

## Aspectos descritivos da madeira como aliada na construção civil sustentável: Uma análise estatística



<https://doi.org/10.56238/sevened2023.006-099>

### Walter Ihlenfeld

Bacharel em Engenharia Civil, PUCPR

### Matheus Pacheco Auler

Bacharel em Engenharia Civil, UNIOPET

### Iolanda Geronimo Del Roio

Bacharel em Engenharia Civil, UTFPR

### Beatrice Lorenz Fontolan

Mestra em Engenharia Civil, UTFPR

### Alicia Armanini Forte

Bacharel em Arquitetura, UNIANDRADE

### Tatiana Maria Cecy Gadda

Doutora em Ciências Ambientais Humanas e da Terra,  
Universidade de Chiba

### Jaime Miranda Guerrieri

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária,  
UTFPR

### Ana Paula Borges dos Santos

Bacharel em Engenharia Civil, UNINOVE

### Caren Melissa Santos da Silva

Bacharel em Arquitetura, PUCPR

### Gabriel Felipe Pryjma Cardeal Vieira

Bacharel em Engenharia Civil, UTFPR

### RESUMO

Com a tendência mundial de se utilizar materiais renováveis e de baixo consumo energético, a madeira reapareceu no cenário construtivo nacional como um aliado na construção sustentável. Por ser um insumo natural, não é tóxica e não agride o meio ambiente, assim como também não oxida e apresenta boa resistência, sendo assim uma opção segura para estruturas e usuários. Sendo o resultado do crescimento de um ser vivo, implica-se em variações das suas características em função do meio ambiente em que as árvores se desenvolvem, acrescenta-se diferentes características físicas e mecânicas. Para compreender tais características, aplica-se uma análise estatística descritiva e modelo de correlação e regressão com o programa SPSS com grandezas físicas principais espécies de árvores utilizadas como insumos na construção civil nacional. A partir da matriz de correlação, percebe-se que a grandeza que possui maior correlação entre as variáveis é a densidade, logo considera-se a densidade como variável dependente para a regressão e como variáveis independentes as demais, sendo elas: altura, diâmetro, anos de corte, densidade seca, limite de escoamento, módulo de ruptura e resistência das fibras. Dessa forma, criou-se um modelo de regressão linear múltipla onde os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado indicam que o modelo consegue explicar mais de 90% do fenômeno e de que a correlação entre as variáveis é positiva.

**Palavras-chave:** Construção civil, Sustentabilidade, Madeira, Estatística descritiva.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é a base da cadeia produtiva de diversos produtos industriais em manufaturados que têm importância estratégica na economia de inúmeros países no mundo, incluindo o Brasil. Como material de construção, a madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente frente a outros materiais de construção, podendo agir de forma secundária na execução de uma obra, sendo aplicada nos escoramentos, formas, esquadrias, andaimes e até em barracões de obras (Júnior; Silva; Soares, 2017).



Já de forma permanente, a madeira é utilizada como revestimento, cobertura, mobiliário e inclusive em fundações, além da possibilidade da construção completa do imóvel em madeira. Sendo comumente citados como vetores de sua alta viabilidade: a alta resistência específica, o baixo consumo de energia para seu processamento, características de isolamento térmico, além de ser um material de fácil trabalhabilidade manual ou mecânica (Martini, 2003; Zenid, 2018).

Dentre os diversos usos possíveis da madeira na construção civil, pode-se classificar de acordo com a finalidade (Zenid, 2009, p.22), como segue:

- a) Construção civil pesada para ambientes externos: engloba as peças de madeira serrada usadas para estacas marítimas, trapiches, pontes, obras imersas, postes, cruzetas, estacas, escoras e dormentes ferroviários, estruturas pesadas, torres de observação, vigamentos, tendo como referência a madeira de angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*);
- b) Construção civil pesada para ambientes internos: engloba as peças de madeira serrada na forma de vigas, caibros, pranchas e tábuas utilizadas em estruturas de cobertura, onde tradicionalmente é empregada a madeira de peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*);
- c) Construção civil leve externa e interna para fins estruturais: reúne as peças de madeira serrada na forma de tábuas e pontaltes empregados em usos temporários (andaimés, escoramento e fôrmas para concreto) e as ripas e caibros utilizados em partes secundárias de estruturas de cobertura. A madeira de pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) foi a mais utilizada, durante décadas, neste grupo;
- d) Construção civil leve interna para fins arquitetônicos: abrange as peças de madeira serrada e beneficiada, como forros, painéis, lambris e guarnições, onde a madeira apresenta cor e desenhos considerados decorativos;
- e) Construção civil leve para ambientes internos e de utilidade geral: são os mesmos usos descritos no item anterior, porém para madeiras não decorativas;
- f) Para esquadrias: abrange as peças de madeira serrada e beneficiada, como portas, venezianas, caixilhos.
- g) Para assoalhos domésticos: compreende os diversos tipos de peças de madeira serrada e beneficiada, como tábuas corridas, tacos, tacões e parquetes.

