

IV Simpósio Internacional

STAB - SUL

Evolução da capacidade de moagem

AUTORES: SIDNEI BRUNELLI
RICARDO BRUNELLI
RODRIGO MACHADO
FEVEREIRO 2019

Índice

- 1. Introdução Histórica.
- 2. A História da moenda em imagens.
- 3. Limitações recentes para altas capacidades.
- 4. Estudo Altura Donnelly x Capacidade de Moagem.
- 5. Resumo teórico.
- 6. Resultados.

Introdução Histórica

Podemos dividir a tecnologia brasileira de moagem de cana em duas épocas, a anterior e a posterior a **1973**. Quando uma nova técnica de extração de caldo de cana por moagem chegou ao Brasil, provocando dúvidas em muitos, enfrentando a oposição de outros, além da falta de colaboração dos principais construtores de equipamentos da época. Foi o início da implantação em nossas usinas das técnicas já utilizadas na Austrália e África do Sul. Estas novas técnicas preconizavam:

- preparo de cana com picador e **desfibrador** (COP).
- alimentação do 1º terno com **Donnelly**.
- instalação do **rolo de pressão** (4º rolo)
- uso de **embebição composta** com colocação de água quente somente no último terno e retorno direto do caldo sem coar (**sem cush-cush**).
- **frisos de 2"** ou menores com **ângulo de 35º** em todos os rolos, sem Chevron ou messchaert
- faces dos frisos com rugosidade artificial (**picotes e chapiscos**) obtida com eletrodos.

Introdução Histórica

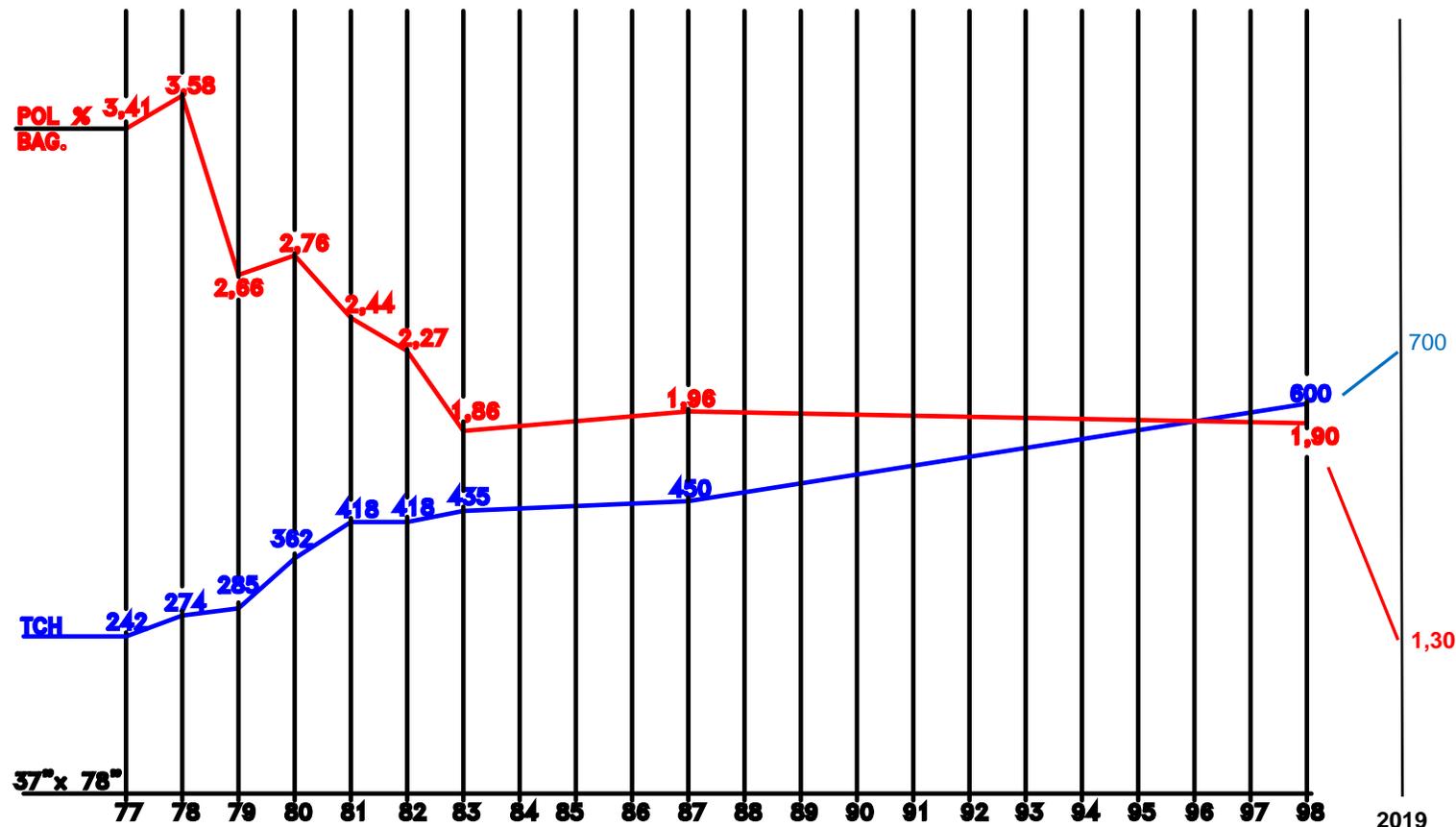
Nesse percurso até nossos dias outros avanços foram sendo incorporadas, como:

- Moagem **sem depósito** de cana.
- Descarga por **tombamento lateral** com Hillo.
- **Mesas** alimentadoras **45°**.
- **Materiais** mais nobres.
- Uso de **Donnelly** em todos os ternos.
- Maior **eficiência na embebição**.

