



Projeto SUCRE | Palha e Bagaço: Semelhanças e Diferenças

Manoel Regis L.V. Leal, Paulo Mantelatto e Caio Soares

STAB - 20º Seminário Brasileiro Agroindustrial, 23 e 24 de Outubro de 2019, Ribeirão Preto, SP

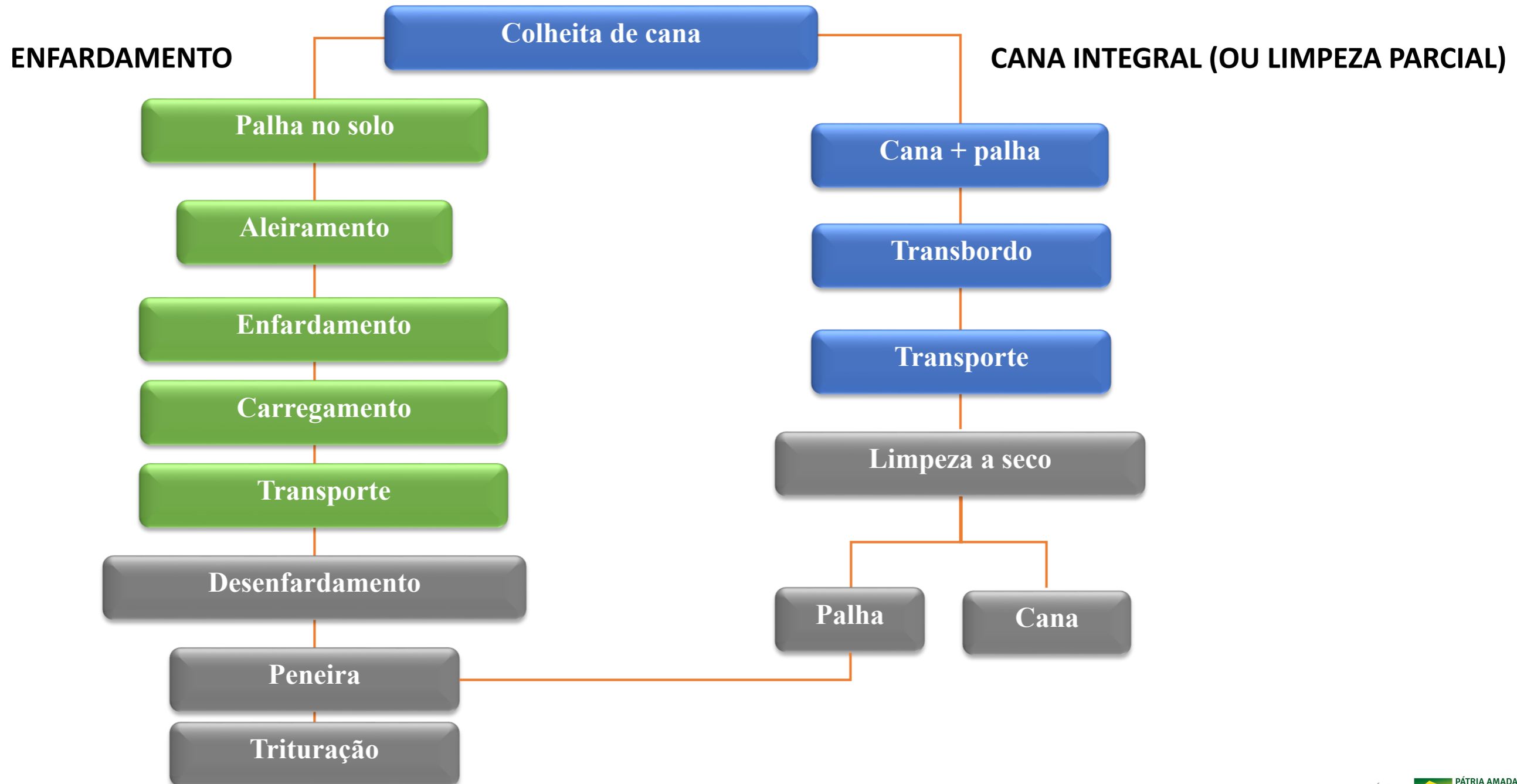
- Introdução
- Rotas de recolhimento de palha
- Diferenças básicas entre bagaço e palha
- Problemas mais críticos
 - Alimentação da palha na caldeira
 - Impurezas minerais
 - Corrosão e depósitos devido a K, Cl, S e Si
- Possíveis Soluções e Alternativas

Introdução

- Bagaço e palha são fibras da mesma planta, possuindo composições básicas semelhantes.
- Provêm de partes da planta com funções fisiológicas distintas, apresentando diferenças na composição de certos elementos químicos.
- O termo palha compreende o somatório de ponteiros, folhas verdes e folhas secas.
- Apesar destes elementos estarem em teores baixos tanto no bagaço quanto na palha, existem diferenças de concentrações nas duas biomassas levando a comportamentos distintos na combustão em caldeiras.
- As rotas de colheita, transporte e processamento dessa biomassa conferem diferenças adicionais às suas características tais como granulometria, umidade, densidade, teor de impurezas minerais e composição elementar do combustível.
- Este trabalho procurou apontar as principais diferenças de composição, comportamento e os impactos destes dois combustíveis nas caldeiras. Além disso, propõe alternativas para remediar as consequências danosas que resultam dessas diferenças.

- Análises de combustíveis sólidos (ASTM): Análise Imediata, Análise Elementar e Análise Elementar das Cinzas e Termogravimetria.
- Teor de impurezas minerais e umidade.
- Granulometria.
- Teor dos elementos químicos constituintes com destaque para os mais relevantes: K, Cl, S e Si.
- Impactos e custos do processamento da palha na usina.

Duas rotas, principais, de recolhimento de palha foram consideradas: enfardamento e cana integral (ou limpeza parcial).



- Físicas: granulometria e densidade – importante para manuseio, estocagem, transporte e alimentação nas caldeiras.
- Químicas: teores de alguns elementos importantes (K, Cl, S e Si) – críticos para os problemas de corrosão, depósitos e fusão de cinzas.
- Combustível: análise imediata e análise elementar (umidade, cinzas, carbono fixo, voláteis, C, H, N, O, PCS/PCI) – definem o projeto da caldeira.



Bagaço



Palha triturada



Mistura bagaço + palha

Análises	SUCRE		Bizzo et al.		Alves et al.	
	Bagaço	Palha	Bagaço	Palha	Bagaço	Palha
Carbono Fixo (%)	11,8-13,1	13,9-15,4	6,9	10,1	12,6	9,0
Material volátil (%)	84,4-85,6	80,3-81,7	90,0	82,3	80,0	80,0
Cinzas (%)	2-8	6-20	2,9	7,5	7,4	11,0
PCS (MJ/kg)	18-19	16-18	17,7	17,1	18,2	17,8
Umidade (%)	48-52	12-45	-	-	-	-

Elementos (%)	SUCRE		Bizzo et al.		Alves et al.	
	Bagaço	Palha	Bagaço	Palha	Bagaço	Palha
Carbono	40-44	38-42	42,6	42,5	45,2	44,2
Hidrogênio	6,0-7,0	5,5-7,0	5,9	6,0	5,4	5,4
Nitrogênio	0,3	0,5-0,6	0,6	0,6	0,2	0,6
Oxigênio	44-51	40-47	50,9	50,0	41,8	38,7
Enxofre	0,09-0,11	0,12-0,20	0,12	0,24	0,02	0,06
Cloro	0,02-0,05	0,2-0,4	-	-	0,03	0,32

Elementos (% , bs)	Folhas Secas	Folhas Verdes	Ponteiros	Bagaço
Carbono	46,2	45,7	43,9	44,6
Hidrogênio	6,2	6,2	6,1	5,8
Nitrogênio	0,5	1,0	0,8	0,6
Oxigênio	43,0	42,8	44,0	44,5
Enxofre	0,1	0,1	0,1	0,1
Cloro	0,1	0,4	0,7	0,02
Potássio*	2,7	13,3	29,5	1,7

