



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



**SOFTWARE PARA CRIAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS DE *WORK INDEX* DE
MOINHO DE BOLAS (BWI)**

OURO PRETO – MG

2025

CAIO HIRSCH NASCIMENTO TEIXEIRA

**SOFTWARE PARA CRIAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS DE *WORK INDEX* DE
MOINHO DE BOLAS (BWI)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Minas da Universidade
Federal de Ouro Preto como requisito
para obtenção do título de Engenheiro de
Minas.

Professor orientador: Vladimir
Kronemberger Alves

OURO PRETO – MG

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T266s Teixeira, Caio Hirsch Nascimento.
Software para criação de um banco de dados de work index de moinho de bolas (BWI). [manuscrito] / Caio Hirsch Nascimento Teixeira. - 2025.
41 f.: il.: color., gráf..

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Kronemberger Alves.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e mineração. 2. Cominuição (Beneficiamento de minério). 3. Banco de dados. 4. Software. I. Alves, Vladimir Kronemberger. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.73

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caio Hirsch Nascimento Teixeira

Software para criação de um banco de dados de *work index* de moinho de bolas (BWI)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas

Aprovada em 19 de fevereiro de 2025

Membros da banca

[Doutor] - Vladimir Kronemberger Alves - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
[Engenheiro de Minas] - Fernando Barros Puperi - (Universidade Federal de Ouro Preto)
[Engenheiro Mecânico] - Tonimar Mendes de Oliveira - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Vladimir Kronemberger Alves, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/03/2025



Documento assinado eletronicamente por **Vladimir Kronemberger Alves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/03/2025, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0885267** e o código CRC **157E503F**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Leonardo e Sanny por terem sido fundamentais para que eu pudesse ter as oportunidades que tive, e por todo apoio durante a graduação.

Ao meu irmão Raul pelo companheirismo de sempre.

Aos meus avós Walfrido e Ileana e meus tios Junior e Alessandra, pelo suporte, e por estarem presentes nos melhores momentos e também nos mais difíceis.

Aos amigos de Ouro Preto e Belo Horizonte por terem estado presentes durante a minha jornada.

À Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, DEMIN e todos os professores, pelo ensino gratuito e de qualidade.

Ao meu orientador Dr. Vladimir Kronemberger Alves por todos os ensinamentos, paciência e confiança durante a condução deste trabalho.

À Ferro+ Mineração S.A, pela oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional, e pelas amizades construídas.

Ao Seispontobola, melhor e mais tradicional banda de Ouro Preto, pelos momentos incríveis e pelo Rock n' Roll.

À Gloriosa República dos Deuses e todos os irmãos republicanos. Por ter se tornado minha segunda casa.

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um software de análise estatística do *Work Index* de moinho de bolas (BWI) de amostras de minérios de minerações em todo o Brasil. O BWI é uma medida crucial na indústria de mineração, indicando a quantidade de energia necessária para a fragmentação do minério durante o processo de cominuição. O software foi projetado para coletar, armazenar e analisar eficientemente esses dados, permitindo a compreensão profunda do comportamento do BWI em diferentes tipos de minérios e a identificação de tendências e relações. A análise estatística revelou *insights* valiosos sobre a influência de diferentes contextos e características dos minérios nos valores de BWI, fornecendo uma base sólida para futuros empreendimentos de cominuição mineral. Além disso, o software facilitou a criação de gráficos e visualizações, simplificando a representação dos dados e contribuindo para uma interpretação mais precisa. Em resumo, o software desenvolvido constitui uma ferramenta valiosa para a indústria de mineração, ajudando no dimensionamento de novos circuitos com poucas informações disponíveis do minério, na maximização da eficiência energética e na tomada de decisões.

Palavras-chave: Mineração; Banco de dados; *Software*; *Work Index*; Cominuição.

ABSTRACT

This work describes the development of a statistical analysis software for the Ball Work Index (BWI) of ore samples from mining operations across Brazil. BWI is a crucial measure in the mining industry, indicating the amount of energy required for ore fragmentation during the comminution process. The software was designed to efficiently collect, store, and analyze these data, allowing for a deep understanding of BWI behavior in different types of ores and the identification of trends and relationships. The statistical analysis revealed valuable insights into the influence of different contexts and characteristics of the ores on BWI values, providing a solid foundation for future mineral comminution endeavors. Additionally, the software facilitated the creation of graphs and visualizations, simplifying data representation and contributing to more accurate interpretation. In summary, the developed software constitutes a valuable tool for the mining industry, helping in the design of new circuits with limited ore information, maximizing energy efficiency, and making informed decisions.

Keywords: Mining; Database; Software; Work Index; Comminution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histograma	21
Figura 2 – Frequência acumulada	22
Figura 3 - Boxplot	23
Figura 4 – Tela inicial do Software	28
Figura 5 – Tela para inserção e alteração dos dados.....	28
Figura 6 - Tabela presente do lado esquerdo da tela inicial do <i>software</i>	29
Figura 7 - Tabela presente do lado direito da tela inicial do <i>software</i>	30
Figura 8 - Gráfico de frequência acumulada plotado no <i>software</i> após filtros aplicados. Em azul, dados referentes ao minério de ferro, e em vermelho, todo o conjunto de dados.....	30
Figura 9 - Histograma plotado no <i>software</i> após filtros aplicados. Em azul, dados referentes ao minério de ferro, e em vermelho, todo o conjunto de dados.	31
Figura 10 - <i>Boxplot</i> plotado no <i>software</i> . Os dados foram categorizados de acordo com o tipo de minério. Através do <i>boxplot</i> , é possível observar o intervalo interquartis, bem como os <i>outliers</i> presentes no conjunto.	31
Figura 11 – <i>Links</i> para <i>download</i> do <i>Windows Installer</i> para os diferentes sistemas operacionais	32
Figura 12 – <i>Windows Installer</i>	33
Figura 13 – Instalador do Aplicativo	33
Figura 14 - Tela inicial	34
Figura 15 - Menu para leitura do arquivo.....	34
Figura 16 – Filtro de atributos.....	35
Figura 17 - <i>Context menu strip</i> para inserção de dados.....	35
Figura 18 - Janela de diálogo para inserção de dados.....	36
Figura 19 - <i>Context menu strip</i> para alteração de dados.....	36
Figura 20 - <i>Context menu strip</i> para deleção de dados.....	37
Figura 21 – Opção <i>Paste Data</i> presente no <i>Menu</i>	37
Figura 22 - Exemplo de entrada de dados no <i>software</i>	38
Figura 23 – Opção <i>Save</i> presente no <i>Menu</i>	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS	11
	2.1.1 Objetivo geral.....	11
	2.1.2 Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
	3.1 Conceitos Importantes	12
	3.1.1 Lei de Bond.....	12
	3.1.2 Cominuição.....	13
	3.1.3 Moinho de Bolas	14
	3.1.4 <i>Work Index</i>	15
	3.2 Cálculos Estatísticos	16
	3.2.1 Máximo	16
	3.2.2 Mínimo.....	16
	3.2.3 Média.....	17
	3.2.4 Mediana.....	17
	3.2.5 Moda.....	17
	3.2.6 Desvio Padrão	18
	3.2.7 Variância.....	18
	3.2.8 Curtose	18
	3.2.9 Assimetria.....	19
	3.2.10 Intervalo de Confiança (95%)	19
	3.2.11 Quartil Inferior e Superior.....	20
	3.3 Gráficos.....	21
	3.3.1 Histograma	21
	3.3.2 Frequência Acumulada.....	21
	3.3.3 <i>Boxplot</i>	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
	4.1 Banco de dados	24
	4.2 Ferramentas de desenvolvimento	24
	4.2.1 Visual Studio.....	24
	4.2.2 Linguagem de programação C# (C Sharp).....	24

4.2.3	Windows Forms	25
4.3	Etapas de desenvolvimento	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1	Funcionalidades	27
5.2	Tela para operações CRUD	28
5.3	Gráficos	28
5.3.1	Gráfico de frequência acumulada	30
5.3.2	Histograma	31
5.3.3	Boxplot.....	31
5.4	Instalação/Utilização do software	32
5.4.1	Instalação do .NET	32
5.4.2	Instalação da aplicação WI_DB	33
5.4.3	Importação do arquivo .CSV	34
5.4.4	Filtro.....	35
5.4.5	Inserir, atualizar ou deletar registros.....	35
5.4.6	Copiar e colar dados do Excel	37
5.4.7	Salvar os dados	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um dos pilares fundamentais da economia global, sendo responsável pela extração de matérias-primas essenciais para diversos setores industriais, como a construção civil, a indústria petroquímica e a produção de bens de consumo. No Brasil, esse setor desempenha um papel estratégico devido à sua vasta riqueza mineral e ao protagonismo em mercados internacionais, com destaque para a produção de minérios como ferro, bauxita e cobre. Esses recursos não apenas impulsionam o crescimento econômico, mas também promovem o desenvolvimento regional e a geração de empregos em larga escala (DNPM, 2017).

