

AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA VESUS A PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT

²GOMES, Fernando José Borges

¹TRUGILHO, Paulo Fernando

²COLODETTE, Jorge Luiz

¹GOMES, Adriana de Fátima

²MORAIS, Paulo Henrique Damasceno

¹UFLA, Lavras, MG, Brasil

²UFV, Viçosa, MG, Brasil

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi investigar e comparar algumas técnicas não convencionais (não destrutivas) para avaliar a qualidade da madeira de florestas de eucalipto visando à produção de celulose. Essas técnicas incluem a extensometria, pilodyn, resistografia e ondas de tensão. Foram avaliadas as relações existentes entre as técnicas não destrutivas com as técnicas destrutivas convencionais da madeira e, também, com a produção de celulose Kraft, visando-se à redução de tempo e custos das análises de laboratório. Foram utilizados seis clones de *Eucalyptus* sp., aos 3 anos de idade, procedentes da empresa CENIBRA, localizada no município de Belo Oriente, Vale do Rio Doce. Foram considerados dois sítios distintos da empresa, sendo a região de Rio Doce-Ipaba e Santa Bárbara. Em cada região foram amostradas cinco árvores-amostra por clone e sítio. Os resultados da avaliação não destrutiva da madeira indicaram que o clone 6 foi o que apresentou os menores níveis de tensões de crescimento, ou seja, menores magnitudes de DRL e DRT, exceto na região de Rio Doce-Ipaba. O clone 2 foi o que apresentou o menor nível de tensão de crescimento na região de Rio Doce-Ipaba. A região de Rio Doce-Ipaba e Santa Bárbara apresentaram, na média, tensões longitudinais de crescimento de 120 e 112µm, respectivamente. O clone 6 foi o que apresentou os menores valores médios de amplitude e maiores de resistência à penetração do pino do “pilodyn” nas duas regiões avaliadas, sendo os valores mais baixos na região de Santa Bárbara, o mesmo ocorreu com a densidade. O clone 6 foi o que apresentou os menores valores de velocidade de propagação da onda de tensão nas duas regiões amostradas, tanto no sentido transversal como no longitudinal. As correlações negativas, significativas e de maiores magnitudes ocorreram entre a profundidade de

penetração do pino do “pilodyn com a velocidade de propagação da onda de tensão, sentido longitudinal (V_{elong}) e transversal (V_{trans}), e a amplitude nos dois locais amostrados. Os teores de lignina apresentaram correlação negativa com a deformação residual longitudinal e com a amplitude, com o pilodyn a correlação foi positiva. Já a relação siringila/guaiacila foi correlatada positivamente com a deformação residual longitudinal, pilodyn e amplitude. Os clones 2, de Rio Doce-Ipaba, e o clone 6, de Santa Bárbara, apresentaram os maiores valores de teor de extrativo em acetona, esses mesmos clones foram os que apresentaram os menores rendimentos depurados, sendo de 50,5 e 50,6 %, respectivamente e os menores valores de DRL, 104 e 95 µm respectivamente. O clone 6, em Rio Doce-Ipaba, e o clone 3, em Santa Bárbara, apresentaram os maiores rendimentos depurados e os maiores valores de relação S/G, sendo 3,12 e 3,06 respectivamente. A DRL apresentou uma correlação positiva e significativa com o rendimento.

Palavras-Chave: Avaliação não destrutiva, árvore viva, clone, Eucalyptus

INTRODUÇÃO

A necessidade de se avaliar, cada vez mais, um maior número de amostras de madeira nos laboratórios especializados, visando à caracterização do material para determinada finalidade, está provocando a busca por novas metodologias e equipamentos que agilizem esse trabalho e, que ao mesmo tempo, reduzam os custos operacionais ainda em condição de campo. As técnicas de avaliação não destrutiva da madeira podem contribuir de maneira significativa para a resolução desse problema. A avaliação não destrutiva compreende o uso de métodos e ensaios para a qualificação das propriedades do material, sem que haja o comprometimento de seu uso.