Com a tendência mundial de se utilizar materiais de baixo consumo energético e renováveis, a madeira reapareceu no cenário construtivo nacional, pois desempenha os requisitos necessários de resistência e durabilidade (Silva; Soares, 2017). Sua utilização permite uma obra mais limpa e com baixíssimo desperdício de material. Todavia, a segurança também está presente nas suas características, pois possui a melhor proporção entre peso e resistência que seus concorrentes diretos, aço e concreto armado (Júnior; Silva; Soares, 2017). Outra vantagem é a disponibilidade do produto no



mercado, uma vez que ela já é usada na construção civil há bastante tempo além de ser um produto natural e seguro; a madeira, por ser um insumo natural, não é tóxica e não agride o meio ambiente.

A partir das informações apresentadas justifica-se o presente estudo de correlação entre as propriedades físicas da madeira em virtude de ser o resultado do crescimento de um ser vivo, implicando em variações das suas características em função do meio ambiente em que se desenvolve. Inclusive por diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias (Zenid, 2018). Além do mais, há uma condição muito favorável para exploração florestal no Brasil, possuindo uma grande área degradada e subutilizada que serve de *loco* para ampliar a atividade do setor florestal. Tal setor já é um dos maiores e está em larga crescente, possuindo uma área de 9 milhões de hectares, com uma representatividade econômica na ordem de R\$ 65 bilhões (Pitzahn, 2016).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

No presente estudo será trabalhado com duas variáveis qualitativas nominais, a ocorrência nacional e internacional das madeiras. E as variáveis quantitativas serão a altura, o diâmetro, os anos para o corte, a densidade, densidade seca, limite de escoamento, módulo de ruptura e resistência das fibras; sendo a variável anos para o corte contínua e as demais quantitativas discretas.

### 2.2 DESCRIÇÃO DA COLETA DA AMOSTRA

Todas as informações contidas no banco de dados foram provenientes de um meio de pesquisa específico. Utilizou-se como base de dados informações de 50 espécies de árvores de ocorrência nacional de todas as regiões do país fornecidas por The Wood Database (2023), descritas a seguir:

Quadro 1 – 50 espécies de árvores cuja madeira são utilizadas na construção civil nacional

Nome comum	Nome científico	Ocorrência Nacional
Angelim araroba	<i>Andira fraxinifolia Benth</i>	Mata Atlântica
Angelim ferro	<i>Dinizia excelsa Ducke</i>	Região Amazônica
Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum Ducke</i>	Região Amazônica
Angelim pedra verdadeiro	<i>Dinizia excelsa Ducke</i>	Região Amazônica
Branquilha	<i>Sebastiania Commersoniana</i>	Mata Atlântica
Caferana	<i>Andira sp</i>	Região Amazônica
Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i>	Sudeste e Nordeste
Casca grossa	<i>Vochysia sp</i>	Cerrado
Castelo	<i>Gossypiospermum praecox</i>	Sul
Cedro amargo	<i>Cedrela sp.</i>	Região Amazônica
Cedro doce	<i>Pachira quinata</i>	Mata Atlântica
Champagne	<i>Dipteryx sp</i>	Região Amazônica



