



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



Guilherme Sündermann Sáles

O risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de
ferro para a China

Guilherme Sündermann Sáles

O risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de ferro para a China.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Pereira Lavorato

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S163r Sales, Guilherme Sundermann.

O risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de ferro para a China. [manuscrito] / Guilherme Sundermann Sales. - 2026.
26 f.: il.: gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Mateus Pereira Lavorato.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Engenharia econômica. 2. Minério de ferro. 3. Risco financeiro. 4. Transporte marítimo - Tarifas. I. Lavorato, Mateus Pereira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 330.3:622.341

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Guilherme Sundermann Sales

O risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de ferro para a China

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

Aprovada em 24 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Dr. Mateus Pereira Lavorato - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Vanessa Criscuolo Parreiras de Oliveira - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Jorge Luiz Brescia Murta - (Universidade Federal de Ouro Preto)

O Prof. Mateus Pereira Lavorato, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Mateus Pereira Lavorato, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2026, às 17:57, 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 **1064160** e o código CRC **A2F729DD**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, base de tudo o que sou e conquistei.

À minha mãe, Raquel, minha maior inspiração de força e amor incondicional. Obrigado por ter feito o impossível, movendo céus e terras, para me ajudar a realizar este sonho. Sua dedicação é o alicerce desta conquista.

Ao meu pai, Kiko, por ser meu farol nos momentos de incerteza. Obrigado por me dar esperança e compartilhar seu conhecimento e sabedoria justamente naquelas horas em que o medo tentou me paralisar. Sou grato por cada palavra de incentivo.

Ao meu irmão, Luís, por ser meu exemplo de resiliência e por me ensinar, dia após dia, a nunca desistir diante dos obstáculos, não importa o tamanho deles.

À minha "família escolhida" em Ouro Preto: à República Necrotério e ao Bloco do Caixão. Vocês foram muito mais que um teto ou um grupo; foram minha escola de vida, meu suporte e minha casa longe de casa. Obrigado pelos ensinamentos, pela irmandade e por tornarem a jornada universitária inesquecível.

À Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), pela excelência no ensino gratuito e de qualidade.

A todos os professores e professoras do Departamento de Engenharia de Produção (DEPRO), pela orientação, paciência e por compartilharem seus conhecimentos, contribuindo não apenas para minha formação técnica, mas também para o meu crescimento humano e profissional.

Por fim, a todos os amigos e colegas que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada.

RESUMO

A exportação de minério de ferro é um pilar da balança comercial brasileira, porém a rentabilidade das mineradoras no regime FOB (Free On Board) é amplamente vulnerável à volatilidade dos preços da commodity e do frete marítimo. Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral analisar o risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de ferro para a China, quantificando e decompondo o impacto dessas variáveis na margem operacional. A pesquisa, de natureza quantitativa, utilizou séries históricas dos indicadores Platts 62, Platts 65 e da taxa de frete da Rota C3 (Tubarão-Qingdao). Para contornar o problema de assimetria e caudas pesadas nas distribuições de retornos, aplicou-se o cálculo do Value-at-Risk (VaR) e do Expected Shortfall (ES) nas abordagens paramétrica, histórica e modificada (expansão de Cornish-Fisher), considerando um horizonte mensal e nível de confiança de 95%. Os resultados evidenciaram que o minério de maior teor (Platts 65) apresenta menor exposição ao risco extremo (VaR Modificado de -18,81%) em comparação ao Platts 62 (-20,41%). Através da decomposição do risco por componentes, constatou-se que o frete marítimo é o principal vetor de incerteza da operação, respondendo por 75,8% a 77,7% da volatilidade total da margem FOB. Embora exista um "hedge natural" decorrente da correlação positiva entre o preço do minério e o frete, ele mostrou-se insuficiente para conter o risco logístico. Conclui-se que o sucesso financeiro da exportação depende intrinsecamente da gestão do mercado de afretamento, recomendando-se a adoção de instrumentos de proteção, como os Forward Freight Agreements (FFAs).

