

Avaliação da Resistência de Linha de Cola Sob Diferentes Gramaturas e Adesivos na Produção de Madeira Laminada Colada de *Eucalyptus grandis*

Rodrigo Voigt¹, Ernesto Augusto Garbe², Jorge Luis Monteiro Matos³

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Centro de Educação do Planalto Norte (CEPLAN)

²Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Centro de Educação do Planalto Norte (CEPLAN)

³Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal

¹rodrigo_voigt@hotmail.com, ²ernestoaugustogarbe@gmail.com, ³jmatos.ufpr@gmail.com

Resumo. Os avanços na tecnologia dos adesivos estruturais tornou a madeira um material competitivo na construção civil, entretanto a sua aplicação deve ser eficaz para se obter um produto competitivo e seguro, o objetivo deste artigo é fornecer dados sobre a resistência ao cisalhamento da junta colada de *Eucalyptus grandis* com os adesivos MUF, EPI e PUR com diferentes gramaturas. Seguindo as instruções do fabricante e ensaiando corpos de prova com 9 tratamentos diferentes foram obtidos, após uma análise estatística, as médias e sua influência na resistência ao cisalhamento de cada adesivo, no geral, a redução de gramatura causou a diminuição da resistência ao cisalhamento nos intervalos estudados exceto no adesivo EPI.

Abstract. The advances in the technology of the structural adhesives made the wood a competitive material in the civil construction, however its application must be effective to obtain a competitive and safe product, the objective of this article is to provide data on the shear strength of the *Eucalyptus grandis* cast joint with the MUF, EPI and PUR adhesives with different weights. Following the manufacturer's instructions and assaying specimens with 9 different treatments were obtained, after a statistical analysis, the averages and their influence on the shear strength of each adhesive, in general, the reduction of glue weight caused the decrease of the shear strength in the intervals except in the EPI adhesive.

Introdução

Os avanços ocorridos na área de adesivos e técnicas de produção, tornaram a madeira um material muito competitivo na construção civil possibilitando assim o uso confiável em estruturas. A utilização da madeira oriunda de florestas plantadas torna o produto ecologicamente correto, atendendo as novas demandas do mercado consumidor que busca adquirir produtos sustentáveis. [CALIL NETO 2011].

O desenvolvimento de adesivos de classe estrutural levou a ampliação do uso da madeira laminada colada que é um produto resultante da colagem de duas ou mais lâminas, construída a partir da seleção e união de peças das mais variadas formas e dimensões. Apesar da tecnologia já estar desenvolvida e possuirmos um grande potencial para o uso de madeira reflorestada, este produto ainda é pouco utilizado no Brasil [MIOTO 2009].

Um dos motivos é custo do adesivo no Brasil, que contribuiu para diminuição do interesse no desenvolvimento da produção da MLC no país, isso levou muitos pesquisadores a estudarem os efeitos do uso dos adesivos em concentrações diluídas ou em menores gramaturas a fim de encontrar uma boa relação entre quantidade de adesivo e resistência [MOTTA 2012].

Muitas empresas utilizam valores de gramatura próximos ao máximo indicado pelo fabricante na hipótese de garantir um bom processo de adesão, a diferença dos valores mínimos e máximos de gramaturas recomendados por algumas marcas de adesivo podem chegar a 100%, tornando o custo do processo de laminação mais caro caso a empresa opte pela aplicação de gramaturas mais altas, a utilização excessiva de adesivo constitui um desperdício, aumentando o custo de produção e diminuindo a competitividade da empresa.

O objetivo principal do trabalho foi avaliar a resistência média ao cisalhamento da espécie *Eucalyptus grandis* utilizando colagem entre faces com três adesivos estruturais e três gramaturas diferentes, uma gramatura menor do que a recomendada pelo fabricante, a gramatura mínima recomendada e uma gramatura maior do que a recomendada, o objetivo secundário foi avaliar como estas diferentes gramaturas influenciam na resistência ao cisalhamento do *E. grandis* destinado a produção da madeira laminada colada.

Materiais e Métodos

Espécie de madeira

Os corpos de prova foram fabricadas a partir da madeira da espécie *Eucalyptus grandis* cedida pela empresa Garbe Consultoria LTDA, foram selecionadas algumas lâminas do estoque de 8 m³ constituídas de lamelas com dimensões aproximadas de 350x14x3,5 centímetros e densidades e teores de umidade semelhantes visando manter a homogeneidade dos resultados dos ensaios. As lamelas passaram por uma classificação visual a fim de evitar defeitos da madeira como presença de nós, medula e esmoado e após a seleção partiram para o corte e pesagem.