Entretanto, a complexidade dos processos envolvidos na mineração, especialmente na etapa de cominuição, representa desafios significativos. Conforme Chaves e Peres (2012), a cominuição ou fragmentação, que consiste na redução do tamanho de partículas, é crucial para preparar o material extraído para etapas subsequentes, como a separação e concentração mineral. Com isso, essa etapa é responsável por uma parcela considerável do consumo energético da operação, o que eleva os custos e demanda soluções cada vez mais eficientes e sustentáveis.

Dentro desse contexto, o índice de trabalho de Bond para moinho de bolas (Ball Work Index - BWI) é amplamente utilizado como parâmetro técnico para avaliar a energia necessária para fragmentar minérios em condições controladas. Este índice, determinado por meio de ensaios laboratoriais padronizados, é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e para o planejamento de circuitos de moagem (Bond, 1961). Contudo, apesar de sua relevância, o método de Bond apresenta limitações. Bond foca exclusivamente no consumo direto de energia, negligenciando insumos energéticos indiretos, como meios de moagem e energia de transporte, que podem representar 40-60% do uso total de energia. Além disso, a dependência de um único ponto (tamanho de passagem de 80%) simplifica excessivamente a complexidade das distribuições de tamanho de partículas, particularmente em tipos de materiais diversos (Musa, 2010).

Para superar essas limitações, novas abordagens baseadas em tecnologias computacionais e análise estatística têm sido desenvolvidas. Segundo Gomes *et al.* (2014), a simulação computacional tem se mostrado uma ferramenta eficaz para avaliar o desempenho de circuitos de moagem, permitindo análises detalhadas que incluem distribuições

granulométricas, vazões de sólidos e consumo energético. Pois, afinal, as ferramentas de análise estatística e simulação são essenciais para identificar padrões e tendências em grandes volumes de dados, como destacado por Naves *et al.* (2018).

Diante dessas demandas, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software para análise estatística de dados de BWI. A proposta engloba a criação de uma aplicação que consolide informações provenientes de diferentes projetos de mineração no Brasil, permitindo interpretação dos dados e geração de *insights*, como a análise do comportamento dos dados de um determinado tipo de minério de um banco de dados rico, para determinação de previsão do comportamento desse minério em um novo projeto. O *software* foi projetado para realizar operações de coleta, armazenamento, visualização e análise de dados, utilizando métodos estatísticos para identificar padrões e tendências que possam embasar decisões técnicas.

Além disso, o *software* oferece uma interface intuitiva, com funcionalidades voltadas para a criação de gráficos, facilitando a visualização de resultados. A aplicação apresenta automação dos cálculos e personalização de filtros que permitem comparar e analisar os dados, possibilitando a adaptação às especificidades de diferentes tipos de minérios e contextos operacionais. Assim, é desejável que ferramentas deste tipo não apenas aprimorem o processo de análise de dados, mas também contribuam para a redução de custos e a maximização da eficiência energética, elementos críticos para a sustentabilidade do setor.

A solução proposta pode preencher lacunas no uso de métodos tradicionais, trazendo uma alternativa moderna e acessível para mineradoras, pesquisadores e engenheiros. A aplicação prática do software no setor mineral reforça seu potencial para transformar dados em conhecimento útil, alinhando eficiência operacional com objetivos de sustentabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é o desenvolvimento de um *software* de análises estatísticas de um banco de dados de BWI de amostras de minérios de minerações do Brasil.

2.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos incluem:

- Definir e discutir sobre Work Index;
- Apresentar e discorrer sobre os aspectos teóricos relativos ao desenvolvimento do *software*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conceitos Importantes

3.1.1 Lei de Bond

A Lei de Bond é amplamente utilizada para estimar a energia necessária para a redução do tamanho de partículas durante processos de moagem. Desenvolvida por Bond (1961), ela estabelece que a energia consumida no processo de fragmentação é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho das partículas resultantes. Essa relação é expressa por meio do Work Index (WI), que é uma medida da energia específica necessária para moer uma tonelada curta (907 kg) de minério até que 80% seja passante em uma malha de 106 μm .

A equação que define a Lei de Bond é:

$$W = 10 WI \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right) \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

W = energia em kWh para moer uma tonelada curta do minério;

WI = índice de trabalho (work index);

P = abertura da peneira, em micrômetros (μm), através da qual passam 80% da massa do produto;

F = abertura da peneira, em micrômetros (μm), através da qual passam 80% da massa da alimentação.

Segundo Alves (2007), Luz et al. (2010), Alves et al (2023) e Alves et al (2024), o BWI é determinado em laboratório utilizando um moinho padrão, operado em circuito fechado com uma carga circulante de 250%. Durante os testes, o minério é moído até que o estado de equilíbrio operacional seja atingido, permitindo a obtenção de dados consistentes para os cálculos de energia.

É importante salientar as aplicações industriais da Lei de Bond, que é amplamente empregada no dimensionamento de moinhos. Segundo Luz et al. (2010) vai além do cálculo de energia, permitindo prever o desempenho de circuitos de moagem em diferentes cenários de operação. Além disso, os autores destacam que o uso do WI contribui para a redução de custos

operacionais, uma vez que evita o superdimensionamento de equipamentos e otimiza o consumo de energia.

Puperi, (Puperi, 2024) e Alves *et al.* (2024) apresentam uma equação, desenvolvida por Bond em 1953 para o cálculo de BWI de minérios com elevada quantidade finos, mais de 20% passante na malha de teste, essa equação apresentou resultados de consumo energético igual ao do circuito de moagem industrial.

A Terceira Lei da Cominuição resultou de uma sequência de experimentos em laboratório e análises de processos industriais de moagem. A lei determina que a energia requerida para fragmentar partículas é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho das partículas formadas. Esta proporção é frequentemente empregada na engenharia para calcular o consumo de energia em processos de moagem e para dimensionar equipamentos (Bond, 1952).

3.1.2 Cominuição

O processo de cominuição consiste em diminuir o tamanho das partículas de um material sólido através de forças mecânicas, tais como impacto, compressão e abrasão. Na mineração, é um dos passos cruciais no tratamento de minérios, uma vez que prepara o material para operações posteriores, como a separação, concentração e ajuste à granulometria desejada para comercialização ou aplicação industrial (Luz et al., 2010; Chaves e Peres, 2012).

São duas as fases da fragmentação em uma usina de beneficiamento de minérios: a britagem e a moagem. A fase da britagem é a primeira etapa do processo, e inicia-se com a fragmentação de grandes blocos de minério que vêm da lavra, transformando-os em partículas menores que podem ser usadas na alimentação de moinhos (Chaves e Peres, 2012).

Esse processo normalmente é realizado a seco e emprega máquinas robustas, como britadores de mandíbula, que demonstram eficácia em taxas de redução moderadas, geralmente de 4:1 a 8:1 (Chaves e Peres, 2012). Ainda, Luz et al. (2010) ressaltam a importância dessa fase para ajustar o material ao processo de moagem, assegurando uma granulometria homogênea para as fases seguintes.

A moagem é a última fase de redução de tamanho, onde partículas menores são submetidas a forças mais fortes para atingir granulometrias finas (Chaves e Peres, 2012). Esse

processo pode ser executado tanto em ambiente seco, quanto úmido, utilizando máquinas como moinhos de bolas, moinhos SAG (semi-autógenos) e prensa de rolos de alta pressão (HPGR).

3.1.3 Moinho de Bolas

O moinho de bolas é um equipamento crucial na indústria de mineração, principalmente aplicado na moagem fina e ultrafina. Apresenta forma cilíndrica, que gira ao redor de seu eixo e é parcialmente preenchido com objetos moedores, como esferas de aço ou cerâmica, além do material a ser processado.

Na prática, o moinho de bolas é frequentemente utilizado em diversos segmentos industriais. Ele é utilizado na indústria de mineração para moer minérios de ferro, cobre, ouro e bauxita, preparando os materiais para processos de concentração, como a separação magnética e a flotação. O equipamento é usado também na indústria de cimento para a moagem do clínquer, uma etapa essencial para a fabricação de cimento. No setor químico, seu uso destaca-se na fabricação de pigmentos e materiais para fertilizantes (Chaves e Peres, 2012).

Embora seja amplamente utilizado, o moinho de bolas também possui algumas limitações. Um dos maiores obstáculos é o alto uso de energia, que afeta consideravelmente os gastos operacionais. Com o passar do tempo, o desgaste dos corpos moedores e do revestimento interno acarreta um custo extra. Em comparação com outros equipamentos, como os moinhos SAG, moinhos verticais e as prensas de rolos de alta pressão (HPGR), o moinho de bolas pode ser menos eficaz em termos energéticos, restringindo sua competitividade em determinadas aplicações (Luz et al., 2010).

Apesar de existirem inovações disponíveis, a seleção do moinho de bolas como equipamento de moagem deve ser meticulosamente avaliada, considerando a natureza do material a ser processado, as exigências de granulometria e os gastos relacionados ao uso de energia. O moinho de bolas, unindo robustez, simplicidade e confiabilidade, persiste como uma opção preferida em plantas de processamento de minerais, especialmente quando está ligado a progressos tecnológicos que aumentam sua eficácia (Chaves e Peres, 2012).

