



ANALISADOR DE CATALISADOR

BELCAT II

**Desbloqueie a caracterização de catalisadores de última geração com o BELCAT II. O desempenho de catalisadores sólidos é determinado por propriedades específicas de superfície, sendo fatores como natureza e distribuição dos sítios ativos, acidez, basicidade, comportamento redox, estrutura eletrônica e morfologia superficial cruciais para determinar a atividade, seletividade e estabilidade catalítica. O**

BELCAT II oferece análise precisa das taxas de dispersão de metais, áreas superficiais metálicas e tamanho médio de partículas para catalisadores de metais preciosos suportados, auxiliando pesquisadores a aprimorar o desempenho dos catalisadores enquanto reduzem custos. Além de fornecer medições de áreas superficiais específicas (BET) e cinéticas de adsorção, o BELCAT II determina a capacidade de adsorção por meio de análises de curvas de ruptura. Esses dados são essenciais para o desenvolvimento de materiais adsorventes inovadores. Como analisador de catalisadores completo, reúne todas as funções em um único equipamento, oferecendo ampla aplicabilidade e extensiva personalização para apoiar diferentes objetivos de pesquisa e desenvolvimento.



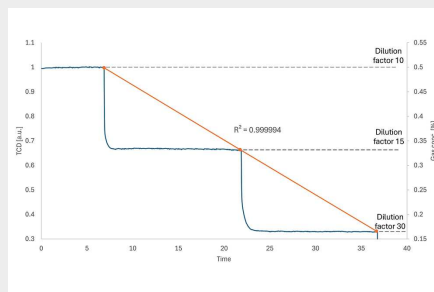
## ANALISADOR TUDO-EM-UM, TOTALMENTE AUTOMÁTICO E MULTIFUNCIONAL

### POR QUE O BELCAT II?

Descubra as capacidades de destaque do instrumento BELCAT II. Abaixo está uma lista de suas principais características, projetadas para fornecer uma análise de catalisadores abrangente e confiável, além de oferecer flexibilidade para atender a diversas necessidades de pesquisa e desenvolvimento.

#### Design de Dosagem de Gases

**Multifuncional** O coletor de gases integrado com múltiplas linhas permite a conexão simultânea de até oito gases diferentes – incluindo dois tipos corrosivos – que são distribuídos internamente por todo o sistema. Esse design inteligente possibilita a mistura controlada por software, permitindo a geração precisa de misturas de gases personalizadas diretamente no equipamento. Essas misturas podem ser utilizadas durante o pré-tratamento da amostra, análise, operações de pulso e calibração automatizada. Ao eliminar a necessidade de gases pré-misturados e minimizar a tubulação externa, o sistema otimiza a eficiência do fluxo de trabalho, reduz os custos operacionais e diminui significativamente o risco de vazamentos.



#### BELCAT II (multiuso)

#### Dispositivos alternativos (finalidade única)

Gases de  
preparação

1. He, 2. N<sub>2</sub>,  
3. Ar, 4. H<sub>2</sub>

5 linhas de  
gás: 1. He, 2.  
N<sub>2</sub>, 3. O<sub>2</sub> /  
He, 4. H<sub>2</sub> /  
Ar, 5. CO /  
He

Gases de  
análise  
(loop)

5. CO, 6. O<sub>2</sub>,  
7. N<sub>2</sub>O, 8.  
NH<sub>3</sub>

5 linhas de  
gás: 1. H<sub>2</sub>, 2.  
CO, 3. NH<sub>3</sub> /  
He, 4. O<sub>2</sub>, 5.  
N<sub>2</sub>O

Gases de  
arraste

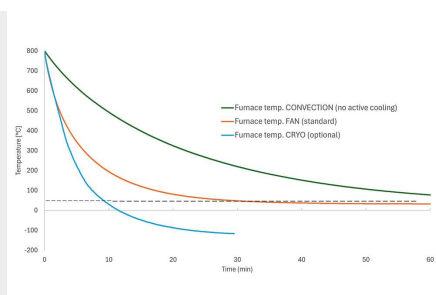
1. He, 2. N<sub>2</sub>,  
3. Ar

3 linhas de  
gás: 1. He, 2.  
N<sub>2</sub>, 3. Ar

Total

8 linhas de  
gás  
necessárias  
para  
preparar as  
mesmas  
misturas  
gasosas

São  
necessárias  
13 linhas de  
gás



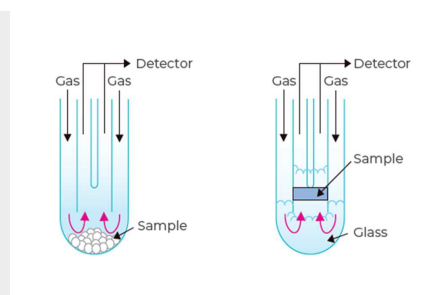
## Controle de Temperatura

**Superior** Oferece aquecimento e resfriamento rápidos com um forno compacto tipo split, projetado para alto desempenho. As taxas de aquecimento alcançam até 110 °C/min de 50 a 500 °C, ou 80 °C/min de 50 a 1000 °C, com temperatura máxima de operação de 1100 °C. O resfriamento assistido por ventilador integrado reduz o tempo de espera, baixando a temperatura de 400 para 50 °C em apenas 30 minutos. Isso aumenta o rendimento de amostras e minimiza o tempo de inatividade. Para aplicações subambientes avançadas, a opção criogênica CATCryo II proporciona resfriamento excepcional até -120 °C. Define novos padrões em gerenciamento térmico, reduzindo a temperatura de 800 para 30 °C em apenas 10 minutos – abrindo novas possibilidades em pesquisas de adsorção, caracterização de materiais e experimentos com controle de temperatura de alta precisão.



## Medidas de Segurança

**Excepcionais** Conta com porta de segurança com travamento automático, proteção contra superaquecimento, desligamento automático, alarmes integrados e detecção de gases opcional para o mais alto nível de segurança operacional. O filtro de zeólita fornecido – utilizado para remoção de umidade durante experimentos de TPR – elimina a necessidade de nitrogênio líquido.