Adesivos utilizados

Os adesivos escolhidos foram a melanina ureia formaldeído (MUF) do fabricante A, emulsão acrílica polimerizada com isocianato (EPI) do fabricante B e poliuretano (PUR) da marca C, todos fornecidos pelo laboratório de produtos florestais da UFPR com exceção do PUR que foi adquirido no comércio local.

Preparação dos corpos de prova

A preparação dos corpos de prova e ensaios foram realizados na Universidade Estadual de Santa Catarina-Campus Planalto Norte (UDESC-CEPLAN), os corpos de prova foram fabricados de acordo com as medidas recomendadas pela norma NBR 7190:97, o delineamento experimental é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Delineamento Experimental: 3 diferentes adesivos, com 3 gramaturas por adesivo

Espécie	1
Adesivos	3
Gramaturas	3
Corpos de prova	8
Total	72

Para a produção dos corpos de prova, cortou-se 9 seções de 60x14x3,5 cm, que em seguida, foram divididas ao meio e laminadas entre si, o objetivo foi manter a máxima homogeneidade dos corpos de prova.

Parâmetros como pressão, proporção de resina e catalisador, tempo de prensagem, tempo em aberto do adesivo e umidade da madeira foram seguidos de acordo com as recomendações dos fabricantes de cada adesivo, a laminação resultou em 9 blocos de 30x14x3,5 cm unidos com as gramaturas e adesivos mostrados na Tabela 2.

Foram escolhidas 3 gramaturas, abaixo, mínima e acima do mínimo recomendado pelos fabricantes, desta forma o valor mínimo ficou em maior evidência, a distribuição dos tratamentos é mostrada na Tabela 2

Tabela 2. Gramatura projetada para cada tratamento

Adesivos	MUF			EPI			PUR		
Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Gramatura (g/m ²)	250	200	150	350	200	150	150	100	80

Antes de iniciar o processo de usinagem as amostras ficaram uma semana em ambiente protegido da umidade para cura completa do adesivo, a amostra a ser usinada segue o padrão descrito na norma NBR 7190:97 mostrada na Figura 1.

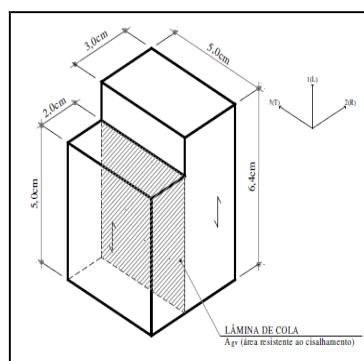


Figura 1. Corpo-de-prova de cisalhamento NBR 7190/97, Fonte: Serrano 2009.

Ensaio de cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento foram realizados em uma máquina universal para ensaios mecânicos modelo 23-200 da Marca INSTRON®/EMIC, instalada no laboratório de ensaios mecânicos da UDESC – CEPLAN.

Os parâmetros de ensaio como posicionamento do corpo de prova e carregamento da máquina foram retirados da norma NBR 7190:97, os corpos de prova foram ensaiados de maneira aleatória visando distribuir qualquer variação de condições durante o ensaio entre todos os corpos de prova.

Análise estatística

Após a coleta dos ensaios os dados foram estaticamente com o *software* MINITAB®18 buscando avaliar a normalidade das amostras e se houve diferenciação das médias de algum grupo.

Foram realizadas ANOVA de um fator para a resistência ao cisalhamento de cada adesivo e como o número de amostras é menor do que o recomendado para este tipo de análise foi preciso realizar um teste de normalidade para garantir a confiabilidade dos resultados [MONTGOMERY 2016].

Para avaliar se as amostras dos adesivos seguiam uma distribuição normal foram realizadas um teste de normalidade para cada tratamento, valores P acima de 0,05 sugerem que as amostras seguem uma distribuição normal.

Resultados e Discussões

Espécie de madeira e adesivos

O *E.grandis* utilizado passou por um processo de aplanação antes de ser estocado no local, a umidade média do lote estava em 12% valor foi obtido pelo medidor resistivo HM-610 da marca *Highmed*.

As pontas das lamelas foram destopadas e em seguida ocorreram os cortes de seções de 60x14x3,5 cm, que foram pesadas para a obtenção das densidades, as densidades foram alocadas para cada grupo de tratamento como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Densidade e gramatura e adesivo.

