

Mix de madeiras: a busca do melhor desempenho global

MFN -3030

N CHAMADA:

TITULO: Mix de madeiras: a busca do melhor desempenho global

AUTOR(ES) : Gomes, I.M.B.Pereira, A.M.Yodoval, P.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 02.1. Matéria-Prima Fibrosa

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual de Celulose e Papel, 31

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 19-23.10.1998

IMPRENTA: 1998, ABTCP

PAG/VOLUME: p.403-415,

FONTE: Congresso Anual de Celulose e Papel, 31, 1998, São Paulo, p.403-415

AUTOR ENTIDADE: Ripasa S.A. Celulose e Papel

DESCRITOR: eucalipto, densidade básica

RESUMO:

MIX DE MADEIRAS: A BUSCA DO MELHOR DESEMPENHO GLOBAL

Isabel Menezes de Bulhões Gomes

Altair Marcos Pereira

Paulo Yodoval

Ripasa S. A. Celulose e Papel - SP - Brasil

Resumo

A avaliação da qualidade de madeiras, atualmente, é uma prática comum nas indústrias de celulose e papel. Vários estudos têm sido realizados no que diz respeito à qualidade de *Eucalyptus spp.* A fim de compreender qual o melhor uso do mix de madeiras provenientes de plantios comerciais, levando-se em consideração o potencial produtivo florestal, industrial e a qualidade da celulose, analisaram-se as madeiras da Ripasa S. A. Celulose e Papel de forma a abranger a representatividade das florestas da empresa. Pôde-se observar que, de uma forma geral, a principal característica a ser avaliada ainda é a densidade básica das madeiras. A densidade básica apresentou alta correlação com a relação de sólidos gerados para a caldeira de recuperação por tonelada de polpa produzida, com o potencial de produção máxima industrial e com o rendimento depurado. Neste estudo, observou-se que não houve correlação entre densidade básica e teor de lignina, holocelulose e extrativos. A densidade básica ideal para o processo dependerá da capacidade produtiva dos equipamentos instalados (digestor e caldeira). No caso Ripasa observou-se que, devido à limitação de produção pela caldeira, densidades básicas mais baixas favorecem o processo até determinado limite. Densidades básicas muito baixas (menor que 0,400 t/m³) aliviam a caldeira porém geram como gargalo o potencial produtivo do digestor. Concluiu-se deste trabalho que, para o caso Ripasa, a característica mais importante para controle continua sendo a densidade básica da madeira e seu valor ideal situa-se, de uma forma geral, entre 0,470 e 0,490 t/m³, onde ocorre maior retorno global (florestal e industrial).

Palavras-chaves: *Eucalyptus spp*, mix de madeiras, densidade básica, produtividade industrial, produtividade florestal, integração floresta-indústria.

Introdução

Devido ao grande aumento do número e da capacidade produtiva das indústrias de celulose e papel, fazendo com que haja ciclos de super oferta de papel no mercado e uma queda violenta dos preços de celulose e papel, medidas enérgicas têm sido tomadas para a manutenção da competitividade e, consequentemente, da sobrevivência destas fábricas.

Dentre as atitudes necessárias, busca-se a diminuição dos custos de produção e o aumento da produtividade das espécies florestais e da qualidade da celulose e do papel.

Para se conseguir aumentar o rendimento no processo, buscar um ganho máximo florestal e industrial, reduzir impactos ambientais e melhorar a qualidade da polpa celulósica

"Trabalho apresentado no 31º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 19 a 23 de outubro de 1998".

faz-se necessário estudar a qualidade das madeiras utilizadas no processo. Neste trabalho é fundamental a integração entre a área florestal e industrial.

A Ripasa verificou, através de seu processo, que dependendo da origem das madeiras, os resultados no processo variavam bastante. A partir de então, iniciou-se um trabalho voltado para classificação da qualidade das madeiras.

Em 1992, a produção florestal uniformizou o fluxo de chegada de madeira na fábrica, o qual possibilitou um controle maior sobre a qualidade da madeira, visto que para cada caminhão de madeiras foi pré-determinado o horário de chegada à fábrica.

Desde então, este controle é feito de acordo com a densidade básica (Db) das madeiras. Formou-se um mix no pátio de cavacos de forma que houvesse uma maior homogeneização das madeiras utilizadas.

O custo da madeira no processo fabril brasileiro pode significar, de uma forma geral, até 40% do custo da celulose. Este fator é relevante, sendo viável qualquer trabalho que vise melhorar a qualidade das madeiras e consequentemente diminuir custos.

Levando-se em consideração parâmetros de rendimento florestal e industrial, este trabalho teve como objetivo a busca da melhoria da uniformidade da qualidade das madeiras do mix da Ripasa visando maximizar os resultados do processo de produção de celulose para se obter tanto aumento de produtividade industrial quanto redução de custos de produção industrial e florestal. Este estudo busca o melhor desempenho global das madeiras da Ripasa no processo de produção de madeira (florestal) e polpa (industrial).

Revisão bibliográfica

Do ponto de vista tecnológico, qualquer matéria-prima fibrosa é passível de ser utilizada na produção de celulose. Porém, quando analisada sob o aspecto econômico uma série de fatores devem ser levados em consideração: porcentagem de fibras; características anatômicas, morfológicas, físicas e químicas; quantidade disponível em local de fácil acesso; possibilidade de regeneração a prazos curtos ou médios; custos relativamente baixos; existência de mercado para o tipo de celulose a ser produzida; outros (1).

Desde o estabelecimento de atividades florestais no Brasil foram introduzidas técnicas eficientes de melhoramento genético, que permitiram ganhos na produtividade da floresta e na qualidade da madeira, sob o ponto de vista florestal (2).