A madeira de espécies de eucalipto é a principal matéria prima no processo de fabricação de celulose Kraft. Pelas suas características químicas e morfológicas, ela é largamente usada na fabricação de dois tipos principais de papéis, os de escrita (imprimir e escrever) e os absorventes (higiênico, toalha, guardanapo, lenços, etc.). Cada um desses segmentos de produtos tem suas peculiaridades e exigências de qualidade da celulose (CARPIM, 1987; DEMUNER, 1993; FONSECA, 1996; SILVA JUNIOR, 1996;

WHITEMAN, 1996; DINUS, 1997; FOELKEL, 1997; COTTERILL, 1997; RUDIE, 1998).

Por sua vez, as fábricas procuram diferenciar seus produtos para manter e conquistar fatias de mercado num ambiente altamente competitivo. São duas as principais alternativas de diferenciação das polpas celulósicas: a qualidade da madeira e o processo de produção.

Os métodos convencionais para se avaliar a qualidade da madeira para a produção de celulose, incluem produção laboratorial de celulose e determinação da constituição química dos principais componentes da madeira, como lignina, carboidratos e extrativo. Estes métodos são demorados, caros e tediosos, o que os torna inviáveis para análises de grande número de amostras. Normalmente, apenas cerca de 8 a 10 amostras podem ser analisadas para determinação de lignina, por homem / dia, e, dificilmente, mais de 4 amostras podem ser processadas, por homem/dia, para produção de celulose em escala laboratorial.

A necessidade de realização de centenas de análises de propriedades da madeira como critérios de seleção de clones para programas de melhoramentos florestais provocou, recentemente, forte demanda para desenvolvimento de novas técnicas de análises.

Várias técnicas de avaliação da qualidade da madeira já estão à disposição dos pesquisadores, dentre elas podem-se citar as técnicas de avaliação não destrutivas. Essas técnicas permitem a amostragem de um grande número de material no campo, rapidez nas avaliações, pré-classificação do material amostrado, reduzindo drasticamente o número de material a ser avaliado de forma destrutiva nos laboratórios especializados e, assim, reduzindo os custos da pesquisa.

Nesse contexto, várias pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de se determinar a relação entre a avaliação não destrutiva e as propriedades da madeira. Trabalho de Matos (1997), Souza (2002), Cardoso Júnior (2004), Pádua (2004), Trugilho (2005) e Oliveira (2005) são alguns exemplos da utilização de métodos não destrutivos na avaliação da madeira. Estas pesquisas têm contribuído para o avanço do conhecimento da variabilidade natural da madeira, permitindo a identificação de materiais que possuam madeira mais homogênea e de defeitos internos na madeira, o que auxilia na escolha por formas mais adequadas de sua utilização.

Dessa forma, esse estudo objetivou-se determinar a relação existente entre os métodos

não destrutivos e os métodos destrutivos de avaliação da qualidade da madeira para produção de celulose, visando-se a redução do tempo e custos das análises de laboratório.

EXPERIMENTAL

O material objeto dessa pesquisa foi composto por clones de *Eucalyptus* sp plantados no Estado de Minas Gerais. Foram avaliados seis clones, aos 3 anos de idade, procedentes da empresa CENIBRA, localizada no município de Belo Oriente, Vale do Rio Doce. Foram considerados dois sítios distintos da empresa, sendo um na região Rio Doce-Ipaba(1) e outro na região de Santa Bárbara(2). Foram amostradas 5 árvores-amostra por clone e sítio. Os clones estavam plantados em um espaçamento de 3 x 3,33 Em cada árvore selecionada, por clone, foram retirados toretes na base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 7 cm) para as análises das características destrutivas da madeira, além dos cozimentos em escala de laboratório.

O experimental do projeto foi dividido em partes, conforme apresentado a seguir:

A- Classificação do material em campo

As árvores selecionadas foram aquelas que apresentarem o diâmetro médio \pm um desvio padrão, determinados em uma parcela de 10 x 10 plantas.

B-Avaliação por métodos não destrutivo em campo

As medições foram feitas na árvore em pé a 1,30m de altura, fazendo-se três medidas, sendo uma na parte de cima e outra na parte de baixo da inclinação do terreno (posição de dentro da linha de plantio) e mais uma na posição de entre a linha de plantio.