*Nota: *Determinada nas cinzas (g/kg)*

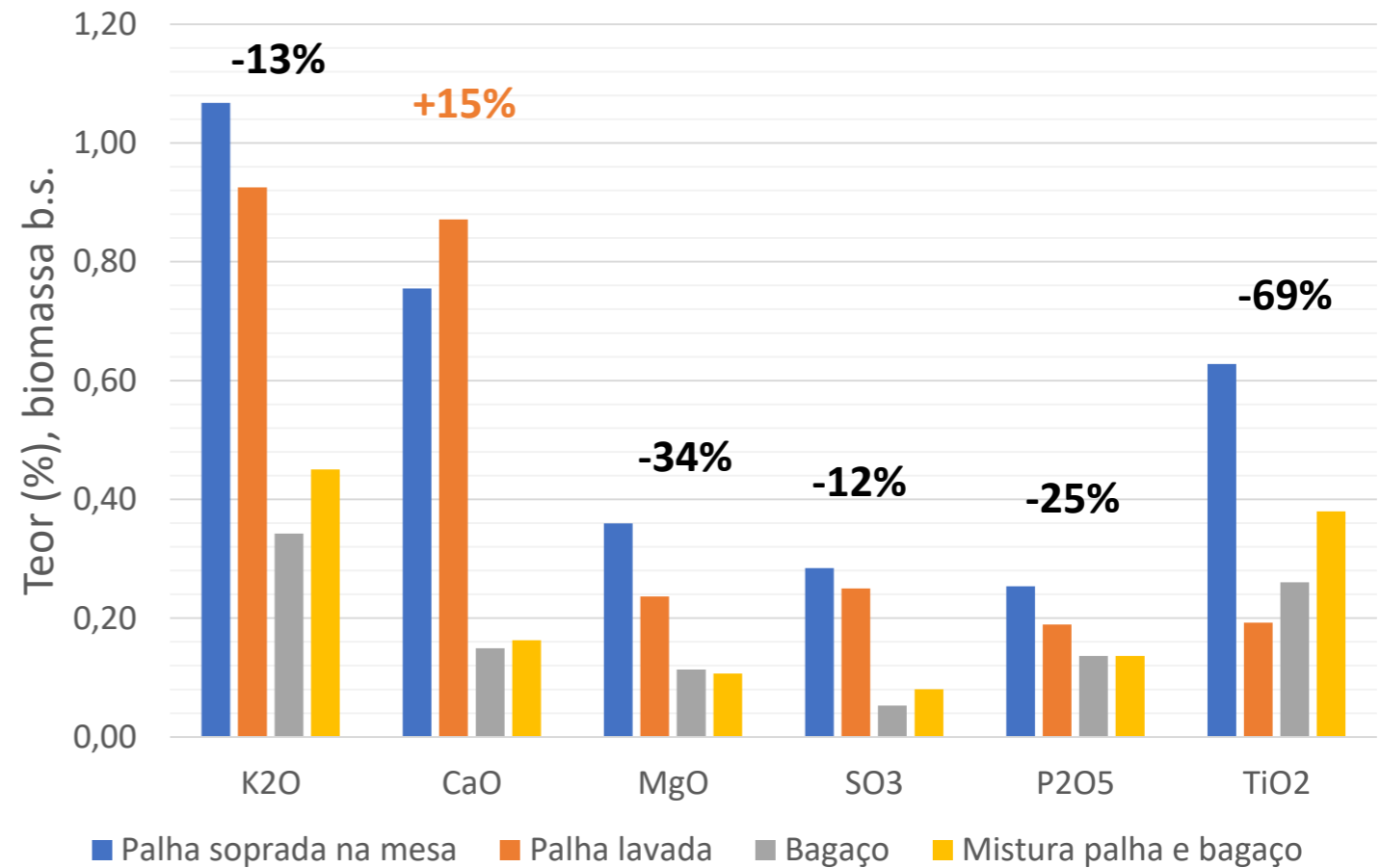
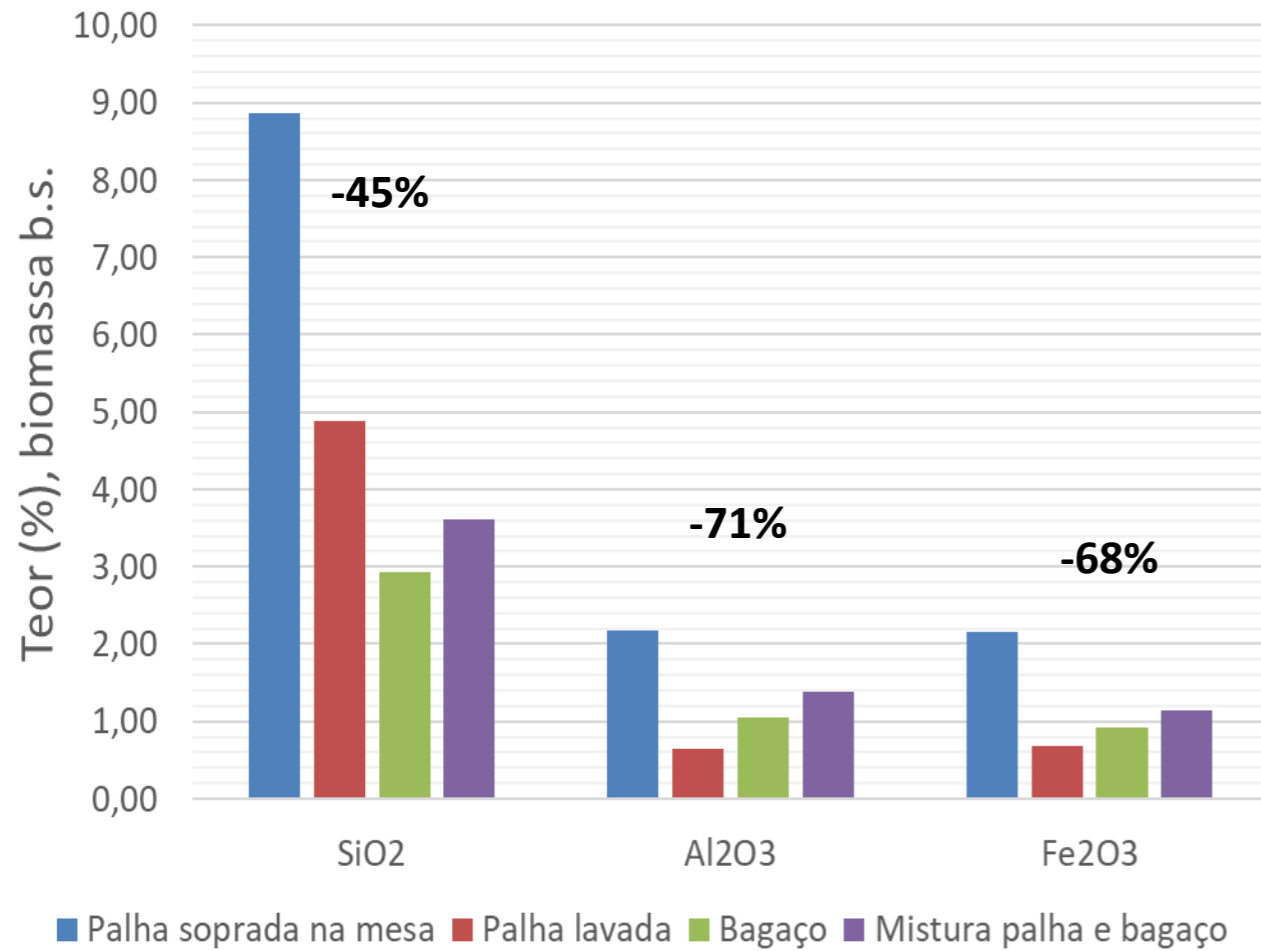
Fonte: Hassuani et al., 2005

- A análise imediata mostra uma grande semelhança entre bagaço e palha, com exceção dos teores de cinzas e umidade.
- A análise elementar mostra uma grande semelhança para C, H, N e O e diferenças significativas entre os teores de Cl, S e K.
- Apesar dos teores de K, S e Cl serem muito baixos eles são a principal causa dos problemas de corrosão, incrustações e fusão de cinzas que aparecem nas caldeiras de bagaço quando se adiciona palha ao combustível.
- Da análise dos componentes da palha é possível notar que eles se concentram mais nos ponteiros e folhas verdes.
- Apesar destes elementos também existirem nos colmos eles são lixiviados durante o processo de moagem ou difusão.

Elementos Químicos (1)

- As usinas não parecem atentas aos problemas causados pelo teor mais elevado de K, S, Cl e Si na palha em relação ao bagaço.
- Os elementos químicos inorgânicos estão presentes nos combustíveis sólidos em diferentes condições de recalcitrância: lixiviáveis por água, por acetato de amônio, ácido clorídrico e não lixiviáveis.
- O K, Cl e S dos resíduos agrícolas estão no primeiro caso, o que explica a alta mobilidade deles para se depositar ou corroer várias partes das caldeiras, mas também facilita sua remoção por lixiviação com água em condições de processo adequadas (granulometria, temperatura, agitação e tempo de contato).
- Algumas usinas lavam a palha para remover as IM e isso deu a ideia de se avaliar a remoção destes elementos na lavagem.
- Pesquisa bibliográfica mostrou que o USDOE, IEA Bioenergy e a Universidade do Hawaii seguiram esta linha.

- Testes em laboratório no LNBR mostraram um grande potencial de remoção, desde que se utilizem condições adequadas de granulometria da palha, temperatura da água e nível de agitação adequados; a concentração destes elementos na água deve ser controlada através de tratamento, sangrias e alimentação (make-up).
- Os testes realizados nos sistemas utilizados por algumas usinas mostraram resultados mais modestos indicando necessidade de melhoria no processo.

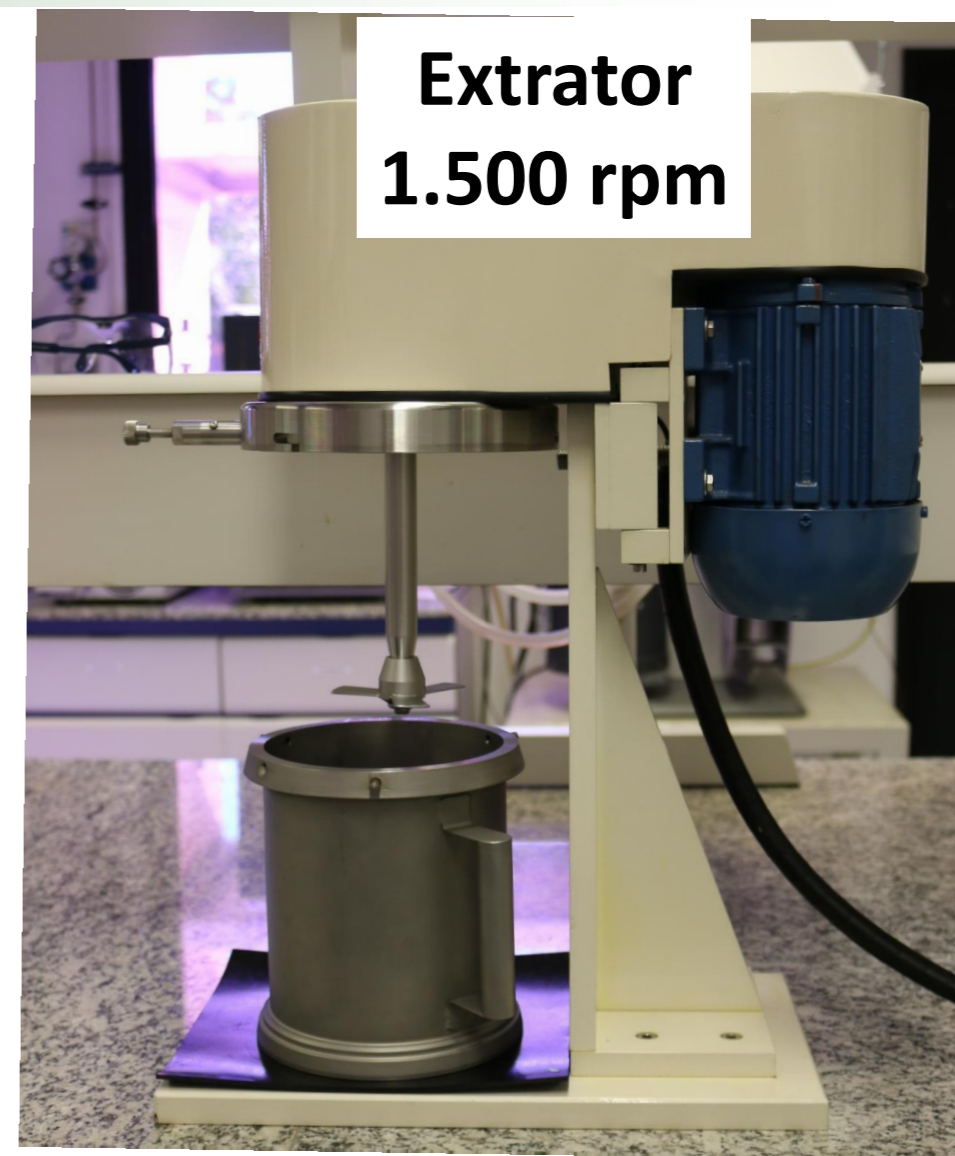


Estudos complementares de lixiviação deverão ser realizados em escala de laboratório

Componente	Eficiência de lixiviação (%)
Cinzas	74
Cloro	93
Enxofre	16
Potássio (como K ₂ O)	82
Silício (como SiO ₂)	62

Condições: palha seca e triturada (20 g), água (1,5 L), 20°C, 1.500 rpm, 3 minutos; repetir 2x (total de 3), realizando a troca da água entre os estágios.