Palavras-chaves: Minério de ferro. Value-at-Risk. Risco financeiro. Frete marítimo. Margem FOB.

ABSTRACT

The export of iron ore is a pillar of the Brazilian trade balance; however, the profitability of mining companies under the FOB (Free On Board) regime is highly vulnerable to the price volatility of the commodity and maritime freight. Therefore, the general objective of this study is to analyze the financial risk in Brazilian iron ore exports to China by quantifying and decomposing the impact of these variables on the operating margin. This quantitative research utilized historical series of the Platts 62 and Platts 65 indices, along with the freight rate for Route C3 (Tubarão-Qingdao). To overcome the problem of asymmetry and heavy tails in the return distributions, the Value-at-Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) were calculated using parametric, historical, and modified (Cornish-Fisher expansion) approaches, considering a monthly horizon and a 95% confidence level. The results showed that higher-grade ore (Platts 65) has a lower exposure to extreme risk (Modified VaR of -18.81%) compared to Platts 62 (-20.41%). Through component risk decomposition, it was found that maritime freight is the main driver of uncertainty in the operation, accounting for 75.8% to 77.7% of the total volatility of the FOB margin. Although there is a "natural hedge" resulting from the positive correlation between the iron ore price and freight rates, it proved insufficient to contain the logistical risk. It is concluded that the financial success of the export inherently depends on the management of the chartering market, recommending the adoption of hedging instruments such as Forward Freight Agreements (FFAs).

Keywords: Iron ore. Value-at-Risk. Financial risk. Maritime freight. FOB margin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de Retornos e Métricas de Risco, Platts 62 FOB 9

Figura 2 – Distribuição de Retornos e Métricas de Risco, Platts 65 FOB 10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das Métricas de Risco Mensal (Nível de Confiança de 95%).....	8
Tabela 2 – Value-at-Risk por componentes	11

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS E ESTRUTURA DE PRECIFICAÇÃO.....	4
3.2 A RELAÇÃO CFR, FOB E A DEFINIÇÃO DE MARGEM.....	4
4 METODOLOGIA.....	5
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
6 CONCLUSÕES.....	12
7 REFERÊNCIAS.....	14

1. Introdução

O minério de ferro representa a espinha dorsal da balança comercial brasileira, consolidando-se como um dos principais ativos da pauta de exportação nacional e pilar fundamental para a estabilidade econômica do país. A dinâmica desse mercado é pautada por ciclos globais de infraestrutura e pela constante demanda asiática, especialmente da China, que atua como o principal balizador de preços e volumes transacionados mundialmente (PECHLIYE; BEVILAQUA, 2025). Nesse cenário, a competitividade das mineradoras brasileiras não depende apenas da eficiência operacional na extração, mas de uma gestão estratégica que considere as complexas variáveis do mercado financeiro e logístico internacional.

No regime de comercialização FOB (Free On Board), o exportador assume a responsabilidade pela carga até o porto de origem, porém sua rentabilidade final é intrinsecamente ligada ao preço praticado no destino (CFR, Cost and Freight). A relação entre essas variáveis é expressa pela equação $PFOB = PCFR - \text{Frete}$, evidenciando que a receita líquida da mineradora é vulnerável a uma via de mão dupla: a volatilidade da commodity no mercado externo e a instabilidade do mercado de afretamento marítimo, especificamente para navios da classe Capesize.

O gerenciamento de riscos frequentemente enfrenta o desafio de prever perdas em cenários de alta incerteza, onde métricas tradicionais podem falhar ao não capturar comportamentos atípicos de mercado (WEIGT, 2001). No caso do minério de ferro, eventos como variações súbitas na demanda siderúrgica ou gargalos logísticos globais geram séries temporais com distribuições que divergem da normalidade estatística (MA, 2013). Ignorar tais “caudas pesadas” nas distribuições de retornos pode levar a subestimas críticas da exposição financeira da operação.

