



14 a 17 de Outubro 2002 - São Paulo - Brasil
October 14-17, 2002

Variação da densidade a granel de cavacos de Eucalyptus saligna em função das suas dimensões e da umidade

Variations in the bulk density of eucalyptus saligna wood chips in relation to their dimensions and moisture content

Marcia C. H. de Souza
Eduardo R. dos Reis
Kênia P. Serafim
Cristiane Pedrazzi
Sonia M. B. Frizzo
(**Universidade Federal de Santa Maria**)

Patrícia de Oliveira
(**Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Klabin Celulose S/A**)

Celso E. B. Foelkel
(**Grau Celsius Ltda.**)

VARIAÇÃO DA DENSIDADE A GRANEL DE CAVACOS DE *Eucalyptus saligna* EM FUNÇÃO DAS SUAS DIMENSÕES E DA UMIDADE

Autores:

Marcia C. H. de Souza¹, Eduardo R. dos Reis², Kênia P. Serafim², Cristiane Pedrazzi³, Patrícia de Oliveira⁴, Celso E. B. Foelkel⁵, Sonia M. B. Frizzo⁶.

¹Acadêmica de Química Industrial, CCNE, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

²Acadêmico de Eng. Florestal, CCR, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

³Mestranda de Eng. Florestal, CCR, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

⁴Mestranda de Química, UFRGS, 92500-000, Klabin Celulose S.A, Guaíba, RS, Brasil

⁵Eng. Agrônomo, Dr., Grau Celsius Ltda, 91330-520, Porto Alegre, RS, Brasil

⁶Eng. Florestal, MS, Prof. Adjunto. Dep. Química, CCNE, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

O setor de papel e celulose no Brasil é um dos mais atuantes segmentos industriais de base florestal. A principal característica do setor é a total sintonia com as tendências mundiais, com a escala de produção, equipamentos de última geração, produtos "world class" e permanente atualização tecnológica e controle ambiental. O uso da madeira de eucalipto como matéria-prima produtora de celulose de fibra curta é uma evidência inquestionável e se reveste de uma grande importância estratégica para o Brasil e para esse setor industrial.

A densidade da madeira é um fator importante para a indústria de celulose e papel por sua relação com o processamento industrial e com a qualidade dos produtos finais. Ela apresenta diferenças entre espécies de madeiras, diferentes árvores de uma mesma espécie e diferentes posições de uma mesma árvore. A densidade básica é uma das variáveis da madeira que mostra maior correlação com a quantidade de celulose produzida pelos digestores no processamento industrial. O consumo de madeira em metros cúbicos para produção de uma tonelada de celulose está diretamente relacionado com a densidade básica da madeira e rendimento do processo; conhecendo-se estes parâmetros é possível estimar, com relativa precisão, as necessidades de madeira de uma operação industrial que produza celulose.

A qualidade dos cavacos utilizados para a polpação são determinantes na operação de cozimento e na qualidade final dos produtos celulósicos. Uma das qualidades dos cavacos é sua densidade a granel, às vezes conhecida também como grau de compactação. Muitas vezes, torna-se necessário saber que variáveis afetarão a qualidade dos cavacos e o efeito que elas terão na operação de cozimento e na qualidade da celulose resultante. O aumento da densidade básica da madeira é acompanhado por uma maior dificuldade de picagem das toras, ocasionando o maior desgaste das facas do picador, além de maior proporção de cavacos de maiores dimensões (lascas e sobre-espessos), dificultando a impregnação destes e levando a uma menor produção de polpa depurada, com um maior teor de rejeitos na polpação. Atualmente, é comum selecionar-se madeiras de *Eucalyptus* que apresentem uma densidade básica por volta de 450 kg/m³, com limites entre 400 e 550 kg/m³. A partir desse valor limite superior, o teor de rejeitos e o consumo de álcali ativo aumentam muito. Madeiras com baixa densidade, por outro lado, levam à redução de rendimento de polpa base volume de digestor, podendo até mesmo resultar em perda de produtividade industrial.

Durante muito tempo, o comprimento dos cavacos foi considerado a dimensão mais importante na produção de celulose, isso porque o picador tem seu corte ajustado para essa dimensão. Porém, mais recentemente foi constatado, e é universalmente aceito, que a espessura é responsável pela maior homogeneidade da polpa, quando o processo de deslignificação for o kraft.