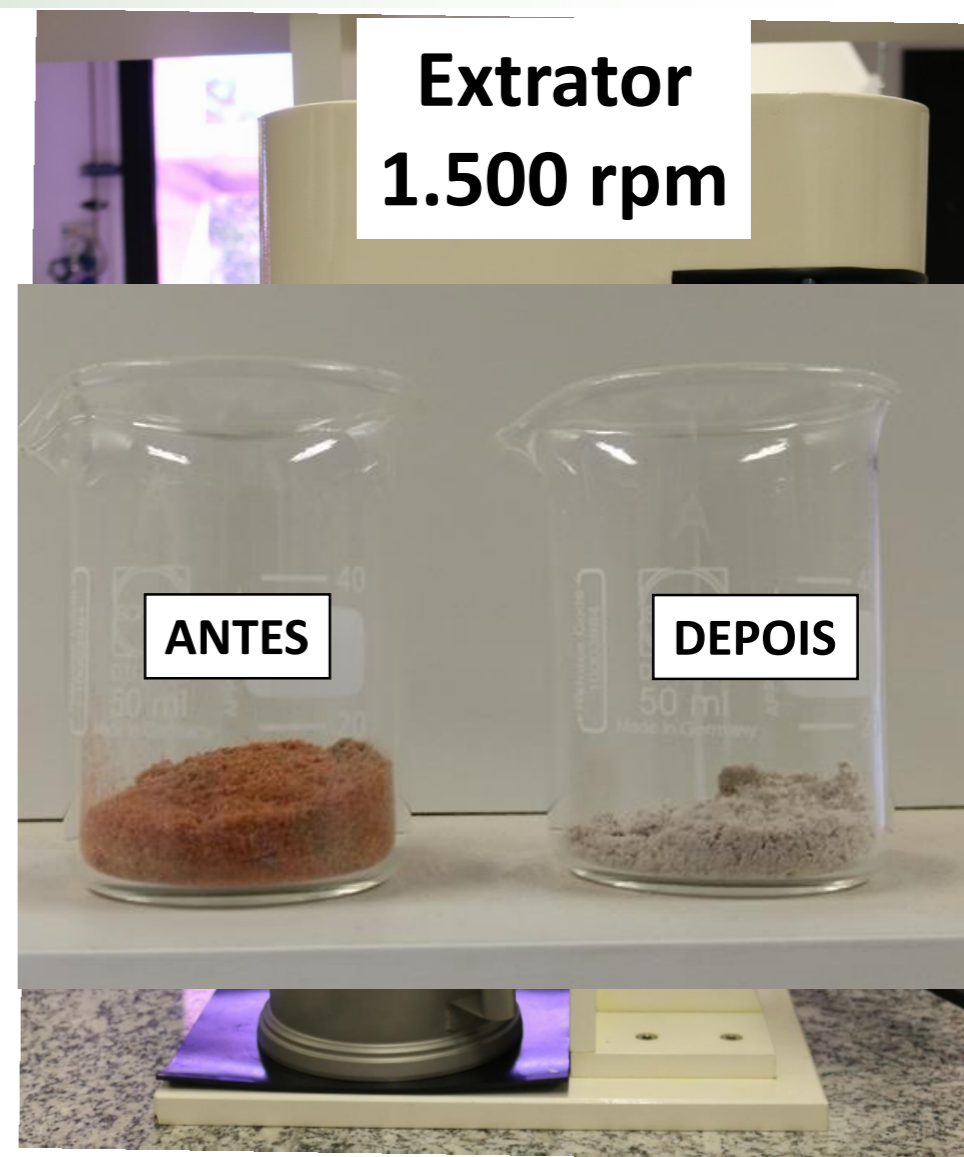
**Pontos a serem otimizados em escala industrial:
agitação, tempo, temperatura e qualidade da água.**



Componente	Eficiência de lixiviação (%)
Cinzas	74
Cloro	93
Enxofre	16
Potássio (como K_2O)	82
Silício (como SiO_2)	62

Condições: palha seca e triturada (20 g), água (1,5 L), 20°C, 1.500 rpm, 3 minutos; repetir 2x (total de 3), realizando a troca da água entre os estágios.

**Pontos a serem otimizados em escala industrial:
agitação, tempo, temperatura e qualidade da água.**

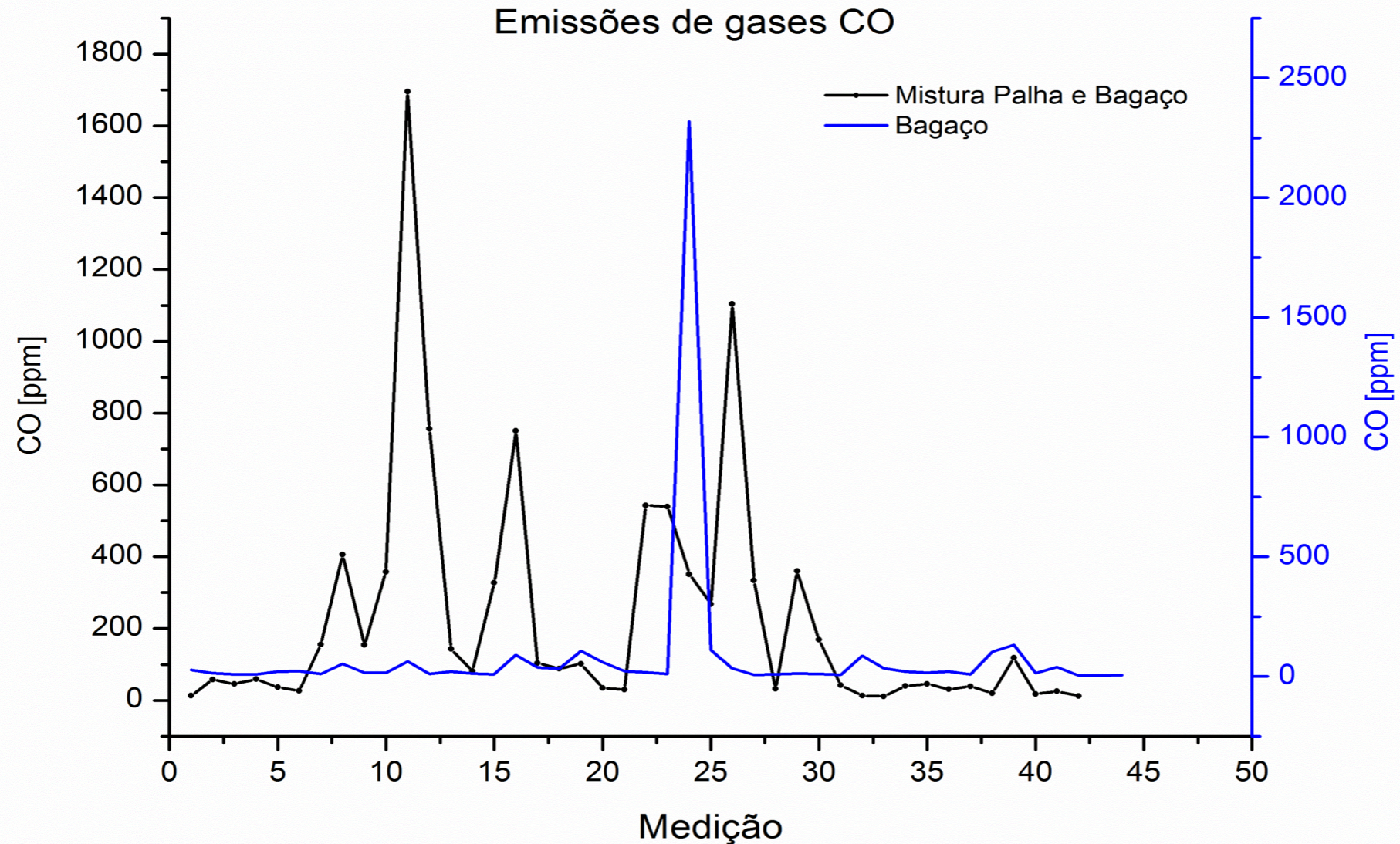


- É fácil perceber, por análise visual simples, que existe uma grande diferença entre as granulometrias do bagaço e da palha.
- Essa diferença é suficiente para tornar difícil a alimentação da palha, mesmo misturada ao bagaço, nos sistemas de alimentação de combustível das caldeiras de bagaço.
- Os teores de cinzas na palha são muito mais elevados que no bagaço; em % elevadas de palha (>10%) na mistura, os problemas de erosão são muito sérios.
- Numa tentativa de contornar estes problemas, as usinas têm instalado sistemas de remoção de impurezas minerais da palha por peneiras rotativas e de trituração por martelos ou facas rotativas.
- Estes sistemas têm mostrado desempenhos aquém do necessário: como cerca de 70% das IM da cana está aderido à palha, as peneiras não conseguem remover IM de modo eficiente (eficiência média 33%) e os trituradores proporcionam uma granulometria mais grosseira que a do bagaço e sérios problemas de manutenção e alto consumo de energia, além do alto preço.

- Instalar caldeiras projetadas e construídas para queimar palha.
 - Economicamente inviável substituir caldeiras de bagaço existentes.
 - Falta experiência para queima de bagaço nestas caldeiras.
- Processar a palha para torná-la mais parecida com o bagaço.
 - Reduzir as impurezas minerais (IM).
 - Padronizar a umidade, granulometria e densidade.
 - Baixar os níveis de K, Cl, S e Si para níveis aceitáveis.

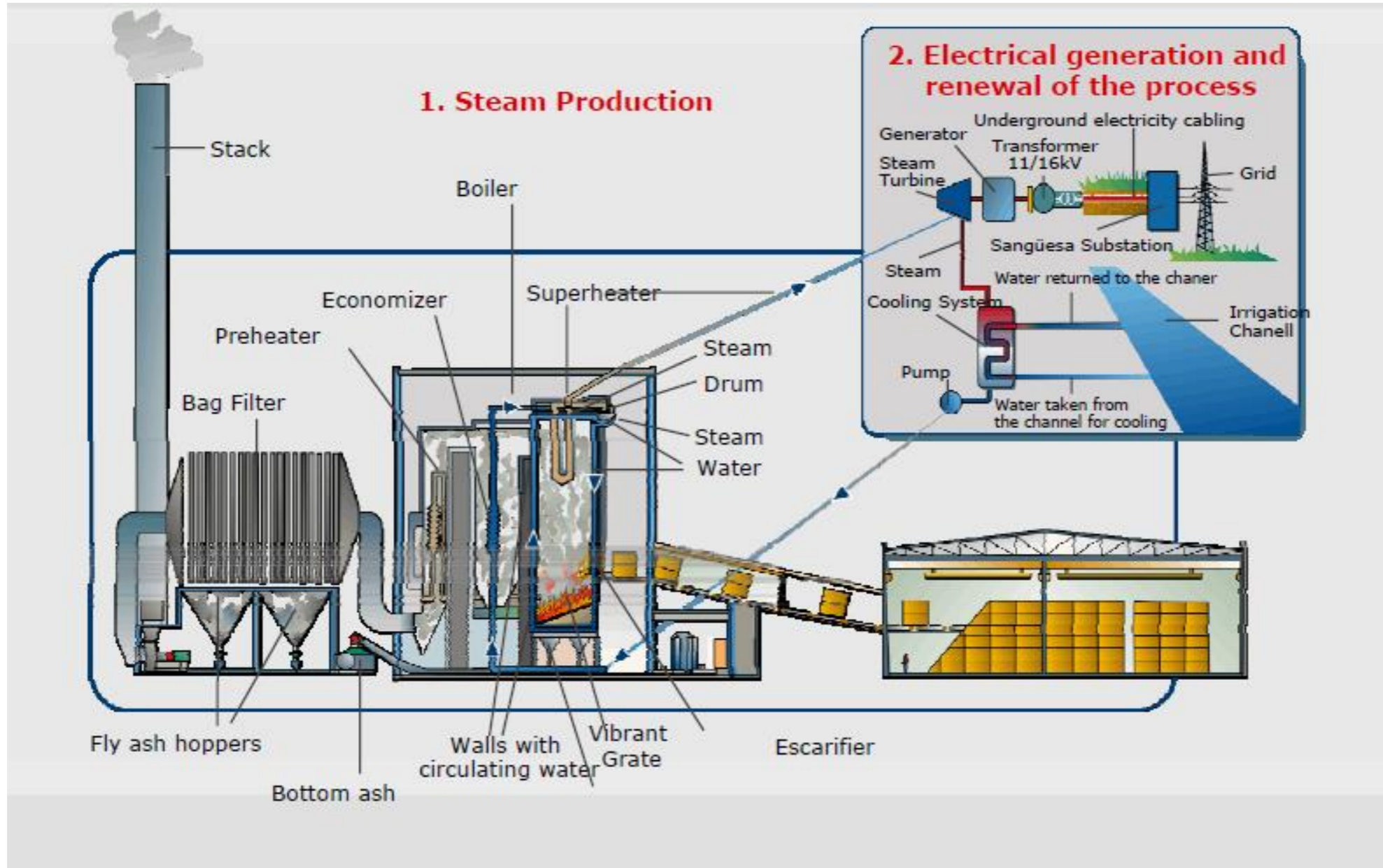
Nota: a questão da umidade muito mais baixa da palha enfardada (10-15%) é controversa: (1) há os que defendem que facilita a queima e melhora a eficiência da caldeira de bagaço (2) e os que alertam que as caldeiras existentes foram projetadas para uma biomassa com umidade em torno de 30 a 60%.

