

Nº 176763

Importância da caracterização de biomassa e resíduos para fins energéticos: ênfase no poder calorífico

Jorge Luis Dias dos Santos
Marcelo Aparecido Mendonça

*Palestra apresentado ASTRO 34 Soluções Inovadoras
para Melhorar o Mundo, São Paulo, 2020. “on line” 2 partes*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

“Importância da Caracterização de biomassa e resíduos para fins energéticos – ênfase no poder calorífico”

Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes

São Paulo, 27 de maio de 2020



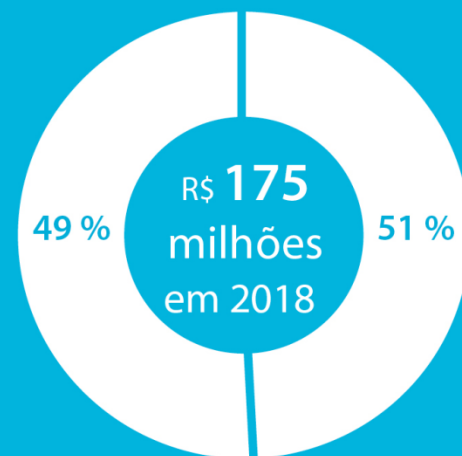
PROGRAMA

- ✓ IPT/LCL
- ✓ INTRODUÇÃO
- ✓ CARACTERIZAÇÃO
- ✓ Potencial
Energético



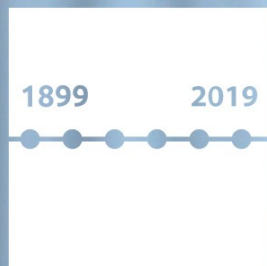
somos uma
empresa estatal
de pesquisa

[51 % de nossa receita
vem do Governo do
Estado de São Paulo

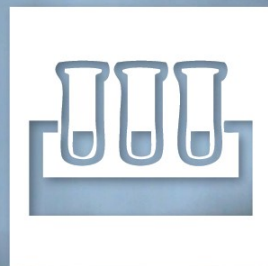


[49 % vem da venda de
serviços e projetos para
o setor público e privado

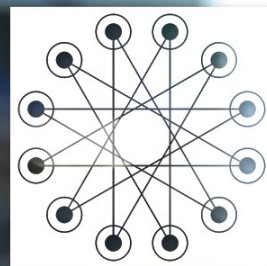
dados rápidos



120
anos de existência



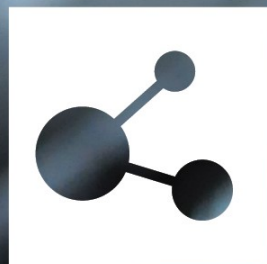
37
laboratórios



12
centros
tecnológicos



>1000
profissionais



>2900
clientes atendidos*



>20500
documentos
técnicos emitidos*



>4000
notícias veiculadas
na mídia*



35 %
da receita com
projetos de
inovação

*em 2018

onde estamos

Campus São Paulo

103,5 mil m²
de área contruída

LCL



Interior



Franca

Lab. de Calçados
e Produtos de Proteção

São Paulo

S. José dos Campos

Lab. de Estruturas Leves



ipt

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

o que fazemos

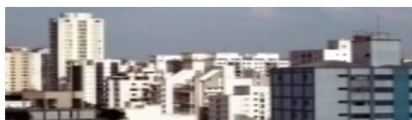


Sobre o IPT – Soluções tecnológicas

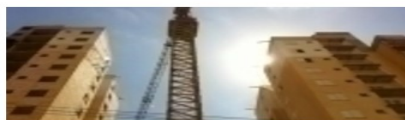
Nossas soluções para:



Bionanomanufatura



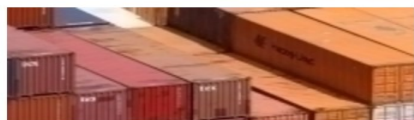
Cidades



Construção Civil e Edificações



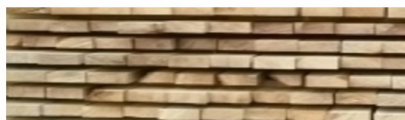
Energia



Importação e Exportação



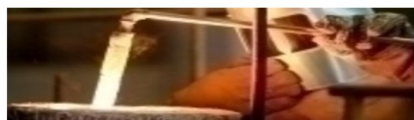
Indústria



Madeira, Papel e Celulose



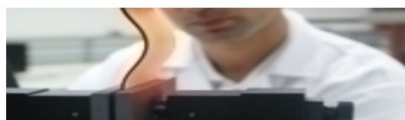
Meio Ambiente



Metalurgia e siderurgia



Metrologia e Sistemas de Medição



Micro e Pequenas Empresas



Mineração



Petróleo e Gás



Saúde



Segurança



Setor Público



Tecnologia da Informação e Comunicação



Têxteis, Couros e Calçados



Transportes

**AÇÕES EMERGENCIAIS
COVID-19**

Histórico LCL



Contrato com a ANP para o PMQC na região de São Paulo



Caracterização de forma indireta e (infravermelho)



Programa IPT de apoio às prefeituras nas decisões relativas a resíduos sólidos urbanos

Fundação do LCL



1950

2002

2012

2014

2015

2016

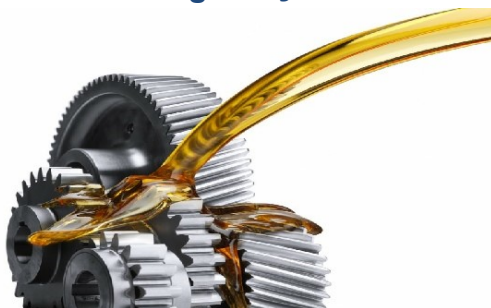
Hoje...

Reinauguração do LCL

Ampliação do escopo do laboratório para análises em biomassa



Desenvolvimento e caracterização de novos lubrificantes e estudo de degradação



Linha de atuação em projetos P&D&I



20 colaboradores

430 m²

PROJETOS DE PD&I EM BIOMASSA

Diretrizes para manejo, cultivo e produtividade;

Processo termoquímico e eficiência energética;

Gestão e armazenagem da biomassa;

Avaliação, definição e caracterização;

