Categoria Normas Técnicas
Eixo temático: Ensaios Físicos e Caracterização de Materiais

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Desenvolvimento e validação de um método experimental para avaliação preventiva da escoabilidade de materiais granulares

Etapa 1 · Validação do protótipo em escala de laboratório

Samarco Mineração S.A.

Felipe Oliveira Rodrigues
Alvimar de Souza Correia
Alexandre Mello dos Santos
Silvano Ramos Jardim

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO | BRAZILIAN MINING | MINERÍA DE BRASIL

A EMPRESA

49 anos de história SAMARCO

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

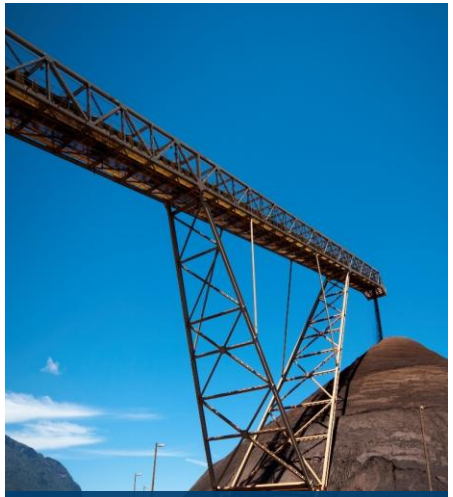
Acionistas Vale + BHP

Produtora de pelotas de minério de ferro

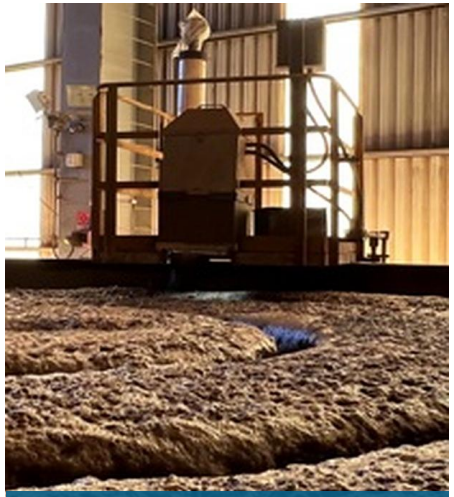
Inovação na lavra de minério de baixo teor

Transporte por mineroduto

Entre as maiores exportadoras do Brasil, com presença global



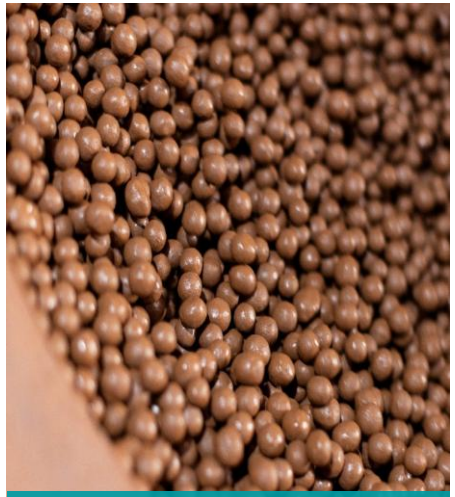
1 MINERAÇÃO



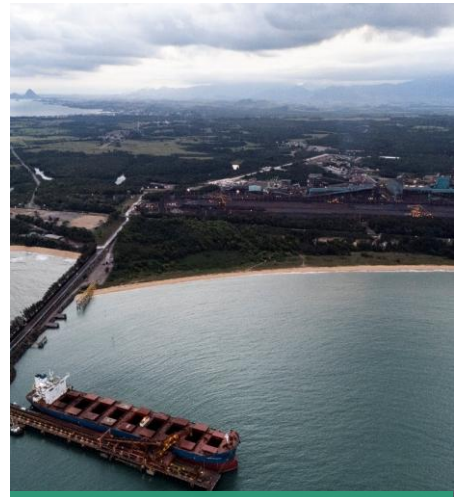
2 BENEFICIAMENTO



3 MINERODUTO



4 PELOTIZAÇÃO



5 PORTO

CONTEXTO

Influência da umidade na descarga de materiais granulares

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Descarga de material granular em caminhão basculante, operação usada como referência para o ensaio.

O problema

Com o aumento da umidade, o minério adere à caçamba e parte da carga não é descarregada.