Este presente estudo teve por objetivo avaliar as propriedades dos cavacos de madeira de *Eucalyptus saligna* destinados à produção de celulose para papel, visando a obtenção de uma melhor qualidade na preparação dos cavacos e em melhor produtividade na sua utilização industrial. O material constou de cavacos de madeiras de árvores da espécie *Eucalyptus saligna*, com aproximadamente 10 anos de idade, provenientes do Horto Florestal Colorado, da empresa Klabin Celulose S.A, povoamento localizado no estado do Rio Grande do Sul. As amostras de madeiras foram transformadas em cavacos em picador industrial da unidade fabril da Klabin Celulose em Guaíba/RS. Foram obtidas doze (12) amostras de cavacos secos ao ar, em diferentes frações e outras doze (12) armazenadas, como reserva, em sala climatizada. As amostras tiveram as lascas

removidas, e foram a seguir classificadas de acordo com metodologia TAPPI, nas seguintes frações: cavacos sobre-espessos (espessura maior que 8mm), cavacos normais (espessura entre 2 e 8mm), palitos ou mini-cavacos isentos de serragem (espessura menor que 2mm) e serragem isenta de pó de madeira (peneira com orifícios com diâmetro de 5 mm de abertura). Nessas amostras procedeu-se à determinação da consistência e da densidade a granel (grau de compactação) dessas frações individuais. Foram ainda realizados os seguintes ensaios: densidade a granel padrão em um recipiente de 10 litros e depois com cinco batidas padronizadas (para melhor acomodamento dos cavacos); posteriormente foram realizados testes com pressão aplicada sobre os cavacos (0,35 kgf/cm²) para simular o efeito da pressão de uma pilha ou coluna de cavacos; análise granulométrica; saturação em água e consistência dos cavacos até seco absoluto e a densidade básica das 4 frações de cavacos estudadas.

O estudo foi desenvolvido em 3 etapas a seguir descritas:

1ª etapa - efetuou-se a determinação da densidade básica (com 3 repetições para cada uma das frações de cavacos), além da densidade a granel de cada fração individualizada por tipo de cavaco.

2ª etapa - os testes de densidade a granel (grau de compactação) seguiram a metodologia (Klabin Celulose, 2000), a seguir testou-se a influência de 5 batidas no recipiente e finalmente procedeu-se aos testes de pressão de 0,35kgf/cm² sobre as amostras de cavacos. Nessa etapa foram misturadas quantitativamente as diversas frações de materiais, buscando interpretar o efeito de cada tipo de fração sobre a densidade a granel da mistura, compondo-se assim os 48 tratamentos ensaiados, analisados como um fatorial completo com 48 tratamentos e cinco repetições.

3ª etapa - as amostras constituídas de cavacos normais foram completamente saturadas em água e posteriormente procedeu-se à determinação da consistência (TAPPI 210 cm-93). A seguir, os cavacos foram colocados a secar ao ar e a cada dia determinava-se a densidade a granel (grau de compactação) e a nova consistência dos mesmos. Após o equilíbrio da umidade com o ar, os cavacos foram secos em estufa e também efetuou-se a medição da densidade a granel (grau de compactação). Nesta etapa foram realizados tratamentos com 8 repetições.

O Quadro 1 a seguir representa a média da densidade básica das diferentes frações de cavacos utilizadas nos testes:

Quadro 1: Densidade básica e densidade a granel das diferentes frações de cavacos

Tipo de Cavacos	Densidade Básica Madeira	Densidade a granel (odt /m ³)		
		Padrão	5 Batidas	0,35kgf/cm ²
Sobre-espessos	0,500 g/cm ³	0,168	0,172	0,190
Normais	0,477 g/cm ³	0,158	0,165	0,183
Palitos / mini-cavacos	0,459 g/cm ³	0,118	0,128	0,155
Serragem	0,403 g/cm ³	0,104	0,118	0,153

No Quadro 2 a seguir estão apresentadas algumas composições otimizadas de cavacos com relação à densidade a granel:

Quadro 2: Composições otimizadas de cavacos para maiores densidades a granel e efeito da forma de pressão e acomodação dos cavacos

