

# METODO SIMPLIFICADO PARA CÁLCULO DO WORK INDEX DE MOINHOS DE BOLAS EM ESCALA DE LABORATÓRIO<sup>1</sup>

Vladmir K. Alves<sup>2</sup>  
Airton Fonseca<sup>3</sup>  
Lucas Reis<sup>4</sup>  
Leonardo Procópio<sup>5</sup>  
Everton Liberato<sup>6</sup>  
Homero Delboni<sup>7</sup>

## Resumo

Ao longo dos anos a Vale desenvolveu uma metodologia para escalonamento de circuitos industriais de cominuição que vem sendo constantemente aprimorada e implantada no desenvolvimento de novas rotas de processos e otimização de circuitos em operação. Neste trabalho será dado um enfoque na metodologia da Vale para levantamento de Work Index de bolas simplificado (WIBs). A metodologia adotada é o método Anaconda para determinação de WIBs aplicada em amostras de minérios de ferro de depósitos da Vale. A grande vantagem desta metodologia é a redução do tempo e massa para determinação do consumo energético em moinhos de bolas, cujos valores podem ser utilizados em estudos de variabilidade, Mine to Mill, dimensionamento e controle de circuitos de moagem industriais.

**Palavras-chave:** Moagem de bolas; Work Index simplificado; Escalonamento; Previsão de desempenho.

## APPLICATION OF THE ANACONDA SIMPLIFIED WORK INDEX IN BATCH MILL

Over the years Vale has developed a methodology for scaling industrial comminution circuit that is being constantly improved and implemented in developing new routes and process optimization of circuits in operation. This work will be given a focus on the methodology to survey the Vale of Work Index of balls simplified (WIBs). The methodology is the method for determination of Anaconda WIBs applied to samples of different iron ore deposits of the Vale. The great advantage of this methodology is to reduce the time and weight to determine the energy consumption in ball mills, whose values can be used in studies of variability, Mine to Mill, design and control of industrial grinding circuits.

**Key words:** Ball mill; Simplified work index; Scale-up; Performance prediction.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Engenheiro de Minas, M.Sc., Vale, vladmir.alves@vale.com

<sup>3</sup> Técnico Metalúrgico, Vale, airton.fonseca@vale.com

<sup>4</sup> Técnico em Mineração, Vale, lucas.reis@vale.com

<sup>5</sup> Técnico Químico, Vale, leonardo.procopio@vale.com

<sup>6</sup> Técnico em Mineração, Vale, everton.liberato@vale.com

<sup>7</sup> Professor USP, hdelboni@usp.br

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos a Vale, desenvolveu uma metodologia para dimensionamento de circuitos de cominuição,<sup>(1)</sup> neste trabalho será dado um enfoque na metodologia simplificada para determinação de consumo energético em circuitos de moinhos de bolas.<sup>(2-4)</sup>

A metodologia adotada é a metodologia de determinação de WI simplificado Anaconda.<sup>(3,4)</sup>

Uma grande vantagem desta metodologia é pequena quantidade de amostra necessária e tempo reduzido de ensaio.<sup>(3,4)</sup>

## 2 METODOLOGIA DA VALE PARA DETERMINAÇÃO DE WI ANACONDA

A metodologia de ensaios de Work Index (WI) simplificado utilizada neste estudo foi à metodologia Anaconda,<sup>(4)</sup> onde foi realizada a calibração de um moinho operando em condições previamente padronizadas com ensaios de WI de Bond<sup>(5)</sup> para diferentes minérios de depósitos da Vale.<sup>(3)</sup> O trabalho consiste em calcular um índice operacional de trabalho a partir de ensaios em moinho de bancada que se supõem estarem diretamente relacionado ao WI padrão de Bond. Com este fator de calibração determinado a mesmo permanece para todos os minerais que serão posteriormente testados.

Como o WI proposto por Bond consiste de um valor meramente comparativo, obtido em um moinho padronizado, o método Anaconda segue o mesmo princípio. Como os resultados obtidos por ambos os testes se relacionam com a resistência à cominuição do mineral, é esperado que exista uma correlação direta entre os valores de WI estimados através de ambos os métodos.