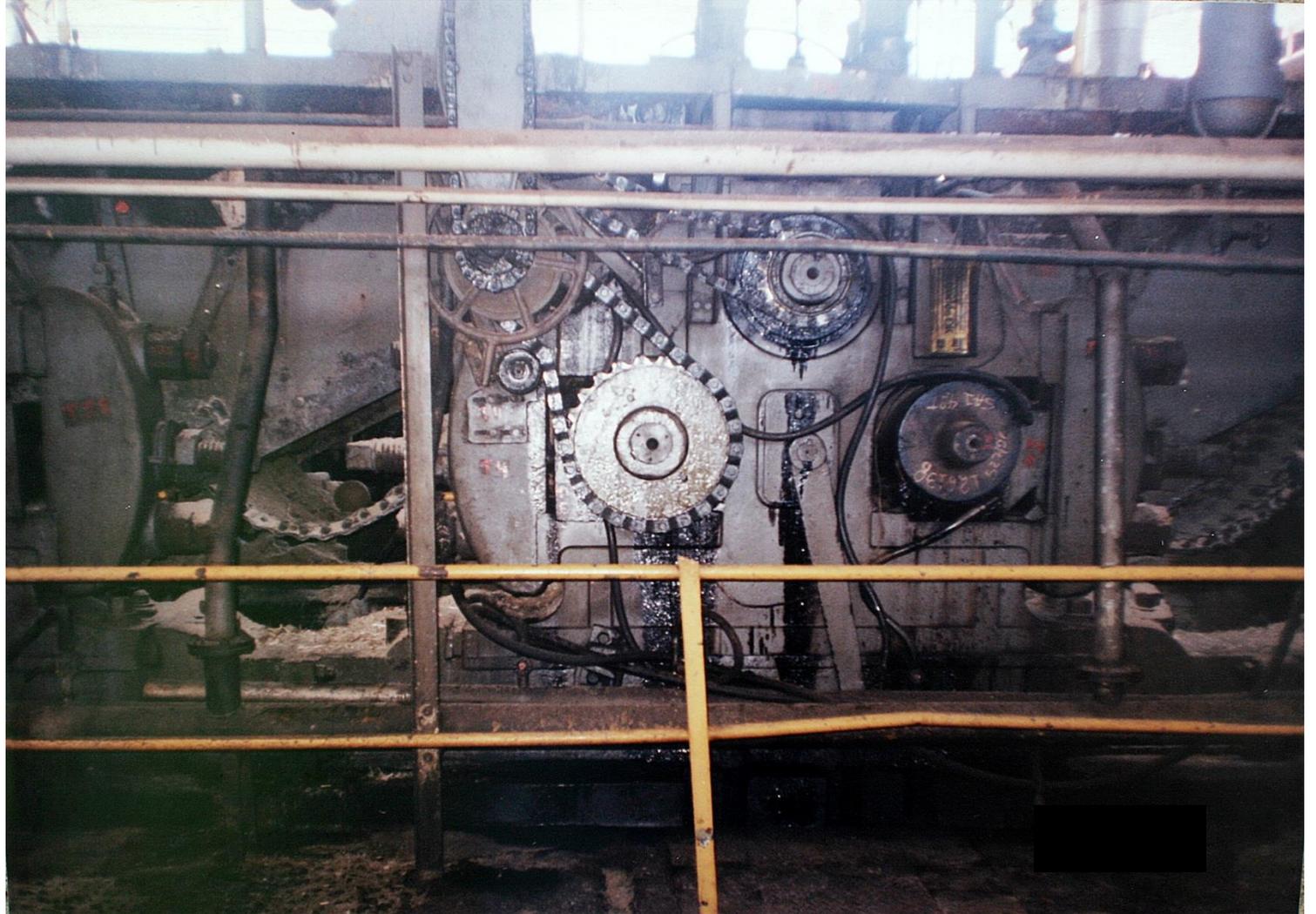
.

Introdução Histórica

O gráfico ao lado de uma linha de seis (6) moendas 78" exemplifica bem esse desenvolvimento