Nesse contexto, destacam-se duas métricas amplamente utilizadas na mensuração de risco de mercado: o Value-at-Risk (VaR) e o Expected Shortfall (ES). O VaR representa a perda máxima esperada, para um dado nível de confiança, em um horizonte temporal específico. Já o ES, também denominado Conditional Value-at-Risk (CVaR), corresponde à perda média esperada nos cenários que excedem o VaR, sendo reconhecido por capturar de forma mais consistente o risco de eventos extremos.

Para mitigar as incertezas inerentes ao mercado de minério de ferro, a metodologia Value-at-Risk (VaR) surge como uma solução robusta para quantificar o prejuízo máximo potencial em um determinado horizonte de tempo. No entanto, a aplicação do VaR paramétrico clássico pode se mostrar insuficiente para ativos reais de alta volatilidade (MAILLARD, 2020). Justifica-se, assim, a utilização da expansão de Cornish-Fisher (VaR Modificado), que ajusta os cálculos para levar em conta a assimetria e a curtose dos dados, proporcionando uma métrica de risco mais aderente à realidade das exportações de minério.

Este trabalho propõe-se a analisar a exposição ao risco das exportações brasileiras através do cálculo do VaR e do Expected Shortfall (ES) aplicados aos indicadores Platts 62 e Platts 65, que representam índices internacionais de referência para o preço do minério de ferro com teor de 62% e 65% de ferro, respectivamente, amplamente utilizados como benchmark nas negociações globais da commodity. A análise compreende o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2024, com frequência mensal, permitindo capturar diferentes ciclos econômicos, choques de demanda e oscilações estruturais no mercado internacional.

O foco central reside na decomposição do risco por componentes, visando identificar o peso relativo do preço da commodity e do frete marítimo na incerteza da margem FOB. Além disso, busca-se entender como a correlação entre essas variáveis atua como um mecanismo de estabilização ou amplificação do risco total.

Ao preencher a lacuna entre a logística portuária e a gestão de riscos financeiros, a pesquisa oferece subsídios valiosos para o planejamento estratégico e a proteção de margens operacionais. Ressalta-se que, nesta etapa, o foco recai sobre as cotações em dólares, servindo de base para que futuras pesquisas integrem o risco cambial (USD/BRL) a esta modelagem, consolidando uma visão ainda mais holística sobre a viabilidade econômica das exportações de minério de ferro em território nacional.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Analisar o risco financeiro nas exportações brasileiras de minério de ferro sob o regime FOB, empregando as métricas de Value-at-Risk (VaR) e Expected Shortfall (ES) para quantificar e decompor o impacto da volatilidade do preço da commodity e do frete marítimo na composição da margem operacional.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o Objetivo Geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Coletar e tratar as séries históricas de preços dos indicadores Platts 62, Platts 65 e das taxas de frete marítimo da rota C3 (Tubarão-Qingdao), realizando o cálculo dos retornos logarítmicos para garantir a comparabilidade estatística entre as variáveis.
- Aplicar e comparar as métricas de Value-at-Risk (VaR) e Expected Shortfall (ES) em suas versões histórica, paramétrica e modificada (ajuste de Cornish-Fisher), a fim de identificar a presença de eventos extremos e a não-normalidade nas distribuições de retornos.
- Avaliar a exposição ao risco entre os minérios de diferentes teores (62% vs. 65% de Fe), verificando se a comercialização de produtos com maior valor agregado (Platts 65) resulta em uma maior estabilidade para a margem operacional.
- Executar a decomposição do risco por componentes, isolando a contribuição marginal do preço da commodity e do custo do frete marítimo, visando identificar o principal vetor de incerteza financeira na formação do preço FOB.
- Propor recomendações estratégicas baseadas nos resultados quantitativos, focando na utilização de instrumentos de hedging e políticas de gestão logística para a mitigação de perdas extremas.