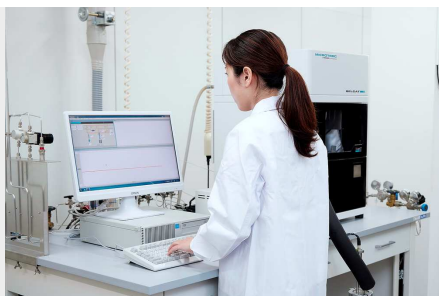
## Design de Célula Tripla para

**Amostras** O design de última geração garante pré-aquecimento eficiente dos gases e maximiza o rendimento para fluxos de trabalho exigentes. O formato cilíndrico do tubo facilita o manuseio e aumenta a segurança, pois é livre de tensão e menos sujeito a quebras.



## **Design Modular com**

**Capacidade de Atualização** O design preparado para o futuro permite upgrades sob demanda diretamente no local. Sua arquitetura expansível possibilita a integração facilitada de uma unidade de dosagem de vapor, módulo externo de mistura de gases e opção criogênica para estudos de adsorção avançados e resfriamento acelerado.



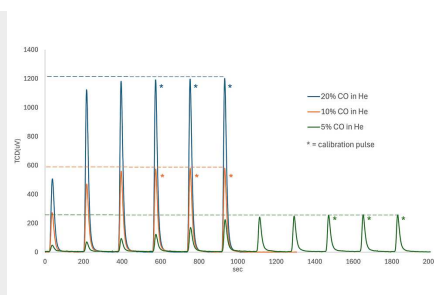
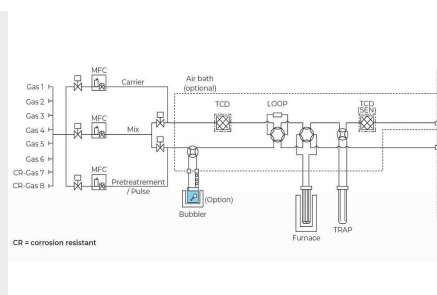
## **Configurações Versáteis de**

**Condições de Medição** O modo de medição sequencial permite a combinação integrada de métodos termoquímicos e etapas de testes de catalisadores em um único fluxo de trabalho.



## **Design Compacto com Pequena**

**Pegada** Design compacto e eficiente (L 500 x P 500 mm) que se adapta facilmente a qualquer laboratório.



## Projetado para Precisão

Instrumento dedicado, desenvolvido especificamente para análise por quimissorção por pulso e métodos de temperatura programada, com volume morto minimizado para garantir precisão excepcional. Equipado com um detector de condutividade térmica (TCD) de alto desempenho com controle de temperatura e circuitos avançados, proporciona uma relação sinal-ruído incomparável para as medições mais sensíveis.

## Quimissorção por Pulso com Total

**Confiança** Com volume calibrado e sensores dedicados de pressão e temperatura, cada dose supera as expectativas. Misturas de gases personalizadas são fornecidas sob demanda pelo sistema integrado de mistura, eliminando a necessidade de loops de injeção adicionais e garantindo fluxos de trabalho mais ágeis e eficientes.

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

**OPÇÕES**



Unidade de dosagem de vapor

Consiste em uma unidade de termostato de ar, borbulhador, aquecedor e condensador. O condensador elimina o excesso de vapor. O processo em dois estágios garante a dosagem precisa de vapor em concentrações estáveis.

Unidade de mistura de gás externa

Permite a mistura de três ou mais gases. Uma unidade pode instalar até seis linhas. Gases corrosivos são suportados.

Forno elétrico de baixa temperatura / CATCryo II

Ao aplicar o spray de nitrogênio líquido, a temperatura da amostra pode ser controlada continuamente a partir de -120 °C. O desempenho de resfriamento é aprimorado com a estrutura interna otimizada, e o consumo de nitrogênio líquido é drasticamente reduzido.

Analizador de gás on-line / BELMASS II

Espectrômetro de massa quadrupolo sistematizado,

o BELMASS II pode ser conectado ao BELCAT II. Múltiplos componentes de gases podem ser medidos com alta precisão quantitativa enquanto vinculados ao software do BELCAT II. Ideal para experimentos exigentes, incluindo reações catalíticas.

## Sistema de medição AIRGUARD

Materiais funcionais podem reagir com a umidade e o oxigênio do ar, resultando em mudanças estruturais e potencialmente gerando gases corrosivos. A nova solução AIRGUARD – desenvolvida pela Microtrac – permite o manuseio seguro de amostras sem contato com o ar.

## Avaliação de desempenho de separação de mistura gasosa

Para aplicações de DAC, CCUS e CCS, o sistema permite medições de curva de ruptura com múltiplos componentes gasosos, como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, que podem ser analisados usando detectores de sensores dedicados de alta estabilidade e repetibilidade.

Opções:

- Sondas CO<sub>2</sub>
- Sondas CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