3.1.4 *Work Index*

O Índice de Trabalho (*Work Index*-WI) é determinado por meio de um teste padronizado realizado em um moinho de laboratório, sob condições operacionais específicas. É um dado obtido experimentalmente que indica a resistência do material ao processo de cominuição.

A equipe de cominuição da Universidade Federal de Ouro Preto (Alves *et al.*, 2024) detalha o procedimento de obtenção do valor do work index de moinhos de bolas (BWI) em escala de laboratório. Para a execução do ensaio de BWI, utiliza-se uma amostra de aproximadamente 20 kg de minério, submetida à cominuição em um moinho de bolas padronizado.

A preparação da amostra segue as diretrizes da norma ABNT NBR ISO 3082:2019, a qual padroniza os procedimentos de amostragem e preparação do material. Inicialmente, a amostra é seca em estufa e britada até passar completamente na malha de 3360 µm, minimizando a geração de partículas finas. A massa do minério é obtida a partir da média de três medições em que se deve encher uma proveta de 1L até a altura de 700 ml e bater levemente o fundo da proveta a fim de compactar o material.

Em seguida, é necessário realizar a caracterização granulométrica do minério, assim sendo possível determinar a abertura da peneira onde 80% da massa da alimentação é passante e o número de rotações do primeiro ciclo. Para acompanhamento do ensaio e realização dos cálculos, a equipe sugere a utilização do software VKA WI, desenvolvido com essa finalidade específica.

O ensaio é iniciado com a carga do moinho, onde são adicionadas as bolas e a amostra de teste. Após o primeiro ciclo, o material é descarregado e peneirado na malha de teste. A massa retida é registrada, assim como a massa passante. A moabilidade é, então, determinada dividindo a quantidade líquida passante pelo número de rotações. Para os ciclos subsequentes, a massa inicial do ensaio deve ser reestabelecida, incorporando a massa retida do ciclo anterior e ajustando conforme necessário, e o número de rotações deve ser recalculado.

O ensaio deve ser finalizado caso atinja um dos critérios de parada, definidos de acordo com Bond (1952) e ABNT (1990). Ou pela inversão da tendência de crescimento ou decréscimo do desvio em três ciclos consecutivos ou pela estabilização dos valores de moabilidade. Após finalização, o BWI é calculado conforme a Equação 2 (Bond, 1952):

$$BWI = \frac{44,5}{Am^{0,23} \times Mob^{0,92} \times 10^{(P80^{-0,5} \times A80^{-0,5})}} \times 1,1 \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

BWI: Work Index para moinho de bolas (kWh/t);

Am: abertura da malha de classificação do ensaio (μm);

P80: abertura da peneira por onde passam 80% do passante em Am do último ciclo(μm);

A80: abertura da peneira por onde passam 80% da alimentação (μm);

Mob: média dos três últimos valores da moabilidade (g/rotação);

1,1: fator de conversão de tonelada curta para tonelada métrica.

3.2 Cálculos Estatísticos

Em estatística, a análise de dados não se limita apenas à identificação de valores centrais ou medidas de posição, mas também envolve a compreensão da variabilidade ou dispersão. Enquanto as medidas de posição nos fornecem uma noção da tendência central dos valores, é essencial considerar o grau de dispersão para obter uma visão completa da distribuição.

As medidas de posição revelam apenas uma característica dos valores numéricos em um conjunto de observações, a tendência central. Elas não fornecem informações sobre o grau de variação ou dispersão dos valores observados. Em qualquer conjunto de dados, os valores numéricos são diversos e apresentam desvios variáveis em relação à tendência média geral.

Já as medidas de dispersão ou variabilidade têm como objetivo determinar o grau de dispersão dos valores em uma distribuição de frequência, isto é, os quão afastados ou concentrados estão os valores.

Algumas medidas de posição e dispersão estão presentes no *software* desenvolvido neste estudo e são descritas a seguir.

3.2.1 Máximo

O maior valor encontrado entre as amostras analisadas.

3.2.2 Mínimo

O menor valor encontrado entre as amostras analisadas.

3.2.3 Média

A média representa o valor central de um conjunto de dados e é calculada somando todos os valores do conjunto de dados e dividindo o resultado pelo número de valores. A fórmula para o cálculo da média é apresentada a seguir:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

Onde:

μ = média;

n = quantidade de elementos no conjunto;

x_i = elementos do conjunto.

3.2.4 Mediana

A mediana, assim como a média, é uma medida estatística que representa o valor central em um conjunto de dados. No entanto, a mediana não é sensível a valores extremos, o que é o caso da média. Portanto, para calcular a mediana, é necessário primeiramente ordenar os dados. A seguir apresenta-se o passo a passo para obter o valor da mediana em um conjunto de dados:

1. Ordenar os valores.
2. Se o número de valores no conjunto de dados for ímpar, a mediana será o valor do meio.
3. Se o número de valores no conjunto de dados for par, a mediana será a média dos dois valores do meio.

3.2.5 Moda

A moda representa o valor ou os valores que ocorrem com maior frequência em um conjunto de dados. Em outras palavras, é o valor ou os valores que aparecem mais vezes. É possível que, em um conjunto de dados, possam ser encontrados nenhum, um, ou mais de um valor para a moda. Para obter esse ou esses valores, basta contar quantas vezes cada valor aparece na amostragem.

3.2.6 Desvio Padrão

O desvio padrão é uma medida de dispersão que indica o quanto os valores em um conjunto de dados estão dispersos em relação à média. Pode ser calculado a partir da fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (8)$$

Onde:

σ = desvio-padrão;

n = quantidade de elementos no conjunto;

x_i = elementos do conjunto;

μ = média do conjunto.

3.2.7 Variância

A variância é uma medida estatística que quantifica a dispersão ou a variabilidade dos valores em um conjunto de dados. Em outras palavras, a variância indica o quão espalhados os valores estão em relação à média. A variância também pode ser descrita como o quadrado do desvio padrão. A fórmula para calcular a variância de um conjunto de dados é a seguinte:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} \quad (9)$$

Onde:

σ^2 = variância;

n = quantidade de elementos no conjunto;

x_i = elementos do conjunto;

μ = média do conjunto.

3.2.8 Curtose

A curtose é uma medida estatística que descreve a forma da distribuição de probabilidade de um conjunto de dados. Ela avalia a rapidez com que os valores se afastam da média em relação ao centro da distribuição. É geralmente calculada utilizando a seguinte equação:

$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{n\sigma^4} \quad (10)$$

Onde:

β_2 = coeficiente de curtose de Pearson;

σ = desvio padrão;

n = quantidade de elementos no conjunto;

x_i = elementos do conjunto;

μ = média do conjunto.

3.2.9 Assimetria

A assimetria, como o próprio nome indica, é uma medida estatística que descreve a falta de simetria em uma distribuição de probabilidade. Ela indica a inclinação da distribuição em relação à média. Uma distribuição simétrica tem valores iguais ou aproximadamente iguais à esquerda e à direita da média, enquanto uma distribuição assimétrica tem uma tendência de valores mais concentrados em um lado da média do que no outro. É calculada a partir da média, desvio padrão e terceiro momento da distribuição. O terceiro momento é uma medida de quão longe os dados estão da média.

$$M_3 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)^3}{n} \quad (11)$$

$$As = \frac{M_3}{\sigma^3} \quad (12)$$

Onde:

M_3 = terceiro momento;

As = assimetria;

σ = desvio padrão;

n = quantidade de elementos no conjunto;

x_i = elementos do conjunto;

μ = média do conjunto.

3.2.10 Intervalo de Confiança (95%)

O intervalo de confiança (IC) é uma estimativa estatística que fornece um intervalo no qual um parâmetro de interesse de uma população provavelmente está. O intervalo de confiança

para 95% é um dos intervalos de confiança mais comuns e é usado para estimar um parâmetro com 95% de confiança de que o valor real está dentro desse intervalo. O intervalo de confiança é construído em torno de uma estimativa pontual, como a média ou a proporção, e leva em consideração a variabilidade dos dados. É calculado a partir da fórmula:

$$IC = \mu \pm \left(Z \times \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right) \quad (13)$$

IC = intervalo de confiança;

μ = média do conjunto;

Z = é o valor crítico da distribuição normal padrão correspondente ao nível de confiança de 95%. Para um intervalo de confiança de 95%, Z é aproximadamente 1,96.

σ = desvio padrão;

n = quantidade de elementos no conjunto.

No software desenvolvido neste estudo é mostrado apenas a margem de erro, que na fórmula acima é somada e subtraída da média para obtenção do intervalo de confiança.

3.2.11 Quartil Inferior e Superior

O quartil inferior é o valor que divide o conjunto de dados ordenado em 25% dos valores inferiores. Isso significa que 25% dos dados estão abaixo do Q1 e 75% estão acima dele.

O quartil superior é o valor que divide o conjunto de dados ordenado em 25% dos valores superiores. Isso significa que 25% dos dados estão acima do Q3 e 75% estão abaixo dele.

Para o cálculo dos quartis inferior e superior, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Ordenar os dados em ordem crescente.
2. Determinar as posições dos quartis usando as seguintes fórmulas:

$$(Q1) = \frac{(n + 1)}{4} \quad (14)$$

$$(Q3) = 3 \times \frac{(n + 1)}{4} \quad (15)$$

Onde:

n = quantidade de elementos no conjunto.