ALGUMAS COMPOSIÇÕES OTIMIZADAS	Densidade a granel (odt /m ³)		
	Padrão	5 Batidas	0,35kgf/cm ²
0% Serragem, 5% Palitos, 5% Sobre-espessos e 90% Normais	0,158	0,165	0,183
2% Serragem, 5% Palitos, 5% Sobre-espessos e 88% Normais	0,158	0,165	0,183
2% Serragem, 5% Palitos, 10% Sobre-espessos e 83 % Normais	0,161	0,168	0,185
4% Serragem, 10% Palitos, 10% Sobre-espessos e 76% Normais	0,161	0,171	0,193

A composição otimizada para cavacos industriais era a que mostrava a melhor densidade a granel e isso era conseguido com as maiores dosagens testadas de serragem (4%) e dosagens otimizadas de cavacos sobre-espessos (10%) e de palitos (10%). Os cavacos sobre-espessos tinham maior densidade básica de madeira e a serragem e os palitos se acomodavam nos vazios entre os demais cavacos maiores, colaborando ambos para o aumento da densidade a granel. Quando se testava o efeito das batidas e pressão sobre os cavacos, notou-se que o maior valor para densidade a granel foi com a pressão de 0,35kgf/cm².

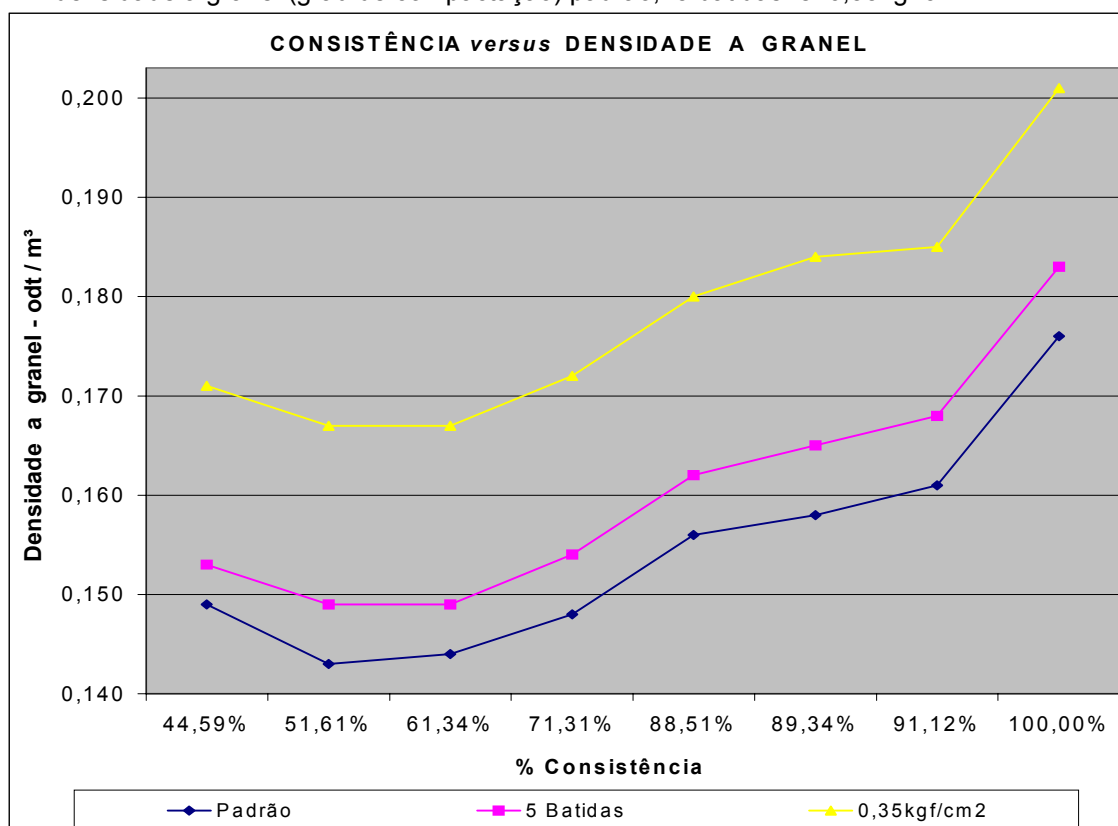
Com os resultados obtidos, observa-se que ao variar as composições de cavacos quanto às frações de serragem, palitos, sobre-espessos e cavacos normais, ocorre uma variação da densidade a granel da mistura, alcançando-se um valor otimizado para a mistura de 4% de serragem, 10% de palitos, 10 % de sobre-espessos e 76% de cavacos normais, as quais estavam dentro dos limites das proporções utilizadas nos ensaios. Foram avaliadas na forma de um fatorial completo com 5 repetições as seguintes proporções de serragem (0% , 2% e 4%) e de palitos e de sobre-espessos