**APLICAÇÕES TÍPICAS**



*catalisadores*



*materiais de bateria*



*cimento*

- | materiais de bateria
- | CCUS
- | carbono
- | zeólito

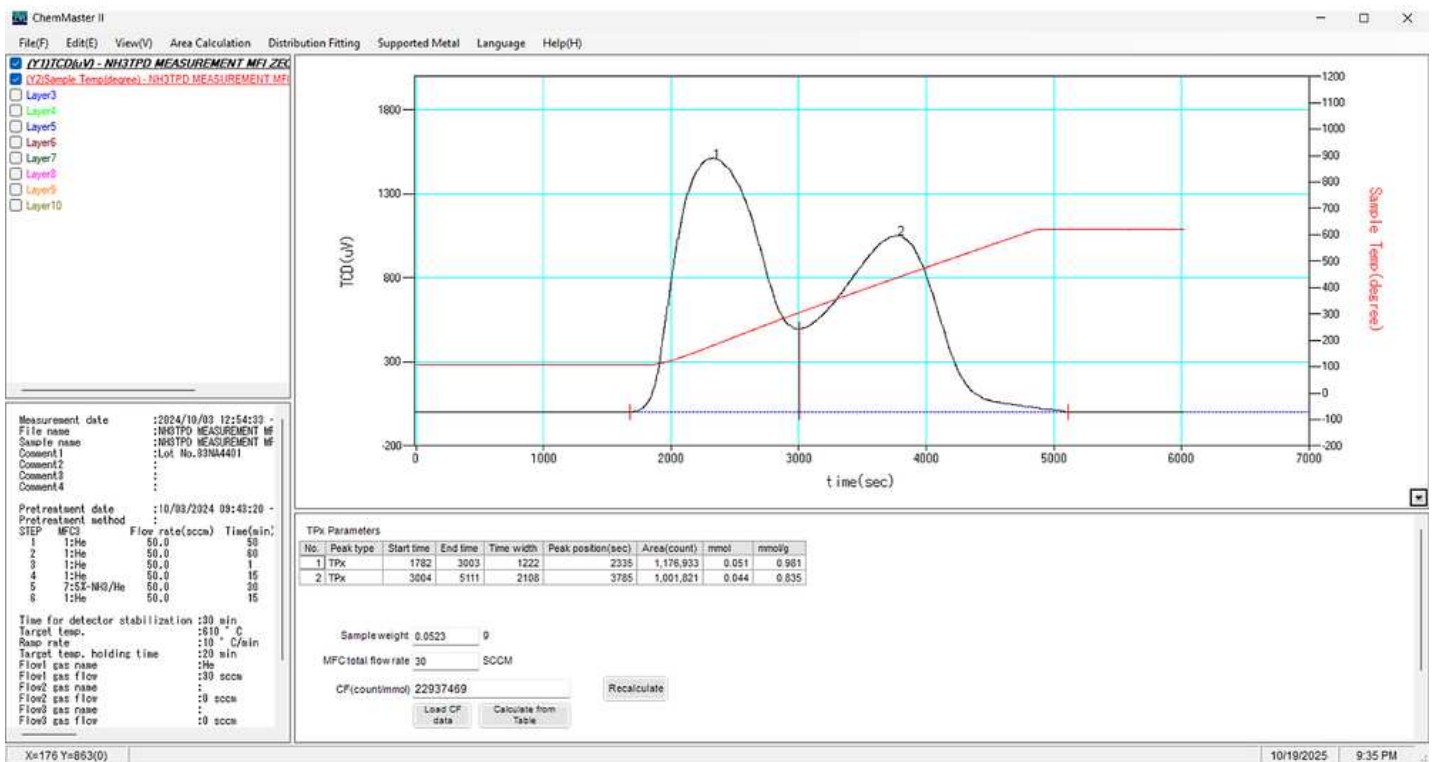
- | cimento
- | cerâmica
- | Células de combustível
- | Separação de gases

- | MOF / PCP
- | petroquímica
- ... e muito mais!