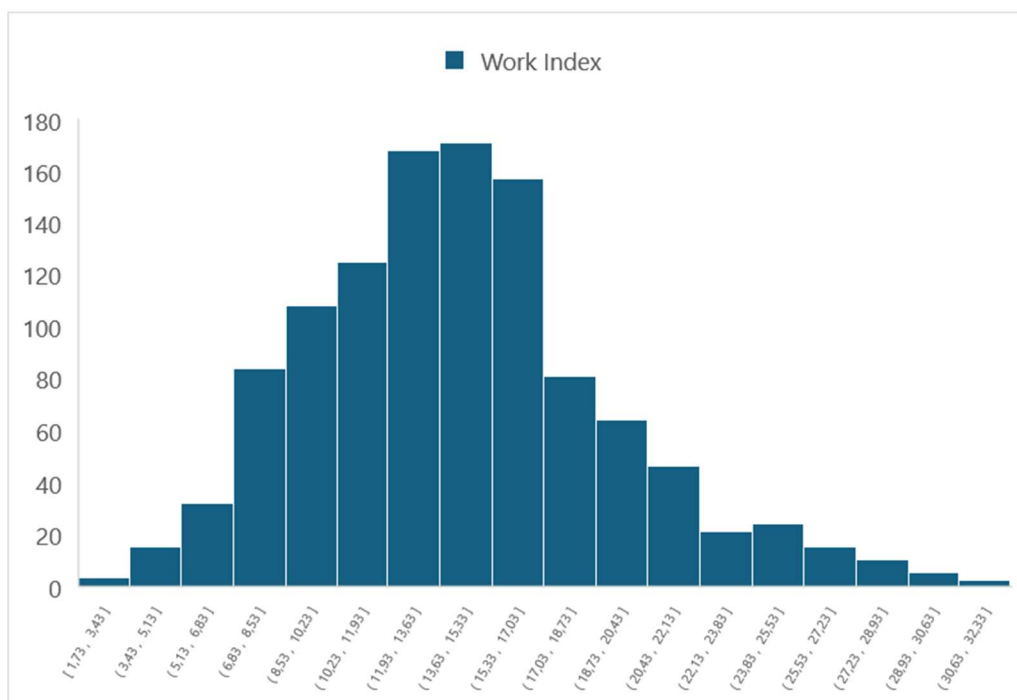
Se as posições calculadas forem números inteiros, os quartis são os valores exatamente nessas posições. Se as posições calculadas não forem números inteiros, é necessário interpolar entre os valores mais próximos.

3.3 Gráficos

3.3.1 Histograma

Um histograma é uma representação gráfica da distribuição de dados numéricos. Ele é construído dividindo o intervalo dos dados em *bins* (intervalos) e contando quantos valores se enquadram em cada *bin*. As alturas das barras no gráfico representam a frequência ou a densidade de dados em cada *bin*. O histograma é útil para visualizar a forma da distribuição dos dados, identificar modas (picos) e *outliers* (valores discrepantes).

Figura 1 – Histograma.



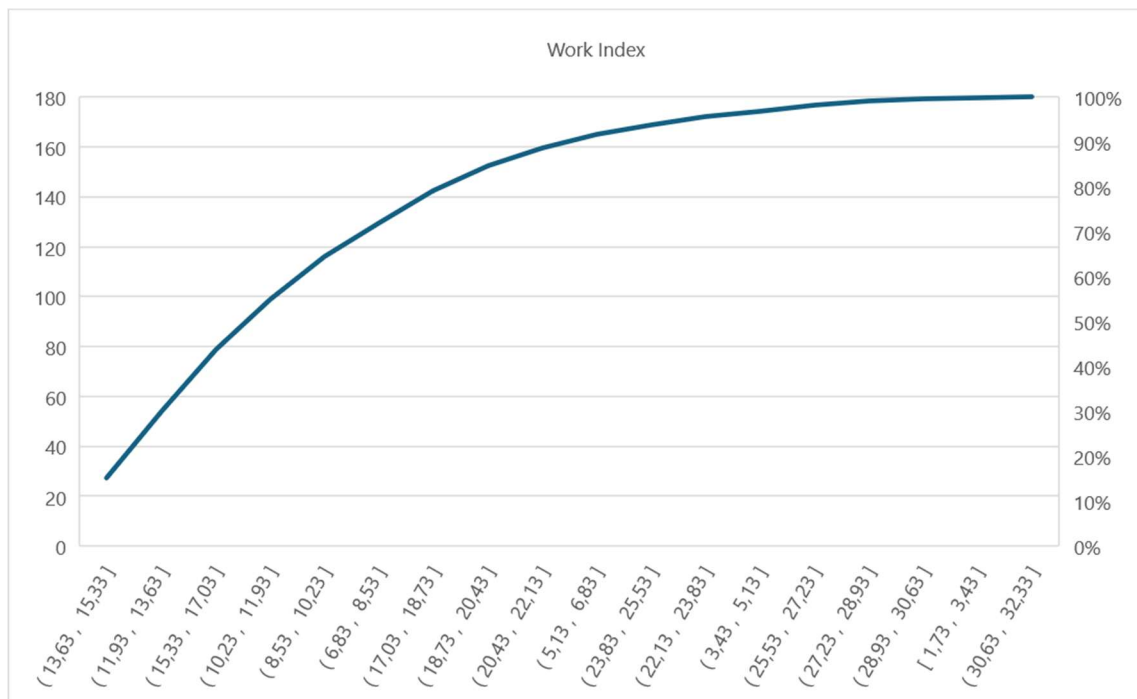
Fonte: Acervo do autor.

3.3.2 Frequência Acumulada

A frequência acumulada é uma representação gráfica que mostra a acumulação gradual de valores à medida que avançamos em uma distribuição de dados. Ela é especialmente útil para compreender a proporção de valores que estão abaixo (ou acima) de um determinado

ponto. A frequência acumulada é calculada a partir das frequências de dados em intervalos crescentes. Um gráfico de frequência acumulada pode revelar percentis¹, mediana e quartis da distribuição.

Figura 2 – Frequência acumulada



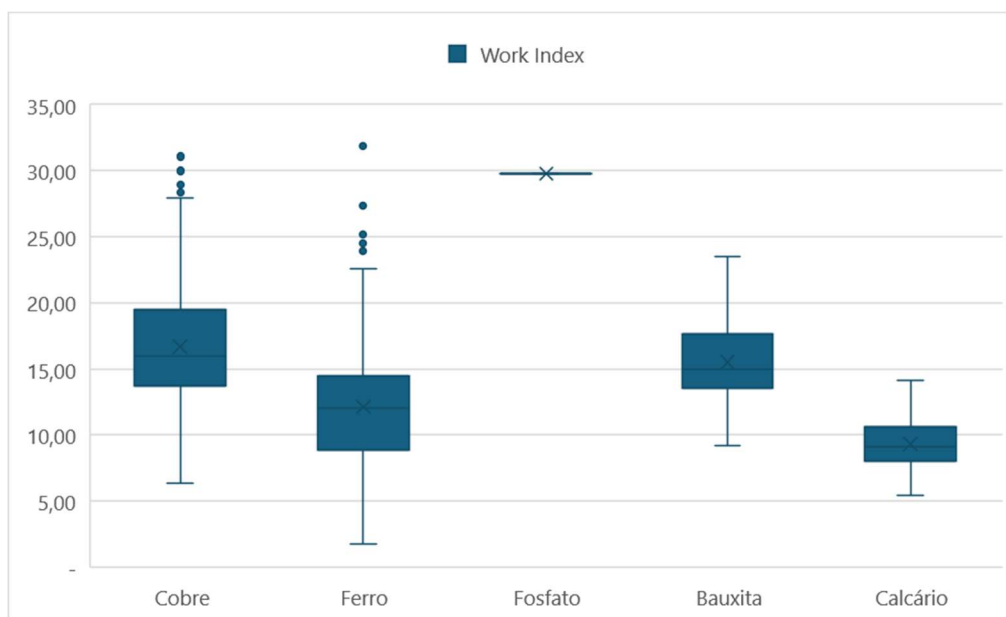
Fonte: Acervo do autor.

3.3.3 Boxplot

O *boxplot*, também conhecido como diagrama de caixa, é uma representação gráfica que fornece uma visão compacta e informativa da distribuição dos dados. Ele consiste em um retângulo (caixa) que representa o intervalo interquartil (IQR) dos dados, com uma linha no meio que indica a mediana (Q2). As *whiskers* (linhas) estendem-se a partir da caixa para mostrar a extensão dos dados dentro de limites específicos. *Outliers* são frequentemente destacados no gráfico como pontos individuais.

¹ Os percentis nada mais são do que divisão dos dados em 100 partes iguais para que seja possível uma melhor visualização da posição de cada dado dentro do conjunto.