3. Referencial Teórico

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para a compreensão da dinâmica de preços no mercado transoceânico de minério de ferro, bem como o estado da arte das pesquisas acadêmicas desenvolvidas na última década sobre a relação comercial Brasil-China. A revisão está estruturada para detalhar os conceitos de precificação que sustentam a metodologia deste trabalho e analisar como a literatura recente trata a influência da volatilidade logística na competitividade das exportações brasileiras.

3.1. Conceitos Fundamentais e Estrutura de Precificação

Para analisar a margem de lucro na exportação de minério de ferro, é imperativo compreender a transição estrutural pela qual o mercado passou e as definições técnicas dos índices e Incoterms utilizados na Metodologia. A volatilidade observada nas cotações do minério de ferro é um fenômeno relativamente recente. Conforme detalha Carvalho (2017), até o final da década de 2000, o mercado operava sob o sistema de benchmark, onde os preços eram negociados anualmente em contratos de longo prazo entre as grandes mineradoras e as siderúrgicas. A ruptura desse modelo para o sistema spot (à vista), baseado em índices diários, transferiu o risco da oscilação de preços para as mineradoras e seus clientes, tornando a análise de séries temporais diárias — metodologia central deste trabalho — a ferramenta padrão para avaliação de mercado.

Neste novo regime, o índice Platts 62% Fe (IODEX) consolidou-se como a referência global. Segundo Pereira (2024), este índice reflete o preço do minério de ferro com 62% de teor entregue nos portos do norte da China. Sua natureza flutuante captura as variações imediatas de oferta e demanda, servindo como a variável independente principal para o cálculo da receita de exportação.

Para viabilizar a análise empírica proposta neste estudo, e em consonância com a transparência exigida pelo mercado spot, os dados históricos referentes tanto ao índice Platts 62% quanto à cotação de frete da Rota C3 foram extraídos da plataforma oficial da Baltic Exchange (<https://www.balticexchange.com/>). Essas cotações foram compiladas e organizadas

em uma tabela estruturada, servindo como base de dados primária para a aplicação da análise de risco.

3.2. A Relação CFR, FOB e a Definição de Margem

A metodologia deste trabalho baseia-se na decomposição do preço final para encontrar a margem do exportador. Para isso, é essencial distinguir os termos de comércio internacional (*Incoterms*) que regem essas transações. De acordo com Pereira (2024), o índice Platts é cotado na modalidade Custo e Frete (CFR, do inglês *Cost and Freight*). Isso significa que o valor publicado inclui não apenas a commodity, mas também o custo do transporte marítimo até a Ásia. Em contrapartida, a receita líquida da mineradora brasileira no porto de embarque é definida como Livre a Bordo (FOB, do inglês *Free on Board*).

A literatura estabelece, portanto, uma relação matemática direta que fundamenta a análise de dados deste estudo: para se obter o preço FOB (a margem real da mineradora antes dos custos operacionais), deve-se subtrair o custo do frete marítimo do preço CFR cotado no mercado internacional. Esta conceituação teórica valida o tratamento de dados realizado na Metodologia, onde a série histórica do frete C3 (obtida na Baltic Exchange) é descontada das séries do Platts 62 e do Platts 65.

4. Metodologia

A metodologia adotada nesta pesquisa caracteriza-se por uma abordagem quantitativa e analítica, fundamentada na aplicação de métricas de risco de mercado sobre as séries de retornos logarítmicos dos indicadores Platts 62, Platts 65 e do frete marítimo (Rota C3). O uso de retornos logarítmicos, definidos pela equação $r_t = \ln \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$, é essencial para garantir a estacionariedade estatística dos dados, permitindo a comparação direta entre variáveis de diferentes naturezas. A análise foca na margem FOB, modelada matematicamente pela relação $P_{\text{FOB}} = P_{\text{CFR}} - \text{Frete}$, utilizando um horizonte temporal mensal e um nível de confiança de

95% ($\alpha = 0,05$) para todas as estimações de perda, conforme os padrões descritos por Jorion (2006).