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

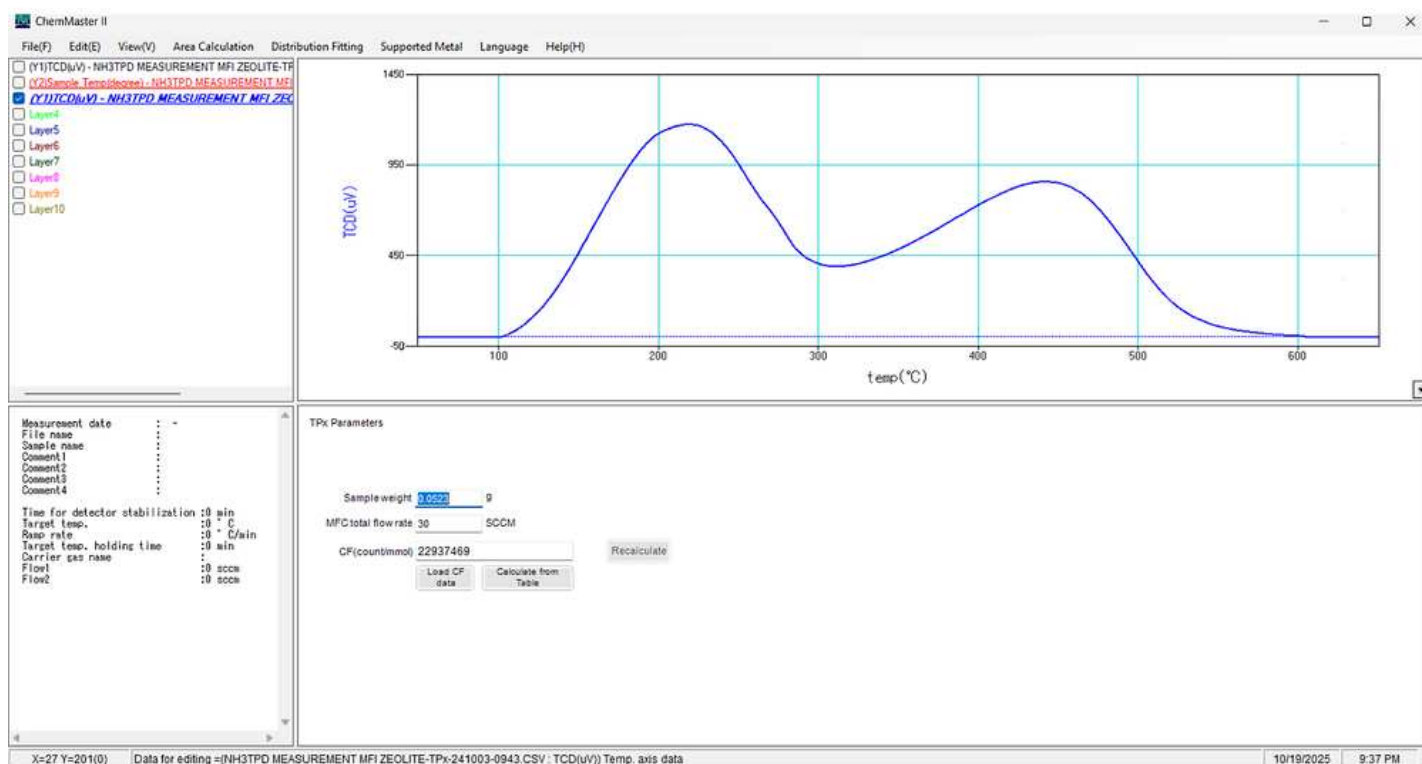
**EXEMPLOS DE MEDIÇÃO**

RESULTADO DA MEDIÇÃO DE TPD DE  $\text{NH}_3$  EM ZEÓLITA DO TIPO MFI



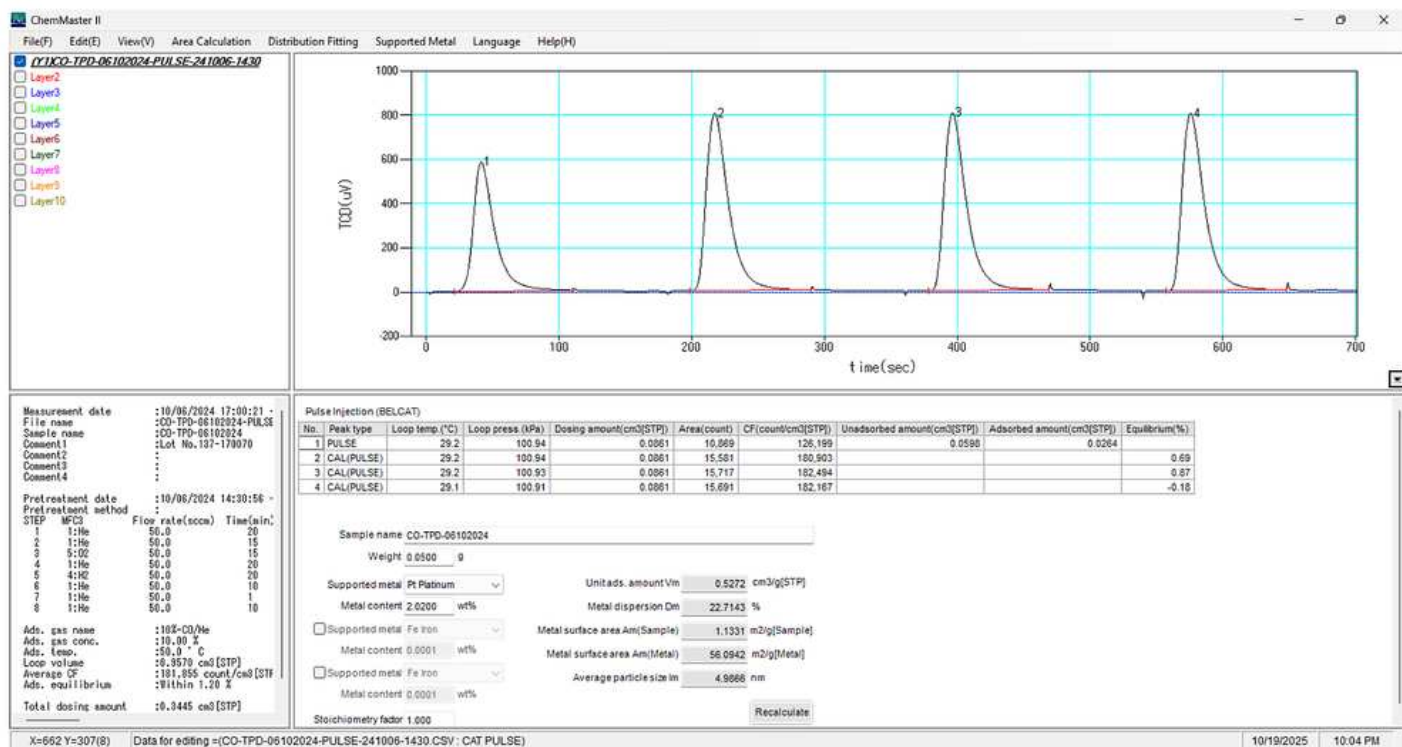
Quantidade de dessorção 0,835 mmol/g (2 = valor do pico H); Temperatura de pico 440 °C