A indústria nacional tem no *Eucalyptus grandis* sua principal fonte de matéria-prima, por apresentar maior crescimento volumétrico nos primeiros anos, além de produzir celulose de boa qualidade (3).

Dentro de uma única espécie, a densidade básica é uma das mais úteis medidas para se avaliar a qualidade de uma madeira para um determinado fim (4).

A densidade básica é uma propriedade importante, dada suas relações com outras características da madeira, rendimentos de processos, velocidade de impregnação da madeira, refinação da celulose, propriedades das celuloses e papéis, etc. (1).

No que diz respeito à idade da árvore, tem-se observado que a densidade aumenta com a idade até um certo ponto, quando praticamente se estabiliza (1). Com relação ao ritmo de

crescimento, a densidade tem se mostrado inversamente proporcional , ou seja, quanto maior seu incremento médio anual, menor a densidade da madeira (5).

O componente espécie de eucalipto é muito importante nos estudos de qualidade da madeira. Para muitas propriedades, não basta trabalharmos apenas com a densidade, independentemente da espécie, pois madeiras de espécies diferentes com mesma densidade não são tecnologicamente ou anatomicamente semelhantes (6).

A estimativa de herdabilidade da densidade básica da madeira, uma das características de maior importância quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos da produção de celulose, obtida da análise conjunta de três solos foi de 0,928 (7).

A densidade básica da madeira para a indústria de celulose e papel deve ser encarada sob os seguintes aspectos (8):

a) a madeira é usualmente comprada em volume e no processamento é desejável conhecer seu peso seco para o adequado controle das operações industriais;

b) é um importante fator a ser considerado na produção de celulose obtida de uma determinada madeira tanto em termos de rendimento por digestor individual quanto em termos de rendimento por unidade de volume;

c) sua uniformidade dentro de uma dada madeira é desejável para a obtenção de um produto final padronizado;

d) a velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e consequente ritmo de deslignificação são influenciados pela densidade, sendo de se esperar que, dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas sejam mais facilmente deslignificadas;

e) entre as folhosas tem se observado uma relação direta entre a densidade da madeira e o tempo de refinação da celulose para se atingir um determinado grau de moagem.

Para uma definição da qualidade da madeira para produção de celulose sugere-se que a densidade básica da mesma seja baixa ou média (entre 0,4 e 0,6 g/cm³) (4).

A densidade básica tem grande influência na produção mássica diária, pois com densidades elevadas, pode-se ter, em um mesmo volume, maior produção de celulose (9).

Por outro lado, a utilização de madeiras densas de *Eucalyptus* apresentam potencialidade para a produção de celulose, pois podem ser utilizadas em misturas com outros tipos de polpas, contribuindo para a melhoria de certas propriedades, como volume específico, porosidade e resistência ao rasgo (10).

Quimicamente, as árvores com madeiras mais densas apresentaram uma elevação no teor de lignina e uma diminuição no teor de hemiceluloses, em relação a madeiras de menores densidades, para o eucalipto de mesma espécie. O comprimento médio de fibras e o teor de extractivos na madeira não mostraram-se correlacionados com a densidade básica (2).

Todas as características da madeira diferiram significativamente entre espécies, exceto os teores de holocelulose e lignina. O *Eucalyptus grandis* apresenta menor densidade básica que o *E. saligna*, os quais apresentam menor densidade básica que o *E. urophylla*. As características que exerceram maiores influências sobre a densidade foram as anatômicas (11).

Os teores de extractivos podem ser controlados através do conhecimento da idade em que são formados, com mais intensidade e pelo ritmo de crescimento da árvore (4).

O rendimento de cozimento, da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* de mesma idade, aumenta quando a densidade básica varia de 418 a aproximadamente 470 kg/m³, mas decresce continuamente deste ponto até densidades de 666 kg/m³, acompanhado de um constante aumento no teor de rejeitos. Apesar disto, uma projeção obtida para o rendimento do digestor demonstrou um crescente aumento da capacidade de produção com o uso de madeiras mais densas (2).

Para o *Eucalyptus grandis* o rendimento mostrou-se altamente correlacionado com a densidade básica, enquanto que para o *Eucalyptus saligna* a melhor correlação ocorreu para o teor de lignina da madeira. Nas duas espécies o teor de holocelulose mostrou-se diretamente correlacionado com o rendimento (12).

No que diz respeito às características de processo, além das variáveis tempo e temperatura de cozimento, a velocidade de aquecimento afeta o rendimento do processo e a quantidade de lignina remanescente na pasta (13).

A madeira do *Eucalyptus urophylla* requer fator H na ordem de 700 a 750 para se converter a celulose kraft, não sendo necessária a adoção de valores maiores de fator H, como é comum na prática industrial (14).

Avaliando-se a qualidade da madeira do ponto de vista florestal e industrial, verifica-se que o *Eucalyptus grandis* e o *E. saligna*, mesmo com baixas densidades básicas, são as melhores espécies para o abastecimento de madeira na indústria de celulose, visto que seus incrementos médios, em m³/ha/ano, foram muito superiores ao das outras espécies, de modo que os elevados volumes de madeira produzida por ha compensam as menores densidades e propiciam os maiores volumes de matéria-seca por ha/ano. Além disso, o *E. grandis* e *E. saligna* são as fontes de madeira mais viáveis, pois apresentaram menores percentagens de casca (15).