Cupiúba	<i>Goupia glabra Aubl</i>	Região Amazônica
Catiúba	<i>Qualea paraensis</i>	Região Amazônica
Eucalipto Alba	<i>Eucalyptus Alba</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Camaldulensis	<i>Eucalyptus Camaldulensis</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Citriodora	<i>Eucalyptus Citriodora</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Cloeziana	<i>Eucalyptus Cloeziana</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Dunnii	<i>Eucalyptus Dunnii</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Grandis	<i>Eucalyptus Grandis</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Maculata	<i>Eucalyptus Maculata</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Maidene	<i>Eucalyptus Maidene</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Microcorys	<i>Eucalyptus Microcorys</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Paniculata	<i>Eucalyptus Paniculata</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Propinqua	<i>Eucalyptus Propinqua</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Punctata	<i>Eucalyptus Punctata</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Saligna	<i>Eucalyptus Saligna</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Tereticornis	<i>Eucalyptus Tereticornis</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Triantha	<i>Eucalyptus Triantha</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Umbra	<i>Eucalyptus Umbra</i>	Sul e Sudeste
Eucalipto Urophylla	<i>Eucalyptus Urophylla</i>	Sul e Sudeste
Garapa Roraima	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Região Amazônica
Guaiçara	<i>Luetzelburgia auriculata</i>	Mata Atlântica
Guarucaia	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Cerrado
Ipê	<i>Handroanthus albus</i>	Mata Atlântica
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Mata Atlântica
Louro preto	<i>Cordia trichotoma</i>	Cerrado
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>	Mata Atlântica
Mandioqueira	<i>Didymopanax morototonii</i>	Região Amazônica
Oiticica amarela	<i>Licania rigida</i>	Região Amazônica
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	Mata Atlântica
Pinus caribaea	<i>Pinus caribaea</i>	Sul e Sudeste
Pinus bahamensis	<i>Pinus bahamensis</i>	Sul e Sudeste
Pinus hondurensis	<i>Pinus hondurensis</i>	Sul e Sudeste
Pinus elliottii	<i>Pinus elliottii</i>	Sul e Sudeste
Pinus oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i>	Sul e Sudeste
Pinus taeda	<i>Pinus taeda</i>	Sul e Sudeste
Quarubarana	<i>Erisma uncinatum Warm</i>	Região Amazônica
Sucupira	<i>Bowdichia virgilioides</i>	Cerrado
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis Aubl</i>	Região Amazônica
Umbuzeiro	<i>Spondias tuberosa</i>	Região Amazônica

Fonte: Os Autores, adaptado de The Wood Database (2023)

## 2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Foi utilizado o programa estatístico SPSS (*Statistical Package for Social Science*) para gerar modelos de regressão e correlação entre as variáveis. O programa permite a utilização de dados em



diversos formatos para gerar relatórios, calcular estatísticas descritivas, conduzir análises estatísticas complexas e elaborar gráficos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 MEDIDAS DE POSIÇÃO E DISPERSÃO

É de interesse apresentar esses dados através de medidas descritivas que sintetizam as características da distribuição. Para representar um conjunto de dados de forma condensada utilizar-se de algumas medidas de posição e de dispersão (Medeiros, 2019).

##### 3.1.1 Cálculo das medidas de posição

As medidas de posição servem para localizar a distribuição dos dados brutos (ou das frequências) sobre o eixo de variação da variável em questão (Balieiro, 2008). O Quadro 2 apresenta os valores para as medidas de posição referentes à média, moda e mediana.

Quadro 2 – Medidas de posição

Medidas de posição	Altura (m)	Diâm. (m)	Corte (anos)	Dens. (kg/m <sup>3</sup> )	Dens. seca (kg/m <sup>3</sup> )	Lim. de Escoam. (Mpa)	Mod. de Rupt. (MPa)	Resist. Fibras (MPa)
Médias	22,3	1,1	15,2	824,6	665,7	15,2	101,3	9,9
Modas	30,0	0,6	15,0	690,0	730,0	20,0	83,0	9,8
Medianas	20,0	1,0	15,0	825,0	640,0	14,6	97,0	9,8

Fonte: Os Autores (2023)

##### 3.1.2 Cálculo das medidas de dispersão

As informações oferecidas pelas medidas de posição necessitam ser complementadas pelas medidas de dispersão. Elas visam apresentar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central. Logo, caracterizam o grau de variação existente em um conjunto de dados (Balieiro, 2008). O Quadro 3 apresenta as medidas de dispersão para as variáveis, sendo elas o valor máximo, mínimo, amplitude, desvio padrão, variância e o coeficiente de dispersão.