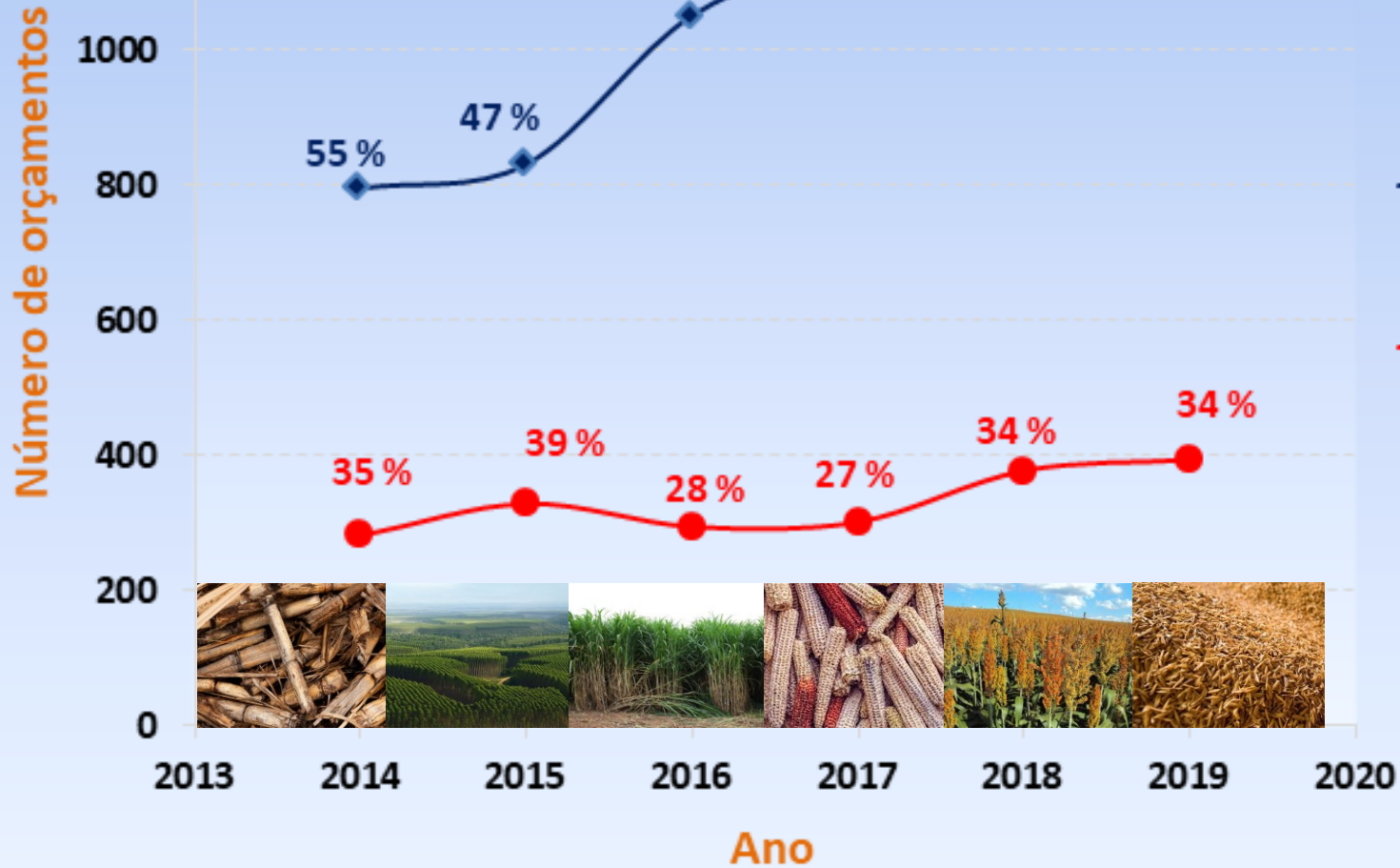
Pré - Tratamento retirando inorgânicos;

Compactação favorecendo a logística;

Estudo de viabilidade econômica.



Demanda de biomassa no LCL (ENSAIOS)



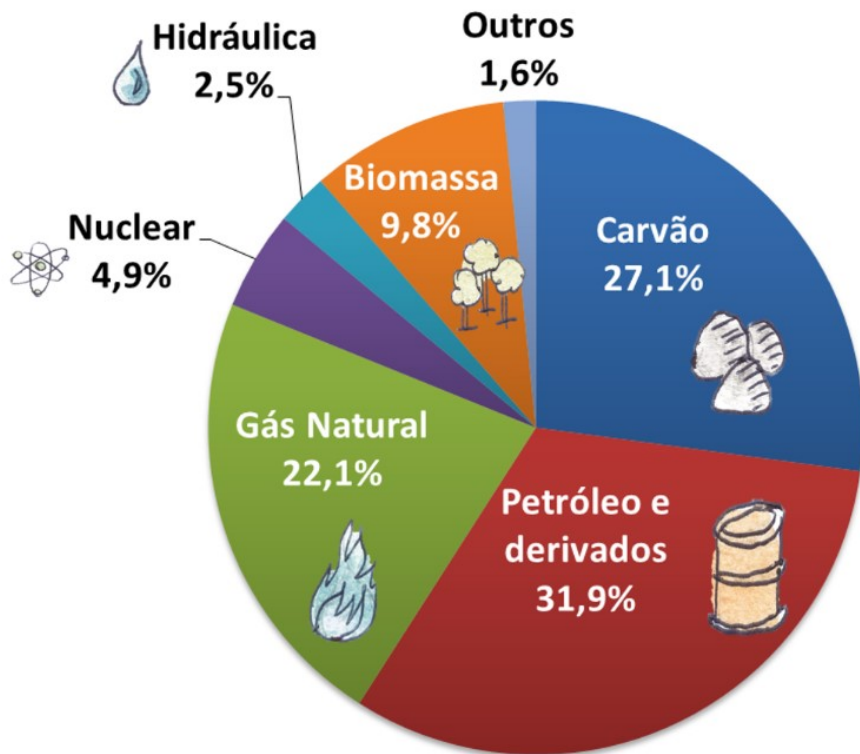
Nossa razão de existir:



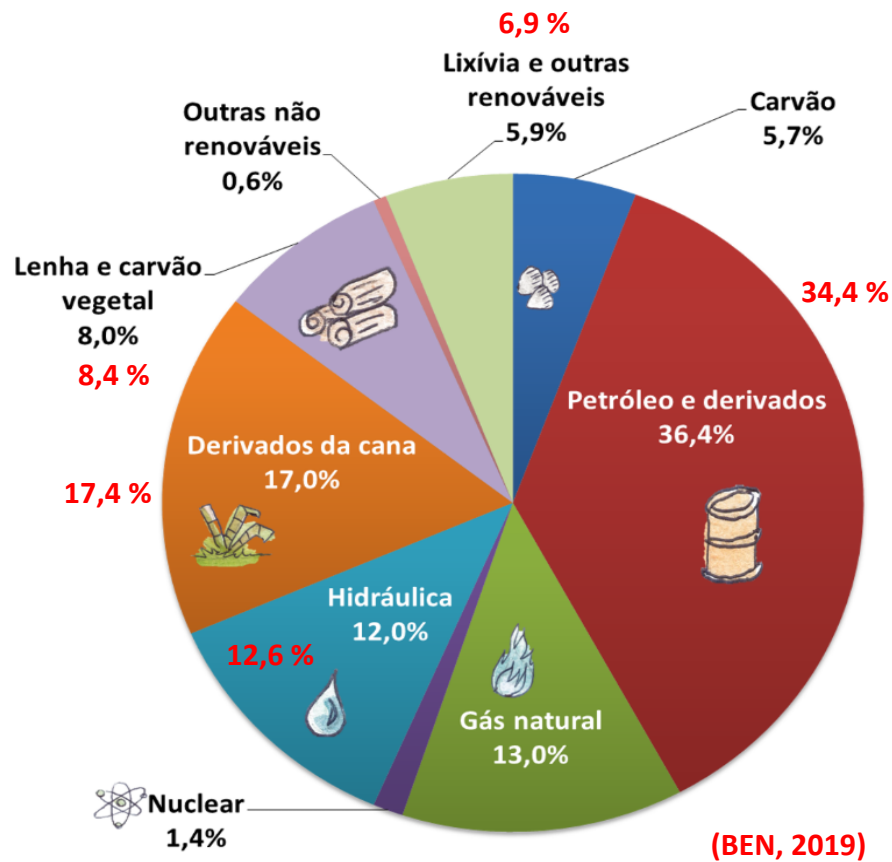
São mais de
300 clientes
Aproximadamente
1.800 relatórios por ano