Resultado da Medição de TPD de  $\text{NH}_3$  em Zeólita do Tipo MFI



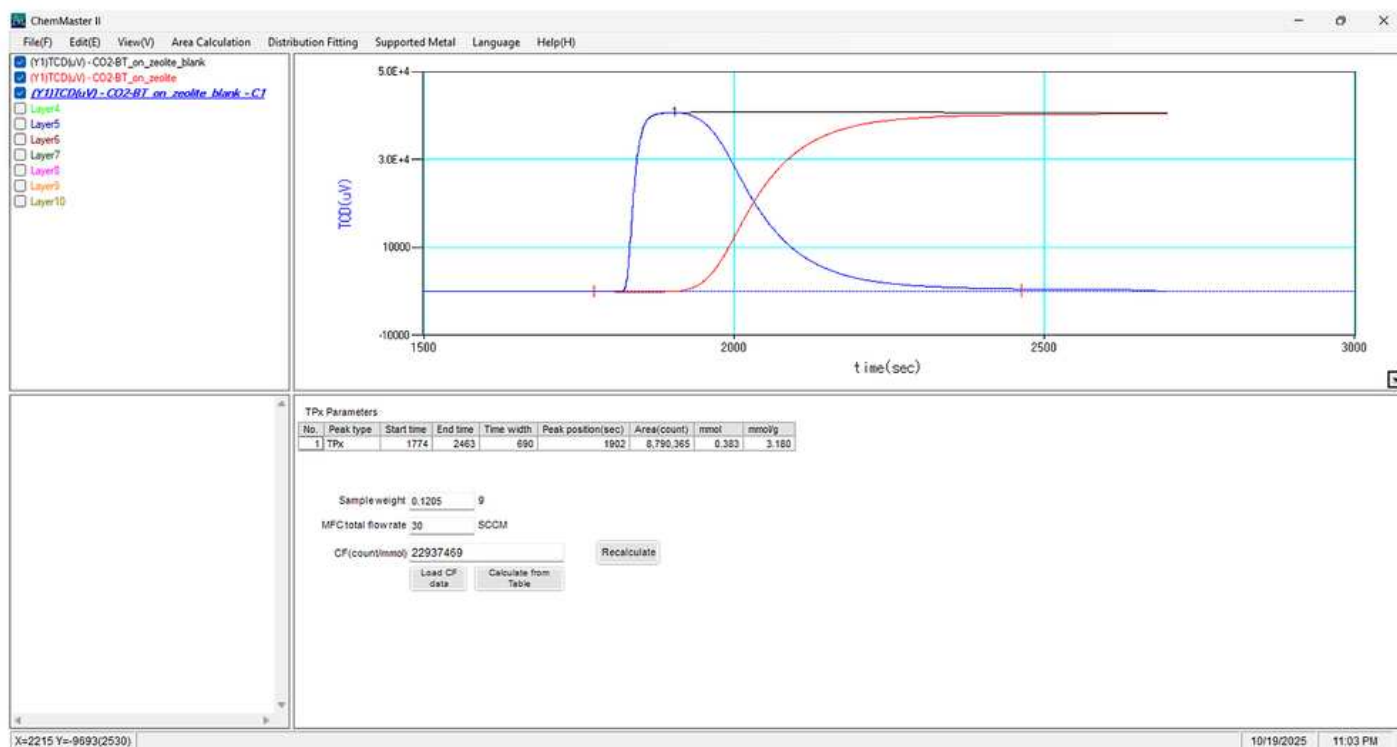
Conversão conveniente de dados baseados no tempo em perfis dependentes da temperatura

Taxa de Dispersão Metálica de  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$  por Pulsos de CO



Quantidade de dessorção: 0,527 cm<sup>3</sup>/g, Taxa de dispersão metálica: 22,7%, Área superficial metálica 1,13 m<sup>2</sup>/g, Tamanho da partícula metálica: 4,99 nm. Correção de linha de base totalmente automatizada e integração de pulsos para avaliação de dados sem esforço.

## MEDIÇÃO DA CURVA DE RUPTURA DE ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub>



Quantidade de CO<sub>2</sub> adsorvido: 3.18 mmol/g. Medição em branco (preto), experimento de adsorção por ruptura (vermelho) e diferenças calculadas como quantidade adsorvida (azul). A combinação com o BELMASS II permite a análise de ruptura multicomponente.

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

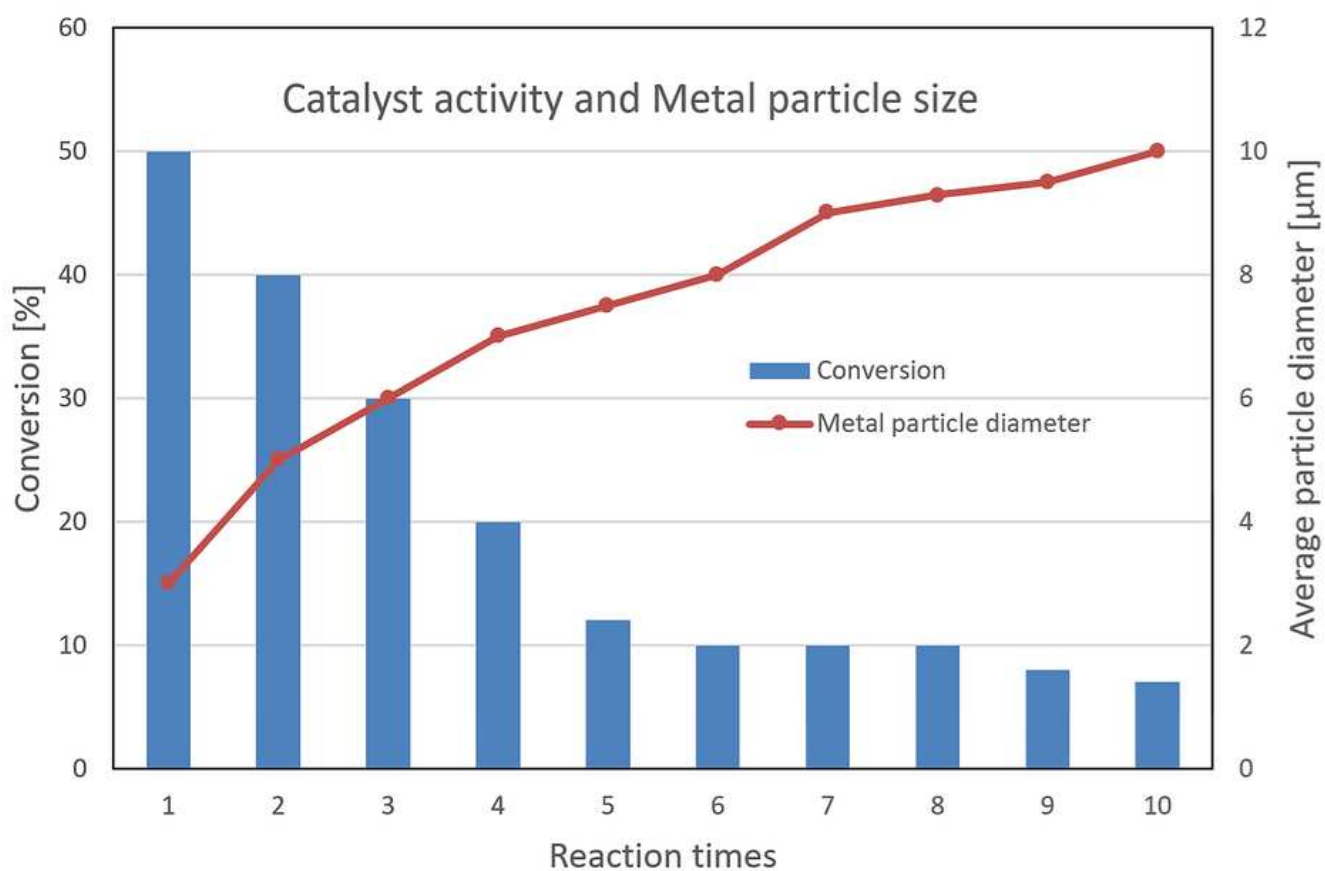
**SOFTWARE**

O software intuitivo está repleto de recursos poderosos que aumentam a produtividade do operador. A avançada plataforma BELCAT II, refinada ao longo de muitos anos, permite a execução fácil de medições complexas, garantindo resultados confiáveis e reproduzíveis através de uma gama de funções sofisticadas.