No estudo desenvolvido pela Vale foram utilizadas duas preparações de amostra para alimentação dos ensaios Anaconda uma menor do que 6# e outra menor do que 10#, ambas escalpadas na malha de teste dos ensaios de WI de Bond. Uma vantagem de se utilizar amostras escalpadas é que a mesma se assemelha da carga do ensaio padrão de Bond na condição de estabilização, isto contribui para que a eficiência de moagem seja similar para ambos os testes.

### 2.1 Descrição do Método

O procedimento Anaconda proposto pela Vale utiliza o equipamento e condições descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** – Moinho utilizado nos ensaios Anaconda da Vale

<b>Condições do ensaio</b>	<b>Valores</b>
Diâmetro do moinho (mm)	254
Comprimento do Moinho (mm)	254
Diâmetro de bolas (mm)	25.4
Número de bolas	149
Massa de água (g)	1000
Massa de amostra (g)	1000
Rotação do moinho (RPM)	62
Tempo de moagem (s)	600

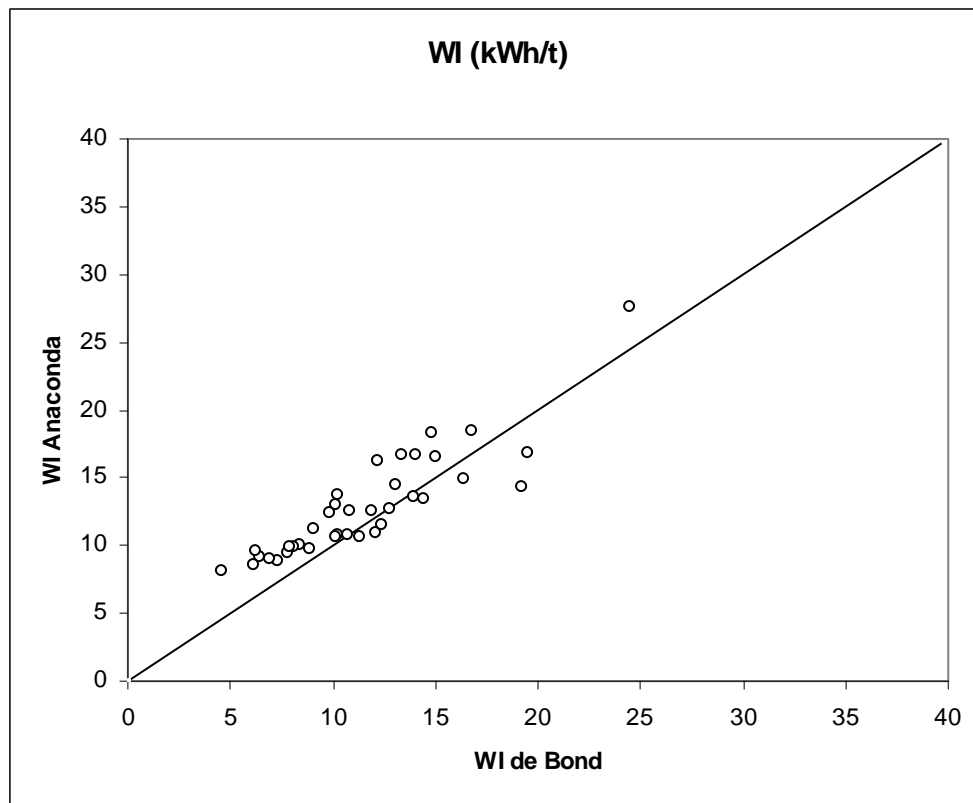
Para o cálculo do WI foi utilizada a seguinte fórmula:

$$WI = \frac{A}{\left( \frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right)} \quad (1)$$

Neste trabalho será dado um enfoque nos ensaios para amostras de minério de ferro da Vale de alimentação do ensaio Anaconda com top size de 6# e malha de corte do WI de Bond de 0,150 mm onde o valor de A seguindo a metodologia da Vale é de 0,72.

### 3 ENSAIO DE BANCADA

A metodologia de WI Anaconda Vale foi validada com mais de 480 minérios de diferentes depósitos da Vale e diferentes malhas de corre do WI de Bond.<sup>(3)</sup> Neste trabalho foram selecionadas 37 amostras de minério de ferro onde foram realizados ensaios de WI de Bond e Anaconda com malha de corte de 0,150 mm. Os resultados são apresentados na Figura 1.