C- Abate das árvores

As árvores selecionadas foram abatidas e retirados toretes na base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 7 cm) para as análises das características destrutivas da madeira, além dos cozimentos em escala de laboratório.

D- Caracterização química e física da madeira

A caracterização química foi realizada através das serragens produzidas a partir dos cavacos. A densidade básica foi realizada a partir dos cavacos e as análises das fibras a partir do macerado dos mesmos.

E- Polpação Kraft

Para cozimento Kraft as 5 árvores amostras foram misturadas totalizando 12 amostras compostas, com carga de álcali ativo fixa em 18,4%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 1 apresenta os valores médios da densidade básica, dimensões das fibras e índices indicativos de qualidade da celulose por clone e regional. Os valores encontrados estão em conformidade aos relatados na literatura para a madeira de *Eucalyptus*.

Quadro 1 – Valores médios da densidade básica, dimensões das fibras e índices indicativos de qualidade da celulose da madeira dos clones aos 3 anos de idade.

Clone /Local	DBdap	DBm	Comp	Larg	Lume	Espar	IF	CF	FP	IR
1/1	0,455	0,444	1,03	15,53	8,60	3,48	66,41	55,31	44,91	0,82
2/1	0,440	0,429	1,05	16,23	8,79	3,72	64,98	53,99	46,01	0,86
3/1	0,464	0,471	1,08	16,38	8,76	3,81	65,74	53,40	46,60	0,88
4/1	0,439	0,447	1,00	14,79	8,12	3,33	67,83	54,60	45,40	0,84
5/1	0,459	0,451	0,93	15,32	8,38	3,47	61,07	54,45	45,55	0,84
6/1	0,396	0,392	0,88	14,44	8,01	3,22	61,50	55,25	44,75	0,81
Média	0,442	0,439	0,995	15,448	8,443	3,505	64,588	54,500	45,537	0,84
1/2	0,437	0,434	0,89	14,09	7,21	3,44	63,29	51,13	48,87	0,96
2/2	0,429	0,437	0,94	13,99	6,88	3,56	67,08	49,18	50,82	1,04
3/2	0,446	0,456	0,94	14,08	7,44	3,32	67,00	52,90	47,10	0,90
4/2	0,438	0,446	0,95	14,43	7,75	3,34	66,17	53,55	46,45	0,87
5/2	0,427	0,431	0,98	14,28	7,20	3,54	68,95	50,46	49,54	0,98
6/2	0,357	0,355	1,00	15,26	8,67	3,30	65,86	56,80	43,20	0,76
Média	0,422	0,427	0,95	14,36	7,53	3,42	66,39	52,34	47,66	0,92

DBdap e DBm = densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP) e densidade básica média da árvore (g/cm^3), Comp, Larg, Lume e Espar = comprimento (mm), largura (μm), diâmetro do lume (μm) e espessura da parede (μm), IF, CF, FP e IR = índice de feltragem, coeficiente de flexibilidade (%), fração parede (%) e índice de Runkel.

Pelos resultados apresentados no Quadro 1 observa-se que o clone 6, plantado nas duas regionais (Rio Doce-Ipaba e Santa Bárbara), foi o clone que apresentou o menor Índice de Runkel (IR = 0,81, Rio Doce, IR = 0,76, Santa Bárbara),

quanto menor este índice maior o potencial de ligação entre as fibras, resultando em uma maior resistência à tração e ao arrebitamento das folhas. Quando o IR for maior do que 1 implica que a celulose será de má qualidade; já para o IR menor do que 1 indica que a matéria-prima produzirá celulose de boa qualidade. Este clone apresentou também os menores valores de densidade básica da madeira. O clone 3 foi o que apresentou os maiores valores de densidade básica na madeira.