Figura 3 - Boxplot



Fonte: Acervo do autor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Banco de dados

Como base para desenvolvimento da aplicação, foi utilizado um banco de dados contendo 1130 resultados de BWI (*Work Index* de Moinho de bolas) de diferentes minérios, disponibilizado pelo Professor Vladimir Kronemberger Alves. Essas amostras estão divididas em 28 projetos. Esses projetos correspondem a minerações de 5 tipos de minérios diferentes, sendo eles cobre, ferro, bauxita, fosfato e calcário. Cada amostra presente no banco de dados possui atributos específicos: Número da amostra, Identificador (Nome), Minério, Malha de corte do ensaio de BWI (micrometros), Projeto e WI (kWh/t).

4.2 Ferramentas de desenvolvimento

4.2.1 Visual Studio

O software foi criado por meio do Visual Studio, um ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) da Microsoft projetado para a criação de aplicativos. O Visual Studio possibilita a condução completa do processo de desenvolvimento em um único local, permitindo escrever, editar, depurar e implementar código, além de incorporar elementos visuais para interação com os usuários e viabilizar a implantação do aplicativo.

4.2.2 Linguagem de programação C# (C Sharp)

Para a codificação, foi adotada a linguagem de programação C# (C Sharp), uma linguagem orientada a objetos e altamente tipada, desenvolvida pela Microsoft. É uma linguagem de programação originada da família de linguagens C, assim como C e C++. É amplamente empregada na indústria de desenvolvimento de softwares, com capacidade para criação de aplicativos robustos e seguros. O C# foi desenvolvido como parte da plataforma .NET, uma plataforma de código aberto que possibilita a construção de aplicações desktop, web e mobile, as quais podem ser executadas de forma nativa em diversos sistemas operacionais.

4.2.3 Windows Forms

O software foi desenvolvido utilizando o Windows Forms, uma biblioteca de classes da Microsoft que faz parte da plataforma .NET. Ele é usado para criar interfaces gráficas de usuário (GUI) para aplicativos de desktop baseados no sistema operacional Windows, e oferece uma maneira fácil de criar janelas, controles e elementos de interface do usuário para aplicativos Windows.

4.3 Etapas de desenvolvimento

A primeira etapa do desenvolvimento envolveu a compreensão da estrutura do banco de dados, suas entidades e atributos. Isso incluiu a análise detalhada do esquema de banco de dados existente ou a definição de um novo esquema, caso fosse necessário.

O banco de dados era composto por uma tabela, contendo inicialmente 1130 amostras. Cada registro de amostra possuía os seguintes atributos: nome, minério, malha, projeto e WI. Ao criar as classes que representam os dados posteriormente, foi adicionado um outro atributo, nomeado identificador.

Com base na estrutura do banco de dados, o próximo passo foi transformar os dados brutos em um formato .CSV. Isso foi necessário para facilitar a importação dos dados para o *software*. O desenvolvimento do *software* começou com a criação da base do código, o que envolveu a definição da arquitetura do *back end*. Isso incluiu a seleção das linguagens de programação e *frameworks* apropriados.

Foram criadas as classes de entidades essenciais, nomeadamente, Amostra, Projeto e Minério, com seus respectivos atributos. Isso definiu a estrutura de dados fundamental para o *software*. Foi necessário a separação dessas entidades que eram, até então, apenas uma, para que posteriormente fosse possível implementar as funções CRUD, funcionalidades que viriam compor o *software*.

O próximo passo foi, então, a criação das funções responsáveis pela leitura do arquivo .CSV e pela importação dos dados para dentro do *software*. Os dados foram armazenados em objetos derivados das classes de entidades criadas.

Em seguida, foram desenvolvidas as funções para realizar os cálculos estatísticos com base nos dados importados. Esses cálculos eram essenciais para as funcionalidades do *software*. Também foi necessário o desenvolvimento das funções CRUD, sigla para *Create, Read, Update*

e *Delete*. Essas funções são responsáveis pelas ações de inserção, alteração, leitura e deleção dos dados, e elas tornam possível a manipulação dos registros.

Iniciou-se, a partir de então, o desenvolvimento da parte visual do software, projetando as telas responsáveis pela interação com o usuário. Isso incluiu a definição de um design de usuário intuitivo e que facilitasse a interpretação e comparação dos dados. Nessa fase foram inseridos todos os elementos presentes nas telas, como tabelas, gráficos, caixas de texto, painéis e caixas combo, todos ainda sem funcionalidade.

Foram implementadas as funções responsáveis por apresentar os dados nas telas, garantindo que as informações nas tabelas fossem atualizadas corretamente e que os cálculos estatísticos fossem exibidos de forma compreensível, bem como as funções que permitiram a criação e exibição de gráficos, tornando a visualização de dados mais acessível e informativa.

Como parte final do processo, foi desenvolvido o código da tela principal, incorporando toda a estrutura de código escrita anteriormente, incluindo as classes de entidades, funções de cálculo, controles e design. Isso resultou em uma primeira versão funcional do *software*.

Após desenvolvimento, através de reuniões e testes feitos no *software*, algumas oportunidades de melhorias foram identificadas. Essa fase é fundamental para que o *software* se torne mais confiável, fluido e confortável para o usuário. Os pontos identificados foram sendo tratados de acordo com as prioridades definidas, até que se chegasse à versão final desejada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Funcionalidades

O funcionamento do software pode ser descrito da seguinte maneira: inicialmente, ele lê uma base de dados a partir de um arquivo no formato *.csv*. Este formato é comumente utilizado para exportar dados de planilhas do Excel, onde as colunas são separadas por um caractere definido. A partir da leitura do arquivo, os dados são apresentados em duas tabelas, cada uma contendo todos os dados iniciais.

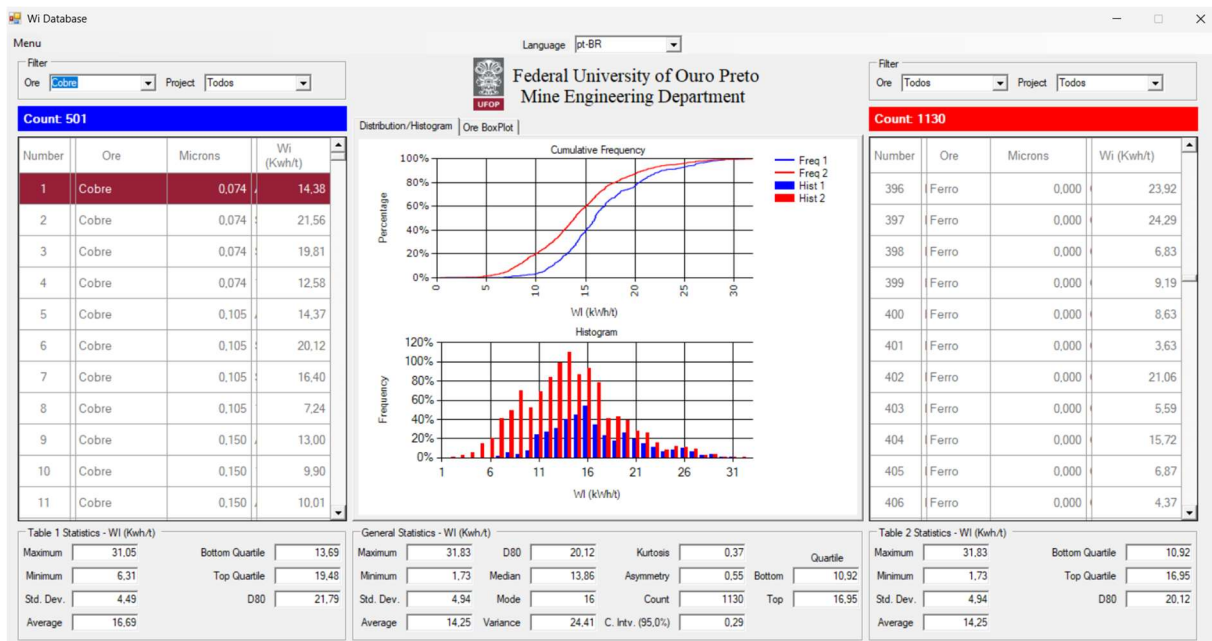
Durante o processo de leitura dos dados, o *software* realiza cálculos estatísticos com base nas informações contidas nas tabelas e exibe esses resultados imediatamente abaixo das tabelas correspondentes. Entre as duas tabelas, são exibidos gráficos que representam a frequência acumulada e a distribuição normal dos dados. Cada gráfico exibe duas séries de dados, uma para cada tabela. Há ainda uma aba separada para um gráfico do tipo *boxplot*, que exibe as informações relacionadas a cada tipo de minério.

Acima de cada uma das tabelas, existe um filtro que contém o campo "Minério", permitindo que o usuário filtre os dados exibidos nas tabelas de acordo com suas necessidades. Sempre que os dados são filtrados, o software recalcula automaticamente as estatísticas em cada tabela e redesenha os gráficos, garantindo que os resultados exibidos estejam sempre relacionados aos dados que o usuário deseja analisar.

Além disso, no centro da tela, abaixo dos gráficos, são apresentadas estatísticas globais referentes ao conjunto completo de dados inicialmente lidos pelo *software*. Isso significa que, mesmo após a aplicação de filtros nas tabelas, o usuário ainda pode comparar os resultados obtidos com o conjunto de dados global.

