal ou Axial*: corte paralelo às fibras;
- *Direção Radial:* corte perpendicular às fibras;
- *Direção Tangencial:* corte perpendicular às fibras.

Mckenzie (1960) sugeriu que para os diferentes sistemas de corte da madeira uma notação, onde o primeiro número desta representa o ângulo da aresta de corte em relação à direção das fibras e, o segundo número fornece o ângulo da direção do movimento em relação à direção das fibras. Temos: Corte 90-0: A aresta de corte faz um ângulo de 90º com a direção das fibras e a direção de movimento a 0º com a direção das fibras.

Gonçalves (2000) menciona que a maioria dos pesquisadores envolvidos com forças de usinagem no corte ortogonal paralelo às fibras tem preferido usar a direção de corte 90-0 e combinação ($Z \pm \theta$), porque essa direção minimiza o efeito confuso dos anéis de crescimento e variações na densidade.

No fresamento convencional ou discordante (*up-milling*), as ferramentas movem-se contrariamente ao movimento da peça; enquanto que no fresamento concordante (*dow-milling*) a ferramenta e a peça se movimentam na mesma direção. Este tipo de classificação somente vale no fresamento cilíndrico tangencial, de grande utilização no beneficiamento de madeiras (GONÇALVES, 2000).

No corte fresamento discordante, o sentido do movimento de avanço é contrário ao sentido do movimento de corte e a espessura de corte aumenta progressivamente de zero até um valor máximo. O corte começa a retirar material da peça e no início desta operação, a componente vertical da força de usinagem tende a afastar a ferramenta da peça e empurra a peça contra a mesa da máquina, enquanto que no final da operação de um dente, a aresta tende a retirar a peça da mesa (DINIZ *et al.*, 2001).

Apresenta-se a seguir, os movimentos e relações geométricas para o fresamento cilíndrico tangencial discordante com suas respectivas terminologias, segundo a Norma ABNT 6162/88, adotada para processos de usinagem em metais (GONÇALVES, 2000).

A Figura 2.22 ilustra os movimentos e relações geométricas para o fresamento cilíndrico tangencial discordante.

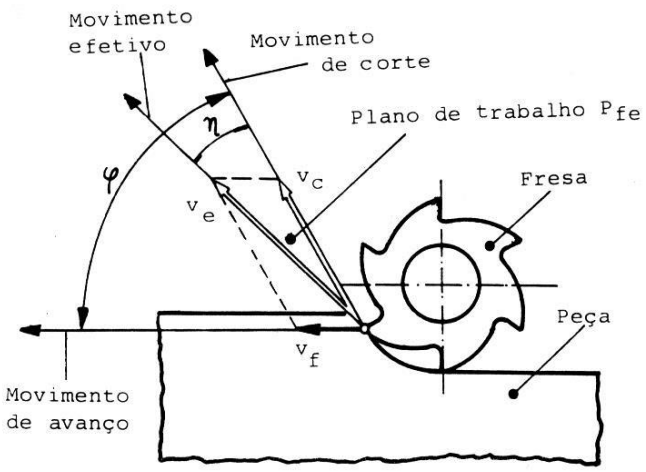


Figura 2. 22 - Geometria do fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).

Baseado nos conceitos da geometria do processo fresamento dado pela Norma ABNT 6162/88, Gonçalves (2000) estende os mesmos para o processo de usinagem de madeiras, apresentando os movimentos relativos entre a aresta de corte e a peça no processo de fresamento periférico, conforme ilustrado nas Figuras 2.23 e 2.24.

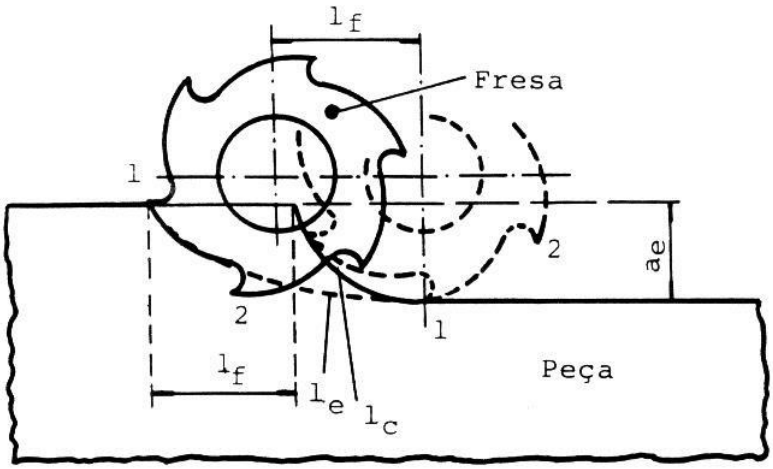


Figura 2. 23- Percurso de corte (L_c), percurso de avanço (L_f) e percurso efetivo (L_e) no fresamento discordante. (Norma ABNT 6162/88).

Os movimentos e grandezas de avanço são referidos à peça parada, e, normalmente representados com uso de outros parâmetros, são eles: "$\mathbf{P_{fe}}$" o plano de trabalho, o qual passa pelo ponto de corte escolhido e contém as direções de corte e de avanço; "$\mathbf{V_c}$" a velocidade de corte em m/s; "$\mathbf{V_e}$" a velocidade efetiva em m/s; "$\mathbf{V_f}$ " a velocidade de avanço em m/min; "$\mathbf{a_e}$" a profundidade de corte em mm; "η" o ângulo de direção efetiva de corte e "φ" o ângulo de direção de avanço.

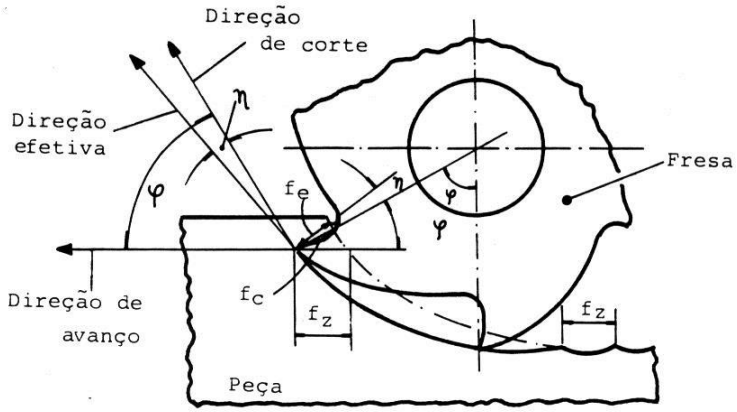


Figura 2. 24 - Avanço por dente (f_z), avanço de corte (f_c) e avanço efetivo (f_e) no fresamento discordante. (Norma ABNT 6162/88).

Das relações geométricas, temos: $V_f = f_z \cdot Z \cdot n$, ou ainda: $V_f = f \cdot n$. Sendo: "f_z" o avanço por dente da ferramenta em mm/rotação; "Z" o número de dentes da ferramenta; "η" a rotação da ferramenta por minuto [rotação/minuto] e "f" o avanço da peça em mm/minuto.

O processo de fresamento da madeira é denominado na literatura específica por Koch (1964) de "*Periferical Milling*", esta situação de usinagem, é denominada no Brasil por "Aplainamento de Madeira". Envolve a remoção de excesso da madeira em peça usinadas na forma de cavacos, os quais são formados pelo contato intermitente da peça com a ferramenta de uma ou mais facas que giram no porta-ferramentas. O conjunto do cabeçote porta-ferramenta com as lâminas de corte, mais os suportes de fixação e quebra cavacos, é de uso universal em máquinas para beneficiamento da madeira nos processos de aplainamento e fresamento nas mais variadas formas (geração de superfícies, rasgos, rebaixos, chanfros, molduramento em perfis etc.).

Atualmente utilizam-se ferramentas de um único corpo (fresas) multicortantes, com pastilhas ou lâminas de corte fixas no corpo da fresa ou intercambiáveis. O processo de serramento circular também se enquadra na situação de usinagem fresamento, porém o corte não se limita como periférico paralelo às fibras.

No fresamento, os ângulos de saída e de folga instantâneos mudam continuamente como função da profundidade instantânea de corte, o ângulo de saída efetivo se torna maior e o ângulo de folga efetivo se torna menor conforme a aresta executa o percurso efetivo de corte "L_e".

Goli *et al.* (2009) pesquisaram o fresamento periférico da madeira com corte discordante e concordante. No processamento da madeira, material anisotrópico, estes aspectos geométricos implicam diferenças relevantes na usinagem. Na verdade, o fresamento

de material anisotrópico leva a diferentes geometrias de corte quando discordante ou concordante, e quando aumenta ou diminui a profundidade de corte, resultando em grã de diferentes orientações dependendo do processo adotado.

No fresamento periférico a aresta cortante continuamente muda sua direção de corte relativa ao direcionamento das fibras até que emerge da peça. Esse efeito é ilustrado na Figura 2.25.

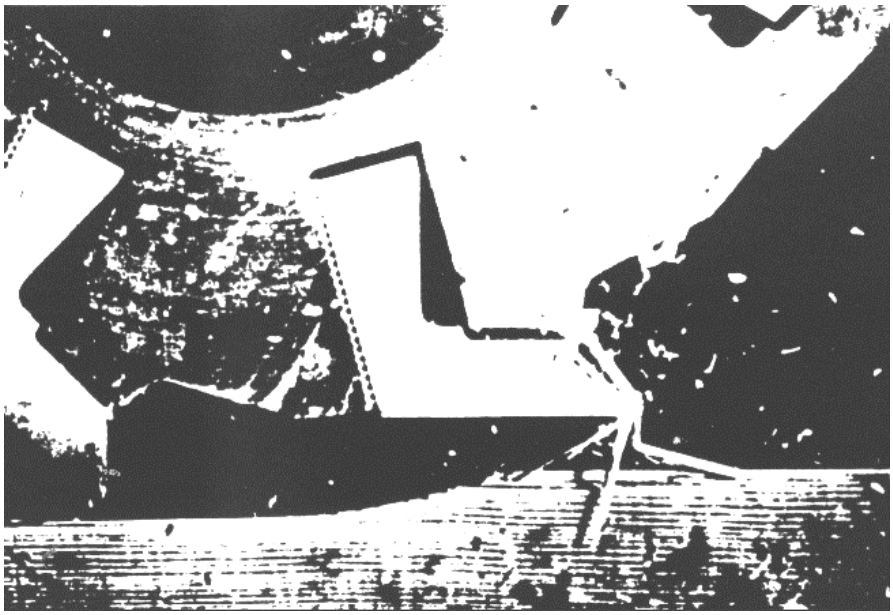


Figura 2. 25- Ilustração do processo de fresamento periférico discordante. (KOCH, 1964).

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Madeira utilizada na experimentação

As peças de madeira, objeto da experimentação, foram adquiridas em uma serraria no município de Bauru – SP, no formato de pranchas de 5,0 cm de espessura, larguras de 10,0; 15,0; 20,0 e 25,0 cm e comprimentos de 1,2; 1,5 e 1,8 m, a qual forneceu aproximadamente 5,0 m^3 de cada espécie, identificadas pelo fornecedor, como sendo da espécie *Eucalyptus saligna*.

Estando o material no estado de umidade úmido, com teores de umidade à base úmida acima de 30%, obtido pela medição por amostragem do lote de madeira, com medidor resistivo.

Tais pranchas estão ilustradas na Figura 3.1a, foram submetidas à pré-secagem pelo método de ventilação forçada ao ar em condições de temperatura ambiente, até que se atingissem teores de umidade próximos a 20% (Figura 3.1b), medida e controlada pelo instrumento de medição do teor de umidade, e a introdução da madeira serrada no secador (Figura 3.1c).

a) b) c)

4.

Figura 3. 1 a) Detalhe das pilhas de madeira serrada após recebimento, b) Vista geral do equipamento: módulo de secagem por ventilação forçada, c) Detalhe das pilhas de madeira serrada sendo introduzidas no secador (ALVES, 2012).

Após pré-secagem das pranchas, estas foram aplainadas em ambas as faces e posteriormente ao corte longitudinal em processo de serramento circular empregando-se a máquina serra circular multilâminas de cabeçote único e eixo inferior para geração de peças na forma de sarrafos, ilustrada na Figura 3.2.

Figura 3. 2- Serra circular multilâminas, empregada para geração de peças na forma de sarrafos (ALVES, 2012).

Após seccionamento das pranchas em sarrafos, estes foram submetidos ao processo de aplainamento em plainas desempenadeira e desengrossadeira, definindo-se uma seção transversal das peças de 4,2 x 4,2 cm, com superfícies isentas de irregularidades quanto ao empenamento. Com o novo formato retangular, as novas peças foram seccionadas no comprimento em serra circular destopadeira para padronização das dimensões em 1,2; 1,5 e 1,8 m, facilitando assim a seleção dessas para confecção de corpos de prova para experimentação, conforme descrito em detalhes em "Preparação das amostras de ensaios".

As peças de madeira depois de aplainadas foram entabicadas (camadas espaçadas por tabiques) ao processo de secagem por ventilação forçada, até atingir variações em seu teor de umidade próximo da faixa de umidade de equilíbrio referido ao peso úmido, qual seja 12% ± 4%, medida e controlada pelo instrumento de medição do teor de umidade.

Para confecção das amostras do presente estudo, a serem submetidas a ensaios de cisalhamento para determinação da resistência mecânica de juntas coladas, foram selecionadas peças do lote de madeira indicada pelo fornecedor como sendo da espécie *Eucalyptus saligna*. Em função da dificuldade de se efetuar uma caracterização anatômica das peças com grau de confiança adequado, a amostragem da madeira utilizada para confecção dos corpos de prova foi submetida à caracterização das propriedades físicas segundo a NBR 7190/1990, através da medição de densidade aparente e teor de umidade de todos os corpos de prova, das quais se registrou os seguintes valores mínimos e máximos: densidade de 0,87 g/cm³ a 1,02 g/cm³ e teor de umidade de 9,3% a 14,3%.

Cabe ressaltar neste item que a madeira adquirida para a pesquisa, teve origem de toras que apresentavam diâmetro próximo ou acima de 0,6 metros, identificados no pátio da

serraria. As quais apresentavam na seção transversal do topo uma alta concentração de anéis de crescimento por polegada medido na direção radial das toras.

3.1.2 Adesivos à base de PVAc

Os adesivos escolhidos e utilizados neste trabalho, foram adesivos à base PVAc das seguintes marcas:

- marca “Madeiranit” - cola branca Madeiranit, fabricado pela empresa de CNPJ 14.185.372/0001-44,
- marca “Henkel” - Cascola Cascorez Extra e Cascola Cascorez Cola Taco,
- marca “Eucatex” - Eucafloor.

Todos os adesivos estavam dentro do prazo de validade.

Na Tabela 3.1 estão apresentadas as características dos adesivos segundo os fabricantes.

Tabela 3. 1- Características dos adesivos segundo os fabricantes. (Adaptada)

Marca	Tipo de adesivo	Características
Madeiranit	PVAc	- Líquido, branco, viscoso.
Henkel	PVAc Cascola Cascorez Extra	- Líquido, branco, viscoso, livre de grumo e de materiais estranhos e odor característico de acetato de vinila; - Teor de sólidos 44,0 a 46,0%; - pH a 25ºC 4,0 a 5,0; -Viscosidade a 25ºC Brook.LVF 6000-8000cP; - Homopolímero; - Classificação D1 “EN-204”.
	PVAc Cascola Cascorez Cola Taco	- Líquido, branco, viscoso, livre de grumo e de materiais estranhos e odor característico de acetato de vinila; - Teor de sólidos 57,0 a 60,0%; - pH a 25ºC 4,0 a 6,0; -Viscosidade a 25ºC Brook.LVF 11000-16000cP; - Homopolímero; - Classificação D2 “EN-204”.
Eucatex	PVAc Eucafloor	- Líquido viscoso; - Classificação D3“EN-204”; - Resistência a umidade.

Para determinar a densidade dos adesivos, esses foram colocados em estufa para atingir a temperatura 25ºC, devido a baixa temperatura (19ºC), sendo aferidas com o termômetro infravermelho durante o experimento, utilizou-se seringas de 1ml, as seringas foram pesadas

e descontadas, em seguida foram adicionados os adesivos, esse procedimento foi realizado em triplicatas, para obter a densidade média de cada adesivo.

As viscosidades dos adesivos foram determinadas através do método do copo Ford, o qual mede o tempo de escoamento em segundos, sendo necessário selecionar o orifício adequado de acordo com o tempo de escoamento das amostras.

Segundo o fabricante o tempo final de escoamento do material deve ser realizado na primeira quebra do escoamento contínuo, o experimento foi realizado em triplicata para obter a viscosidade média.

A viscosidade em centistokes é determinada pela Equação 3.1, conforme a indicação do fabricante.

$$V= 3,85(t– 4,49) \qquad (3.1)$$

O viscosímetro foi nivelado, ajustando os pés niveladores, o orifício foi fechado com o dedo e o copo Ford preenchido com a amostra até o nível mais elevado, derramando os adesivos lentamente para que não surgissem bolhas.

O excesso de adesivo foi removido com uma placa de vidro, fazendo com que escorresse pela borda do copo.

Colocou-se um béquer entre os pés do viscosímetro, removeu-se o vidro plano, retirou-se o dedo do orifício e, um cronômetro foi acionado quando o adesivo começou a escorrer.

Assim que ocorreu a primeira interrupção do fluxo de escoamento, o cronômetro foi parado e anotou-se o tempo transcorrido em segundos.

A Tabela 3.2 apresenta os valores médios dos tempos de escoamento dos adesivos, da densidade e os resultados obtidos da viscosidade em Centistokes e Centipoises.

Tabela 3. 2- Valores médios do tempo de escoamento, densidade e viscosidade. (25ºC)

Adesivo	Tempo médio de escoamento (s)	Densidade média ($g.ml^{-1}$)	Viscosidade em Centistokes (cSt)	Viscosidade em Centipoises (cP)
Madeiranit	28.16	1,113	91,1295	10142,71
Cascola cascorez extra	22.43	1,153	69,069	7963,65
Cascola cola taco	32.93	1,37	109,494	15000,7
Eucafloor	25.20	1,193	79,7335	9512,21

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de De Conti (2011) que usou 2 tipos de adesivos para colagem de juntas da madeira *Eucalyptus* sp., sendo, o adesivo "WONDERBOND 2555", à base de PVAc, fabricado pela empresa "HEXION", e o adesivo "Cascorez - Cola Taco" à base de PVAc, da empresa "HENKEL". Determinando os valores médios da viscosidade dos adesivos pela lei de Stokes e obtendo o resultado para adesivo "Cascorez - Cola Taco" 147,781 Pa.s.

3.1.3 Máquinas, equipamentos e instrumentos

Máquinas de usinagem

- Plaina desempenadeira da marca "Rocco" PMS 350

A plaina desempenadeira foi utilizada para corrigir os defeitos de empenamento da face das peças de madeira. A Figura 3.3 ilustra o aplainamento de uma peça de eucalipto saligna.

Figura 3. 3– Ilustração do aplainamento de uma peça de eucalipto saligna.

- Plaina desengrossadeira da marca "Baldan" modelo DGR-4 400 mm.

Plaina desengrossadeira foi utilizada para desbastar e uniformizar espessuras das peças de madeira. A Figura 3.4 ilustra as peças de madeira sendo desengrossadas

Figura 3. 4- Peças de madeiras eucalipto saligna sendo usinadas

- Serra circular esquadrejadeira com eixo inclinável para corte de 45º a 90º da marca "Verry".

Na serra esquadrejadeira as peças de madeira foram cortadas em peças menores, usada para preparar os corpos de prova, como ilustrado na Figura 3.5.

a) b)

Figura 3. 5- Serra circular esquadrejadeira - a) corte longitudinal e b) corte transversal.

- Serra circular destopadeira marca "Bosch", modelo GCM12 SN 692270065.

A serra destopadeira foi utilizada para serrar perpendicularmente os sarrafos, para padronizar as peças em dimensões menores. A Figura 3.6 ilustra a serra destopadeira.

Figura 3. 6- Serra destopadeira.

- Plaina Moldureira Plus Advance - 5E 5/6 eixos da marca “OMIL” série 10-11 nº 1846 com faixa de velocidade de avanço entre 1 e 37 m/min ajustadas por inversor de frequência.

Na plaina moldureira, as superfícies das peças foram submetidas à usinagem cilíndrica tangencial com fresa, para a posterior aplicação dos adesivos. A Figura 3.7 ilustra a Plaina Moldureira Plus Advance -5/6E.

a) b)

Figura 3. 7- Plaina Moldureira Plus Advance – 5/6E.

Equipamentos de montagem das amostras

- Prensa Hidráulica da marca “Hidral-mac”, modelo HMP 80 T.

A prensa hidráulica foi usada a frio no processo de colagem dos sarrafos, conforme ilustrado na Figura 3.8.

a) b)

Figura 3. 8- a) Prensa hidráulica e b) prensagem dos sarrafos a frio

Instrumentos de medição e controle

- Tacômetro de contato digital marca “Minipa”, modelo MDT – 2245A.

O tacômetro digital foi utilizado para aferir as velocidades de avanço da plaina moldureira, conforme ilustrado na Figura 3.9.

Figura 3. 9- Aferimento da velocidade de avanço.

- Medidor de umidade da marca “DIGISYSTEM”, modelo DL 822; faixa de medição de 8% a 60% à base seca; capacidade de resolução de 0,1 %; visor de cristal líquido com 3,5 dígitos; martelete de medição com 4 eletrodos fixados em base de acrílico. Conforme ilustrado na Figura 3.10.

Figura 3. 10- Detalhe de medição da umidade em peça de madeira de *Eucalyptus saligna* após secagem.

- Balança semi analítica marca “Adventurer OHAUS”, modelo ARC - 120 Classe II nº 401179364.

A balança semi analítica foi usada para a pesagem dos adesivos, conforme ilustrado na Figura 3.11.

a) b)

Figura 3. 11- a) Balança semi analítica b) detalhe da pesagem do adesivo.

- Paquímetro digital marca “Digimess”.

O paquímetro foi usado para medir as dimensões dos sarrafos e dos corpos de prova conforme ilustrado na Figura 3.12.

a) b)

Figura 3. 12- a) Paquímetro e b) medidas das dimensões do sarrafo.

- Viscosímetro Copo Ford, modelo Q 280 Dim. Externas: 23 x 23 x 26cm (CxLxA), nº de série 13101322, orifício nº 4,12 mm.

  Utilizado para determinar a viscosidade dos adesivos, como é ilustrado na Figura 3.13.

Figura 3. 13- Viscosímetro (Copo Ford).

Segundo o fabricante o aparelho atende as normas NBR 5849, ASTM-D 1200 e MB 1117. As equações matemáticas são dadas pelo fabricante, para determinar a viscosidade cinemática em centistokes. Os orifícios com numeração de 1 a 5 são normalizados e os orifícios de 6 a 8 comparadores no tempo de escoamento. A faixa de medição para os orifícios números 2, 3 e 4 é entre 70 e 370 Centistokes.

- Estereoscópio marca “Leica”, modelo M80, acoplado com iluminador da marca “Leica”, modelo CSL150X.

  Equipamentos utilizados para observar e mensurar a linha de cola nos corpos de prova.

As técnicas de microscopia (óptica e eletrônica) permitem observar a penetração do adesivo na estrutura anatômica da madeira, visualizar a interface madeira-adesivo, a linha de cola, e os elementos anatômicos que foram preenchidos com adesivo. A Figura 3.14 ilustra os equipamentos utilizados na imagem da linha de cola.

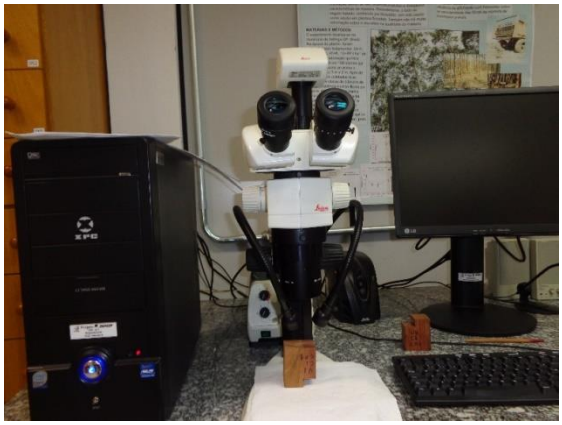


Figura 3. 14- Equipamentos utilizados na imagem da linha de cola.

- Termômetro infravermelho da marca “Minipa”, modelo MT – 360, com resolução de 0,5 ºC com faixa de medida -30 ºC – 550 ºC. MTB 360001797.

O termômetro foi utilizado para verificar a temperatura dos adesivos, na realização dos testes de densidade e viscosidade, como ilustra a Figura 3.15.

Figura 3. 15- Termômetro utilizado para determinar a temperatura dos adesivos.

- Estufa marca “Marconi” modelo MA 033 série 0328709.

As amostras de adesivos foram colocadas na estufa para atingirem a temperatura 25ºC para realizar o teste de viscosidade, conforme ilustrado na Figura 3.16.

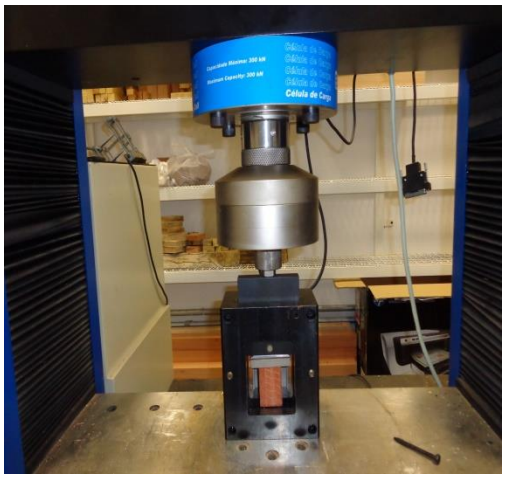
Figura 3. 16- Estufa usada para elevar a temperatura dos adesivos.

Máquina de Ensaio

- Marca "EMIC", modelo GR 048 Linha DL 300KN - máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais.

Para os ensaios de caracterização de resistência ao cisalhamento na linha de cola do pinus eliote e do eucalipto saligna, com planos aleatórios do mesmo material, empregou-se uma máquina de ensaio universal computadorizada, marca "EMIC", modelo DL 30000, com capacidade para realizar ensaios mecânicos para uma carga de até 30 toneladas, disponível no laboratório de Propriedades dos Materiais do Campus da UNESP de Itapeva. Conforme ilustrado na Figura 3.17.

a)



b)

Figura 3. 17- Máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais a) EMIC e b) Ensaio de cisalhamento na linha de cola.

3.2 Metodologia dos Ensaios

3.2.1 Ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola

Procedimentos dos ensaios

Em referência à NBR 7190:1997 – O cisalhamento na linha de cola que tem por objetivo a determinação da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola da madeira de um lote considerado homogêneo. A definição da resistência ao cisalhamento na linha de cola é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na linha de cola de um corpo de prova prismático, sendo dada pela Equação 3.3.

$$f_{v0} = \frac{f_{v0,máx.}}{\mathbf{A}} \tag{3.3}$$

Onde:

$f_{v0,máx}$ é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em Newton (N);

A é a área inicial da seção crítica do corpo de prova, num plano paralelo as fibras, em m^2.

As dimensões do corpo de prova segundo a NBR 7190 é dada na Figura 3.18.

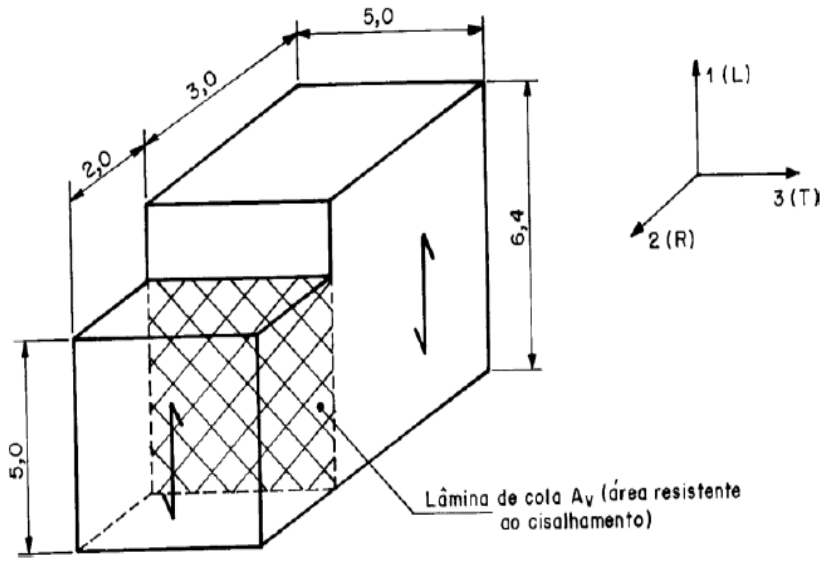


Figura 3. 18- Dimensões em centímetros, do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras (Fonte: NBR 7190 – 1997).

O arranjo de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola está indicado na Figura 3.19.

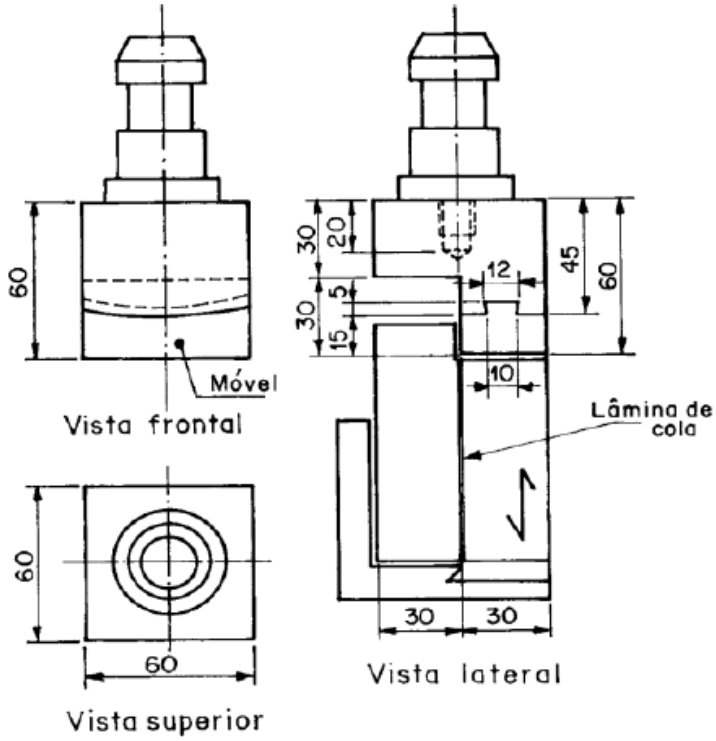


Figura 3. 19- Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm (Fonte: NBR 7190).

Preparação das amostras de ensaios

Nesse tópico apresentam-se a preparação das amostras para gerar os corpos de prova, amostras com indicação de anomalias e as amostras para ensaios de caracterização mecânica. Os corpos de prova confeccionados para a presente pesquisa foram preparados, de forma aleatória em relação aos planos de formação dos anéis de crescimento da madeira, quanto às composições da linha de cola nos diferentes planos.

Estes corpos de prova foram submetidos a ensaios normatizados pela NBR 7190:1997, para ensaios de resistência a ruptura na lâmina de cola por esforços de cisalhamento, empregando-se na linha de colagem, adesivo à base de PVAc disponível no mercado.

Destaca-se que as peças de madeira previamente selecionadas em função de sua classificação para remoção das anomalias, tais como: presença de nós; regiões de alburno; defeitos de formação; presença de regiões de medula ou de má formação com bolsões de

resina; dentre outras irregularidades; os planos (aleatórios) de colagem foram submetidos ao processo de usinagem de fresamento, para geração das superfícies na moldureira e posterior colagem, em operação realizada em uma Plaina Moldureira Plus Advance.

Foram selecionadas 34 peças de madeira e serradas com a serra esquadrejadeira, para obter as dimensões de 3,5 cm x 4,0 cm x 90,0 cm, para posterior marcação das peças e preparação dos corpos de prova.

Devido à seleção aleatória das peças de diversas partes do tronco, simulando assim, o que acontece nas empresas de processamento da madeira, obteve-se que anéis de crescimento ficaram orientados de diversas maneiras na seção transversal das peças.

As 34 peças de eucalipto saligna foram serradas, sendo 16 peças para obter dimensões 2,5x3,5x90,0 cm e 18 peças para obter dimensões 3,5x3,5x90,0 cm.

As peças selecionadas foram aplainadas em máquinas de aplainamento de superfícies, para que as imperfeições de planicidade das peças fossem removidas, devido a empenamentos oriundos da pré-secagem dos sarrafos e/ou da secagem natural posterior, a fim de proporcionar a regularização das peças.

Obtendo as dimensões de 2,2x3,5x90,0 cm para 16 peças e 3,2x3,5x90,0 cm para 18 peças.

Após aplainamento das superfícies e padronização das dimensões das peças, 2,2,x3,5x90,0 e 3,2x3,5x90,0 cm, estas foram submetidas ao processo de fresamento de uma das faces previamente selecionada e marcada, realizado em uma fresadora denominada por Plaina Moldureira Plus Advance - 5E 5/6 eixos, conforme ilustrado na Figura 3.20.

Figura 3. 20- Fresadora utilizada na geração das superfícies de colagem das peças.

Na plaina moldureira, as peças foram submetidas à usinagem cilíndrica tangencial com fresa, regulada para 1,63 mm de profundidade de corte e velocidade de avanço para aplainamento da superfície nas velocidades de avanço de 6,0; 11,0; 16,0 e 21 $m.min^{-1}$, as quais foram aferidas com tacômetro digital.

As velocidades de avanço denominadas neste estudo:

V1 - velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$;

V2 - velocidade de avanço 11,0 $m.min^{-1}$;

V3 - velocidade de avanço 16,0 $m.min^{-1}$;

V4 - velocidade de avanço 21,0 $m.min^{-1}$.

A Plaina Moldureira Plus Advance - 5E 5/6 eixos, apresenta a rotação do eixo porta-ferramenta de 6045 RPM, diâmetro da fresa 125 mm com 4 facas, sendo o material das facas aço rápido (HSS). Apresenta velocidade de corte V_c = 39,45 $m.s^{-1}$.

As velocidades de avanço de V1 = 6,0 $m.min^{-1}$; V2 = 11,0 $m.min^{-1}$; V3 = 16,0 $m.min^{-1}$ e V4 = 21,0 $m.min^{-1}$ correspondem, ao avanço por dente "f_z" da ferramenta de corte, respectivamente, f_{z1} = 0,25 mm; f_{z2} = 0,45 mm; f_{z3}= 0,66 mm; f_{z4} = 0,87 mm.

Após as peças serem submetidas à usinagem cilíndrica tangencial com fresa, tomando-se as peças duas a duas, com dimensões 2,0x3,5x90,0 cm e 3,0x3,5x90,0 cm, realizou-se a remoção de anomalias, tais como: presença de nós; regiões de alburno; defeitos de formação; presença de regiões de medula ou de má formação com bolsões de resina; dentre outras irregularidades, conforme ilustrado na Figura 3.21.

Figura 3. 21- Peças com indicação de anomalias.

Posterior à usinagem as peças foram seccionadas no comprimento em serra circular destopadeira para padronização dos comprimentos obtendo as seguintes dimensões 2,0x3,5x45,0 e 3,0x3,5x45,0 cm.

Procedimentos de colagem das amostras

Para os testes de resistência mecânica na linha de cola, as amostras foram coladas empregando-se adesivos comerciais à base PVAc na linha de colagem, denominados neste estudo por:

C1 – Cola branca Madeiranit, sem especificações (acredita-se que a classificação seja D1 “EN- 204”);

C2 – Cascola Cascorez Extra, classificação D1 “EN-204”;

C 3 - Cascola Cascorez Cola Taco, classificação D2 “EN-204”;

C 4 – Eucafloor, classificação D3 “EN-204”.

Neste trabalho de pesquisa todos os adesivos seguiram uma única recomendação, do fabricante da marca Henkel - Cascola Cascorez Extra, a gramatura $200g.m^{-2}$, e pressão de $13Kg.cm^{-2}$, devido ao fato que algumas marcas de adesivos não mencionavam tais especificações.

A Equação 3.2, foi usada para determinar a área dos sarrafos.

$$A_{mad} = LxC \qquad (3.2)$$

Onde: A_{mad} = área do sarrafo; L= largura; C= comprimento

A massa de adesivo obtida para a colagem das peças foi 3,15g, sendo padronizada para todos os adesivos, independentemente da marca.