O clone 2, plantado em Santa Bárbara, apresentou o menor valor de coeficiente de flexibilidade (CF = 49,18%), único que obteve IR > 1 e a maior fração parede (FP = 50,82%). Um maior valor de FP corresponde a fibras mais rígidas e menos propensas à ligação entre si. Disso resultam valores mais baixos de resistência à tração, ao rasgo e ao arrebitamento na folha. Quando a FP for maior que 40% implica que a madeira não produzirá celulose com qualidade satisfatória.

O Quadro 2 apresenta os valores médios das características não destrutivas obtidas nas árvores-amostra. Observa-se, pelo Quadro 2, que a velocidade de propagação da onda de tensão foi de maior magnitude no sentido transversal ao tronco para todos os clones e regionais, exceto para o clone 6 na regional do Rio Doce. Observa-se que o clone 6 foi o que apresentou os menores valores de velocidade de propagação da onda de tensão. O que, também, é refletido nas estimativas dos módulos de elasticidade. Menores magnitudes de módulo de elasticidade indicam madeira de menor resistência mecânica e, conseqüentemente, de menor densidade básica.

O clone 1 apresentou a maior deformação residual longitudinal (DRL) na regional do Rio Doce, enquanto que na regional de Santa Bárbara foi o clone 3. Elevados valores de DRL indicam que a madeira apresenta elevado nível de tensões de crescimento. O clone 6, na regional de Santa Bárbara, foi o que apresentou o menor nível de tensões de crescimento na madeira. O clone 1 apresentou os maiores valores médios de deformação residual tangencial (DRT) nas duas regionais avaliadas.

Os clones 3 e 4 apresentaram os maiores valores médios de amplitude (AMP), respectivamente, nas regionais do Rio Doce e Santa Bárbara. O clone 6 apresentou os menores valores de AMP nas duas regionais. Os valores de AMP estão relacionados à densidade da madeira.

Quadro 2 – Valores médios dos ensaios não destrutivos aplicados nas árvores-amostra.

Clone /local	VLONG	VRADD	DRL	DRT	AMP	PYLO	MODL	MOML	MODR	MOMR
1/1	99824	110392	146	26	17,65	13,83	4630	4519	5673	5541
2/1	90730	99820	104	24	13,00	15,45	3692	3601	4486	4376
3/1	92704	96357	110	22	22,61	16,18	4081	4137	4458	4520
4/1	83792	92487	113	11	20,45	17,24	3142	3202	3849	3929
5/1	90938	92584	124	25	18,14	15,34	3878	3809	4021	3952
6/1	83025	79153	120	14	11,93	19,18	2786	2757	2565	2531
Média	90169	95132	120	20	17	16	3702	3671	4175	4142
1/2	91947	112592	107	24	18,99	16,43	3766	3743	5674	5633
2/2	83429	109428	113	11	19,29	17,41	3049	3103	5252	5360
3/2	88433	105078	132	11	20,69	17,14	3559	3644	5035	5153
4/2	89481	109588	103	19	22,85	16,67	3574	3644	5392	5504
5/2	84565	105933	119	21	19,51	16,89	3118	3150	4906	4946
6/2	79779	92537	95	17	8,02	20,22	2329	2317	3146	3124
Média	86272	105859	112	17	18	17	3233	3267	4901	4953

VLONG e VRAD = velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal e radial (cm/s), DRL e DRT = deformação residual longitudinal e tangencial (μm), AMP = amplitude (%), MODL e MODR = módulo de elasticidade dinâmico, sentido radial, usando a densidade básica no DAP, MOML e MOMR = módulo de elasticidade dinâmico, sentido longitudinal, usando a densidade básica média da árvore.

O clone 6 foi o que apresentou os maiores valores de penetração do pino do “pilodyn” (PYLO) nas duas regionais. Os valores de PYLO estão relacionados à densidade da madeira. O clone 1, regional do Rio Doce, foi o que apresentou o menor valor de penetração do pino do “pilodyn”. Estes dados estão de acordo com a literatura.