O *software* também é capaz de realizar as chamadas operações CRUD (Create, Read, Update, Delete) no banco de dados. Ou seja, após a leitura do banco de dados, é possível inserir novas amostras, alterar amostras, bem como deletar amostras. É possível acessar tais ações a partir de um clique com o botão direito nas tabelas. A tela inicial do software após leitura do banco de dados é mostrada na Figura 4:

Figura 4 – Tela inicial do Software



Fonte: Acervo do autor.

5.2 Tela para operações CRUD

A tela de operações CRUD é usada para as operações de inserção e atualização de amostras, como representado na figura 5. A operação de deleção é feita através de um *context menu strip* nas tabelas, e a operação de leitura é feita ao importar o arquivo e exibir os dados nas tabelas.

Figura 5 – Tela para inserção e alteração dos dados

Fonte: Acervo do autor.

5.3 Gráficos

Para uma melhor interpretação, análise e comparação das amostras presentes no banco de dados, são exibidos 3 gráficos: frequência acumulada, histograma e *boxplot*. Os gráficos de

frequência acumulada e histograma apresentam duas séries de dados, cada um referente aos valores de *Work Index* de cada uma das tabelas, para efeito de comparação dos filtros utilizados. Já o gráfico do tipo *box plot* apresenta apenas uma série de dados que contempla os valores de *Work Index* do conjunto global, dividindo-os por tipo de minério.

Para efeito de ilustração, foi utilizado o filtro de tipo de minério na tabela, e selecionado o minério de ferro, a fim de comparar o comportamento dos dados referentes apenas ao minério de ferro na Figura 6, com o conjunto de dados global, na Figura 7. Esse filtro corresponderá aos dados apresentados nos itens 3.5.1 e 3.5.2. Os conjuntos de dados podem ser identificados nos gráficos de acordo com a cor, sendo os dados em azul referentes à Figura 6, e os dados em vermelho referentes à Figura 7 (Figura 6 e 7).

Na sequência, serão apresentados na Figura 8, Figura 9 e Figura 10 a representação gráfica dos dados, sendo elas a frequência acumulada, histograma e boxplot, respectivamente.

Figura 6 - Tabela presente do lado esquerdo da tela inicial do *software*

Filter				
Ore	Ferro	Project	Todos	
Count: 491				
Number	Ore	Microns	Project	Wi (Kwh/t)
390	Ferro	0,000	Conceiç...	7,43
391	Ferro	0,000	Conceiç...	6,33
392	Ferro	0,000	Conceiç...	11,11
393	Ferro	0,000	Conceiç...	13,13
394	Ferro	0,000	Conceiç...	8,61
395	Ferro	0,000	Conceiç...	7,14
396	Ferro	0,000	Conceiç...	23,92
397	Ferro	0,000	Conceiç...	24,29
398	Ferro	0,000	Conceiç...	6,83
399	Ferro	0,000	Conceiç...	9,19
400	Ferro	0,000	Conceiç...	8,63

Fonte: Acervo do autor.

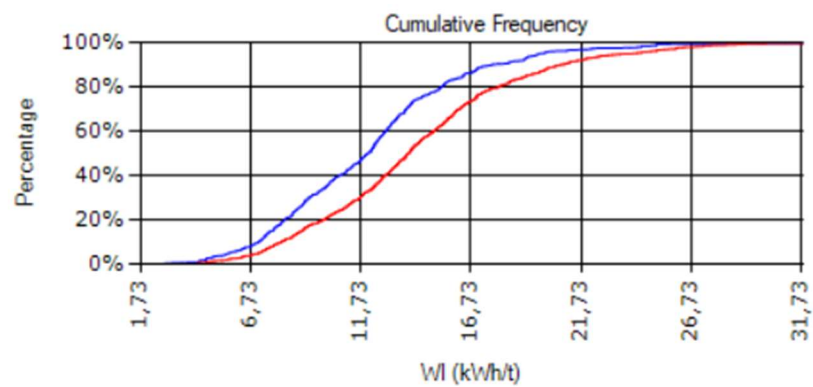
Figura 7 - Tabela presente do lado direito da tela inicial do *software*

Filter			
Ore	Todos	Project	Todos
Count: 1130			
Number	Ore	Microns	Wi (Kwh/t)
1	Cobre	0,074	14,38
2	Cobre	0,074	21,56
3	Cobre	0,074	19,81
4	Cobre	0,074	12,58
5	Cobre	0,105	14,37
6	Cobre	0,105	20,12
7	Cobre	0,105	16,40
8	Cobre	0,105	7,24
9	Cobre	0,150	13,00
10	Cobre	0,150	9,90
11	Cobre	0,150	10,01

Fonte: Acervo do autor.

5.3.1 Gráfico de frequência acumulada

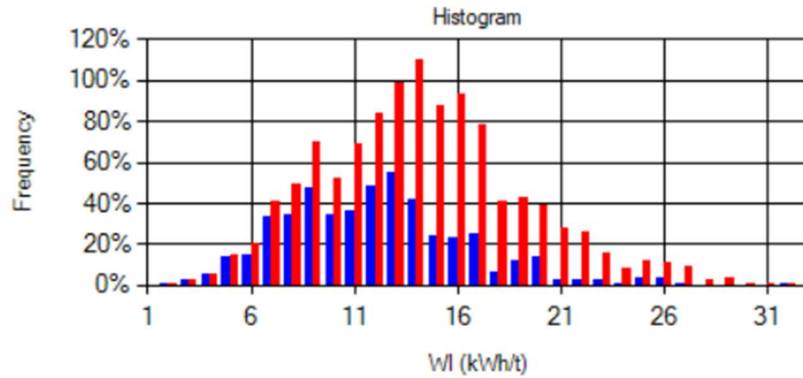
Figura 8 - Gráfico de frequência acumulada plotado no *software* após filtros aplicados. Em azul, dados referentes ao minério de ferro, e em vermelho, todo o conjunto de dados.



Fonte: Acervo do autor.

5.3.2 Histograma

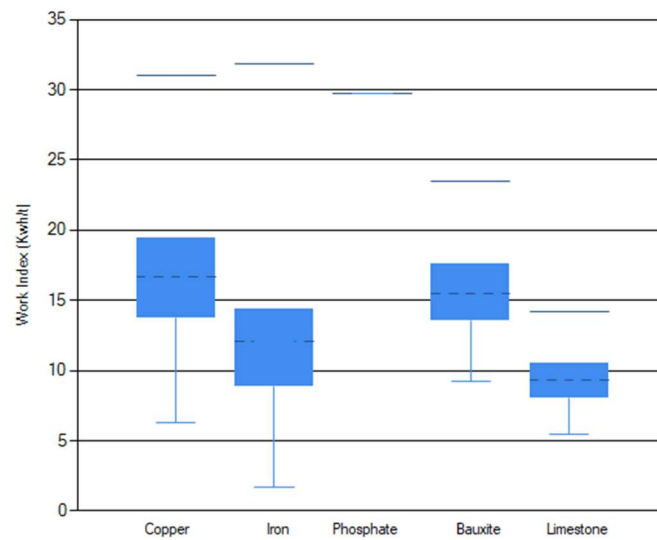
Figura 9 - Histograma plotado no *software* após filtros aplicados. Em azul, dados referentes ao minério de ferro, e em vermelho, todo o conjunto de dados.



Fonte: Acervo do autor.

5.3.3 Boxplot

Figura 10 - *Boxplot* plotado no *software*. Os dados foram categorizados de acordo com o tipo de minério. Através do *boxplot*, é possível observar o intervalo interquartil, bem como os *outliers* presentes no conjunto.



Fonte: Acervo do autor.

5.4 Instalação/Utilização do software

5.4.1 Instalação do .NET

O .NET é a plataforma de desenvolvimento utilizada para a criação do banco de dados. Ela é responsável por diversas funções após publicação do *software*, dado que fornece o *runtime* para que o sistema operacional tenha acesso aos componentes necessários para interpretar o código, gerencia a memória garantindo eficiência da aplicação, possui as bibliotecas e APIs para criação de interfaces gráficas, manipulação de dados, acesso a recursos do sistema, e o compilador (incumbido de transformar o código-fonte em código executável).

É fundamental a instalação do pacote para que seja possível a instalação do banco de dados. O *download* deve ser feito através do site <https://dotnet.microsoft.com/download/dotnet>. Após acessar o site, é necessário escolher a versão desejada (recomendado a mais recente) e localizar o *link* para *download* de acordo com o sistema operacional, como mostrado na figura 9.

Figura 11 – Links para *download* do *Windows Installer* para os diferentes sistemas operacionais



Criar aplicativos – SDK ⓘ

SDK 9.0.102

Sistema Operacional	Instaladores
Linux	Instruções do gerenciador de pacotes
macOS	Arm64 x64
Windows	x64 x86 Arm64 Instruções winget
Tudo	dotnet-install scripts

Fonte: Acervo do autor.

Após o *download* do arquivo, a caixa de diálogo do *Windows Installer* será aberta, e basta seguir as instruções do instalador.