Quadro 3 – Medidas de dispersão e coeficiente de dispersão

Medidas de Dispersão	Altura (m)	Diâm. (m)	Corte (anos)	Dens. (kg/m <sup>3</sup> )	Dens. seca (kg/m <sup>3</sup> )	Lim. de Escoam. (MPa)	Mod. de Rupt. (MPa)	Resist. Fibras (MPa)
Máxima	55,0	3,4	40,0	1220,0	1100,0	23,6	174,0	15,7
Mínimo	5,5	0,4	5,0	500,0	410,0	7,1	50,0	5,6
Amplitude	49,5	3,1	35,0	720,0	690,0	16,5	123,0	10,1
Desvio Padrão	10,1	0,6	6,4	195,7	169,8	3,9	28,9	2,4
Variância	102,4	0,4	41,4	38304,8	28829,0	15,5	834,4	5,7
Coeficiente de dispersão	45,38%	57,36%	42,22%	23,73%	25,50%	25,84%	28,50%	24,03%

Fonte: Os Autores (2023)



Verifica-se que a amplitude como medida de dispersão é limitada. Essa medida só depende dos valores extremos, ou seja, não é afetada pela dispersão dos valores internos máximos e mínimos. O desvio padrão mede a variabilidade do conjunto em termos de desvios em relação à média aritmética. É uma quantidade sempre não negativa e expressa na mesma unidade de medida da variável (Medeiros, 2019).

A variância mede a variabilidade do conjunto em termos de desvios quadrados em relação à média aritmética. É uma quantidade sempre não negativa e expressa em unidades quadradas do conjunto de dados, sendo de difícil interpretação. Já o coeficiente de dispersão é uma medida de “variabilidade relativa”, sendo útil para comparar a variabilidade de observações com diferentes unidades de medida (Medeiros, 2019).

## 3.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

### 3.2.1 Cálculo da matriz de correlação

No sentido mais amplo, correlação é qualquer associação estatística, embora, na maioria das vezes se refira a quão próximas duas variáveis estão de ter uma relação linear entre si que é a forma de correlação mais conhecida e chamada de correlação de *pearson*. Uma matriz de correlação é uma tabela que apresenta os coeficientes de correlação entre variáveis. Cada célula na tabela mostra a correlação entre duas variáveis. A correlação é um número que varia entre -1 e 1, que também pode ser expresso em porcentagem. Em estatística é representado pela letra “r”. Uma correlação pode ser positiva ( $r > 0$ ), o que significa que ambas as variáveis se movem na mesma direção ou são negativas ( $r < 0$ ), o que significa que se movem em direções opostas, ou seja, quando o valor de uma variável aumenta, o valor da outra variável diminui. A correlação também pode ser nula ou zero, o que significa que as variáveis não estão relacionadas (Rocha, 2018).

### 3.2.2 Análise da matriz de correlação

Os Quadros 4 e 5 a seguir apresentam os coeficientes de regressão e a matriz de correlação com o uso das variáveis apresentadas na base de dados.

Quadro 4 – Coeficientes de regressão

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		
	B	Modelo padrão	Beta	t	Sig.
Constante	-2,314	6,184		-0,372	0,710
Diâmetro	7,233	2,169	0,461	3,335	0,002
Corte	-0,057	0,201	-0,036	-0,283	0,778
Densidade	-0,031	0,017	-0,606	-1,804	0,078
Densidade seca	-0,031	0,018	0,522	1,744	0,088
Limite de escoamento	0,299	0,565	0,117	0,530	0,599
Módulo de ruptura	0,168	0,058	0,478	2,903	0,006
Resistência	0,096	0,834	0,023	0,115	0,909

Fonte: Os Autores, produzido no SPSS (2023)



Os coeficientes de regressão representam a mudança média na variável resposta para uma unidade de mudança na variável preditora, mantendo as outras predictoras na constante do modelo. Esse controle estatístico que a regressão proporciona é importante porque isola o papel de uma variável de todas as outras no modelo. A seguir, o Quadro 5 indica os coeficientes relacionados à matriz de correlação.