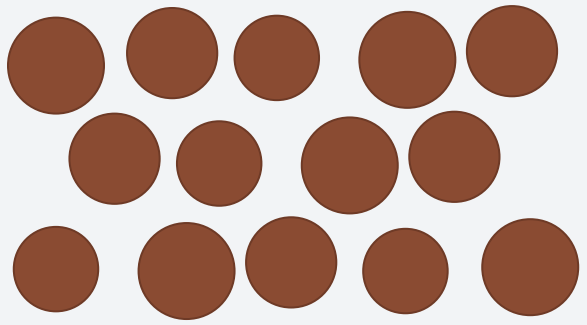
Situação atual

Hoje, a retenção de carga na caçamba só é percebida durante a descarga, quando já afeta a operação.

Limitação dos ensaios usuais

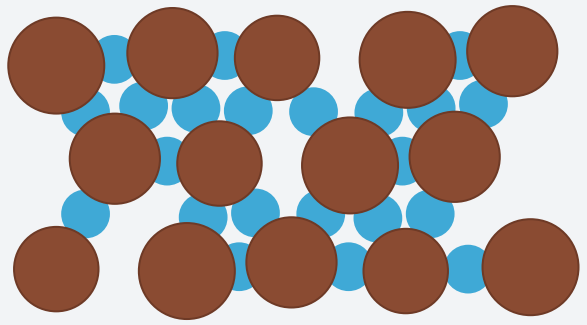
Ângulo de repouso, densidade aparente e compactada e cisalhamento caracterizam o material, mas não reproduzem a descarga.

Por que a umidade dificulta a descarga



Baixa umidade

O escoamento depende do atrito entre os grãos. O material se rearranja e desliza com facilidade.



Umidade crescente

Pontes capilares unem as partículas, formam aglomerados e aumentam a coesão e a aderência às paredes.

Inclinação para escoar
maior

Material descarregado
menor

Efeito no escoamento

A massa resiste ao fluxo e adere às paredes da caçamba.

partícula de minério ponte capilar (água)

Hipótese testada no ensaio

Se o mecanismo estiver correto, o ensaio deve registrar mais inclinação para escoar e mais retenção com o aumento da umidade, e mais resistência nas amostras mais finas.

OBJETIVO

Um ensaio de bancada para avaliar a escoabilidade antes da operação

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Objetivo: desenvolver um protótipo de bancada que reproduza, em escala reduzida, a descarga de minério de ferro em caçamba basculante, e validá-lo em laboratório quanto à coerência dos resultados.

REQUISITOS DO MÉTODO

Padronização

Mesma sequência de preparo, carregamento, acomodação e basculamento em todos os ensaios.

Comparação simultânea

Duas condições ensaiadas lado a lado, com os demais parâmetros iguais.

Resultados medidos

Ângulo de escoamento (°) e retenção de material (%), e não apenas avaliação visual.

ESCOPO EXPERIMENTAL

Minério de ferro
material de estudo

30 ensaios
em diferentes níveis de umidade

4% a 18%
faixa de umidade avaliada

Rodrigues, F.O.; Correia, A.S.; Santos, A.M.; Jardim, S.R.

MÉTODO · DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Dupla caçamba basculante, projetada e construída pela própria equipe

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Fabricação



Protótipo montado



Configuração final, em uso

Configuração
2 caçambas independentes, em paralelo

Dimensões internas
50 × 14,5 × 10 cm (C × L × P)

Volume
aprox. 7,25 L por caçamba

Basculamento
gradual e contínuo até 45°, com escala graduada

Duas caçambas: permitem comparar duas condições no mesmo ensaio, mantendo os demais parâmetros iguais.

MÉTODO · PROCEDIMENTO

Procedimento do ensaio

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

1

Preparo da amostra

Homogeneização e quarteamento. Ajuste da umidade com adição controlada de água e nova homogeneização.

2

Carregamento

Preenchimento manual das duas caçambas e nivelamento da superfície com espátula.

3

Acomodação

Cada caçamba é elevada cerca de 5 cm e solta em queda controlada, três vezes, simulando o transporte.

4

Basculamento e leitura

Inclinação gradual e contínua até 45°. Leitura do ângulo de escoamento e pesagem da massa retida.



Cuidados de padronização

- Amostra representativa (quarteamento)
- Umidade ajustada e homogeneizada
- Superfície nivelada nas duas caçambas
- Acomodação padronizada (3 quedas de 5 cm)
- Inclinação gradual e contínua até 45°
- Umidade medida em estufa e analisador

Rodrigues, F.O.; Correia, A.S.; Santos, A.M.; Jardim, S.R.