O Quadro 3 apresenta os valores de características químicas para os clones estudados. Observa-se que o teor médio de celulose dos clones avaliados em Rio Doce-Ipaba foi de 41,66%, sendo o valor máximo de 43,54% e o valor mínimo de 40,31%. Em Santa Bárbara o valor médio de celulose foi de 40,99% sendo o valor máximo de 43,06% e o mínimo de 38,74%. O teor médio de hemiceluloses em Rio Doce-Ipaba foi de 26,39%, sendo o valor máximo de 28,10% e o valor mínimo de 25,05%, enquanto que em Santa Bárbara o valor médio foi de 27,04%, sendo o valor máximo de 27,88% e o valor mínimo de 26,17%. Em geral, madeiras com maior teor de celulose e menor teor de hemiceluloses, deverão resultar em maior rendimento de polpação. A variação dos teores de celulose e de hemiceluloses é importante do ponto de vista de seleção da madeira, sendo desejável obter um balanço ideal de celulose e hemiceluloses para favorecer o rendimento e as propriedades de refino da polpa. Os valores de extrativos em

acetona variaram de 0,80 a 1,34 %, em Rio Doce-Ipaba, e de 0,70 a 1,34 % em Santa Bárbara. Os extrativos prejudicam o processo de polpação, uma vez que consomem o álcali que poderia estar reagindo com a madeira, proporcionando com isso uma maior quantidade de rejeitos. Os clones 2, de Rio Doce-Ipaba, e o clone 6, de Santa Bárbara, apresentaram os maiores valores de teor de extrativo em acetona, comprovando que os extrativos, mesmo presentes em pequena fração na madeira influenciam drasticamente no processo de polpação, uma vez que esses mesmos clones foram os que apresentaram os menores rendimentos depurados, sendo de 50,5 e 50,6 %, respectivamente.

Quadro 3 – Valores médios das características químicas da madeira.

Clone /local	CELU	HEMI	LIGT	EXT	S/G
1/1	42,50	25,05	31,22	1,22	2,78
2/1	41,54	26,14	30,98	1,34	2,77
3/1	43,54	25,12	30,26	1,08	2,78
4/1	40,31	27,48	30,88	1,32	2,60
5/1	40,91	28,10	30,19	0,80	2,66
6/1	41,16	26,43	31,26	1,15	3,12
Média	41,66	26,39	30,80	1,15	2,79
1/2	40,08	26,91	31,83	1,18	2,71
2/2	42,22	27,77	28,81	1,20	3,06
3/2	43,06	26,17	29,48	1,29	2,99
4/2	41,13	26,48	31,68	0,70	2,72
5/2	40,73	27,01	31,38	0,87	2,85
6/2	38,74	27,88	32,18	1,34	2,50
Média	40,99	27,04	30,89	1,10	2,81

CELU= celulose (%), HEMI= hemiceluloses (%), LIGT= lignina total (%), EXT= extrativo em acetona (%), S/G= Relação siringila/guaiacila (mol/mol)

Outro parâmetro importante no que diz respeito à qualidade da madeira para a produção de celulose é a relação siringila/guaiacila que variou de 2,50 a 3,12 nos clones avaliados. Os valores apresentaram influência no rendimento depurado do cozimento. A relação S/G da idéia da dificuldade de remoção da lignina durante o processo de polpação. Pelos resultados encontrados observa-se que o clone 6, em Rio Doce-Ipaba, e o clone 3, em Santa Bárbara, apresentaram os maiores rendimentos depurados e os maiores valores de relação S/G, sendo 3,12 e 3,06 respectivamente.

O Quadro 4 apresenta os valores médios das características de polpação da madeira. Observa-se que o número Kappa variou entre os clones e regionais. O número Kappa está relacionado com o

teor de lignina residual na polpa produzida, ou seja, quanto maior o Kappa maior a quantidade de lignina residual na polpa e mais difícil será o seu branqueamento.

A polpa de maior viscosidade foi a produzida a partir da madeira do clone 2, regional do Rio Doce-Ipava, enquanto que a de menor viscosidade foi com a madeira do clone 3 na mesma regional. O clone 3 apresentou também a menor viscosidade na regional de Santa Bárbara. A viscosidade está relacionada com a degradação da molécula de celulose provocada pelos reagentes de cozimento.