Quadro 5 – Matriz de correlação

		A	D	C	De	DeS	LE	MR	R
A	Pearson	1	0,484**	0,098	0,226	0,145	0,284*	0,542**	0,242
	Sig.		0,000	0,493	0,110	0,110	0,044	0,000	0,087
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
D	Pearson	0,484**	1	-0,017	-0,039	-0,282*	-0,014	0,313*	-0,075
	Sig.	0,000		0,908	0,926	0,045	0,921	0,026	0,602
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
C	Pearson	0,098	-0,017	1	0,013	0,185	0,004	0,103	0,172
	Sig.	0,493	0,908		0,926	0,195	0,980	0,470	0,228
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
De	Pearson	0,226	-0,282*	0,013	1	0,869**	0,836**	0,591**	0,772**
	Sig.	0,110	0,045	0,926		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
DeS	Pearson	0,145	-0,282*	0,185	0,869**	1	0,733**	0,386**	0,745**
	Sig.	0,311	0,045	0,195	0,000		0,000	0,005	0,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
LE	Pearson	0,284*	0,014	0,004	0,836**	0,733**	1	0,588**	0,748**
	Sig.	0,044	0,021	0,034	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
MR	Pearson	0,542**	0,313*	0,103	0,591**	0,386**	0,733**	1	0,527**
	Sig.	0,000	0,026	0,470	0,000	0,005	0,000		0,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50
R	Pearson	-0,242	-0,075	,0172	0,772**	0,745**	0,748**	0,527**	1
	Sig.	0,087	0,602	0,228	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	50	50	50	50	50	50	50	50

\* A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades)

\*\* A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades)

Legenda: A: altura, D: diâmetro, C: corte, De: densidade, DeS: densidade seca, LE: Limite de escoamento, MR: Módulo de ruptura e R: Resistência.

Fonte: Os Autores, produzido no SPSS (2023)

A madeira pode ser influenciada pelas variáveis estudadas de inúmeras maneiras, nos atentaremos as principais. Analisando a matriz de correlação, observa-se que os maiores graus de correlação é o da densidade com a densidade seca (87%), seguido por densidade com o limite de escoamento (84%) e novamente densidade com a resistência das fibras (77%); o que já era um resultado previsível, visto que quanto mais grossas as fibras da madeira, maior seu peso e consequentemente sua densidade. Outras correlações fortes são o limite de escoamento com a resistência das fibras (75%), densidade seca com a resistência das fibras, novamente (74%) e por fim, densidade seca com o limite de escoamento (73%). Logo, percebe-se que as variáveis mais fortes são a densidade, densidade seca, limite de escoamento e resistência das fibras.



As variáveis de média correlação envolvem majoritariamente o módulo de ruptura, que está correlacionado com a densidade e escoamento (59%), altura (54%), densidade seca (39%) e diâmetro (31%). Também observa-se uma correlação entre o módulo de ruptura e a resistência das fibras (53%) e também entre o diâmetro e a altura (48%). O módulo de ruptura representa a tensão máxima que um elemento estrutural pode suportar antes de se romper; o que é coerente com os resultados apresentamos, visto que são as fibras da madeira que correspondem a resistência estrutural e a densidade está restritamente ligada às fibras.

As correlações fracas envolvem restritamente a altura e o corte; sendo a altura com o limite de escoamento (28%), com a resistência das fibras (24%), com a densidade (23%), com a densidade seca (14%) e com o corte (10%). E o corte com a densidade seca (18%), com a resistência das fibras (17%) e por fim com o módulo de ruptura (10%). A altura das árvores não se relaciona com as variáveis citadas por diversas razões, pode se destacar a região de ocorrência, a temperatura do local, assim como o regime de chuvas e demais características físicas e geográficas.

Já as correlações negativas envolvem o diâmetro com a densidade seca (-28%) e com a resistência das fibras (-7%) e com a densidade (-4%). Assim como a altura, o tempo para o corte possui fraca correlação com as variáveis; uma árvore pode demorar muito para crescer e ter resistências baixas assim como crescer rápido e ter uma resistência maior, logo também depende de outras variáveis que não foram mensuradas no presente estudo. Já as variáveis com correlação nula ou menores que 3% foram descartadas desta análise.

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTE E INDEPENDENTES

A partir da matriz de correlação, percebe-se que a variável que possui maior correlação entre as variáveis é a densidade, logo considera-se a densidade como variável dependente para a regressão e como variáveis independentes as demais, sendo elas: altura, diâmetro, anos de corte, densidade seca, limite de escoamento, módulo de ruptura e resistência das fibras.

### 3.4 TESTES DE HIPÓTESES PARA A REGRESSÃO

Teste de hipótese é um processo capaz de afirmar, com base em dados amostrais, se uma hipótese sob prova é correta ou não. É uma afirmação que admite se certo efeito esta presente ou não. Por hipótese, entende-se certa afirmação condicionada acerca de uma população, e classificam-se em dois tipos:

- a) hipótese nula ( $H_0$ ), quando se admite não haver diferença entre a informação fornecida pela realidade e a afirmação da hipótese;
- b) hipótese alternativa ( $H_1$ ), quando se admite haver diferença entre a informação fornecida pela realidade e a afirmação da hipótese.