Adesivos	MUF			EPI			PUR		
Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Densidade (Kg/m ³)	482	485	483	508	519	516	500	508	498
Gramatura (g/m ²)	250	200	150	350	200	150	150	100	80

A heterogeneidade da madeira dificultou encontrar lamelas de densidades semelhantes e com baixa quantidade de defeitos, foi esperado que ocorressem perdas de corpos de prova durante o ensaio devido a alguns defeitos, principalmente nós e medula.

Após encontrar e selecionar os corpos de prova para cada tratamento, as amostras de 60x14x3,5 cm foram divididas ao meio e numeradas de 1 à 9 de acordo com o tratamento especificado na Tabela 3, algumas recomendações de laminação dos fabricantes a temperatura de 20°C estão condensadas na Tabela 4.

Tabela 4. Algumas características dos adesivos fornecidas pelos fabricantes.

Adesivo	MUF	EPI	PUR
Gramatura Recomendada (g/m ²)	250-450	200-350	100-200
Tempo em aberto (minutos)	100	60	20
Pressão Mínima Recomendada (MPa)	0,9	0,9	0,6
Tempo de Prensa (minutos)	600	120	60

Os adesivos com menor tempo em aberto foram preparados por último de forma a ganhar mais tempo na preparação do lote para a prensagem, que foi realizada ao mesmo tempo a 1 MPa de pressão específica, um valor em comum para todos os adesivos, após 10 horas de prensagem os corpos de prova seguiram para cura de 1 semana em uma sacola plástica selada contendo sílica gel.

Ensaios de cisalhamento e análise estatística

Os ensaios foram feitos de maneira aleatorizada para distribuir melhor possíveis variações da máquina de ensaio [Montgomery 2016], foram utilizadas uma pré carga de 1000 N e avanço de 5 mm por minutos, os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de cisalhamento em Mpa

Corpo de prova	T1-MUF	T2-MUF	T3-MUF	T4-EPI	T5-EPI	T6-EPI	T7-PUR	T8-PUR	T9-PUR
a	6,85	13,58	6,52	14,56	11,74	14,98	15,18	12,82	8,93
b	9,34	13,07	6,2	11,89	10,99	13,72	13,9	12,8	7,87
c	9,5	12,19	6,54	14,9	13,94	16,73	14,9	12,78	5,22
d	9,65	10,31	7,39	20	18,62	19,7	12,18	12,8	14,73
e	11,03	7,1	7,26	18,48	14,38	17,79	12,76	9,2	8,52
f	13,37	7,54	8,05				9,73	12,06	12,76
g	15,62	12,99					13,74	11,65	6,19
h	16,29						10,96	12,8	12,76
Média	11,45	10,96	6,99	15,96	13,93	16,58	12,91	12,11	9,62
Coef. Variação	29,01	24,68	9,91	20,37	21,42	14,13	14,7	10,38	35,5
Gramatura g/m ²	250	200	150	350	200	150	150	100	80

Os resultados obtidos pela NBR 7190:97 no ensaio de 103 corpos de prova de madeira sólida de *E. grandis* seca a 12%, resultou em uma resistência ao cisalhamento médio de 7 MPa, Lobão (2006) obteve também para madeira sólida de *E. grandis* de propriedades semelhantes valores entre 8 e 12 Mpa de resistência ao cisalhamento, os ensaios deste artigo obtiveram resultados relativamente superiores para maioria dos adesivos ensaiados.

Análise do adesivo MUF

Durante os ensaios 3 corpos de prova do adesivo MUF romperam devido a defeitos ocultos na madeira e seus resultados foram descartados, para verificar se houve significância nas médias foram realizados o teste ANOVA com os resultados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. ANOVA do adesivo MUF tratamento T1, T2 e T3.

Fonte	GL	SQ (A.j.)	QM (A.j.)	Valor F	Valor-P
Fator	2	77,77	38,883	5,66	0,012
Erro	18	123,70	6,872		
Total	20	201,47			

O valor de P ficou abaixo de 0,05 isso demonstra que as médias de resistência ao cisalhamento da MUF se diferenciaram significativamente entre os tratamentos estudados.

A Figura 2 mostra a aplicação de um teste de normalidade por gráfico de probabilidade, em que se os resultados ficarem próximos a reta e o valor de P for maior que 0,05 quer dizer que há normalidade na distribuição, situação ocorrida na Figura 2.