Matriz energética



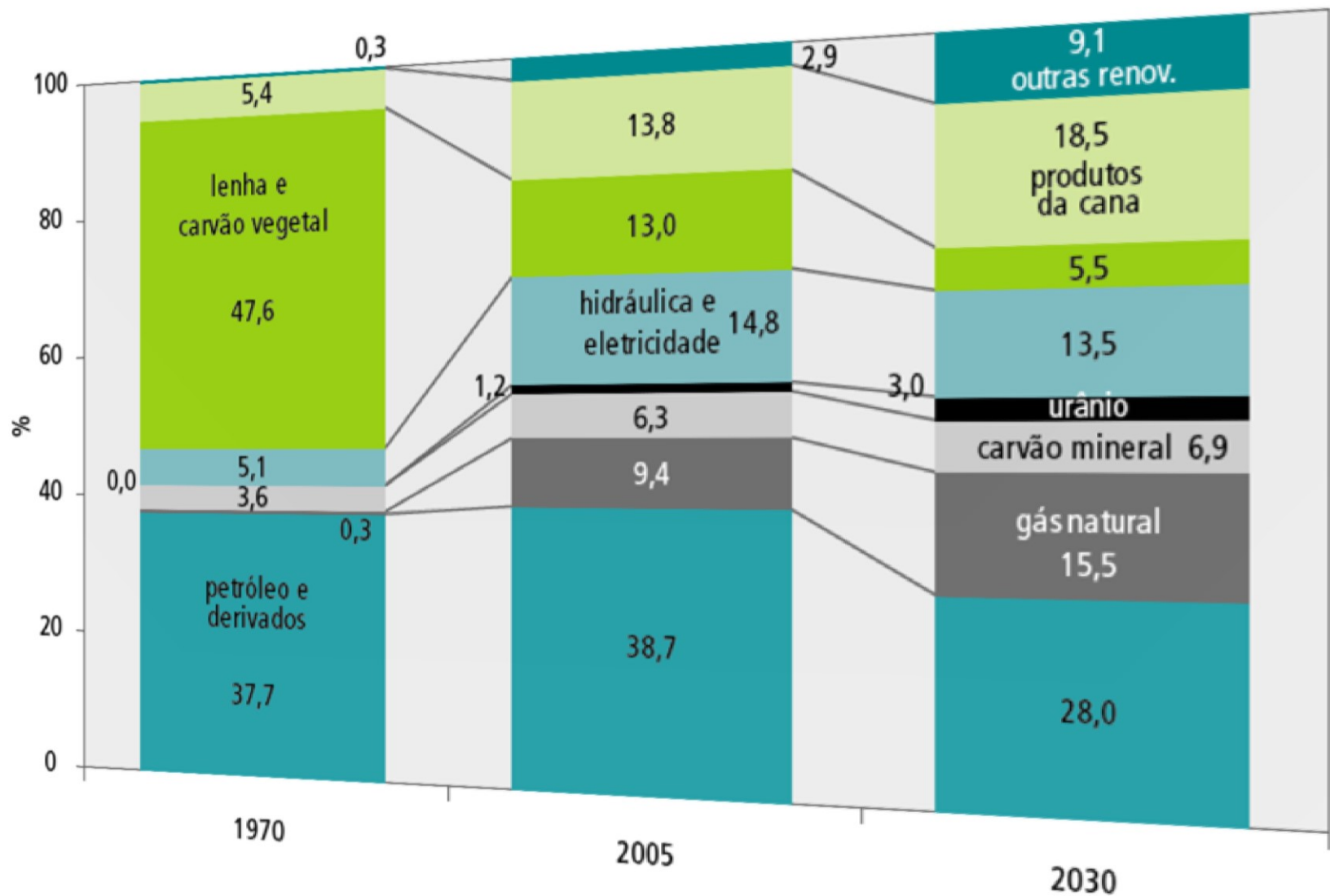
Matriz Energética Mundial 2016 (IEA, 2018)



Matriz Energética Brasileira 2017 (BEN, 2018)

Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

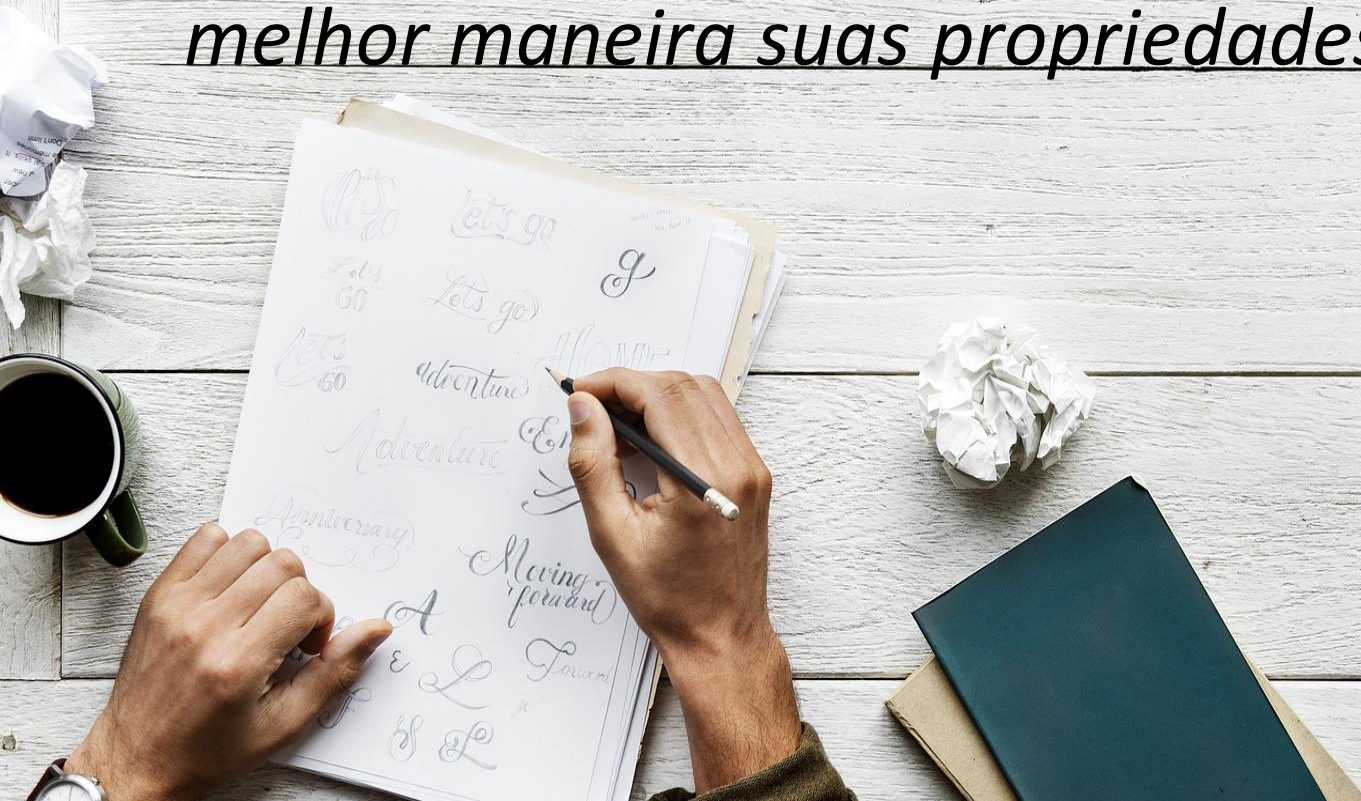
Evolução da matriz energética brasileira (Fonte MME - PNE2030)