Portanto, o processo de teste consiste em aceitar ou rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ), com base na diferença entre o valor hipotético e seu estimado (Sell, 2005). Aplicou-se os passos do teste de hipóteses para a regressão a 95% de confiabilidade para as seguintes hipóteses:

$H_0 : B = 0$ : Não há influência da densidade sobre a altura e/ou diâmetro, anos de corte, densidade seca, limite de escoamento, módulo de ruptura e resistência das fibras;

$H_1 : B \neq 0$ : Há influência da densidade sobre a altura e/ou diâmetro, anos de corte, densidade seca, limite de escoamento, módulo de ruptura e resistência das fibras.

### 3.5 AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO

O valor-p é o maior valor de nível de significância para o qual o teste é significativo ou é o maior valor de nível de significância que rejeita a hipótese nula ( $H_0$ ). Valor-p é o nível de significância observado. Para julgamento compara-se o valor-p com o nível de significância ou erro tolerado que julgar mais adequado. O critério de decisão para o valor-p será: escolher o nível de significância  $\alpha$  (utilizando aqui o valor de 5%); se o valor-p  $< \alpha$ , então, rejeita-se  $H_0$ . É uma medida de significância global da equação de regressão múltipla e uma boa medida de aderência da equação aos dados amostrais (Lapponi, 2000).

Para a primeira regressão, percebeu-se que as variáveis “módulo de ruptura” e “resistência das fibras” e a própria interseção obtiveram o valor-p maior que 5%, o que torna necessário rejeitar a hipótese  $H_0$  e ajustar o modelo de regressão excluindo tais variáveis, portanto obtêm-se novas hipóteses:

$H_0' : B = 0$ : Não há influência da densidade sobre a altura, diâmetro, anos de corte, densidade seca e limite de escoamento;

$H_1' : B \neq 0$ : Há influência da densidade sobre a altura, diâmetro, anos de corte, densidade seca e limite de escoamento.

Verifica-se como verdadeiro a Hipótese  $H_1'$ , com o valor-p dentro do limite do aceitável para as variáveis independentes. Com o valor  $R^2$  ajustado próximo de 1; com 0,9131. Sendo que o valor de  $R^2$  ajustado exibe o coeficiente de determinação múltipla, que é uma medida do grau de ajustamento da equação de regressão múltipla aos dados amostrais.

Um ajuste perfeito resulta em  $R^2 = 1$ , um ajuste muito bom acarreta um valor próximo de 1 e um ajuste fraco ocasiona um valor de  $R^2$  próximo de zero. O coeficiente múltiplo de determinação de  $R^2$  é uma medida de aderência da equação de regressão aos dados amostrais. O coeficiente de determinação ajustado é o coeficiente múltiplo de determinação  $R^2$  modificado de modo a levar em conta o número de variáveis e o tamanho da amostra. O coeficiente de determinação ou de explicação  $R^2$ , mede a parcela da variação de  $Y$  explicada pela variação dos  $X$  (Sell, 2005).



E para a Estatística F, utilizada para testar o efeito conjunto das variáveis independentes sobre a dependente, ou seja, serve para verificar se, pelo menos, um dos X explica a variação do Y. Desse modo, a hipótese nula (H0) indicará que nenhum dos X afeta Y, enquanto a hipótese alternativa (H1) assegura que, pelo menos uma das variáveis independentes influenciará a variável dependente Y, dentro dos graus de liberdade exigidos e dado um grau de significância. Considerando um nível de significância igual a 0,05, se F de significação for  $< 0,05$ , a regressão é significativa, mas se for  $\geq 0,05$ , a regressão não é significativa (Sell, 2005).

Como última verificação, o valor de F de significação é extremamente menor que  $\alpha$  (5%), com o valor de  $2,3067 * (10^{-20})$ , o que torna a regressão significativa e boa.

Os valor de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado (0,9153 e 0,9047, respectivamente) indicam que este modelo de regressão linear múltipla consegue explicar mais de 90% do fenômeno e de que a correlação entre as variáveis é positiva. Observa-se também que os resíduos utilizados influenciam diretamente no valor-p (teste F) para a regressão.