Testes de campo em uma caldeira LFB mostraram alguns problemas operacionais sérios, mas os resultados não foram conclusivos.



Comparativo emissões de CO operando com mistura de palha e bagaço

UTE Sanguesa (Espanha) – Palha de Cereais



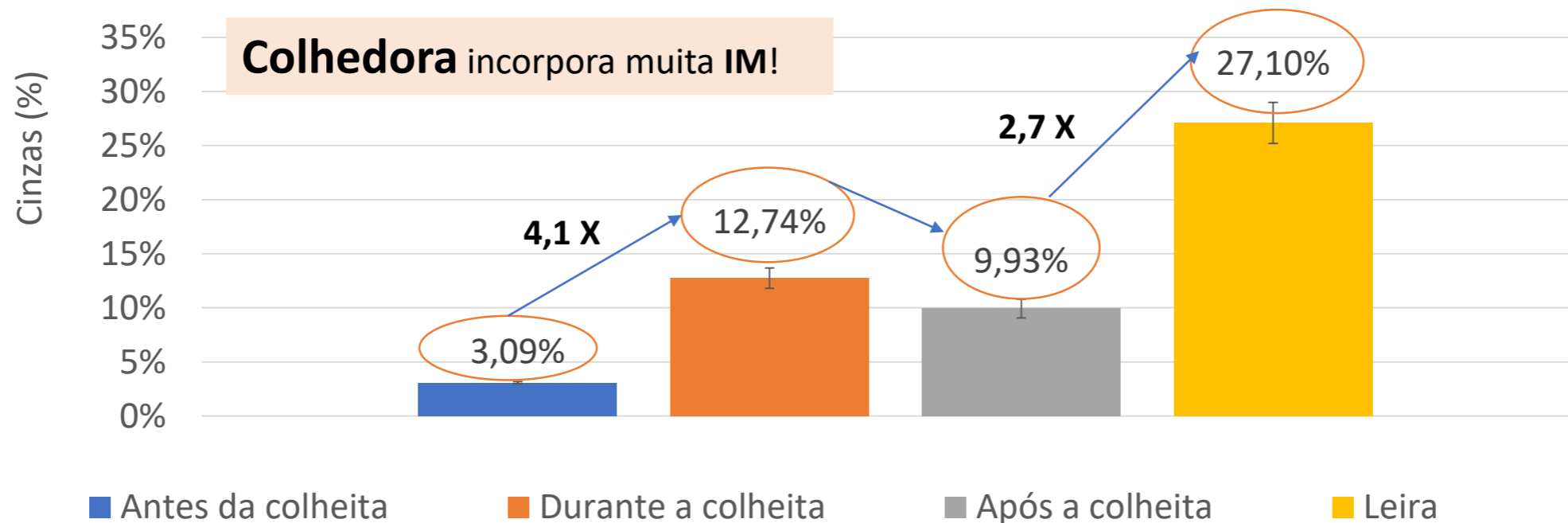
Incorporação de Cinzas no Campo

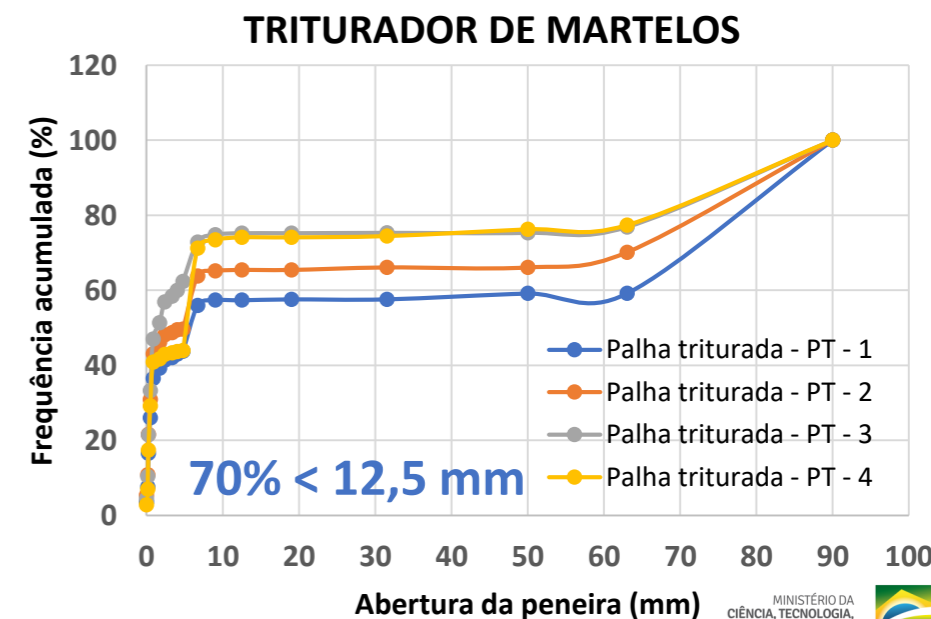
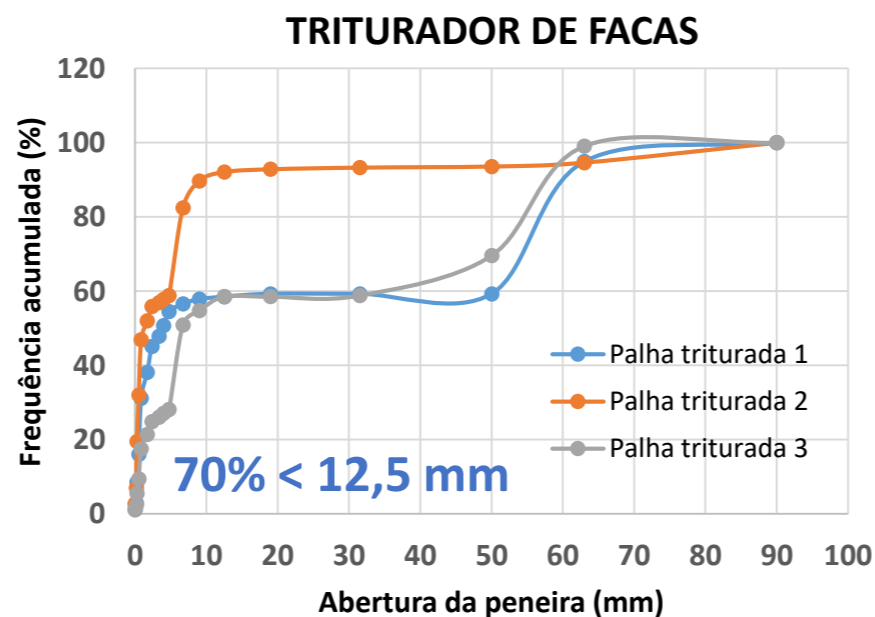
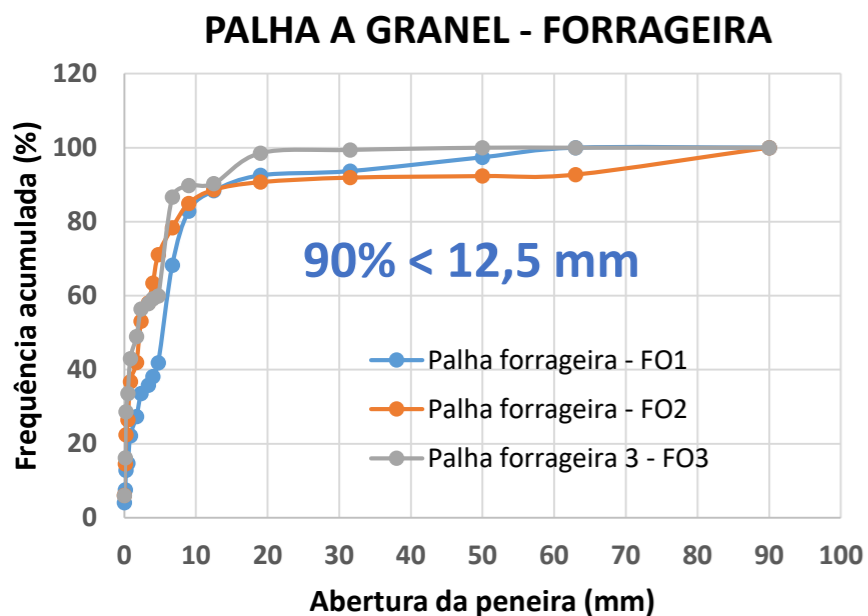
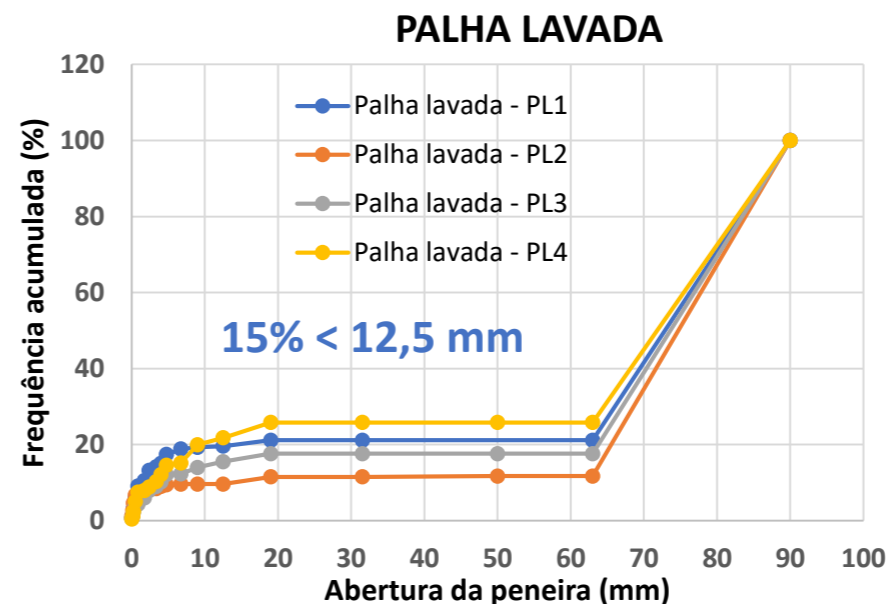
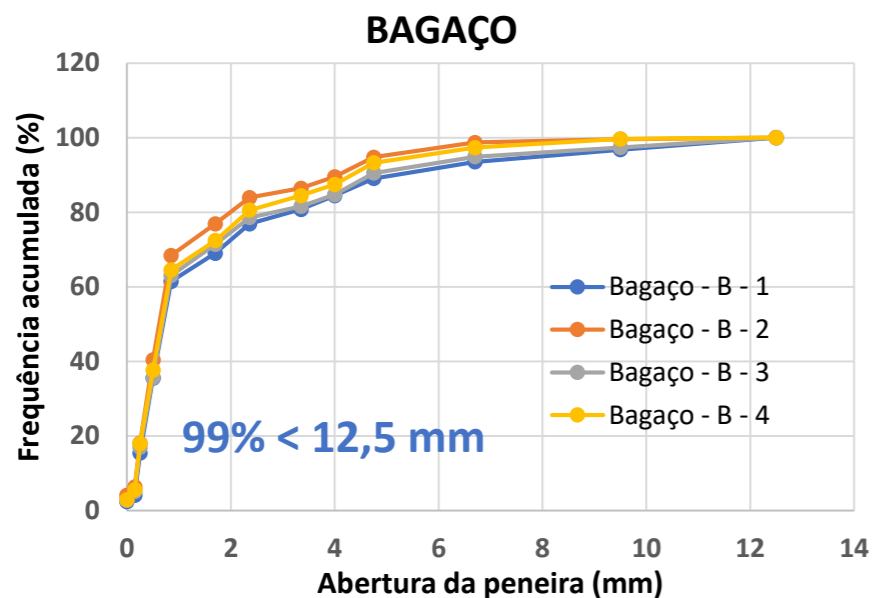
Aleiramento da palha