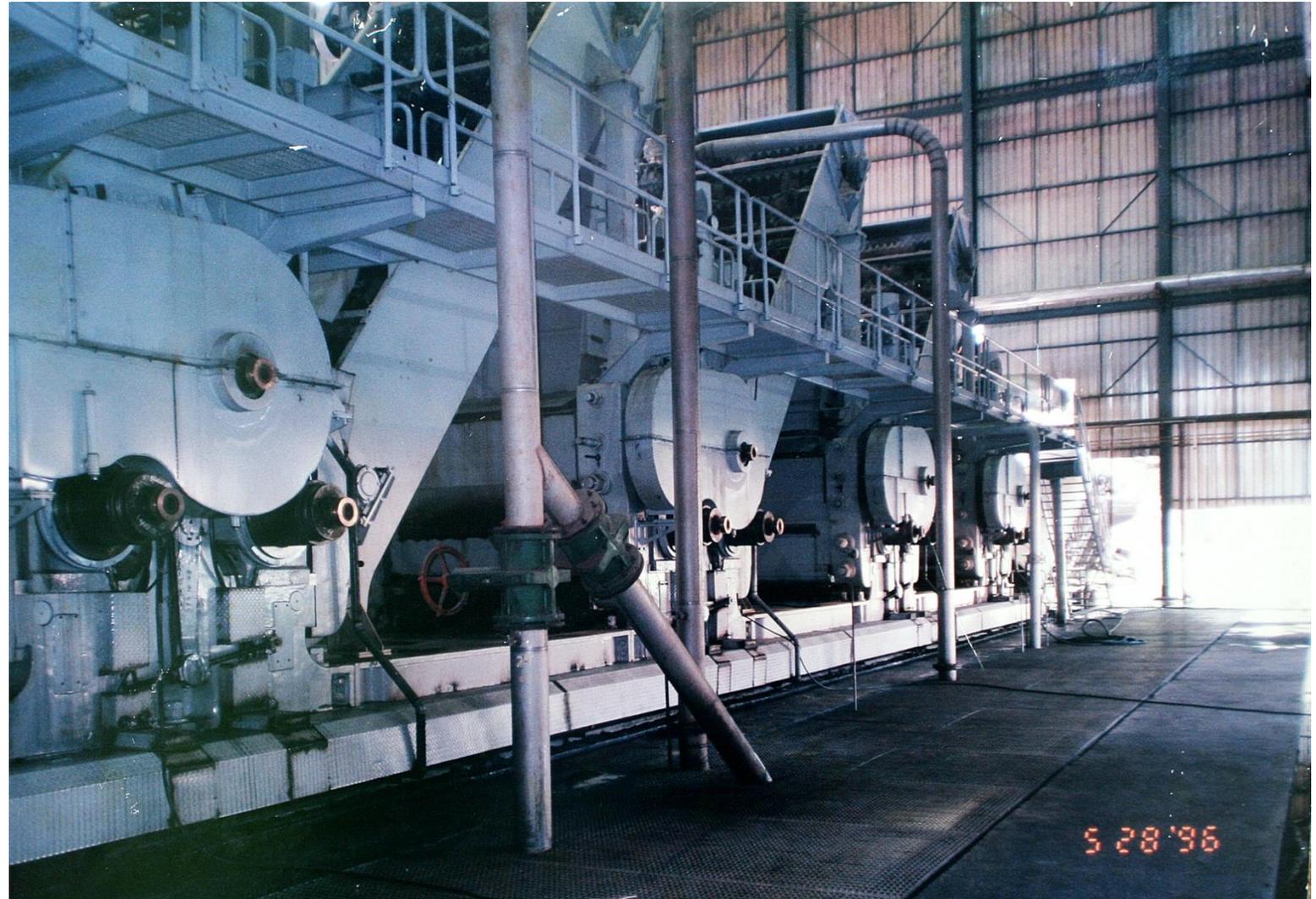


Moenda morrendo



Moenda Nascendo

Moendas Empral
1ª Geração



2013... Moenda atual

Moendas Empral
2ª Geração



2013... Moenda atual

Moendas Empral
2ª Geração



2019... Moenda do Futuro

Moendas Empral 3G
(terceira geração).

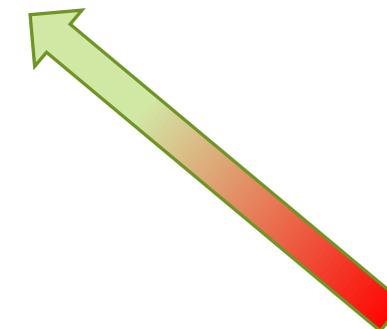
- Castelos mais resistentes (Castelos Premium).
- Menor custo e tempo de manutenção.
- Maior facilidade de montagem e desmontagem (diminuição significativa dos tempos de operação).
- Maior resistência mecânica e possibilidade de rolos de maior Ø.



Parque fabril de ultima geração, maior precisão e qualidade de fabricação.



MAUSA



Ahhh.. Isso vai ficar caro?



NÃO



Limitações recentes para altas capacidades

Perda de capacidade em condições limite:

Moendas operando no limite da capacidade, com grandes \varnothing e altas rotações.

O caldo (contra-fluxo) que sai por cima do rolo superior diminui o atrito entre cana/bagaço e rolo em uma região onde o mesmo tem grande importância para a correta alimentação da moenda, como também reduz a densidade no ponto de alimentação, diminuindo a capacidade de alimentação.



Solução: Rolo perfurado

Limitações recentes para altas capacidades

Perda de densidade da cana devido mecanização:

Diminuição da densidade da cana no fundo do Donnelly devido impureza vegetal.

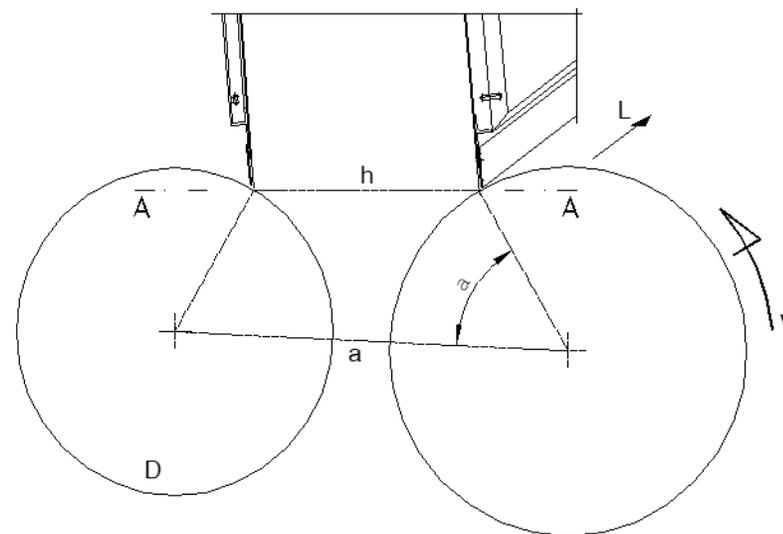
Solução: Donnelly's com maior altura ?



Capacidade de Moagem

Capacidade de Moagem:

A Moenda moe Volume!!!! Que tem uma certa densidade!



Capacidade de Moagem

Quantidade de cana que passa pelos 2 rolos de alimentação:

Volume de material que passa pela secção AA

$$Q = h L v \cos \alpha$$

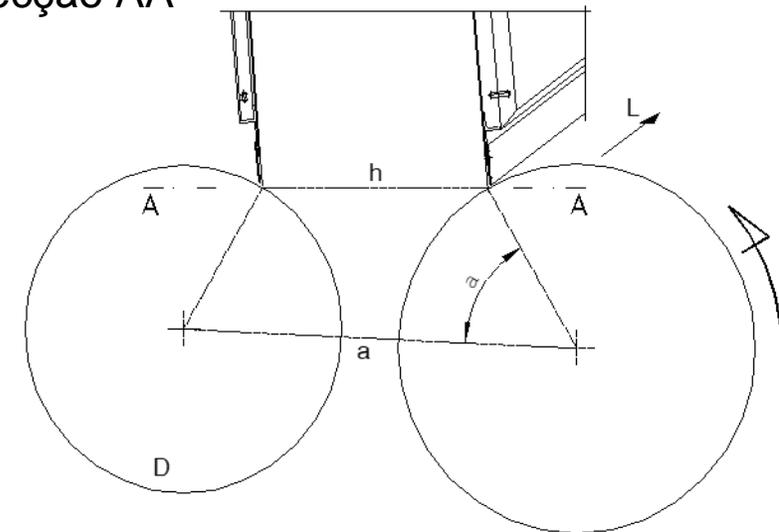
sendo:

$$h = a + d (1 - \cos \alpha)$$

substituindo:

$$Q = L v [a + d (1 - \cos \alpha)] \cos \alpha$$

$$C = Q \cdot e$$



Altura Donnelly X Moagem

Quanto ganho aumentando o Donnelly, e até que altura?

Para ter a resposta à pergunta é necessário recorrer a teoria da “Alimentação de Moenda” já muito bem estudada pelos engenheiros Australianos, e nem sempre lembrada pelos Brasileiros, essa teoria foi melhor ainda colocada prática (com perfeita adaptação às Condições Brasileira), pela Engenharia Sul Africana.

Pesquisamos entre outros na literatura e estudos, como por exemplo o de Murry, C.R. e Hutchinson, R., que em um trabalho na universidade de Queensland, apresentou um estudo sobre a movimentação de cana desfibrada em chutes longos, relacionando a pressão na cana desfibrada com o comprimento do chute.

