Categoria: Normas Técnicas
Eixo temático: Ensaios Físicos e Metalúrgicos

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Determinação da Densidade Esqueleto de Amostras de Minério de Ferro por Picnometria a Gás com Base na ABNT NBR ISO 12154:2022

Porto Sudeste do Brasil

Daiane Festraets de Oliveira
Josenir Wanderley Moreira
Joyce da Silva Peçanha Mendes
Marcelo dos Santos da Silva
Marcos Paulo Alves Lavatori

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO | BRAZILIAN MINING | MINERÍA DE BRASIL

Informação Pública

Porto Sudeste do Brasil

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Informação Pública

Densidade: Crítico para o TML

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Segurança do transporte marítimo

O TML (Limite de Umidade Transportável) define a umidade máxima segura para embarcar o minério.

A densidade alimenta o ensaio

Pequenas variações de densidade podem alterar de forma relevante o valor final do TML.

Necessidade do laboratório

Método rápido, robusto e rastreável, com menor dependência do operador.

PICNOMETRIA DE VIDRO
ABNT NBR 17233:2025



- Técnica amplamente aplicada;
- Execução Simples
- Baixo Custo.
- ⚠ Alta interferência humana na execução do ensaio;
- ⚠ Baixo nível de automação;
- ⚠ Menor rapidez.

PICNOMETRIA A GÁS
ABNT NBR ISO 12154:2022



- Menor tempo;
- Alta precisão;
- Excelente Repetibilidade;

OBJETIVO: Avaliar a aplicabilidade da picnometria a gás na determinação da densidade de minério de ferro em comparação à picnometria de vidro.

Informação Pública

Delineamento do Estudo

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



PICNOMETRIA A GÁS

ABNT NBR ISO 12154:2022

9 Amostras
Blends de fornecedores diferentes

1ª Etapa
Ensaio realizado por um único analista ao longo de quatro dias consecutivos.

2ª Etapa
Ensaio realizado, sob as mesmas condições de análise, por um analista diferente em dias diferentes.

Plano de validação (DOQ-CGCRE-008, INMETRO)