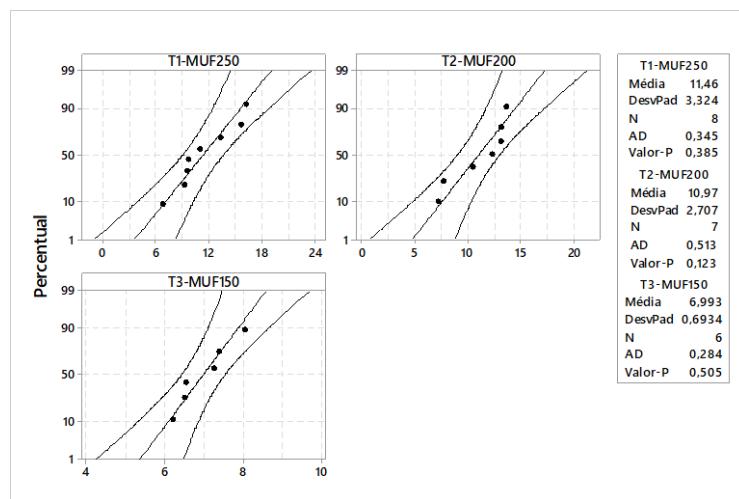


Figura 2: Gráfico de probabilidade para os corpos de prova de MUF.

Na Figura 3 temos os intervalos de confiança dos tratamentos realizados com a MUF onde foi possível observar uma tendência de queda de acordo com a diminuição da gramatura do adesivo.

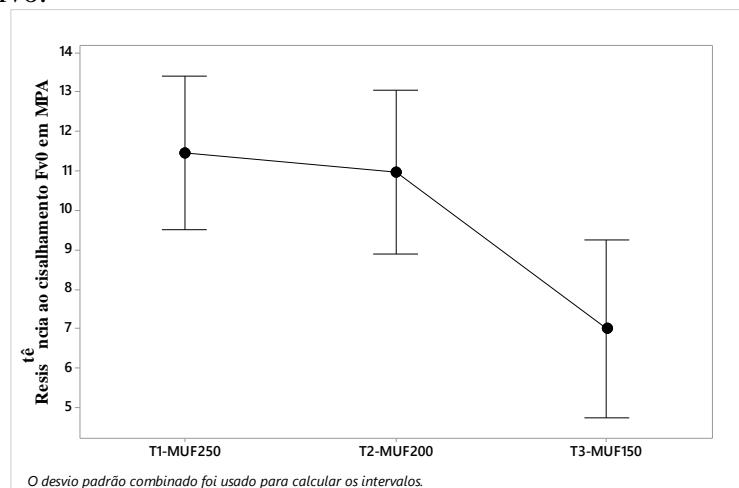


Figura 3: Intervalos de confiança de 95% para valores de resistência ao cisalhamento em MPa para cada tratamento do adesivo MUF.

Análise do adesivo EPI

Na ANOVA da Tabela 7 o valor P dos tratamentos do EPI resultaram em um valor P maior que 0,05 isso quer dizer que a gramatura não influenciou de maneira significativa na resistência ao cisalhamento nos intervalos estudados.

Tabela 7: ANOVA do adesivo MUF tratamento T4, T5 e T6

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	2	19,22	9,611	1,15	0,348
Erro	12	99,92	8,327		
Total	14	119,14			

Alguns corpos de prova do adesivo EPI precisaram ser descartados devido a erros de usinagem, mas como podemos ver na Figura 4 isso não afetou a normalidade das amostras.

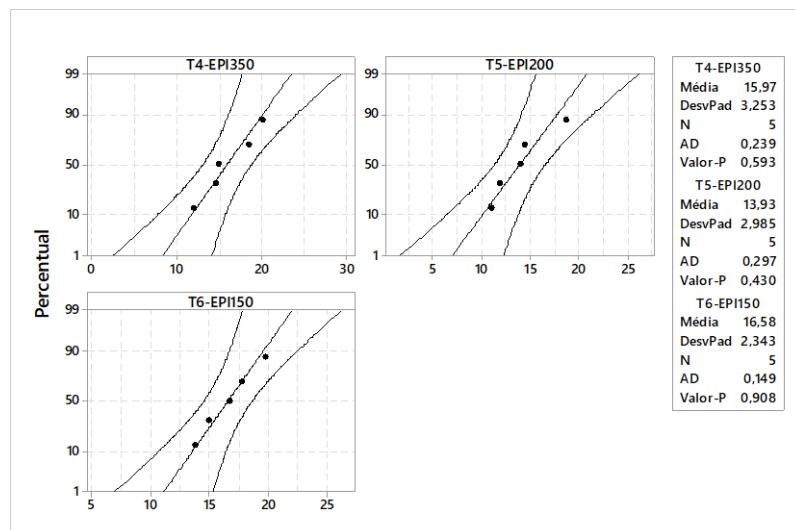


Figura 4. Gráfico de probabilidade com IC de 95% para os corpos de prova de EPI.