As colagens das peças foram feitas de maneira aleatória em relação aos planos de formação dos anéis de crescimento da madeira, o adesivo foi distribuído com pincel na superfície da madeira para que ficasse o mais uniforme possível.

Após a aplicação do adesivo, juntou-se as partes das peças imediatamente, não ultrapassando um período de 5 minutos entre sua aplicação e a união das partes, para não comprometer a eficiência da colagem, evitando defeitos de colagem conforme a Figura3.22.

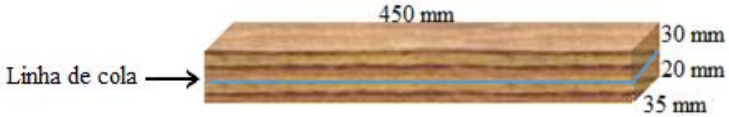


Figura 3. 22- Ilustração das dimensões das peças de eucalipto colada.

Nas extremidades das faces coladas passou-se fita adesiva para que os sarrafos não escorregassem e prensadas na prensa hidráulica, com pressão 13Kgf.cm^{-2} por cerca de 4 horas, o tempo de cura mínimo de 24 horas após prensagem a frio seguindo a recomendação do fabricante da marca Henkel - Cascola Cascorez Extra.

A Figura 3.23 ilustra as etapas da colagem e a prensagem das peças.

a) b) c)

Figura 3. 23- Etapas da colagem e a prensagem das peças: a) e b) etapas da colagem, c) peças sendo preparadas para serem prensadas.

Após 4 horas, retirou-se a pressão que atuava sobre as peças coladas, aguardando o tempo de cura. Posterior ao tempo de cura as peças foram retiradas da prensa, conforme a Figura 3.24.

Figura 3. 24- Peças retiradas da prensa.

Transformação das amostras em corpos de prova

Os procedimentos iniciais para preparação dos corpos de prova para submissão ao ensaio de cisalhamento na linha de cola, estes foram desempenados, desengrossados e serrados. Os corpos de prova confeccionados foram preparados, de acordo com a norma NBR 7190, resistência à ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento. Depois de confeccionados, obteve-se 192 corpos de prova os quais foram selecionadas em função de sua classificação para remoção das anomalias e outras irregularidades perceptíveis. Escolhidos os melhores corpos de prova como ilustrado na Figura 3.25.

Figura 3. 25- Corpos de prova conforme a NBR 7190.

Foram utilizados 12 corpos de prova para cada velocidade de avanço e para cada tipo de adesivo conforme ilustrado na Tabela 3.3.

Tabela 3. 3- Velocidades de avanço, tipos de adesivos e a quantidade de corpos de provas usados.

Velocidade ($m.min^{-1}$)	Tipo de adesivo	Nº de corpos de prova
V1- 6,0 $m.min^{-1}$	C1 – Madeiranit	12
	C2 – Cascola Cascorez Extra	12
	C 3 – Cascola Cascorez Cola Taco	12
	C 4 – Eucafloor	12
V2- 11,0 $m.min^{-1}$	C1 – Madeiranit	12
	C2 – Cascola Cascorez Extra	12
	C 3 – Cascola Cascorez Cola Taco	12
	C 4 – Eucafloor	12
V3- 16,0 $m.min^{-1}$	C1 – Madeiranit	12
	C2 – Cascola Cascorez Extra	12
	C 3 – Cascola Cascorez Cola Taco	12
	C 4 – Eucafloor,	12
V4- 21,0 $m.min^{-1}$	C1 – Madeiranit	12
	C2 – Cascola Cascorez Extra	12
	C 3– Cascola Cascorez Cola Taco	12
	C 4 – Eucafloor	12

Visualização da linha de cola

Antes de realizar os testes de cisalhamento na linha de cola, foram escolhidos dois corpos de prova para ilustrar a espessura da linha de cola através da Microscopia óptica obtida pela colagem das peças de eucalipto saligna.

O experimento para obter as imagens na linha de cola, foi realizado no laboratório de anatomia do campus da UNESP de Itapeva através do estereoscópio. A Figura 3.26 ilustra como foi realizada a mensuração da espessura da linha de cola.

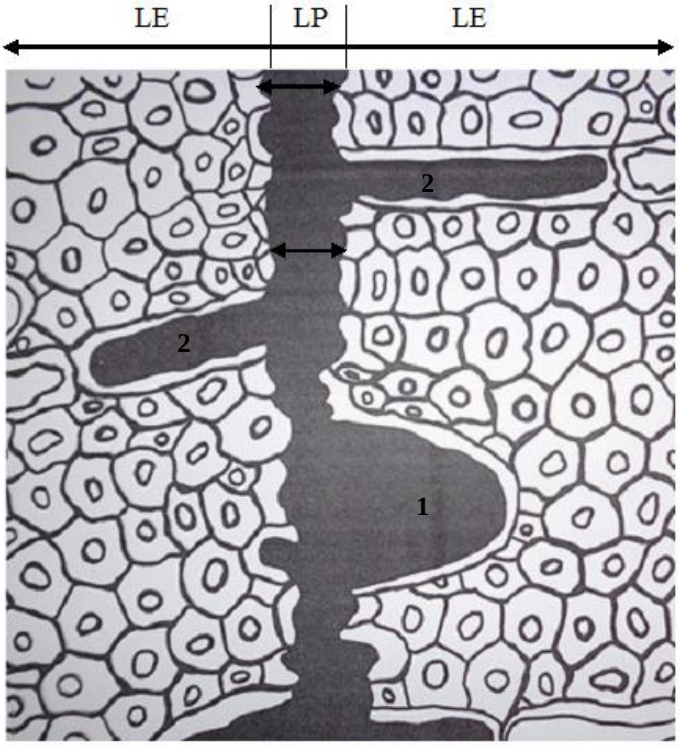


Figura 3. 26- Esquema da mensuração da espessura da linha de cola. LP: linha de cola principal; LE: linha de cola estendida; 1: vaso preenchido com adesivo; 2: raios preenchidos com adesivo. (Adaptado de ALBINO, 2009 e BIANCHE, 2014).

Os resultados obtidos para a velocidade de avanço 6 $m.min^{-1}$e adesivo cola taco com ampliação 25 vezes e 60 vezes foram 42,05 μm e 47,39 μm, para o adesivo madeiranit ampliada 60 vezes foi de 53,85 μm.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de Bianche (2014) que obteve os valores de: 69,1; 66,6 e 86,1 μm, na espessura da linha de cola do PVAc com a madeira de eucalipto, com a gramatura 150; 200 e 250$g.m^{-2}$ ambas prensadas a 12 $kgf.cm^{-2}$.

As imagens foram ampliadas em 25 vezes e 60 vezes, como ilustra as figuras 3.27 e 3.28.

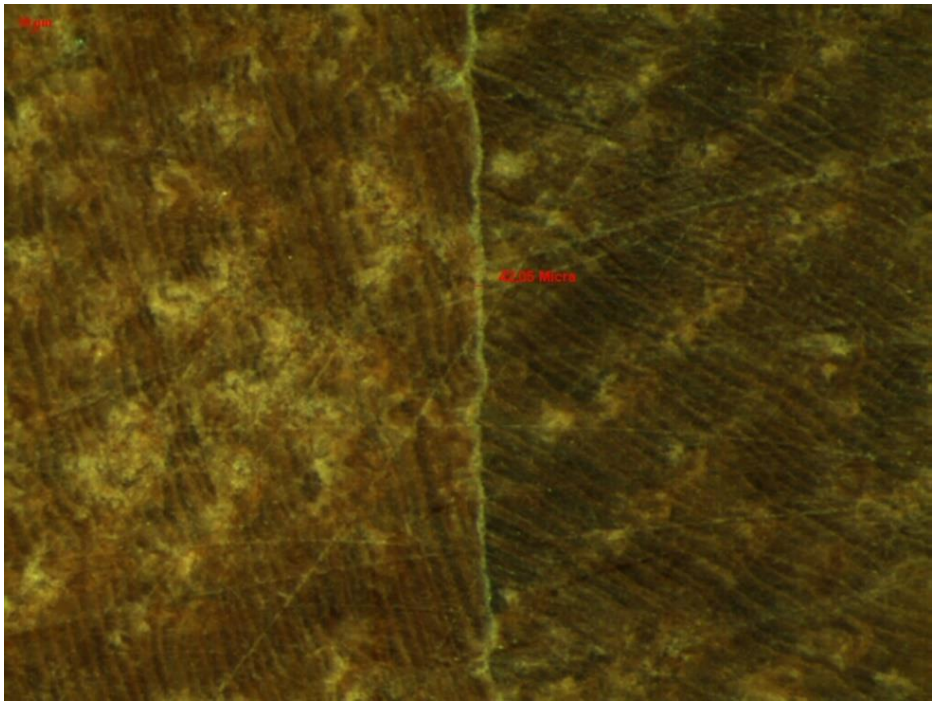


Figura 3. 27- Linha de cola ampliada 25 vezes V1C3 cp 7 (Fonte Autor).

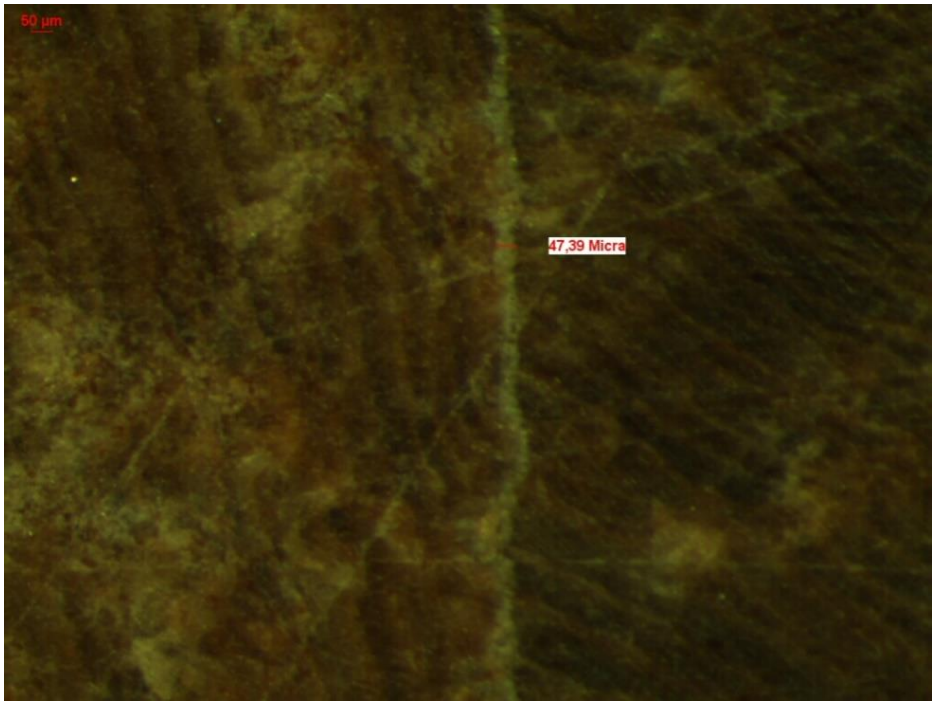


Figura 3. 28- Linha de cola ampliada 60 vezes V1C3 cp 7(Fonte Autor).

Ensaios de cisalhamento na linha de cola

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento na máquina de ensaio universal computadorizada “EMIC” conforme ilustrado na Figura 3.29 o ensaio de cisalhamento na linha de cola e ruptura dos corpos de prova.

A b c

Figura 3. 29 - Ensaio e ruptura dos corpos de prova: a) Ensaio de cisalhamento na linha de cola e b) Ruptura dos corpos de prova na linha de cola.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados na forma de tabelas e gráficos, os resultados obtidos dos ensaios de caracterização de resistência à ruptura dos corpos de prova na região da linha de cola, conforme descrito na metodologia para os ensaios de cisalhamento, seguido da análise e discussão dos resultados.

Todos os resultados dos ensaios de cisalhamento realizados com eucalipto saligna encontram-se no Apêndice A.

Para a análise estatística, utilizou-se o programa ANOVA, que realiza uma análise de Variância e que considera as diferenças entre médias de tratamento em vista de um nível de significância na faixa de 5%, os testes Kolmogorov-Smirnov test (analisa a homogeneidade da amostra) e de variância Bartlett (dados normais) que, em resumo, nos indica a existência significativa de diferenças entre dois ensaios, ou não, em seguida aplicou-se o Teste de Tukey, que é responsável por localizar a diferença entre grupos e padronizar estes resultados.

Os resultados dos dados estatísticos do eucalipto saligna realizados pelo programa ANOVA encontram-se no Apêndice B.

Em todas as Figuras de gráfico de barras apresentados a seguir, para $P<5\%$ os valores são significativos pelo teste Tukey e as médias seguidas de mesma letra, apresentadas no interior das barras, não diferem entre si a 5% de probabilidade, e também em cada barra está o desvio padrão, apresentados pelas linhas verticais em negrito.

Para facilitar a análise, devido ao elevado número de possibilidades e variáveis, optou-se por subdividir a apresentação dos resultados.

Os resultados foram analisados em separado para cada velocidade de avanço adotada e cada adesivo de PVAc utilizado.

Resultados obtidos nos testes de cisalhamento na linha de cola

- Velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$ (V1)

Os resultados da velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$ são apresentados nas tabelas: 4.1; 4.2; 4.3 e 4.4.

Tabela 4. 1- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V1C1).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33,64	50,06	16,84	11190	6,642
Desv.Padrão	0,1066	0,3401	0,1472	989,5	0,5651
Coef.Var.(%)	0,3170	0,6793	0,8742	8,845	8,508
Mínimo	33,45	49,25	16,47	8922	5,300
Máximo	33,89	50,53	17,03	12450	7,314

Tabela 4. 2- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V1C2).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	31,87	50,03	15,95	7635	4,778
Desv.Padrão	2,071	0,2142	1,050	1467	0,8311
Coef.Var.(%)	6,499	0,4281	6,587	19,22	17,39
Mínimo	29,73	49,63	14,82	4259	2,850
Máximo	34,24	50,37	17,14	9049	5,771

Tabela 4. 3- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V1C3).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	30,81	49,76	15,33	10460	6,823
Desv.Padrão	0,07465	0,1919	0,05123	2584	1,683
Coef.Var.(%)	0,2422	0,3857	0,3342	24,70	24,67
Mínimo	30,64	49,31	15,19	7513	4,890
Máximo	30,88	50,06	15,38	15070	9,805

Tabela 4. 4- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V1C4).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,17	50,51	17,26	19730	11,43
Desv.Padrão	0,1020	0,1419	0,08162	1798	1,026
Coef.Var.(%)	0,2986	0,2809	0,4728	9,111	8,976
Mínimo	34,01	50,34	17,13	17110	9,970
Máximo	34,30	50,76	17,38	22430	12,98

A Figura 4.1 apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova dos quatro tipos de adesivos com velocidade de avanço 6,0 m.min^{-1}.

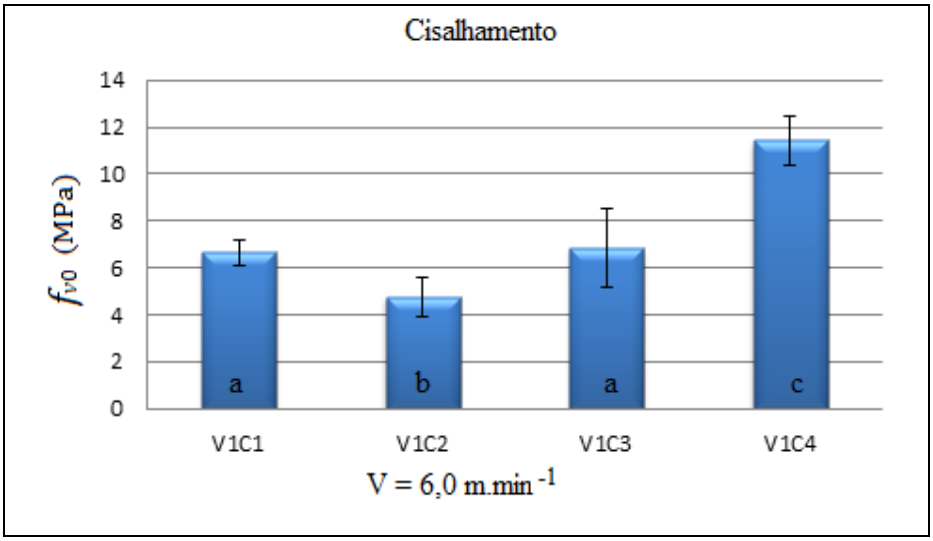


Figura 4. 1- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f".

Na Figura 4.1 observa-se que o valor de maior resistência ao cisalhamento obtido foi com o adesivo da "Eucafloor" (C4) o valor de menor resistência ao cisalhamento foi com o adesivo "Cascola Cascorez Extra" (C2). Observa-se que os adesivos C3 e C4 apresentam os melhores resultados.

O adesivo C3 em relação ao adesivo C1 não apresentaram diferenças expressivas entre si, sendo apenas 2,63% o porcentual de resistência à ruptura na linha de cola, e o maior porcentual na resistência à ruptura na linha de cola foi o adesivo C4 em relação ao adesivo C2, o adesivo C4 proporcionou um aumento de 58,20% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitado a esforços de cisalhamento, em relação ao adesivo C2.

Os resultados em porcentual na resistência à ruptura na linha de cola para demais adesivos foram: adesivo C4 em relação ao adesivo C1= 41,89%, C1/C2 = 28,06%, C3/C2 = 29,97% e C4/C3 = 40,31%.

Os resultados obtidos podem ser justificados devido as prováveis ocorrências:

- Anisotropia da madeira, a orientação das fibras (grã normal e grã irregulares) que interferem no desempenho da colagem.
- Anatomia da madeira (parênquima, células da fibra, vasos, lúmens, canais de resina, e células dos raios que variam na sua composição e estrutura do lenho inicial, lenho tardio, alburno e cerne) dispõe de uma enorme variedade de superfícies para a formação de ligação, cada um deles, podem interagir de modo diferente com os adesivos.
- O número e o diâmetro de lúmens influenciam na penetração do adesivo, e também as pontuações e fendas na parede celular, beneficiam a colagem.
- A porosidade da madeira interfere na penetração do adesivo, aumentando a área de contato entre o adesivo e madeira.
- A madeira possui componentes ricos em grupos hidroxila, os quais são polares e também contêm alguns grupos ácidos e ésteres carboxílicos. Todos os adesivos de madeira têm grupos polares que podem formar ligações de hidrogênio internas e externas com os grupos químicos da madeira. As pontes de hidrogênio atuam na atração interfacial dos adesivos polares da hemicelulose.
- Os adesivos de PVAc, não penetram na parede celular, mas pode realizar pontes de hidrogênio com as estruturas moleculares externa da madeira.
- As formulações dos adesivos interferem na colagem, os adesivos C1 e C2 são classificados como D1, C3 como D2 e C4 como D3.
- Os adesivos de PVAc C3 e C4 são “modificados” , podendo apresentar uma melhor eficiência na colagem, ou seja, uma melhor interação entre a interface da madeira – adesivo, e maior força de coesão no filme da linha de cola, pois apresentam diferentes reatividades o que influencia nas ligações químicas primárias e secundárias.
- As interações intermoleculares no filme do adesivo, é devido as ligações secundárias forças de Van der Waals (forças de dispersão forças dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido) essas interações devem ocorrer com maior frequência e quantidade, nos adesivos “modificados”, por apresentarem ligações cruzadas internas, aumentando a força de coesão entre as moléculas, consequentemente, a resistência no filme do adesivo na linha de cola, ocasionando uma maior resistência a ruptura no cisalhamento.

- Outra possibilidade para os adesivos C3 e C4, é que esses possuam maior interação com a energia livre da superfície da madeira, o que favorece a molhabilidade, consequentemente, se espalhando de forma mais homogênea na superfície da madeira, favorecendo a fluidez e penetração.
- O adesivo C4 apresentou melhor molhabilidade, porém a viscosidade de C4 é maior que C2.
- O adesivo C2 apresentou menor viscosidade, sua penetração e sua absorção pela madeira deve ter sido maior que os demais adesivos, podendo ter resultado em uma linha de cola "faminta", interferindo na adesão (madeira – adesivo), ou seja, ocorrendo uma menor coesão na superfície de interação entre as forças secundárias que atuam na linha de cola. O que não ocorreu com o adesivo C1.
- O adesivo C1 apresentou uma melhor adesão em relação ao adesivo C2, e em relação ao adesivo C3 não apresentou uma diferença expressiva, isto deve ser devido à formulação do adesivo C1, que ocasionou uma maior interação entre as forças secundárias na interface da madeira e na linha de cola.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de De Conti (2011) com eucalipto saligna à base de PVAc, na velocidade de avanço (Vf) 6,0 m.min^{-1} e quatro combinações na composição de planos de corte ("R-R"; "R-T"; "T-T" e "R/T-R/T"), em relação aos anéis de crescimento: R/T – Plano radial-tangencial com plano radial-tangencial (misto); RT – Plano radial com plano tangencial; RR – Plano radial com plano radial e TT – Plano tangencial com plano tangencial, conforme apresentado na Tabela 4.5.

Tabela 4. 5 - Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI).

Velocidade de avanço	Ensaio Cisalhamento	Cola Wonderbon 2555 f_{v0} (MPa)
6,0 m.min^{-1}	R/T	7,952
	RT	7,559
	RR	14,74
	TT	11,95
Média geral		10,55

Analisando-se a Tabela 4.5 o valor médio de "f_{v0}" foi de 10,55 MPa. A Figura 4.2 ilustra a comparação entre os resultados obtidos por De Conti e os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

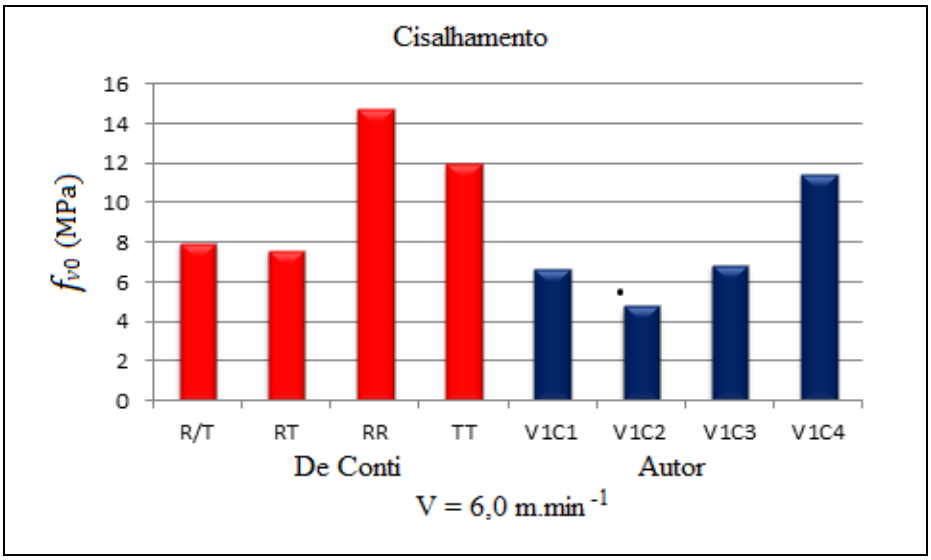


Figura 4. 2- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de Silva (2013) que verificou o desempenho de juntas coladas da espécie *Eucalyptus saligna* em função do acabamento das superfícies usinadas, com dois tipos de adesivos à base de resina poliuretano (PU), monocomponentes e bicomponente. Os valores obtidos foram: adesivo PU monocomponente vencido, 6,19 MPa; PU monocomponente na validade, 8,47 MPa e o PU bicomponente, 8,17 MPa.

- Velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} (V2)

Os resultados da velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} são apresentados nas tabelas: 4.6; 4.7; 4.8 e 4.9.

Tabela 4. 6 - Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V2C1).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,20	50,36	17,23	11320	6,574
Desv.Padrão	0,1430	0,1639	0,08852	1820	1,079
Coef.Var.(%)	0,4182	0,3254	0,5139	16,08	16,42
Mínimo	34,00	50,09	17,04	7823	4,526
Máximo	34,43	50,64	17,32	13500	7,892

Tabela 4. 7- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V2C2).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,20	50,16	17,15	5873	3,423
Desv.Padrão	0,1299	0,1505	0,09271	1161	0,6735
Coef.Var.(%)	0,3797	0,3001	0,5404	19,76	19,68
Mínimo	34,05	49,96	17,01	3829	2,251
Máximo	34,53	50,41	17,33	7796	4,533

Tabela 4. 8- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V2C3).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33,46	50,34	16,85	11060	6,543
Desv.Padrão	0,9081	0,08590	0,4727	2050	1,072
Coef.Var.(%)	2,714	0,1706	2,806	18,54	16,38
Mínimo	32,27	50,21	16,24	7896	4,809
Máximo	34,40	50,52	17,38	14130	8,167

Tabela 4. 9- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V2C4).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33,54	50,32	16,88	13210	7,845
Desv.Padrão	0,8157	0,1593	0,4214	2273	1,424
Coef.Var.(%)	2,432	0,3166	2,497	17,20	18,15
Mínimo	32,69	49,96	16,37	9011	5,223
Máximo	34,40	50,57	17,32	16490	9,921

A Figura 4.3 apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova dos quatro tipos de adesivos com velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1}.

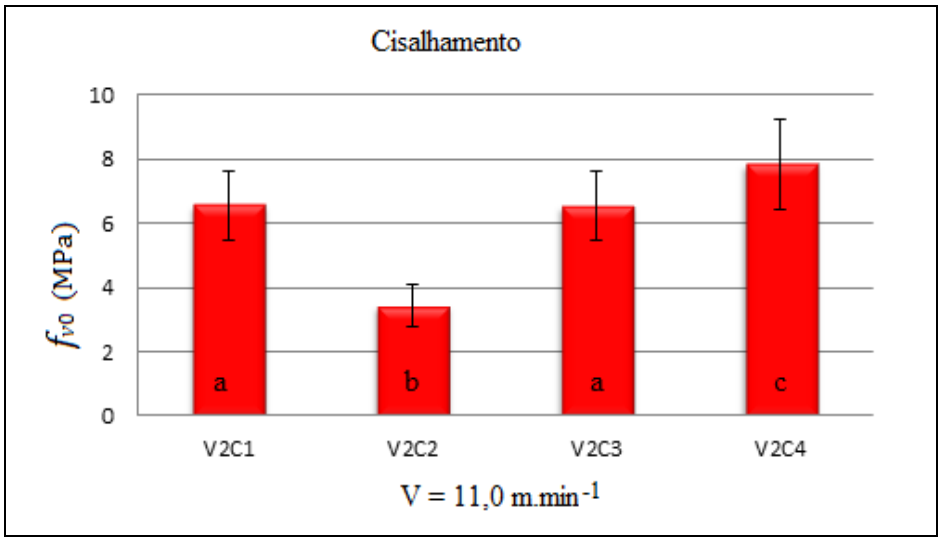


Figura 4. 3- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f ".

Na Figura 4.3 pode-se observar que o melhor resultado obtido foi com o adesivo da "Eucafloor" (C4) e o pior resultado foi com o adesivo "Cascola Cascorez Extra" (C2), os adesivos C1 e C3 apresentaram basicamente os mesmos resultados. O resultado em porcentual de maior resistência à ruptura na linha de cola foi o adesivo C4 em relação ao adesivo C2 foi 56,37%. O adesivo C1 proporcionou um aumento de apenas 0,47% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitado a esforços de cisalhamento, em relação ao adesivo C3.

Os resultados em porcentual na resistência à ruptura na linha de cola para demais adesivos foram: C1/C2 =47,93%; C4/C1 = 16,20%; C3/C2 = 47,68%; C4/C3 = 16,60%.

Observa-se que o adesivo C2 não apresentou uma boa adesão em relação aos outros adesivos, ficando muito abaixo.

Os motivos desses prováveis resultados na velocidade de avanço 11,0 m.min^{-1}, já foram supracitados na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1).

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de De Conti (2011) com eucalipto saligna à base de PVAc, na velocidade de avanço (Vf) 11,0 m.min^{-1} e quatro combinações na composição de planos de corte, conforme apresentado na Tabela 4.10.

Tabela 4. 10 - Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011).

Velocidade de avanço	Ensaio Cisalhamento	Cola Wonderbon 2555 f_{v0} (MPa)
	R/T	12,18
11,0 m.min^{-1}	RT	12,91
	RR	12,41
	TT	13,87
Média geral		12,84

Analisando-se a Tabela 4.10 o valor médio de "f_{v0}" foi de 12,84 MPa.

A Figura 4.4 ilustra a comparação entre os resultados obtidos por De Conti e os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

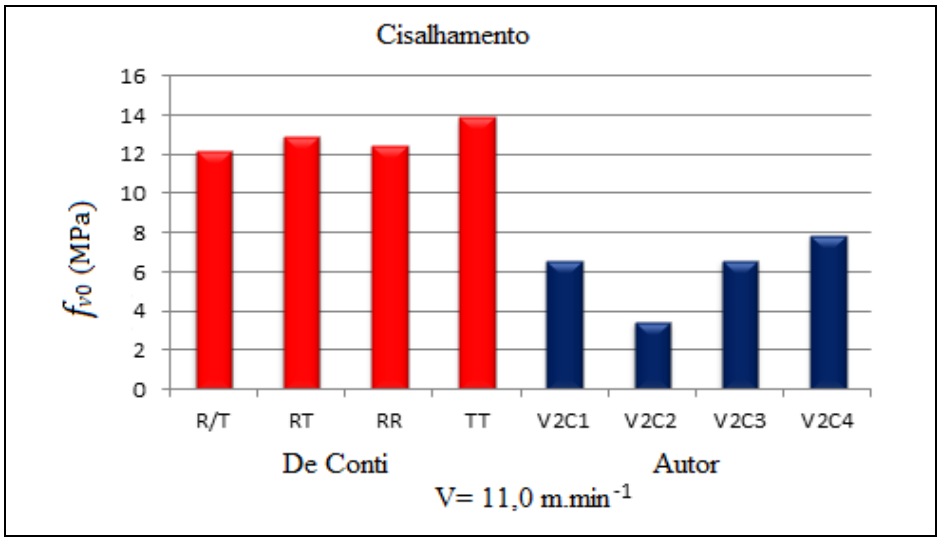


Figura 4. 4- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de Alves (2012) que estudou a usinabilidade de peças de madeira de eucalipto saligna usando o adesivo Cola Wonderbon 2555, conforme apresentado na Tabela 4.11, os valores médios a resistência ao cisalhamento "f_{v0}" para superfícies lixadas.

Tabela 4. 11- Valores médios da resistência ao cisalhamento para superfícies lixadas com diferentes granulometrias das lixas (Adaptado de ALVES, 2012).

Granulometria das lixas	Resistência Cisalhamento f_{v0} (MPa)
P 80	11,69
P 100	11,46
P 120	10,83
P 150	11,47
P 220	13,67

O melhor resultado obtido foi para lixa de grana 220.

A Figura 4.5 ilustra a comparação entre os resultados obtidos por Alves e os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

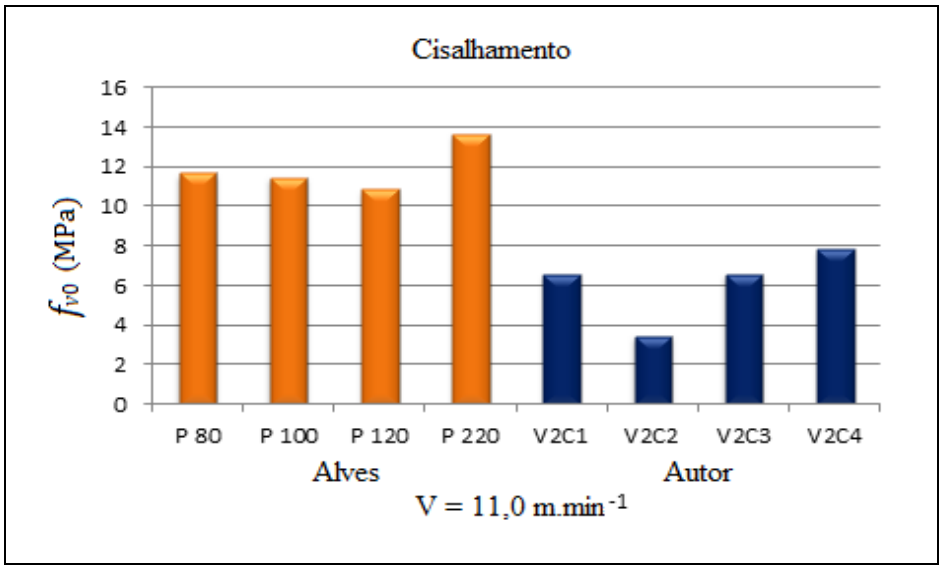


Figura 4. 5- Apresentação dos resultados obtidos por Alves com os resultados deste trabalho com diferentes adesivos de PVAc.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de Silva (2013) que verificou o desempenho de juntas coladas da espécie *Eucalyptus saligna* em função do acabamento das superfícies usinadas, com dois tipos de adesivos à base de resina poliuretano (PU), monocomponentes e bicomponente. Os valores obtidos foram: adesivo PU monocomponente vencido, 5,21 MPa; PU monocomponente na validade, 7,34 MPa e o PU bicomponente, 10,75 MPa. A Tabela 4.12, apresenta os valores médios à resistência ao cisalhamento "f_{v0}" para superfícies lixadas.

Tabela 4. 12- Valores médios de "f_{v0}" (MPa) para superfícies lixadas. (Adaptado de SILVA, 2013).

Resistência Cisalhamento f_{v0} (MPa) - SUPERFÍCIES LIXADAS			
Granulometria	PU monocomponente (vencida) f_{v0} (MPa)	PU monocomponente (Validade) f_{v0} (MPa)	PU bicomponente f_{v0} (MPa)
P 80	6,73	7,62	11,90
P 100	5,18	7,80	15,23
P 120	5,24	7,07	10,67
P 150	4,19	8,04	10,97
P 220	3,59	5,89	13,54

Dos resultados obtidos podem-se destacar os melhores: adesivo PU monocomponente vencido 6,73 MPa com lixa de grana P80; PU monocomponente na validade 8,04 MPa para P150 e PU bicomponente 15,23 MPa para P100.

- Velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} (V3)

Os resultados da velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} são apresentados nas tabelas: 4.13; 4.14; 4.15 e 4.16.

Tabela 4. 13- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V3C1).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,08	50,41	17,18	11140	6,482
Desv.Padrão	0,08993	0,1102	0,07837	1428	0,8275
Coef.Var.(%)	0,2639	0,2187	0,4561	12,82	12,77
Mínimo	33,96	50,20	17,07	8894	5,207
Máximo	34,22	50,55	17,29	13560	7,887

Tabela 4. 14- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Extra C2 (V3C2).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,13	50,30	17,17	7048	4,106
Desv.Padrão	0,07756	0,1821	0,08780	859,0	0,5051
Coef.Var.(%)	0,2272	0,3620	0,5114	12,19	12,30
Mínimo	34,00	50,08	17,03	5657	3,282
Máximo	34,20	50,64	17,31	8371	4,898

Tabela 4. 15- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C3 (V3C3).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,00	50,30	17,10	11850	6,929
Desv.Padrão	0,03916	0,1082	0,04188	2286	1,343
Coef.Var.(%)	0,1152	0,2152	0,2449	19,30	19,38
Mínimo	33,94	50,08	17,02	8657	5,067
Máximo	34,05	50,49	17,17	14760	8,633

Tabela 4. 16- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V3C4).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33,25	50,37	16,75	15310	9,147
Desv.Padrão	0,8686	0,1697	0,4510	1859	1,105
Coef.Var.(%)	2,612	0,3369	2,692	12,14	12,08
Mínimo	32,26	50,00	16,17	12980	7,544
Máximo	34,12	50,51	17,23	19280	11,21

A Figura 4.6 apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova dos quatro tipos de adesivos com velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1}.