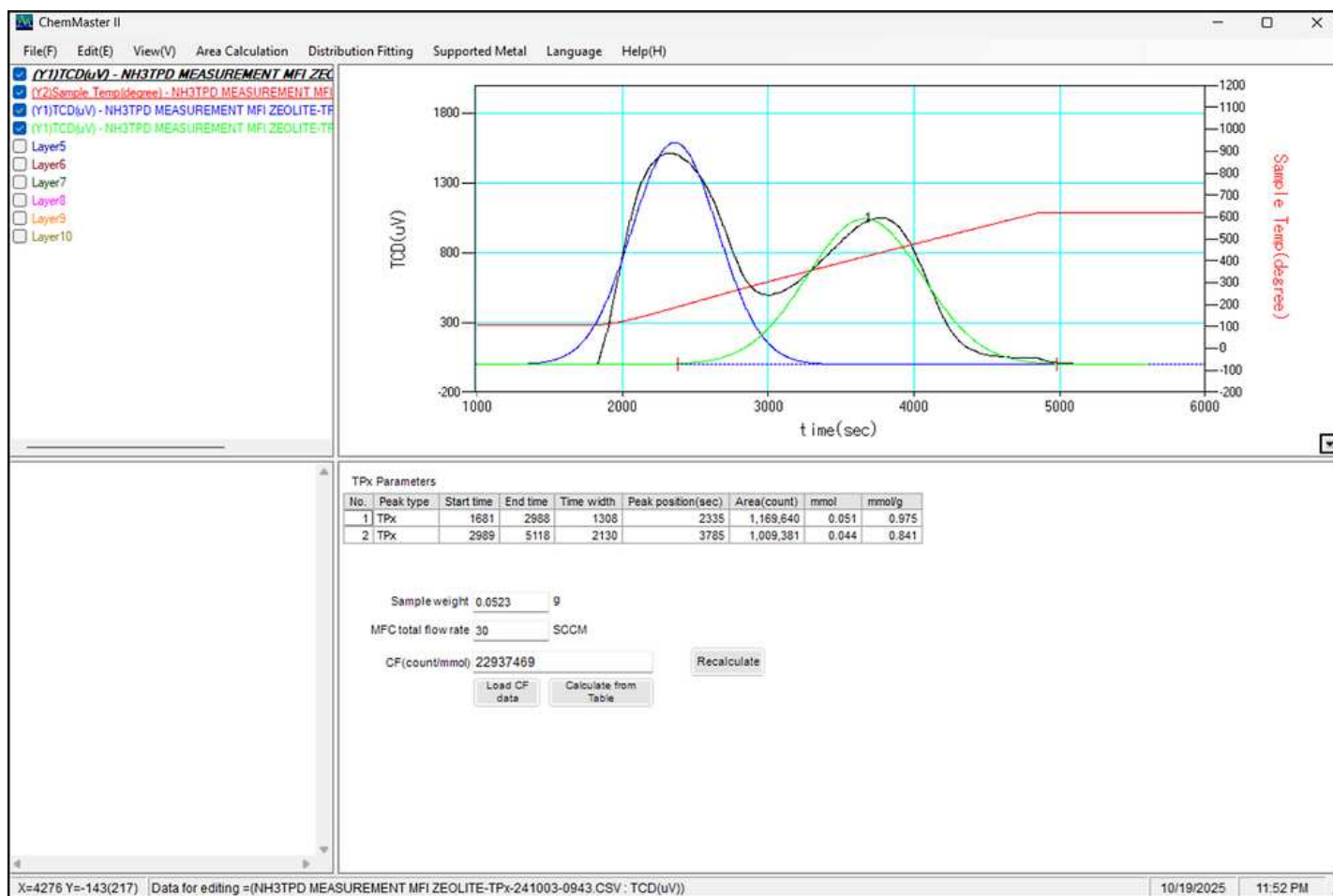
- | Software de medição de operação simples
- | Ajuste automático de ponto zero
- | Modo de medição sequencial
- | Alta confiabilidade com calibração multiponto programável
- | Software de análise de forma de onda
- | Software de ligação BELMASS II (opcional)
- | Função de análise de quimissorção pulsada