A média da resistência ao cisalhamento do EPI foi a maior entre os adesivos estudados, na Figura 5 estão os valores médios e seus respectivos tratamentos.

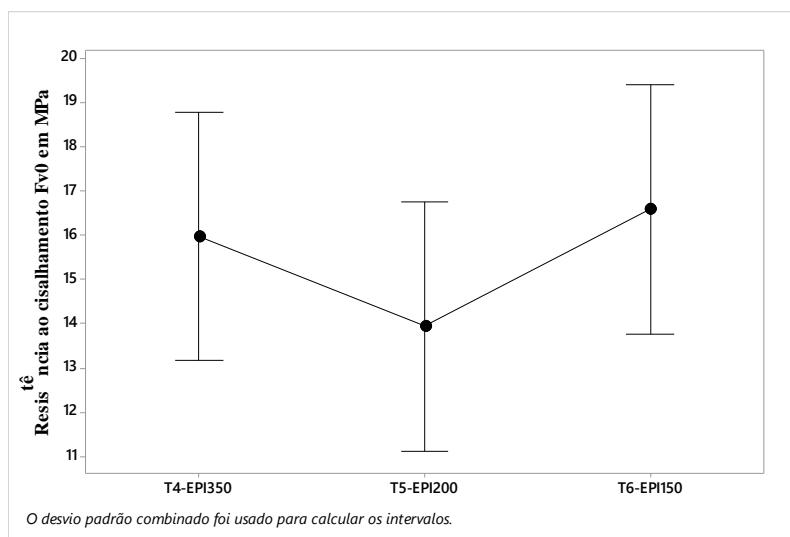


Figura 5 Intervalos de confiança de 95% para valores de resistência ao cisalhamento em MPa para cada tratamento do adesivo EPI.

Análise do adesivo PUR

O adesivo PUR foi o que demonstrou o menor desvio padrão dentre os adesivos estudados, o valor de P para a ANOVA na Tabela 8 ficou abaixo de 0,05 demonstrando estatisticamente que há significância entre as médias dos tratamentos.

Tabela 8. ANOVA do adesivo MUF tratamento T7, T8 e T9

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	2	47,25	23,626	4,20	0,029
Erro	21	118,02	5,620		
Total	23	165,27			

Na Figura 6 temos o gráfico de probabilidade normal dos tratamentos de PUR, na validação da normalidade das amostras, somente o tratamento T8 apresentou uma distribuição não normal, provavelmente devido ao baixo desvio padrão apresentado.

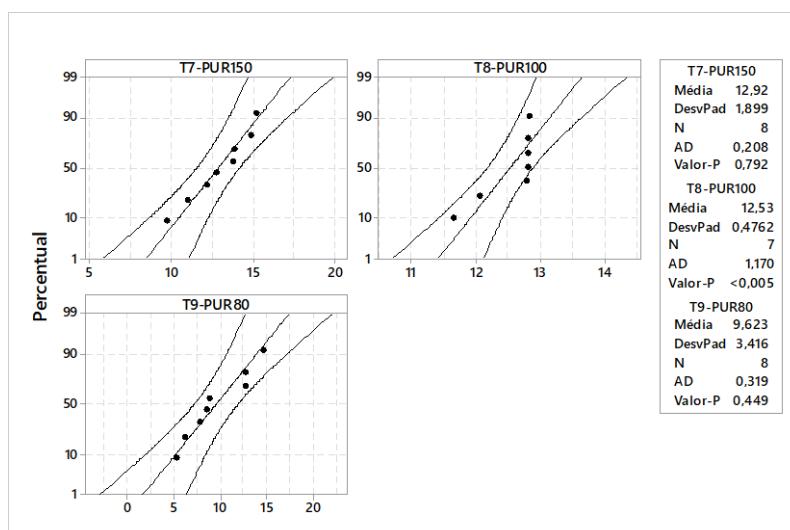


Figura 6. Gráfico de probabilidade com IC de 95% para os corpos de prova de PUR.