Figura 12 – Windows Installer

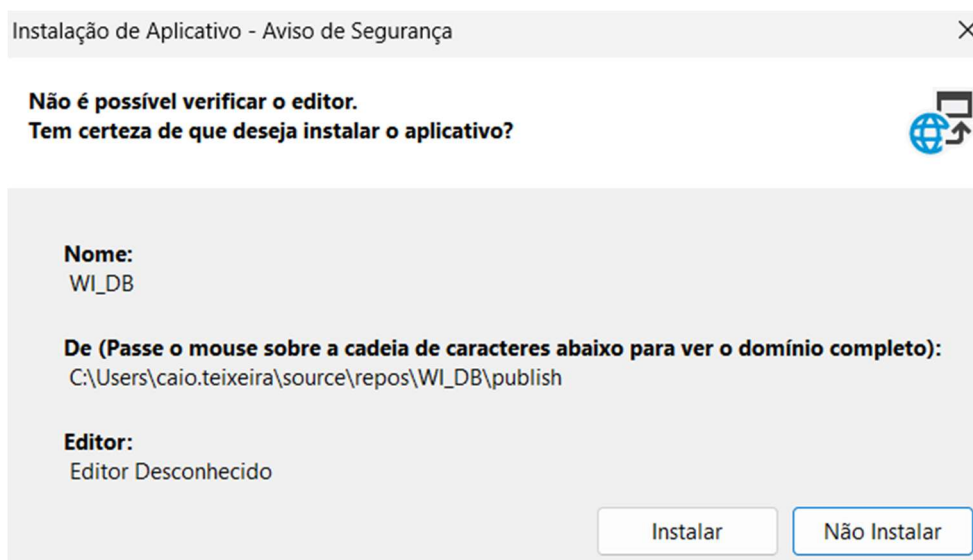


Fonte: Acervo do autor.

5.4.2 Instalação da aplicação WI_DB

Para a instalação do *software* com o banco de dados, é preciso fazer o *download* da pasta contendo o arquivo executável, o arquivo .CSV com os registros das amostras, a aplicação WI_DB e uma pasta com arquivos necessários e versões. Após download, deve-se selecionar o arquivo executável, para que inicie o instalador, conforme Figura 11, e clicar no botão “Instalar”.

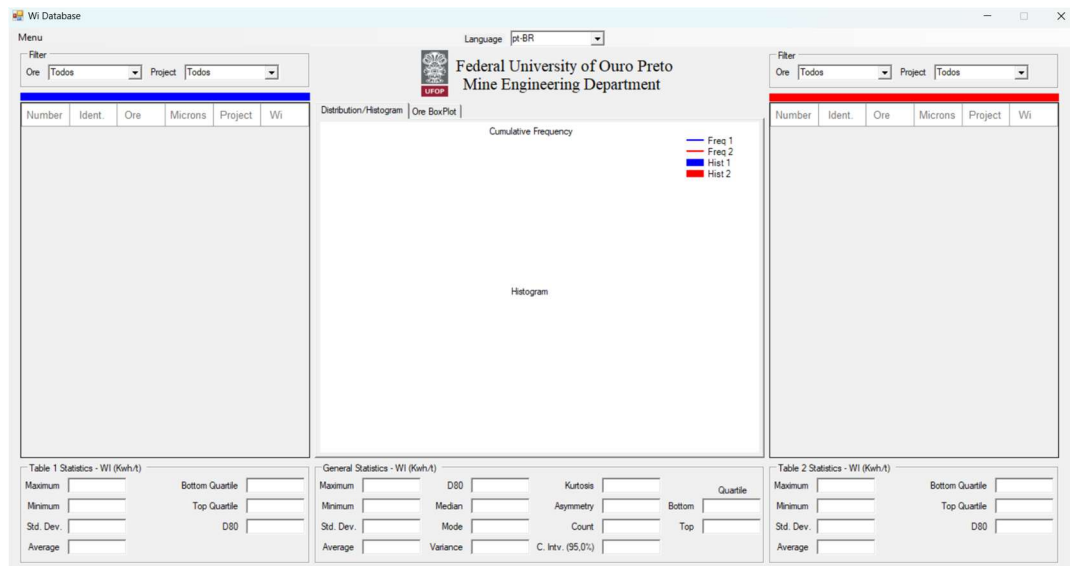
Figura 13 – Instalador do Aplicativo



Fonte: Acervo do autor.

Em seguida, a página inicial da aplicação é iniciada automaticamente:

Figura 14 - Tela inicial

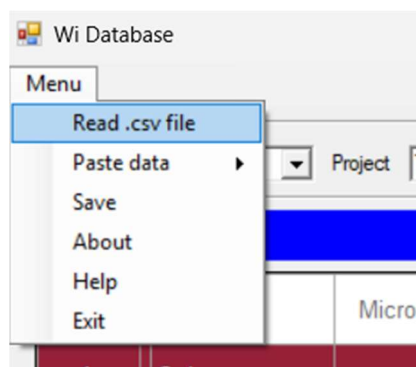


Fonte: Acervo do autor.

5.4.3 Importação do arquivo .CSV

Depois de instalado, o programa é aberto na página inicial. Para importação do arquivo .CSV, basta clicar no botão de *Menu* no canto superior esquerdo da tela, selecionar a opção *Read .csv File*, e escolher o arquivo com os registros.

Figura 15 - Menu para leitura do arquivo



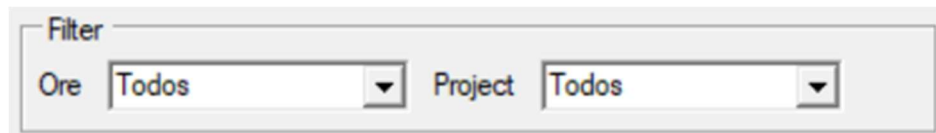
Fonte: Acervo do autor.

O *software* faz então a leitura dos dados e os exibe na tela para usuário, bem como os resultados dos cálculos estatísticos sobre o conjunto de dados. Ainda é possível, com o clique sobre os títulos das colunas, ordená-las em ordem alfabética ou em ordem numérica, a depender do tipo da coluna.

5.4.4 Filtro

É possível filtrar os dados importados através de 2 atributos: projeto e minério. Para essa funcionalidade, existem duas *combo box* acima de cada uma das tabelas, onde é possível selecionar qual tipo de minério e projeto é desejado filtrar para análise e comparação.

Figura 16 – Filtro de atributos



Fonte: Acervo do autor.

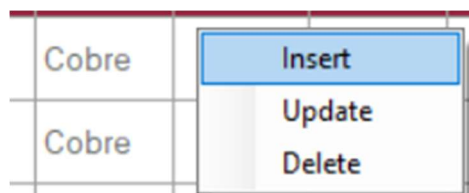
Assim que a opção é selecionada, os dados são filtrados nas tabelas, e os cálculos refeitos para aquele conjunto específico de dados procurado. O *software* permite filtros diferentes nas duas tabelas, e ainda mantém, na parte central da tela, os resultados referentes ao conjunto global dos dados.

5.4.5 Inserir, atualizar ou deletar registros

Para inserção, atualização e deleção de registros no banco de dados, foi incluído um menu nas tabelas, o qual pode ser acessado com clique com o botão direito do mouse sobre qualquer uma das tabelas. O menu contém as opções *Insert*, *Update* e *Delete*.

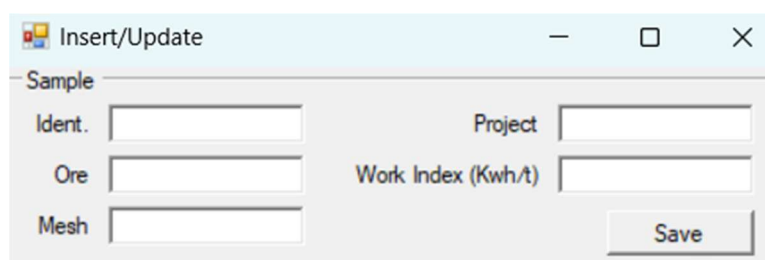
No caso da operação de inserção, não há restrição quanto ao local clicado na tabela. Basta selecionar a opção *Insert*, e uma nova janela é aberta para *input* das informações relacionadas à amostra.

Figura 17 - *Context menu strip* para inserção de dados



Fonte: Acervo do autor.

Figura 18 - Janela de diálogo para inserção de dados



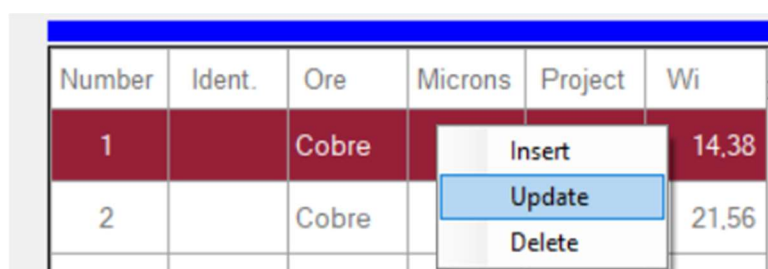
The dialog box titled 'Insert/Update' has a light blue header with standard window controls. Below the header, there are five input fields arranged in two columns. The first column contains 'Ident.', 'Ore', and 'Mesh'. The second column contains 'Project' and 'Work Index (Kwh/t)'. A 'Save' button is positioned at the bottom right of the dialog.