Independentemente das espécies/procedências e idades, a densidade média das plantações com rendimentos volumétricos no intervalo de 10 a 20 estereos/ha/ano foi 0,483 g/cm³; para o intervalo de 20 a 30 st/ha/ano, 0,520 g/cm³; de 30 a 40 st/ha/ano, 0,458 g/cm³ e acima de 40 st/ha/ano, 0,448 g/cm³. Nas classes de 10 a 20 e 20 a 30 st/ha/ano, concentram-se 80% das plantações originárias de sementes de Rio Claro; na classe de 30 a 40 st/ha/ano, 66% de Rio Claro e, acima de 40 st/ha/ano, 100% da procedência Coff's Harbour (16).

O consumo de eucalipto por tonelada de celulose branqueada está hoje por volta de 5 a 6,5 estéreos, para densidades de madeira entre 0,4 e 0,6 g/cm³ e rendimento em celulose de 50%. As opções para diminuir o consumo são: aumentar a densidade da madeira ou o rendimento em celulose (4).

O consumo de madeira em metros cúbicos sólidos para a produção de uma tonelada de celulose ou pasta está diretamente relacionado com a densidade básica da madeira e rendimento do processo. Conhecendo-se estes parâmetros é possível se estimar, com relativa precisão, as necessidades de madeira (17).

Pode-se observar que há vantagens e desvantagens de ordem técnica e econômica com relação ao uso de madeiras mais densas para a produção de polpas de celulose e papel. Somente a discussão mais global dos vários aspectos envolvidos poderá, em cada caso específico, determinar a otimização de todos os parâmetros (4).

Material e Métodos

O material utilizado neste trabalho foi uma amostra composta de cavacos picados manualmente em laboratório de cada espécie, parque e classe de produtividade (tabela I) na faixa de 6 a 7 anos de idade.

Tabela I. Material amostrado nos parques florestais.

Parque	Espécie	Nº de talhões amostrados
I	<i>E. grandis</i>	3
II	<i>E. grandis</i>	5
II	<i>E. urophylla</i>	5
III	<i>E. grandis</i>	5
III	<i>E. urophylla</i>	3
III	híbrido	1
IV	<i>E. grandis</i>	3
V	<i>E. grandis</i>	3
VI	<i>E. grandis</i>	6
VI	<i>E. saligna</i>	3
VII	<i>E. grandis</i>	5
VII	<i>E. saligna</i>	5
VII	<i>E. dunnii</i>	4
VIII	<i>E. grandis</i>	3
Total	—	54

Coleta e preparo do material

A amostragem das madeiras foi realizada em campo. Cada tratamento como mostrado na tabela I, foi coletado em 3 amostras distintas/talhão. Foram amostradas 10 árvores por amostra, totalizando 30 árvores/talhão. De cada árvore foram retirados 5 discos: base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial.

Os cavacos foram picados e selecionados manualmente (entre 3 e 5 mm de espessura) no Laboratório de Tecnologia.

Densidade básica (Db)

Foram realizadas 3 repetições para cada amostra. O método utilizado foi do máximo teor de umidade - MTU (FOELKEL et alii, 1971).

Composição química da madeira

Foram analisadas 2 repetições de cada amostra. As análises da madeira foram realizadas pelo Método SQCE/ESALQ/USP (Tabela II).

Cozimentos experimentais - Processo kraft-AQ

As condições adotadas nos cozimentos experimentais foram equivalentes às condições de processo (Álcali ativo = 16% (como Na₂O); Tempo até 170°C = 60 min; Tempo a 170°C = 30 min; Sulfidez = 25%; Temperatura máxima = 170°C; Relação Licor/Madeira = 4,25/1; Atividade do licor = 100%; Antraquinona = 0,035% base madeira seca).

Foram realizadas 2 repetições de cada tratamento. Os cozimentos experimentais foram realizados em microcápsulas em digestor rotativo REGMED.

Análises da celulose

Rendimento depurado (%); N° Kappa - TAPPI T236m-60;

Algoritmo - Foram criados algoritmos em planilha eletrônica a fim de calcular o potencial produtivo de cada madeira (Tabela III).