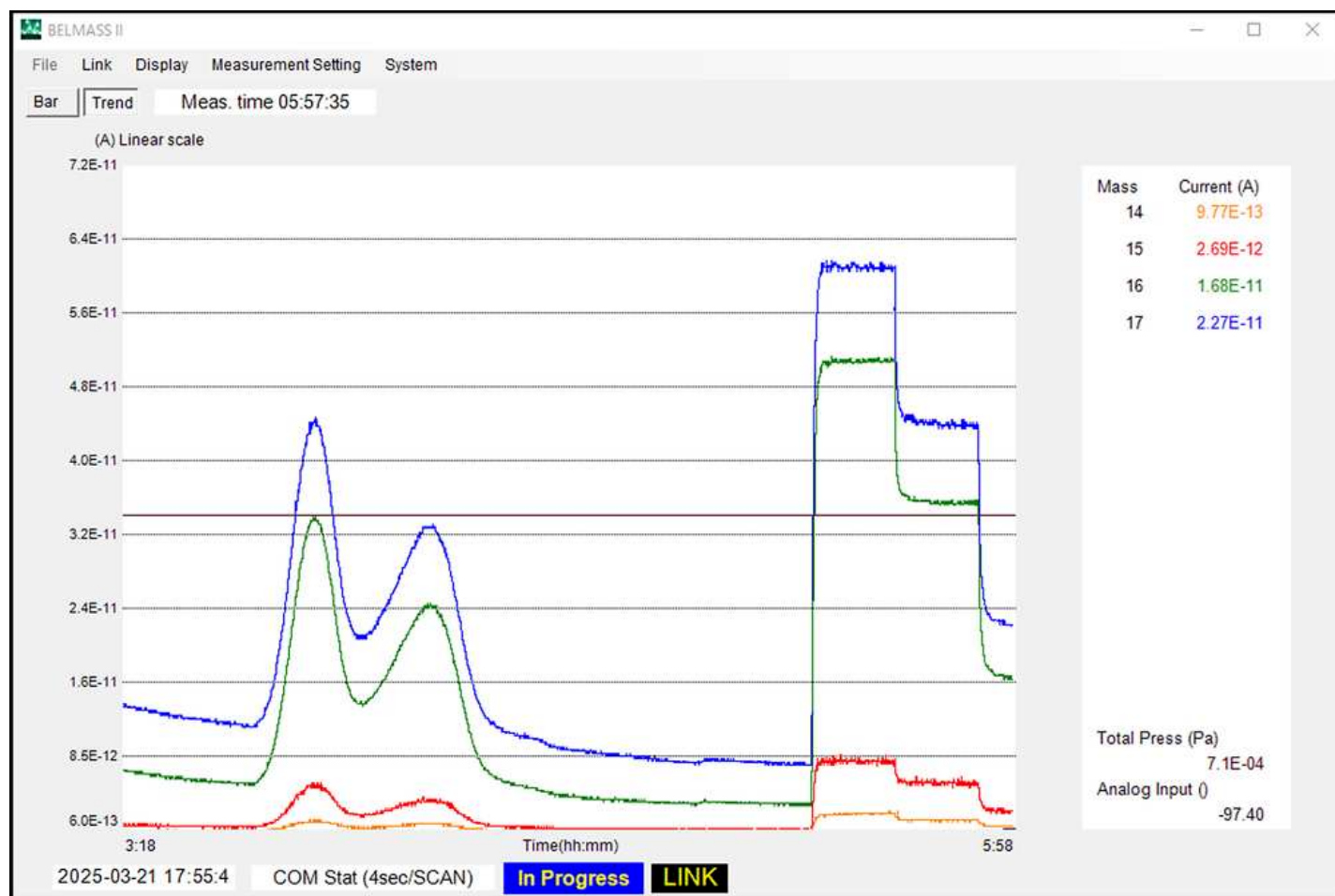
Visualização de medição do BELCAT II



Resultado de medições sequenciais



Visualização de deconvolução de forma de onda



Visualização de medição do BELMASS II

## ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

### ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARE

Função de medição de operação simples

Abas dedicadas para análises padrão (TPR, TPD, TPO e BET) permitem a programação fácil e o monitoramento em tempo real do status operacional, gráficos de TCD, temperatura e taxas de fluxo.

Ajuste automático do ponto zero do TCD

O ajuste automático do ponto zero do TCD garante linhas de base consistentes para uma comparação de dados confiável e medições contínuas precisas com diferentes gases de arraste.

## Modo de medição sequencial

O modo de medição sequencial automatiza a caracterização de catalisadores ao realizar uma série de medições independentes em uma ordem definida, permitindo uma análise sistemática sem intervenção do usuário.

## Calibração automática multiponto de alta confiabilidade

A calibração automática multiponto é realizada após as medições de TPD ou TPR, utilizando os MFCs (controladores de fluxo de massa) do instrumento para gerar diversas concentrações de gás.

## Software de análise de forma de onda

O software de análise permite uma avaliação de dados fácil com cálculo automático da área de pico, sobreposição de espectros para comparação, deconvolução de forma de onda para separação de picos e ferramentas de análise adicionais para um processamento conveniente.

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

## CONCEITOS BÁSICOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES

### Medição por Pulso

A taxa de dispersão metálica é um parâmetro fundamental na catálise heterogênea. Refere-se à proporção de átomos metálicos expostos na superfície de um catalisador em relação ao número total de átomos metálicos presentes (geralmente expressa em porcentagem). A dispersão metálica pode ser calculada por meio de quimissorção por pulso utilizando gases como CO ou H<sub>2</sub>, que se quimissorvem seletivamente na superfície metálica. Isso é realizado através da introdução contínua de uma quantidade específica de gás na amostra até atingir a saturação. A medição por pulso determina a quantidade quimissorvida utilizando os picos saturados como referência. A diferença entre as áreas dos picos nos estados insaturado e saturado corresponde à quantidade adsorvida. A taxa de dispersão metálica é essencial para avaliar, otimizar e compreender o desempenho e a durabilidade de catalisadores à base de metais.

### Medição de Dessorção a Temperatura Programada (TPD)

Esse método é utilizado para examinar as características de adsorção química em superfícies sólidas e, geralmente, é representado por um espectro em que a concentração do gás dessorvido está no eixo y e a temperatura no eixo x. Ao aumentar continuamente a temperatura da amostra e detectar o gás dessorvido, é possível determinar a quantidade e a força dos diferentes sítios de adsorção presentes. Normalmente, NH<sub>3</sub>-TPD é

utilizado para avaliar os sítios ácidos de catalisadores ácidos sólidos, enquanto CO<sub>2</sub>-TPD é empregado para analisar os sítios básicos de catalisadores básicos sólidos. Além disso, CO-TPD e frequentemente H<sub>2</sub>-TPD são aplicados para caracterizar centros metálicos ativos.