A métrica central deste estudo é o Value-at-Risk (VaR), operacionalizado inicialmente por meio da abordagem paramétrica (ou Gaussiana). Esta abordagem estima o VaR a partir da média (μ) e do desvio padrão (σ) da série, assumindo que os retornos seguem uma distribuição normal, sendo calculado pela equação:

$$VaR_a = \mu + z_a \sigma \quad (1)$$

onde z_a representa o valor crítico da distribuição normal para o nível de confiança escolhido.

Em paralelo, aplica-se o VaR Histórico, que independe de pressupostos teóricos sobre o formato da distribuição, projetando perdas futuras com base no percentil da distribuição empírica dos dados passados. A comparação entre os resultados obtidos por essas abordagens fornece o primeiro indicativo da presença de comportamentos atípicos que fogem à normalidade estatística tradicional.

Reconhecendo que os mercados de commodities e fretes frequentemente apresentam caudas pesadas e assimetria, a metodologia incorpora o VaR Modificado via expansão de Cornish-Fisher. Este método ajusta o quantil da distribuição incorporando o terceiro e o quarto momentos estatísticos: a assimetria e a curtose (MAILLARD, 2020). Ao considerar o valor crítico ajustado, o modelo torna-se capaz de capturar choques de mercado e riscos críticos que modelos Gaussianos tenderiam a subestimar, oferecendo uma estimativa muito mais aderente à volatilidade severa enfrentada pelo exportador brasileiro de minério.

Para uma compreensão mais profunda da severidade das perdas extremas, adota-se o Expected Shortfall (ES), também conhecido por VaR Condicional. Enquanto o VaR define o limite de perda, o ES quantifica a magnitude média do prejuízo caso esse limite seja rompido, focando no risco residual presente na cauda da distribuição. Ele é definido matematicamente como a esperança matemática do retorno (R), dado que este é menor ou igual ao VaR:

$$ES_a = E[R|R \leq VaR_a] \quad (2)$$

Calculado nas versões histórica, paramétrica e modificada, o ES é uma medida de risco coerente que permite à gestão de operações mensurar o impacto médio de cenários catastróficos. Assim sendo, o ES é reconhecido como uma ferramenta superior ao VaR para o provisionamento de capital em períodos de estresse de mercado, conforme discutido por Alexander (2008).

Por fim, aplica-se também a decomposição do VaR por componentes, técnica que identifica a contribuição percentual marginal de cada variável (minério vs. frete) para a volatilidade total do preço FOB (HALLERBACH; MENKVELD, 2004). Essa análise de sensibilidade é fundamental para desvendar se o risco da operação é derivado predominantemente de fatores do mercado mineral ou de instabilidades logísticas transoceânicas, conforme sugerido pelas análises de Pinto (2013) e Pereira (2024).

Todo o processamento de dados e a implementação dos modelos estatísticos são realizados no ambiente computacional R. Em específico, utilizou-se o pacote `PerformanceAnalytics`, que provê as funções necessárias para o cálculo de momentos de ordem superior e a validação das métricas de risco (VaR e ES) empregadas no presente trabalho.

5. Resultados e Discussão

São apresentados, nesta seção, os resultados obtidos por meio da aplicação das metodologias de análise de risco especificadas na seção anterior, *Value-at-Risk* (VaR) e *Expected Shortfall* (ES), considerando as séries de retornos logarítmicos dos preços FOB (*Free on Board*) do minério de ferro (Platts 62 e Platts 65). A análise busca quantificar a exposição financeira da operação de exportação e identificar os principais vetores de incerteza.

Os resultados das métricas de risco para ambos os teores de minério revelam uma exposição considerável por parte da empresa exportadora (Tabela 1). Além disso, percebe-se uma distinção clara entre os perfis de risco dos dois principais indicadores de minério de ferro.