Ensaio em execução: duas amostras comparadas lado a lado



Vídeo do ensaio (clique para reproduzir)



Início



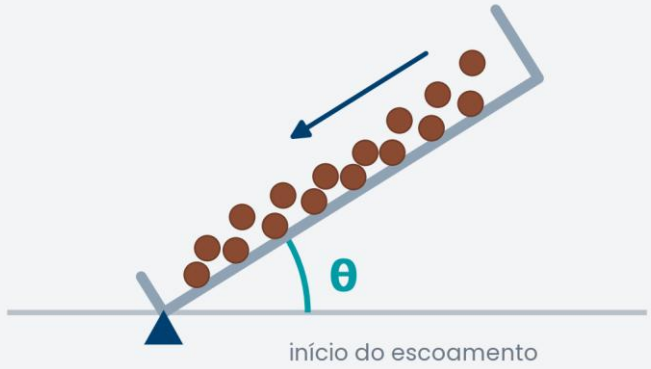
Durante o basculamento



Final do basculamento

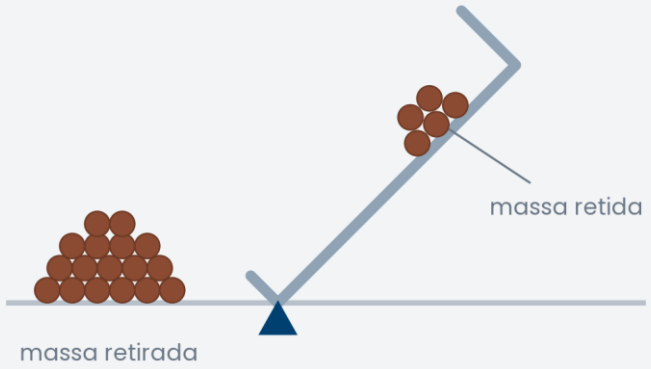
Mesma umidade (15,52%): a amostra peneirada, mais fina, demorou mais para escoar, como previsto pelo mecanismo das pontes capilares.

O que o ensaio mede



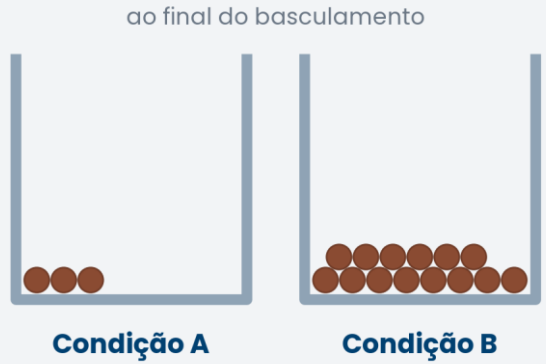
Ângulo de escoamento (°)

Inclinação da caçamba no momento em que o material começa a escoar. Lido na escala graduada do dispositivo.



Retenção de material (%)

Parcela da massa carregada que fica na caçamba após o basculamento até 45°. Obtida por pesagem.