Exatidão
Pic. gás × Pic. de vidro;
teste t pareado – 9 amostras

→

Repetibilidade
1 analista, 4 dias consecutivos; CV%

→

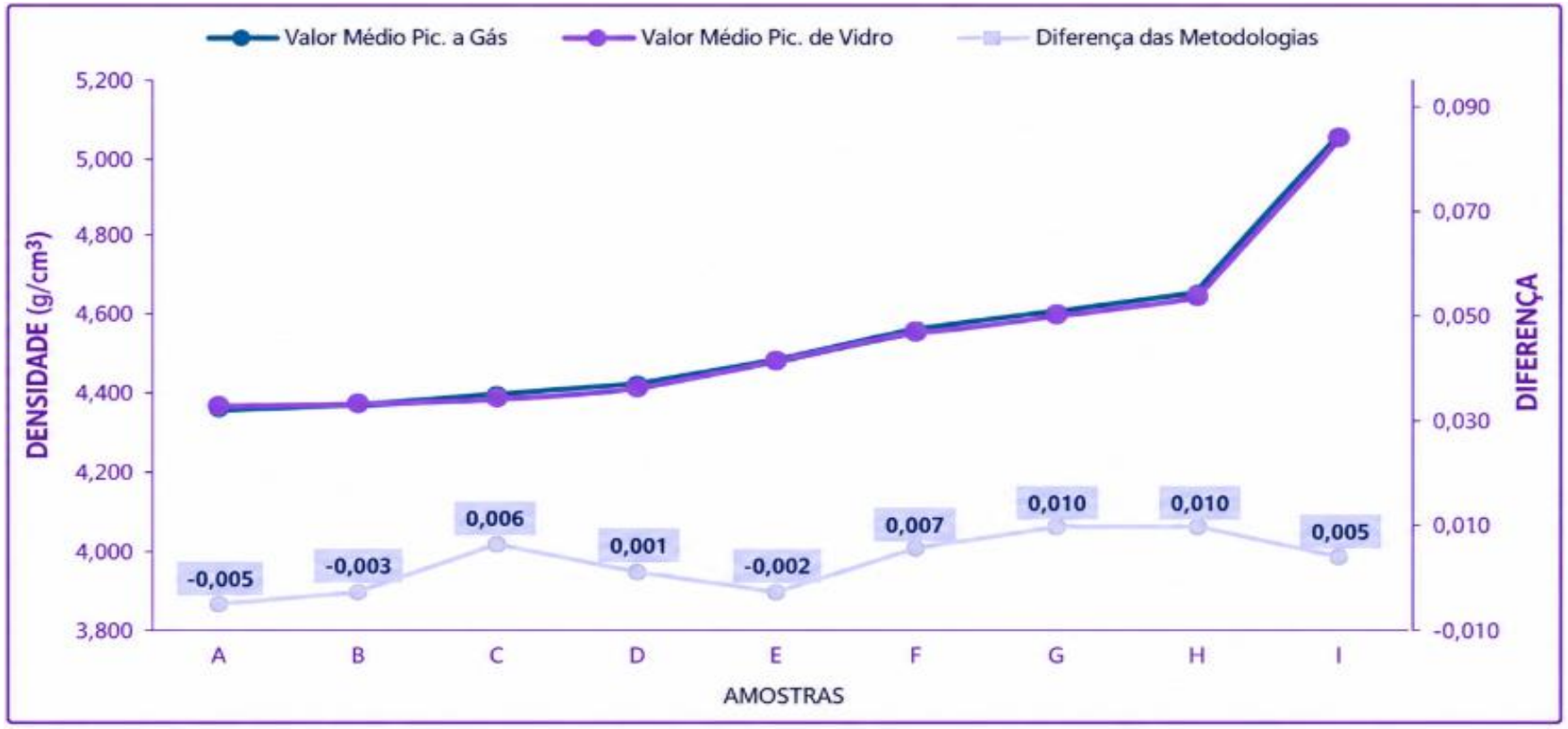
Precisão intermediária
Analistas A e B, dias distintos;
teste t pareado

Informação Pública

Exatidão: Picnometria de Vidro x Gás

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



p ≥ 0,135
amostras com p > 0,05 no teste t pareado

|t| ≤ 2,03
abaixo do t crítico de 3,182 (bicaudal, 5%) em todas as amostras

0,015
Desvio Padrão Picnometria de Vidro

0,004
Desvio Padrão Picnometria a Gás

Fonte: Tabelas 1 e 2 do relatório - Diferenças de −0,005 a +0,010 g/cm³, com sinais alternados: sem viés sistemático.