O adesivo PUR obteve a segunda melhor média geral de resistência ao cisalhamento e a maior quantidade de amostras ensaiadas, nenhuma das amostras apresentou qualquer defeito na madeira ou na fabricação, na Figura 6 é possível observar claramente a diminuição da resistência ao cisalhamento de acordo com a diminuição da gramatura.

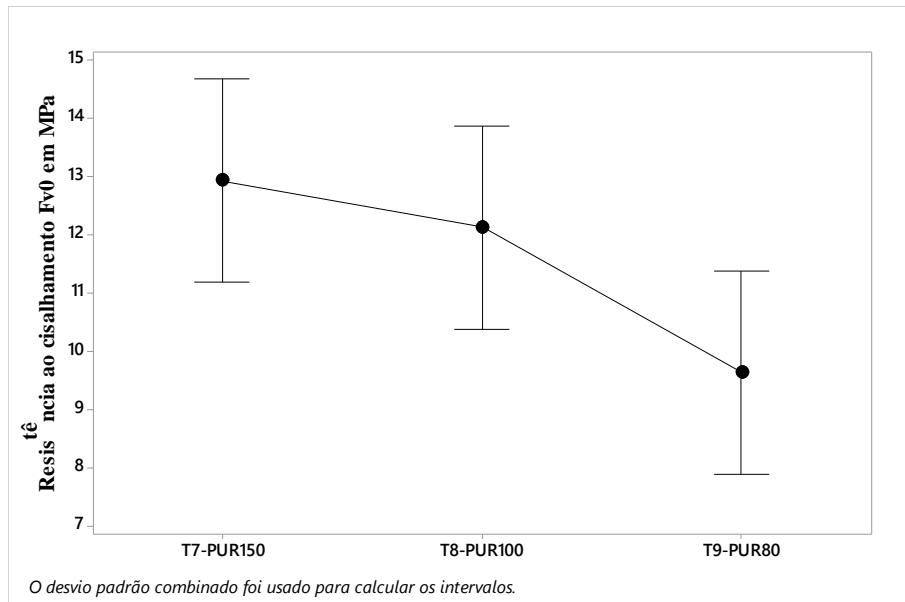


Figura 7. Intervalos de confiança de 95% para valores de resistência ao cisalhamento em MPa para cada tratamento.

Conclusões

O *Eucalyptus grandis* no geral apresentou boas características de adesão, entretanto os defeitos da madeira foram responsáveis por boa parte dos descartes de corpos de prova, um fator que deve ser levado em consideração na sua escolha para a produção de MLC.

Apesar da diferença significante entre a amostragem planejada e executada os corpos de prova foram validados pelo teste de probabilidade normal, importante para obter maior confiança nos resultados dos ensaios.

Nem todos os adesivos estudados apresentaram relação entre diminuição da gramatura e diminuição da resistência ao cisalhamento, o EPI parece que não foi afetado por esta condição na faixa de gramatura estudada, o adesivo PUR apresentou o menor desvio padrão dentre os adesivos estudados, com resultados muito consistentes nos ensaios, O EPI apresentou a maior média de resistência ao cisalhamento dentre os três adesivos.

Comparado com outras bibliografias, os resultados das resistência ao cisalhamento deste trabalho mostraram-se superiores a outros estudos similares, exigindo maiores investigações sobre possíveis causas desta variação.

Referências

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1997). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. 107 p.

American Society For Testing And Materials. (2003). ASTM D 905: Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. West Conshohocken, USA.

Calil Neto, C. Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado Inter unidades) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2011.

Lobão, S. M.; Gomes, A. (2006). Qualidade da adesão de madeira de eucalipto em corpos-de-prova colados em dois diferentes planos e densidades CERNE, vol. 12, núm. 2, abril-junho. pp. 194-200 Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

Miotto, J. L.; Dias, A. A. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. Revista Tecnológica: Edição Especial ENTECA, Maringá, p.35-45, 2009.

Motta, J. P.; Oliveira, J. T. da S.; ALVES, R. C. Influência Do Teor De Umidade Nas Propriedades De Adesão Da Madeira De Eucalipto. Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p.4-10, 2012.

Montgomery, D. C. (2016). Introdução ao controle estatístico da qualidade, tradução e revisão técnica Farias, A. M. L.; Farias e Flores V. R. L. . - 7. ed. - Rio de Janeiro : LTC.

Serrano, L. J. P.(2009). Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas dentadas. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Produtos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.