Partimos nossos estudos baseando-nos nessas teorias e a desenvolvemos para as condições encontradas nas usinas brasileiras atuais.

Resumo teórico

Começamos dividindo a coluna de cana desfibrada em n colchões de altura Δx , conforme figura ao lado:

Se analisarmos as forças atuantes em um colchão qualquer, chegaremos às seguintes equações de equilíbrio de forças:

$$F_{(n)} = \frac{\left\{ \left(1 - \frac{k_x \mu_x \Delta x}{B} \right) x F_{(n-1)} \right\} + \Delta w_{(n)}}{\left(1 - \frac{k_x \mu_x \Delta x}{B} \right)} \quad (I)$$

$$P_{(n)} = \frac{F_{(n)}}{B_x L} \quad (II)$$

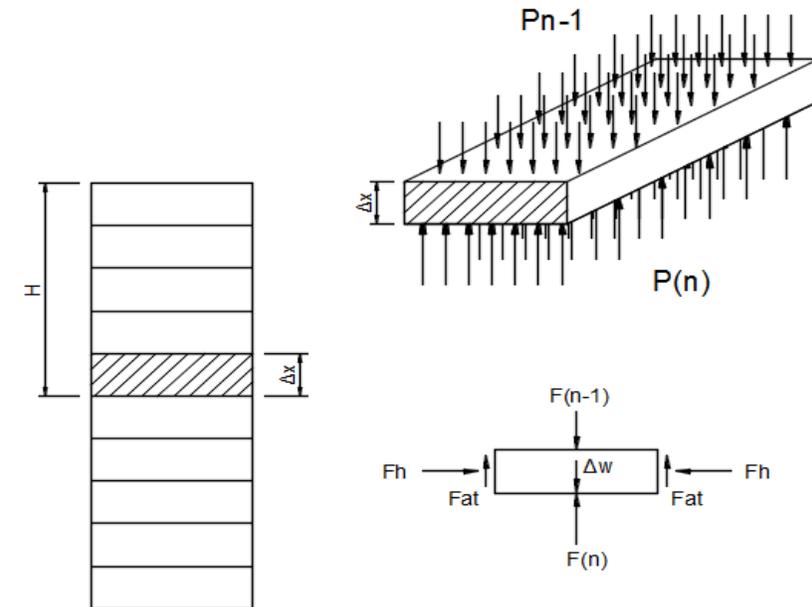


Figura 1

Onde:

F = Força de compressão no colchão de cana
 μ = coeficiente de atrito cana / lateral Donnelly
 B = Abertura do Donnelly
 P = Pressão de compressão

k = relação pressão horizontal / pressão vertical
 Δx = Altura do colchão considerado
 Δw = Peso do colchão considerado
 L = Comprimento do Donnelly

Resumo teórico

Conhecendo a pressão que podemos ter no fundo da coluna, teremos que verificar qual o aumento da densidade que será obtido.

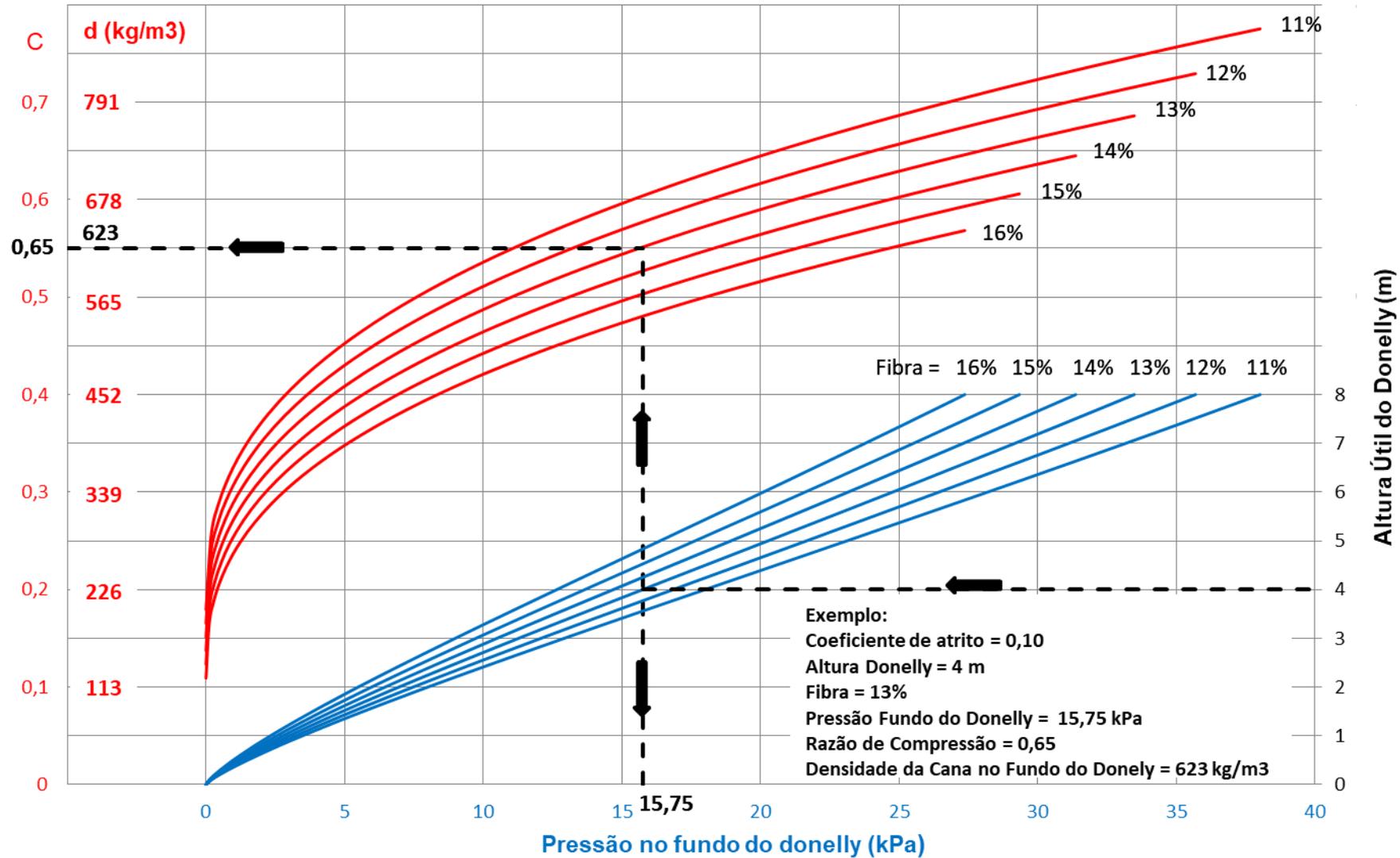
Quem nos socorreu foi um trabalho realizado pelo “Sugar Research Institute” da Austrália, segundo o qual a relação pressão-compressão da cana desfibrada pode ser obtida através da expressão:

$$P = A_x (C - B)^E \quad \text{sendo} \quad B = 0,334 - 0,01405_x F \quad A = \frac{302 - 868_x B}{100} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

Onde $E=2,6$, onde F é a fibra da cana, P é a pressão aplicada sobre a cana e C é a compressão.