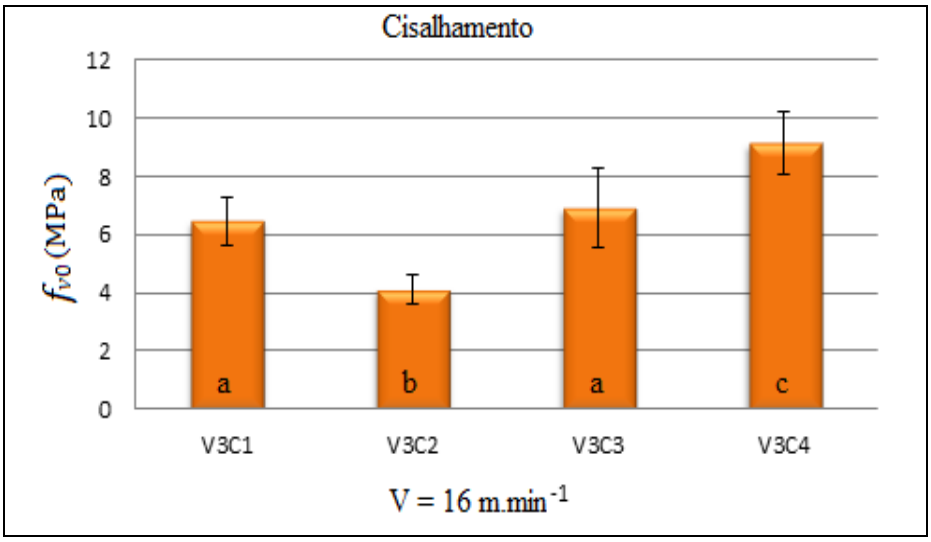


Figura 4. 6- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f".

Na Figura 4.6 pode-se observar que o melhor resultado obtido foi com o adesivo da "Eucafloor" (C4) e o pior resultado foi com o adesivo "Cascola Cascorez Extra" (C2). Observa-se no gráfico que os adesivos C3 e C4 apresentam os melhores resultados.

O resultado em porcentual de maior resistência à ruptura na linha de cola foi o adesivo C4 em relação ao adesivo C2, proporcionou um aumento igual a 55,11% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitado a esforços de cisalhamento.

Os adesivos C1 e C3 apresentaram uma pequena diferença resultados, sendo em porcentual na resistência à ruptura na linha de cola 6,45%, O segundo maior resultado foi de C3/C2 = 40,74%.

Para os demais adesivos o porcentual de maior resistência a ruptura na linha de cola foram: C1/C2 = 36,65%; C4/C1 = 29,13%; e C4/C3 = 24,25%.

- Velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} (V4)

Os resultados da velocidade de avanço 16,0 m.min^{-1} são apresentados nas tabelas: 4.17; 4.18; 4.19 e 4.20.

Tabela 4. 17- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Madeiranit C1 (V4C1).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,05	50,34	17,14	10330	6,028
Desv.Padrão	0,05541	0,1293	0,04461	1224	0,7062
Coef.Var.(%)	0,1627	0,2567	0,2603	11,84	11,72
Mínimo	34,00	50,11	17,09	7944	4,648
Máximo	34,16	50,51	17,22	11920	6,941

Tabela 4. 18- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C2 (V4C2).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,11	50,36	17,18	6076	3,535
Desv.Padrão	0,1196	0,1092	0,08159	1099	0,6274
Coef.Var.(%)	0,3507	0,2169	0,4750	18,09	17,75
Mínimo	33,98	50,13	17,05	4593	2,693
Máximo	34,28	50,46	17,28	8354	4,835

Tabela 4. 19- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Cascola Cascorez Cola Taco C4 (V4C3).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,00	50,35	17,12	12650	7,390
Desv.Padrão	0,09611	0,1352	0,08737	1787	1,044
Coef.Var.(%)	0,2827	0,2685	0,5103	14,12	14,13
Mínimo	33,83	50,12	16,96	7723	4,554
Máximo	34,12	50,51	17,22	14920	8,790

Tabela 4. 20- Valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com os adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} e adesivo Eucafloor C4 (V4C4).

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Seção (cm^2)	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34,13	50,21	17,14	18000	10,50
Desv.Padrão	0,07645	0,09624	0,05380	1671	0,9618
Coef.Var.(%)	0,2240	0,1917	0,3139	9,282	9,156
Mínimo	34,01	50,01	17,06	15470	9,061
Máximo	34,34	50,35	17,26	20880	12,18

A Figura 4.7 apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova dos 4 tipos de adesivos com velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} .

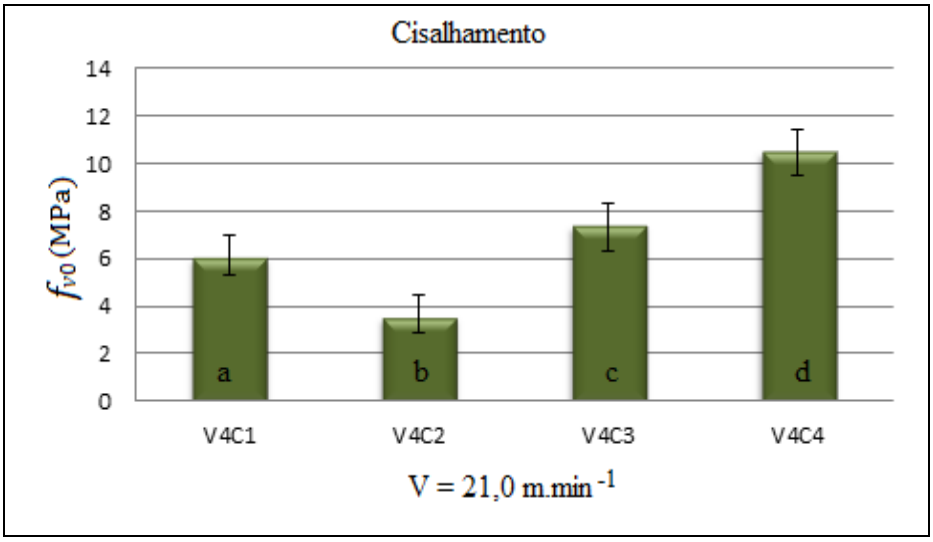


Figura 4. 7- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função da velocidade de avanço "V_f".

Na Figura 4.7 pode-se observar que o melhor resultado obtido foi com o adesivo da "Eucafloor" (C4) e o pior resultado foi com o adesivo "Cascola Cascorez Extra" (C2). Observa-se que os adesivos C3 e C4 apresentam os melhores resultados.

A diferença mais expressiva entre seus resultados em porcentual de maior resistência à ruptura na linha de cola foi do adesivo C4 em relação ao adesivo C2, proporcionou um aumento de 66,33% de resistência mecânica na linha de cola, e a diferença menos expressiva foi o adesivo C3 em relação ao adesivo C1 com 18,43%. Para os demais adesivos os porcentuais de resistência à ruptura na linha de cola foram: C1/ C2= 41,36%; C4/C1 = 42,59%; C3/C2 = 52,16% e C4/C3 = 29,62%.

Nessa velocidade observou-se que o adesivo C3 apresentou uma melhor adesão em relação ao adesivo C1, o que não ocorreu nas velocidades anteriores. Essa diferença deve-se ao avanço por dente, que tornou o espaçamento maior entre as cristas, favorecendo sua penetração na madeira, já que apresentou a maior viscosidade.

- Comparações globais dos resultados obtidos entre as velocidades de avanço em $f_{v0,\ max}$ (N) e em f_{v0} (MPa) e os diferentes adesivos.

Na Tabela 4.21 são ilustradas as comparações entre as velocidades de avanço e os diferentes adesivos.

Tabela 4. 21- Comparações entre as velocidades de avanço em $f_{v0,\ max}$ (N) e em f_{v0} (MPa) e os diferentes adesivos.

Velocidade de avanço	Adesivo	Velocidade de avanço e adesivo	$f_{v0,\ max}$ (N)	f_{v0} (MPa)
V1 = 6,0m.min^{-1}	C1	V1C1	11190	6,642
	C2	V1C2	7635	4,778
	C3	V1C3	10460	6,823
	C4	V1C4	19730	11,43
V2 = 11,0m.min^{-1}	C1	V2C1	11320	6,574
	C2	V2C2	5873	3,423
	C3	V2C3	11060	6,543
	C4	V2C4	13210	7,845
V3= 16,0m.min^{-1}	C1	V3C1	11140	6,482
	C2	V3C2	7048	4,106
	C3	V3C3	11850	6,929
	C4	V3C4	15310	9,147
V4 = 21,0m.min^{-1}	C1	V4C1	10330	6,028
	C2	V4C2	6076	3,535
	C3	V4C3	12650	7,390
	C4	V4C4	18000	10,50

A Figura 4.8 apresenta os valores médios geral de resistência ao cisalhamento dos corpos de prova.

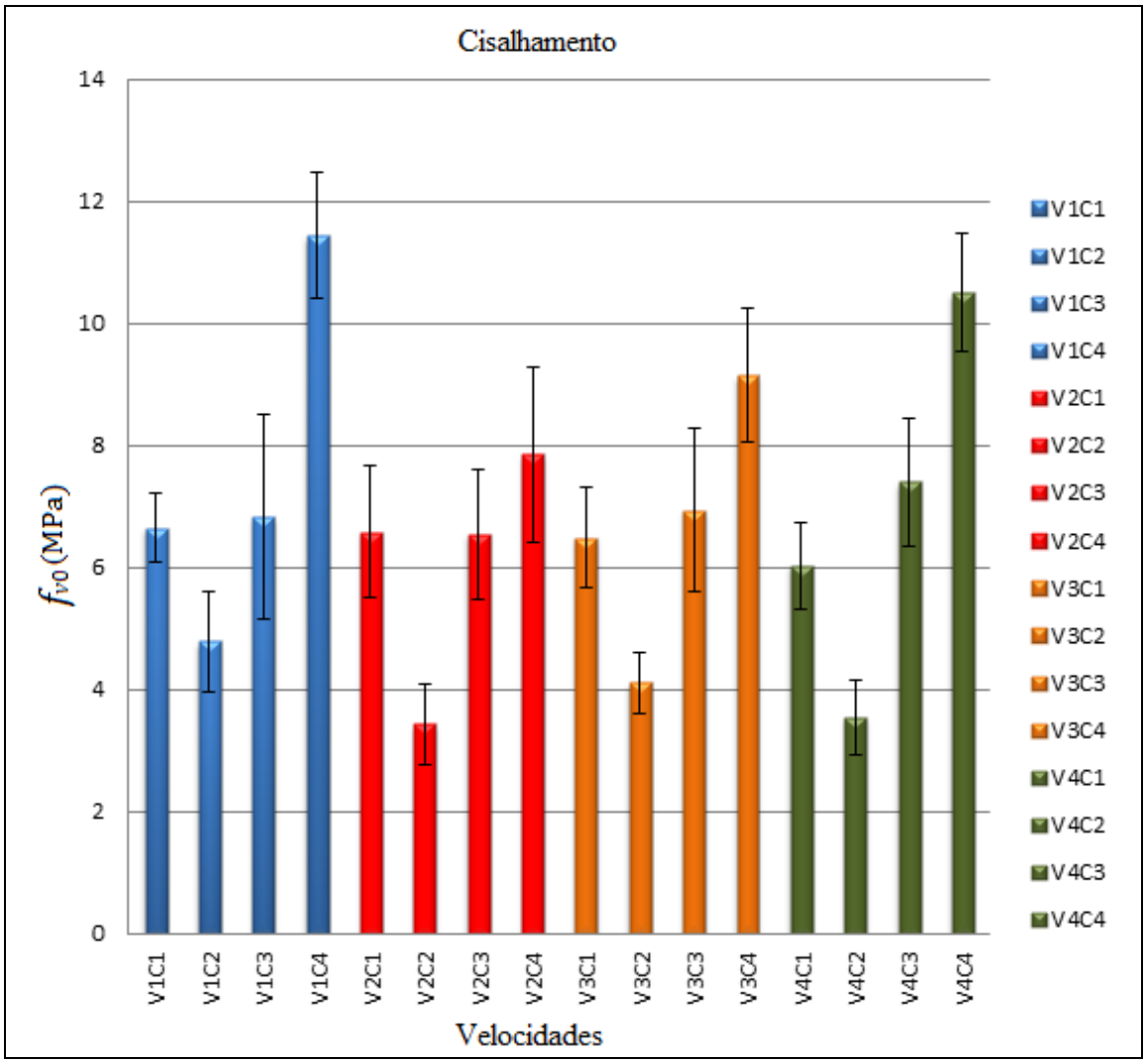


Figura 4. 8- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função das velocidades de avanço "V_f ".

Na análise geral dos gráficos e da tabela o melhor resultado obtido foi na velocidade de avanço V1 (6,0 m.min^{-1}) com o adesivo C4, nota-se também que em todas as velocidades de avanço o adesivo C4 foi o que se destacou, demonstrando uma melhor adesão em relação aos demais adesivos.

O que não ocorreu com o adesivo C2, que não apresentou um bom resultado em relação aos demais adesivos em todas as velocidades de avanço, sendo o mais inferior de todos na velocidade de avanço V2 (11,0 m.min^{-1}).

O adesivo C3 apresentou o melhor resultado na velocidade de avanço V4 e o adesivo C1 na velocidade de avanço V1.

➢ Comparações entre adesivos iguais e as diferentes velocidades de avanço.

Adesivo Madeiranit (C1)

A resistência ao cisalhamento em função do adesivo Madeiranit (C1) com diferentes velocidades de avanço é apresentada na Figura 4.9.

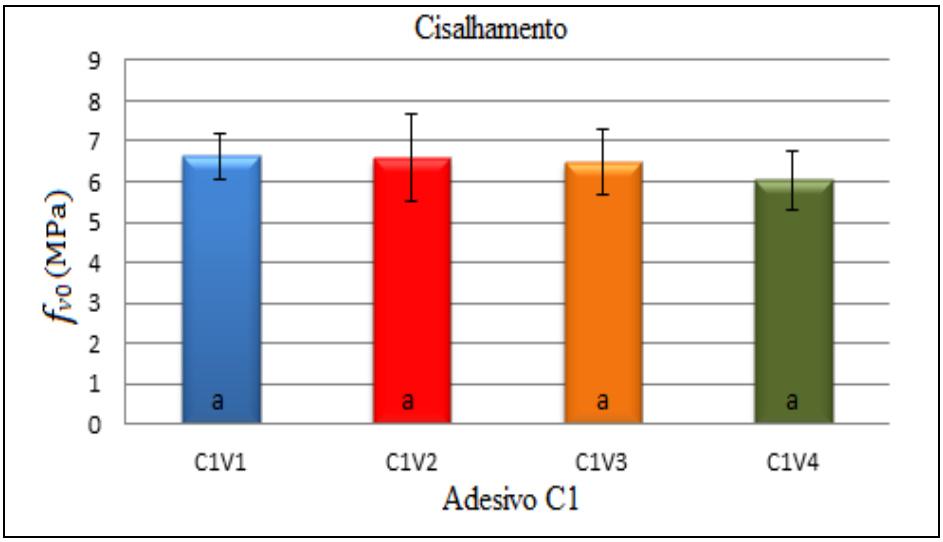


Figura 4. 9- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função do adesivo Madeiranit (C1) com diferentes velocidades de avanço.

Analisando a Figura 4.9 observa-se que melhor resultado ocorreu na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1) e o pior resultado na velocidade 21,0 m.min^{-1} (V4). Nota-se que conforme há um aumento na velocidade os valores dos resultados diminuem, indicando que o aumento da velocidade de avanço influencia na adesão entre adesivo-madeira. A relação mais expressiva em porcentual a maior resistência à ruptura do adesivo foi entre as velocidades V1 em relação a V4 é igual a 9,24%, ou seja, a velocidade V1 proporcionou um aumento de 9,24% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitados a esforços de cisalhamento, em relação a velocidade V4

Na relação em porcentual a resistência à ruptura do adesivo entre as diferentes velocidades foram: V1/V2 = 1,02%; V1/V3 =2,41%; V2/V3 = 1,40%; V2/V4 = 8,30%; V3/V4 = 7,0%.

Os resultados obtidos podem ser justificados devido as prováveis ocorrências:

➢ Anisotropia da madeira, que pode interferir no desempenho da colagem.

- O avanço por dente (f_z) pode ter influenciado no processo da colagem, alterando a eficiência da interação entre a interface da madeira – adesivo, consequentemente, diminuindo a força de coesão no filme da linha de cola.
- Outra possibilidade, o avanço por dente deve ter modificado a energia livre da superfície da madeira. Influenciando na penetração e a absorção do adesivo pela madeira, desfavorecendo a linha de cola, interferindo na adesão (madeira – adesivo), ou seja, ocorrendo uma menor coesão na superfície de interação entre as forças secundárias que atuam na linha de cola.

Adesivo Cascola Cascorez Extra (C2)

A resistência ao cisalhamento em função do adesivo Cascola Cascorez Extra (C2) com diferentes velocidades de avanço é apresentada na Figura 4.10.

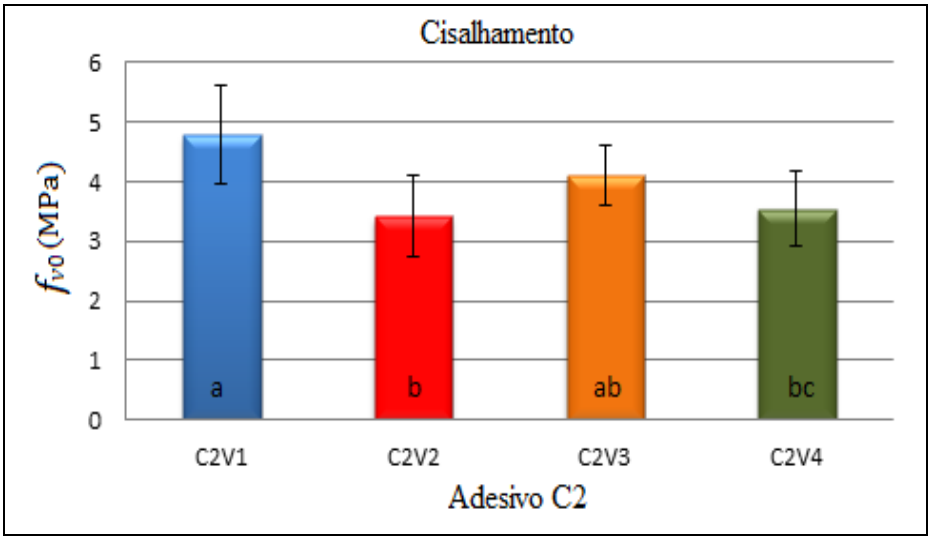


Figura 4. 10- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função do adesivo Cascola Cascorez Extra (C2) com diferentes velocidades de avanço.

Analisando a Figura 4.10 observa-se que o melhor resultado ocorreu na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1) e o pior resultado na velocidade 11,0 m.min^{-1}(V2).

A relação mais expressiva em porcentual a maior resistência à ruptura do adesivo foi entre as velocidades V1 em relação a V2 é igual a 28,36%, ou seja, a velocidade V1 proporcionou um aumento de 28,36% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitados a esforços de cisalhamento, em relação à velocidade V4, e a relação menos expressiva foi entre as V4 e V2 igual a 3,17%.

Na relação em porcentual a resistência à ruptura do adesivo entre as demais velocidades foram: V1/V3 = 14,06%; V1/V4 = 26,01%; V3/V2 = 16,63%; e V3/V4 = 13,91%.

Nota-se que o aumento na velocidade de avanço, os resultados apresentam variações, indicando que o aumento da velocidade de avanço influencia na adesão entre adesivo-madeira.

Os resultados obtidos podem ser justificados devido as prováveis ocorrências:

- Anisotropia da madeira, o avanço por dente (f_z), a energia livre da superfície da madeira, a penetração e a absorção do adesivo. Esses fatores devem ter interferido na adesão (madeira – adesivo), alterando o ancoramento do adesivo e a coesão na superfície de interação entre as forças secundárias que atuam na linha de cola.

Adesivo Cascola Cascorez Cola Taco (C3)

A resistência ao cisalhamento em função do adesivo Cascola Cascorez Cola Taco (C3) com diferentes velocidades de avanço é ilustrado na Figura 4.11.

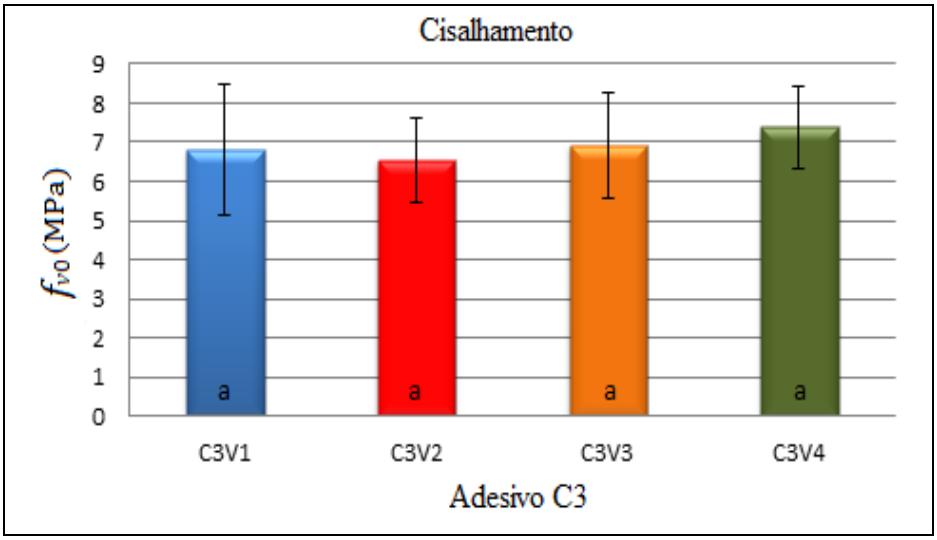


Figura 4. 11- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função do adesivo Cascola Cascorez Cola Taco (C3) com diferentes velocidades de avanço.

Analisando a Figura 4.11 observa-se que o melhor resultado ocorreu na velocidade 21,0 m.min^{-1} (V4) e o pior resultado na velocidade 11,0 m.min^{-1} (V2). Nota-se que conforme há um aumento na velocidade a partir de V2 os valores dos resultados aumentam. Neste caso, o aumento da velocidade de avanço influenciou aumentando a adesão entre adesivo-madeira.

A relação em porcentual a maior resistência à ruptura do adesivo foi entre as velocidades V4 em relação a V2 é igual a 11,46%, ou seja, a velocidade V4 proporcionou um

aumento de 11,46% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitados a esforços de cisalhamento, em relação à velocidade V4, e a relação menos expressiva foi entre as V3 e V1 igual a 1,53%.

Na relação em porcentual a resistência à ruptura do adesivo entre as demais velocidades foram: V1/V2 = 4,10%; V4/V1 = 7,67%, V3/V2 = 5,57% e V4/V3 = 6,24%.

Os motivos desses prováveis resultados já foram supracitados nos adesivos C1 e C2.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de De Conti (2011) com eucalipto saligna com adesivo Cascorez Cola Taco, na velocidade de avanço (V_f) 6,0 m.min^{-1}, conforme apresentado na Tabela 4.22.

Tabela 4. 22- Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011).

Velocidade de avanço	Ensaio Cisalhamento	Cola Taco f_{v0} (MPa)
	R/T	5,13
6,0m.min^{-1}	RT	7,26
	RR	11,75
	TT	9,24
Média geral		8,34

Analisando-se a Tabela 4.22 o valor médio de "f_{v0}" foi de 8,34 MPa.

A Figura 4.12 ilustra a comparação entre os resultados obtidos por De Conti e os resultados deste trabalho.

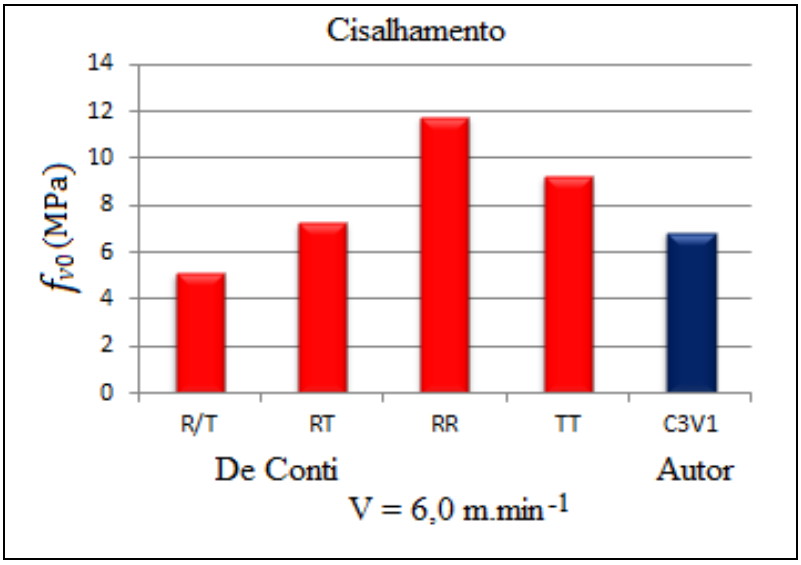


Figura 4. 12- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com o resultado deste trabalho.

Para efeito de comparação de resultados utilizou-se o trabalho de De Conti (2011) também realizou ensaios na resistência ao cisalhamento dos corpos de prova com velocidade 11,0 m.min^{-1} apresentados na Tabela 4.23.

Tabela 4. 23- Valores médios da resistência ao cisalhamento (Adaptado de DE CONTI, 2011).

Velocidade de avanço	Ensaio Cisalhamento	Cola Taco f_{v0} (MPa)
	R/T	9,41
11,0 m.min^{-1}	RT	10,58
	RR	9,52
	TT	10,97
Média geral		10,12

Analisando-se a Tabela 4.23 o valor médio de "f_{v0}" foi de 10,12 MPa.

A Figura 4.13 ilustra a comparação entre os resultados obtidos por De Conti e os resultados deste trabalho.

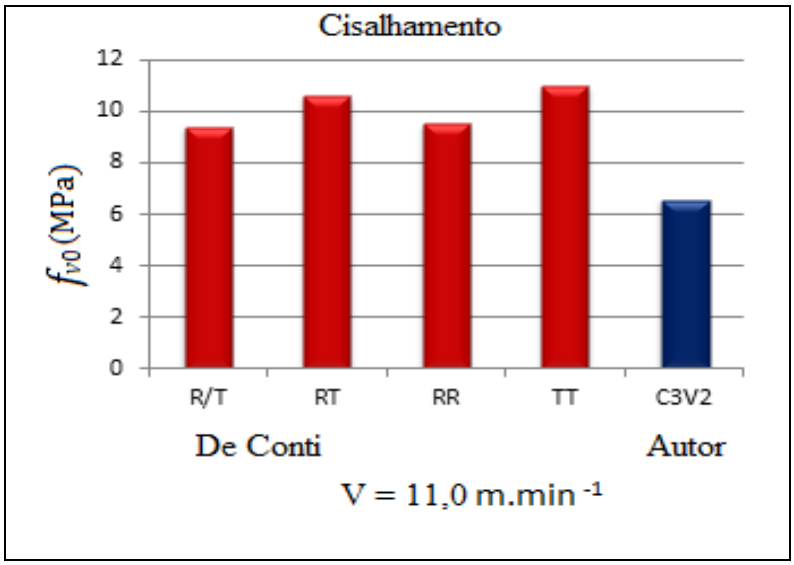


Figura 4. 13- Apresentação dos resultados obtidos por De Conti com o resultado deste trabalho.

Adesivo Eucafloor (C4)

A Figura 4.14 ilustra a resistência ao cisalhamento em função do adesivo Eucafloor (C4) com diferentes velocidades de avanço.

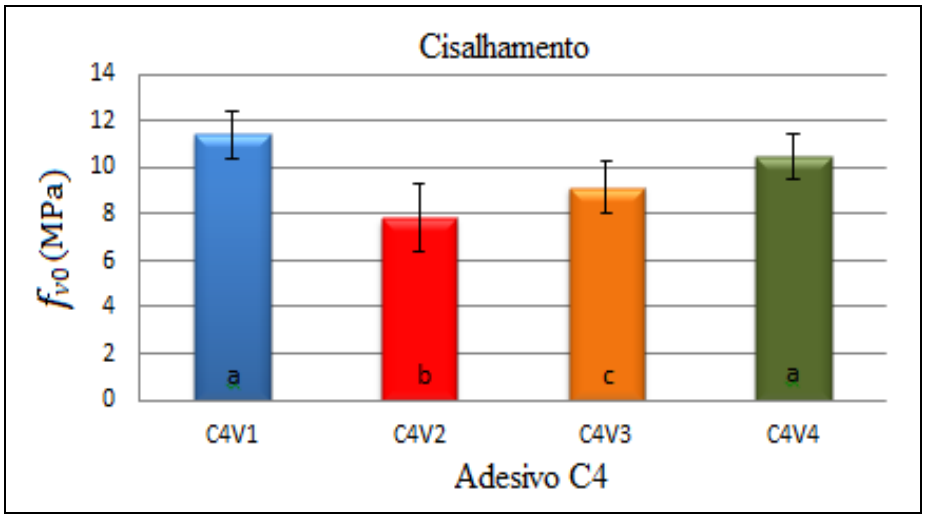


Figura 4. 14- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função do adesivo Eucafloor (C4) com diferentes velocidades de avanço.

Analisando a Figura 4.14 observa-se que o melhor resultado ocorreu na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1) e o pior resultado na velocidade 11,0 m.min^{-1}(V2).

A relação em porcentual a maior resistência à ruptura do adesivo foi entre as velocidades V1 em relação a V2 é igual a 31,36%, ou seja, a velocidade V4 proporcionou um aumento de 11,46% de resistência mecânica na linha de cola, quando solicitados a esforços de cisalhamento, em relação à velocidade V4, e a segunda maior relação foi entre as velocidades V4 e V2, igual a 25,28 e a relação menos expressiva foi entre as V1 e V4 igual a 8,14%.

Nas demais relações em porcentual a resistência à ruptura do adesivo entre as diferntes velocidades foram: V1/V3 = 19,97%; V3/V2 = 14,23%; e V4/V3 = 12,88%.

Observando o verifica-se que conforme há um aumento na velocidade a partir de V2 os valores dos resultados aumentam. Neste caso, o aumento da velocidade de avanço influenciou aumentando a adesão entre adesivo-madeira.

Comparação global

A Figura 4.15 ilustra a comparação global da resistência ao cisalhamento em função dos adesivos com diferentes velocidades de avanço.

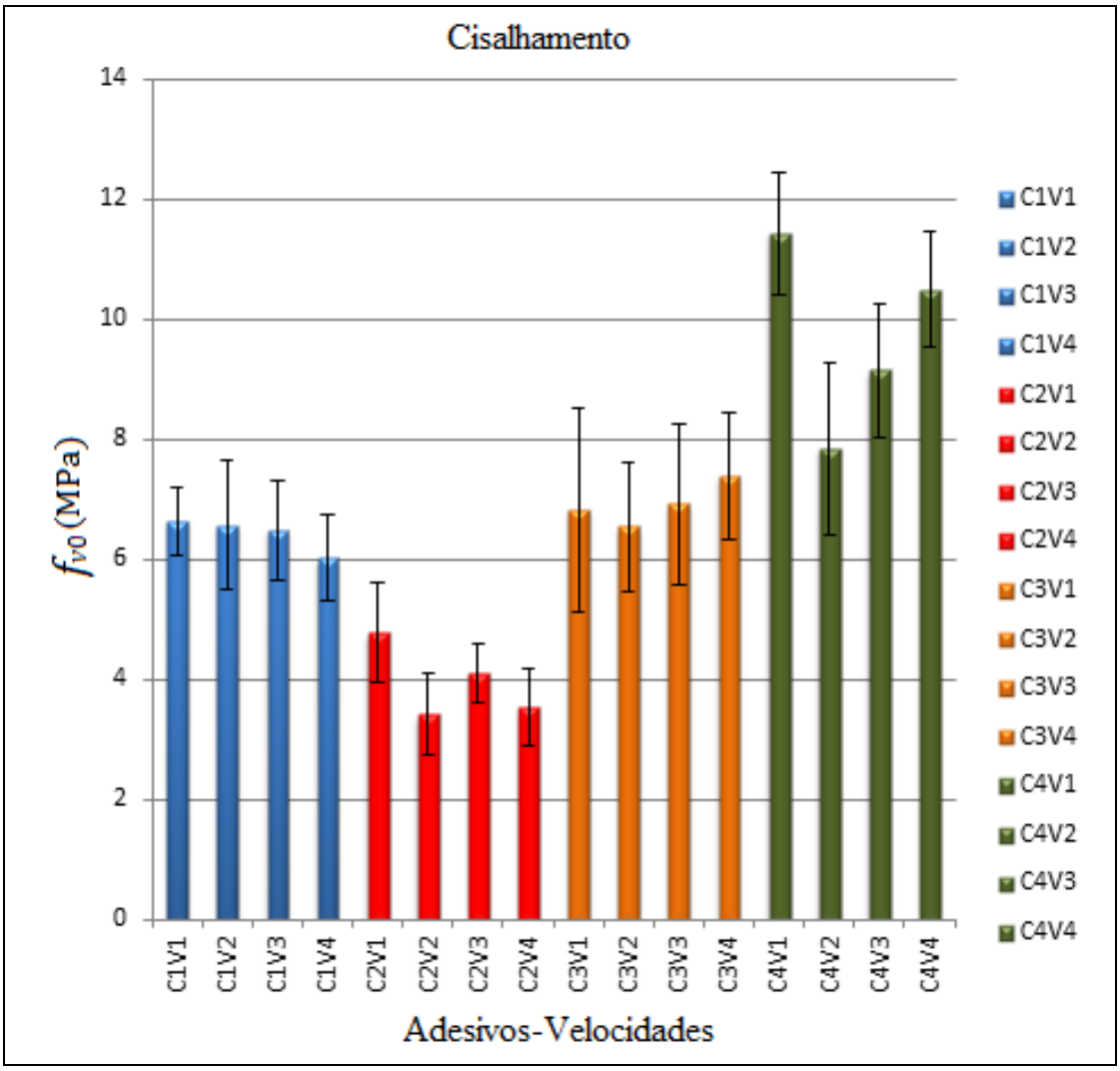


Figura 4. 15- Resistência ao cisalhamento "f_{v0}" em função dos adesivos com diferentes velocidades de avanço.

Analisando a Figura 4.15 observa-se que o adesivo que apresentou melhor resultado no cisalhamento na ruptura na linha de cola em todas as velocidades de avanço foi o C4, ou seja, a melhor adesão destacando-se na V1, e o pior resultado desse adesivo foi na velocidade V2, aumentando a adesão com o aumento da velocidade avanço na sequência V2, V3, V4.

O adesivo C3 apresentou melhor resultado na velocidade de avanço V4, e o menor resultado foi na velocidade V2, aumentando a adesão com o aumento da velocidade de avanço na sequência V2, V3, V4. Exceto na velocidade de avanço V1.

O adesivo C2 apresentou o menor resultado em relação a todos os adesivos, variando com o aumento das velocidades de avanço. Sendo o maior e o menor resultado nas velocidades de avanço, respectivamente, V1 e V2.

O adesivo C1 apresentou o melhor resultado em V1, diminuindo de maneira discreta os resultados no cisalhamento na ruptura na linha de cola com o aumento da velocidade de avanço.

5. CONCLUSÕES

Apresenta-se a seguir os aspectos conclusivos da análise realizada em separado para as velocidades de avanço com seus respectivos adesivos e para os adesivos da mesma marca com diferentes velocidades de avanço.

Velocidade de avanço

- V1 (6,0 $m.min^{-1}$)

O melhor resultado de adesão na resistência na linha de cola para madeira de eucalipto saligna na velocidade de avanço 6,0 $m.min^{-1}$ foi o adesivo Eucafloor (C4) e o pior resultado de adesão o adesivo Cascola Cascorez Extra (C2).

Esses resultados podem ser influenciados por diversos fatores tais como: anisotropia e anatomia da madeira, a molhabilidade (umectação, a fluidez e a penetração) de cada adesivo, a formulação dos adesivos PVAc modificados ou não.

- V2 (11,0 $m.min^{-1}$)

O melhor resultado de adesão obtido na velocidade de avanço 11,0 $m.min^{-1}$ foi com o adesivo da Eucafloor (C4) e o pior resultado de adesão foi com o adesivo Cascola Cascorez Extra (C2), para C1 e C3 apresentaram basicamente os mesmos resultados.

Observou que o adesivo C2 não apresentou uma boa adesão em relação aos outros adesivos, ficando muito abaixo. O adesivo C2 em relação aos outros apresentou menor viscosidade (7963,65cP) e teor de sólido (44 a 46%), porém a viscosidade neste caso não foi um fator determinante.