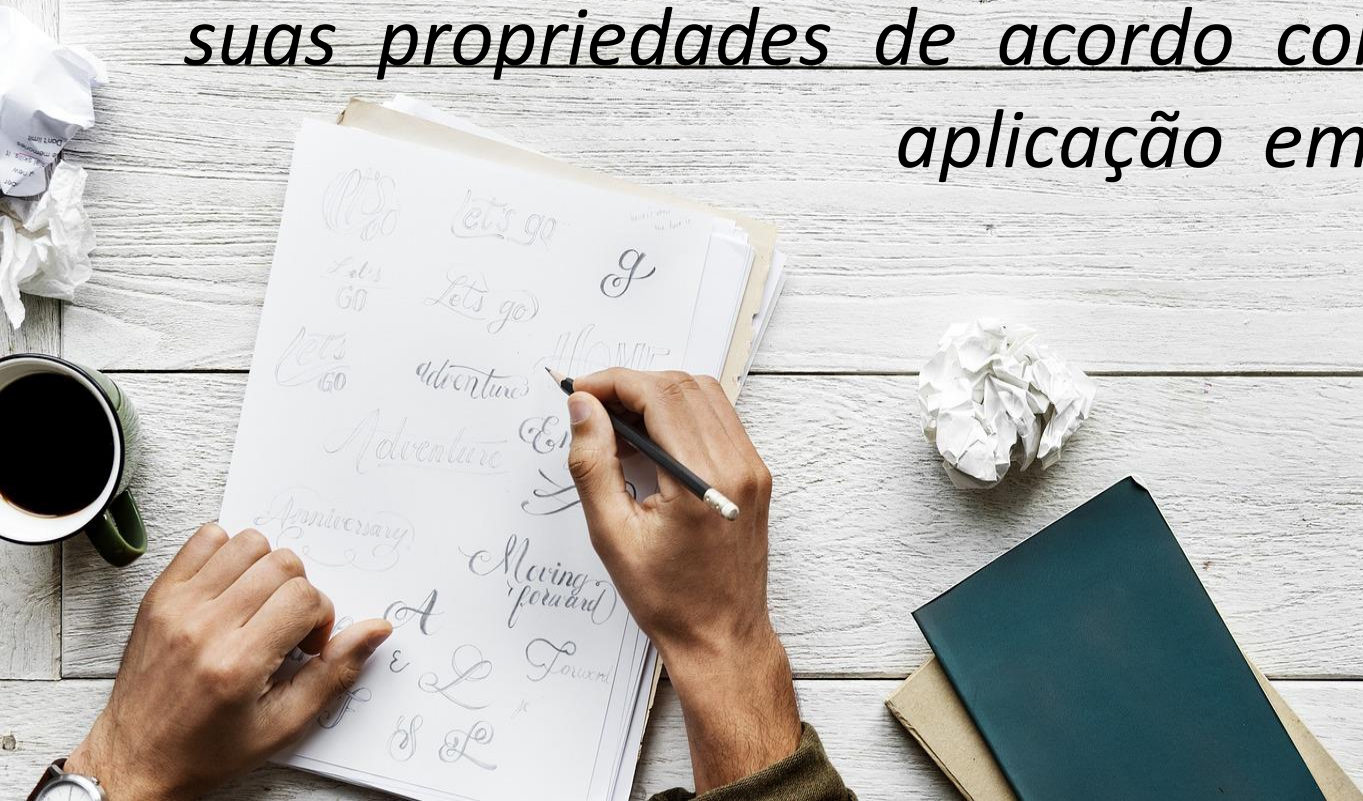
Importância da caracterização de biomassa e resíduos para fins energéticos



Caracterização é o trabalho que se tem no início para descobrir profundamente as particularidades de um material a fim de compreender e aproveitar ao máximo e da melhor maneira suas propriedades



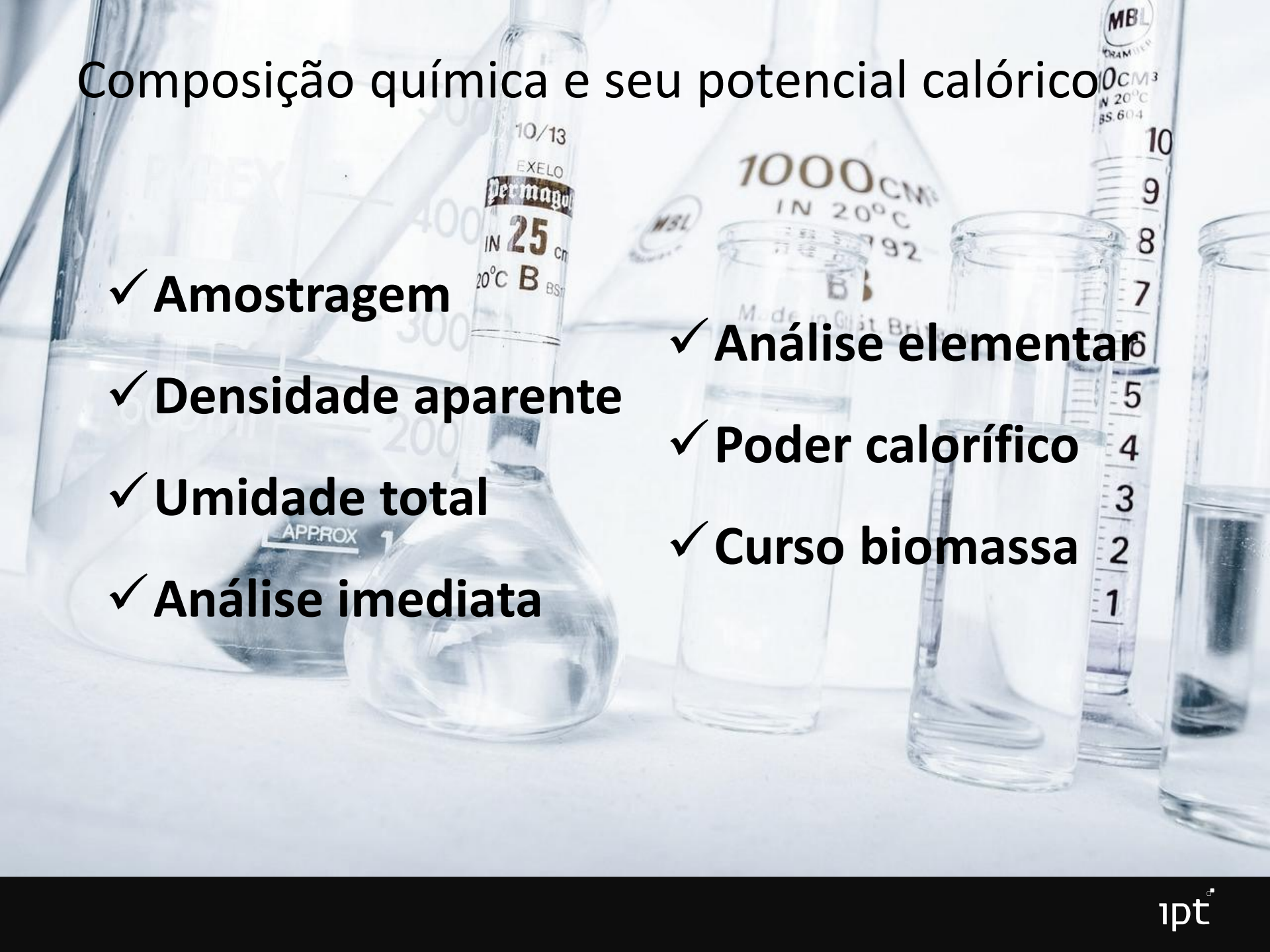
Visando obter um aproveitamento mais eficiente de qualquer material sólido polidisperso em suas mais diversas aplicações, é necessário realizar a seleção de suas propriedades de acordo com cada aplicação em particular.



Normas - Técnicas



Composição química e seu potencial calórico

The background of the slide features a collection of laboratory glassware, including a large Erlenmeyer flask on the left, a graduated cylinder in the center, and several test tubes on the right. The glassware is partially filled with a clear liquid. The scene is set against a light, neutral background, emphasizing the scientific nature of the content.