**Figura 1** Comparação resultados de WI calculados pelo método padrão de Bond e Anaconda na malha 0,150 mm.

Buscando-se validar esta metodologia para as amostras de minério de ferro de diferentes depósitos da Vale foi feita uma análise estatísticas utilizando diferentes metodologia de comparação de duas populações de amostra, os resultados são apresentados na Tabela 2 em anexo seguem os resumos das análise estatísticas.

**Tabela 2** – Análise estatística para validação da metodologia de ensaios simplificado de WI Anaconda

Teste	t de Students	F-teste	Kolmogorov-Smirnov	Wald-Wolfowitz	Teste da Mediana (CHI Quadrado)	Mann-Whitney-Wilcoxon
Hipótese	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

Observando-se a Tabela 2 pode-se notar que todas as hipóteses foram aceitas indicando-se que os resultados das duas metodologias são estatisticamente iguais, validando-se a metodologia de WI Anaconda para determinação de WI para o minérios de ferro dos diferentes depósitos da Vale.

#### 4 CONCLUSÕES

A metodologia de determinação de WI simplificado Anaconda foi validada para as amostras de diferentes depósitos da Vale utilizando a malha de corte 0,150 mm, podendo ser utilizada nos estudos de variabilidade, mine to Mill , mapeamento geo-metalúrgico e controle de circuitos de moagem em operação.

#### 5 ANEXO

##### COMPARISON of TESTS for HYPOTHESES on EQUALITY of DISTRIBUTIONS

Samples used in this test

WI Bond malha 0,150 mm

WI Anaconda malha 0,150 mm

T test with unequal variance

T statistic: 0.18

Probability of exceeding this value by chance 0.860

The null hypothesis that the means are equal is

**NOT REJECTED** in favor of the alternative hypothesis that means are different.

F test

F statistic: 1.22

Probability of exceeding this value by chance 0.526

The null hypothesis that the variances are equal is

**NOT REJECTED** in favor of the alternative hypothesis that variances are different.

Kolmogorov-Smirnov test

Maximum difference: 0.14

Probability of exceeding this value by chance 0.625

The null hypothesis that the distributions are equal is

**NOT REJECTED** in favor of the alternative hypothesis that distributions are unequal everywhere.

Number of runs test

Number of runs: 42



The critical value for 95% confidence is 35.91  
The null hypothesis that the distributions are equal is  
NOT REJECTED in favor of the alternative hypothesis that  
distributions are unequal everywhere.

#### The Median test

Number of points from sample 1 below median: 22  
The critical values for 95% confidence are 17.14 and 24.86  
The null hypothesis that the distributions are equal is  
NOT REJECTED in favor of either alternative hypothesis  
that  $F(z) < G(z)$  or  $F(z) > G(z)$

#### The Mann-Whitney-Wilcoxon test.

Mann-Whitney-Wilcoxon statistic: 906.000  
The critical values for 95% confidence are 734.040 and 1114.960  
The null hypothesis that the distributions are equal is  
NOT REJECTED in favor of either alternative hypothesis  
that  $F(z) < G(z)$  or  $F(z) > G(z)$

#### OVERALL ASSESSMENT

0 out of 6 tests rejected the null hypothesis  
The distributions are identical. The samples were drawn from the same population

#### REFERÊNCIAS

- 1 Alves, V K and Goncalves, K L, 2006. Methodologies for scale up of grinding and flotation circuits for new CVRD projects, in *Proceedings of the 38<sup>th</sup> Canadian Mineral Processors Annual Meeting*, pp 567-576 (The Canadian Mineral Processors Society: Ottawa).0.
- 2 Alves, V K and Schneider, C L, 2010. Prediction of the Bond work index for variability analysis, paper presented to Comminution 2010, Cape Town, 13-16 April.
- 3 Alves, V K and Schneider, C L, 2010. Application of the Anaconda Simplified Work Index for Multiple Test Sizes, IMPC 2010, Brisbane, 6-10 September.
- 4 Yap, R F, Sepulveda, J L and Jauregui, R, 1982. Determination of the Bond work index using an ordinary laboratory batch mill, in *Design, Installation of Comminution Circuits* (ed: A L Mular), pp 176-203 (The Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc: Littleton).
- 5 Bond, F C, 1961. *Crushing and Grinding Calculations*, Revised January 1961, Allis Chalmers Publication 07R9235B.