O Platts 65, que representa um minério de maior teor de ferro e menor presença de impurezas, demonstrou ser um ativo mais resiliente em termos de risco de mercado em comparação ao Platts 62.

Tabela 1. Síntese das Métricas de Risco Mensal (Nível de Confiança de 95%)

Métrica	Histórico	Paramétrico	Modificado
	Platts 62		
Value-at-Risk	-0,1937351	-0,1927267	-0,2041943
Expected Shortfall	-0,2701818	-0,2419237	-0,2752756
	Platts 65		
Value-at-Risk	-0,1806209	-0,1794939	-0,1881531
Expected Shortfall	-0,2530535	-0,2253529	-0,2549492

Fonte: Resultados da pesquisa.

A redução do risco no Platts 65 (em comparação ao Platts 62) é evidenciada tanto pela fronteira de perdas, determinada pelo VaR, quanto pela severidade da perda esperada, indicada pelo ES. O VaR Modificado indica que a perda máxima esperada para o Platts 62 é cerca de 1,60 ponto percentual superior ao do Platts 65. O aumento na pureza do minério faz com a perda

máxima para o mês seguinte diminua de 20,4 para 18,8%. Essa diferença sugere que o minério de alto teor de ferro não apenas confere uma receita nominal superior (cotação mais elevada no mercado internacional), mas atua como um estabilizador da margem líquida, sendo menos sensível às variações extremas que afetam o preço FOB final.

A maior estabilidade observada no indicador Platts 65 reflete a tendência de mercado descrita por Carvalho (2017), onde a demanda chinesa tem se tornado cada vez mais seletiva, priorizando minérios de alto teor para redução de custos operacionais e emissões em suas siderúrgicas. Além disso, Pinto (2013) ressalta que o minério de alta qualidade, como o de Carajás, Pará (teor de ferro de aproximadamente 67%), funciona como um diferencial competitivo que permite suportar melhor as oscilações de preços e os elevados custos de transporte.

Um dos pontos centrais da análise reside na comparação entre os diferentes modelos estimados para as métricas de risco empregadas neste estudo, especialmente a comparação entre os modelos paramétrico e modificado. Analisando-se as Figuras 1 e 2, observa-se que as curvas de densidade dos retornos (linhas vermelhas) possuem picos mais pronunciados e caudas mais longas que uma distribuição normal perfeita (linha preta). A disparidade entre o VaR Paramétrico e o VaR Modificado (vide Tabela 1) é válida para ambos os teores de ferro, comprovando a presença de curtose elevada e assimetria negativa. Logo, o ajuste de Cornish-Fisher revela-se indispensável para capturar os choques de mercado que a estatística clássica (gaussiana) ignora.

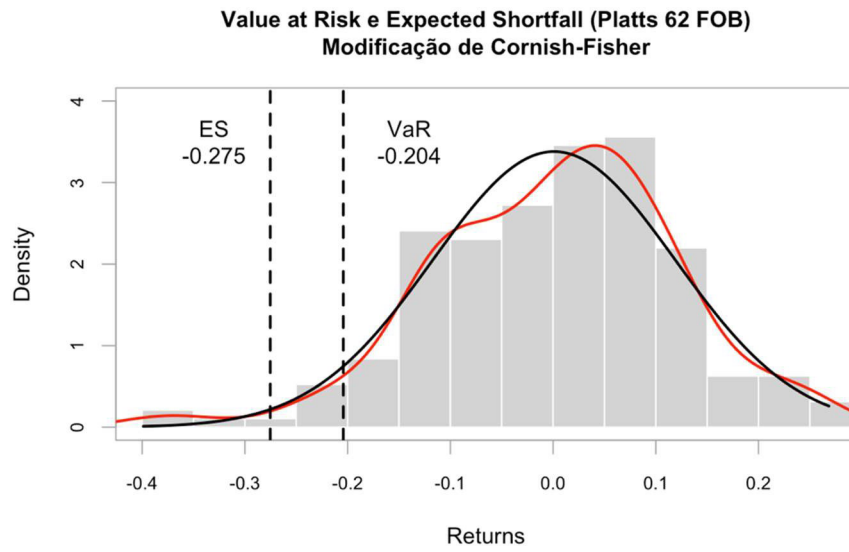


Figura 1. Distribuição de Retornos e Métricas de Risco, Platts 62 FOB

Fonte: Resultados da pesquisa.