(0%, 5%, 10% e 15%). Constatou-se que no caso de serragem e de sobre-espessos, o aumento da proporção nessas faixas de variação estudadas ocasionava aumento da densidade a granel.

Em todos os casos, os testes com cinco batidas, ainda que reduzidas em sua intensidade, e a pressão aplicada sobre os cavacos, provocaram um aumento na densidade a granel. Em média, as cinco batidas provocaram aumento de 4,4% na densidade a granel e a pressão de 0,35kgf/cm² conduzia a um aumento de 16,35%. Isso significa que se pode ganhar na alimentação de cavacos aos digestores quando se promover uma ação de pressão ou de melhor acomodação dos mesmos.

A Figura 1 a seguir ilustra a influência da consistência dos cavacos normais sobre a densidade a granel padrão, com 5 batidas e com 0,35kgf/cm².

Figura 1 – Influência da consistência dos cavacos normais (entre 2 e 8 mm de espessura) sobre a densidade a granel (grau de compactação) padrão, 5 batidas e 0,35kgf/cm².



As alterações observadas em função do teor de umidade dos cavacos mostram que há efeito importante da umidade dos cavacos sobre a densidade a granel. Essa densidade diminui com o aumento da umidade em função da expansão da madeira quando úmida. Em consistências entre 88 e 92% notou-se um patamar mais alto na densidade a granel, sendo que a aumento foi a seguir muito significativo para a madeira quando completamente seca, pela sua contração. Isso é um importante fator a ser levado em conta quando as empresas mudam sua estratégia de corte e transporte de madeira e passam a usar madeira verde por facilidades de impregnação de licor, ou mais seca para economizar no transporte das toras. Observa-se também a redução da densidade a granel para consistências abaixo de 70%, ou seja, para umidade acima de 30%, quando a madeira passa a atingir seu ponto de saturação de fibras com água e de máxima expansão volumétrica.

Face ao observado nesse trabalho, evidencia-se o fato de que é essencial para a manutenção e otimização da densidade a granel dos cavacos de eucalipto que alimentam um digestor para produção de celulose, que haja um controle efetivo da umidade e da constituição granulométrica das diferentes frações dos cavacos que compõem a mistura de cavacos industriais. Frente à influência dos teores de serragem, cavacos sobre espessos e palitos é essencial que esse controle seja eficiente e baseado em claros objetivos operacionais. Além disso, as variações sazonais ou intencionais na umidade dos cavacos trazem conseqüências nem sempre notadas pelo operador na densidade a granel dos mesmos.

Palavras-chave: cavacos , *Eucalyptus saligna*, densidade a granel, grau de compactação, densidade básica, pátio de madeira.

VARIATIONS IN THE BULK DENSITY OF *Eucalyptus saligna* WOOD CHIPS IN RELATION TO THEIR DIMENSIONS AND MOISTURE CONTENT

Authors:

Marcia C. H. de Souza¹, Eduardo R. dos Reis², Kenia P. Serafim², Cristiane Pedrazzi³, Patricia de Oliveira⁴, Celso E. B. Foelkel⁵, Sonia M. B. Frizzo⁶.

¹Student of Industrial Chemistry, CCNE, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS , Brazil

²Student of Forest Engineering, CCR , UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil

³Graduate student in Forest Engineering, CCR, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil

⁴Graduate student in Chemistry, UFRGS, 92500-000 , Klabin Celulose S.A, Guaiba, RS , Brazil

⁵Agronomist, Dr. , Celsius Degree, 91330-520, Porto Alegre, RS , Brazil

⁶Forest engineer, MS, Professor. Dept. Chemistry, CCNE, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS , Brazil

The Brazilian pulp and paper segment is one of the most dynamic in the forest based industry. The main reasons for the competitiveness of this sector is the complete integration with state-of-the-art technological and managerial trends, scale of production, updated machinery, world-class products and continuous improvements in the operations and in the environment. The utilization of eucalyptus trees as source of fast growing wood and short fibers to this industry is a strategic key factor to the country.