- ✓ **Amostragem**
- ✓ **Densidade aparente**
- ✓ **Umidade total**
- ✓ **Análise imediata**
- ✓ **Análise elementar**
- ✓ **Poder calorífico**
- ✓ **Curso biomassa**

Amostragem

A coleta e amostragem do material são fatores que influenciam diretamente nos ensaios realizados

5 % dos testes e ensaios;

15 % da preparação da amostra;

80 % da amostragem

Fonte: www.ofi.at
CEN TC 335



Amostragem

De onde coletar e qual método

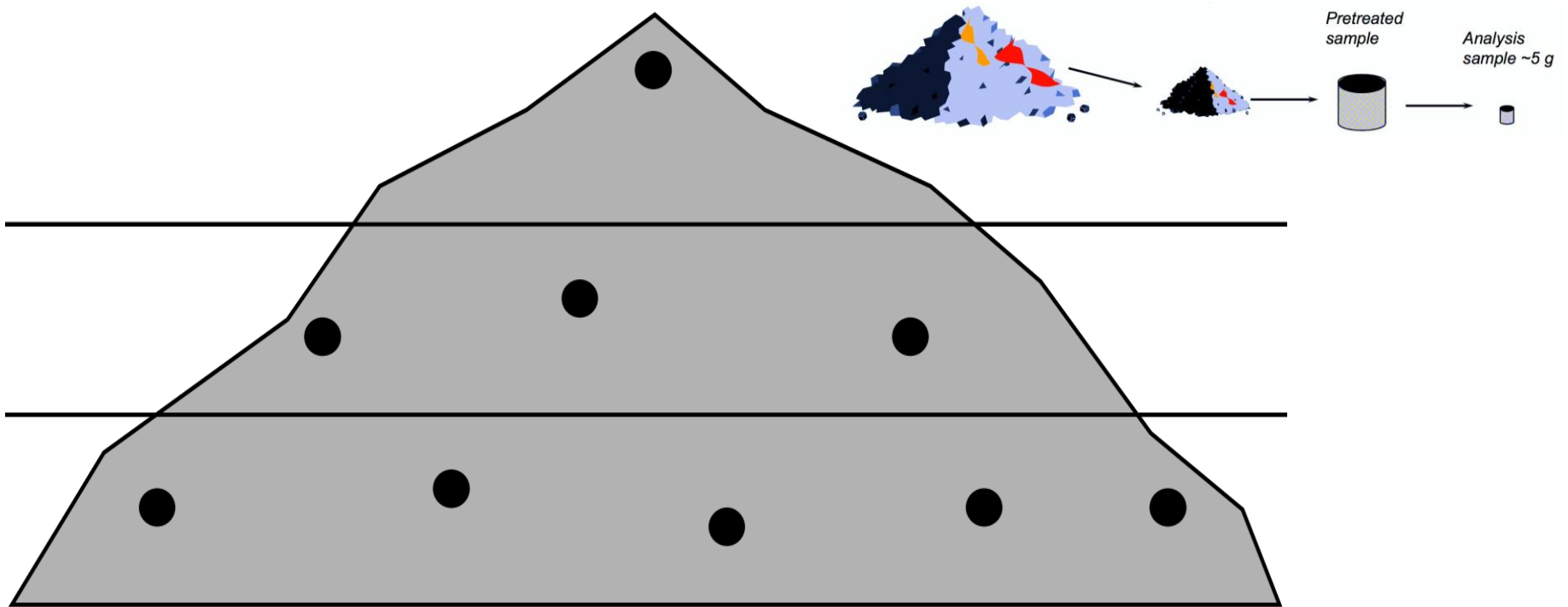


Fonte: serrariatravessao.com.br

Amostragem

DIN EN 14778:2011 – Solid Biofuels – Sampling

DIN EN 14780:2011 – Solid biofuels – sample preparation



Pontos de coleta de amostragem de uma pilha pequena $<100\text{m}^2$

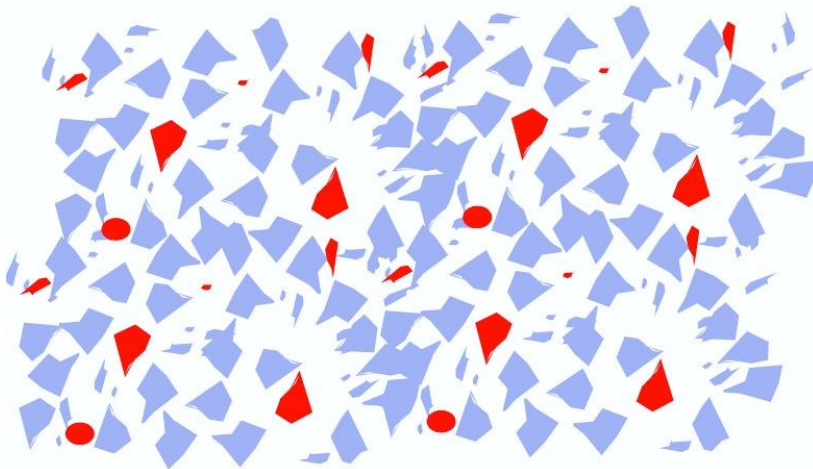
Procedimento de coleta - Quarteamento



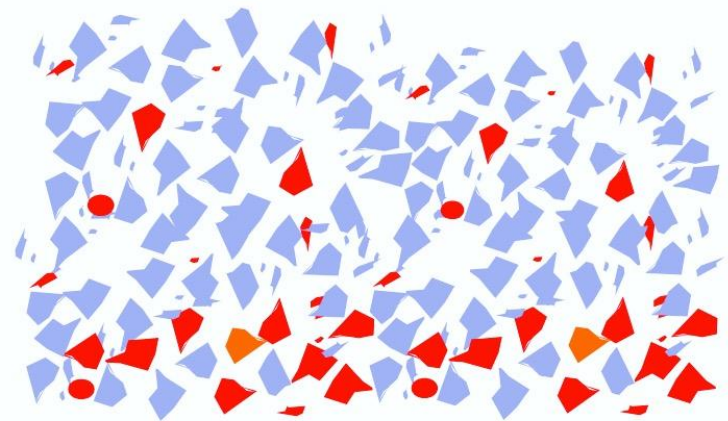
Fonte: IPT

Procedimento de coleta - cuidados

Distribuição original



Distribuição pós-transporte



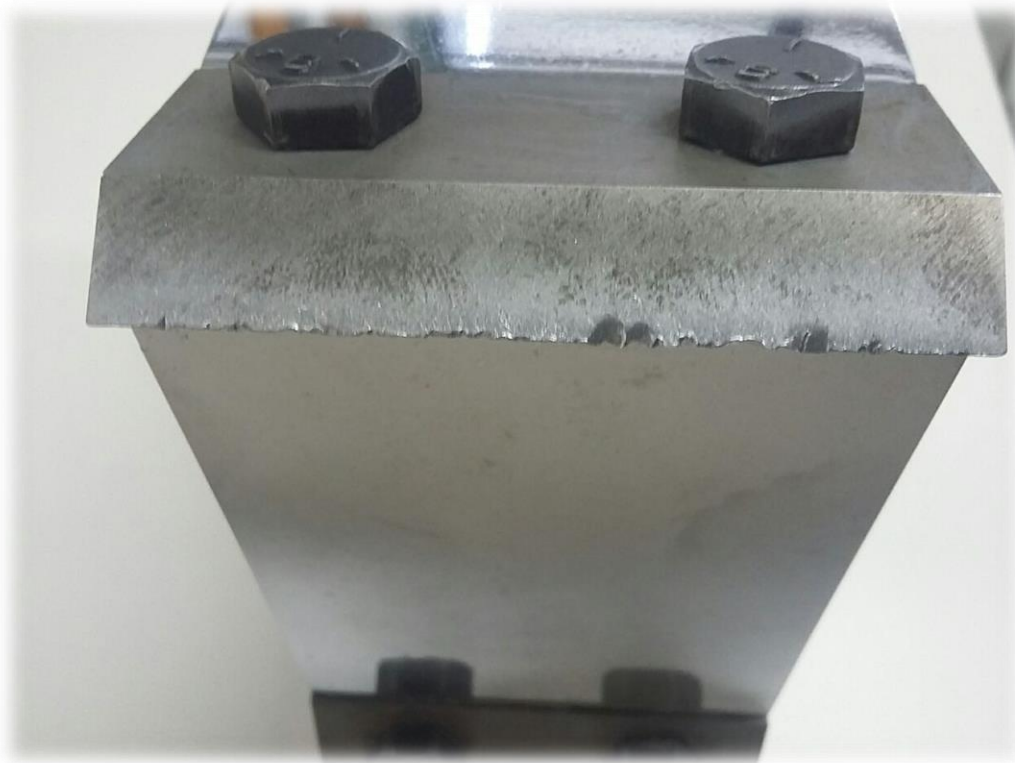
Sedimentação dos finos durante a movimentação e transporte do material