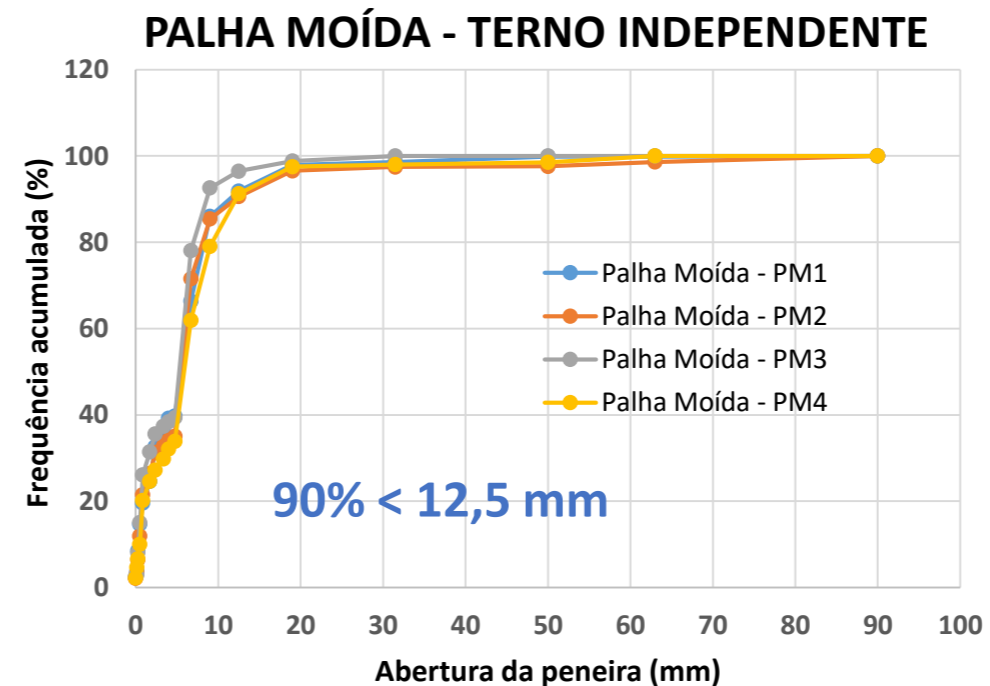
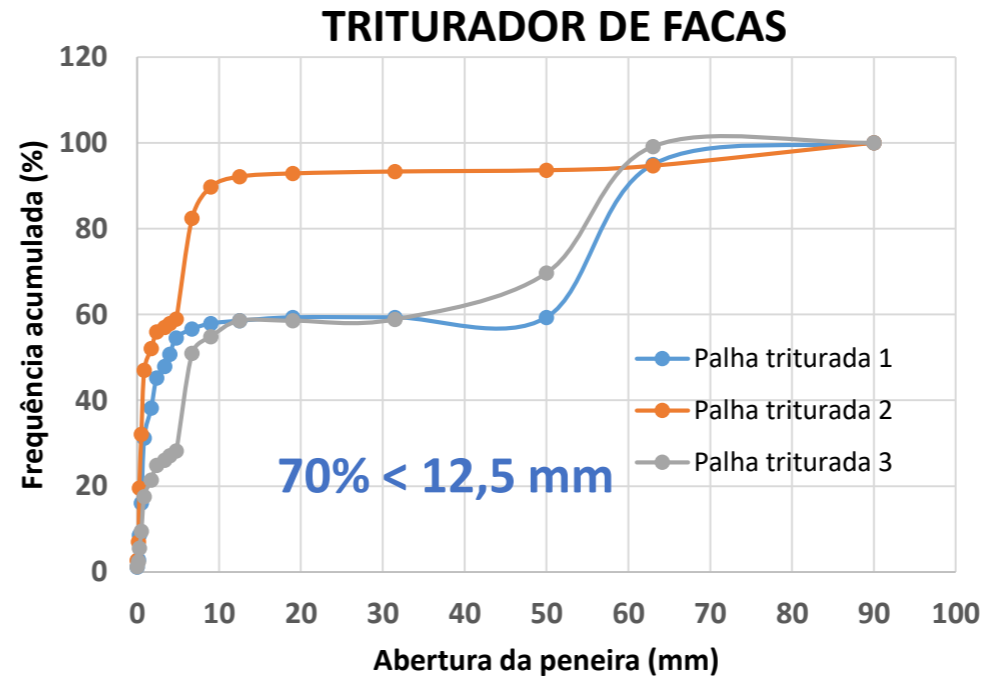
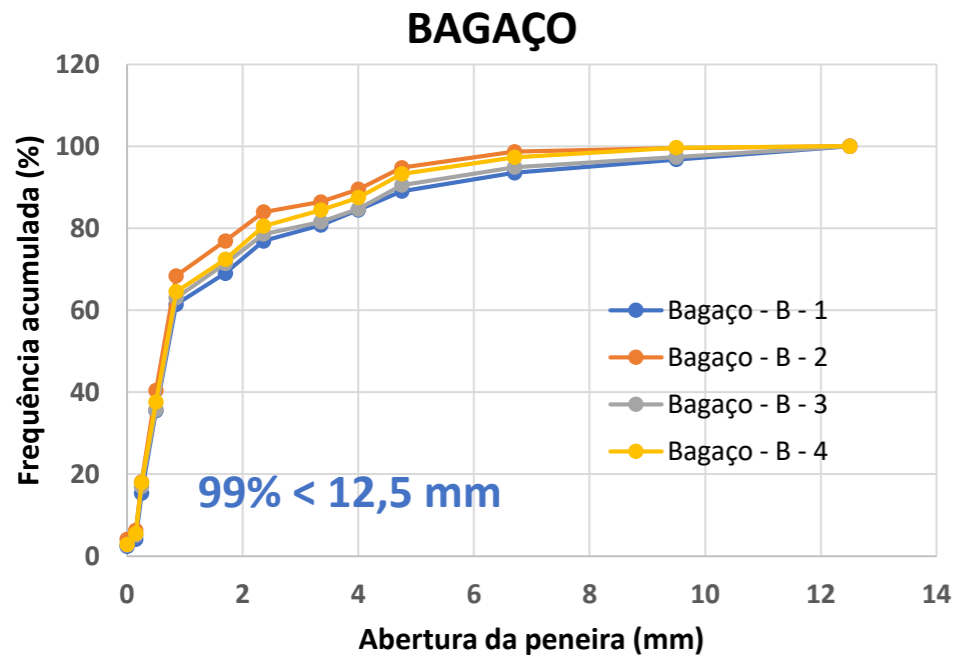


Incorporação de Cinzas no Campo

Onde está o aumento no teor de cinzas?