- V3 (16,0 $m.min^{-1}$)

O melhor resultado de adesão obtido na velocidade de avanço 16 $m.min^{-1}$ foi com o adesivo da Eucafloor (C4) e o pior resultado foi com o adesivo Cascola Cascorez Extra (C2), para C1 e C3 novamente apresentaram uma pequena diferença resultados.

- V4 (21,0 m.min^{-1})

O melhor resultado obtido na velocidade de avanço 21,0 m.min^{-1} foi com o adesivo da Eucafloor (C4) e o pior resultado foi com o adesivo Cascola Cascorez Extra (C2), para C1 e C3 apresentaram uma diferença mais expressivas entre seus resultados. Os resultados em porcentual do adesivo C4 em relação ao adesivo C2 foi o mais expressivo na resistência à ruptura da linha de cola.

Como conclusão global em relação a velocidade de avanço o melhor resultado de adesão foi obtido na velocidade de avanço V1 (6,0 m.min^{-1}) com o adesivo Eucafloor C4, notou-se também que em todas as velocidades de avanço o adesivo C4 foi o que se destacou em relação aos outros adesivos, demonstrando uma melhor adesão.

Adesivos

- Adesivo C1 (Madeiranit)

Na relação entre o mesmo adesivo C1 com diferentes velocidades de avanço o melhor resultado de adesão ocorreu na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1) e o pior resultado na velocidade 21,0 m.min^{-1} (V4).

Notou-se que conforme há um aumento na velocidade os valores dos resultados na resistência à ruptura na linha de cola foram diminuindo de maneira não expressiva, ou seja, diminuindo a adesão, indicando que o aumento da velocidade de avanço influencia na adesão entre adesivo-madeira.

- Adesivo C2 (Cascola Cascorez Extra)

Na relação entre o mesmo adesivo C2 com diferentes velocidades de avanço o melhor resultado de adesão ocorreu na velocidade 6,0 m.min^{-1} (V1) e o pior resultado na velocidade 11,0 m.min^{-1}(V2).

Notou-se que o aumento na velocidade de avanço há uma variação nos valores dos resultados na resistência à ruptura na linha de cola, indicando que o aumento da velocidade de avanço influenciou na interação adesivo-madeira,

- Adesivo C3 (Cascorez Cola Taco)

Na relação entre o mesmo adesivo C3 com diferentes velocidades de avanço o melhor resultado de adesão ocorreu na velocidade 21,0 $m.min^{-1}$ (V4) e o pior resultado na velocidade 11,0 $m.min^{-1}$ (V2).

Observou que o aumento na velocidade de avanço com exceção de V2 os valores dos resultados na resistência à ruptura na linha de cola aumentaram.

- Adesivo C4 (Eucafloor)

Na relação entre o mesmo adesivo C4 com diferentes velocidades de avanço o melhor resultado de adesão ocorreu na velocidade 6,0 $m.min^{-1}$ (V1) sendo o mais expressivo em relação aos demais resultados, e o pior resultado de adesão ocorreu na velocidade 11,0 $m.min^{-1}$ (V2).

Observou que o aumento na velocidade a partir de V2 os valores dos resultados na resistência à ruptura na linha de cola aumentaram.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, V. C. S. **Estudo do comportamento da colagem da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden com adesivo termoendurecedor resorcinol-formaldeído.** 2009. 89 p. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Revista Floresta e Ambiente**, Curitiba, v. 7, n. 1, p.158-166, jan./dez., 2000.

ALBUQUERQUE ,C. E. C.; LATORRACA, J. V. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira **Revista Madeira,** nº 88 mar. 2005.

(a) ALLEN, W. K. **Theories of adhesion** In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(b) ALLEN, W. K. **Mechanical theory of adhesion** In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(c) ALLEN, W. K. **Adsorption theory of adhesion** In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009, 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ALVES, P.R.G. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá, 2012.

ANDREW, W. **Adhesives technology handbook** 2 ed., 2008. 364p

ARANGO ALZATE, S. B.; **Caracterização da Madeira de árvores de clones *de Eucalyptus grandis, E. Saligna e E. grandis x urophylla***. 2004.133p. Tese – (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Piracicaba –SP. Setembro – 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). **NBR - 6162/88 - Conceito da Técnica de Usinagem, Movimentos e Relações Geométricas - Terminologia**. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

ATKINS, P., JONES, L. Princípios de química. Bookman 2001. 873 p.

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura.** 2014. 85f - Tese (doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

BODIG, J., JAYNE, B.A. **Mechanics of Wood and Wood Composites.** New York. Van Nostrand Reinhold Company. 1982. p. 1-47.

BRYDSON, J. A**.** **Plastics materials**. - 7th ed.; 1999. 920p.

BURGER, M. L. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154p.

CARVALHO, W., CANILHA, L., FERRAZ, A., MILAGRES, A. M. F. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. Quim. Nova, Vol. 32, Nº. 8, 2191-2195, 2009**.**

CAO, Y. **Characterization of PF/PVAc hybrid adhesive-wood interaction and its effect on wood strand composites performance.** 2010. 108p. Master of Science in Civil Engineering -Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering - August. 2010.

CHIMELO, J.P. (1986). **Manual de Preservação de Madeiras – III (Anatomia da Madeira).** Publicação IPT nº 1637. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, p.41-67.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R.E. Evaluation of four surfacing methods on black spruce wood in relation to poly(vinyl acetate) gluing performance. **Wood and Fiber Science**, 43(2), April 2011, p. 1-12.

D`ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Celulose e papel**. 2. ed. São Paulo: Departamento de divulgação do IPT, 1988. v. 1: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica.

DE CONTI, A. C**. Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp.** 2011. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005.116p. Tese (Doutorado) – Área de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 5. Ed., São Paulo: Artliber Editora, 2001.

EUROPEAN STANDARD. EN-204. **Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications**. CEN, 2001. 8 p.

EUROPEAN STANDARD. EN 205. **Adhesives – Wood adhesives for nonstructural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints**. CEN, 2002. 13 p.

FARINAS, C. S. **A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação**. Embrapa Instrumentação, 2011. 13 p.– (Embrapa Instrumentação. Documentos, ISSN: 1518-7179; 54). São Carlos.

FOLLRICH, J.; VAY,O. ; VEIGEL, S.; MÜLLER, U. Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread. **The Japan Wood Research Society**. 2010.

(a) FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives**. In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2005. CRC Press, New York, 703 p. cap.9

(b) FRIHART, C. R. Adhesive Bonding and Performance Testing of Bonded Wood Products. **Journal of ASTM International**, July/August 2005, Vol. 2, N°. 7.

FRIHART, C. R., HUNT, C. G. **Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance**. In: Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508 p.cap. 10.

GALEMBECK, F.; GANDUR, M. C. Cientistas explicam o fenômeno da adesão. **Química e Derivados**. v 393, p. 24-32. 2001

GONÇALVES, M.T.T. (2000). **Processamento da Madeira**. Bauru-SP: Document Center Xerox – USC, 242p., 23,5 cm. Inclui Índice. ISBN 85-901425-1-5.

GONZAGA, J. V. **Qualidade da Madeira e da Celulose Kraft de Treze Espécies de *Eucalytus*.** Viçosa, MG: UFV, 1983, 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.

GONZAGA, A. L**. Madeira: Uso e Conservação**. IPHAN/MONUMENTA-Cadernos Técnicos; v 6. 2006. Brasília, DF. 246 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - **IPT**. Acessado em 03/11/2015 http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/60.htm

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

JAKES,J. E.; FRIHART, C. R.; STONE, D.S. **Nanoindentation size effects in wood 30th Annual Meeting of The Adhesion Society**, Inc. February 18-21, 2007. Tampa Bay, FL. p. 15-17.

JENNINGS, J. D. **Investigating the surface energy and bond performance of compression densified wood**. 2003. 160 p. Dissertation (Master in Wood Science) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State, Blacksburg. 2003.

JESUS, J.M.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada.** Escola de Engenharia de São Carlos. p. 24-28. São Carlo – SP. 2000.

KIM, S., KIM, H.J. Thermal stability and viscoelastic properties of MF/PVAc hybrid resins on the adhesion for engineered flooring in under heating system; **ONDOL; Thermochimica Acta 444 (2006) 134–140**.

KLOCK, U.; MUÑIZ, GR. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ª Edição. Curitiba. 2005.
KOCH, P. **Wood Machining Processes**. New York. Ronald Press Company, 1964. 530p.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959. 675p.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. (1968). **Principles of Wood Science and Technology –I - Solid Wood.** New York. Springer-Verlag. 1984 v. 1, 291p.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of Wood Science and Technology –II - Wood Based Materials.** New York. Springer-Verlag. 1975 v. 2, 703p.

LEITE, M.K.; BELINI, U.L.; NOLASCO, A.M.; TOMAZELO M.FO. A Madeira de Reflorestamento como alternativa para indústria de mobiliários**,** In: 11˚ Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção, **Anais do 11˚ Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção,** Coimbra, Portugal, 2011.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. Editora da Universidade de São Paulo, 2. ed., 1996, 303p

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente.** 2008. 130 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2008.

MANO, E. B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros** 2. ed. rev. e ampl. São Paulo, 2004. 191p.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**.114p. 2011. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação: PPGEFL.DM – 157/2011, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

McKENZIE, W.M. (1960). Fundamental aspects of the wood cutting process. **Forest Products Journal**, v.10, n.9, p. 447-456.

MESQUITA, A. C. **Estudo da polimerização do acetato de vinila utilizando a radiação ionizante**. 76 p. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo 2002.

MILLER, R. B**. Structure of Wood**. In: Wood handbook – Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 1999.

NOGUEIRA, M.C.J.A. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**, publicação eletrônica da tese de doutorado, IBRAMEM, EESC – USP, São Carlos – SP. 2002.

ÖZÇIFÇI, A.;YAPICI, F. Structural performance of the finger-jointed strength of some wood species with different joint conFigurations. **Article in Construction and Building Materials**, 2007 (July 2008).

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente** 2011; 18(2):117-126.

(a) PACKHAM, D. E. **Roughness and adhesion**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(b) PACKHAM, D. E. **Lifshitz-Van der Waals forces**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(c) PACKHAM, D. E. **Bonds between atoms and molecules**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(a) PARKER, G. C. **Polyurethane adhesives**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

(b) PARKER, G. C. **Emulsion and dispersion adhesives**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

PETRIE, E. M. **Handbook of Adhesives and Sealants**. 1999. 764p.

PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. A. L. Isolamento e Análise Estrutural de Ligninas. **Quim. Nova**, Vol 16, Nº 5, 435-448, 1993.

PIZZI, A**. Wood adhesives: Chemistry and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1983. 364 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 289 p.

PIZZI, A. **Wood adhesives – basics General introduction**. In: PACKHAM, D. E. Handbook of Adhesion, 2 ed. 2005. 638p.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (*edge glued panels* – EGP)**. 114 p. Tese (Doutor em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Quim. Nova**, Vol. 26, N°. 6, 863-871, 2003

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906p.

RENZO, R. **Painel estrutural de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SALVINI, A.; SAIJA, L. M.; LUGLI, M.; CIPRIANI, G.; GIANNELLI, C. **Synthesis of Modified Poly(vinyl acetate) Adhesives**. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. Wood Adhesives. 2010. P. 317–339.

SANTOS, C. S. F. **Caracterização de Adesivos baseados em Dispersões Aquosas Vinílicas Desenvolvimento de Métodos de Ensaio**.105 p. – Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa. 2008.

SANTOS, F. A., QUEIRÓZ, J. H., COLODETTE, J. L., FERNANDES, S. A., GUIMARÃES, V. M., REZENDE, S. T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. Quim. Nova, Vol. 35, No. 5, 1004-1010, 2012

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. **Theories and Mechanisms of Adhesion**. In: PIZZI A.; MITTAL, K. L Handbook of Adhesive Technology - Second Edition, Revised and Expanded. 2003. P. 61-75.

SILVA, R., HARAGUCHI, S. K., MUNIZ, E. C., RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Quim. Nova,** Vol. 32, N°. 3, 661-671, 2009

SILVA, R.S. **Resistência mecânica da madeira de *Eucalyptus saligna* unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfície**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2013.

VALVERDE, S.R. Plantações de Eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**. Ed. n˚ 107, set. 2007.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. In: Wood handbook – Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 1999. 463 p. cap 9.

VITAL, B. R., MACIEL, A. S., DELLA LUCIA. R. M. Efeito de ciclos de umidade relativa e temperatura do ar na resistência de juntas coladas com lâminas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Smith E chapas de fibra de densidade média (MDF). **R. Árvore,** v.29, n.5, p.801-807**,** 2005**.**

WIEDENHOEFT A. C.; MILLER, R. B**. Structure and Function of Wood**.In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2005. CRC Press, New York.

WIEDENHOEFT A. C. **Structure and Function of Wood**. In: Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

http://www.blogadesivoindustrial.com.br/posts/47/ - acessado em 9/10/2015

APÊNDICE A - *Eucalyptus saligna* – Testes de Cisalhamento

Neste apêndice colocam-se os resultados de cisalhamento do eucalipto saligna, obtidos através dos ensaios realizados na máquina universal de ensaios mecânicos.

UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

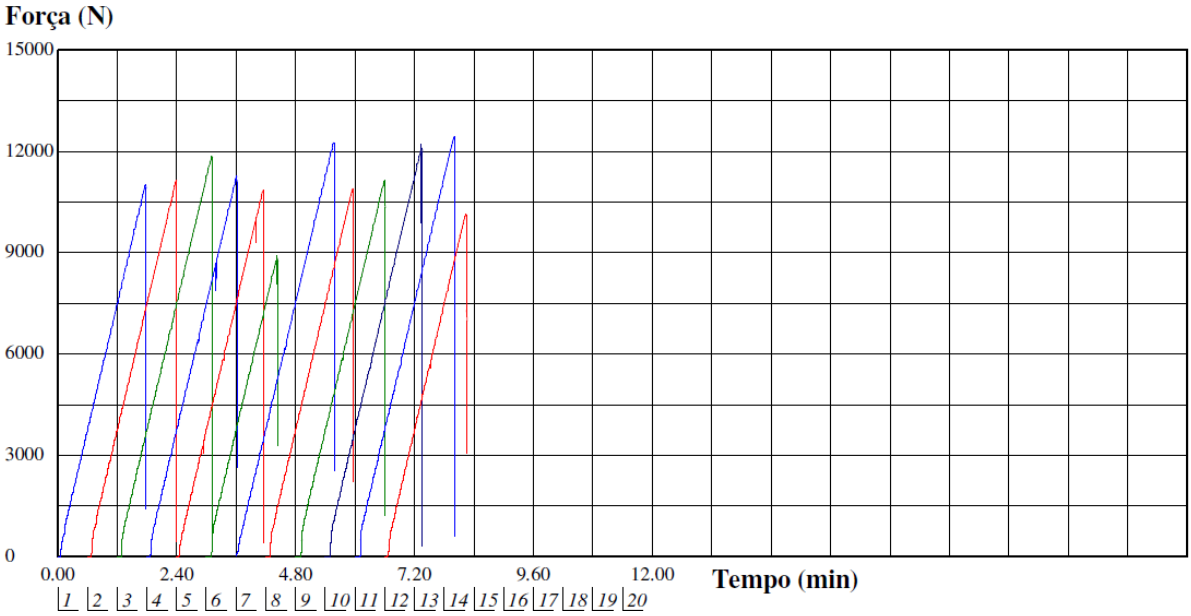
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **07:44:40** Trabalho n° **0836**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V1C1** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	33.59	50.01	16.80	11022.17	6.56
CP 2	33.60	49.99	16.80	11156.46	6.64
CP 3	33.57	50.29	16.88	11872.67	7.03
CP 4	33.64	49.75	16.74	11270.09	6.73
CP 5	33.73	50.07	16.89	10867.21	6.43
CP 6	33.61	50.08	16.83	8921.72	5.30
CP 7	33.89	50.24	17.03	12278.99	7.21
CP 8	33.59	50.17	16.85	10901.65	6.47
CP 9	33.45	49.25	16.47	11142.68	6.76
CP 10	33.60	50.47	16.96	12213.56	7.20
CP 11	33.70	50.53	17.03	12454.60	7.31
CP 12	33.67	49.90	16.80	10140.67	6.04
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33.64	50.06	16.84	11190	6.642
Desv.Padrão	0.1066	0.3401	0.1472	989.5	0.5651
Coef.Var.(%)	0.3170	0.6793	0.8742	8.845	8.508
Mínimo	33.45	49.25	16.47	8922	5.300
Máximo	33.89	50.53	17.03	12450	7.314



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

Relatório de Ensaio

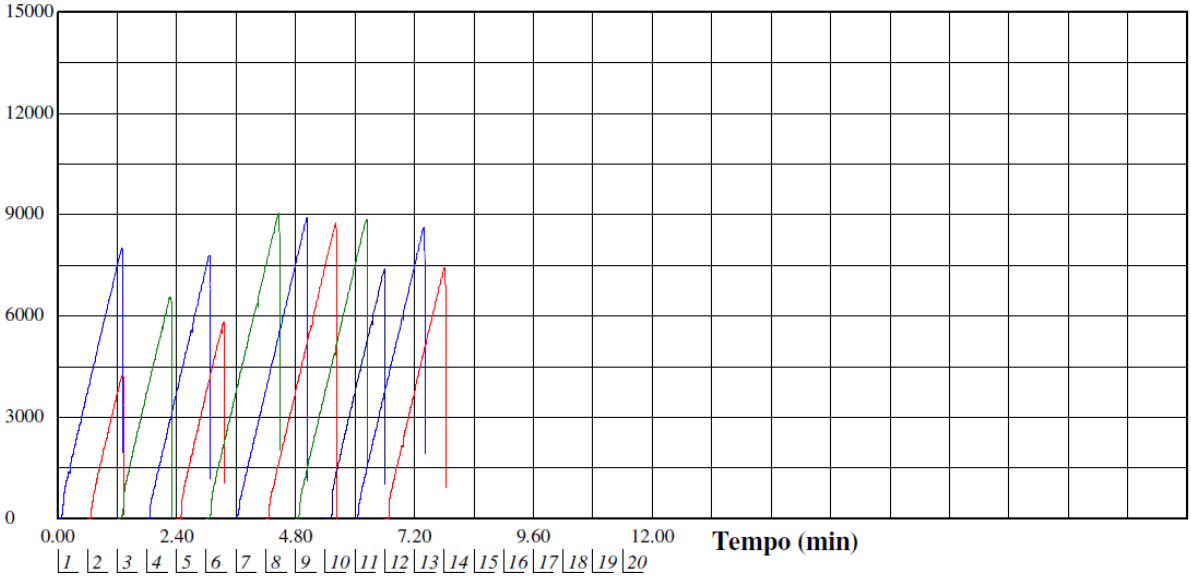
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **08:29:21** Trabalho n° **0837**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V1C2** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	33.64	49.63	16.70	8029.89	4.81
CP 2	29.73	50.27	14.95	4259.42	2.85
CP 3	34.24	50.06	17.14	6566.47	3.83
CP 4	29.95	49.87	14.94	7809.52	5.23
CP 5	29.83	50.07	14.94	5812.38	3.89
CP 6	33.72	49.94	16.84	9049.13	5.37
CP 7	33.80	50.23	16.98	8935.50	5.26
CP 8	33.94	50.18	17.03	8763.33	5.15
CP 9	33.75	50.37	17.00	8876.96	5.22
CP 10	30.15	49.94	15.06	7406.65	4.92
CP 11	29.95	50.08	15.00	8656.58	5.77
CP 12	29.77	49.78	14.82	7458.30	5.03
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	31.87	50.03	15.95	7635	4.778
Desv.Padrão	2.071	0.2142	1.050	1467	0.8311
Coef.Var.(%)	6.499	0.4281	6.587	19.22	17.39
Mínimo	29.73	49.63	14.82	4259	2.850
Máximo	34.24	50.37	17.14	9049	5.771

Força (N)



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

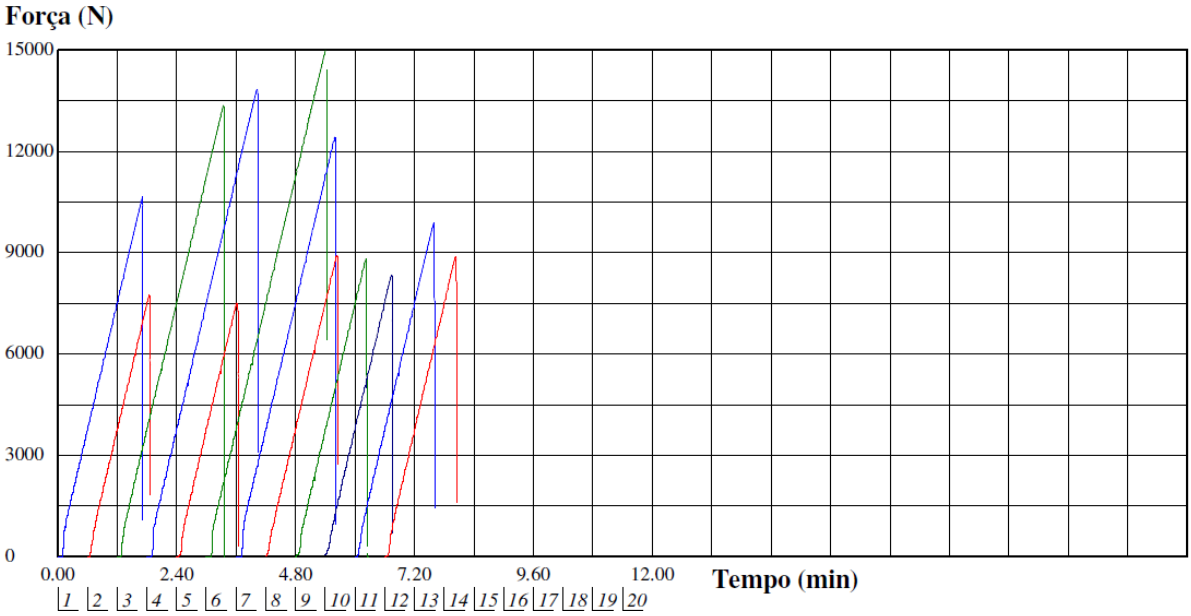
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **08:53:17** Trabalho n° **0838**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V1C3** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	30.80	49.31	15.19	10660.61	7.02
CP 2	30.88	49.81	15.38	7754.43	5.04
CP 3	30.85	49.83	15.37	13367.09	8.70
CP 4	30.81	49.72	15.32	13859.49	9.05
CP 5	30.84	49.82	15.36	7513.39	4.89
CP 6	30.70	50.06	15.37	15068.10	9.80
CP 7	30.85	49.70	15.33	12433.94	8.11
CP 8	30.88	49.60	15.32	8921.72	5.82
CP 9	30.64	49.98	15.31	8825.31	5.76
CP 10	30.79	49.85	15.35	8357.01	5.44
CP 11	30.86	49.75	15.35	9882.42	6.44
CP 12	30.87	49.64	15.32	8890.73	5.80
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	30.81	49.76	15.33	10460	6.823
Desv.Padrão	0.07465	0.1919	0.05123	2584	1.683
Coef.Var.(%)	0.2422	0.3857	0.3342	24.70	24.67
Mínimo	30.64	49.31	15.19	7513	4.890
Máximo	30.88	50.06	15.38	15070	9.805



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

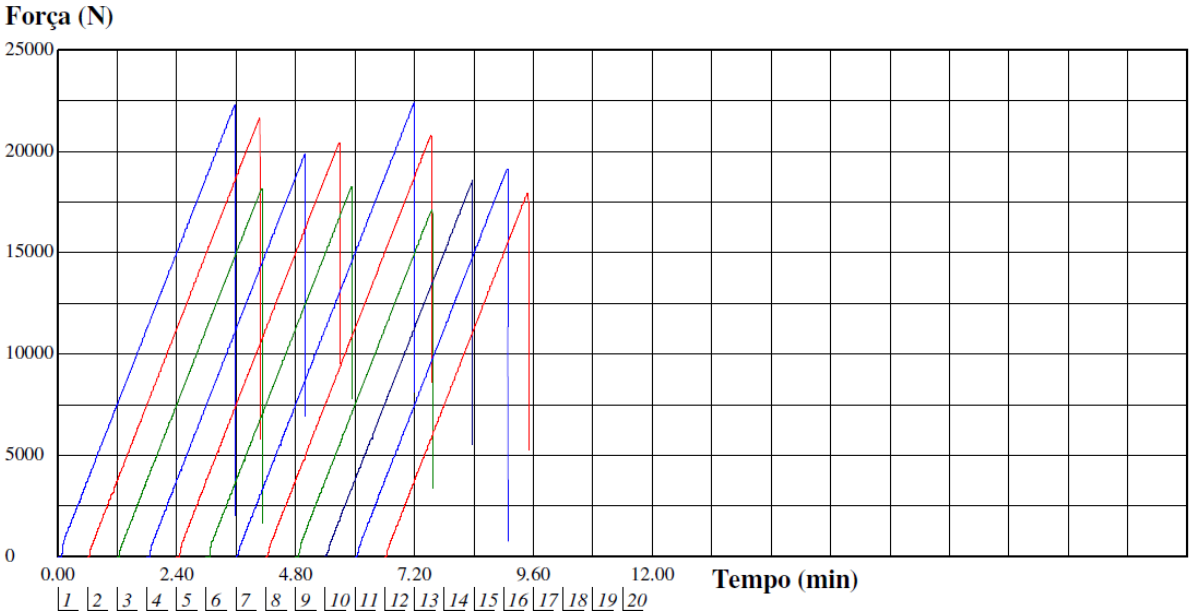
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **09:25:26** Trabalho n° **0839**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V1C4** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.18	50.76	17.35	22323.24	12.87
CP 2	34.23	50.76	17.38	21662.12	12.47
CP 3	34.30	50.53	17.33	18191.22	10.50
CP 4	34.09	50.49	17.21	19875.02	11.55
CP 5	34.03	50.34	17.13	20446.62	11.94
CP 6	34.13	50.35	17.18	18294.52	10.65
CP 7	34.27	50.44	17.29	22433.43	12.98
CP 8	34.01	50.58	17.20	20804.72	12.09
CP 9	34.09	50.34	17.16	17110.01	9.97
CP 10	34.16	50.50	17.25	18576.88	10.77
CP 11	34.28	50.51	17.31	19138.14	11.05
CP 12	34.28	50.56	17.33	17960.52	10.36
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.17	50.51	17.26	19730	11.43
Desv.Padrão	0.1020	0.1419	0.08162	1798	1.026
Coef.Var.(%)	0.2986	0.2809	0.4728	9.111	8.976
Mínimo	34.01	50.34	17.13	17110	9.970
Máximo	34.30	50.76	17.38	22430	12.98



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

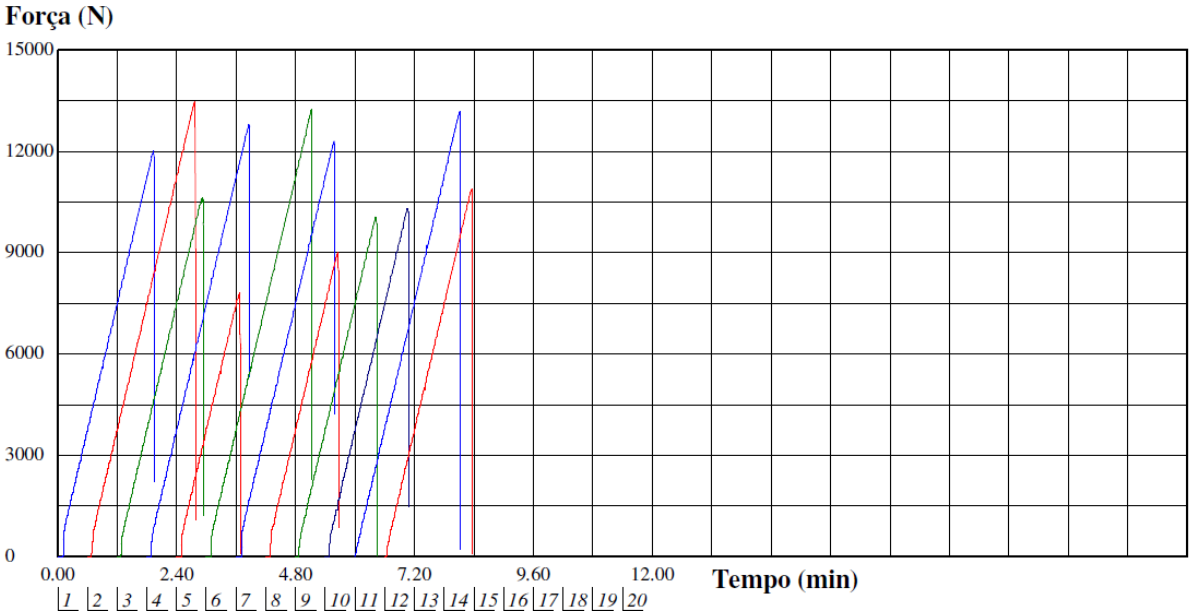
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **10:11:49** Trabalho n° **0840**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V2C1** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.08	50.64	17.26	12027.62	6.97
CP 2	34.12	50.13	17.10	13497.93	7.89
CP 3	34.34	50.40	17.31	10646.84	6.15
CP 4	34.02	50.09	17.04	12809.26	7.52
CP 5	34.32	50.37	17.29	7823.29	4.53
CP 6	34.32	50.24	17.24	13246.57	7.68
CP 7	34.00	50.55	17.19	12306.54	7.16
CP 8	34.43	50.26	17.30	9000.92	5.20
CP 9	34.30	50.51	17.32	10071.80	5.81
CP 10	34.14	50.35	17.19	10316.28	6.00
CP 11	34.09	50.37	17.17	13181.15	7.68
CP 12	34.27	50.44	17.29	10880.99	6.29
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.20	50.36	17.23	11320	6.574
Desv.Padrão	0.1430	0.1639	0.08852	1820	1.079
Coef.Var.(%)	0.4182	0.3254	0.5139	16.08	16.42
Mínimo	34.00	50.09	17.04	7823	4.526
Máximo	34.43	50.64	17.32	13500	7.892



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

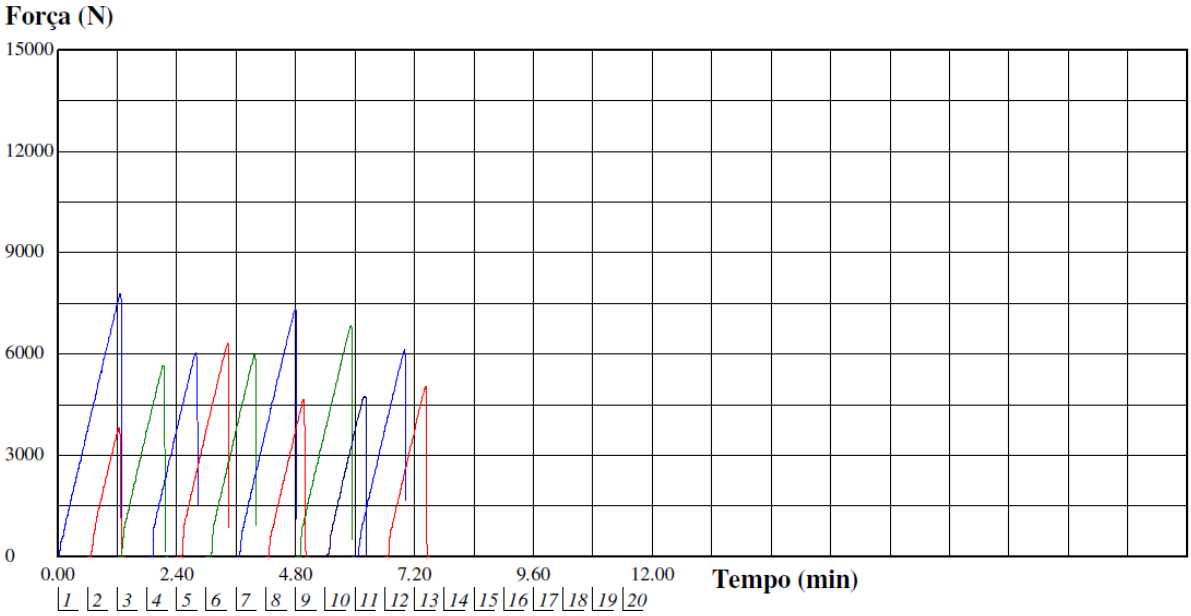
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **10:47:46** Trabalho n° **0841**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V2C2** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.25	50.21	17.20	7795.75	4.53
CP 2	34.05	49.96	17.01	3829.01	2.25
CP 3	34.15	50.40	17.21	5678.08	3.30
CP 4	34.53	50.18	17.33	6049.97	3.49
CP 5	34.11	50.20	17.12	6335.77	3.70
CP 6	34.06	50.17	17.09	5970.77	3.49
CP 7	34.22	50.02	17.12	7379.10	4.31
CP 8	34.26	50.25	17.22	4676.07	2.72
CP 9	34.17	50.04	17.10	6841.94	4.00
CP 10	34.27	50.11	17.17	4765.60	2.78
CP 11	34.24	50.41	17.26	6129.16	3.55
CP 12	34.10	49.96	17.04	5027.29	2.95
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.20	50.16	17.15	5873	3.423
Desv.Padrão	0.1299	0.1505	0.09271	1161	0.6735
Coef.Var.(%)	0.3797	0.3001	0.5404	19.76	19.68
Mínimo	34.05	49.96	17.01	3829	2.251
Máximo	34.53	50.41	17.33	7796	4.533



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

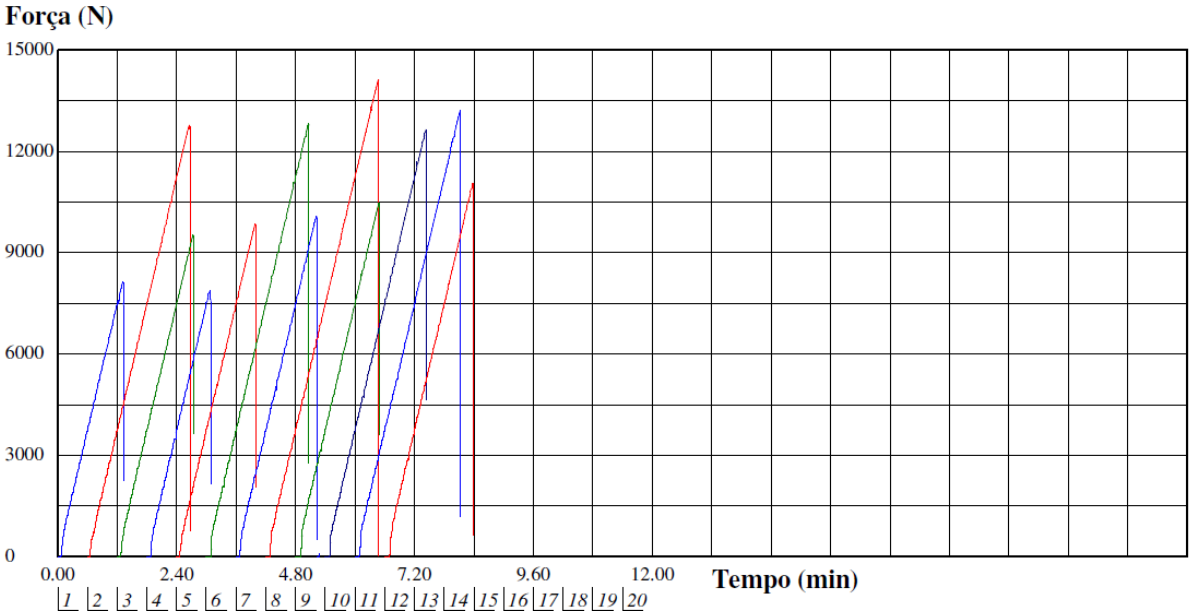
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic Trd 11** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **11:06:17** Trabalho n° **0842**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V2C3** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	32.27	50.34	16.24	8167.63	5.03
CP 2	34.27	50.38	17.27	12788.60	7.41
CP 3	32.73	50.28	16.46	9520.86	5.79
CP 4	32.70	50.21	16.42	7895.60	4.81
CP 5	32.61	50.30	16.40	9861.76	6.01
CP 6	34.24	50.39	17.25	12836.81	7.44
CP 7	34.31	50.37	17.28	10089.02	5.84
CP 8	34.33	50.40	17.30	14131.51	8.17
CP 9	32.63	50.40	16.45	10467.79	6.37
CP 10	34.39	50.26	17.28	12654.31	7.32
CP 11	34.40	50.52	17.38	13208.69	7.60
CP 12	32.66	50.25	16.41	11063.49	6.74
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33.46	50.34	16.85	11060	6.543
Desv.Padrão	0.9081	0.08590	0.4727	2050	1.072
Coef.Var.(%)	2.714	0.1706	2.806	18.54	16.38
Mínimo	32.27	50.21	16.24	7896	4.809
Máximo	34.40	50.52	17.38	14130	8.167