Resultados

Tabela II. Análises de composição química das madeiras

Parque	espécie	talhão	produt. stcc/ha.ano	Db BDt/m3	ET %	LS %	LI %	H %
I	<i>E. grandis</i>	1	36,5	0,449	3,68	1,56	24,72	70,04
		2	25,6	0,488	5,21	2,20	27,15	65,44
		3	24,8	0,484	4,82	1,01	25,07	69,10
II	<i>E. grandis</i>	1	40,8	0,506	4,04	1,50	24,09	70,37
		2	59,0	0,471	2,97	1,56	25,10	70,36
		3	49,0	0,473	5,52	1,97	24,91	67,60
		4	38,3	0,501	3,56	1,38	25,83	69,24
		5	46,6	0,468	3,99	1,80	25,90	68,31
II	<i>E. urophylla</i>	1	58,5	0,504	6,62	2,66	24,60	66,13
		2	42,7	0,522	5,43	1,30	26,29	66,98
		3	33,4	0,554	6,56	1,45	24,01	67,98
		4	22,4	0,564	5,61	1,27	26,76	66,36
		5	51,8	0,535	6,86	2,36	25,56	65,21
III	<i>E. híbrido</i>	1	55,7	0,536	5,28	1,95	24,05	68,72
III	<i>E. grandis</i>	1	62,6	0,453	6,35	1,79	24,38	67,48
		2	47,3	0,492	4,85	1,54	24,94	68,66
		3	61,5	0,492	5,43	1,90	25,22	67,44
		4	54,7	0,493	4,02	1,81	25,77	68,41
		5	48,8	0,476	4,64	1,77	26,54	67,05
III	<i>E. urophylla</i>	1	45,2	0,536	7,19	1,63	26,14	65,04
		2	50,6	0,512	7,16	1,50	23,77	67,56
		3	43,6	0,538	6,09	1,68	23,92	68,30
IV	<i>E. grandis</i>	1	57,2	0,447	3,87	1,24	24,83	70,05
		2	39,4	0,453	4,59	1,30	24,32	69,80
		3	30,4	0,459	5,08	2,56	25,16	67,20
V	<i>E. grandis</i>	1	81,0	0,423	3,57	1,89	24,23	70,31