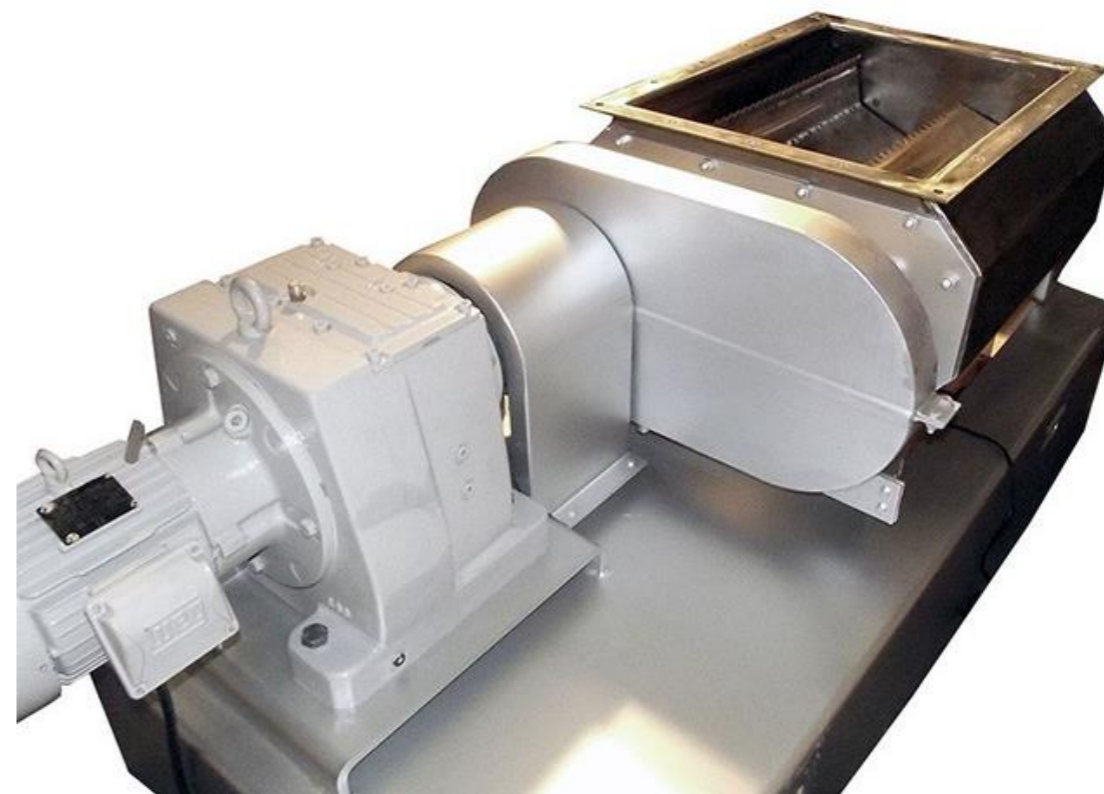




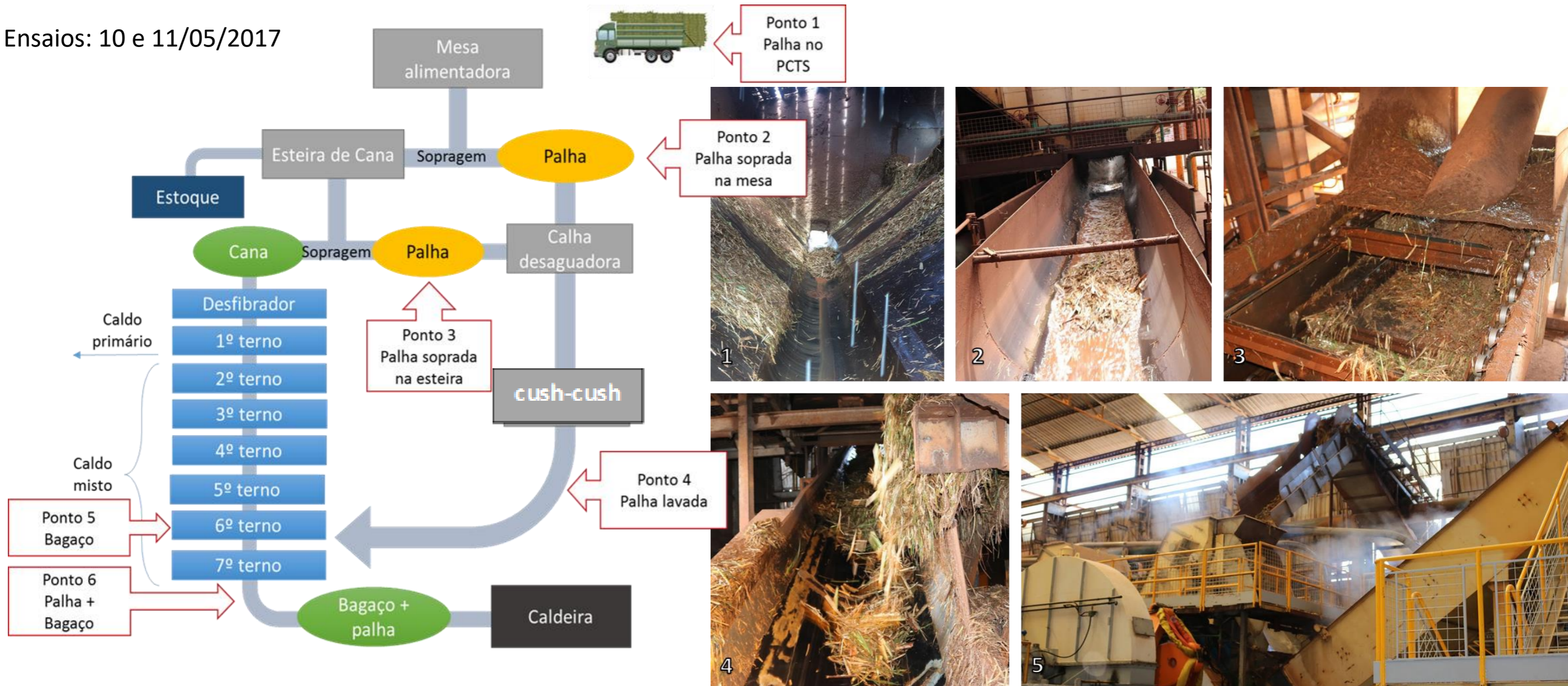




Fonte: Caldema



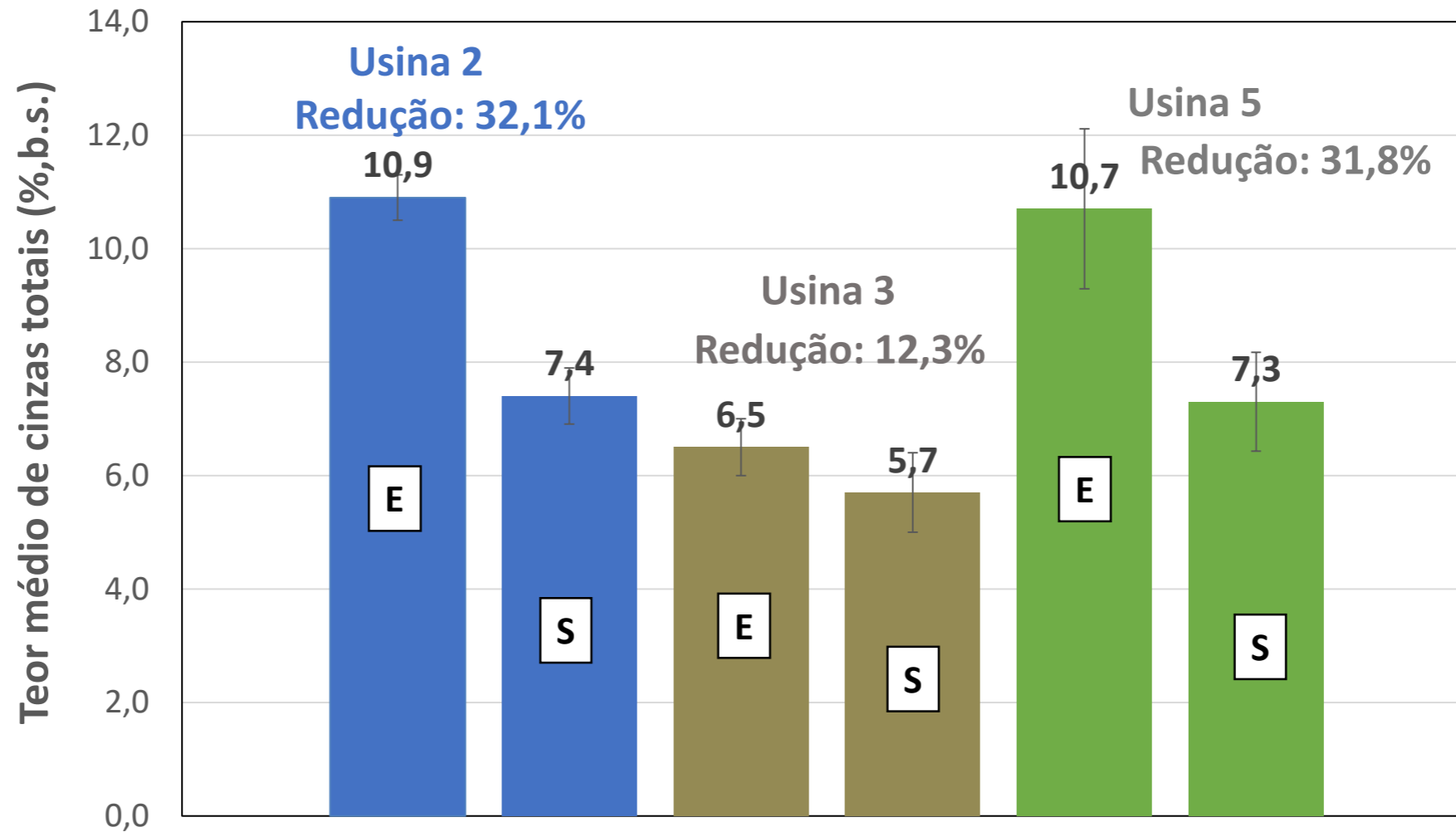
Ensaios: 10 e 11/05/2017



Fotos: palha soprada (1), lavagem e transporte via úmida (2), drenagem no cush-cush (3), esteira de transporte (4), tombo na entrada do sexto terno da moenda (5).

Resultados – Cinzas Totais

Circuito de Processamento de Fardos

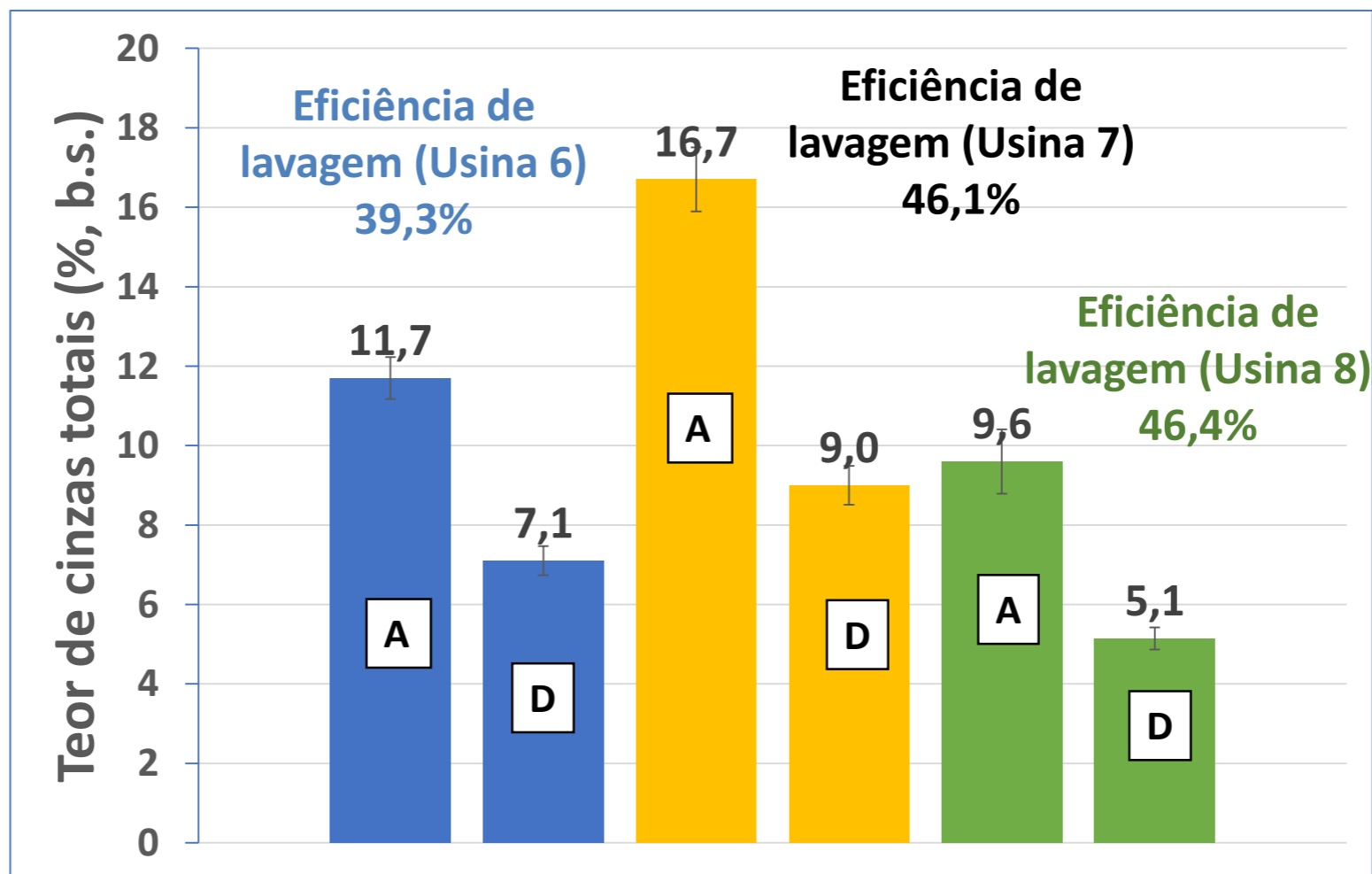


E = Entrada S = Saída

Remoção de Cinzas por Lavagem

Processamento de Palha Separada pelo Sistema de Limpeza a Seco - Lavagem

A = Antes da lavagem
D = Depois da lavagem



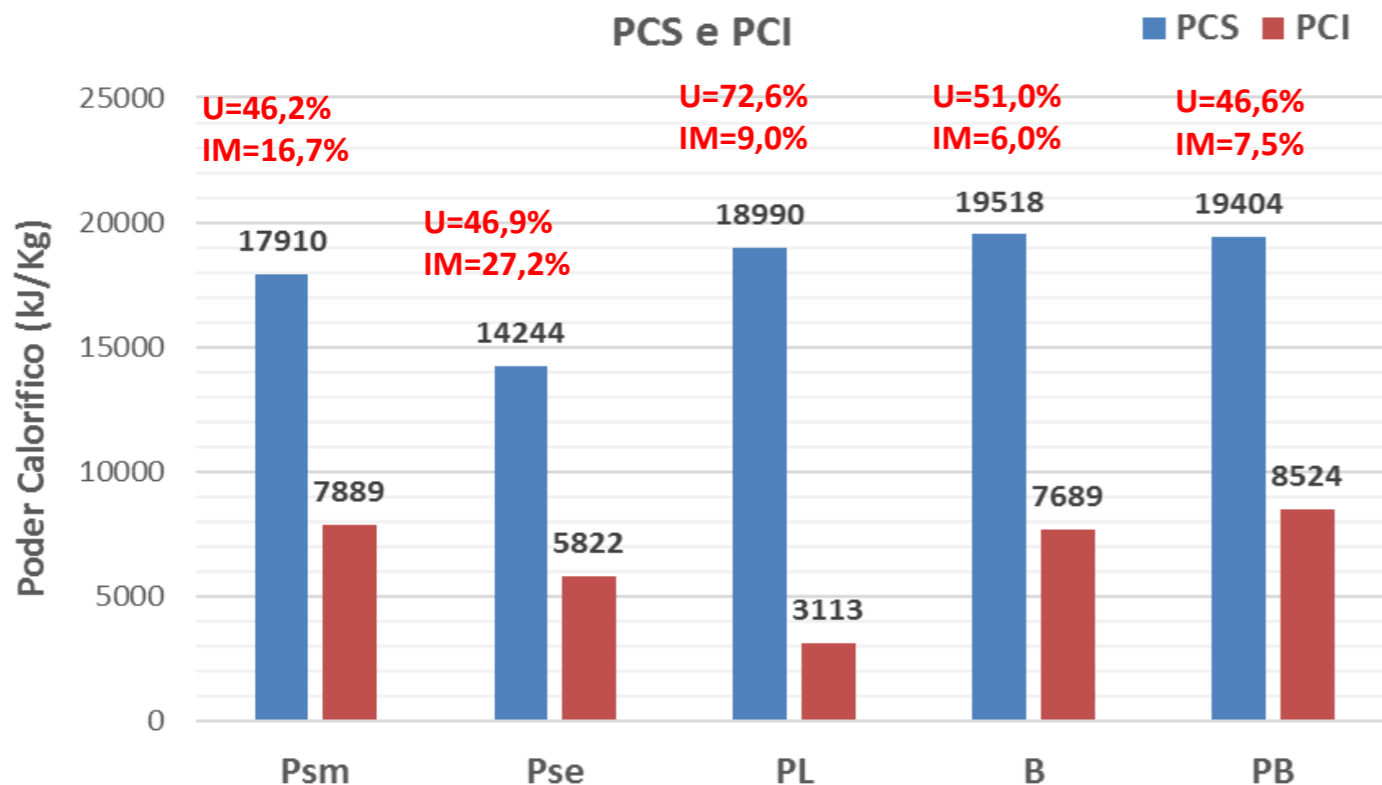
**Picos de até
79% de
eficiência!**

- Aumento do custo logístico;
- Desgaste de equipamentos;