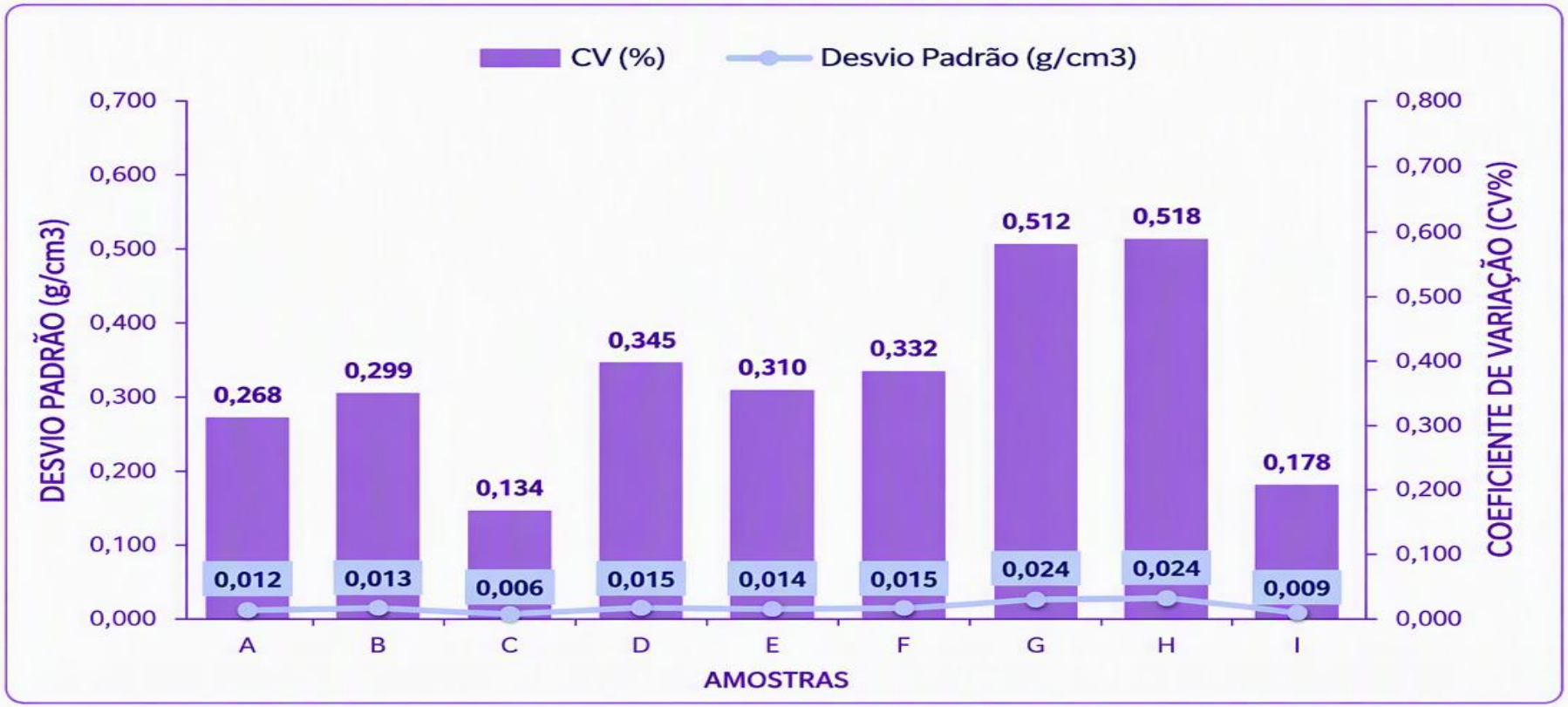
Os resultados demonstram elevada repetibilidade entre as metodologias, sem diferença estatisticamente significativa e sem evidência de viés sistemático.

Informação Pública

Precisão: Repetibilidade (Pic. Vidro)

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



CV ≤ 0,518%

muito abaixo de 2% (indicativo de alta precisão).

σ 0,006 a 0,024

desvio-padrão entre as 4 réplicas (g/cm³).

Fonte: Tabelas 3 e 4 do relatório. Referência DOQ-CGCRE-008: CV < 5% indica boa precisão; CV < 2%, alta precisão.