		2	29,6	0,478	4,44	0,99	24,10	70,47
		3	56,9	0,452	4,04	0,96	23,21	71,79
VI	<i>E. grandis</i>	1	73,5	0,442	3,72	1,23	24,78	70,28
		2	96,1	0,436	3,80	1,29	24,29	70,62
		3	64,2	0,464	3,48	1,69	24,88	69,96
		4	42,7	0,482	3,68	1,09	26,14	69,09
		5	58,3	0,480	4,74	2,11	24,37	68,78
		6	79,2	0,447	4,19	2,15	24,99	68,66
VI	<i>E. saligna</i>	1	49,4	0,484	3,57	1,34	25,94	69,15
		2	67,0	0,467	4,03	1,82	25,10	69,04
		3	60,6	0,480	3,49	1,80	25,17	69,54
VII	<i>E. saligna</i>	1	49,1	0,512	3,23	1,59	25,84	69,33
		2	59,1	0,500	4,30	1,84	25,34	68,51
		3	93,7	0,455	2,77	1,68	23,69	71,87
		4	69,9	0,467	2,66	1,65	24,25	71,44
		5	46,9	0,492	4,40	1,88	25,36	68,36
VII	<i>E. dunnii</i>	1	43,9	0,531	2,88	2,12	24,25	70,75
		2	54,4	0,547	3,32	2,13	24,34	70,21
		3	57,3	0,525	5,09	1,44	25,32	68,15
		4	45,7	0,535	5,39	2,24	23,84	68,53
VII	<i>E. grandis</i>	1	44,5	0,466	5,20	1,88	24,49	68,43
		2	63,7	0,449	4,95	1,81	25,51	67,72
		3	95,4	0,400	3,60	1,95	25,20	69,25
		4	61,3	0,446	4,27	1,76	24,57	69,40
		5	86,1	0,452	4,61	1,84	25,18	68,37
VIII	<i>E. grandis</i>	1	68,4	0,443	4,79	2,34	26,01	66,86
		2	54,4	0,453	3,78	1,63	25,19	69,40
		3	84,0	0,421	3,66	1,74	25,10	69,50

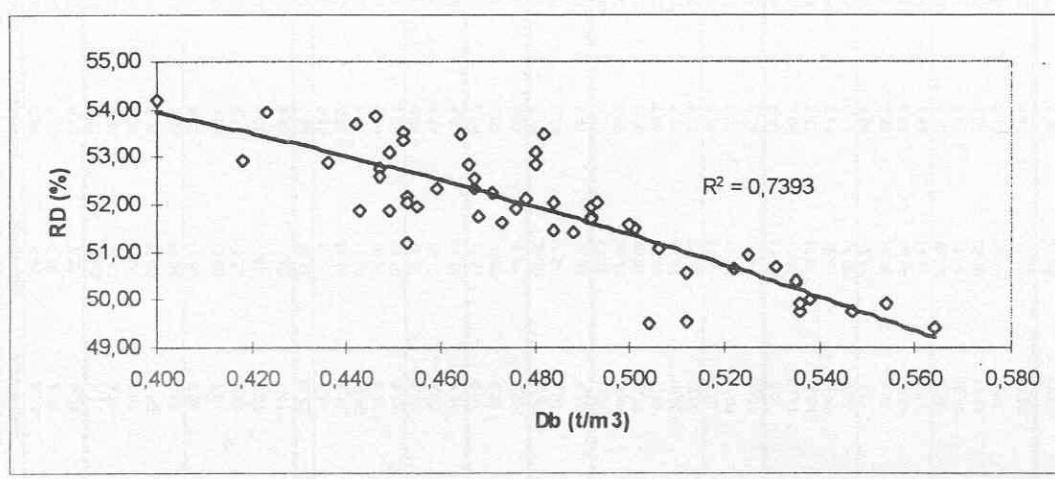
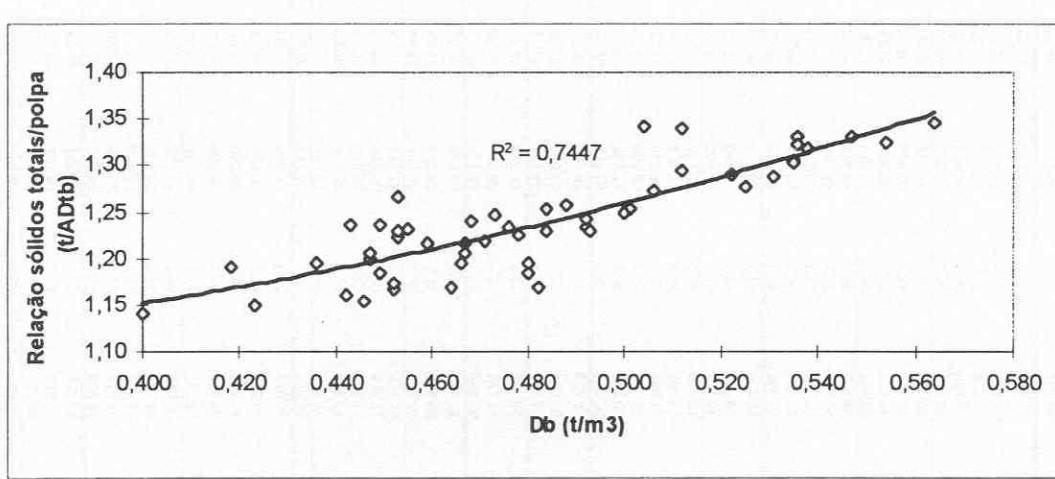
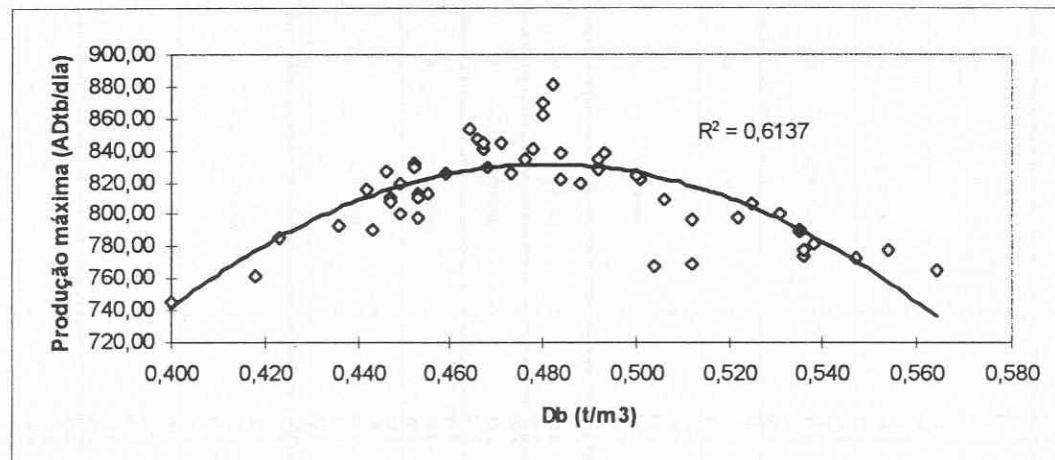