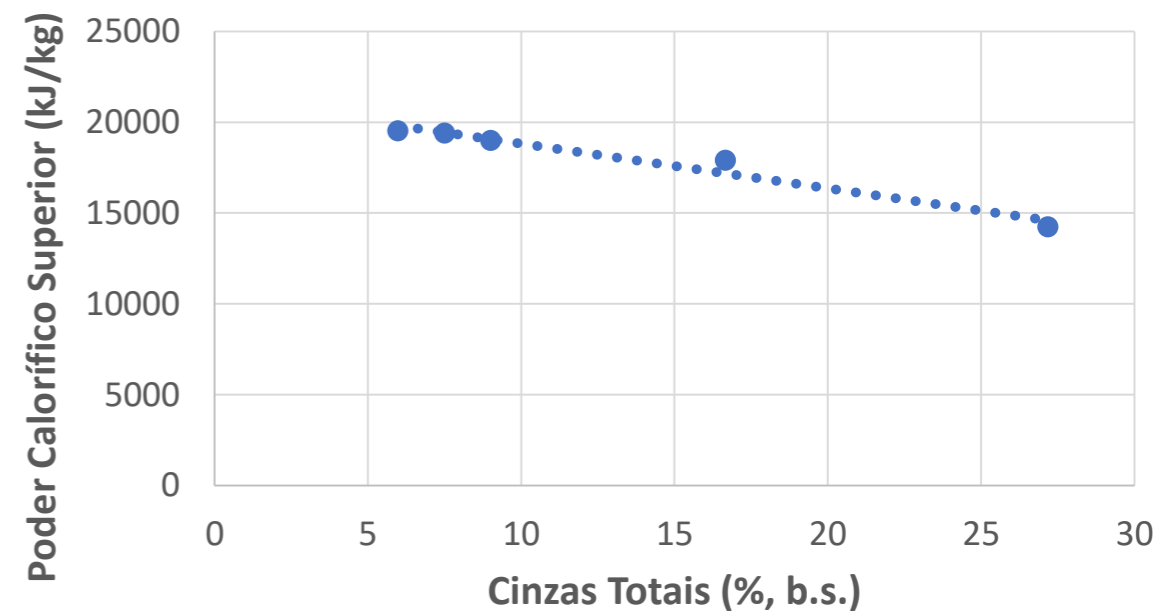


Resultados – Poder Calorífico

Dados Usina 7 (SLS com lavagem de palha)



Cinzas Totais X Poder Calorífico Superior



Psm = palha soprada na mesa alimentadora

PSe = palha soprada na esteira

PL = palha lavada

B = bagaço (6º terno)

PB = mistura palha e bagaço (7º terno)

↑ 10 % de Cinzas, ↓ 5000 kJ/kg no PCS

Elementos/ componente	Efeitos	Concentrações típicas ¹ (m%, b.s.)	Valores de referência-Normas ²
Cloro (Cl)	Formação de HCl, corrosão e emissão de dioxinas	0,2 – 2,0	< 0,03
Enxofre (S)	Incrustações, reage com metais alcalinos produzindo sulfatos	0 – 0,2	< 0,04
Potássio (K)	Incrustações e abaixamento do ponto de fusão das cinzas	0,6 – 2,0	< 0,03
Nitrogênio (N)	Emissões de NOx	0,1 – 2,0	< 1,0
Cinzas	Diminuição da eficiência e aumento dos custos	1 - 15	< 3,0

¹Valores encontrados em biomassas no geral

²Fonte: Meesters K, Elbersen W, van der Hoogt P, Hristov H. Biomass pre-treatment for bioenergy. IEA Bioenergy 2018

Óxido (m%, b.s.)*	Bagaço	Palha	Superaquecedor	Economizador
SiO₂	70,6	28,1	20,6	29,2
K₂O	8,3	26,5	31,7	20,3
CaO	3,4	12,6	7,3	10,4
Al ₂ O ₃	7,2	8,3	6,0	8,4
MgO	1,6	6,3	2,9	4,5
SO₃	2,0	7,7	25,4	8,9
P ₂ O ₅	2,4	4,7	2,6	3,4
Fe ₂ O ₃	2,7	1,8	1,3	6,8
Cl	0,2	2,3	0,3	6,1
TiO ₂	0,8	0,6	0,6	0,9
Na ₂ O	0,3	0,7	1,0	0,8
Cr ₂ O ₃	0,2	0,1	0,1	0,0
Outros	0,2	0,2	0,3	0,3

Superaquecedor (T~ 800-700°C)