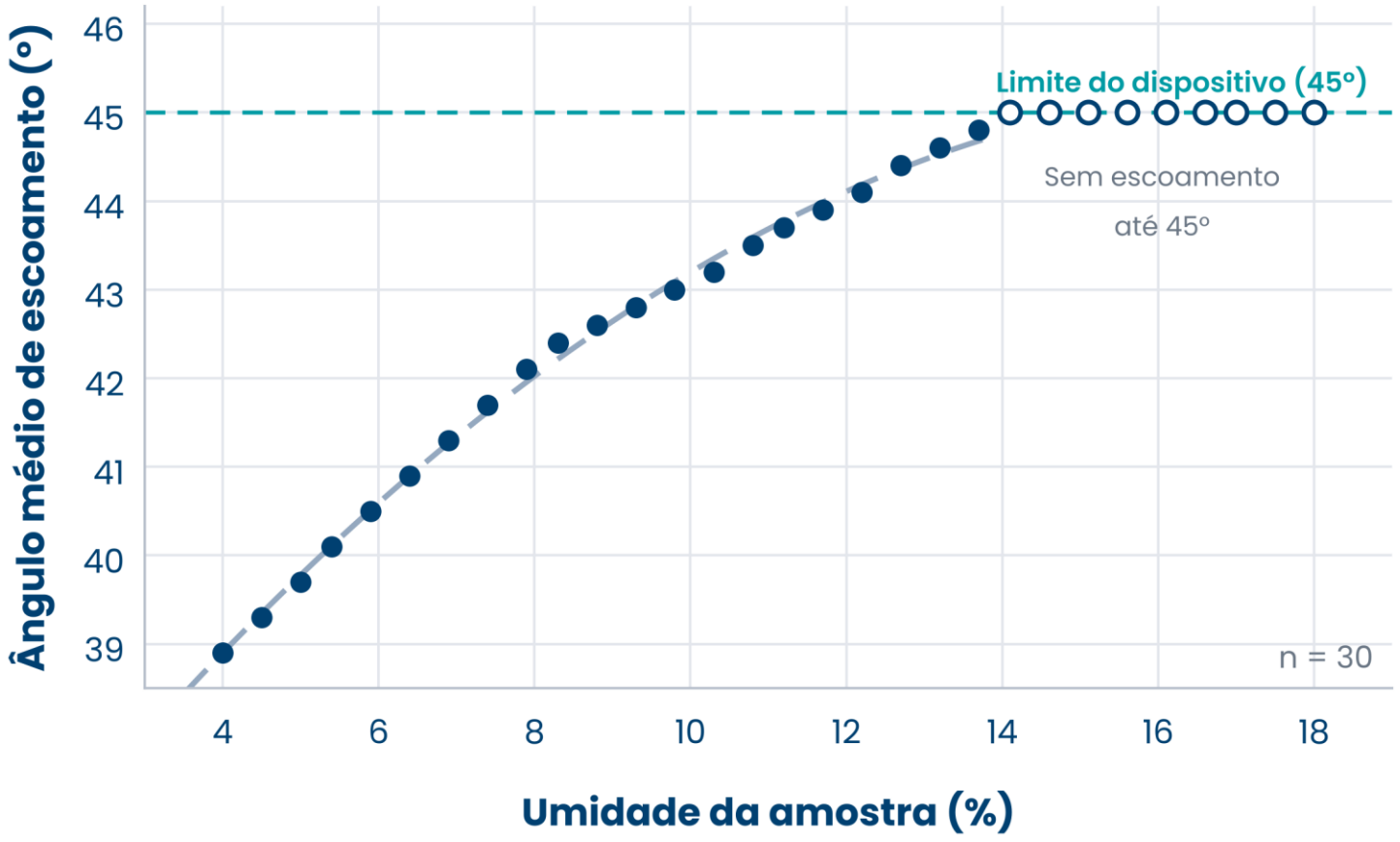
Comparação direta

As duas caçambas inclinam juntas. A diferença entre elas mostra qual condição descarrega melhor.

Como ler o resultado: quanto maior o ângulo de escoamento e maior a retenção de material, mais difícil é a descarga. Eficiência de descarga = 100% - retenção.

Ângulo de escoamento em função da umidade

Ângulo médio de escoamento × umidade da amostra (minério de ferro, n = 30)



O que o ensaio mostrou

O ângulo necessário para o escoamento aumenta de forma contínua com a umidade.

Nas umidades mais altas, o material não escoa até o limite de 45° do dispositivo (pontos vazados).