Tabela III. Algoritmo realizado em planilha eletrônica - potencial produtivo de cada madeira, consumos específicos e necessidade de área florestal.

parque	espécie	talhão	IMA	Db	RD	prod(dkg)	sólpol	prod(c/dia)	prod max.	Cons. esp.	Cons. esp.	Prod. esp. med.	Prod. esp. cel.	Floresta (d x c)
			specif.ano	Bdm3	%	t/dia	t/Adt	t/dia	t/dia	m3sc/Adb	m3sc/Adb	BDm3/ano	Adb/ano	ha
I	<i>E. grandis</i>	1	36,5	0,449	51,87	800,96	1,24	833,09	800,96	3,86	5,60	9,95	5,73	53,42
		2	25,6	0,488	51,40	867,64	1,26	819,54	819,54	3,59	5,20	7,58	4,33	72,95
II	<i>E. grandis</i>	3	24,8	0,484	52,04	866,23	1,23	838,04	838,04	3,57	5,18	7,28	4,21	76,52
		4	40,8	0,506	51,06	888,55	1,27	809,65	809,65	3,48	5,05	12,53	7,11	43,820
II	<i>E. grandis</i>	5	59,0	0,471	52,26	846,52	1,22	844,49	844,49	3,66	5,30	16,87	9,79	33,167
		6	49,0	0,473	51,62	839,71	1,25	825,86	825,86	3,69	5,34	14,07	8,07	39,312
III	<i>E. nilotica</i>	1	58,5	0,504	51,76	833,08	1,24	828,90	829,90	3,49	5,06	11,65	6,66	47,453
		2	42,7	0,522	50,66	909,46	1,29	798,59	798,59	3,40	4,93	13,53	7,61	40,338
II	<i>E. urophylla</i>	3	33,4	0,554	49,91	950,92	1,32	777,84	777,84	3,25	4,72	11,23	6,23	48,040
		4	22,4	0,564	49,44	958,97	1,35	765,07	765,07	3,23	4,68	7,57	4,21	69,963
III	<i>E. urophylla</i>	5	51,8	0,535	50,34	926,22	1,30	789,68	789,68	3,34	4,85	16,82	9,41	32,286
		6	55,7	0,536	49,78	917,63	1,33	774,29	774,29	3,37	4,89	18,12	10,02	29,972
III	<i>E. grandis</i>	1	62,6	0,453	51,21	791,81	1,27	814,11	814,11	3,88	5,63	17,21	9,79	31,335
		2	47,3	0,492	51,75	875,64	1,24	829,61	829,61	3,53	5,13	14,12	8,12	39,291
IV	<i>E. grandis</i>	3	61,5	0,492	51,94	878,85	1,23	835,13	835,13	3,52	5,11	18,36	10,60	30,039
		4	54,7	0,493	52,05	882,50	1,23	838,33	838,33	3,51	5,09	16,37	9,47	34,065
V	<i>E. urophylla</i>	1	45,2	0,536	49,93	920,40	1,32	778,39	778,39	3,36	4,88	14,10	8,13	39,461
		2	50,6	0,512	49,57	872,85	1,34	768,58	768,58	3,55	5,14	14,70	8,16	36,702
V	<i>E. grandis</i>	3	43,6	0,538	50,03	925,68	1,32	781,13	781,13	3,34	4,85	14,24	7,91	37,965
		4	57,2	0,447	52,59	808,46	1,21	854,25	808,46	3,83	5,55	15,52	9,07	34,923
VI	<i>E. grandis</i>	3	39,4	0,453	52,18	812,93	1,22	842,14	812,93	3,81	5,52	10,83	6,28	49,786
		5	30,4	0,459	52,34	826,22	1,22	846,85	826,22	3,75	5,43	8,47	4,92	64,525
VII	<i>E. grandis</i>	1	81,0	0,423	53,96	784,98	1,15	805,85	784,98	3,94	5,72	20,9	12,47	24,217
		2	29,6	0,478	52,12	856,80	1,23	840,38	840,38	3,61	5,24	20,79	4,97	64,999
VII	<i>E. grandis</i>	3	56,9	0,452	53,36	829,47	1,17	877,41	829,47	3,73	5,41	15,61	9,25	34,474
		4	73,5	0,442	53,68	815,99	1,16	881,20	815,99	3,79	5,50	19,72	11,76	26,688
VI	<i>E. grandis</i>	3	64,2	0,464	53,47	853,25	1,17	880,76	853,25	3,63	5,26	25,43	14,94	30,854
		5	42,7	0,482	53,47	886,35	1,17	880,76	886,35	3,49	5,06	18,08	10,74	45,649
VI	<i>E. saligna</i>	1	49,4	0,484	51,47	856,74	1,25	821,54	821,54	3,61	5,24	14,51	8,30	38,076
		2	67,0	0,467	52,57	844,31	1,21	823,65	844,31	3,67	5,32	18,99	11,09	29,277
VII	<i>E. saligna</i>	3	60,6	0,480	52,86	872,60	1,19	862,30	862,30	3,55	5,14	17,65	10,37	31,987
		4	49,1	0,512	50,58	880,63	1,29	796,35	796,35	3,48	5,04	15,26	8,57	35,721
VII	<i>E. saligna</i>	2	59,1	0,455	51,56	886,61	1,25	824,13	824,13	3,49	5,06	17,93	10,27	30,852
		3	93,7	0,455	51,97	813,23	1,23	836,00	813,23	3,81	5,52	25,87	14,94	29,935
VII	<i>E. grandis</i>	4	69,9	0,467	52,33	840,46	1,22	846,55	840,46	3,68	5,34	19,81	11,52	28,063
		5	46,9	0,492	51,71	874,96	1,24	828,45	874,96	3,54	5,13	14,07	8,05	39,601
VII	<i>E. dumini</i>	1	43,9	0,531	50,71	926,05	1,29	799,99	799,99	3,34	4,85	14,15	7,97	38,606
		2	54,4	0,547	49,75	935,90	1,33	773,47	773,47	3,31	4,80	18,06	9,98	28,800
VII	<i>E. dumini</i>	3	57,3	0,535	50,96	920,10	1,28	807,02	807,02	3,36	4,88	18,26	10,34	30,026
		4	45,7	0,535	50,39	927,14	1,30	791,06	791,06	3,34	4,84	14,84	8,31	36,623
VII	<i>E. grandis</i>	1	44,5	0,466	52,84	846,83	1,20	861,70	846,83	3,66	5,30	12,59	7,39	44,080
		2	63,7	0,449	53,10	819,95	1,18	869,52	819,95	3,77	5,47	17,36	10,24	30,794
VII	<i>E. grandis</i>	3	95,4	0,400	54,19	745,47	1,14	903,02	745,47	4,15	5,62	23,16	13,94	20,562
		4	61,3	0,446	53,88	826,44	1,15	893,37	826,44	3,75	5,43	16,59	9,93	31,999
VII	<i>E. grandis</i>	5	86,1	0,452	53,51	831,81	1,17	881,99	831,81	3,72	5,40	23,62	14,04	22,783
		6	84,0	0,418	52,94	761,04	1,19	864,70	761,04	4,07	5,90	21,31	12,53	23,352
VII	<i>E. grandis</i>	1	68,4	0,443	51,87	790,26	1,24	833,09	790,26	3,92	5,68	18,39	10,60	28,678
		3	54,4	0,453	52,05	810,90	1,23	838,33	810,90	3,82	5,53	14,96	8,65	36,658

Discussão

Como descrito na metodologia, a avaliação destas madeiras foi realizada em mesma condição de cozimento (padrão da indústria). Este fato é interessante pois uma vez analisado os números kappa, pode-se extrapolar para mistura de madeiras. Na determinação do melhor mix para a Ripasa, a uniformidade do mix ao longo do tempo é fundamental para a estabilidade do número kappa do processo. O número kappa se apresentou na faixa de $15,5 \pm 1$, com exceção de *E. urophylla*, *E. híbrido* e *E. dunnii* que se apresentaram na faixa de 17 ± 1 e *E. grandis* abaixo de $0,420 \text{ t/m}^3$ dos parques V e VII que se apresentaram na faixa de $14,5 \pm 1$.

Como citado na revisão, densidades básicas iguais não tem necessariamente a mesma qualidade, pois pode-se apresentar anatomicamente diferente e consequentemente grau de impregnação e rendimentos depurados diferentes. Porém, provavelmente, devido ao grau de homogeneidade das florestas, foi possível relacionar densidade básica com rendimento depurado, independente da espécie. Sendo a herdabilidade de 0,928 para densidade da madeira (7), tem-se que este parâmetro é chave para o controle do processo.

Devido à grande variabilidade de composição química entre e inter-amostras, não foi possível correlacionar densidade básica com parâmetros de composição química (extrativos totais, lignina solúvel, lignina insolúvel, lignina total e holocelulose).