Fonte: Acervo do autor.

Os campos malha, minério e WI são obrigatórios. Após preenchimento dos campos, é preciso clicar no botão *Save*, a janela se fecha, e os dados são atualizados, bem como os cálculos refeitos.

Para atualização/correção de alguma informação errada de uma amostra específica, é necessário que o clique com o botão direito na tabela seja feito no registro que se deseja alterar, e depois seleção da opção *Update*.

Figura 19 - *Context menu strip* para alteração de dados



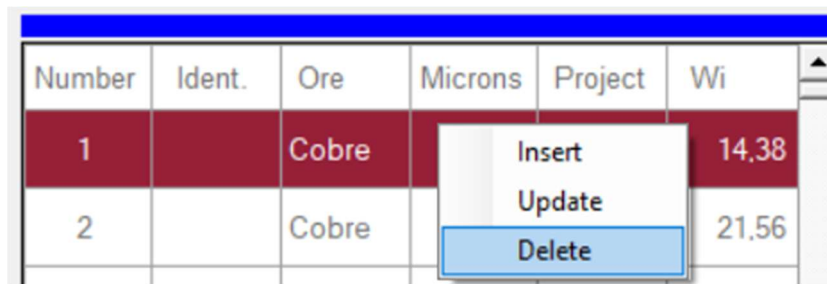
Number	Ident.	Ore	Microns	Project	Wi
1		Cobre			14,38
2		Cobre			21,56

Fonte: Acervo do autor.

Uma janela igual à janela de inserção é aberta, porém com os campos já preenchidos com os dados da amostra escolhida. Feito isso, deve-se alterar o atributo desejado e salvar a operação. Da mesma maneira, os registros são atualizados e os cálculos refeitos.

Para se deletar um registro, deve-se, assim como na operação anterior, clicar com o botão direito na amostra que se deseja excluir. Após, basta selecionar a opção *Delete*, e o registro é excluído.

Figura 20 - *Context menu strip* para deleção de dados

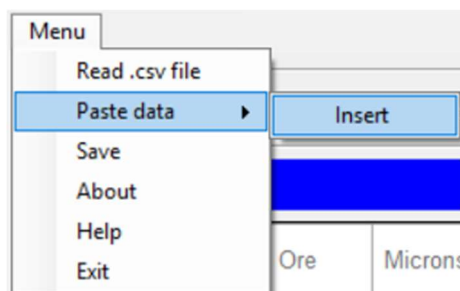


Fonte: Acervo do autor.

5.4.6 Copiar e colar dados do Excel

Há ainda outra forma para inserção de dados no *software* que visa facilitar a importação de dados na aplicação e permite a entrada de vários registros de uma só vez. Esta função possibilita que os dados sejam copiados de uma tabela do Excel e colados diretamente no banco, através do item *Paste Data* do *Menu*.

Figura 21 – Opção *Paste Data* presente no *Menu*.



Fonte: Acervo do autor.

É fundamental, portanto, que os dados estejam estruturados de forma que a aplicação consiga interpretá-los, na seguinte ordem: Nome, Número, Minério, Malha, Projeto e WI, conforme Figura 22. É de responsabilidade do *software*, porém, definir o atributo Número de cada amostra, de acordo com as amostras já existentes no conjunto de dados, de tal forma que esse número não se repita. Sendo assim, a coluna Número não é de preenchimento obrigatório.

Figura 22 - Exemplo de entrada de dados no *software*

Nome (TEXTO)	Número (NÚM. INTEIRO)	Minério (TEXTO)	Malha (NÚM. DECIMAL)	Projeto (TEXTO)	WI (NÚM. DECIMAL)
Nome1	1	Minério1	0,1	Projeto1	0,1
Nome2	2	Minério2	0,2	Projeto2	0,2
Nome3	3	Minério3	0,3	Projeto3	0,3
Nome4	4	Minério4	0,4	Projeto4	0,4
Nome5	5	Minério5	0,5	Projeto5	0,5
Nome6	6	Minério6	0,6	Projeto6	0,6
Nome7	7	Minério7	0,7	Projeto7	0,7
Nome8	8	Minério8	0,8	Projeto8	0,8
Nome9	9	Minério9	0,9	Projeto9	0,9
Nome10	10	Minério10	1,0	Projeto10	1,0

Fonte: Acervo do autor.

Tendo isso em vista, o passo a passo é simples:

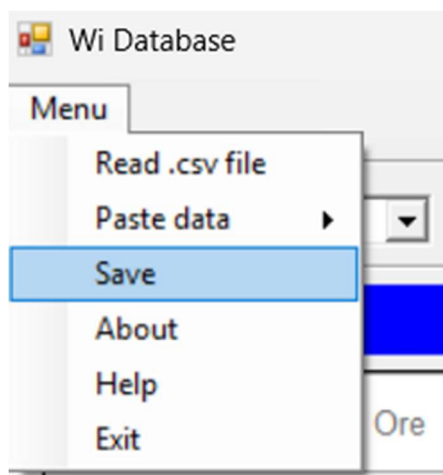
1. Copiar os dados da tabela do Excel, sem cabeçalho.
2. Com os dados já na área de transferência, abrir a página inicial.
3. Acessar o *Menu*, selecionar *Paste Data* e em seguida *Insert*.

Caso haja dados na aplicação, estes serão adicionados ao conjunto já existente. Caso contrário, serão inseridos assim como ao ler um arquivo .CSV, e passarão a representar o conjunto de dados completo.

5.4.7 Salvar os dados

Após inserção, alteração, deleção e análises dos dados através do aplicativo, se faz necessário salvar o novo banco de dados, após sua manipulação. Isso é possível através da opção *Save*. Ao selecionar esta opção, uma caixa de diálogo será aberta, para que o usuário escolha o nome do novo arquivo e a pasta em que ele deve ser salvo. O formato do arquivo salvo é .CSV, sendo possível fazer sua leitura pelo *software* posteriormente.

Figura 23 – Opção *Save* presente no *Menu*.



Fonte: Acervo do autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A capacidade do software de criar gráficos e visualizações facilitou a representação dos dados, tornando mais fácil a identificação de pontos fora da curva ou discrepâncias. Isso, por sua vez, contribuiu para uma interpretação mais precisa e eficiente dos dados, auxiliando na tomada de decisões informadas.

Em resumo, o desenvolvimento deste software de análise estatística do *Work Index* demonstrou ser uma ferramenta útil para a indústria de mineração, proporcionando uma compreensão mais profunda dos dados de WI. Os objetivos traçados no início deste projeto foram plenamente atingidos, abrindo portas para um futuro mais promissor e embasado na indústria de cominuição mineral.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1990) MB-3253. Moinhos de bolas - Determinação do Índice de Trabalho - Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2019). NBR ISO 3082. Minérios de ferro - Procedimentos de amostragem e preparação de amostra. Rio de Janeiro, terceira edição.

AGARWAL, B. L. Basic Statistics. New Age International, 2006.

ALVES, V. K. (2007) Estudo de avaliação dos parâmetros que influenciam de maneira significativa nos resultados de ensaio de WI de Bond. XXII ENTMME / VII MSHMT – Ouro Preto-MG.

ALVES, V. K. .; Castro, G. G. de .; Thums, V. L. . Balls mill work index determination guide. Research, Society and Development, [S. l.], v. 12, n. 8, p. e5712842843, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i8.42843. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/42843>.

ALVES, V. K., Puperi, F. B., de Castro, G. G.; Capítulo 7: Guia Revisado de Determinação do índice de Trabalho de Moinhos de Bolas (BWI); Innovation and trends in digital era; 2024; DOI: 10.55905/edicon.978-65-981277-8-7_4.

BOND, F.C. The Third Theory of Comminution. Transactions AIME, p 484-494, May, 1952

BOND, Fred C. Crushing and grinding calculations, Part I. Br. Chem. Eng., v. 6, p. 378-385, 1961.

CHAVES, A. P. ; PERES, A.E.C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - Britagem, peneiramento e moagem. Volume 3, 5ª ed. Oficina de Textos: São Paulo, 2012.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Informe Mineral, Brasília: DIPLAM. n.1, 2017.

GOMES, Wellington Lacerda et al. Método para simulação de moagem em moinho de bolas. *Holos*, v. 3, p. 133-140, 2014.

LUZ, A. B; FIGUEIRA, H. V. O; ALMEIDA, S. L. M.. Tratamento de minérios. 5ª ed. CETEM/MCT: Rio de Janeiro, 2010.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. Tratamento de minérios. 2010.

MUSA, F. (2010). Development of methods to assess the efficiency of comminution devices and operations. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:240772>

NAVES, C, et al. A importância da estatística na pesquisa de clima organizacional. In: Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2018.

NIKOLIĆ, Vladimir; TRUMIĆ, Milan. A new approach to the calculation of bond work index for finer samples. *Minerals Engineering*, v. 165, p. 106858, 2021.

PUPERI, F.B.. Comparação entre diferentes métodos, cálculos e correções de “Work Index” para moinho de bolas (BWI) para minérios com elevada quantidade de finos. 2024. 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.