Wood density is a very important wood characteristic due to its close relation with industrial processes and end product quality. Wood basic density varies among species, among trees of the same species, and within the same tree of a single species. Wood density is one of the most important raw material features, due to its strong correlation with digester productivity, pulp yield and pulp quality. Wood consumption, when expressed as cubic meters of wood per ton of pulp, is strongly correlated to wood density and pulp yield. Based on these two parameters, it is very easy to predict the wood requirements to supply an industrial operation manufacturing pulp.

The quality of wood chips for pulping is also a fundamental issue to the success of this operation and to the quality of the resulting pulp. One of the most frequently parameter to control wood chip quality is the bulk density. Many times, the operator needs to understand and to know the ways the bulk density may be controlled in order to guarantee the chemical charges in the cooking, and to provide uniform pulping. Also, he needs to know the way the wood variables may affect the quality of the chipping operation. Increasing wood density results in more difficult chipping of the logs, and the need of more often replacement of the knives for sharpening. Also, denser the wood more abundant are the over-sized and over-thicked chips. These chips are more difficult to be pulped due to lack of impregnation. The consequences are lower screened pulp yields and increased rejects. Today, it is relatively common to select *Eucalyptus* woods based on wood density close to 450 kg/ m³, in a range from 400 to 550 kg/m³. Above this superior limit, the reject content climbs up and the alkali consumption becomes prohibitive. On the other hand, low density woods are easily cooked, but the consequence may be reduced digester productivity due to lower pulp yield by volume unit of digester. This fact may result in many cases in reduction of the daily production in the mill operation.

For many years, in the past, the chip length was considered to be the most important chip dimension for pulping. The main reason for this fact was the adjusting procedure of the knives to be based on chip length. More recently, it was discovered without any doubt, that the most important chip dimension for kraft pulping is the chip thickness. Thickness has to be controlled to guarantee uniform cooking and uniform pulp quality.

This present study had as objective to evaluate the properties of *Eucalyptus saligna* wood chips, with the aim to optimize chip quality control in order to improve overall pulping performance. The wood used in the study was obtained in a 10 year-old *Eucalyptus saligna* plantation, located in the state of Rio Grande do Sul, and owned by Klabin Celulose S/A. The logs were converted into chips using the Klabin Celulose industrial chipper, in the Guaiba mill. Chip samples were screened for testing and stored in conditioning environment. Over-sized chips (retained on top of a screen with holes of 50 mm diameter) were discarded. The selected chips were again screened in fractions as follows: over-thicked (chips with thickness higher than 8 mm); standard quality chips (thickness from 2 to 8 mm); pin chips (fraction of mini chips with thickness smaller than 2 mm, but free from sawdust); and coarse sawdust (the fraction of small particles which were able to go through a screen with 5 mm holes, but free from wood powder). In these individual chip samples, the following analysis were performed:

consistency, bulk density, wood basic density, impregnation with water, drying and fractioning. The bulk density was determined according to Klabin Celulose standard procedure using a 10 liters stainless steel chip container. Two variations of this standard method were also tested: a) measuring the chip volume to calculate bulk density after 5 gentle strokes in the container; b) measuring chip volume after applying a pressure of 0.35 kgf/cm² on the top of the chip column. The idea with these two variations of the standard method was to promote a better accommodation of the chips in the column (a); and to simulate the average pressure exerted by the chip column (b).

The study was developed in three phases:

1st Phase: determination of the wood basic density and chip bulk densities to the four types of segregated chips (over-thicked, standard, pin chips, coarse sawdust).

2nd Phase: determination of the bulk densities (standard method, 5 strokes and 0.35 kgf/cm² pressure) in 48 different blends among the 4 types of chips. Each blend was considered to be a treatment and for each treatment a total of 5 replications were applied. The objective of this phase was to evaluate the effect of the proportion of each of the 4 different types of chips on the bulk density of the overall blend. The aim was to understand the effect of each component on the bulk density. This allows the operator to better control chipping. The optimum blend could be considered as the one providing the highest as possible bulk density without harming the pulping ability of the blend. Since digesters are fed by volume, more weight per unit of volume is desired, as far the pulping ability of the blend be kept also in good performance.