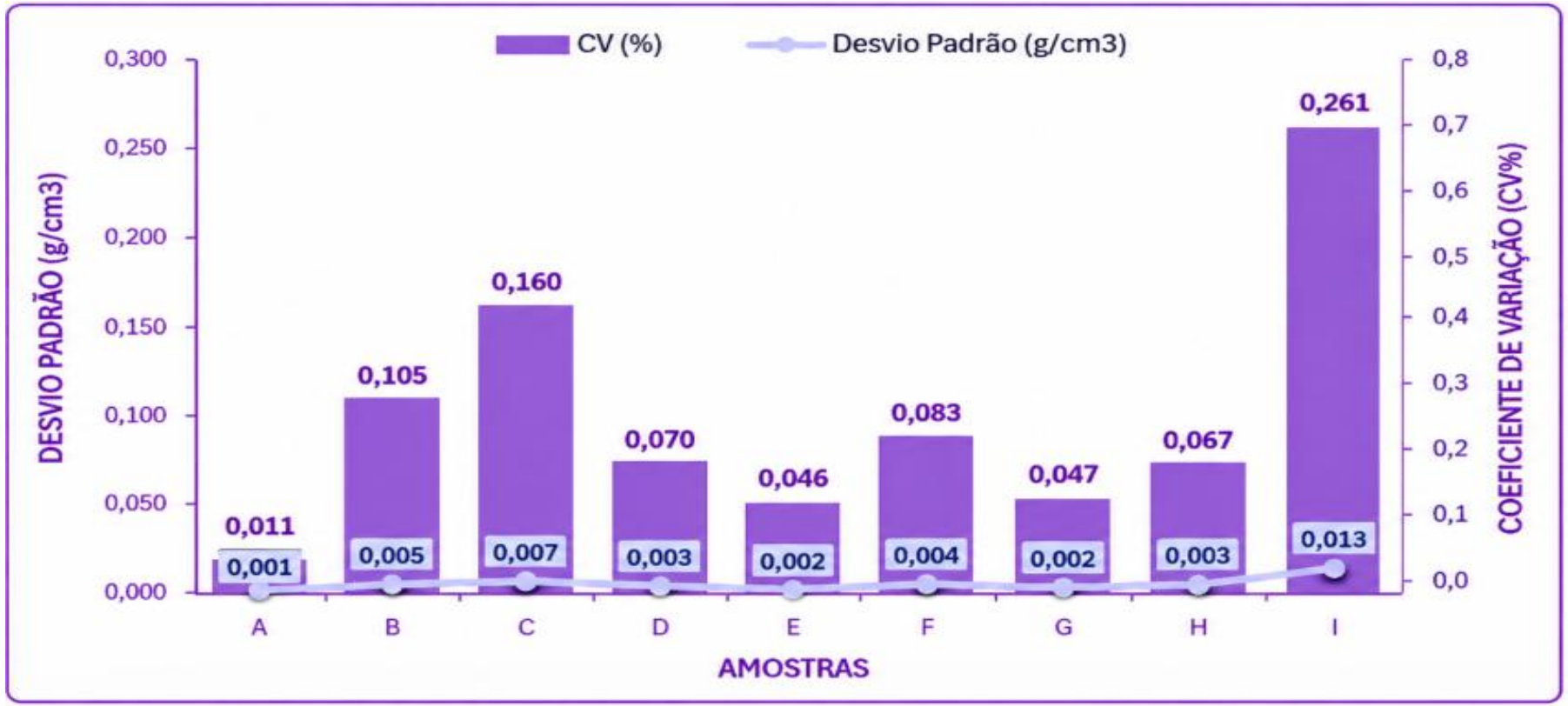
Os baixos valores de coeficiente de variação e desvio padrão demonstram elevada repetibilidade do método, evidenciando resultados consistentes entre as réplicas.

Informação Pública

Precisão: Repetibilidade (Pic. Gás)

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



CV ≤ 0,261%

muito abaixo de 2% (indicativo de alta precisão).

σ 0,001 a 0,013

desvio-padrão entre as 4 réplicas (g/cm^3).

Fonte: Tabelas 3 e 4 do relatório. Referência DOQ-CGCRE-008: CV < 5% indica boa precisão; CV < 2%, alta precisão.

Assim como na picnometria de vidro, os baixos valores de coeficiente de variação e desvio padrão demonstram elevada repetibilidade do método, evidenciando resultados consistentes entre as réplicas.