K₂O
SO₃
SiO₂

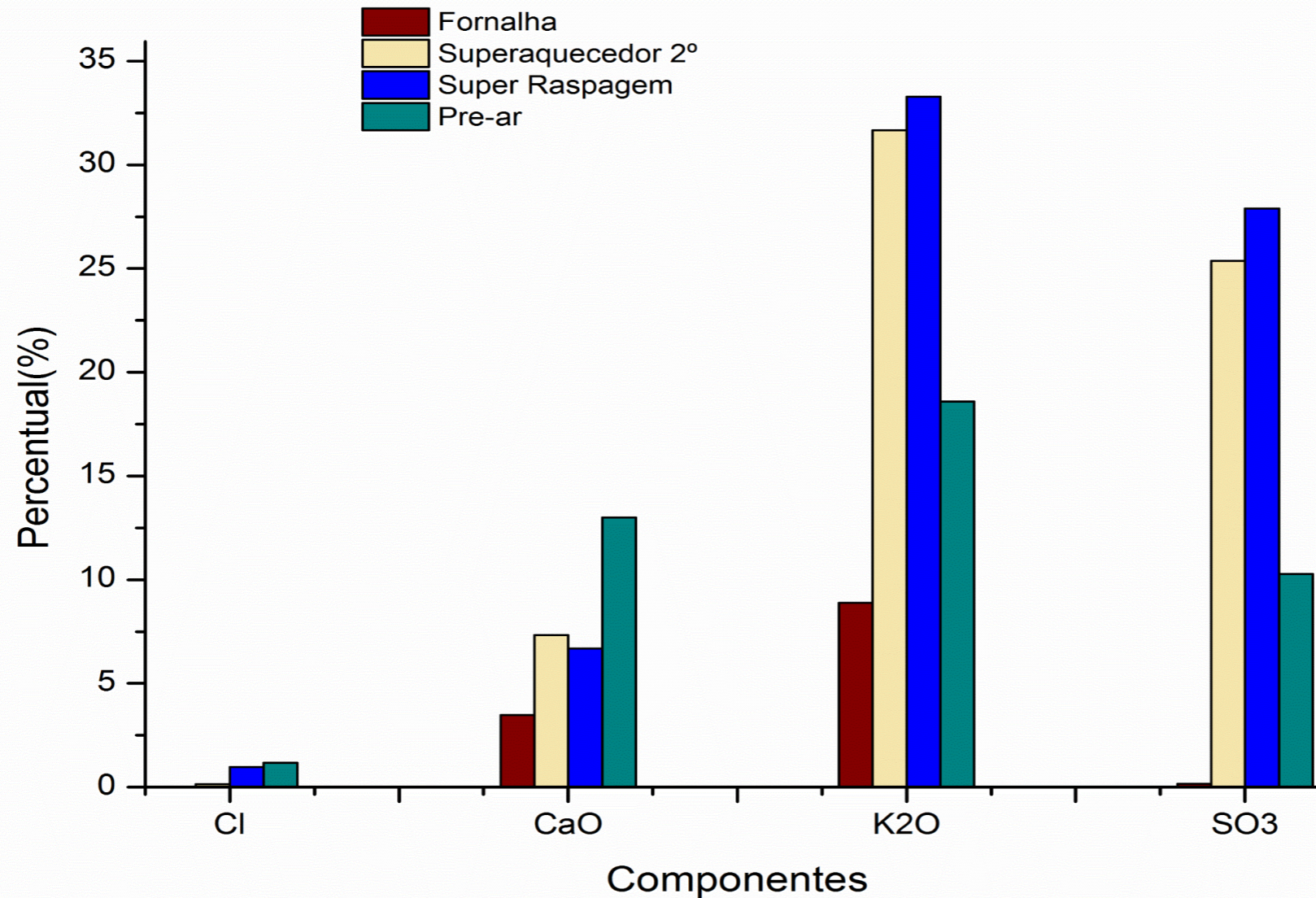


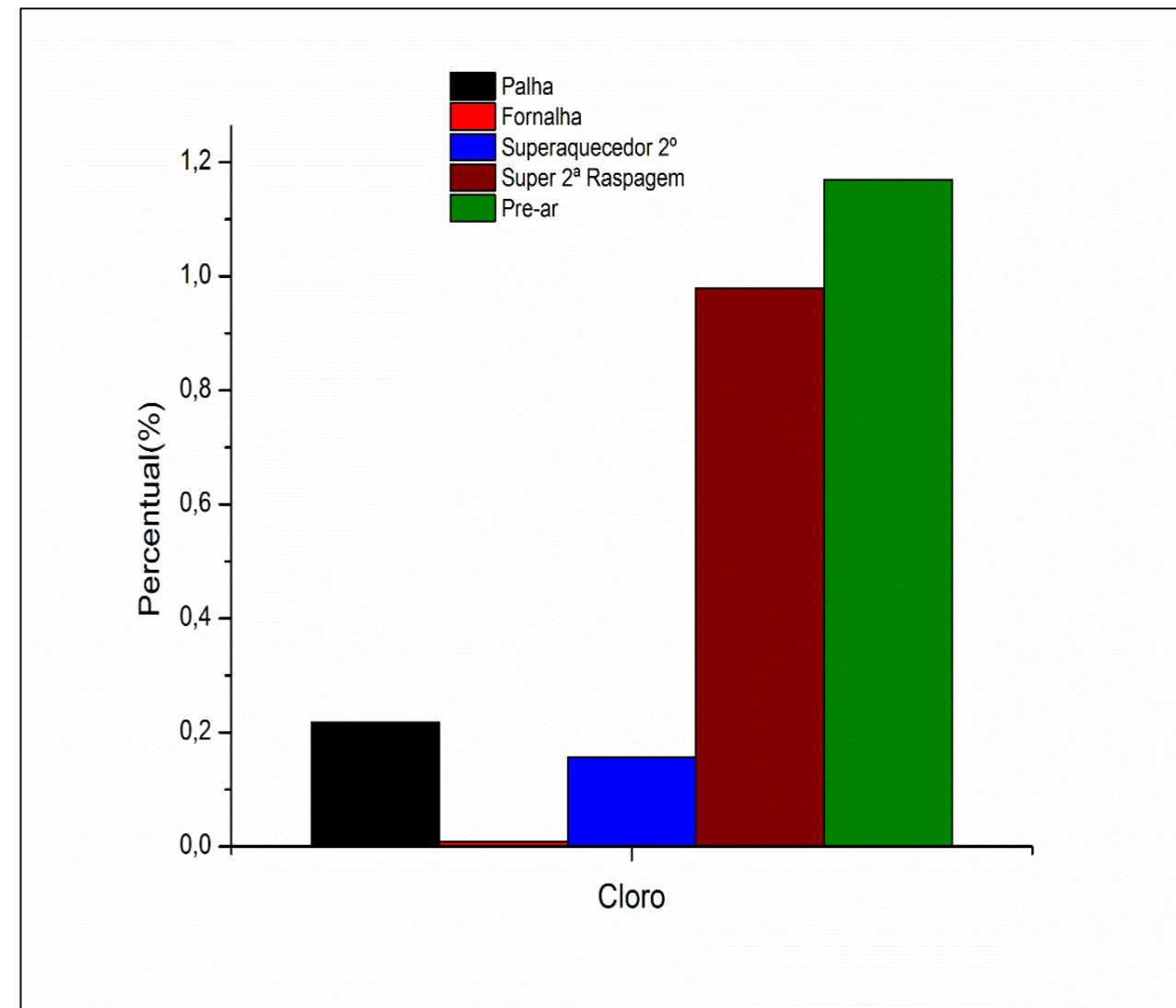
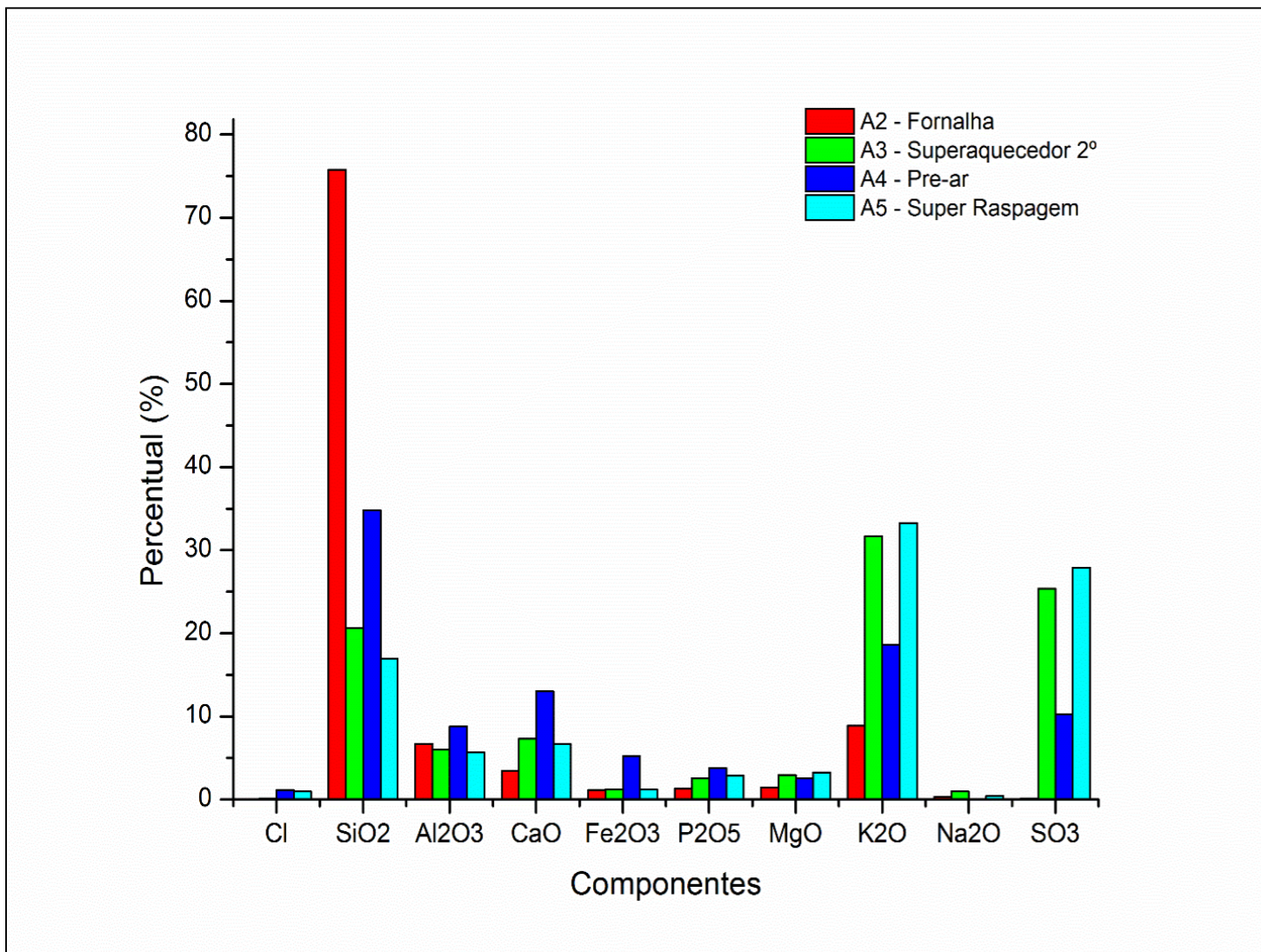
SiO₂
K₂O
SO₃
Cl

*g óxido/100 g de cinzas; técnica: Fluorescência de raios-X

Economizador (T~400-300°C)

Concentração dos principais componentes das incrustações.

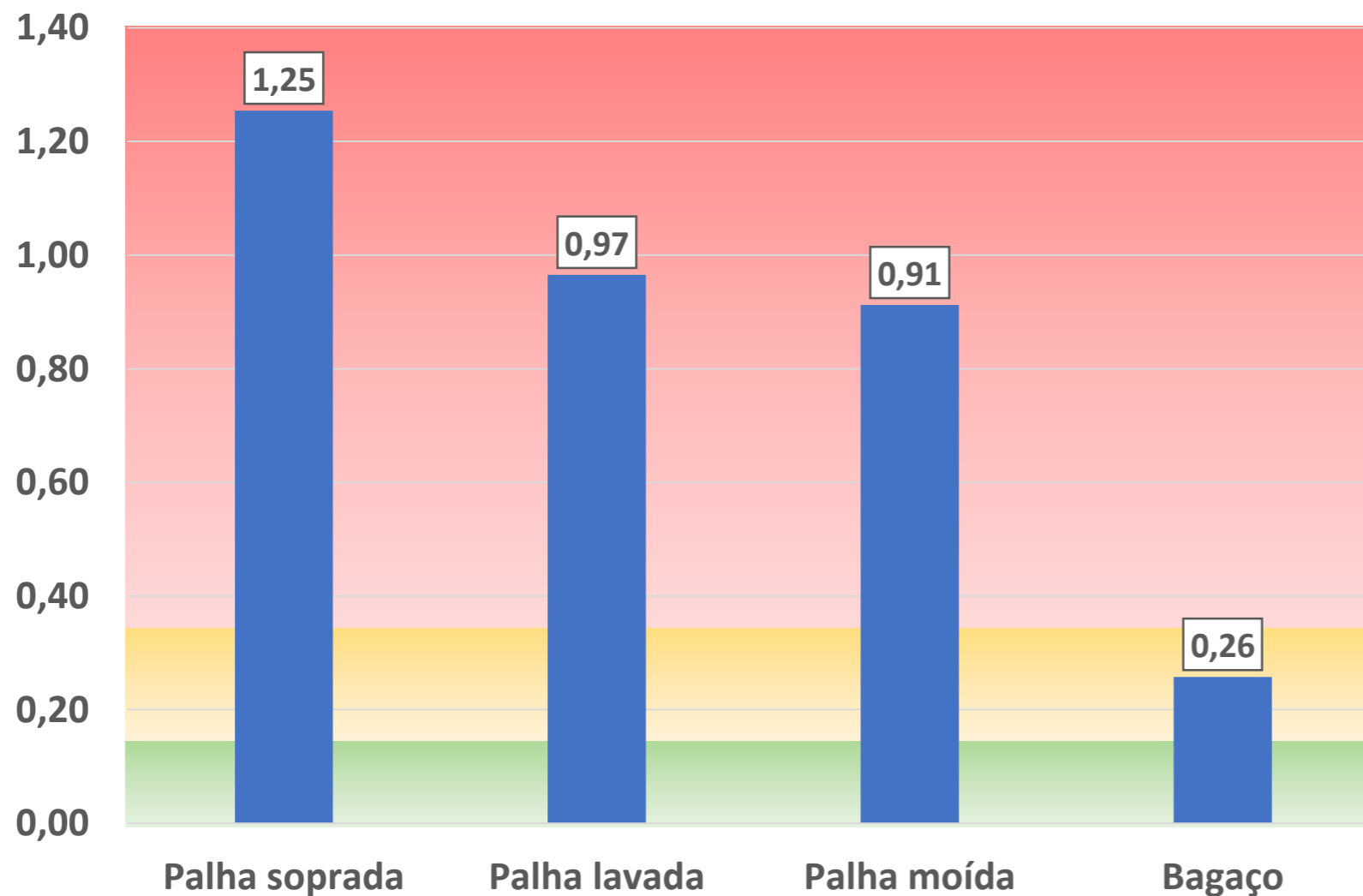




$$\text{Índice de alcalinidade} = \frac{1 \times 10^3}{PCS} * \left(\frac{\% \text{ cinzas}}{100} \right) * \left(\frac{\% Na_2O + \% K_2O}{100} \right)$$

Índice de alcalinidade:

Índice de Alcalinidade [kg (Na₂O + K₂O) GJ⁻¹]



IA > 0,34 probabilidade alta

0,17 < IA < 0,34 probabilidade média

IA < 0,17 probabilidade baixa

- A palha e o bagaço tem diferenças marcantes quando avaliados como combustíveis sólidos para caldeiras.
- Os pontos mais evidentes são o maior teor de impurezas minerais e menor umidade da palha e a granulometria mais grosseira da palha, mesmo quando triturada.
- Uma questão que não é muito evidente são os teores mais elevados de K, Cl, S e Si na palha que causam sérios problemas de depósito, corrosão e fusão de cinzas.
- Este ponto acima pode inviabilizar uso de % de palha maiores que 10% na biomassa alimentada na caldeira convencional.
- A lixiviação destes elementos por meio da trituração e lavagem da palha em condições adequadas pode reduzir os teores para níveis aceitáveis.
- Esta questão merece ser mais bem explorada.



Biomass pre-treatment for bioenergy

Case study 5: Leaching as a biomass pre-treatment method for herbaceous biomass. Sugar cane trash and palm oil mill residues.

Pressed, dried and milled EFB

IEA Bioenergy

InterTask project on Fuel pretreatment of biomass residues in the supply chain for thermal conversion

CONTATOS

Email: regis.leal@lnbr.cnpem.br

Fone: +55 19 3518-3170



Obrigado

Apoio



Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET



CNPEM
Centro Nacional de Pesquisa
em Energia e Materiais

Organização

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