Os clones 6 e 2 apresentaram os maiores rendimentos depurados (RD), respectivamente na regional do Rio Doce-Ipava e Santa Bárbara.

Quadro 4 – Valores médios das características de polpação da madeira.

Clone /local	Álcali Ativo (%)	Kappa	VISC (cP)	RD (%)
1/1		16,5	32,3	51,8
2/1		17,3	44,3	50,5
3/1		16,1	26,0	51,5
4/1	18,4	17,1	33,8	50,7
5/1		17,2	31,6	51,0
6/1		15,5	36,7	52,2
Média		16,6	34,1	51,3
1/2		17,2	35,8	51,9
2/2		15,1	38,2	52,4
3/2		14,6	29,1	51,9
4/2	18,4	16,0	36,4	51,2
5/2		16,4	40,2	51,2
6/2		16,5	40,5	50,6
Média		16,0	36,7	51,5

Kappa = número kappa, VISC = viscosidade da polpa, CRD = rendimento depurado.

O Quadro 5 apresenta as correlações simples obtidas entre as características dos ensaios não destrutivos e as de polpação da madeira dentro das regionais, Rio Doce-Ipava e Santa Bárbara. Observa-se que as correlações foram de maior magnitude dentro da regional de Santa Bárbara.

Para a regional do Rio Doce-Ipava, as correlações de maior magnitude ocorreram entre o número Kappa e a penetração do pino do “pilodyn” (PYLO); viscosidade da polpa (VISC) e a amplitude (AMP) e; o rendimento depurado (RD) e a deformação residual longitudinal (DRL).

Para a regional de Santa Bárbara, as melhores correlações ocorreram entre o número kappa (Kappa) e DRL e deformação residual tangencial (DRT); a VISC e velocidade de

propagação da onda de tensão, sentido longitudinal (VLONG), DRL e com as estimativas de módulo de elasticidade dinâmico, sentido longitudinal, usando densidade básica no DAP e média da árvore (MODL e MOML); o RD e a velocidade de propagação da onda de tensão, sentido radial (VRAD); DRL, DRT, AMP, PYLO, e com as estimativas de módulo de elasticidade, sentido radial e longitudinal.

As velocidades de propagação da onda de tensão, sentido radial e longitudinal, apresentaram correlação positiva com o RD (0,72) e negativa (-0,61) com a VISC, respectivamente, na regional de Santa Bárbara.

A DRL apresentou correlação negativa com o Kappa (-0,65) e VISC (-0,67) e positiva com o RD (0,54), na regional de Santa Bárbara. Na regional do Rio Doce apresentou também correlação positiva e de mesma magnitude com o RD (0,55).

Quadro 5 – Correlações entre as características não destrutivas e de polpação da madeira por regional.

	VLONG	VRAD	DRL	DRT	AMP
Kappa	0,15 (0,11)	0,43 (-0,02)	-0,19 (-0,65)	0,28 (0,94)	0,15 (-0,33)
VISC	-0,27 (-0,61)	-0,08 (-0,31)	-0,30 (-0,67)	-0,61 (0,39)	-0,83 (-0,49)
RD	0,1 (0,41)	-0,23 (0,72)	0,55 (0,54)	0,06 (-0,40)	-0,17 (0,57)
	PYLO	MODL	MOML	MODR	MOMR
Kappa	-0,54 (0,06)	0,23 (-0,06)	0,21 (-0,13)	0,40 (-0,10)	0,39 (-0,17)
VISC	0,11 (0,41)	-0,37 (-0,65)	-0,44 (-0,68)	-0,18 (-0,42)	-0,23 (-0,45)
RD	0,28 (-0,59)	0,00 (0,54)	0,00 (0,55)	-0,19 (0,72)	-0,21 (0,73)

Valores entre parêntesis se referem a regional de Santa Bárbara.

A DRT apresentou uma correlação positiva com o kappa (0,94) na regional de Santa Bárbara.

A AMP apresentou correlação negativa com a VISC (-0,83), na regional do Rio Doce, e positiva com o RD, na regional de Santa Bárbara.