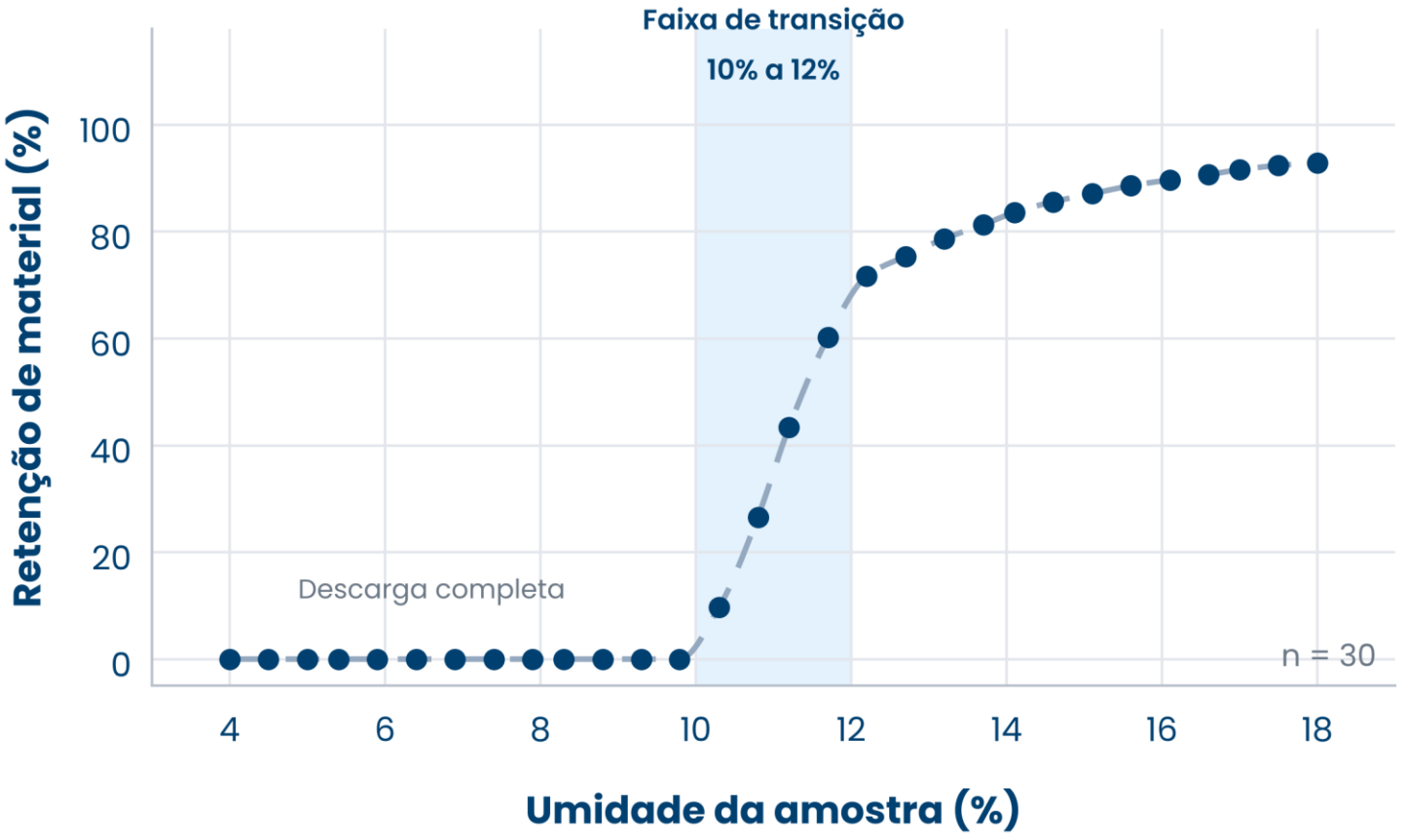
O ângulo mostra a tendência, mas muda de forma gradual.

Retenção de material em função da umidade

O que o ensaio mostrou

- Nas umidades mais baixas, a descarga é completa, sem material retido.
- Na faixa de transição, pequenas variações de umidade aumentam fortemente a retenção.
- Acima dessa faixa, a maior parte do material permanece aderida à caçamba.

Retenção de material × umidade da amostra (minério de ferro, n = 30)



Rodrigues, F.O.; Correia, A.S.; Santos, A.M.; Jardim, S.R.

CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS

Protótipo validado em escala de laboratório

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Coerente

Os resultados confirmam o mecanismo esperado: mais umidade, mais resistência ao escoamento e mais retenção.

Prático

Dispositivo simples, de baixo custo e operação manual, sem instrumentação eletrônica.

Comparativo

Duas condições no mesmo ensaio, como amostra peneirada e não peneirada.

Preventivo

Indica em bancada, antes da operação, a faixa de umidade em que a descarga fica comprometida.

PRÓXIMOS PASSOS

1. **Validação industrial**
   comparar a bancada com descargas reais de caminhões, com tratamento estatístico
2. **Respaldo normativo**
   amostragem e umidade pelas ABNT NBR ISO 3082 e 3087; precisão pela ISO 5725-2
3. **Padronização**
   redigir o procedimento no formato de norma ABNT

IBRAM
MINERAÇÃO DO BRASIL
50 ANOS

OBRIGADO!

Felipe Oliveira Rodrigues
Alvimar de Souza Correia
Alexandre Mello dos Santos
Silvano Ramos Jardim
Samarco Mineração S.A.