Porém, é possível observar com os dados obtidos que a interseção representa mais de 32% do modelo de regressão enquanto as variáveis altura representa 2,9% e anos para o corte 0,6%, respectivamente. As demais apresentam baixa probabilidade da interferência das variáveis ser atribuída neste modelo ao acaso.

### 3.6 EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

A regressão dá uma equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos. A regressão compreende a análise de dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população e, tem como resultado uma equação matemática que descreve o relacionamento. A equação pode ser usada para estimar, ou prever, valores futuros de uma variável quando se conhecem ou se supõem conhecidos valores da outra variável (Stevenson, 1986). Portanto, chegou-se às seguintes equações:

$$\text{Altura (metros): } Y = 48,6335 - 2,9085 * x \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Diâmetro (metros): } Y = 48,6335 + 89,0138 * x \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Corte (anos): } Y = 48,63355 - 3,8019 * x \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Densidade seca (kg/m}^3\text{): } Y = 48,6335 + 0,80571 * x \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{Limite de Escoamento (MPa): } Y = 48,6335 + 16,5763 * x \quad (\text{Eq. 5})$$

Inserindo a densidade (kg/m<sup>3</sup>) como valor em “x” estima-se as outras grandezas com base no modelo de regressão linear múltipla, sendo possível explicar mais de 90% do fenômeno.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se observar o cenário nacional do uso da madeira como material de construção civil com base nas suas informações técnicas a partir das ferramentas de análise estatística, pode-se afirmar que:

A escolha da madeira correta para um determinado uso, deve-se considerar quais são as propriedades físicas e os respectivos níveis requeridos para que a madeira possa ter um desempenho satisfatório. A partir da matriz de correlação, percebe-se que a variável que possui maior correlação entre as variáveis é a densidade, logo considera-se a densidade como variável dependente para a regressão e como variáveis independentes as demais e os testes de hipótese apontaram para influência da densidade sobre a altura, diâmetro, anos de corte, densidade seca e limite de escoamento.



## REFERÊNCIAS

- BALIEIRO, J. C. C. Material de Apoio de Estatística: introdução à estatística. Universidade de São Paulo. 2008.
- JÚNIOR, C. Madeira na construção civil. [S. l.], 26 set. 2017. Disponível em: <http://enecengenharia.com.br/blog/madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- JÚNIOR, C. C.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da madeira na construção civil. Projectus: Engenharias, Rio de Janeiro, v. 2, ed. 4, p. 79-93, 2017.
- LAPPONI, J. C. (2000). Estatística Usando Excel 5 e 7. São Paulo: Lapponi, Treinamento e Editora, p. 294.
- MARTINI, S. A competitividade da micro e pequena empresa madeireira na região do Vale do Iguaçu: suas potencialidades e fragilidades. Florianópolis: Dissertação de mestrado do Departamento de Economia da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- MEDEIROS, L. Material de Apoio de Estatística: medidas de posição e dispersão. Universidade Federal da Paraíba. 2019.
- PITZAHN, E. Consufor. Brasil tem R\$ 65 bilhões em florestas plantadas com eucalipto e pinus. Disponível em: <https://consufor.com/brasil-tem-r-65--bilhoes-em-florestas-plantadas-com-eucalipto-e-pinus/>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ROCHA, D. Sobre Correlações e visualizações de matrizes de correlação no R. [S. l.], 2018. Disponível em: [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/437792\\_df39a5ff0a55491fb71f0f4a0f5cd0bf.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/437792_df39a5ff0a55491fb71f0f4a0f5cd0bf.html). Acesso em: 8 out. 2023.
- SELL, I. Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos. IX Congresso Internacional de Custos, Florianópolis, SC, Brasil, p. 1-13, 28 nov. 2005.
- STEVENSON, W. J. Estatística aplicada à administração. São Paulo: Harbra, 1986. 341 p.
- THE WOOD DATABASE. Explore wood: Break out the ordinary. [S. l.], 2008. Disponível em: <https://www.wood-database.com/>. Acesso em: 15 out. 2023.
- ZENID, G. J. Madeira na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, 2018. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20na%20constru%E7%E3%20civil.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ZENID, G. J. et al. Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil. [S. l.], 2003. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1664&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Indica%E7%E3o%20da%20madeiRa%20para%20constru%E7%E3o%20civil](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1664&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Indica%E7%E3o%20da%20madeiRa%20para%20constru%E7%E3o%20civil). Acesso em: 29 out. 2023.