A avaliação da potencialidade de madeiras, muitas vezes, baseou-se em potencial produtivo no digestor. Neste trabalho buscou-se também a correlação com teor de sólidos totais gerados para a caldeira de recuperação.

Pode-se observar, portanto, que a produção de celulose, de acordo com a densidade básica, pode ser limitada pela capacidade instalada do digestor ou da caldeira. De acordo com os resultados, verificou-se boa correlação entre densidade básica e produção máxima (produção limitante entre potencial produtivo do digestor e da caldeira). A faixa de densidade básica ideal para atingir máxima produção diária, de uma forma geral, encontra-se entre $0,47$ e $0,49 \text{ t/m}^3$ (gráfico 1).

Analizando-se os dados considerando apenas limitação em caldeira verifica-se que menores densidades básicas são ideais para o processo, pois de acordo com o gráfico 2, quanto menor a densidade da madeira, menor a relação sólido/polpa. Este fato ocorre devido a menor necessidade de álcali ativo (sólidos inorgânicos; kg de polpa/álcali ativo) para um mesmo número kappa e ao maior rendimento do processo (menor relação sólidos orgânicos/tonelada de polpa produzida - gráfico 3). Porém, densidades básicas muito baixas (menor que $0,400 \text{ t/m}^3$) aliviam a caldeira mas geram como gargalo o potencial produtivo do digestor.

Com relação à área florestal, observou-se que a produtividade (IMA) apresenta boa correlação com a densidade básica quando se analisa mesma espécie para todos os parques, ou seja, à medida que se aumenta a produtividade em campo reduz-se a densidade básica da madeira. Entretanto, verificou-se neste trabalho que esta análise não é válida para espécies diferentes.

Dentro de uma análise global, observou-se que a densidade básica média a baixa é mais vantajosa para o processo, mesmo perdendo em consumo específico de madeira (stsc/ADtb). Na

somatória a menor densidade apresenta custo similar ou levemente superior à densidade alta, porém apresenta uma produção específica de celulose (ADtb/ha.ano) significativamente superior à densidade alta (Tabela III). Esta análise pode ser realizada através do fator de desempenho global (custo da madeira (R\$/ADtb) / produção específica de celulose (ADtb/ha.ano)). Mesmo com densidades baixas, o *E. grandis* e *E. saligna* apresentam uma produção de polpa por ha.ano bem superior a densidades altas e ainda apresentaram maiores percentagens de casca (15).

Quando se analisa os parques florestais e as espécies, verifica-se que em todos os parques há madeiras potenciais e não potenciais, porém de uma maneira geral pode-se dizer que os parques VI e VII são os melhores do ponto de vista industrial (rendimento depurado e ADtb/dia) e também florestal (ADtb/ha.ano), para as condições atuais da empresa.

As vantagens e desvantagens de se trabalhar com densidades mais baixas e mais altas aliadas às condições fabris associada ao rendimento depurado (potencial produtivo) ainda é o parâmetro de maior relevância. A tabela IV estabelece uma relação das vantagens de densidades baixas (0,400 - 0,480) e densidades altas (0,480 - 0,560), baseado em dados de literatura e de processo.

Tabela IV. Vantagens de densidades básicas baixas e altas para a indústria de celulose e papel.

<i>Db baixa</i>	<i>Db alta</i>
<ul style="list-style-type: none"> . menor custo da madeira/transporte (menor peso no caminhão) . maior IMA (stcc/ha.ano), de uma forma geral (considerando mesma espécie e mesma idade)* . maior produção de polpa por ha.ano* . menor custo de exploração . menor relação sólido/polpa* <ul style="list-style-type: none"> - maior rendimento (%) - menor consumo de álcali/ADtb . maior teor energético do licor preto (retira mais lignina e menos celulose) . menor consumo de madeira de energia . menor número kappa* <ul style="list-style-type: none"> - maior facilidade de impregnação/difusão - cozimento mais seletivo . menor tamanho de cavacos (em processo industrial) . menor consumo de facas no picador . menor energia de refino . maior tração/flexibilidade . menor teor de casca 	<ul style="list-style-type: none"> . menor número de cozimentos . menor consumo específico de madeira (stcc/ADtb)* <ul style="list-style-type: none"> - menor custo de transporte (necessidade de menos caminhões/dia) - maior capacidade de armazenamento no pátio de madeiras . maior índice de rasgo . maior porosidade . maior volume específico (cm³/g) . menor custo (R\$/ADtb), para um mesmo custo de produção (R\$/stsc) . maior espessura de parede

* Foi comprovado neste trabalho

A mistura de madeiras densas é benéfica para o aumento de certas propriedades como bulk, porosidade e índice de rasgo (10). Para classificação de um mix adequado à indústria, faz-se necessário que se tenha uma percentagem de madeiras densas. Não existe a madeira ideal e sim o mix de madeiras ideal, devido à necessidade do mix de fibras para a fábrica e à grande

variabilidade de qualidade das áreas florestais. Porém é fundamental que se busque através do melhoramento genético madeiras densas com rendimentos depurados e produtividade florestal mais próximos das madeiras de baixa densidade.

Com a ordenação de um mix representativo das florestas da Ripasa, o mais uniforme possível ao longo do tempo, estima-se um ganho médio de 1,5 a 2% em produtividade industrial, considerando redução da relação sólido/polpa de aproximadamente 0,02. De acordo com a variabilidade dos sítios florestais e à necessidade de um mix de fibras para maximizar propriedades da polpa celulósica, considera-se que a amplitude máxima ideal de trabalho situa-se entre 0,45 e 0,53 t/m³, porém buscando-se materiais genéticos com maior rendimento possível florestal e industrial.