Utilizando as expressões acima, ligando a taxa de compressão com a densidade, podemos traçar as curvas relacionando altura do Donelly, largura da calha, atrito da cana com as paredes, densidade da cana e capacidade de moagem resultante.

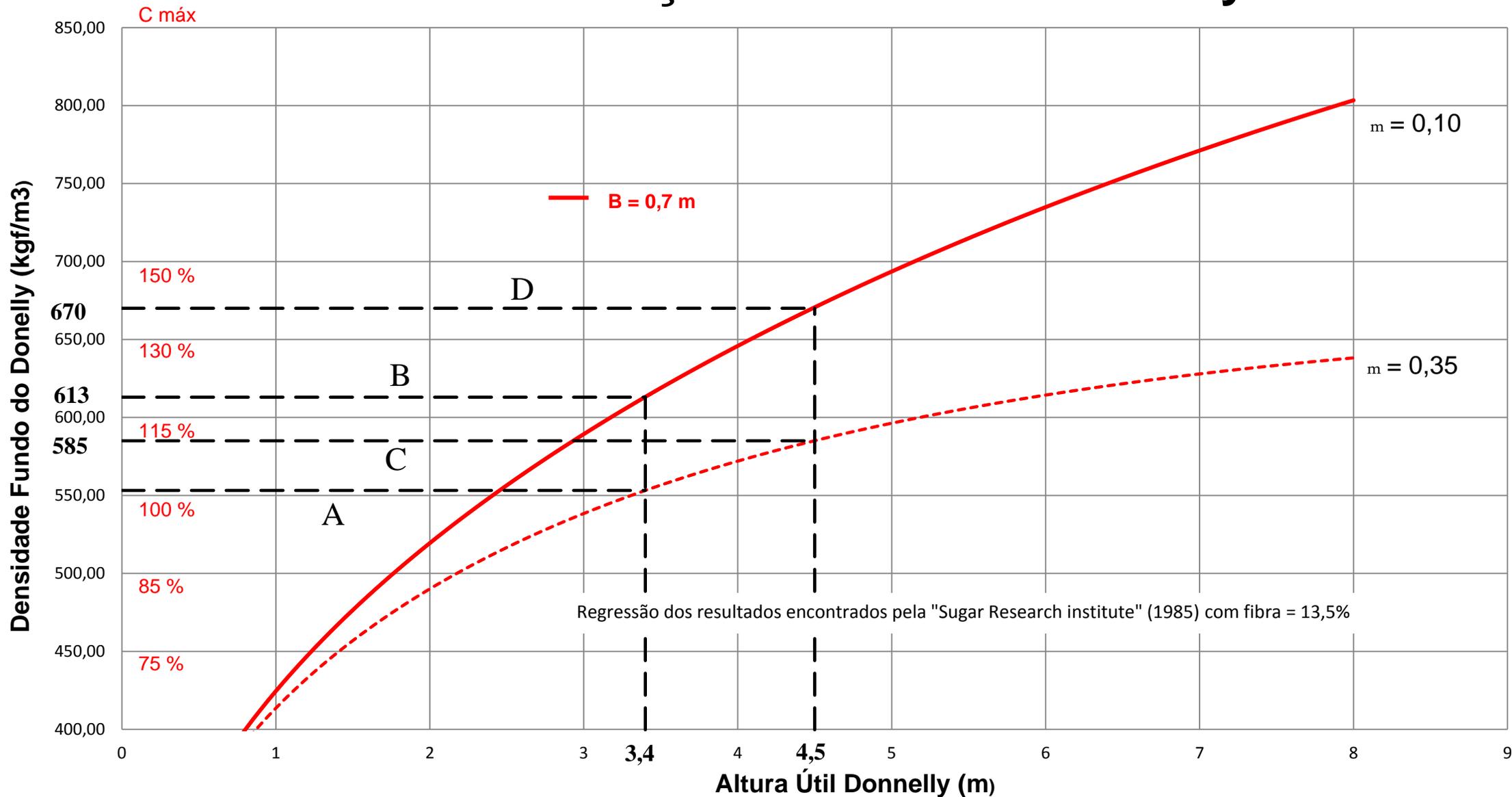
Altura da coluna de cana x Pressão e Densidade no fundo do Donnelly - $\mu = 0,10$



C = Razão de Compressão

d = Densidade da cana no fundo do donelly

Densidade Alimentação x Altura do Donnelly



Resumo teórico

Verificamos assim a influência do atrito e procuramos um material que apresentasse coeficiente de atrito muito baixo (da ordem de 0,10). Esse material foi encontrado e se chama GEP-10, desenvolvido em conjunto com a GRAFIMEC.

Características GEP-10 Grafimec

Coeficiente de atrito dinâmico 65% menor que o Inox AISI-304

Coeficiente de atrito dinâmico 30% menor que o UHMW comum

Resistencia a abrasão equivalente a o UHMW

Resultados Práticos

Rolo Perfurado

+

Revestimento Donnelly

Local: 1º terno 78” unidade Alta Floresta do grupo Alto Alegre.

Solução: Rolo Perfurado + Revestimento Donnelly.

Rolo Perfurado:

Rolo superior perfurado projeto Empral Piracicaba.

Ø externo: 1090mm (friso 2” x 35° x 62)

Nº perfurações: 1332 perfurações (Ø8mm)

Furos Longitudinais: 18 furos de drenagem com Ø50mm.