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

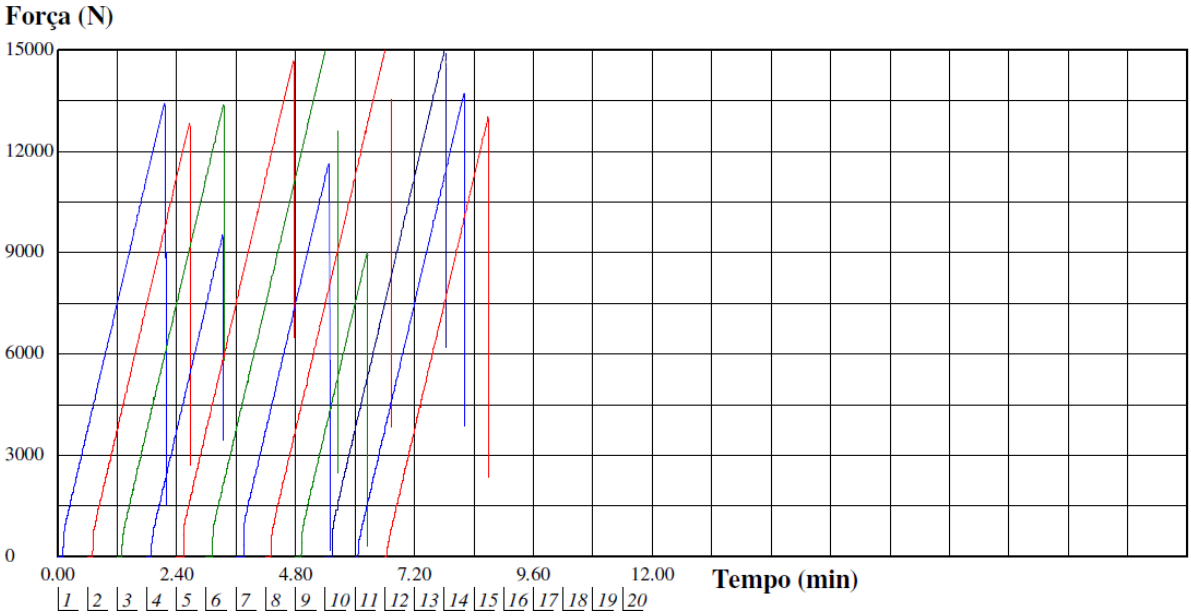
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **13:53:42** Trabalho n° **0843**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V2C4** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	32.69	50.40	16.48	13425.62	8.15
CP 2	32.71	50.30	16.45	12847.14	7.81
CP 3	34.40	50.22	17.28	13384.30	7.75
CP 4	34.32	50.30	17.26	9527.75	5.52
CP 5	34.30	50.38	17.28	14685.89	8.50
CP 6	32.92	50.50	16.62	16493.65	9.92
CP 7	32.76	49.96	16.37	11641.97	7.11
CP 8	32.75	50.45	16.52	15708.57	9.51
CP 9	34.27	50.34	17.25	9011.25	5.22
CP 10	32.73	50.20	16.43	15078.43	9.18
CP 11	34.36	50.27	17.27	13728.64	7.95
CP 12	34.25	50.57	17.32	13039.97	7.53
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33.54	50.32	16.88	13210	7.845
Desv.Padrão	0.8157	0.1593	0.4214	2273	1.424
Coef.Var.(%)	2.432	0.3166	2.497	17.20	18.15
Mínimo	32.69	49.96	16.37	9011	5.223
Máximo	34.40	50.57	17.32	16490	9.921



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

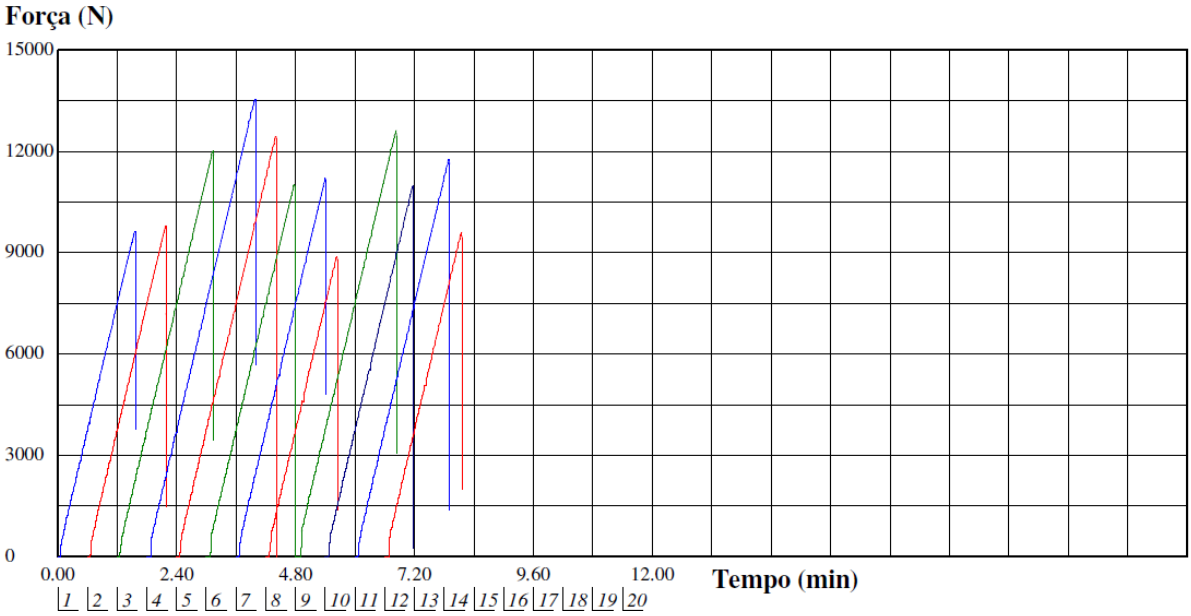
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **14:33:42** Trabalho n° **0844**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V3C1** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	33.99	50.30	17.10	9651.71	5.65
CP 2	34.22	50.52	17.29	9813.55	5.68
CP 3	34.08	50.44	17.19	12031.07	7.00
CP 4	34.07	50.45	17.19	13556.47	7.89
CP 5	34.21	50.54	17.29	12454.60	7.20
CP 6	34.14	50.38	17.20	11025.61	6.41
CP 7	33.98	50.32	17.10	11214.99	6.56
CP 8	33.96	50.30	17.08	8894.17	5.21
CP 9	34.01	50.20	17.07	12633.65	7.40
CP 10	34.16	50.55	17.27	10987.73	6.36
CP 11	34.13	50.43	17.21	11776.26	6.84
CP 12	34.03	50.48	17.18	9600.06	5.59
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.08	50.41	17.18	11140	6.482
Desv.Padrão	0.08993	0.1102	0.07837	1428	0.8275
Coef.Var.(%)	0.2639	0.2187	0.4561	12.82	12.77
Mínimo	33.96	50.20	17.07	8894	5.207
Máximo	34.22	50.55	17.29	13560	7.887



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

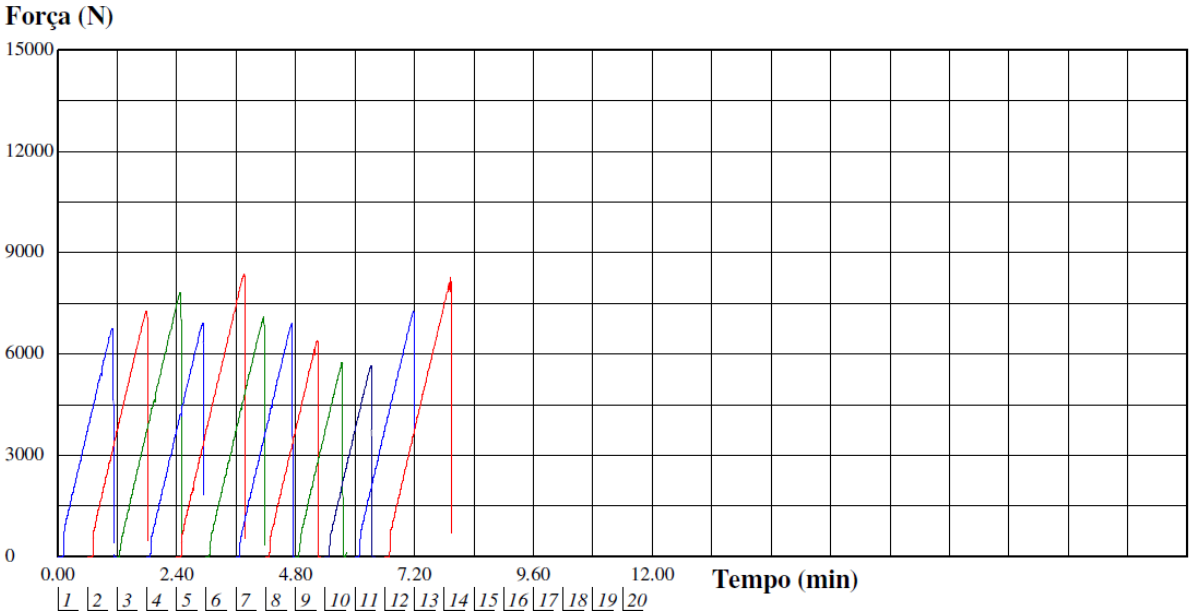
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **15:02:25** Trabalho n° **0845**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V3C2** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.02	50.08	17.04	6779.96	3.98
CP 2	34.00	50.09	17.03	7279.24	4.27
CP 3	34.19	50.39	17.23	7833.62	4.55
CP 4	34.19	50.42	17.24	6921.13	4.01
CP 5	34.08	50.15	17.09	8370.79	4.90
CP 6	34.18	50.23	17.17	7100.19	4.14
CP 7	34.20	50.17	17.16	6934.91	4.04
CP 8	34.13	50.52	17.24	6404.63	3.71
CP 9	34.17	50.13	17.13	5750.40	3.36
CP 10	34.20	50.40	17.24	5657.42	3.28
CP 11	34.19	50.64	17.31	7268.91	4.20
CP 12	34.03	50.35	17.13	8277.81	4.83
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.13	50.30	17.17	7048	4.106
Desv.Padrão	0.07756	0.1821	0.08780	859.0	0.5051
Coef.Var.(%)	0.2272	0.3620	0.5114	12.19	12.30
Mínimo	34.00	50.08	17.03	5657	3.282
Máximo	34.20	50.64	17.31	8371	4.898



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

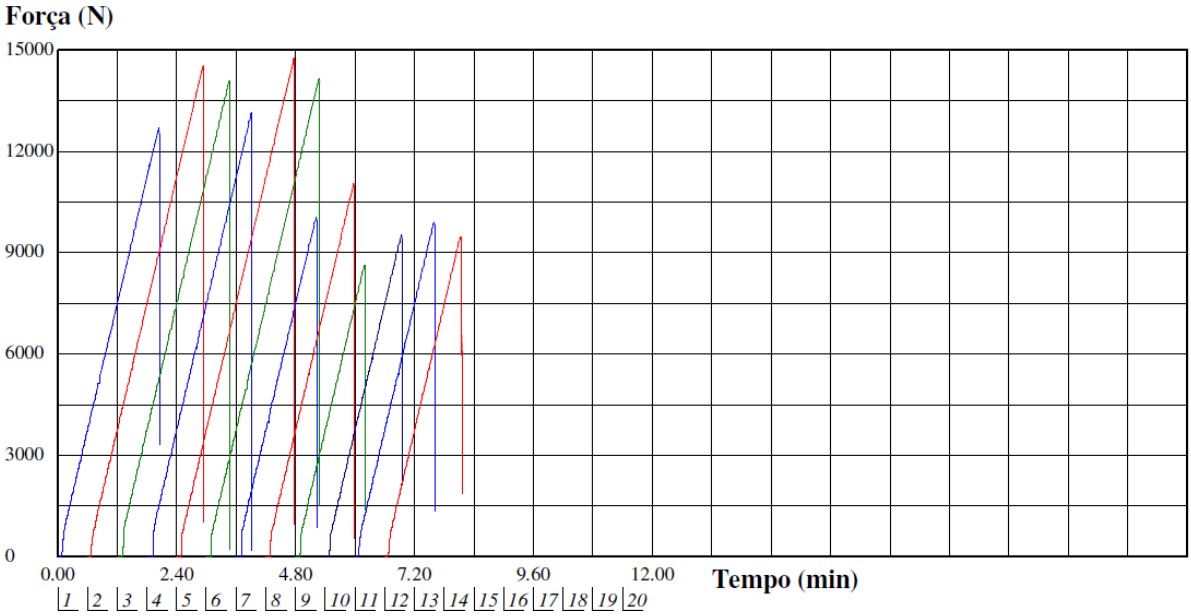
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **15:23:49** Trabalho n° **0846**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V3C3** Procedencia: **Nestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.04	50.40	17.16	12712.85	7.41
CP 2	33.98	50.36	17.11	14558.49	8.51
CP 3	33.96	50.21	17.05	14117.74	8.28
CP 4	33.99	50.08	17.02	13146.71	7.72
CP 5	33.94	50.38	17.10	14761.64	8.63
CP 6	33.94	50.33	17.08	14165.94	8.29
CP 7	34.05	50.21	17.10	10061.47	5.89
CP 8	34.04	50.27	17.11	11066.93	6.47
CP 9	33.97	50.29	17.08	8656.58	5.07
CP 10	34.01	50.49	17.17	9538.08	5.55
CP 11	34.01	50.26	17.09	9913.41	5.80
CP 12	34.03	50.37	17.14	9472.66	5.53
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.00	50.30	17.10	11850	6.929
Desv.Padrão	0.03916	0.1082	0.04188	2286	1.343
Coef.Var.(%)	0.1152	0.2152	0.2449	19.30	19.38
Mínimo	33.94	50.08	17.02	8657	5.067
Máximo	34.05	50.49	17.17	14760	8.633



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

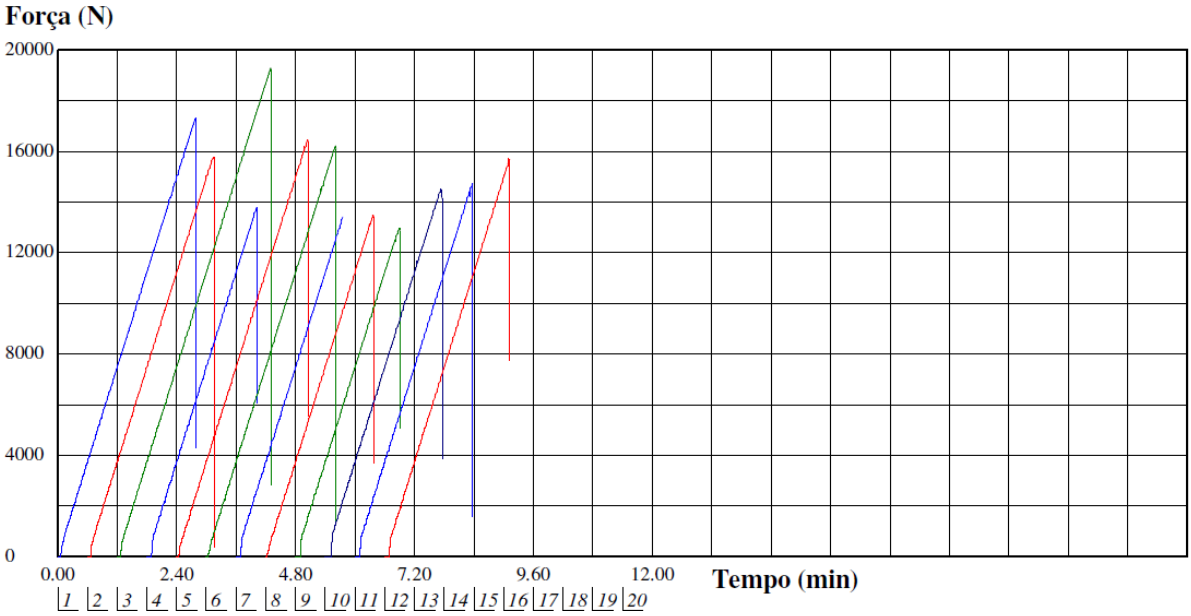
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **15:53:26** Trabalho n° **0847**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V3C4** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	32.47	50.46	16.38	17326.94	10.58
CP 2	34.03	50.34	17.13	15804.98	9.23
CP 3	34.12	50.40	17.20	19282.76	11.21
CP 4	32.38	50.13	16.23	13797.51	8.50
CP 5	34.07	50.48	17.20	16472.99	9.58
CP 6	32.46	50.49	16.39	16235.40	9.91
CP 7	34.11	50.50	17.23	13422.18	7.79
CP 8	32.26	50.50	16.29	13494.49	8.28
CP 9	34.12	50.43	17.21	12981.43	7.54
CP 10	34.03	50.20	17.08	14520.61	8.50
CP 11	32.65	50.51	16.49	14720.32	8.93
CP 12	32.34	50.00	16.17	15708.57	9.71
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	33.25	50.37	16.75	15310	9.147
Desv.Padrão	0.8686	0.1697	0.4510	1859	1.105
Coef.Var.(%)	2.612	0.3369	2.692	12.14	12.08
Mínimo	32.26	50.00	16.17	12980	7.544
Máximo	34.12	50.51	17.23	19280	11.21



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

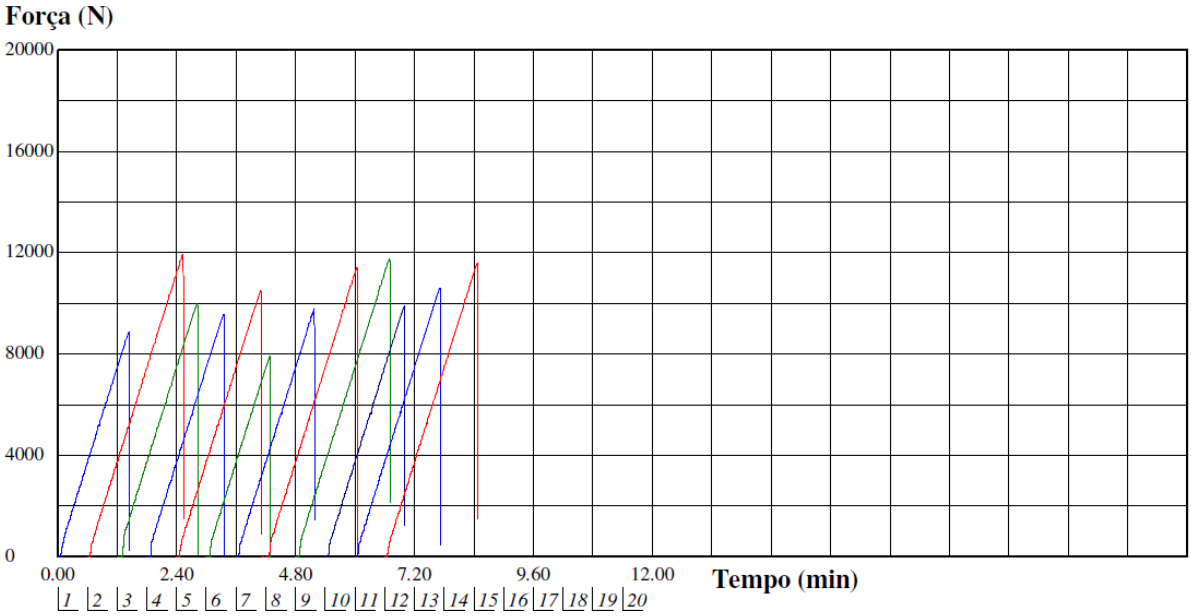
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **16:34:14** Trabalho n° **0848**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalyptus V4C1** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.01	50.45	17.16	8904.50	5.19
CP 2	34.00	50.51	17.17	11920.88	6.94
CP 3	34.16	50.11	17.12	9992.60	5.84
CP 4	34.07	50.24	17.12	9572.51	5.59
CP 5	34.13	50.36	17.19	10515.99	6.12
CP 6	34.01	50.25	17.09	7943.81	4.65
CP 7	34.00	50.30	17.10	9792.89	5.73
CP 8	34.02	50.24	17.09	11428.48	6.69
CP 9	34.11	50.49	17.22	11779.70	6.84
CP 10	34.02	50.25	17.10	9906.52	5.79
CP 11	34.03	50.50	17.19	10636.51	6.19
CP 12	34.02	50.40	17.15	11604.09	6.77
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.05	50.34	17.14	10330	6.028
Desv.Padrão	0.05541	0.1293	0.04461	1224	0.7062
Coef.Var.(%)	0.1627	0.2567	0.2603	11.84	11.72
Mínimo	34.00	50.11	17.09	7944	4.648
Máximo	34.16	50.51	17.22	11920	6.941



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

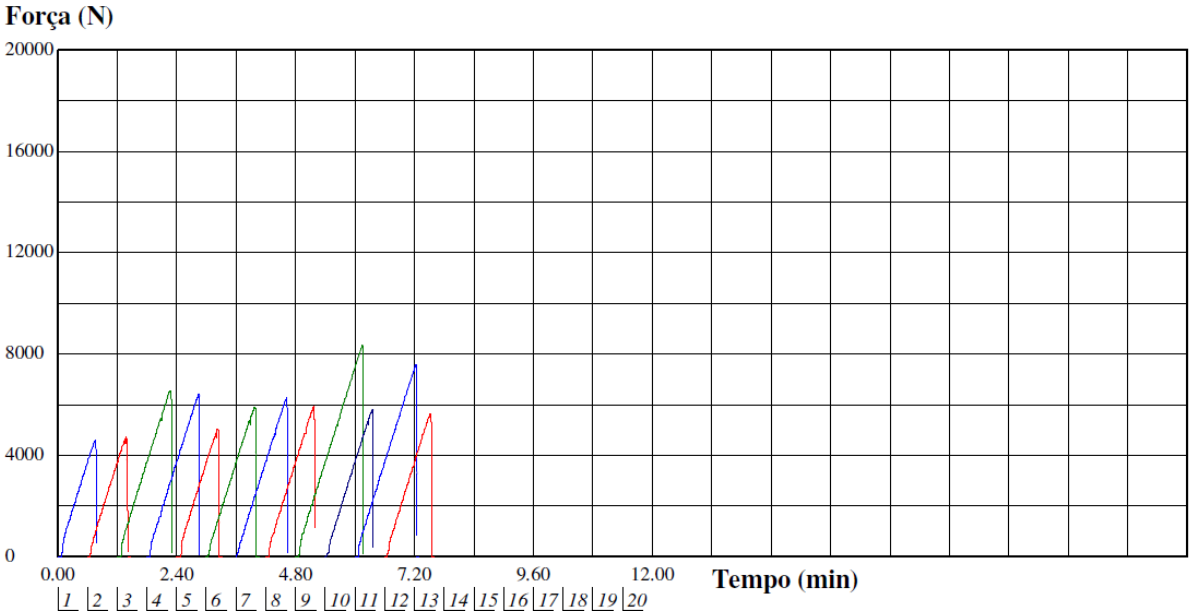
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **11/12/2015** Hora: **17:05:37** Trabalho n° **0849**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V4C2** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.02	50.13	17.05	4593.43	2.69
CP 2	34.28	50.27	17.23	4744.94	2.75
CP 3	34.19	50.45	17.25	6542.37	3.79
CP 4	33.98	50.35	17.11	6439.07	3.76
CP 5	34.01	50.20	17.07	5030.74	2.95
CP 6	34.09	50.45	17.20	5912.23	3.44
CP 7	34.25	50.42	17.27	6270.34	3.63
CP 8	34.03	50.35	17.13	5946.67	3.47
CP 9	34.24	50.46	17.28	8353.57	4.83
CP 10	33.98	50.44	17.14	5829.59	3.40
CP 11	34.24	50.45	17.27	7609.80	4.41
CP 12	34.01	50.35	17.12	5640.21	3.29
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.11	50.36	17.18	6076	3.535
Desv.Padrão	0.1196	0.1092	0.08159	1099	0.6274
Coef.Var.(%)	0.3507	0.2169	0.4750	18.09	17.75
Mínimo	33.98	50.13	17.05	4593	2.693
Máximo	34.28	50.46	17.28	8354	4.835



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

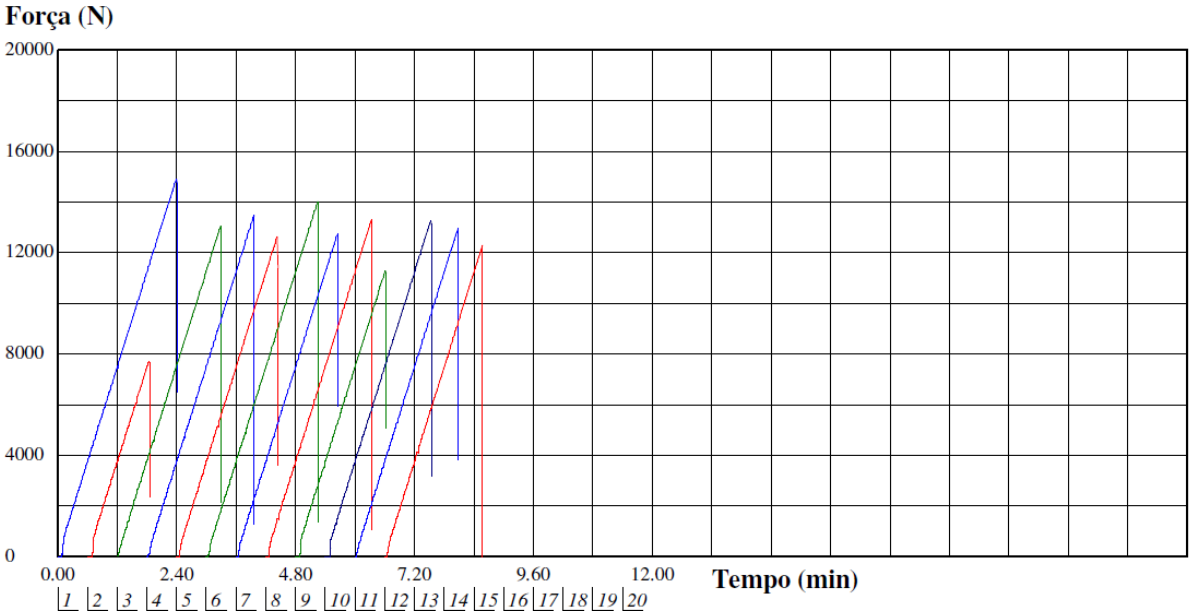
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **12/12/2015** Hora: **07:36:55** Trabalho n° **0850**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V4C3** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	33.83	50.16	16.97	14916.59	8.79
CP 2	33.84	50.12	16.96	7723.44	4.55
CP 3	33.96	50.49	17.15	13077.85	7.63
CP 4	34.01	50.24	17.09	13473.83	7.89
CP 5	33.91	50.40	17.09	12650.87	7.40
CP 6	34.03	50.30	17.12	14048.87	8.21
CP 7	34.05	50.42	17.17	12788.60	7.45
CP 8	34.08	50.51	17.21	13325.77	7.74
CP 9	34.07	50.43	17.18	11301.08	6.58
CP 10	34.01	50.25	17.09	13267.23	7.76
CP 11	34.09	50.47	17.21	12971.10	7.54
CP 12	34.12	50.47	17.22	12296.21	7.14
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.00	50.35	17.12	12650	7.390
Desv.Padrão	0.09611	0.1352	0.08737	1787	1.044
Coef.Var.(%)	0.2827	0.2685	0.5103	14.12	14.13
Mínimo	33.83	50.12	16.96	7723	4.554
Máximo	34.12	50.51	17.22	14920	8.790



UNESP - Itapeva

Engenharia Madereira - laboratório de propriedades físico-mecânicas

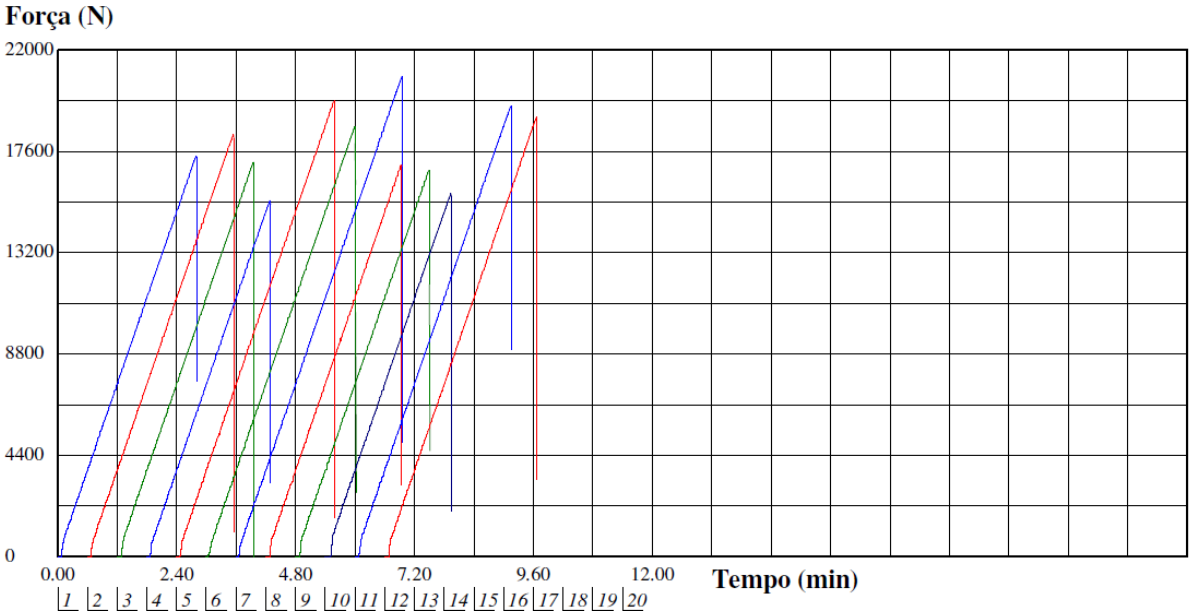
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 11** Data: **12/12/2015** Hora: **08:33:55** Trabalho n° **0851**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CISALHAMENTO**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Espécie: **Eucalypto V4C4** Procedencia: **Mestrado JC** Operador: **Brito**

Corpo de Prova	largura a (mm)	altura (mm)	seção (cm2)	Fv0,max (N)	fv0 (MPa)
CP 1	34.09	50.35	17.16	17395.81	10.13
CP 2	34.10	50.25	17.14	18342.73	10.70
CP 3	34.14	50.20	17.14	17130.67	10.00
CP 4	34.01	50.19	17.07	15467.53	9.06
CP 5	34.14	50.10	17.10	19819.93	11.59
CP 6	34.08	50.18	17.10	18711.17	10.94
CP 7	34.14	50.19	17.13	20877.04	12.18
CP 8	34.13	50.21	17.14	17027.37	9.94
CP 9	34.14	50.28	17.17	16800.11	9.79
CP 10	34.11	50.01	17.06	15794.65	9.26
CP 11	34.34	50.26	17.26	19585.78	11.35
CP 12	34.13	50.35	17.18	19100.27	11.11
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	34.13	50.21	17.14	18000	10.50
Desv.Padrão	0.07645	0.09624	0.05380	1671	0.9618
Coef.Var.(%)	0.2240	0.1917	0.3139	9.282	9.156
Mínimo	34.01	50.01	17.06	15470	9.061
Máximo	34.34	50.35	17.26	20880	12.18



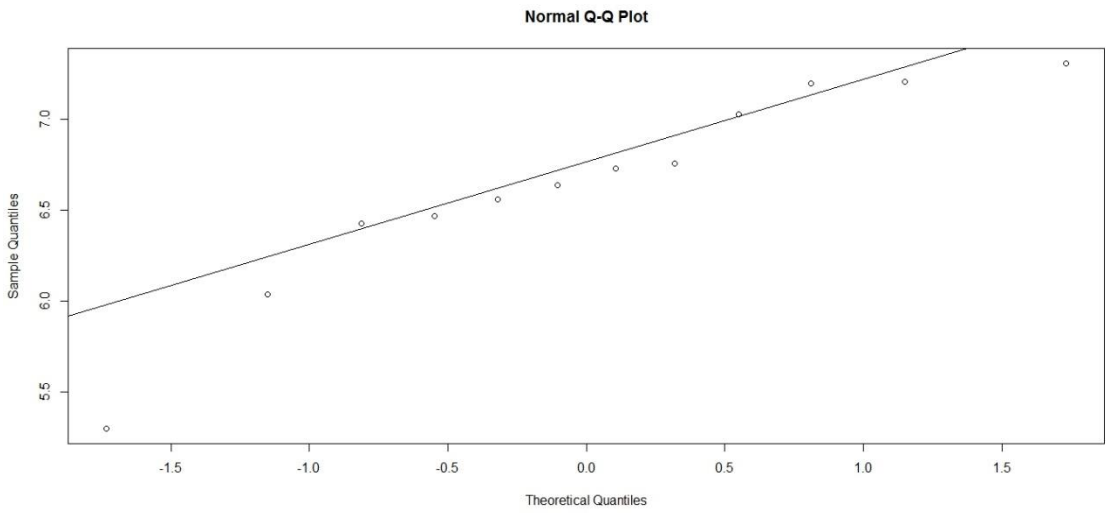
APÊNDICE B - *Eucalyptus saligna* - Dados estatísticos

Analisando Todos Na V1.