O PYLO apresentou correlação negativa com o Kappa (-0,54), na regional do Rio Doce, e negativa com RD (-0,59), na regional de Santa Bárbara.

As estimativas dos módulos de elasticidade, usando a densidade básica obtida no DAP e a

média da árvore, apresentaram correlação negativa com a viscosidade (VISC) e positiva com o rendimento depurado (RD), na regional de Santa Bárbara.

O Quadro 6 apresenta as correlações gerais entre as características não destrutivas e as de polpação da madeira. Observa-se que a DRT apresentou correlação positiva com o Kappa (0,65), a AMP apresentou correlação negativa com a VISC (-0,58) e as estimativas de módulo de elasticidade, sentido longitudinal (MDL e MML), apresentaram correlação negativa com a VISC (-0,52 e -0,57).

Quadro 6- Correlações gerais entre as características não destrutivas e de polpação da madeira.

	VLONG	VRAD	DRL	DRT	AMP
Kappa	0,25	-0,06	-0,26	0,65	-0,17
VISC	-0,44	0,02	-0,48	0,02	-0,58
RD	0,13	0,23	0,45	-0,26	0,25

	PYLO	MDL	MML	MDR	MMR
Kappa	-0,34	0,22	0,16	-0,04	-0,10
VISC	0,29	-0,52	-0,57	-0,14	-0,16
RD	0,00	0,13	0,16	0,29	0,30

O Quadro 7 apresenta as correlações simples obtidas entre as características dos ensaios não destrutivos e de química da madeira dentro das regionais, Rio Doce-Ipaba e Santa Bárbara.

Observa-se que as correlações foram de maior magnitude dentro da regional de Santa Bárbara. Os valores de celulose apresentaram correlação positiva com a deformação residual longitudinal e com a amplitude. Os valores de hemicelulose apresentaram correlação negativa com a deformação residual longitudinal, pilodyn e amplitude.

Quadro 7. Correlação entre as características não destrutivas e a química da madeira por regional.

	CEL	HEMI	LIG T	S/G
DRL	0,12 (0,83)	-0,20 (-0,48)	-0,29 (-0,71)	0,03 (0,84)
PYLO	-0,38 (-0,56)	0,27 (-0,67)	0,19 (0,22)	0,57 (0,53)
AMP	0,34 (0,73)	-0,05 (-0,71)	-0,64 (-0,38)	0,65 (0,64)

Valores fora e entre parêntesis se referem a regional do Rio Doce e Santa Bárbara, respectivamente.

Já os valores de lignina apresentaram correlação negativa com a deformação residual longitudinal e com a amplitude, com o pilodyn a correlação foi positiva. Já a relação siringila/guaiacila foi correlatada positivamente com a deformação residual longitudinal, pilodyn e amplitude. Os resultados encontrados estão de acordo com Nicholson et al. (1972), que trabalhando com *E. regnans* de 30 anos de idade, observaram que as tensões de crescimento apresentaram correlação negativa com o teor de lignina. Enquanto que Bailleres et al. (1995) encontrou uma correlação positiva entre a relação S/G e tensões de crescimento.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Os clones 6 e 3 apresentaram os menores e maiores valores de densidade básica da madeira, respectivamente.
- Devido à elevada densidade básica e os índices indicativos de qualidade o clone 3 apresenta-se como potencial para a produção de polpa celulósica.
- O clone 6 apresentou o menor Índice de Runkel nas duas regionais.
- O clone 2, plantado na regional de Santa Bárbara, apresentou o menor valor (CF = 49,18%), único que obteve IR > 1 e a maior Fração Parede (FP = 50,82%).
- A velocidade de propagação da onda de tensão e as estimativas de módulo de elasticidade foram de maior magnitude no sentido radial.
- O clone 1, na regional do Rio Doce, e o clone 3, na regional de Santa Bárbara, apresentaram a maior e a menor deformação residual longitudinal (DRL), respectivamente.
- Os clones 3 e 4 apresentaram os maiores valores médios de amplitude (AMP), respectivamente, nas regionais do Rio Doce e Santa Bárbara, e o clone 6 apresentou os menores valores de AMP nas duas regionais.