Área da camisa= $1090-62 \times 3,14 \times 1981 = 6397752\text{mm}^2$

Área perfurada= $1332 \times ((3,14 \times 8^2)/2) = 66953\text{mm}^2$

Área perfurada(%)= 1,04% (1,15%)

Furos/m² de camisa=208 (230)

Donnelly revestido

Após tratamento (retirada de imperfeições) do Donnelly existente instalamos o revestimento (material GEP-10), conforme ao lado



Resultados



Pesquisa realizada:

Sendo que a o 1º terno foi regulado e montado com as mesmas medidas nos anos de 2017 e 2018, nos apoiamos no vasto conteúdo de informações que o cliente nos disponibilizou para compararmos o desempenho de 2018 com o de 2017.

Dados coletados de 2017 e 2018:

-Hrs efetivas, Moagem hora efetiva, extração ART, Embebição%fibra, pol do bagaço, pol%cana-Prensa, pza%cana-prensa, Fibra%cana-dig, Terra%cana, Impureza vegetal, Extração pol%pol cana, umidade cana-dig, rotação moenda, altura cana no Donnelly, consumo potência.

Resultados

Período pesquisado 2017: de 19/06 a 3/09

Período pesquisado 2018: de 18/06 a 2/09

Período	Horas efetivas	Aproveitamento de tempo
2017 de 19/06 a 3/09	1539	83,3%
2018 de 18/06 a 2/09	1543	83,5%
Variação em 2018	+0,24%	+0,24%

Período Pesquisado e
aproveitamento de tempo

Resultados

Período pesquisado 2017: de 19/06 a 3/09

Período pesquisado 2018: de 18/06 a 2/09

Fibra, pol e umidade da
cana:

Período	Fibra% Cana digestor	Pol% Cana prensa	Umidade digestor
2017 de 19/06 a 3/09	12,31%	14,49%	70,78%
2018 de 18/06 a 2/09	12,67%	15,04%	69,68%
Variação em 2018	+2,86%	+3,67%	-1,58%

Resultados

Matéria prima e colheita

Cana Bisada:

No período pesquisado em 2018 houve uma pequena quantidade de cana Bisada (5%) em 2017 não houve moagem de cana bisada.

Impurezas minerais e vegetais:

Em 2018 houve uma diminuição de 1,5% (absoluto) para impureza vegetal entre os períodos analisados, impureza vegetal a diferença foi desprezível para capacidade de moagem

Resultados

Regulagem da moenda
2017 x 2018

A Triangulação, aberturas moenda, aberturas Donnelly, posicionamento dos pentes, ângulos e passo dos frisos são os mesmos, com uma diferença insignificante de 3,5 mm na abertura do Donnelly.

Aberturas em Trabalho (osc.12 mm)		
	2017	2018
Saída	55,5	55,5
Entrada	100	100
Pressão	277,5	277,5
Donnelly	732	735,5

Resultados

Sendo que as aberturas da moenda e regulagem do Donnelly são as mesmas em 2017 e 2018, para verificação da moagem usaremos o valor de TCH/rpm, isto é, dividimos a moagem efetiva pela rotação média, obtendo a moagem específica para 1,0 rpm.

Período	Moagem específica TCH/rpm
2017 de 19/06 a 3/09	71,94
2018 de 18/06 a 2/09	82,54
Variação em 2018	14,7%

Capacidade de Moagem

Resultados

Nesse item usaremos o dado de corrente do motor para diferenciar o consumo de energia entre 2017 e 2018. Sendo que as aberturas da moenda e regulagem do Donnelly são as mesmas em 2017 e 2018, para verificação da diferença do consumo usaremos o valor de corrente motor/ton, isto é, dividimos a corrente média do motor pela Moagem efetiva.

Período	Corrente (A) / tonelada de cana
2017 de 19/06 a 3/09	1,67
2018 de 18/06 a 2/09	1,35
Variação em 2018	-23,8%

Corrente antes do inversor

Resultados

Outros resultados

Extração ART e pol%cana:

Considerando o período pesquisado, em 2018 obtivemos outros bons resultados, como Extração de ART (+0,13%), Extração de pol (+0,09%), porém consideramos difícil relacionar esses ganhos com a aplicação do revestimento + rolo perfurado, pois muitos outros fatores também influem.

Extração de caldo%caldo no 1º terno:

Na extração de caldo%caldo no 1º terno consideramos números bons os acima de 71%, já encontramos números de 74% e 75% em moendas trabalhando com rotações abaixo de 4,5 rpm. Fizemos amostragens controladas (mesmo tempo e sem contaminação de caldo), que retornou o número médio de **77,8%**, um número **muito bom**, que pode sim indicar um ganho de extração, porém consideramos necessário fazer esse acompanhamento por mais vezes em 2019 para podermos confirmar o resultado obtido.

Resultados

Cálculo densidade no fundo do Donnelly:

Altura média Donnelly período de 19/06 a 3/09 (2017): 78,00%

Altura média Donnelly período de 18/06 a 2/09 (2018): 76,91%

Usaremos 77,5% para calculo da altura.

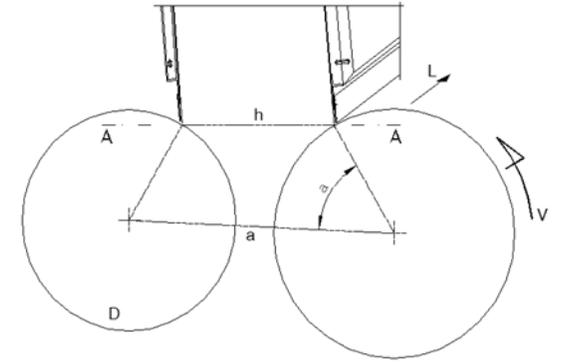
Com base no projeto e localização dos sensores resulta em uma altura média de:



2550mm

Cálculo densidade no fundo do Donnelly:

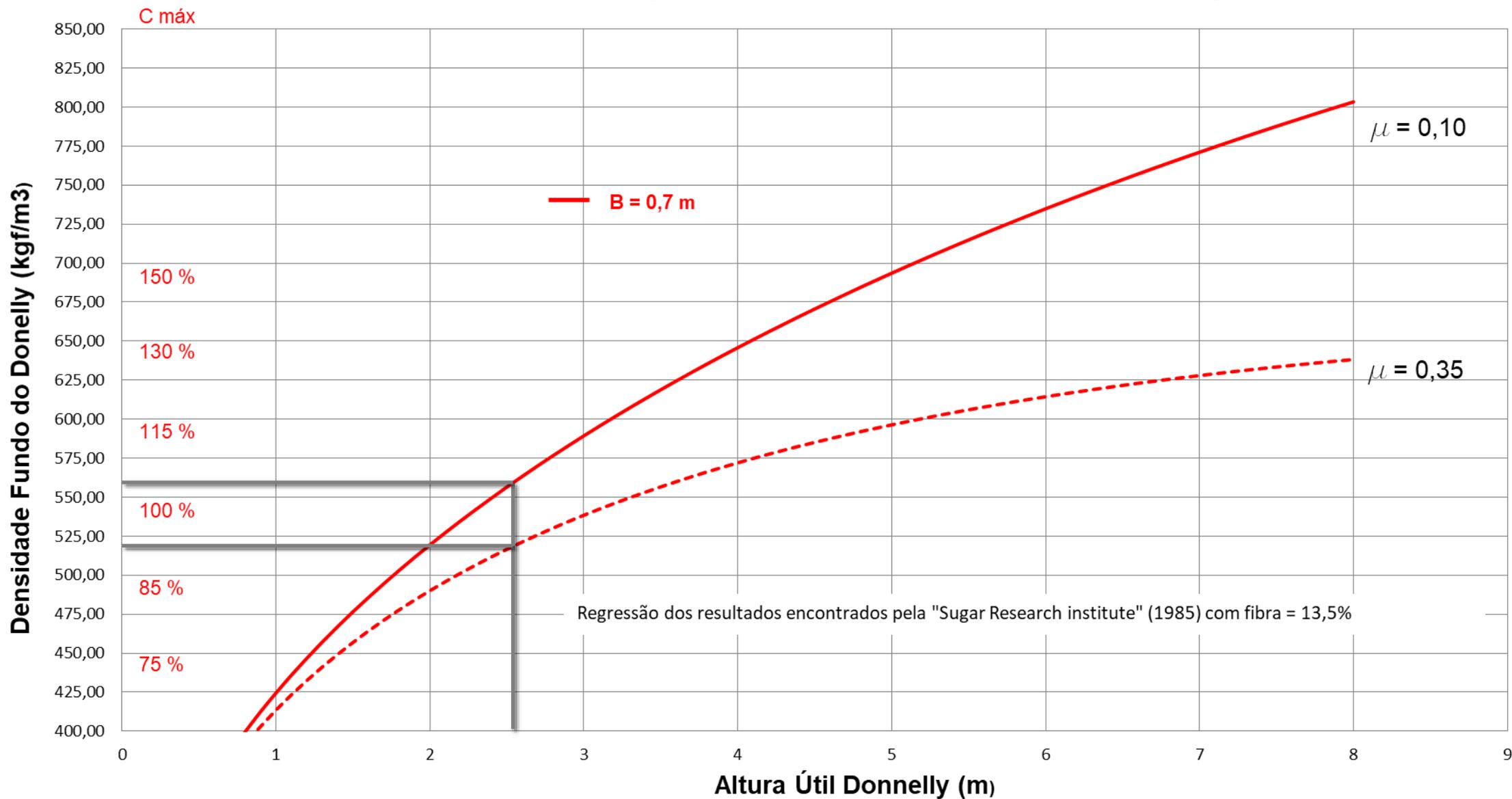
A Moenda moe volume (m^3/h), que somado a densidade da cana no fundo do Donnelly resulta em uma moagem mássica, TCH. O volume calculamos com base na área formada no ponto de contato do Donnelly com os rolos ($h \times L$) e a componente vertical da velocidade tangencial V .



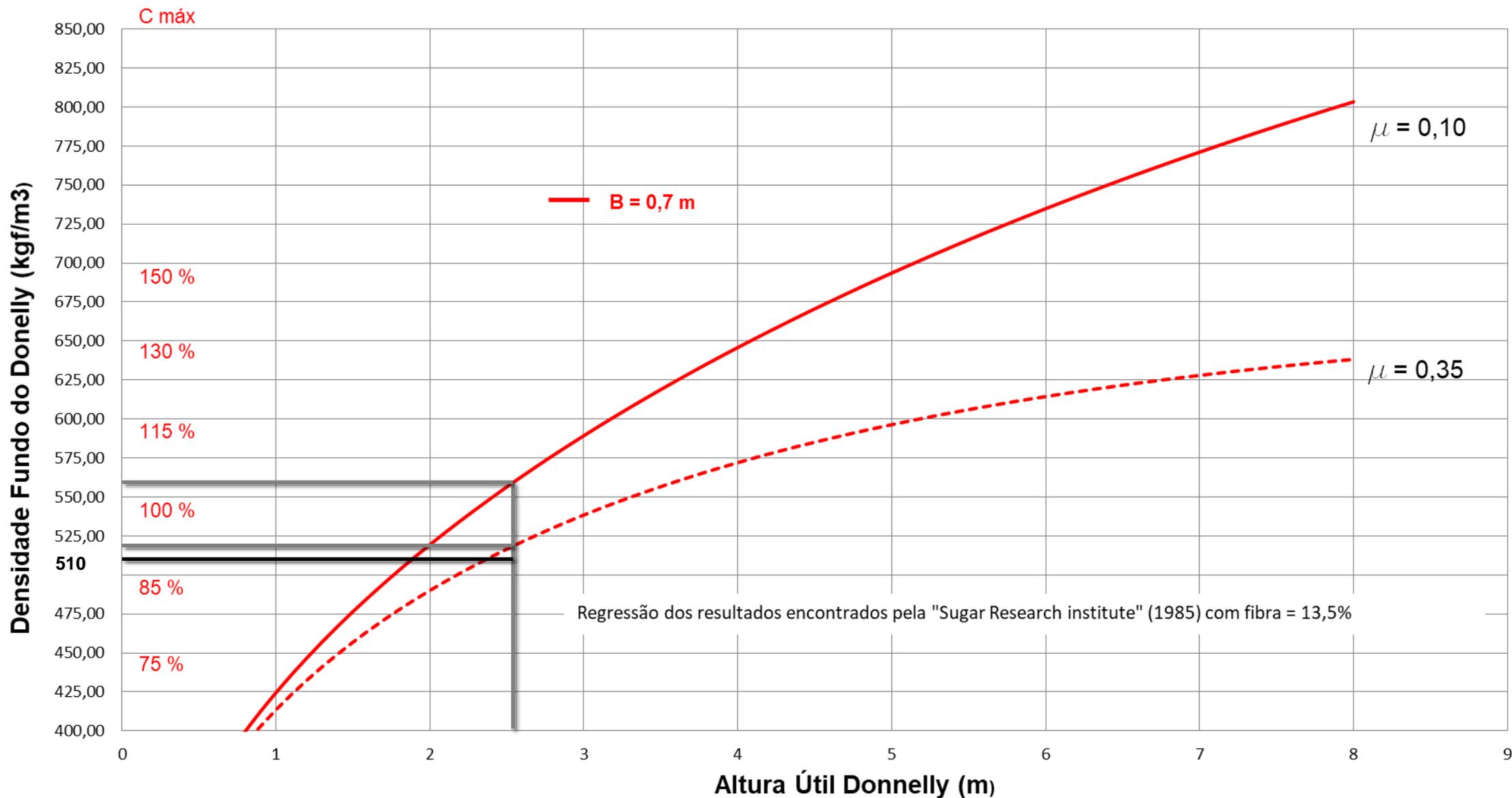
Na tabela abaixo calculamos a Densidade, que é a densidade necessária no fundo do Donnelly para que a moenda tenha uma moagem igual a obtida de fato, calculamos com base nos dados encontrados em nossa pesquisa (Moagem realizada, rotação, velocidade vertical e aberturas do Donnelly).