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V1C1 and mean(V1C1)

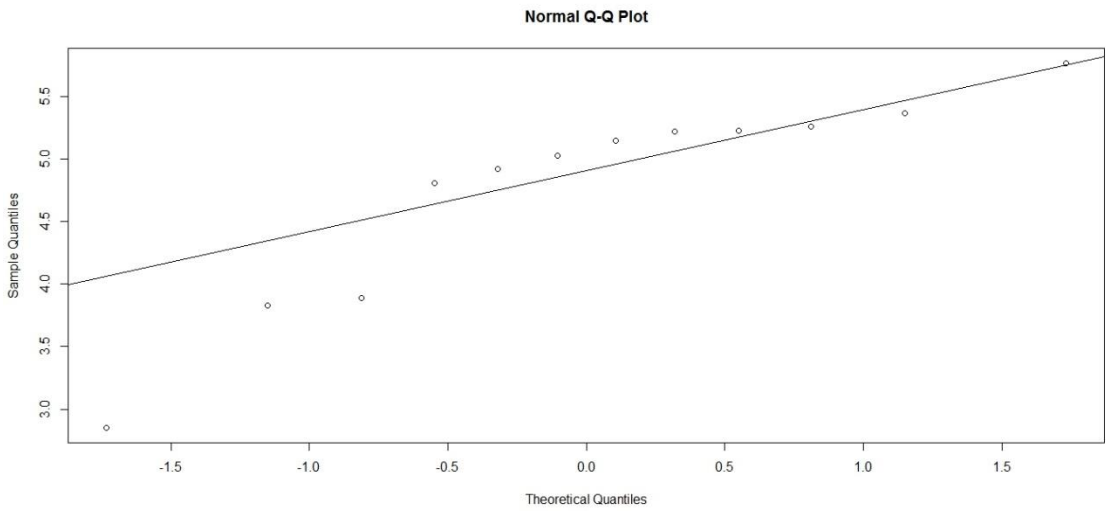
D = 0.5, p-value = 0.9751



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V1C2 and mean(V1C2)

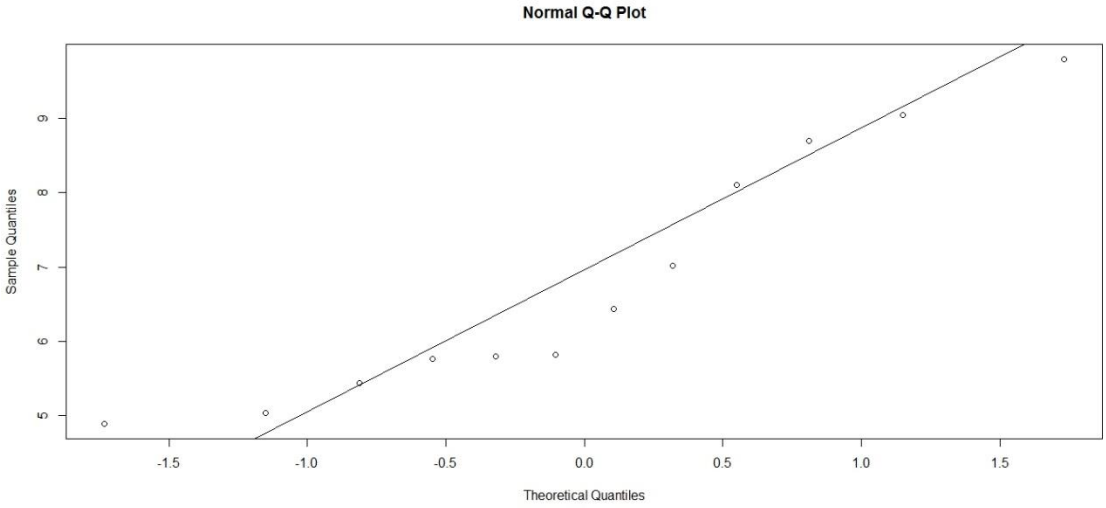
D = 0.75, p-value = 0.6154



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V1C3 and mean(V1C3)

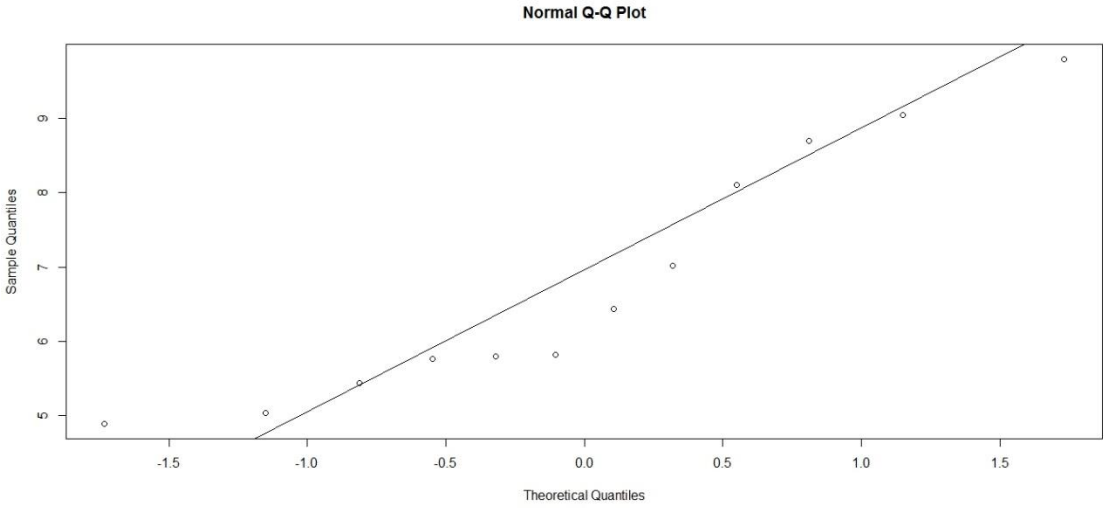
D = 0.58333, p-value = 0.9231



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V1C4 and mean(V1C4)

D = 0.5, p-value = 1

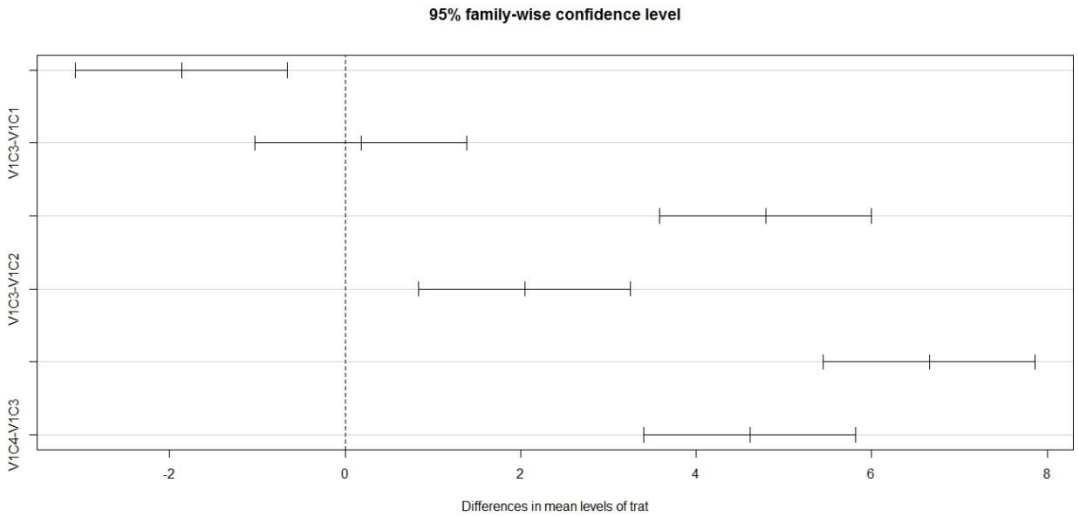



```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 13.057, df = 3, p-value = 0.004516

>
```

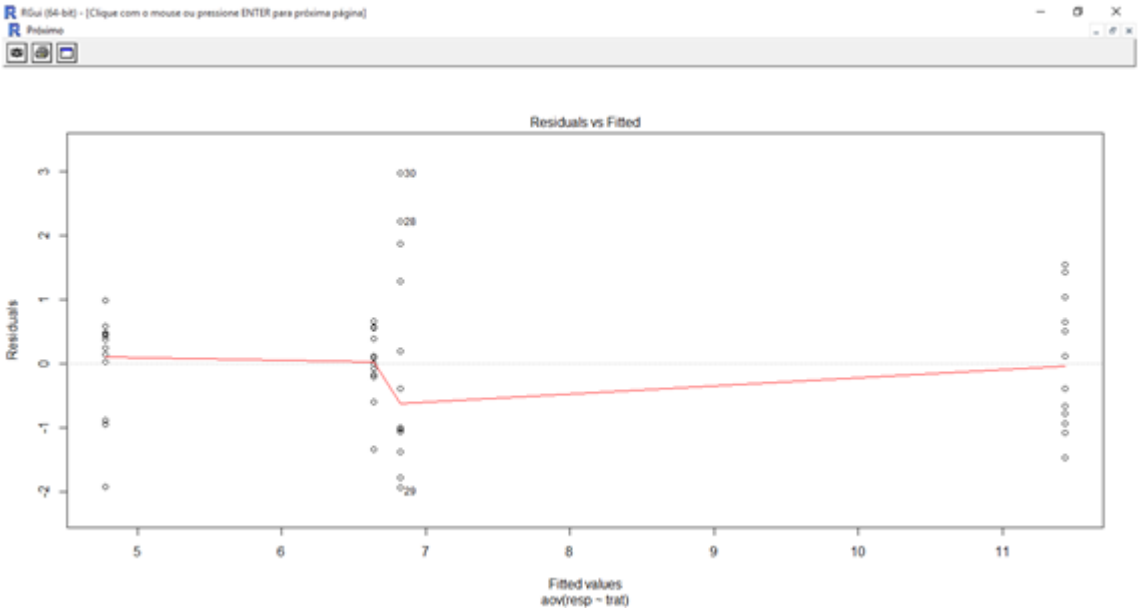
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trat         3 288.66   96.22   78.57 <2e-16 ***
Residuals   44  53.89    1.22
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
```

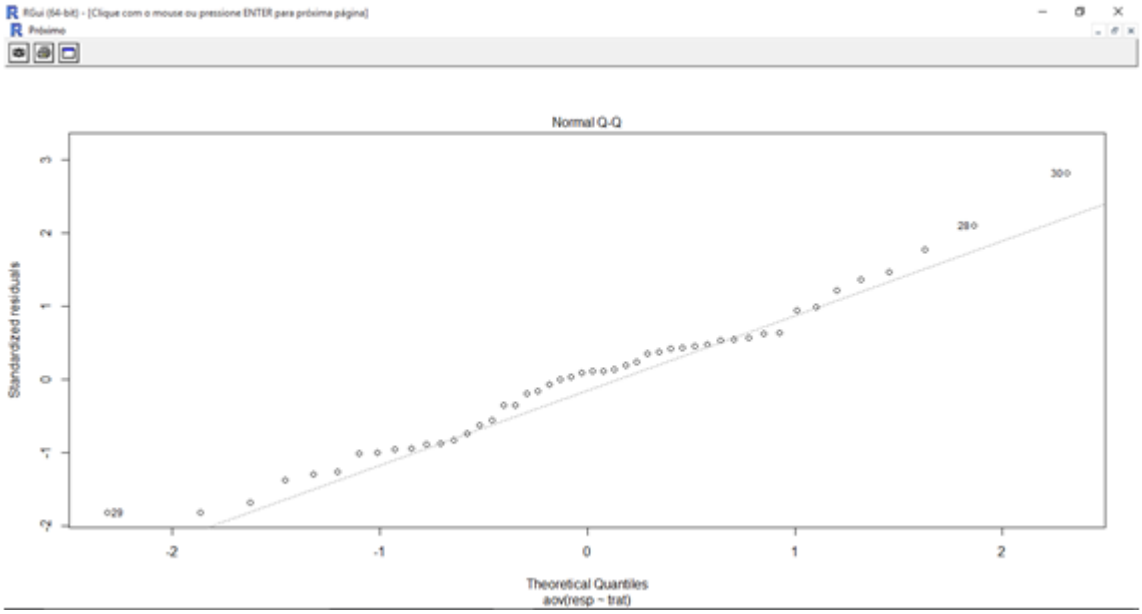
TUKEY

```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
               diff        lwr        upr     p adj
V1C2-V1C1 -1.862500 -3.0687837 -0.6562163 0.0009097
V1C3-V1C1  0.182500 -1.0237837  1.3887837 0.9774351
V1C4-V1C1  4.793333  3.5870496  5.9996171 0.0000000
V1C3-V1C2  2.045000  0.8387163  3.2512837 0.0002570
V1C4-V1C2  6.655833  5.4495496  7.8621171 0.0000000
V1C4-V1C3  4.610833  3.4045496  5.8171171 0.0000000

>
```



Gráficos gerados pela anova





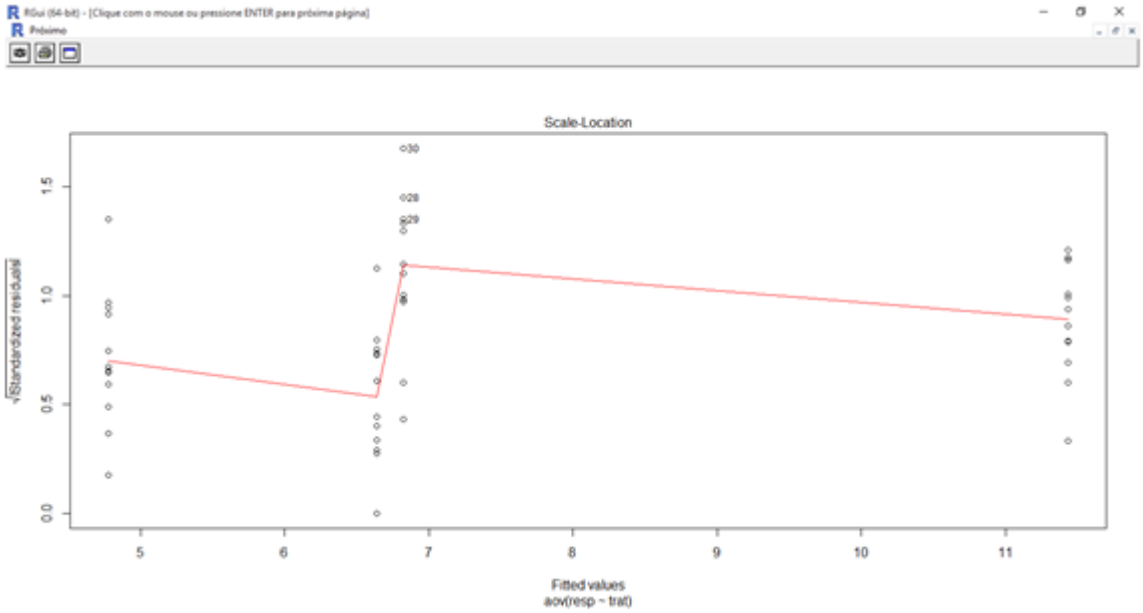
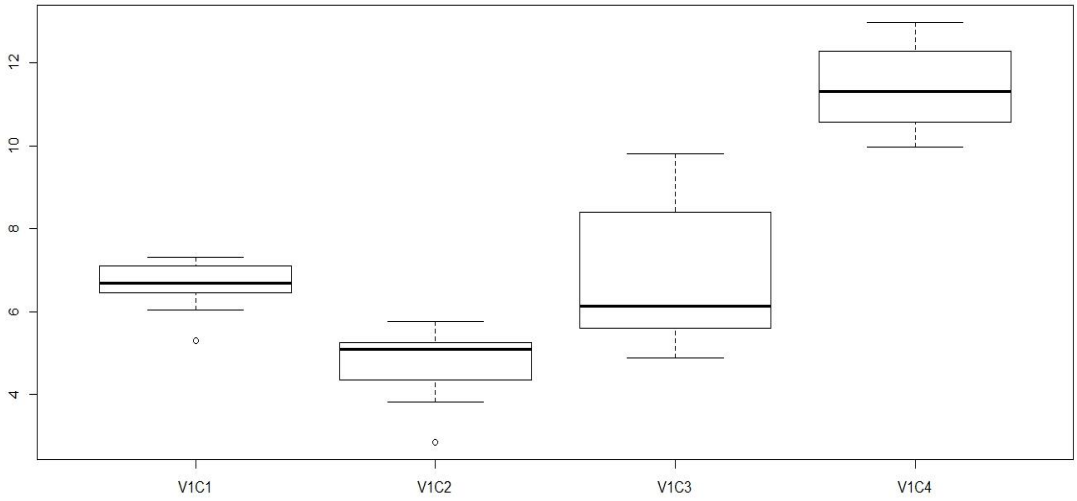


Gráfico Box PLOT média

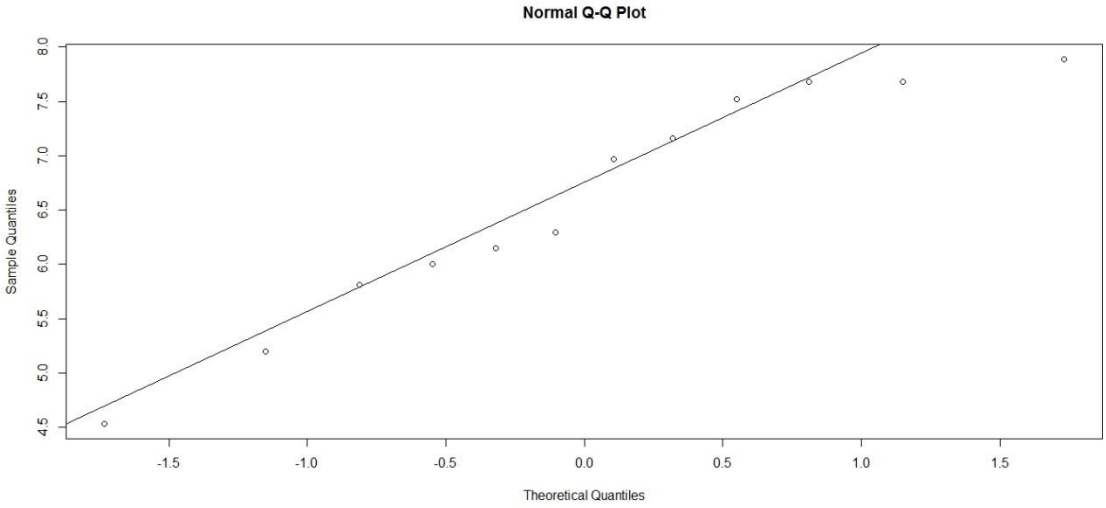


Analisando Todos Na V2.

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V2C1 and mean(V2C1)

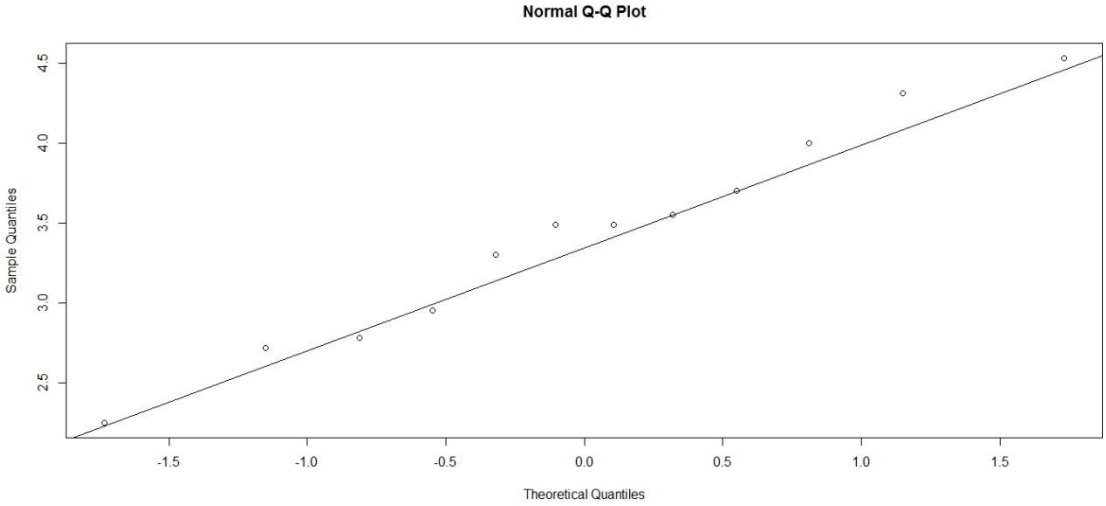
D = 0.5, p-value = 0.9751



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V2C2 and mean(V2C2)

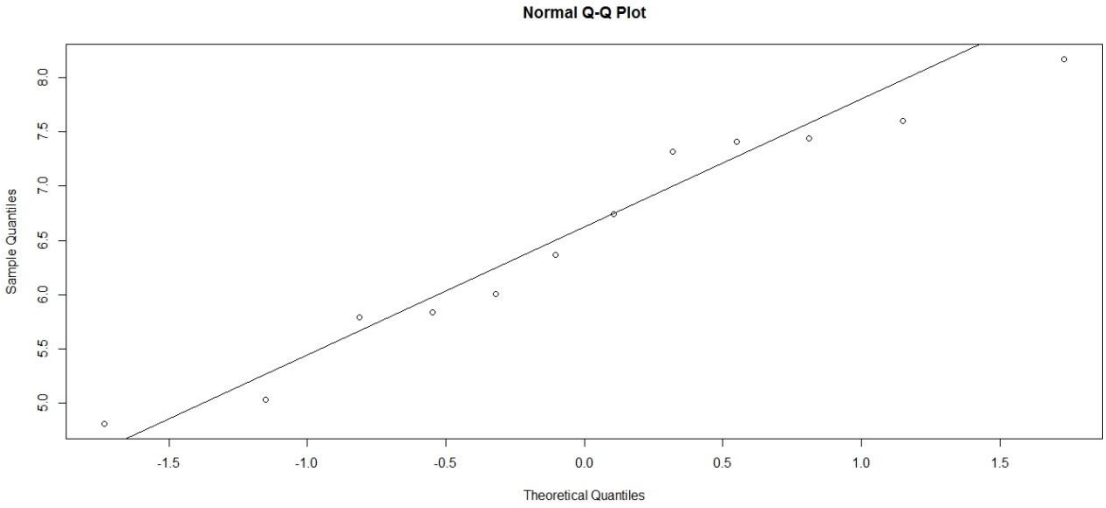
D = 0.58333, p-value = 0.9119



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V2C3 and mean(V2C3)

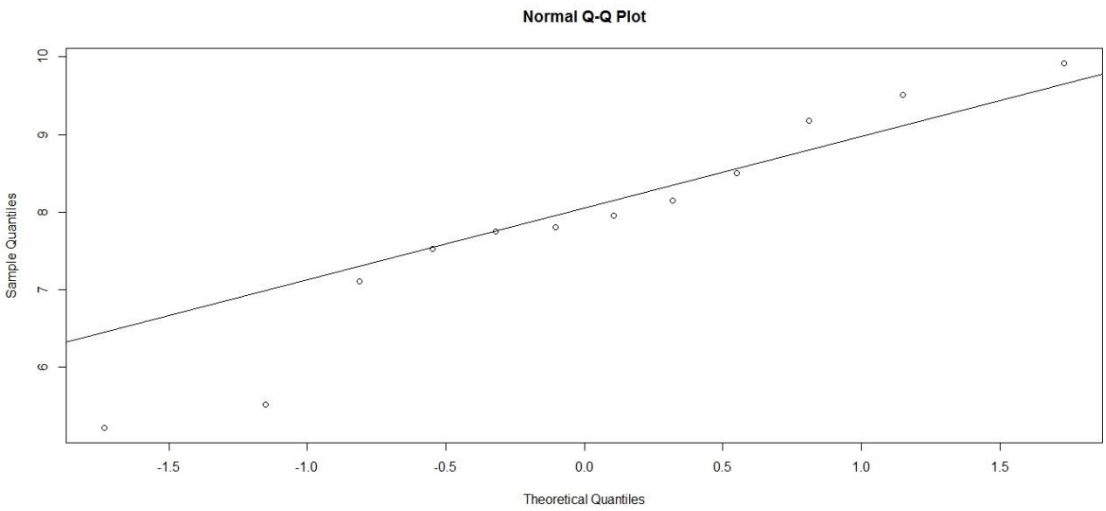
D = 0.5, p-value = 1



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V2C4 and mean(V2C4)

D = 0.5, p-value = 1

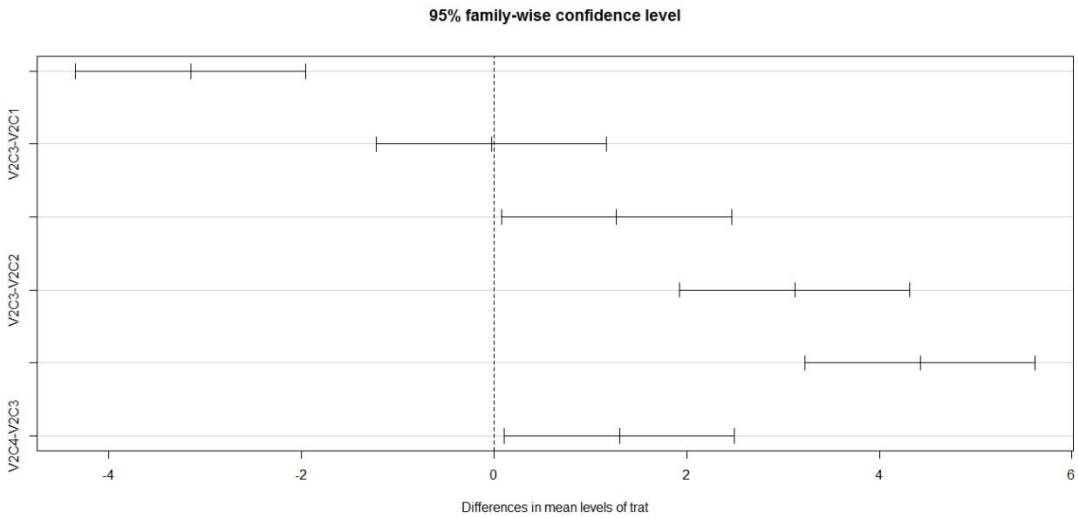



```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 5.522, df = 3, p-value = 0.1373

>
```

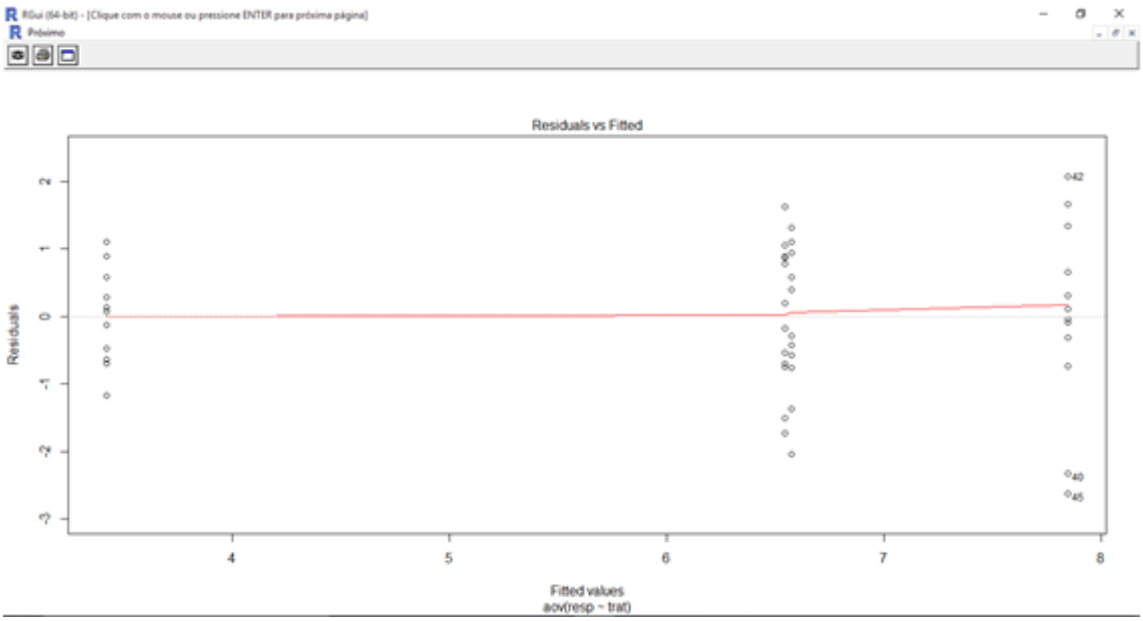
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
trat         3 127.66   42.55   35.49 8.15e-12 ***
Residuals   44  52.75    1.20
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
```

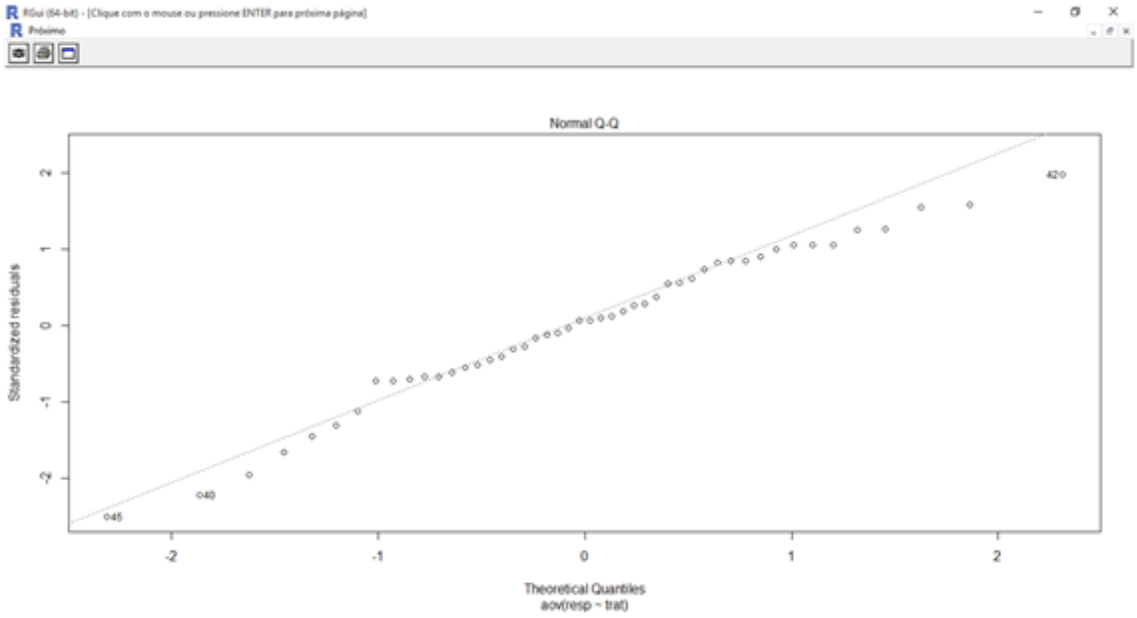
TUKEY

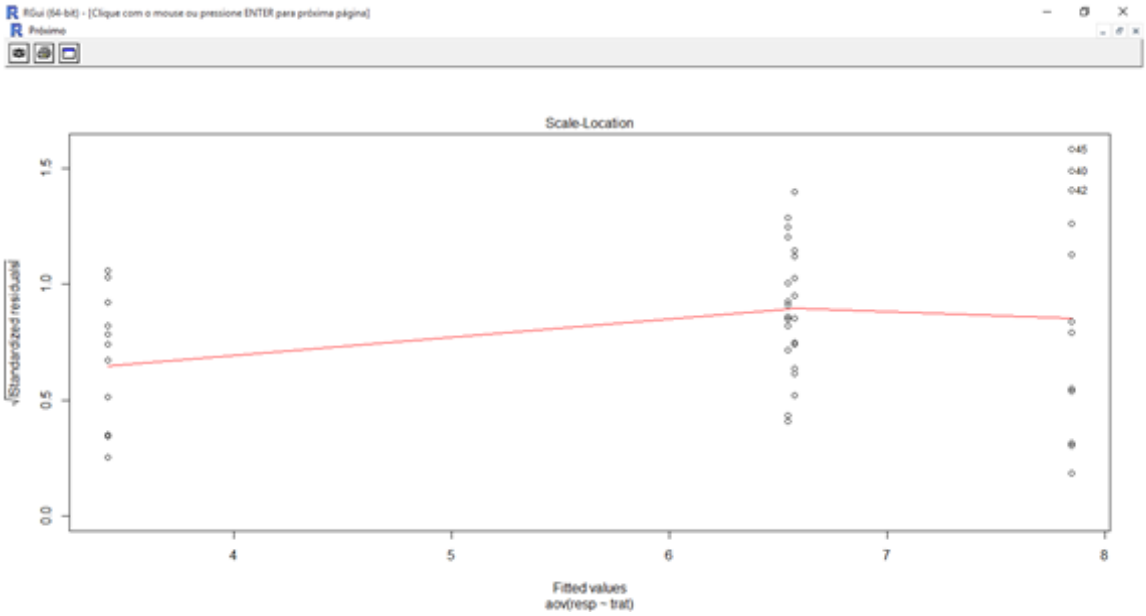
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
                diff         lwr       upr     p adj
V2C2-V2C1 -3.15083333 -4.34435640 -1.957310 0.0000001
V2C3-V2C1 -0.02916667 -1.22268973  1.164356 0.9998987
V2C4-V2C1  1.27250000  0.07897694  2.466023 0.0326413
V2C3-V2C2  3.12166667  1.92814360  4.315190 0.0000001
V2C4-V2C2  4.42333333  3.22981027  5.616856 0.0000000
V2C4-V2C3  1.30166667  0.10814360  2.495190 0.0277413