3rd Phase: standard chips (2 to 8 mm thick) were completely saturated and soaked with water and let to air dry till equilibrium. After, they were oven dried. Along this curve of drying, the chip bulk density was measured using also the 3 procedures already mentioned. The objective was to evaluate the effect of wood moisture and consequent wood expansion/contraction on the bulk density of the chips. For each level of chip consistency, the bulk density was measured with 8 replications.

Table number 1 shows the average wood basic density and the chip bulk density for the 4 different types of segregated chips (over-thicked, standard, pin chips and coarse sawdust).

Table 1:

Type of wood chips	Wood basic density	Chip bulk density (odt /m ³)		
		Standard	5 strokes	0,35 kgf/cm ²
Over-thicked	0,500 g/cm ³	0,168	0,172	0,190
Standard	0,477 g/cm ³	0,158	0,165	0,183
Pin chips	0,459 g/cm ³	0,118	0,128	0,155
Coarse sawdust	0,403 g/cm ³	0,104	0,118	0,153

Table number 2 shows some optimized blends of the 4 types of chips, taken from the total 48 different treatments. The evaluated properties in the blends were the bulk density measured according to the three procedures.

Table 2:

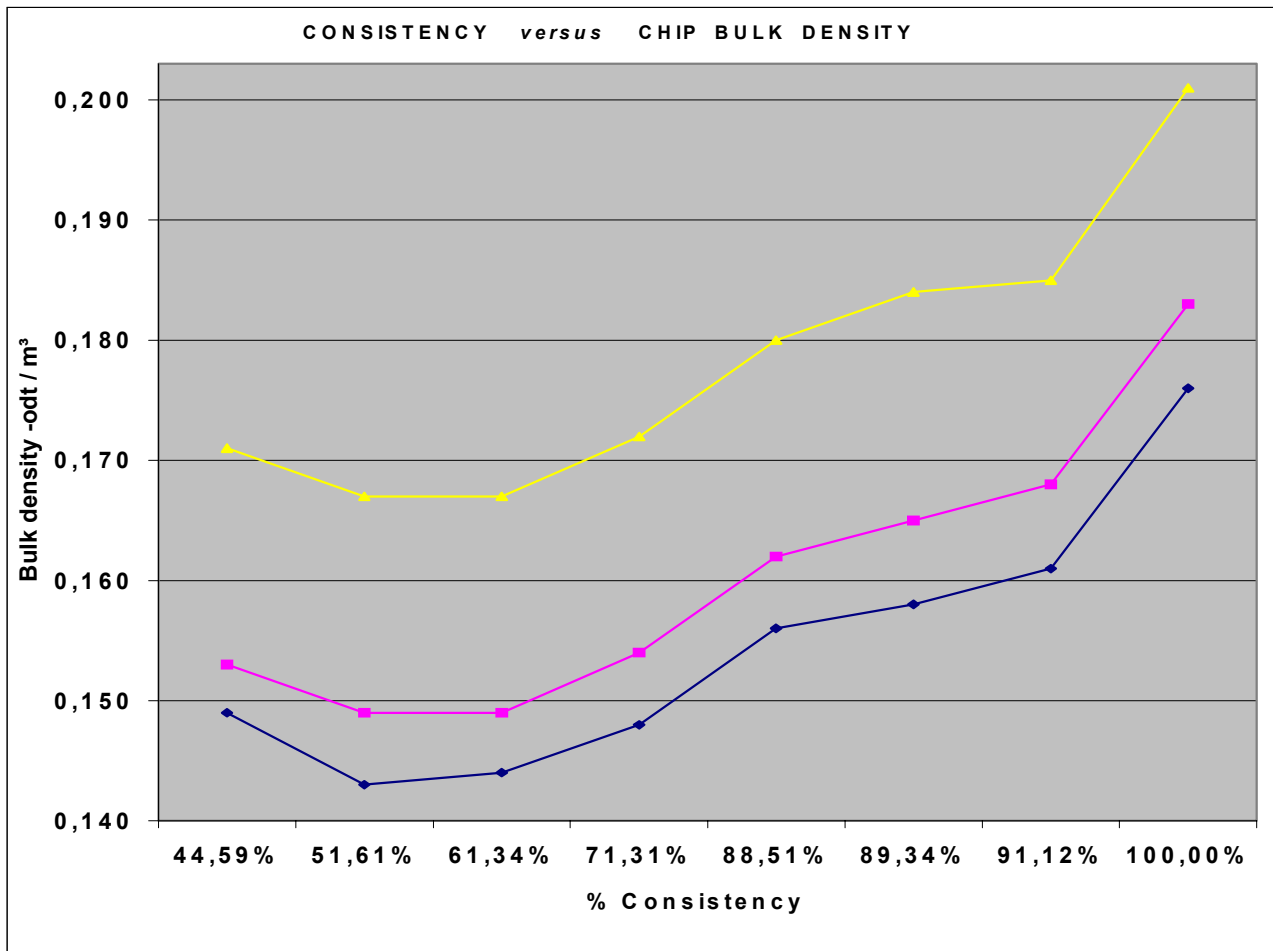
SOME OPTIMIZED BLENDS	Chip bulk density (odt /m ³)		
	Standard	5 strokes	0,35kgf/cm ²
0% Sawdust, 5% Pin chips, 5% Over-thicked and 90% Standard	0,158	0,165	0,183
2% Sawdust, 5% Pin chips, 5% Over-thicked and 88% Standard	0,158	0,165	0,183
2%Sawdust, 5% Pin chips, 10% Over-thicked and 83 % Standard	0,161	0,168	0,185
4% Sawdust, 10% Pin chips 10% Over-thicked and 76% Standard	0,161	0,171	0,193