Procedimento de coleta - cuidados



Materiais diferentes (pedras)

Procedimento de coleta - cuidados



Faca do moinho danificada



Fonte: IPT

Procedimento de coleta – cuidados/envio

Para preservar as propriedades físico-químicas da amostra,

- Saco hermeticamente fechado para curto espaço de tempo;
- Saco fechado a vácuo;
- Protegidas da luz direta do sol;
- Se necessário, manter em ambiente refrigerado para evitar atividades biológicas.



Fonte: IPT

Procedimento de coleta – cuidados/armazenamento



Bagaço de cana



Resíduo da produção de café

Fonte: IPT

Determinação da densidade aparente

DIN EN 17828 Solid biofuels – Determination of bulk density



Fonte: Pixabay.com

A densidade energética é uma das principais propriedades que definem a qualidade da biomassa pois resume as características químicas, as condições de umidade e a quantidade de calor do produto final em uma única variável (Souza & Vale, 2016)

- ✓ Recipiente de medição padrão
- ✓ (5 L e 50 L);

Determinação da densidade aparente



Armazenamento

Fonte: Lippel



Transporte

Fonte: Grupocomelli



Densidade energética

Fonte: AgroNovas



Densificação /
redução do volume

Fonte: Biomassa BR

Determinação da umidade

ASTM E871 - Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels

ASTM D1762 - Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal

ASTM D3173 – Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke

ASTM D3302D/3302M – Standard Test Method for Total Moisture in Coal

ISO 18134-1:2015

SOLID BIOFUELS – Determination of moisture content – Oven Dry Method – part 1: Total moisture –Reference Method

A umidade de uma amostra é determinada pela quantidade de perda de massa durante a secagem à 105 °C, utilizando estufa, até atingir a massa constante.

Determinação da umidade

Aplicações:

- Conversão de resultados de ensaios, de base úmida para base seca ou recíproca;
- A presença de umidade reduz o poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la (Quirino et al., 2005);
- Possibilita aplicar ajustes adequados ao teor de umidade do material;
- Parâmetro de qualidade para combustível (Precificação para comercialização)



ANÁLISE IMEDIATA

(SEPARAÇÃO)

**Porcentagem que se queima no estado gasoso
(matéria volátil)**

e no estado sólido (carbono fixo),

**bem como o percentual do material residual
inorgânico (cinzas)**

**Importância quando se almeja o uso energético
do biocombustível.**

(Brito & Barrichelo, 1978)

DETERMINAÇÃO DE MATÉRIAS VOLÁTEIS

ASTM D1762 – Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal

ASTM D3175 - Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke

A matéria volátil é a fração que se desprende do material na forma de gases, quando o mesmo é submetido a um aquecimento de uma amostra previamente seca (SILVA, 2004).



DETERMINAÇÃO DE MATÉRIAS VOLÁTEIS

Aplicações:



Fonte: Pixabay.com

- Parâmetro de qualidade do material para o processo de gaseificação;
- Possibilita, juntamente com o teor de cinzas, determinar o percentual de carbono-fixado;
- Importante durante a ignição e as etapas iniciais de combustão da biomassa.

DETERMINAÇÃO DE CINZAS

- ASTM D1762 – Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal
- ASTM D1755 – Standard Test Method for Ash in Biomass
- ASTM D1755 – Standard Test Method for Ash in Wood
- ASTM D3174 - Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal

É a quantidade de minerais e materiais inorgânicos em uma amostra, ou seja, todo material que não sofre combustão. A presença de material que formam as cinzas é normalmente considerada como impureza ou contaminante.



DETERMINAÇÃO DE CINZAS



Fonte: pedesenvolvimento.com

Aplicações:

- Estimar o volume de material inorgânico;
- Verificar a qualidade do combustível;
- Prever a quantidade de resíduo gerado após a combustão;
- Principais causadores de desgaste nos equipamentos (caldeiras, grelhas, etc.).

DETERMINAÇÃO DE CINZAS

Aplicações:



Fonte: B2Blue.com

- Contribuem para a redução do poder calorífico
 - Limpezas mais frequentes nas caldeiras, pois podem provocar corrosão em equipamentos metálicos.
-
- As cinzas são constituídas de compostos de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe), que em alta concentração podem reduzir o poder calorífico (KLAUTAU, 2008).

DETERMINAÇÃO DE CARBONO FIXO

- ASTM D3172 - Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke

O **carbono fixo** está relacionado com a quantidade de carbono presente na amostra após eliminação parcial dos materiais voláteis, porém, pode conter alguns elementos voláteis não liberados, como O_2 , H_2 , N_2 e S (SILVA, 2004).

DETERMINAÇÃO DE CARBONO FIXO

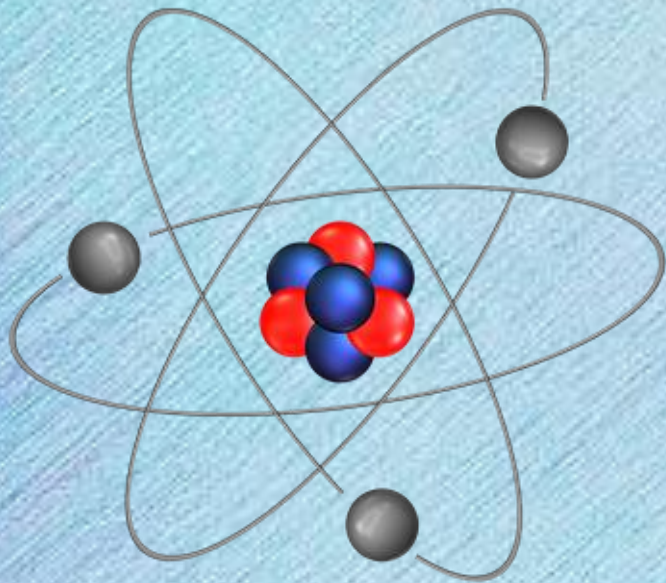


Aplicações:

- Principal elemento energético na biomassa e no combustível sólido;
- Relação direta para com o poder calorífico do material;
(quanto maior o CF maior o PC)
- Possível prever o rendimento gravimétrico na produção de carvão.