	Moagem Efetiva	abertura P'	Larg. Rolo (m)	Vel. Vertical m/min		Abertura Donnelly (mm)	Densidade Calculada*
				Pressão	Superior		
2017	Sigilo cliente	277,5	1,981	Sigilo cliente	Sigilo cliente	732	0,510
2018	Sigilo cliente	277,5	1,981	Sigilo cliente	Sigilo cliente	735,5	0,578

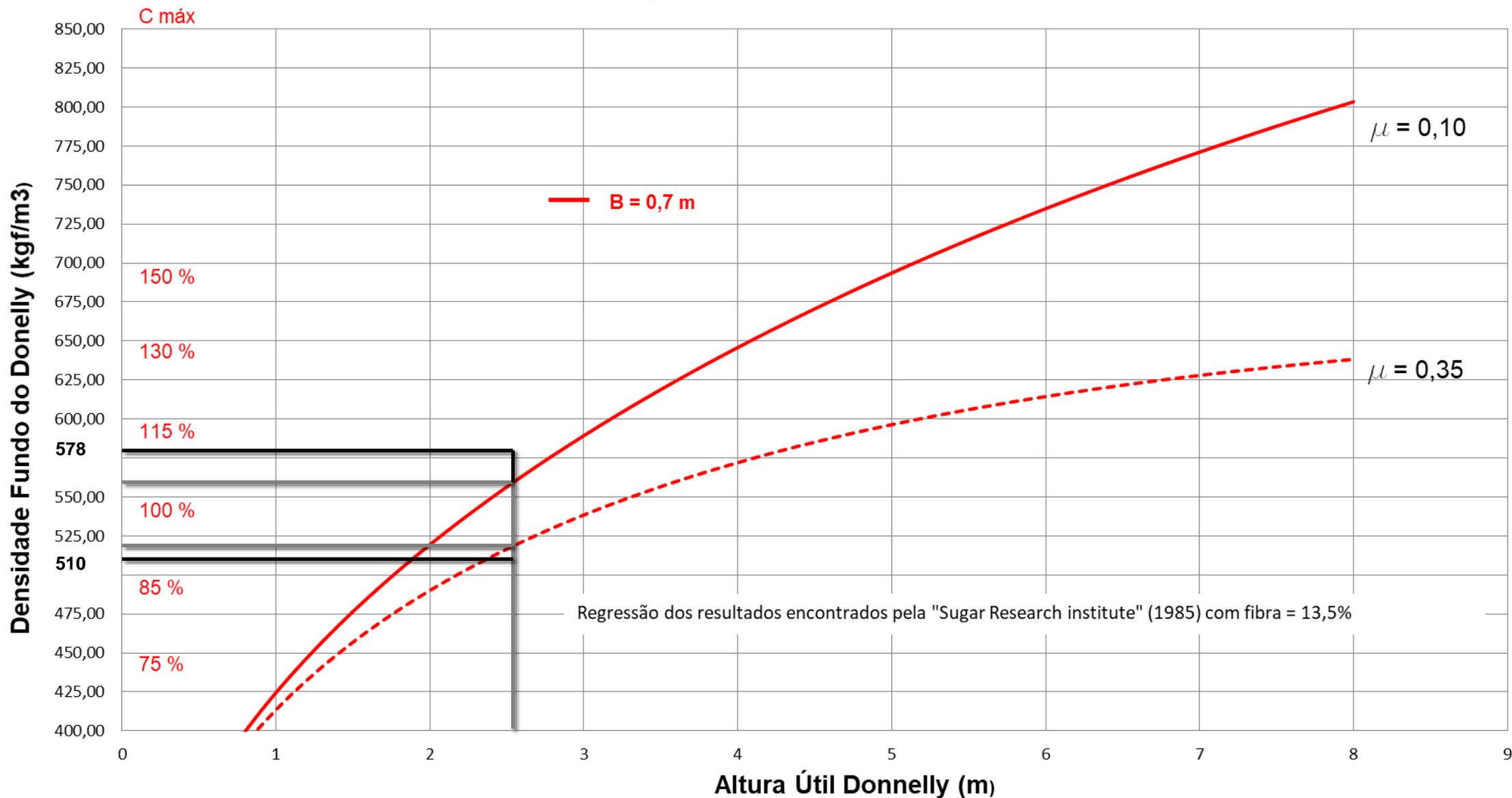
Densidade Alimentação x Altura do Donnelly



Densidade Alimentação x Altura do Donnelly



Densidade Alimentação x Altura do Donnelly



Conclusões finais

Rolo Perfurado

+

Revestimento Donnelly

Tendo em vista o longo período de análise (11 semanas) e as condições de contorno da pesquisa, consideramos os valores encontrados consistente e surpreendentes, principalmente o aumento na moagem (14,7%) e a redução no consumo de energia (23,8%).

Achamos difícil mensurar com exatidão o percentual de responsabilidade pelos ganhos entre Donnelly e rolo perfurado, apenas confirmamos que a teoria nos indicava, o casamento das duas tecnologias entrega resultados consistentes.

Vale ressaltar que tivemos resultados expressivos mesmo com uma baixa altura útil do Donnelly estudado (2,55m), e a coincidência com os estudos teóricos, fato que nos anima a estimar ganhos promissores em Donnellys com maior altura útil.

Obrigado

www.empralpiracicaba.com.br

secretaria@empralpiracicaba.com