The optimized composition for the blend was considered the one providing better bulk density. This was reached with 4% coarse sawdust, 10% over-thicked, 10% pin chips, and 76% standard chips. Over-thicked chips had higher wood basic density, and sawdust and pin chips had the ability to fill open gaps among the coarser chips. Both over-thicked , sawdust and pin chips were contributing to the overall increase on the chip blend bulk density. The best results were always reached when a pressure of 0.35 kgf/cm² was applied on top of the chips. Blends of different fractions of chips may significantly affect the resulting chip bulk density. A complete factorial experiment with 5 replications was studied, including the evaluation of the following dosages of sawdust (0% , 2% and 4%), and pin chips and over-thicked (0% , 5%, 10% and 15%). In the overall trends, the increased dosages of sawdust and over-thicked chips , within the studied levels, were able to increase the chip bulk density.

Both, the 5 strokes and the pressure have also effect on the chip bulk density. In average, the 5 strokes raised the chip bulk density in 4.4%, and the pressure of 0.35 kgf/cm² promoted an increase of 16.35%. This means that it is possible to have important gains in digester feeding by better accommodation of chips or by the use of pressure over the chip column.

The Figure number 1 shows the influence of the wood chip consistency on the chip bulk density, measured according to the three procedures already mentioned

Figure 1:



Standard ; 5 strokes ; pressure of 0.35 kgf/cm²

The changes which were promoted by the moisture content of the wood chips on the chip bulk densities have been of significant importance. The bulk density decreases with the increasing in the moisture content of the chips. This is due to the expansion of the wood volume due to swelling. In consistencies in the range 88 – 92% (air dyed chips) the bulk density reaches a relatively flat value, however, when chips are oven-dried, the bulk density raises again very sharply due to wood contraction. This is a key factor to be understood by mill operators, since mills very often change their strategies for harvesting trees and for log transportation. Sometimes they prefer wet wood for better impregnation in the digester; another times, they prefer dry wood to save money in transportation of the logs from the forests. It is important to notice the reduction of bulk density when the wood reaches the fiber saturation point and maximum expansion, that happens for moisture content above 30%.

Due to the facts proved in this paper, it is fundamental to maintain and to optimize the chip bulk density by controlling the chip moisture and the type of fractions which are components in the chip blend. Since the important influence of the proportion of sawdust, pin chips and over-thicked chips, it is fundamental to the operation to clearly define its targets regarding these chips components. Moreover, the seasonal or intentional variations in wood moisture may bring consequences in chip bulk density that are many times neglected by the operators.

Keywords: chips, *Eucalyptus saligna*, bulk density, wood density, basic density, wood yard