- O clone 6 foi o que apresentou os maiores valores de penetração do pino do “pilodyn” (PYLO) nas duas regionais, enquanto que o clone 1, na regional do Rio Doce, foi o que apresentou o menor valor de PYLO.
- Os clones que apresentaram maiores teores de extrativos, apresentaram menores rendimentos depurados.
- Os clones que apresentaram os maiores rendimentos depurados obtiveram a maior relação siringila/guaiacila.
- Os clones 2 e 3 apresentaram polpa de maior e menor viscosidade na regional do Rio Doce. O clone 3 apresentou também a menor viscosidade na regional de Santa Bárbara.
- Os clones 6 e 2 apresentaram os maiores rendimentos depurados, respectivamente na regional do Rio Doce e Santa Bárbara.
- A DRL apresentou correlação positiva, porém de baixa magnitude com o RD.
- A DRT apresentou correlação positiva com o Kappa (0,65).
- A AMP apresentou correlação negativa com a VISC (-0,58).
- As estimativas de módulo de elasticidade, sentido longitudinal (MDL e MML), apresentaram correlação negativa com a VISC (-0,52 e -0,57).
- A lignina apresentou uma correlação negativa com a deformação residual longitudinal e com a amplitude e uma correlação positiva com o pylodin
- A relação siringila/guaiacila foi correlatada positivamente com a deformação residual longitudinal, pylodin e amplitude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bailleres, H., Chanson, B., Fournier, M., Tollier, M. and Monties, B. 1995. **Wood structure, chemical composition, and growth strains in Eucalyptus clones.** *Annales des Sciences Forestieres* 52(2): 157-172.
- CARPIM, M.A., BARRICHEL0, L.E.G., SILVA JUNIOR, C.S., DIAS, R.L.V., **A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel.** In: 20^o CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, outubro de 1987, São Paulo, SP, p.183.
- COTTERILL, P., MACRAE, S. **Improving Eucalyptus pulp and paper quality using genetic selection and good organization.** *Tappi*, v.80, n.6, p.82, 1997.
- DEMUNER, B.J. e BERTOLUCCI, F. DE L.G. **Seleção Florestal: Uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da madeira e polpa de eucalipto** In: 26^o CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, novembro de 1993, São Paulo, SP, p.411.
- DINUS, R.J., WELT, T. **Tailoring fiber properties to paper manufacture: Recent development,** *Tappi*, v.82, n.4, p.127, 1997.
- FOELKEL, C.E.B. **Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel.**: IUFRO, Belo Horizonte, MG, 1997, v.1, p1.
- FONSECA, S.M., OLIVEIRA, R.C., SILVEIRA, P.N. **Seleção da Árvore Industrial – procedimentos, riscos, custos e benefícios.** *Revista Árvore*, v.20, n.1, 1996, p.69-85.
- LIMA, J.T. ; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; CRUZ, C.R. **Deformações residuais longitudinais decorretnes de tensões de crescimento em Eucalyptus e suas associações com outras propriedades.** *Revista Árvores*, Viçosa, 2004.
- Nicholson, J., Campbell, G., and Bland, D. 1972. **Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study.** *Wood Science* 5(2): 109-112.
- PÁDUA, F.A.de. **Estimativas de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de Eucalyptus.** Lavras, UFLA, 66 p., 2004. (Dissertação de Mestrado em Engenharia florestal).
- RUDIE, A.W. **Wood and how it relates to paper products.** *Tappi*, v.81, n.5, p.223, 1998.

SILVA JUNIOR, F.G., VALLE, C.F., MUNER, J.C.G. **Programa de qualidade da madeira da Votorantim Celulose e Papel – VCP. O PAPEL**, 1996, p35.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; MENDES, L.M. MORI, F.A.; SOUZA, M.A.M. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Ciência e Ambiente**, Seropédica/RJ, v.9, n.1, p. 38-44, jan./dez., 2002.

WHITEMAN, P.H., CAMERON, J.N., FARRINGTON, A. **breeding trees for improved pulp and paper production – review**. **Appita**, January 1996, v.49, n.1, p.50.