À medida que se modificam os materiais genéticos implantados na empresa através de seu melhoramento florestal, faz-se necessário novas avaliações de qualidade de madeiras. É na avaliação de clones potenciais, para cada situação específica, que é possível se obter maiores ganhos.

A faixa ideal de densidade da madeira para fábricas novas vai depender da tecnologia a ser instalada na indústria. Para uma fábrica que irá instalar um digestor contínuo, faz-se necessário levar em consideração o custo da caldeira (US\$/t de queima/dia) e do digestor (US\$/m³) a serem instalados para avaliar a faixa de densidade básica ideal para o processo. Faz-se necessário também que se tenha o potencial produtivo das madeiras disponíveis para consumo no processo.

Conclusão

Devido à correlação encontrada entre densidade básica da madeira e relação sólido/polpa (sólidos totais gerados para a caldeira de recuperação por tonelada de polpa produzida), conclui-se que a madeira pode limitar a capacidade produtiva de uma indústria de celulose basicamente em dois pontos: caldeira e digestor.

Sabendo-se que a densidade básica apresenta alta correlação com qualidade de madeira e processo, pergunta-se: qual a faixa de Db ideal para o processo? Deve-se trabalhar com densidades mais altas ou mais baixas? Esta resposta dependerá de cada situação. Para empresas instaladas, a densidade ideal se encontra no equilíbrio entre capacidade produtiva de caldeira e digestor. Para empresas em fase de projeto, dependerá da tecnologia dos equipamentos a serem instalados, dos custos dos equipamentos e da qualidade das florestas a serem utilizadas.

Para o caso Ripasa, a faixa de densidade básica que permite máxima produção diária no processo encontra-se entre 0,47 e 0,49 BDt/m³. Porém, devido à necessidade de um mix de qualidade de fibras, faz-se necessário madeiras mais densas no mix para aumentar certas propriedades do papel como volume específico, porosidade e índice de rasgo. Acredita-se que a amplitude de 0,45 a 0,53 t/m³ seja a ideal, entretanto buscando materiais genéticos de maior densidade com rendimentos depurados e produtividade florestal próximos às madeiras de menor densidade.

Agradecimentos

Aos técnicos da Ripasa Paulo S. Vendemiatti e João Roberto Vicenti. A todas as pessoas da empresa que, de uma forma ou de outra, estiveram envolvidas neste trabalho.

Referências bibliográficas

1. BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. IPEF, circular técnica n.68, set., 1979.
2. DE VASCONCELLOS DIAS, R. L.; CLAUDIO-DA-SILVA, E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas, e propriedades de polpação e do papel. XVIII Congresso Anual da ABCP São Paulo, 1985. *Anais*.
3. TEIXEIRA, M. L. Avaliação da qualidade da celulose de diferentes procedências de *E. grandis*. *O Papel*. Ago., 1992
4. FOELKEL, C. E. B. ; SANI, A. Presente, passado e perspectivas futuras na utilização de eucalipto pela indústria de celulose no Brasil. IX Congresso Anual de Celulose e Papel da ABCP, São Paulo, 1976. *Anais*. p. 141-155.
5. MIGLIORINI, A. J. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta. Piracicaba, SP. 1986. 89p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ / USP.
6. FOELKEL, C. E. B. ; MORA, E.; MENOCHELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para de eucalipto para produção de celulose. VI Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão, SP. 1990. *Anais*.
7. DEMUNER, B.J.; 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. XXVI Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 1993. *Anais*.
8. FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, v.2/3, p.65-74. Piracicaba, SP. 1971.
9. MEZZOMO, L. X.; MARTINS, M. A.; FOELKEL, C. E. B.; SACON, V. Potencialidade de quatro espécies de *Eucalyptus* cultivados na Bahia, para produção de celulose solúvel branqueada. *O Papel*. São Paulo, SP. Nov., 1997.
10. MIRANDA, C.; BARRICHELO, L. E. G. Celulose de madeira de *E. citriodora*: influência do tamanho de cavacos. 23º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. São Paulo, 1990.
11. SHIMOVAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus*. 24º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. São Paulo. 1991
12. MANFREDI, V. Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, SP. 1985. 94p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ / USP.

13. BUGAJER, S. Cinética das reações do Processo de Polpação Sulfato de Eucalipto. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, SP. 1984. 90 p.
14. BUSNARDO, C. A. Estudos sobre deslignificação da madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, pelo processo kraft para produção de celulose. Viçosa, 1981. 194p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, MG.
15. GONZAGA, J. V. Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de *Eucalyptus*. Viçosa, 1983. 119p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
16. FERREIRA, C. A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucalipto, na região de Mogi-Guaçú (SP). IPEF, v.18, p.106-117. Piracicaba, SP. Jun.1979.
17. BARRICHELO, L. E. G. ; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal - PRODEPEF. Brasília, 1976.
18. FONSECA, S.M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial: (Procedimentos, riscos, custos e benefícios). Revista Árvore. v.20, n.1. Separata. Viçosa, MG. Março, 1996.
19. SILVA JR, F.G. Influência dos cavacos de *E. dunnii* sobre o processo de produção de celulose kraft de *Eucalyptus grandis*. O Papel. 1994.
20. STAPE, J.L.; GARCIA, P.V. ; MARTINI, E.L. Uniformização horária do volume e da composição qualitativa da madeira de *Eucalyptus* spp posto fábrica. VII Congresso Florestal Brasileiro. Anais. Curitiba, PR. 1993.
21. WEHR, T. R. ; BARRICHELO, L. E. G. Cozimentos kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. O Papel. maio, 1983.