ANÁLISE ELEMENTAR

A composição elementar de uma amostra é o conteúdo em porcentagem de massa de (C), (H), (N), (S), (O). Importante pois constitui a base para análise dos processos de combustão, tais como:

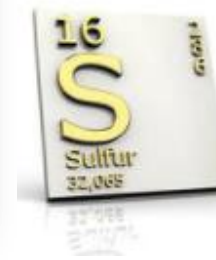
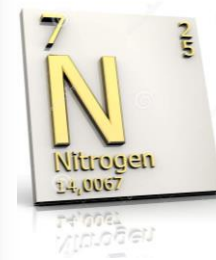
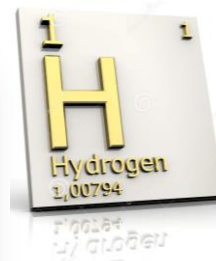
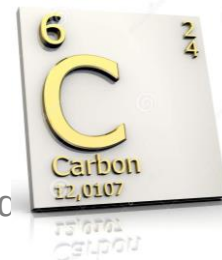


Cálculo dos volumes de ar
Gases
Entalpias de reação

DETERMINAÇÃO DE CHN

[ASTM D5291](#) – Standard Test Method for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants

[ASTM D5373](#) – Standard Test Method for Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Analysis Sample of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke

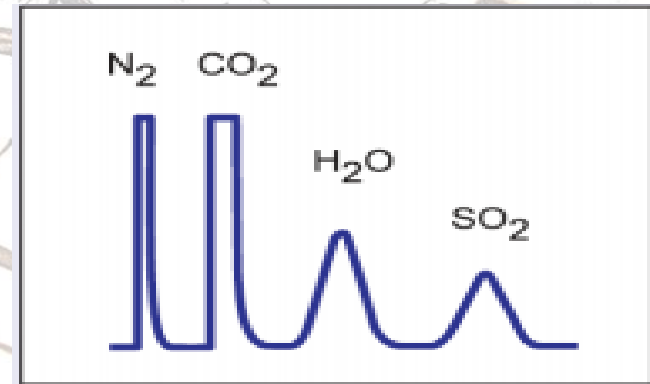


Analizador - CNH

DETERMINAÇÃO DE CHN

A combinação da *elevada temperatura e vazão oxigênio puro*
amostra de massa conhecida *processo de oxi-redução.*

CO_2 , vapor de água e N_2



Fonte: Thermoscientific.com

A *célula de condutividade térmica* registra o sinal elétrico referente a concentração de cada elemento e os convertem em porcentagem em massa.

DETERMINAÇÃO DE HIDROGÊNIO

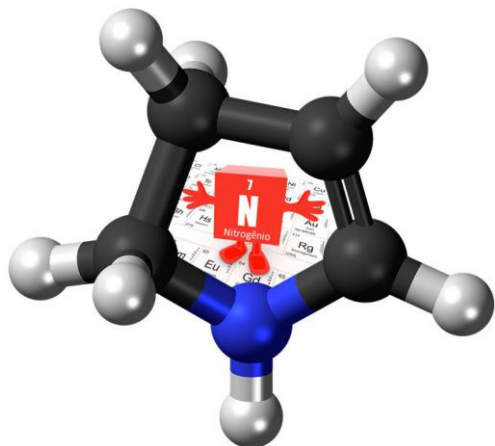
Segundo Obernberge et al. (2005), altos teores de hidrogênio junto ao oxigênio durante as fases de crescimento proporcionam um aumento na formação de celulose, hemicelulose e lignina que geram grande energia na queima.



Diminui o valor do poder calorífico, após deduzir as perdas de energia com a condensação do vapor da água formada na combustão (1989, JARA).

DETERMINAÇÃO DE CARBONO E NITRÔGENIO

O teor de carbono é a propriedade química majoritária ou seja, possui maior tendência em capacidade térmica e energia liberada (SANTOS et al., 2011).



N e S contribuem negativamente para a saúde humana e ambiental, por causa da liberação de óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre na combustão (MOULIN, 2010). Entende-se portanto que é desejável um baixo % N e % S associado à biomassa.

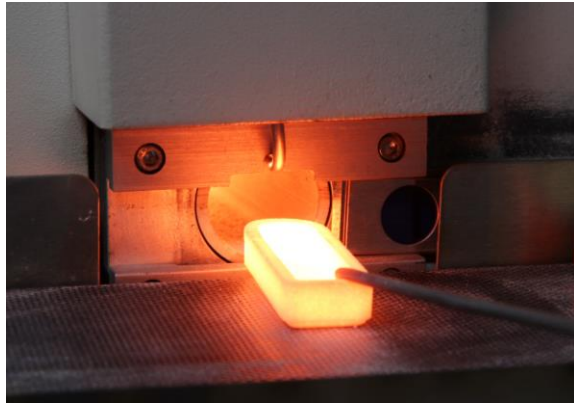
DETERMINAÇÃO DE ENXOFRE TOTAL

- [ASTM D4239](#) - Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion
- [ASTM D1552](#) – Sulfur in Petroleum Products by High Temperature combustion and Infrared (IR) Detection or Thermal Conductivity Detection or Thermal Conductivity Detection (TCD)

Presente na maioria dos combustíveis fósseis e em baixas quantidades nos renováveis, como por exemplo a biomassa.

Durante a combustão o enxofre liga-se ao oxigênio, e dependendo da temperatura e exposição, forma-se os gases de SO_2 e SO_3 que são altamente nocivos a saúde humana.

DETERMINAÇÃO DE ENXOFRE TOTAL



Aplicações:

- Pode indicar nível de poluente encontrado no material;
- Seus gases são nocivos a saúde, portanto, esse elemento é indesejado no material combustível;
- O enxofre na forma orgânica é um ótimo nutriente para o crescimento da planta;
- Podem causar corrosão (Formação de ácido)

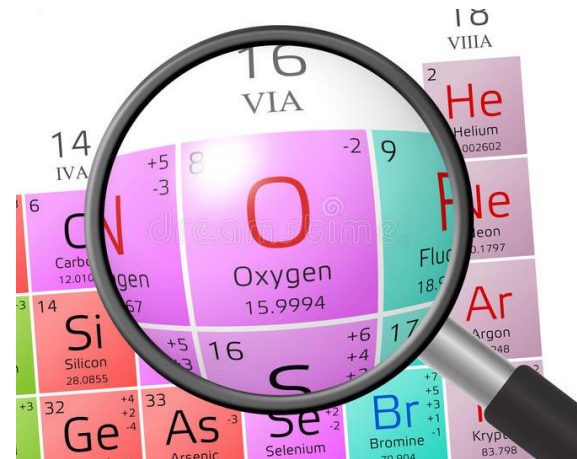
DETERMINAÇÃO DE TEOR DE OXIGÊNIO

ASTM D 3176 – *Standard Test Method for Ultimate Analysis of Coal and Coke*

Os átomos de oxigênio são de grande importância, pois reagem facilmente com outros elementos.

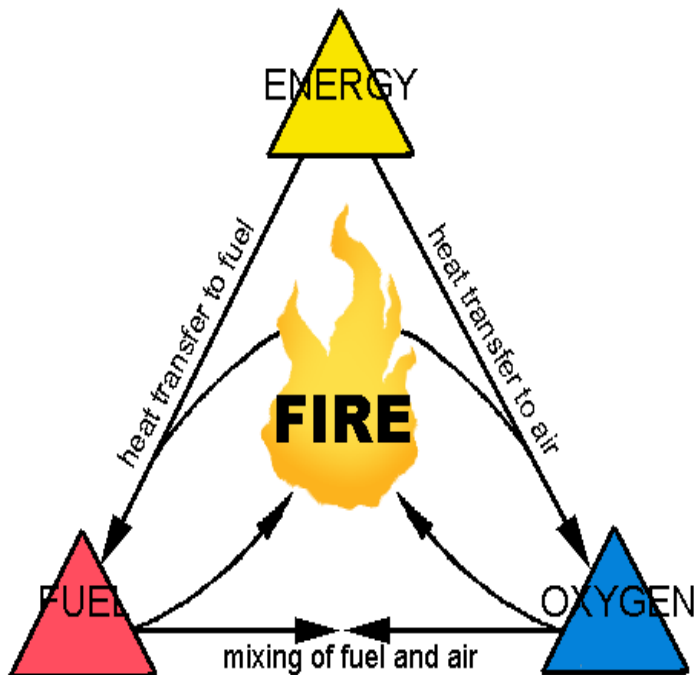
Atuam como comburente no processo de combustão;

Constituem a água (H_2O);



Ligam-se a outros elementos dos materiais formando os gases CO , CO_2 , SO_2 , SO_3 , dentre outros.