## **TPOxidação (TPO) / TPRedução (TPR) e TPReação (TPX)**

TPR, TPO, TPX e TPSR (Reações de Superfície) são técnicas avançadas para analisar a reatividade de catalisadores sólidos. Esses métodos envolvem o aumento gradual da temperatura da amostra enquanto se monitora o consumo de reagentes ou a formação de produtos – geralmente representados em gráficos com temperatura no eixo x e intensidade do sinal no eixo y. Essa abordagem permite a observação contínua do comportamento redox e da dinâmica das reações, revelando propriedades-chave como temperatura de redução, potencial de oxidação e etapas reacionais. O TPSR, em especial, possibilita a investigação direta das reações de superfície sob misturas gasosas reativas, fornecendo informações detalhadas sobre mecanismos reacionais e espécies intermediárias. Aplicações comuns dessas técnicas incluem reações de oxidação/hidrogenação, química de deslocamento e processos de reforma.

### **| Técnicas de Temperatura Programada**

- | Redução a Temperatura Programada (TPR): Caracterização da reducibilidade e interação de óxidos metálicos e catalisadores suportados sob rampas de temperatura com gases redutores.
- | Oxidação a Temperatura Programada (TPO): Avaliação de estados de oxidação, deposição de coque e reatividade via exposição programada a gases oxidantes.
- | Reação a Temperatura Programada (TPX): Estudo de reações catalíticas sob diferentes programas de temperatura para simular condições operacionais.
- | Reações de Superfície a Temperatura Programada (TPSR): Permite o monitoramento preciso das reações catalíticas de superfície em função da temperatura, oferecendo informações valiosas sobre mecanismos reacionais, atividade e seletividade do catalisador por meio da análise integrada e em tempo real dos gases.

Redução a Temperatura Programada (TPR)

Oxidação a Temperatura Programada (TPO)

## Medida da Curva de Ruptura de Adsorção

A curva de ruptura descreve a concentração de um adsorvato que passa por uma coluna de adsorção ao longo do tempo. Ela é uma ferramenta essencial para compreender como o material adsorvente captura um ou mais componentes de uma mistura de gases enquanto esta passa pela coluna.

1. Fase Inicial: O adsorvente captura de forma eficiente o adsorvato, e a concentração do adsorvato remanescente é baixa.
2. Ponto de Ruptura: A concentração de adsorvato no efluente começa a aumentar significativamente, indicando que o adsorvente está se saturando e se tornando menos eficiente na captura do adsorvato.
3. Fase de Equilíbrio: A concentração de adsorvato no efluente se iguala à concentração do influente, pois o adsorvente está totalmente saturado.

## Análise de Área Superficial Específica BET

Área superficial específica, definida como a área superficial total por unidade de massa seca de um sólido, é um parâmetro importante para a caracterização de catalisadores. Ela pode ser determinada utilizando o método BET, que mede a quantidade de um gás (por exemplo, nitrogênio) dessorvido após a amostra ser resfriada à temperatura do nitrogênio líquido sob um fluxo de gás adsorvente diluído em hélio e, em seguida, retornada à temperatura ambiente. Esse método não é apenas indispensável para catalisadores sólidos, mas também para diversas amostras em pó, como adsorventes.

ANALISADOR DE CATALISADOR BELCAT II

**DADOS TÉCNICOS**

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Measurement method</b>                                | Método de fluxo dinâmico                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Detetor</b>                                           | Detector de condutividade térmica de 4 elementos semidifusor                                                                                                                                                                           |
| <b>Measurement / pretreatment ports</b>                  | 1                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Usable gases</b>                                      | He, Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, etc.                                                                                                          |
| <b>Gas port connections: Total</b>                       | 8                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Gas port connections: Carrier gas line</b>            | 3 out of 8 (non-corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                             |
| <b>Gas port connections: Mix line</b>                    | 8 out of 8 (including 2 corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                     |
| <b>Gas port connections: Pretreatment /pulse line</b>    | 8 out of 8 (including 2 corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                     |
| <b>Mass flow controller: Carrier gas line</b>            | F.S. 100 sccm                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Mass flow controller: Mix line</b>                    | F.S. 30 sccm                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Mass flow controller: Pretreatment / pulse line</b>   | F.S. 100 sccm                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Forno elétrico</b>                                    | Maximum temperature: 1.200 °C (1.100°C for regular use)<br>Quick cooling: 30 min (400→50 °C)<br>Cryo cooling: 10 min (800→30 °C)<br>CATCryo II: down to -120 °C<br>Heating rate: 110 °C/min (50 to 500 °C) / 80 °C/min (50 to 1000 °C) |
| <b>Injeção de vapor (opcional)</b>                       | H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, tolueno, benzeno, etc.                                                                                                                                         |
| <b>Dimensions (W x H x D), weight</b>                    | 500 x 750 x 500 mm, 80 kg                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Requirement: Gas</b>                                  | Measurement gas: 0.1 MPa (gauge pressure)<br>Compressed air: 0.45 to 0.55M Pa (gauge pressure); Joint: 1/8" Swagelok connection                                                                                                        |
| <b>Requirement: Power supply</b>                         | Single-phase, AC110 / 220V                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Certificado CE</b>                                    | Sim                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Vapor (optional): Temperature range</b>               | Bubbling bottle: Pyrex, 100 cc, 3 to 100 °C, temperature control via Peltier element                                                                                                                                                   |
| <b>CATCryo II (optional): Temperature control method</b> | LN2 spray + Heater                                                                                                                                                                                                                     |

**CATCryo II (optional): Temperature range**

Temperature range: -120 ~ 1200°C (1.100°C for regular use)

**CATCryo II (optional): LN2 reservoir volume**

10 L

**External gas mix unit (optional): Gas port**

1 ~ 3 (upgradable to a maximum of 3 MFCs)  
Joint: 1/8-inch Swagelok connection

**External gas mix unit (optional): Mass flow controller**

F.S.: 30 sccm (0.6 ~ 30 sccm (N2))  
Corrosion-resistant MFCs only.

[www.microtrac.com/belcat-ii](http://www.microtrac.com/belcat-ii)