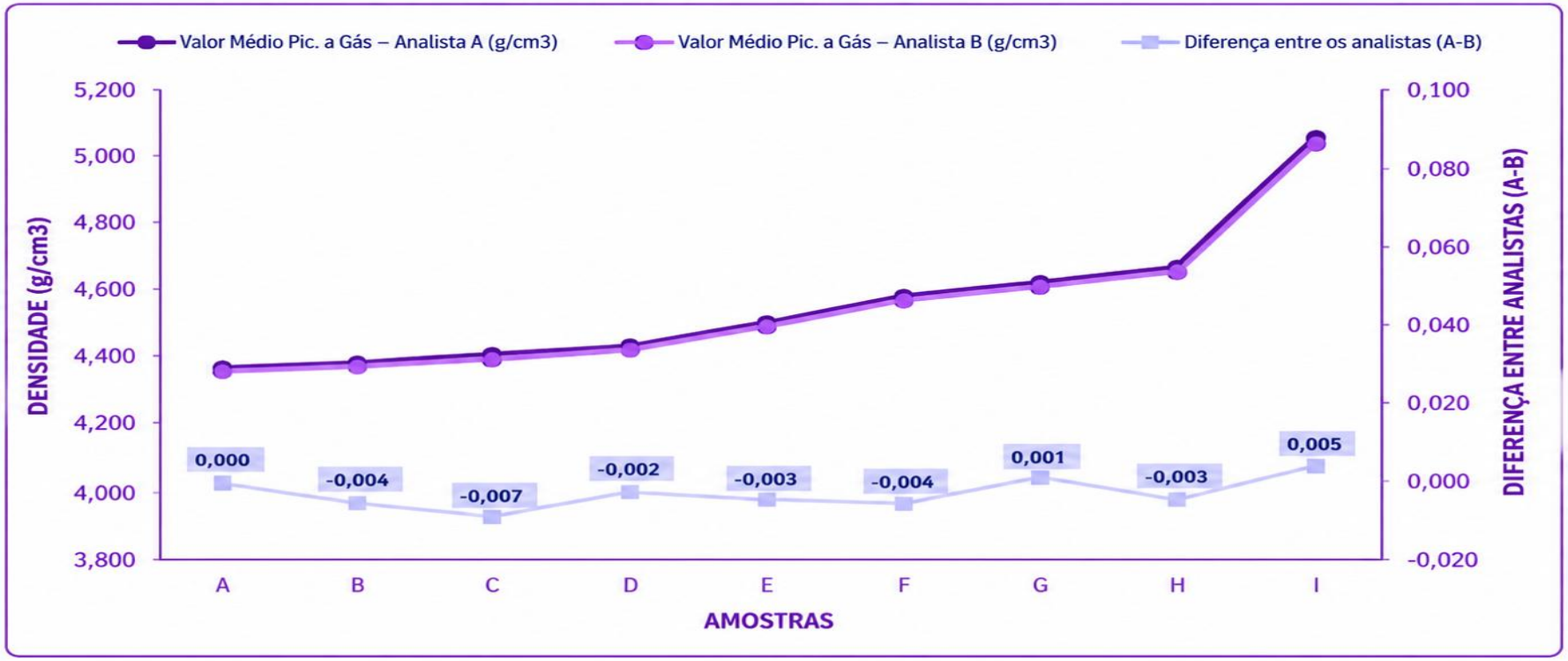
Informação Pública

Precisão Intermediária

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

DIFERENÇA DE DENSIDADE: PIC. A GÁS - ANALISTA A vs. PIC. A GÁS - ANALISTA B



TESTE T PAREADO

p ≥ 0,110

AMOSTRAS COM p > 0,05 NO TESTE T PAREADO

COMPARAÇÃO ENTRE ANALISTAS

|t| ≤ 2,25

ABAIXO DO T CRÍTICO DE 3,182 (BICAUDAL, 5%) EM TODAS AS AMOSTRAS

CV ENTRE ANALISTAS

0,05%

CV ENTRE ANALISTAS

DESVIO PADRÃO ENTRE ANALISTAS

0,002

DESVIO PADRÃO ENTRE ANALISTAS

Fonte: Tabelas 3 e 4 do relatório. Referência DOQ-CGCRE-008: CV < 5% indica boa precisão; CV < 2%, alta precisão.

A ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os analistas demonstra excelente precisão intermediária e elevada reprodutibilidade do método.

Informação Pública

Conclusão

portosudeste

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



MENOR TEMPO DE ANÁLISE
Resultados mais rápidos, aumentando a produtividade.

PADRONIZAÇÃO DO ENSAIO
Metodologia consistente, reduzindo a variabilidade dos resultados.

CONFORMIDADE COM NORMAS INTERNACIONAIS
Atendimento aos principais padrões para ensaio de densidade.

RASTREABILIDADE
Resultados confiáveis e facilmente auditáveis.

CRESCIMENTO PESSOAL E PROFISSIONAL
1º trabalho de validação do PSB com vista a um artigo científico.

CONCLUSÃO

A picnometria a gás consolidou-se como uma solução mais rápida, padronizada e rastreável, proporcionando ganhos técnicos e operacionais.

Informação Pública

OBRIGADO!

Porto Sudeste do Brasil
www.portosudeste.com

Daiane Festraets – Analista Laboratório
daiane.festraets@portosudeste.com
(21) 99713-4264