>
```



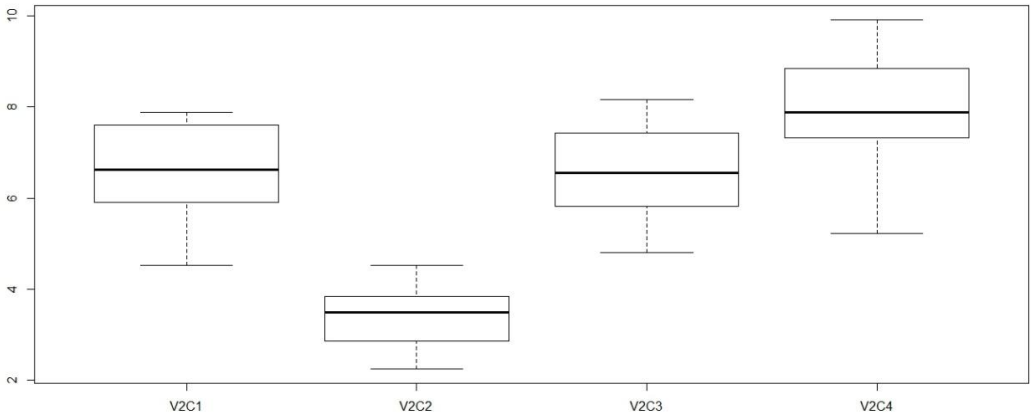
Gráficos gerados pela anova




Normal Q-Q
Standardized residuals
Theoretical Quantiles
aov(resp ~ trat)


Scale-Location
√|Standardized residuals|
Fitted values
aov(resp ~ trat)

Média BOXPLOT

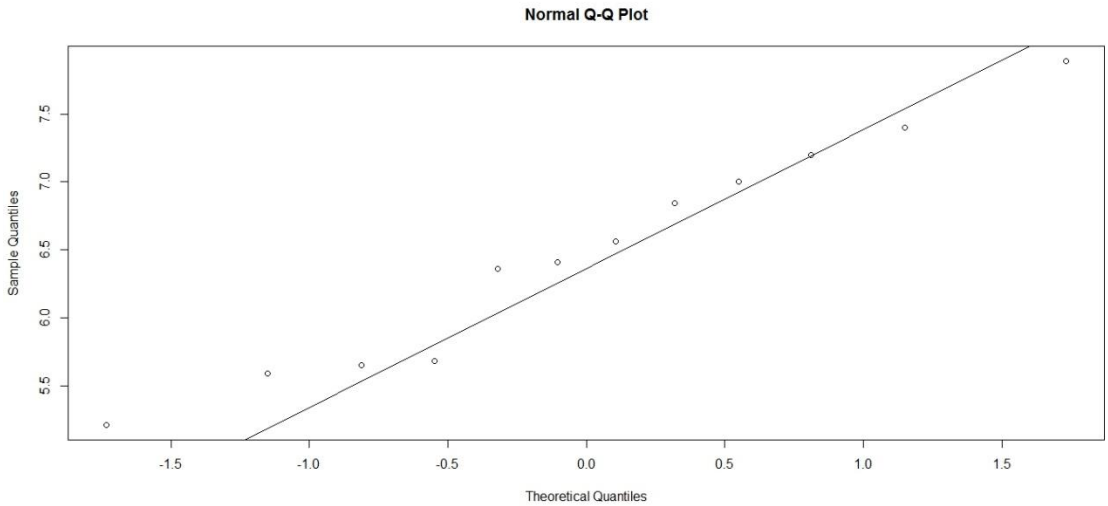


Analisando Todos Na V3.

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V3C1 and mean(V3C1)

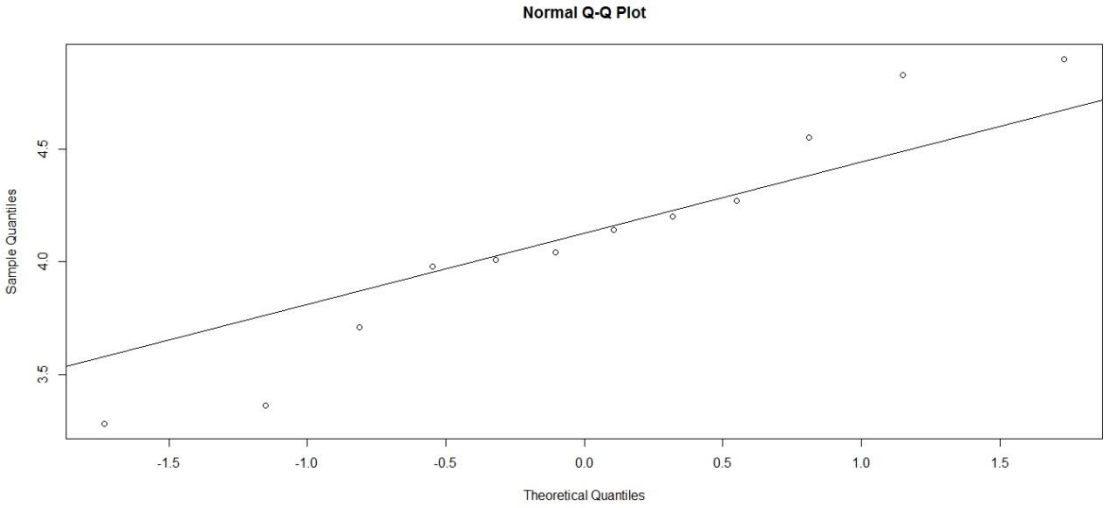
D = 0.5, p-value = 1



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V3C2 and mean(V3C2)

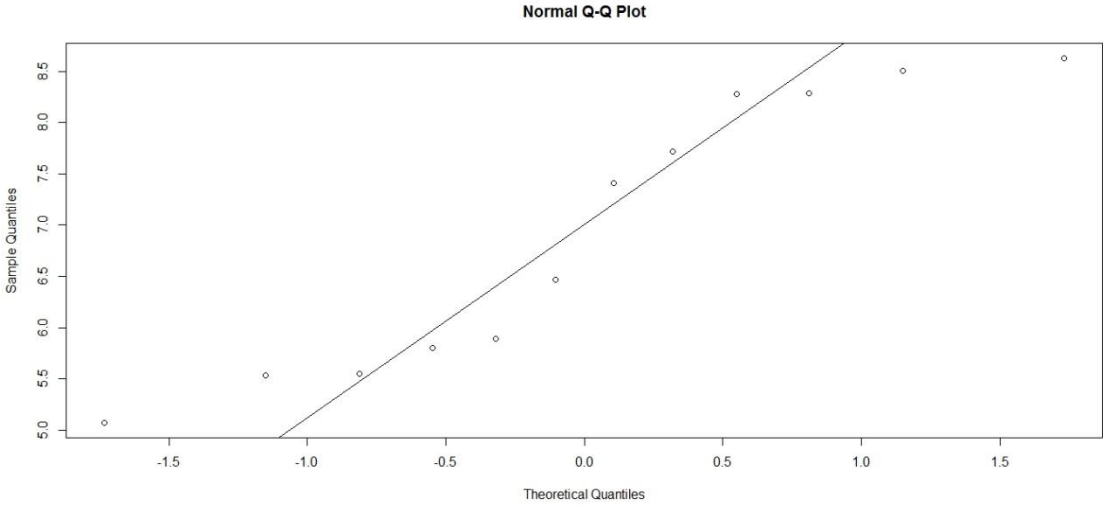
D = 0.5, p-value = 1



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V3C3 and mean(V3C3)

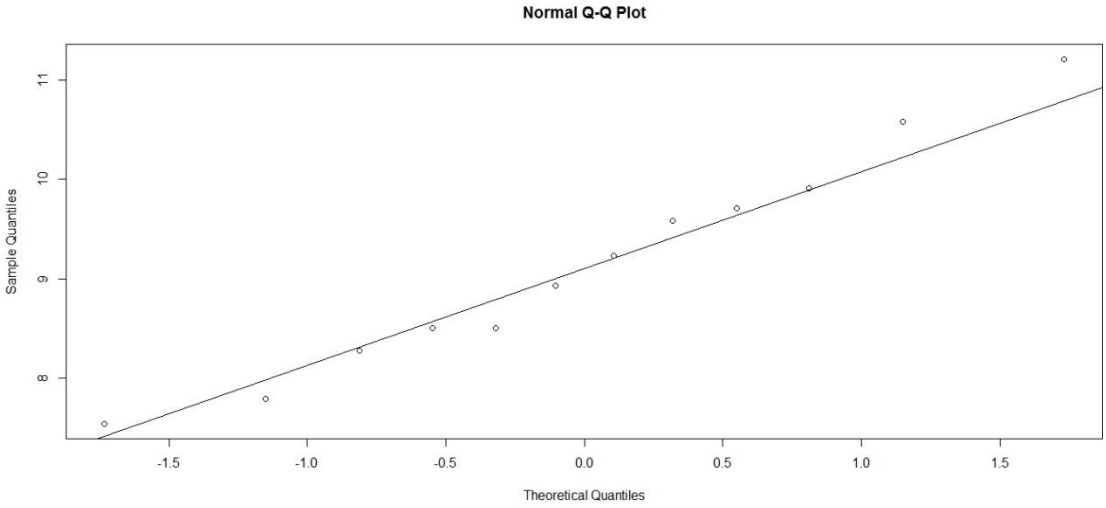
D = 0.5, p-value = 1



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V3C4 and mean(V3C4)

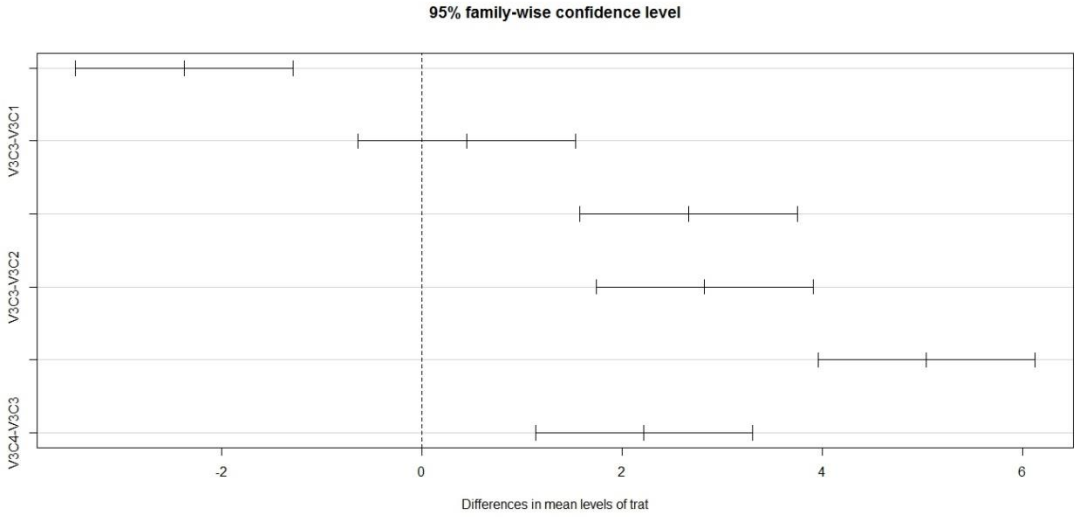
D = 0.5, p-value = 0.9751



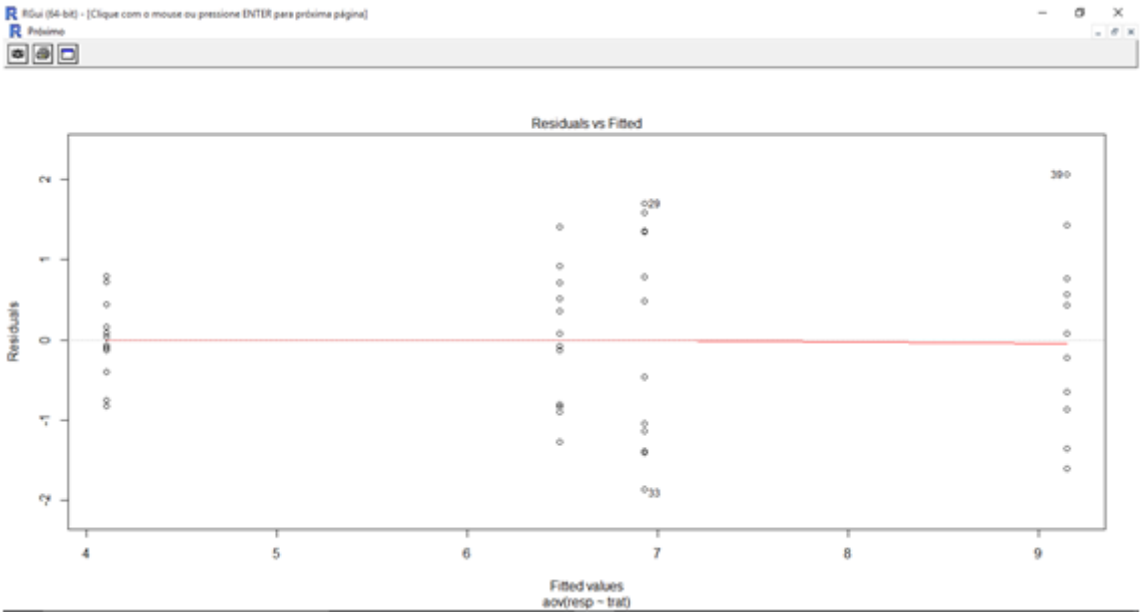

```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 9.7259, df = 3, p-value = 0.02105
```

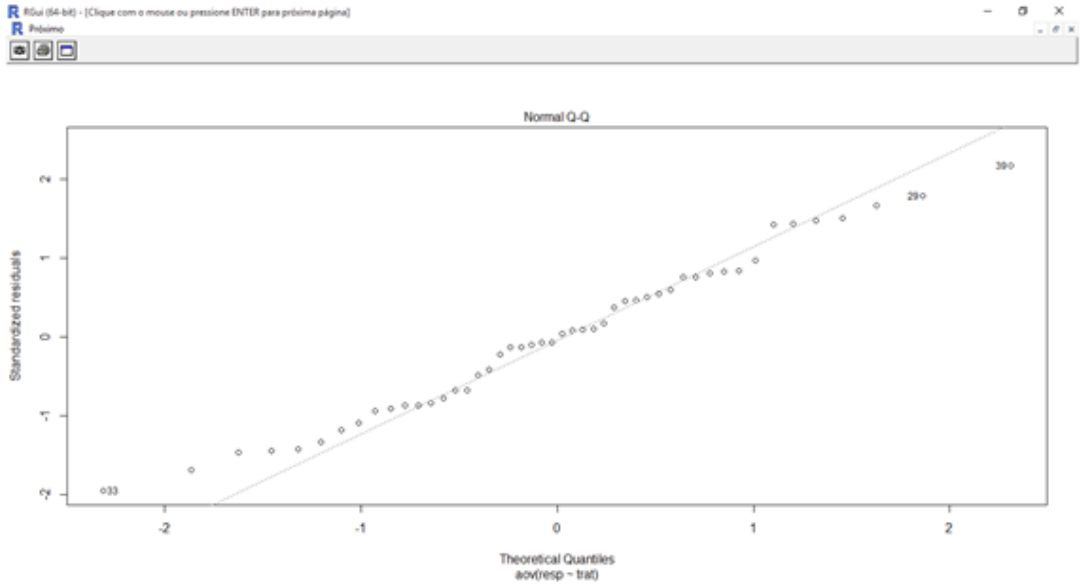
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
trat         3  153.7   51.24   51.72 1.79e-14 ***
Residuals   44   43.6    0.99
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

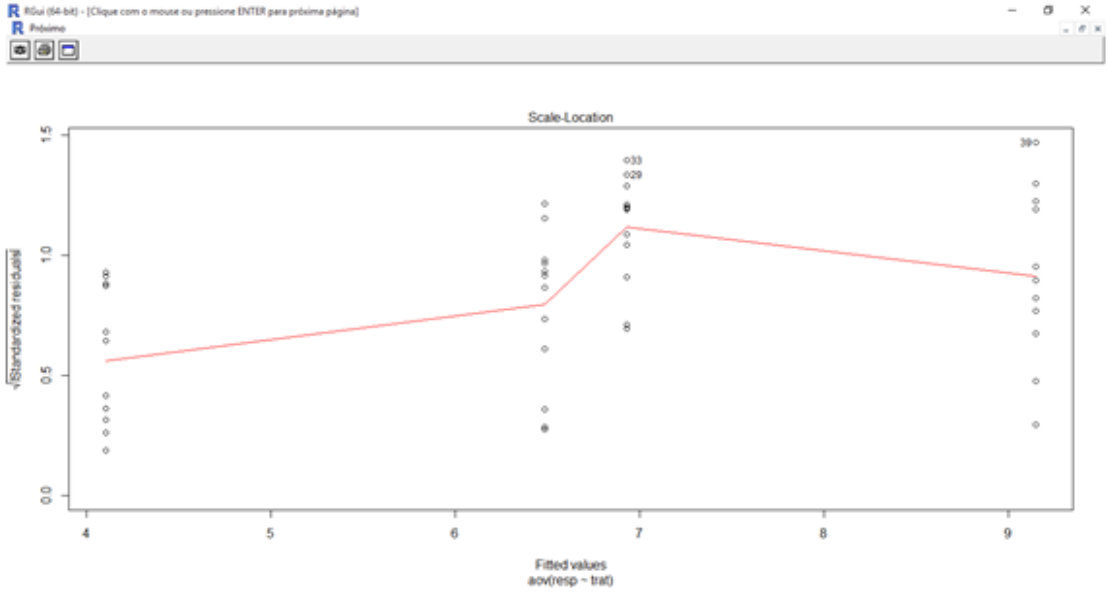
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
                diff        lwr       upr     p adj
V3C2-V3C1 -2.3766667 -3.4616771 -1.291656 0.0000033
V3C3-V3C1  0.4466667 -0.6383438  1.531677 0.6919068
V3C4-V3C1  2.6641667  1.5791562  3.749177 0.0000003
V3C3-V3C2  2.8233333  1.7383229  3.908344 0.0000001
V3C4-V3C2  5.0408333  3.9558229  6.125844 0.0000000
V3C4-V3C3  2.2175000  1.1324896  3.302510 0.0000123

>
```



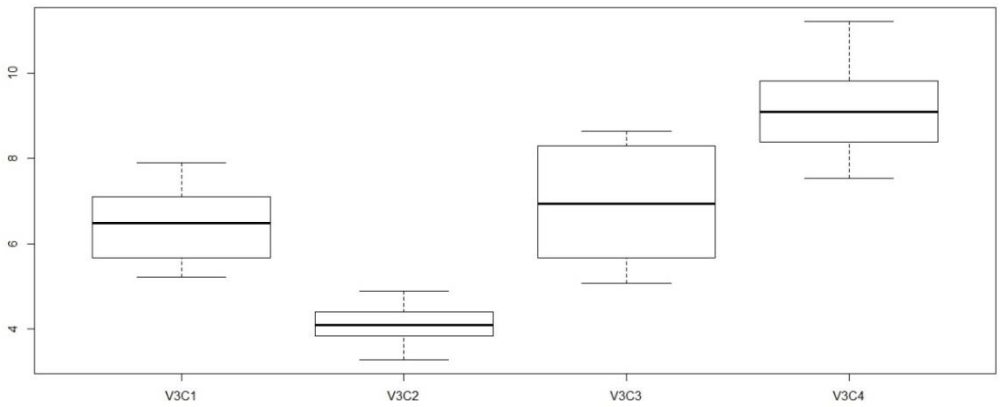
Gráficos gerados pela anova




Normal Q-Q
Standardized residuals
Theoretical Quantiles
aov(resp ~ trat)


Scale-Location
√|Standardized residuals|
Fitted values
aov(resp ~ trat)

Médias

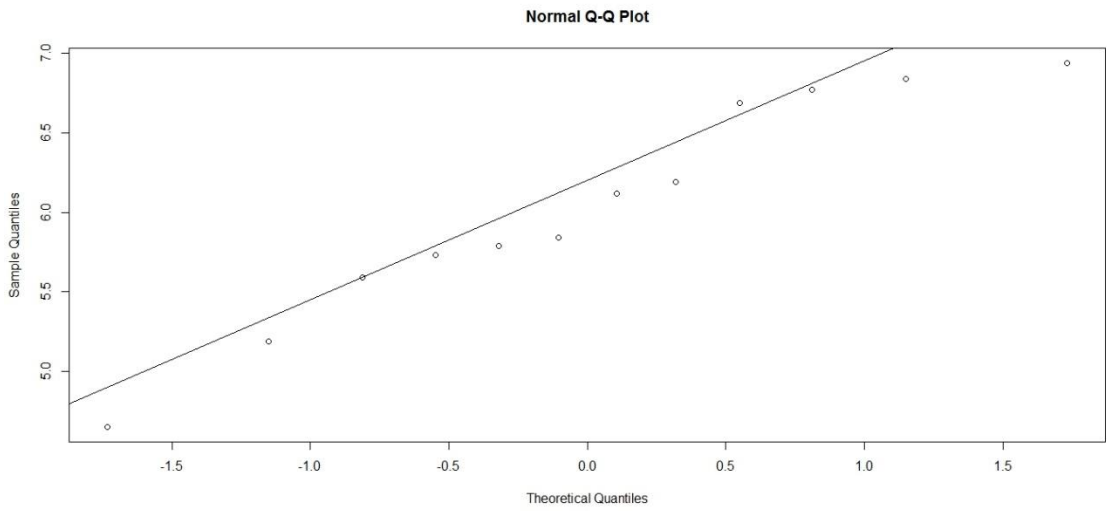

V3C1
V3C2
V3C3
V3C4

Analisando Todos Na V4

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V4C1 and mean(V4C1)

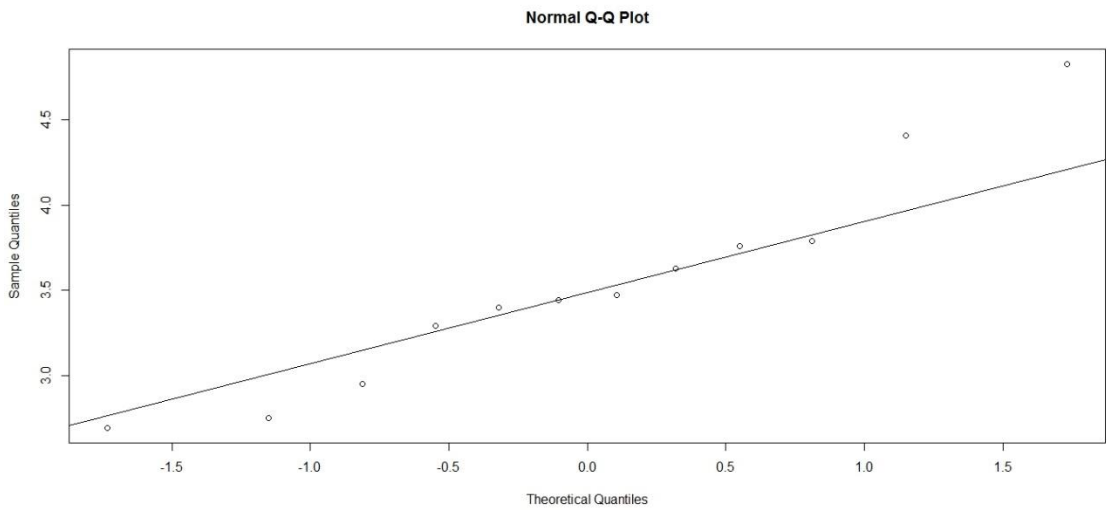
D = 0.5, p-value = 1



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V4C2 and mean(V4C2)

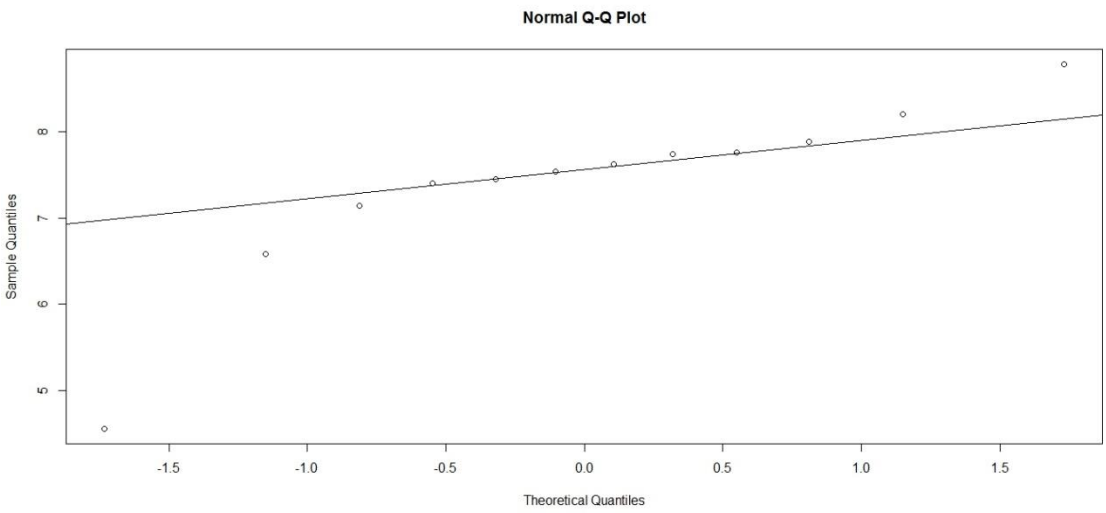
D = 0.58333, p-value = 0.9231



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V4C3 and mean(V4C3)

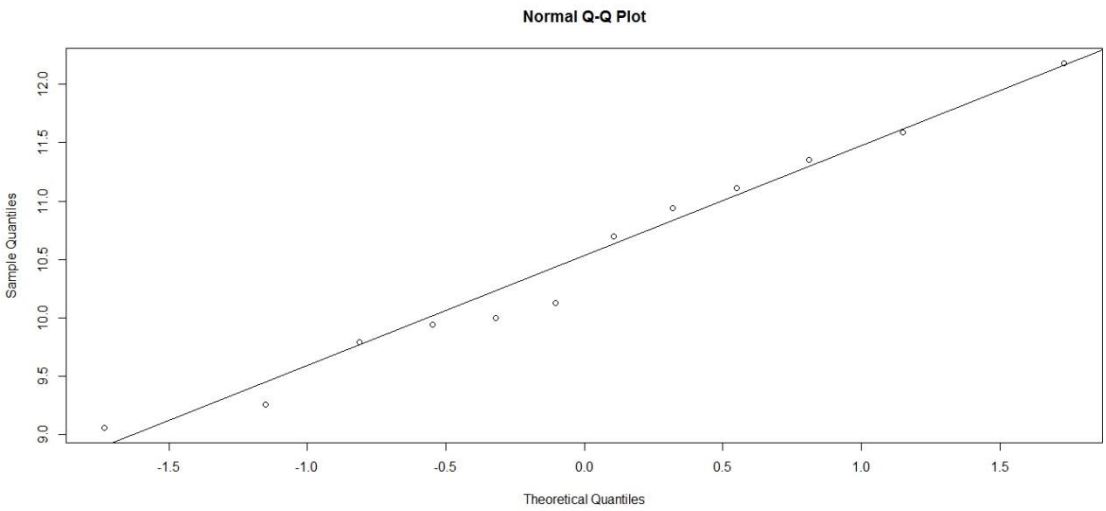
D = 0.75, p-value = 0.6154



Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: V4C4 and mean(V4C4)

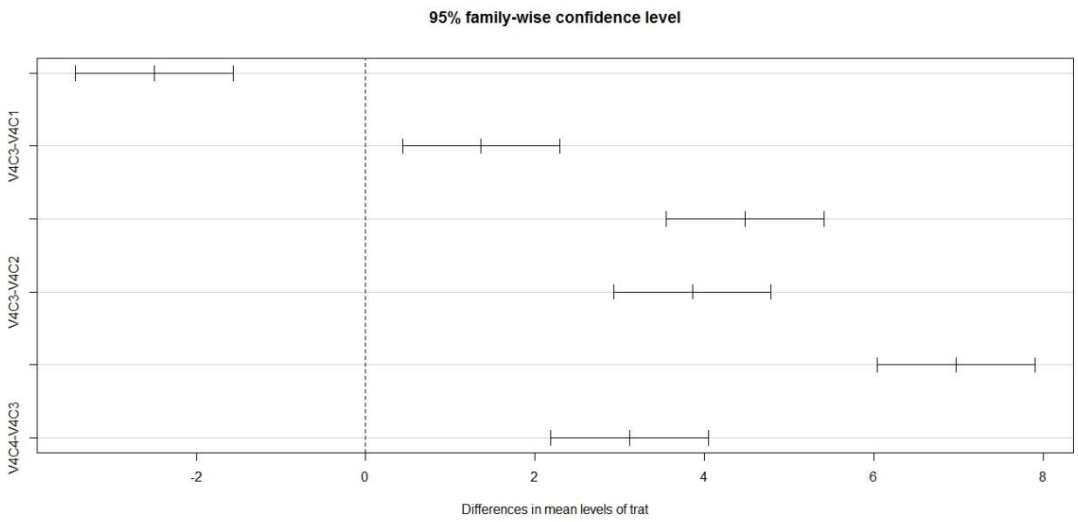
D = 0.5, p-value = 1

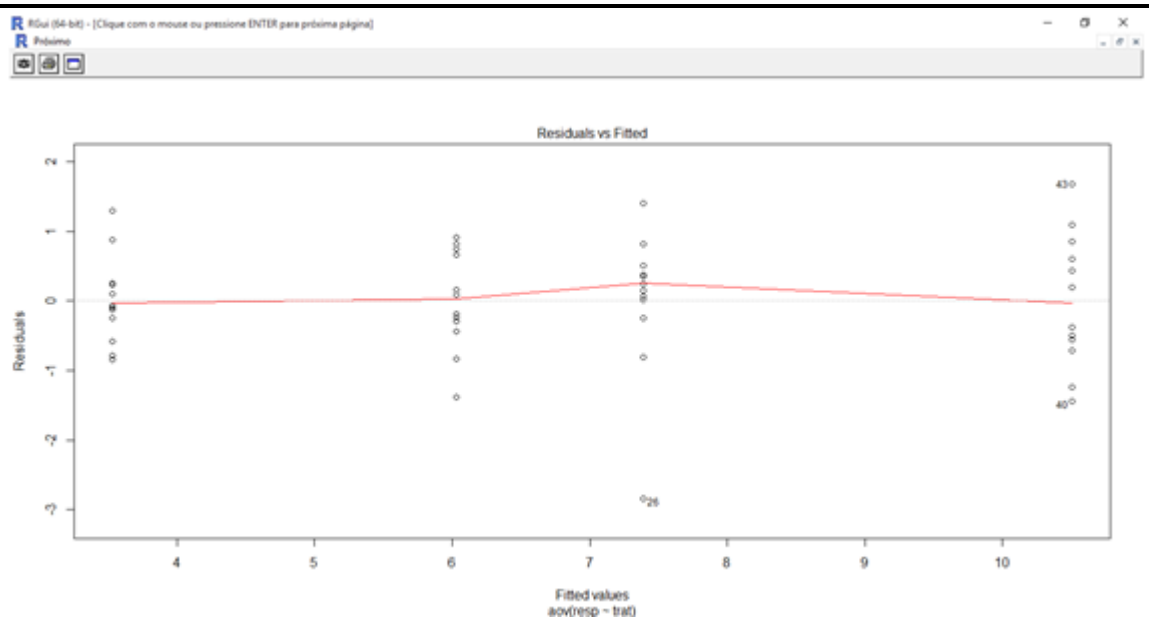


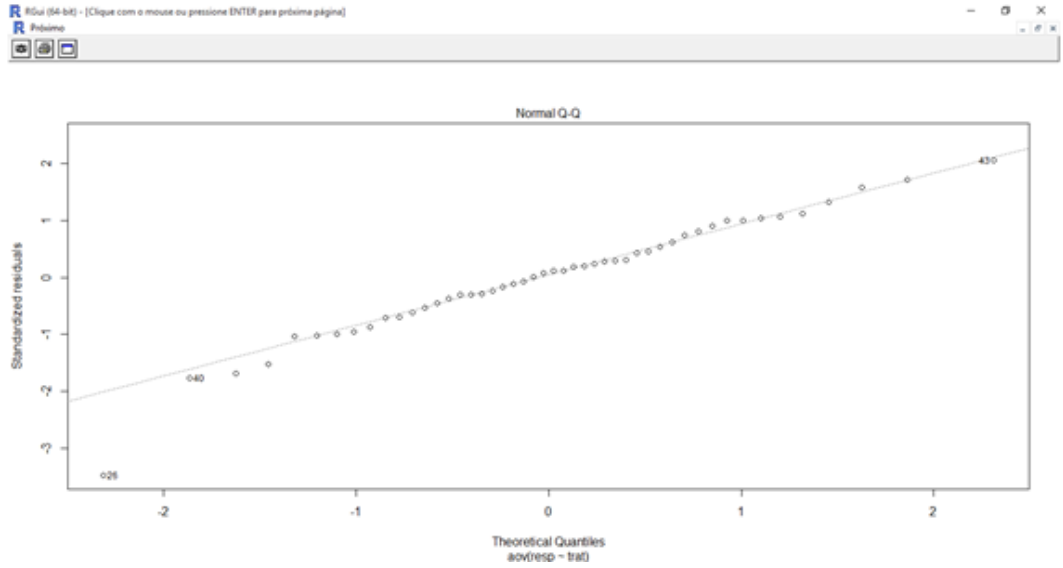

```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 3.6419, df = 3, p-value = 0.3028
```

```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trat         3 303.76  101.25   139.3 <2e-16 ***
Residuals   44  31.98    0.73
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
               diff        lwr       upr     p adj
V4C2-V4C1 -2.494167 -3.4235073 -1.564826 0.0000000
V4C3-V4C1  1.361667  0.4323261  2.291007 0.0017231
V4C4-V4C1  4.475833  3.5464927  5.405174 0.0000000
V4C3-V4C2  3.855833  2.9264927  4.785174 0.0000000
V4C4-V4C2  6.970000  6.0406594  7.899341 0.0000000
V4C4-V4C3  3.114167  2.1848261  4.043507 0.0000000

> |
```







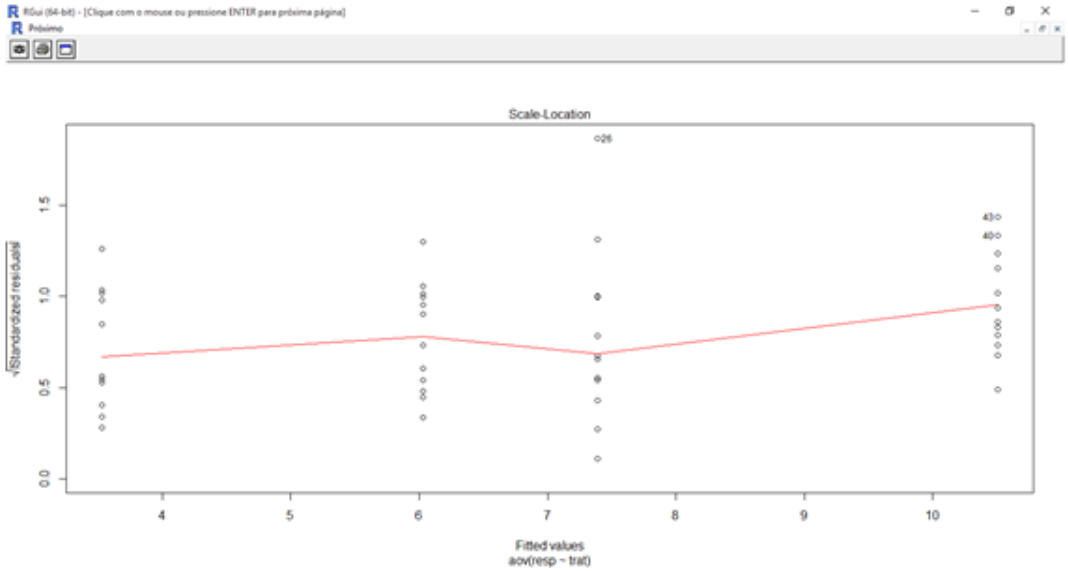
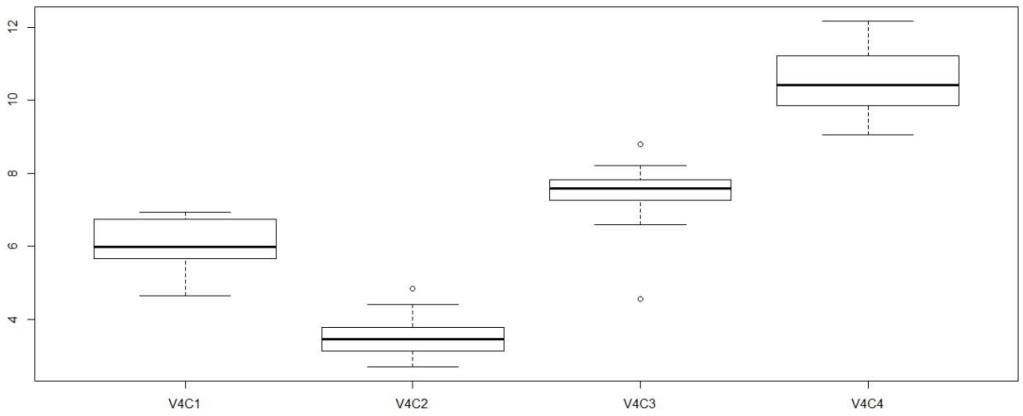


Gráfico médias

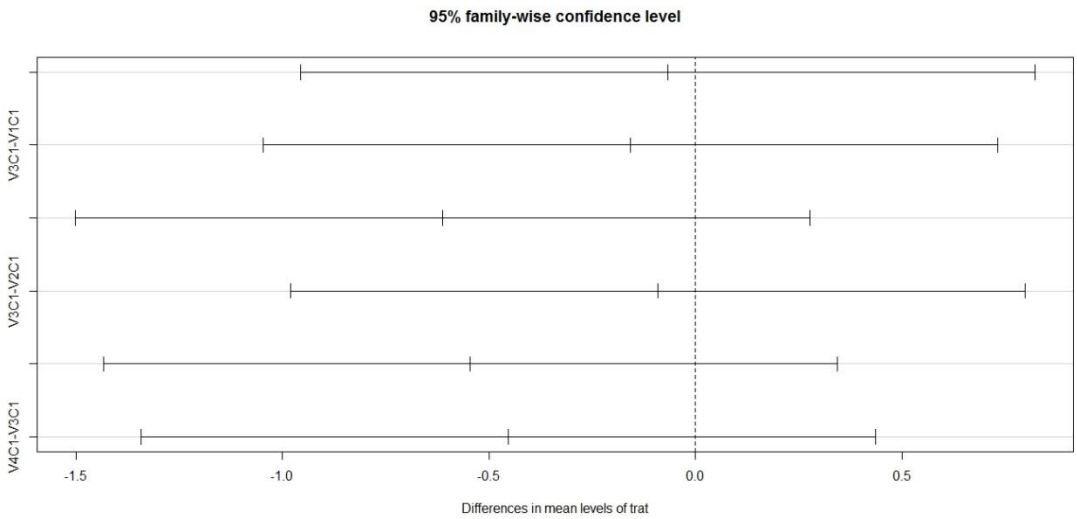


```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 4.7172, df = 3, p-value = 0.1937
```

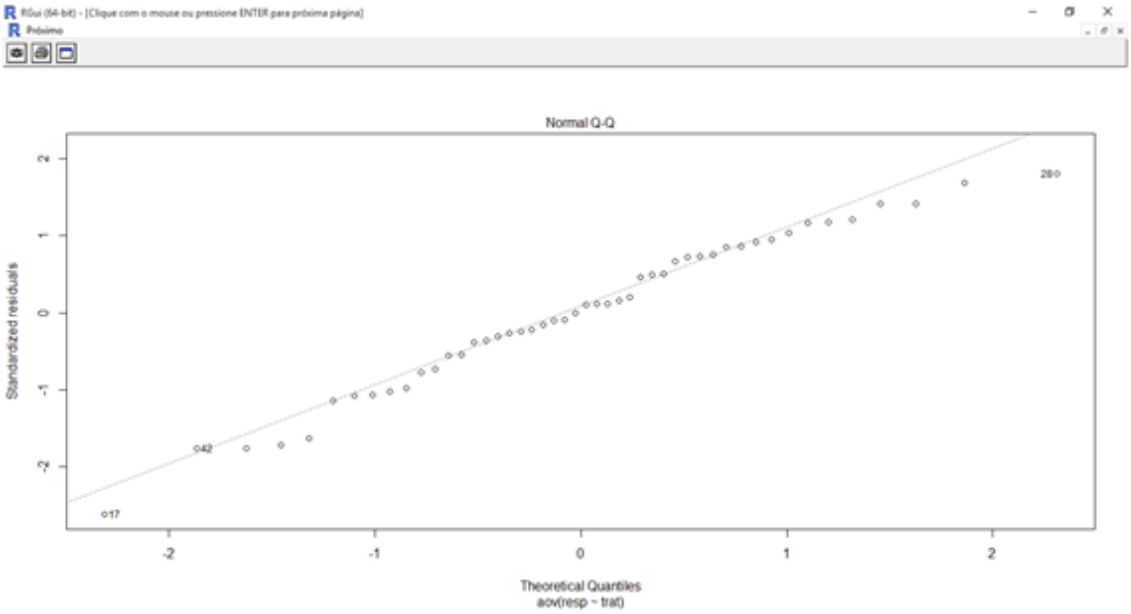
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trat         3  2.745  0.9149   1.373  0.263
Residuals   44 29.311  0.6662
```

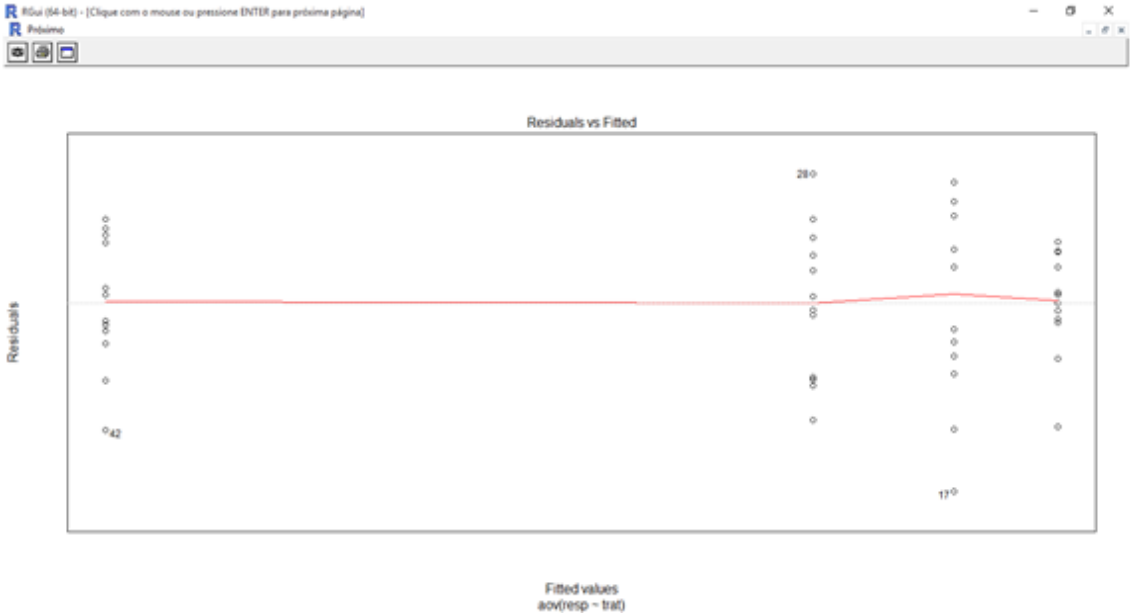
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
                 diff        lwr       upr     p adj
V2C1-V1C1 -0.06666667 -0.9563245 0.8229912 0.9971210
V3C1-V1C1 -0.15750000 -1.0471578 0.7321578 0.9646899
V4C1-V1C1 -0.61166667 -1.5013245 0.2779912 0.2707116
V3C1-V2C1 -0.09083333 -0.9804912 0.7988245 0.9928167
V4C1-V2C1 -0.54500000 -1.4346578 0.3446578 0.3697185
V4C1-V3C1 -0.45416667 -1.3438245 0.4354912 0.5287764

> |
```