DETERMINAÇÃO DE TEOR DE OXIGÊNIO



Fonte: skyline-sooty.co.uk

Recursos necessários para o cálculo

1. Carbono (C)
2. Hidrogênio (H)
3. Nitrogênio (N)
4. Enxofre (S)
5. Cinzas (%)

DETERMINAÇÃO DE HALOGÊNIO EM RESÍDUOS

CROMATOGRAFIA DE ÍONS

- [BS EN 14582:2007](#) - Characterization of Waste — Halogen and Sulfur Content — Oxygen Combustion in Closed Systems and Determination Methods;
- [DIN 51727: 2011](#) - Testing of solid fuels – Determination of chlorine content;
- [DIN EN ISO 16994:2015-07](#) - Solid biofuels – Determination of total content of sulfur and chlorine (ISO 16994:2015);
- [EN ISO 16994:2015](#) - Solid biofuels – Determination of total content of sulfur and chlorine (ISO 16994:2015);
- [EN ISO 18134-3:2015](#) - Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 3: Moisture in general analysis sample (ISO 18134-3:2015);
- [EPA Method 5050: 1994](#) - Bomb Preparation Method for Solid Waste;

DETERMINAÇÃO DE HALOGÊNIO EM RESÍDUOS

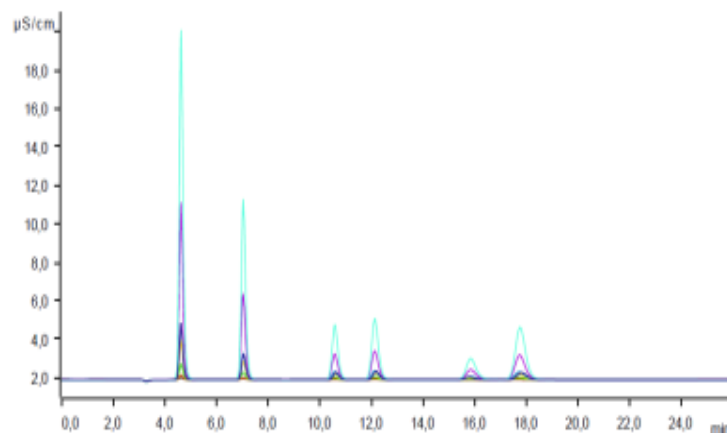
CROMATOGRAFIA DE ÍONS

Oxidação por combustão em (bomba contendo oxigênio sobre pressão).

Os gases produzidos são coletados em uma solução de absorção

Os compostos são convertidos em fluoreto, cloreto, brometo, iodeto e sulfato.

Estes íons são separados e quantificados através da técnica de Cromatografia de Íons.



DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

- [ASTM D5865](#) - Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke
- [DIN EN 14918](#) – Solid Biofuels – Determination of Calorific Value

O poder calorífico é uma medida termodinâmica que representa a variação do calor produzido pela combustão completa de um combustível em um sistema pressurizado a volume constante (varia muito de acordo com o teor de umidade).

O valor do PCS é dito superior porque não se considera o calor latente de condensação da água (existente ou formada).

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)



Fonte: IPT

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)



DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

Aplicações:

Parâmetro importante para a escolha do tipo de biomassa e vazão dos fluídos, projeto de equipamentos térmicos e uso dos combustíveis;



Com o resultado do PCS é possível prever o consumo de material combustível e a quantidade energética liberada pelo material.

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)

- [ASTM D5865](#) - Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke
- [DIN EN 14918](#) – Solid Biofuels – Determination of Calorific Value

O PCI é dito como inferior, pois a água formada na combustão pela quantidade de hidrogênio e oxigênio está no estado vapor e o calor latente de sua condensação não é recuperado.

A determinação de poder calorífico inferior é realizada por meio de cálculos, considerando o valor do poder calorífico superior da amostra e o teor de hidrogênio determinado.

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)

Em instalações industriais, a temperatura dos gases de saída geralmente é maior que a temperatura de condensação, portanto o calor latente não é utilizado.



Fonte: Pixabay.com

Calor latente é a quantidade de **energia térmica** que é absorvida ou cedida por um corpo, durante uma mudança de seu estado físico.

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)

Aplicações:



Fonte: globalwoodmarketsinfo

Parâmetro usado para cálculos térmicos e volume de material necessário para suprir os queimadores e caldeiras;

Para efeito de cálculos estequiométricos e demanda energética, o que deve ser considerado é o PCI.

CONCLUSÃO

A caracterização energética de materiais é fundamental pois permite:

Conhecer a qualidade do material

Comparar as energias

Determinar os tipos

Otimização do processo

Logística

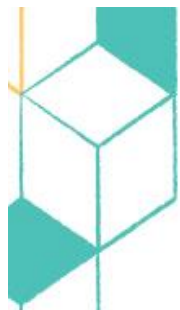
Valorização / Mercado

Armazenamento

Custo de produção

***“Você só pode
gerenciar aquilo
que pode ser
medido”***

(Embrapa Agroenergia)



Curso de curta duração

Biomassa Sólida: Aplicação Energética e Caracterização



Objetivo

Este curso tem por objetivo abordar o panorama atual da biomassa no Brasil, conceitos, processos de cogeração de energia, metodologias de caracterização químicas e físico-químicas. Fornecer informações técnicas para a difusão do uso da biomassa sólida como fonte de energia renovável.

Temas abordados

Biomassa: introdução, conceitos, definições e fontes; matriz energética mundial e brasileira; aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais; inovações na área de biomassa; metodologias para caracterização; caracterização de biomassa energética (amostragem, umidade, cinzas, voláteis, enxofre, carbono, hidrogênio, nitrogênio, carbono fixo, densidade aparente, oxigênio, PCS e cloro); estequiometria das reações de combustão; importância das análises químicas e físico-químicas na operação dos equipamentos; cuidados e cálculos de vazão de ar; demonstração dos equipamentos e ensaios em biomassa sólida; interpretação de resultados.

1ª Edição 17/08/19

2ª Edição 23/11/19



1ª Edição 17/08/19

2ª Edição 23/11/19



1ª Edição 17/08/19

2ª Edição 23/11/19



Coffee e Brunch



Coffee e Brunch



Biomassa sólida – Curso (Imersão LCL)



Biomassa sólida – Curso (Imersão LCL)



Biomassa sólida – Curso (Imersão LCL)



Biomassa sólida

1ª Edição



Equipe LCL

Biomassa sólida

2ª Edição



Equipe LCL



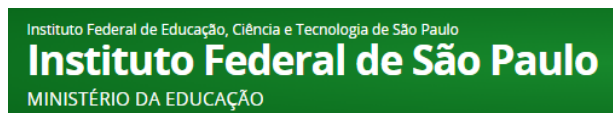
Biomassa sólida 1ª Edição 33 inscritos



PETROBRAS



Biomassa sólida 2ª edição 34 inscritos



Obrigado!



lcl@ipt.br



(11) 3767-4698

Perguntas?



lcl@ipt.br



(11) 3767-4698