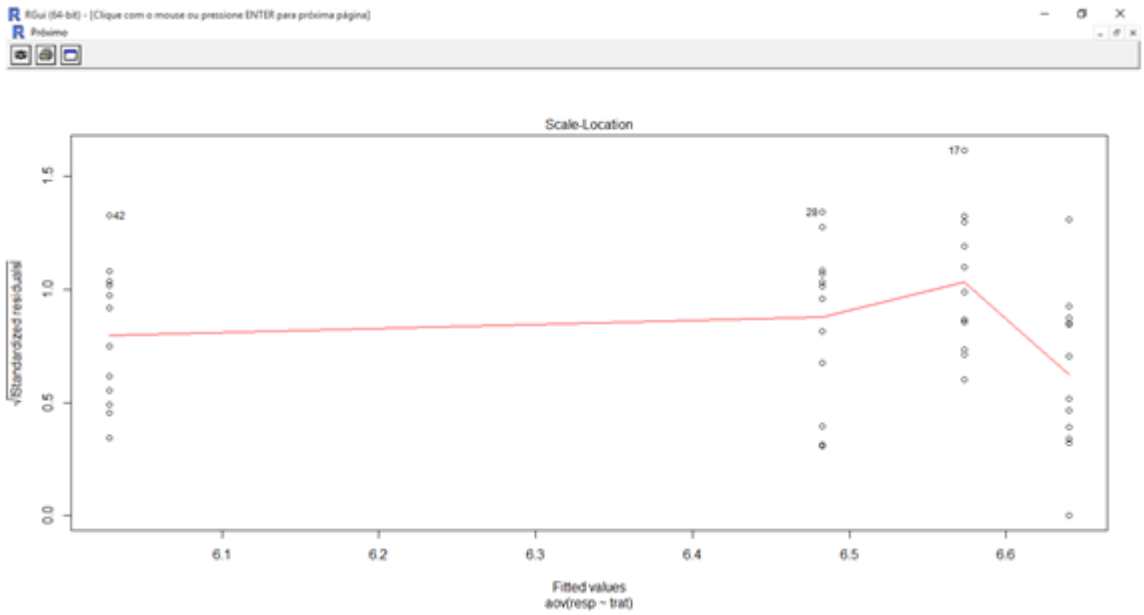
Gráfico Tukey

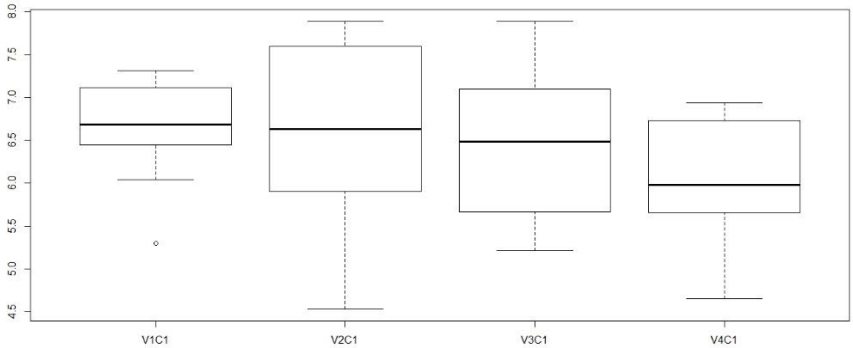


Analise de resíduos







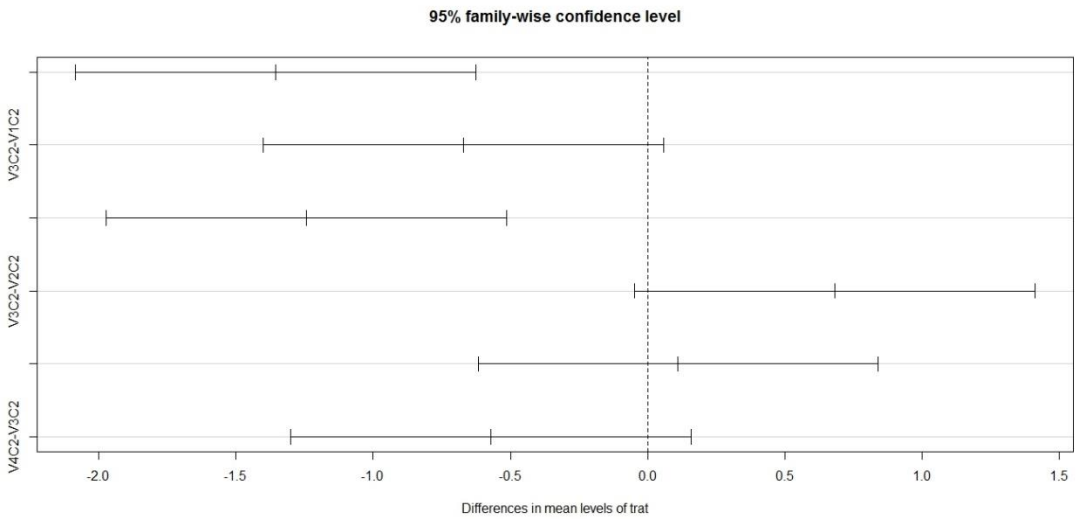



```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 2.6282, df = 3, p-value = 0.4526
```

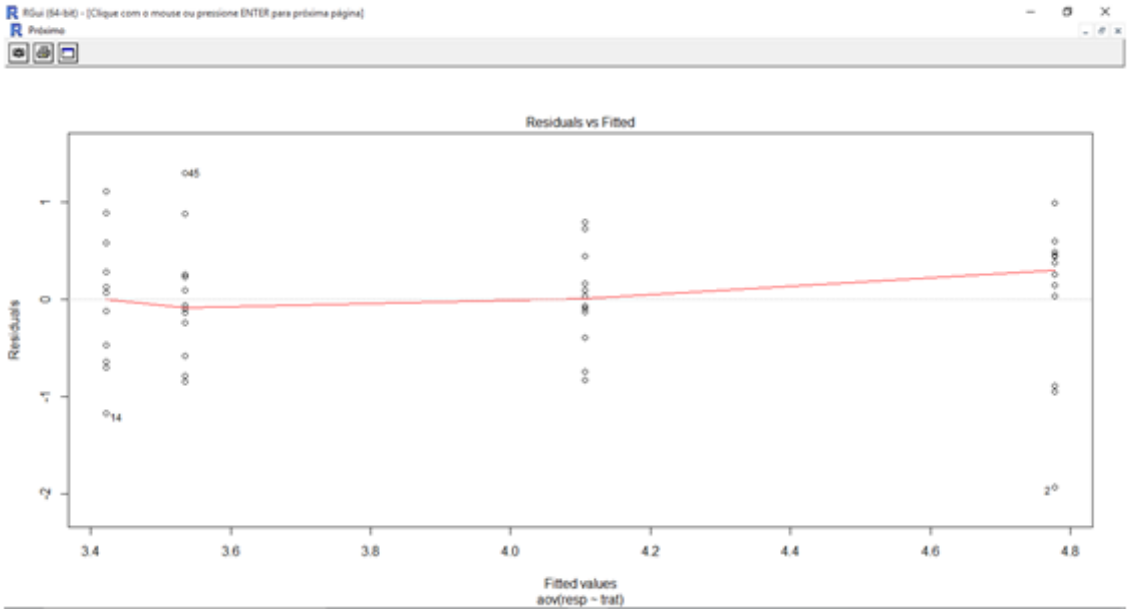
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
trat         3  13.92   4.639   10.36 2.8e-05 ***
Residuals   44  19.71   0.448
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

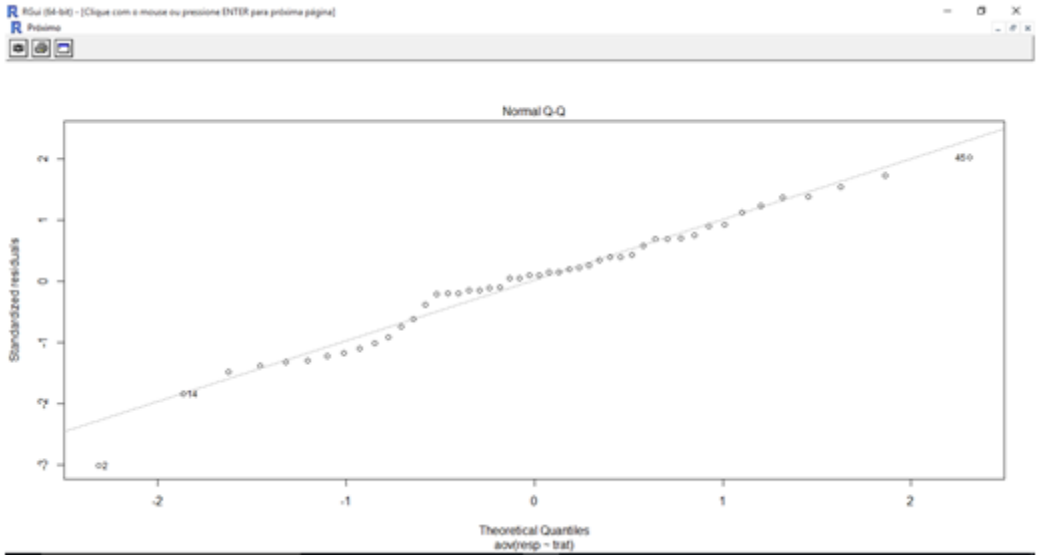
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
               diff        lwr         upr     p adj
V2C2-V1C2 -1.3550000 -2.0845184 -0.62548157 0.0000635
V3C2-V1C2 -0.6716667 -1.4011851  0.05785177 0.0809802
V4C2-V1C2 -1.2433333 -1.9728518 -0.51381490 0.0002380
V3C2-V2C2  0.6833333 -0.0461851  1.41285177 0.0736728
V4C2-V2C2  0.1116667 -0.6178518  0.84118510 0.9766656
V4C2-V3C2 -0.5716667 -1.3011851  0.15785177 0.1715404

>
```

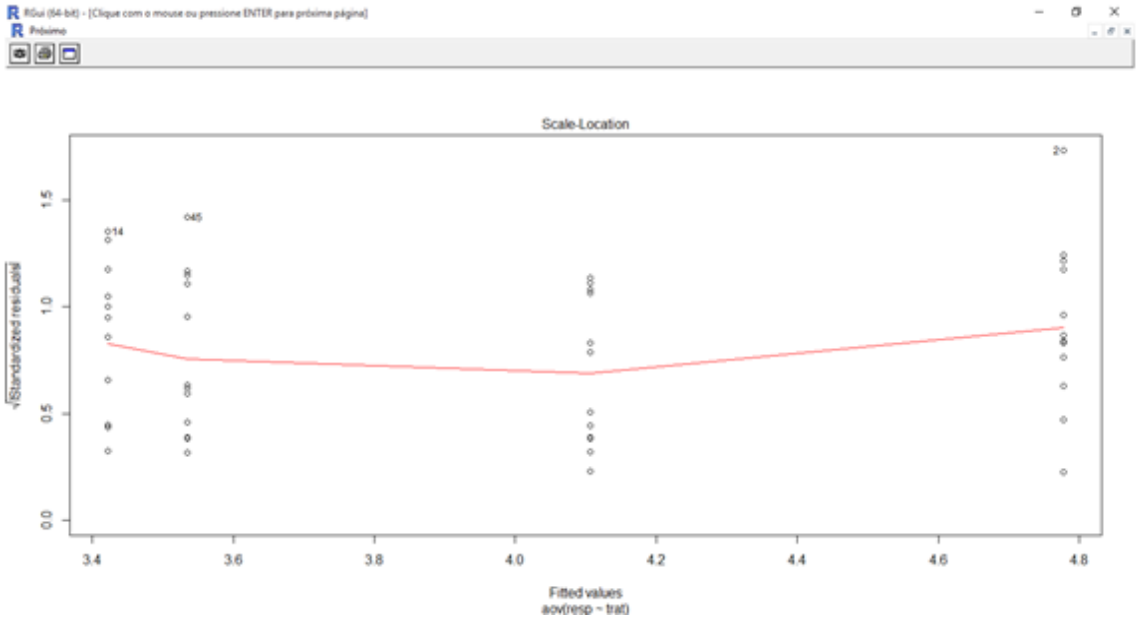
Tukey Gráfico



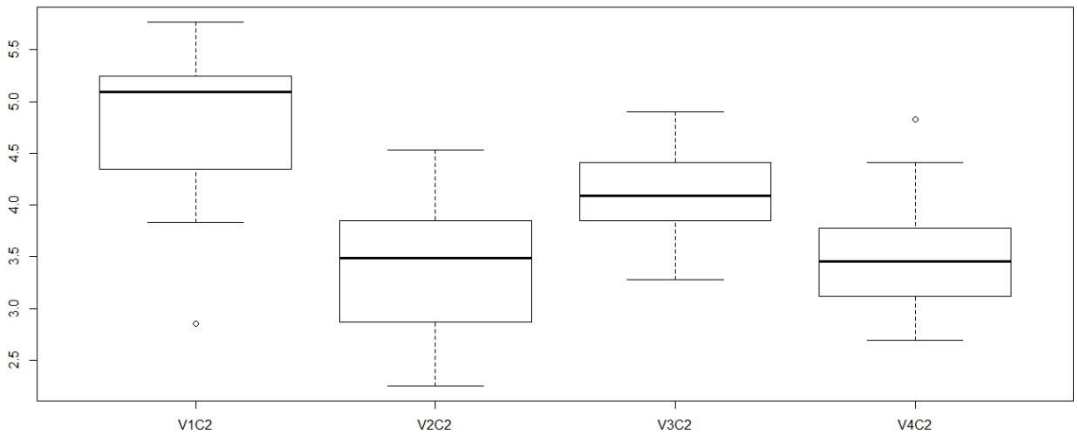
Dispersão de resíduos


Residuals vs Fitted
Residuals
Fitted values
aov(resp ~ trat)


Normal Q-Q
Standardized residuals
Theoretical Quantiles
aov(resp ~ trat)


Scale-Location
√|Standardized residuals|
Fitted values
aov(resp ~ trat)

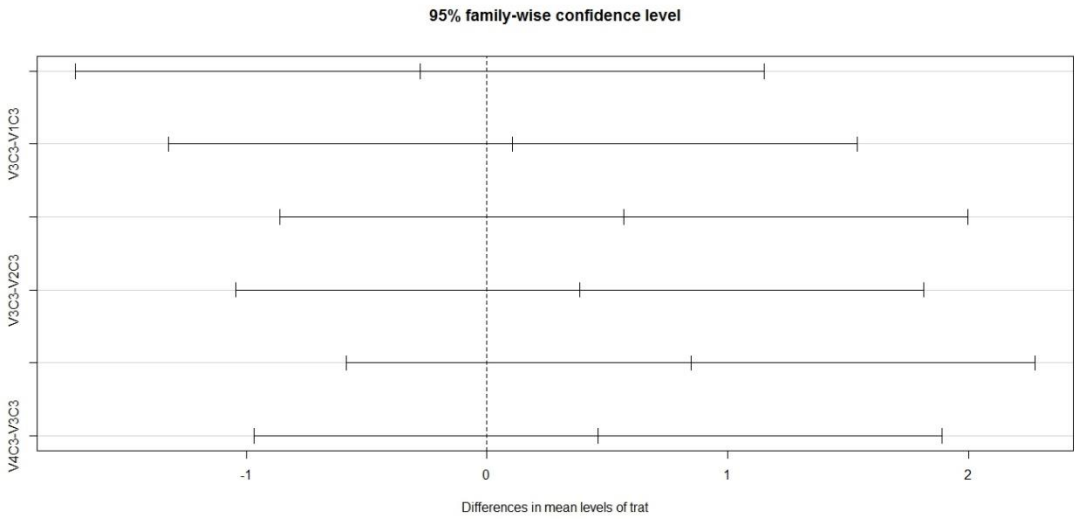
Médias



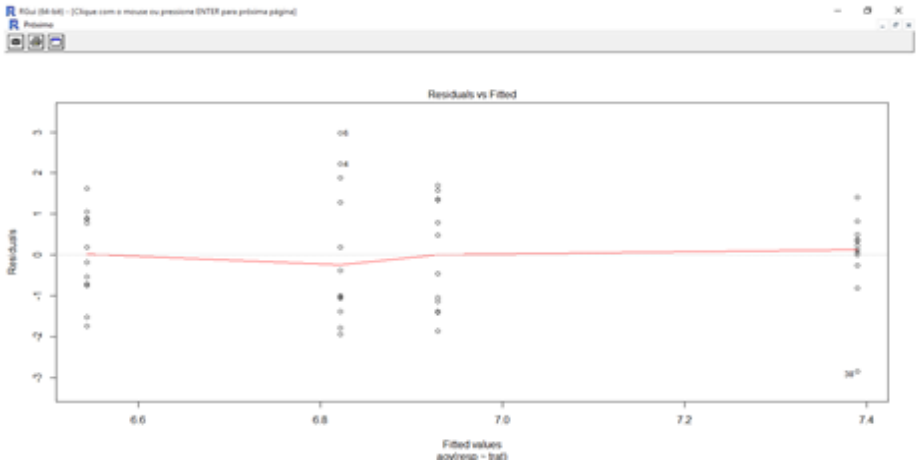

```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 3.2941, df = 3, p-value = 0.3485
```

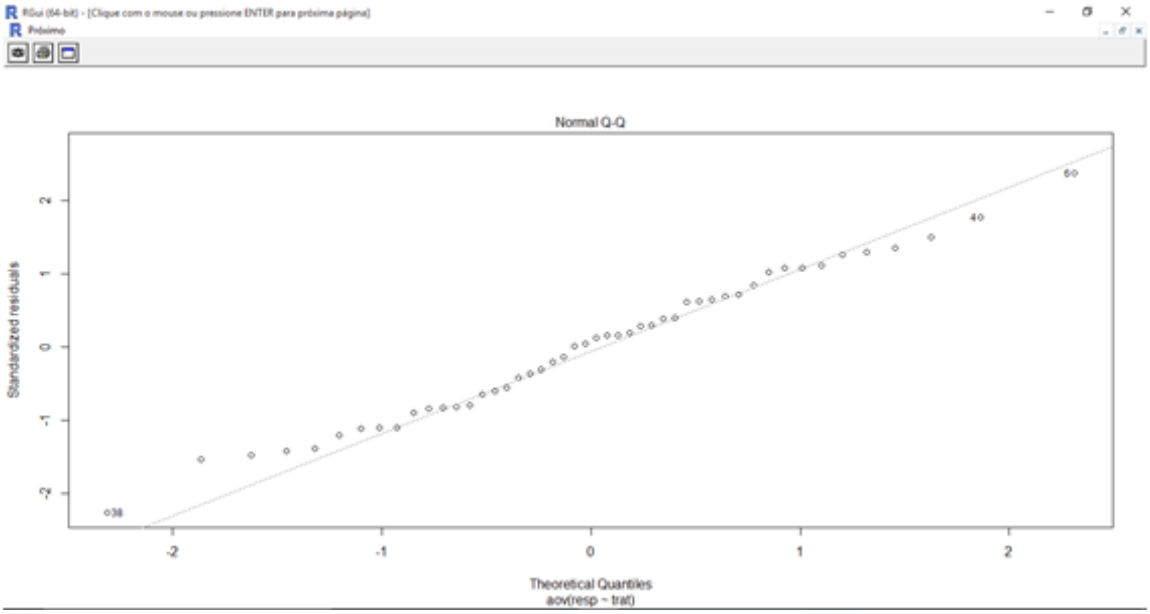
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trat         3   4.46   1.487   0.865  0.466
Residuals   44  75.65   1.719
```

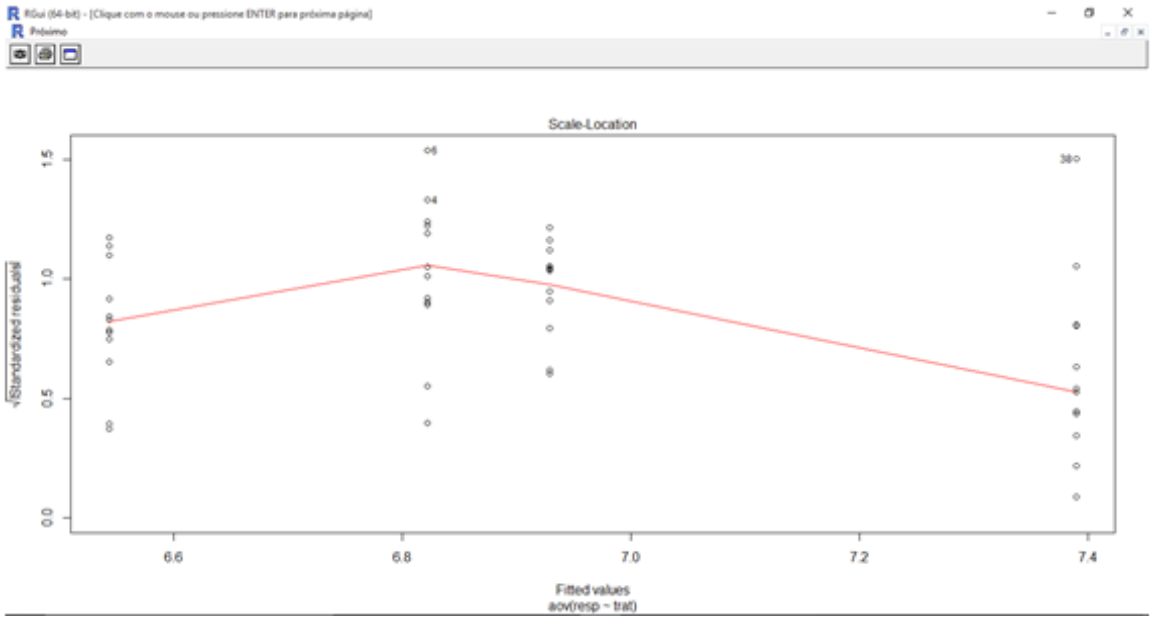
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
                diff        lwr      upr     p adj
V2C3-V1C3 -0.2783333 -1.7075632 1.150897 0.9538509
V3C3-V1C3  0.1066667 -1.3225632 1.535897 0.9971554
V4C3-V1C3  0.5675000 -0.8617299 1.996730 0.7151991
V3C3-V2C3  0.3850000 -1.0442299 1.814230 0.8889124
V4C3-V2C3  0.8458333 -0.5833965 2.275063 0.4002045
V4C3-V3C3  0.4608333 -0.9683965 1.890063 0.8248076

>
```

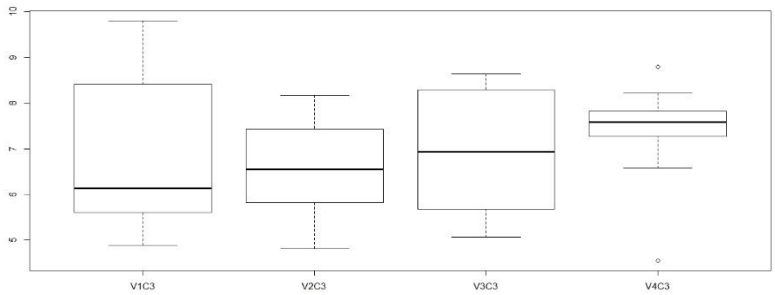


Dispersão de Resíduos







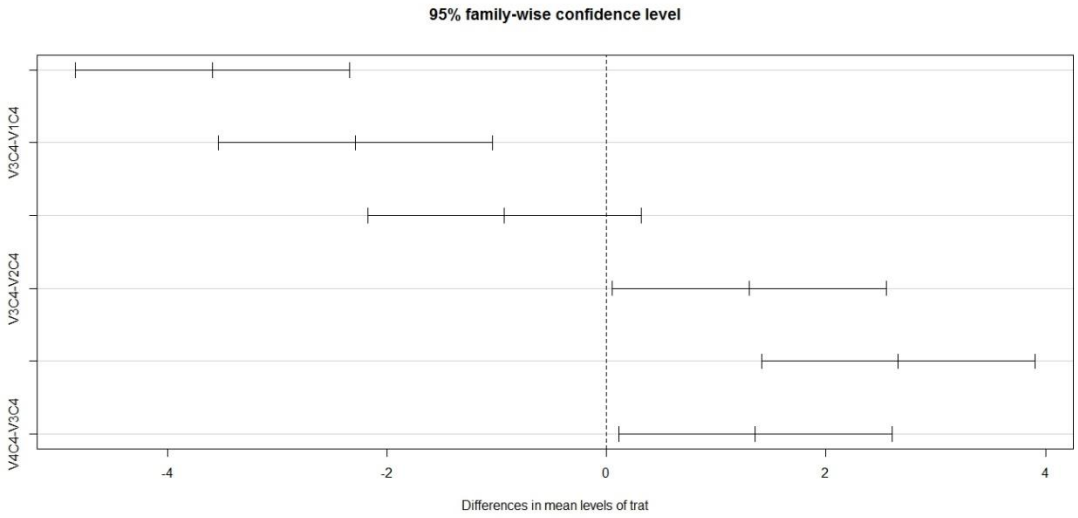



```
> bartlett.test(resp~trat)

        Bartlett test of homogeneity of variances

data:  resp by trat
Bartlett's K-squared = 2.0216, df = 3, p-value = 0.5679
```

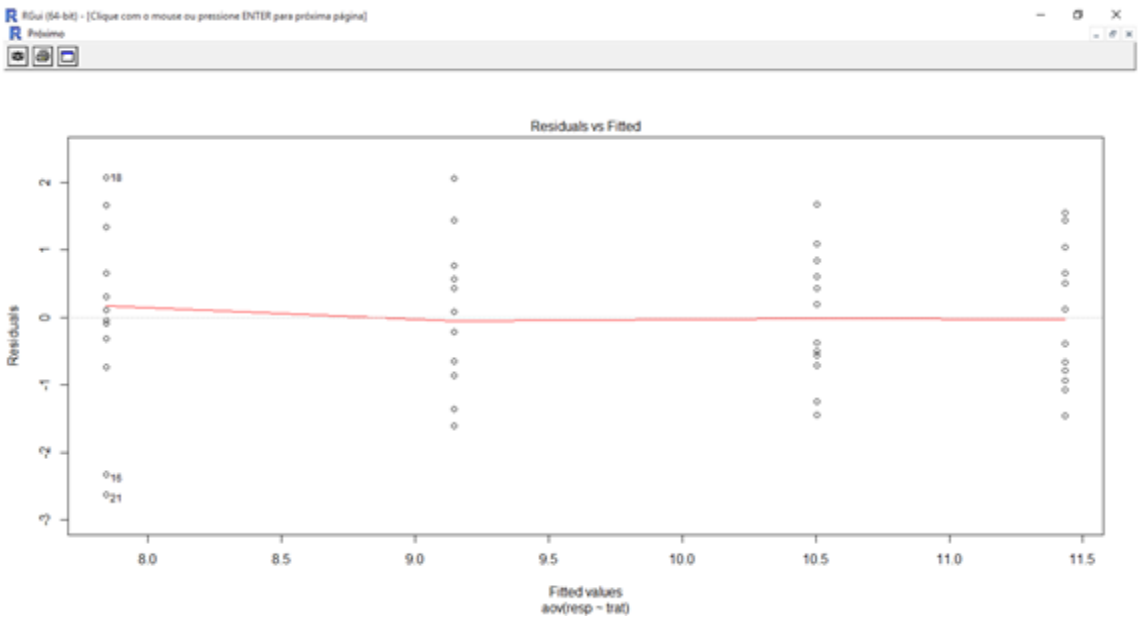
```
> summary(aov(resp~trat))
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
trat         3  88.69  29.564    22.6 5.23e-09 ***
Residuals   44  57.55   1.308
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

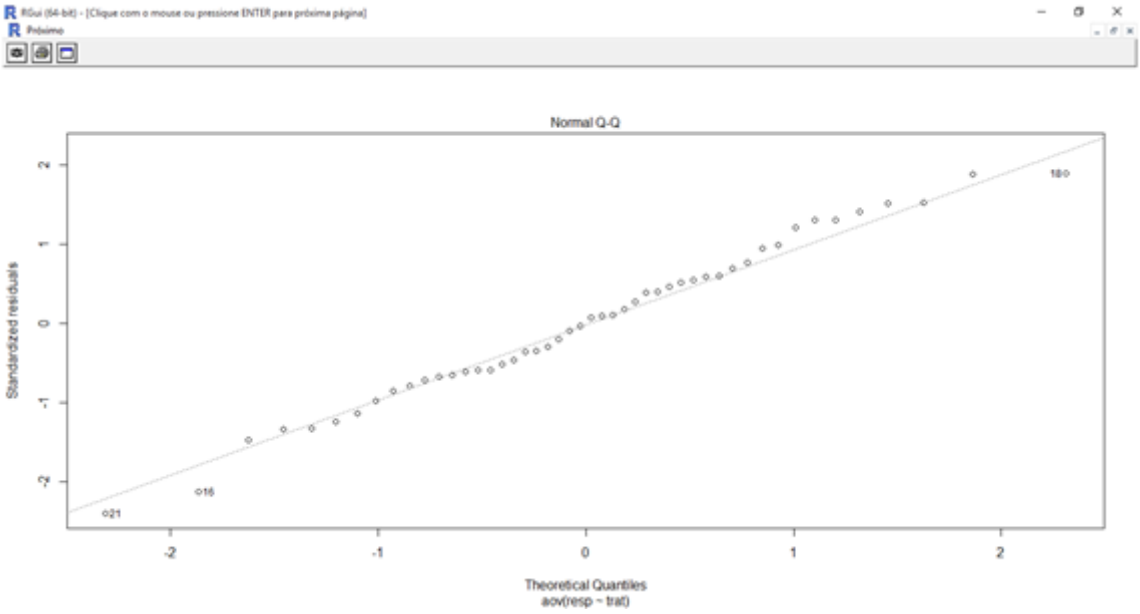
```
> TukeyHSD(aov(resp~trat))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resp ~ trat)

$trat
                diff         lwr        upr     p adj
V2C4-V1C4 -3.5875000 -4.83415679 -2.3408432 0.0000000
V3C4-V1C4 -2.2866667 -3.53332345 -1.0400099 0.0000778
V4C4-V1C4 -0.9291667 -2.17582345  0.3174901 0.2072568
V3C4-V2C4  1.3008333  0.05417655  2.5474901 0.0378757
V4C4-V2C4  2.6583333  1.41167655  3.9049901 0.0000056
V4C4-V3C4  1.3575000  0.11084321  2.6041568 0.0280588

> |
```

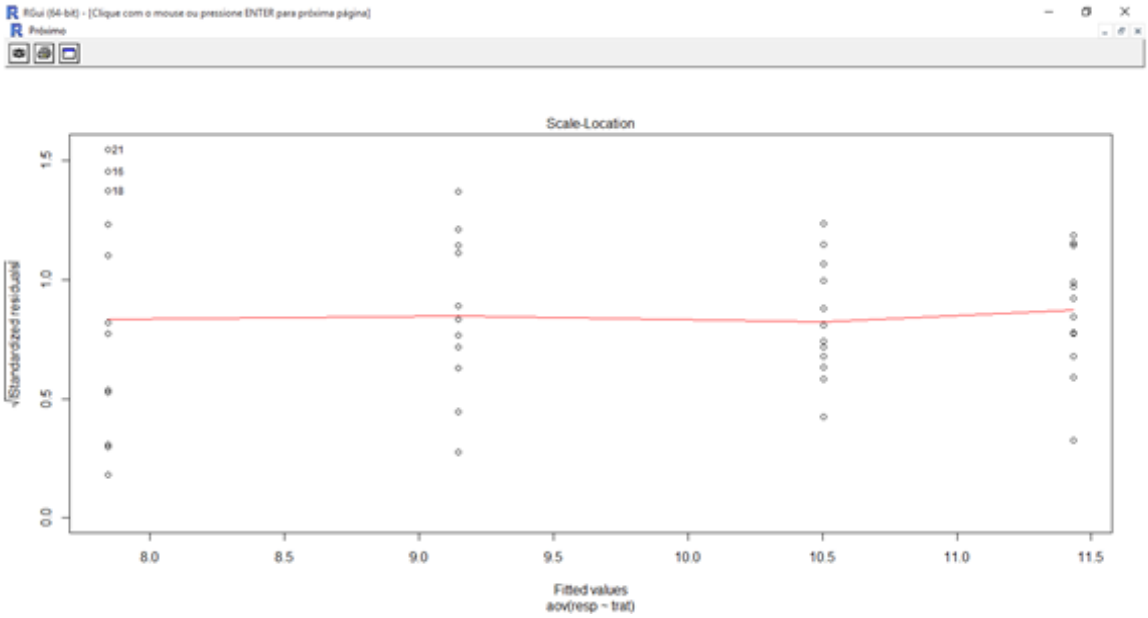
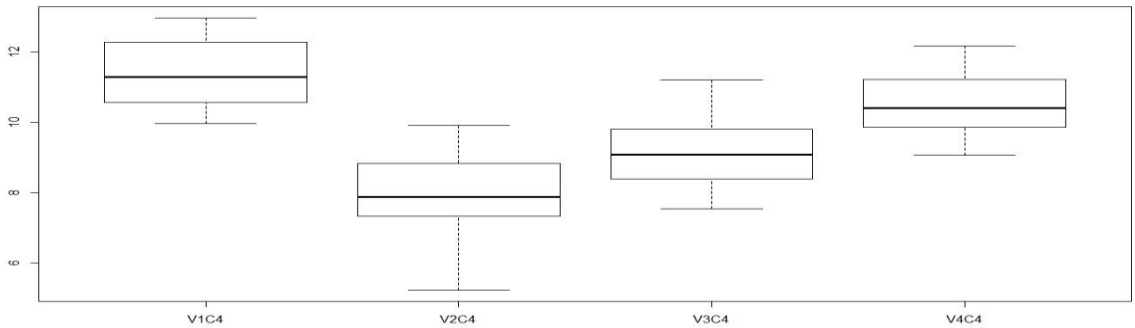
Gráfico Tukey



Dispersão de Resíduos







Média Box Plot