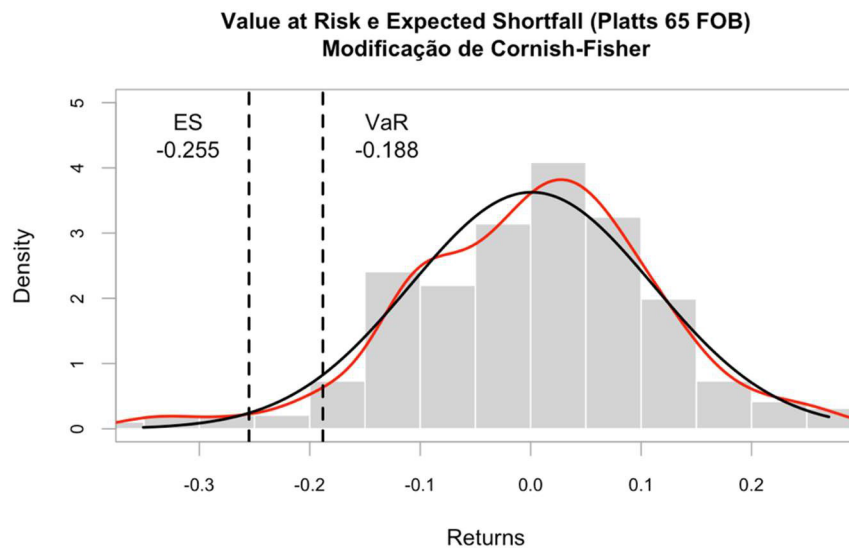


Figura 2. Distribuição de Retornos e Métricas de Risco, Platts 65 FOB

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme exposto anteriormente, o Expected Shortfall (ES) representa o valor esperado dos prejuízos que excedem o VaR. Este dado é vital para o provisionamento de capital por parte da firma exportadora, informando que, em meses de crise profunda, a perda não apenas atingirá o patamar dos 20% (Platts 62), mas tenderá a se aprofundar até quase 30% da margem. Assim como observado para o VaR, o ES calculado para o Platts 62 também se mostrou mais elevado do que aquele registrado para o Platts 65.

O ES Modificado de mais de 25% para cenários de estresse reflete a volatilidade sistêmica do setor mineral. Para fins de comparação, Pinto (2013) relata que, em 2012, uma queda de apenas 25% nos preços médios resultou em uma perda de divisas superior a US\$ 12 bilhões para a balança comercial brasileira, o que demonstra a materialidade dos riscos quantificados neste estudo.

Tendo em vista que, por definição, o preço FOB corresponde à diferença entre o preço CFR e o valor do frete, foi calculado também o VaR por componentes. A partir da aplicação deste método, foi feita uma descoberta sobre a natureza do risco na exportação de minério de ferro do Brasil para a China que, a priori, pode ser vista como contraintuitiva. Conforme apresentado na Tabela 2, o risco logístico é aproximadamente três vezes superior ao risco de mercado da commodity.

Tabela 2. Value-at-Risk por componentes

Minério	Preço CFR	Frete C3
Platts 62	24,16%	75,84%
Platts 65	22,27%	77,73%

Fonte: Resultados da pesquisa.

A maior importância relativa do frete C3 para o risco do preço FOB indica que o sucesso financeiro da exportação é, na realidade, mais dependente da gestão do mercado de fretes do que da eficiência operacional da extração mineral. Essa situação é ainda mais evidente para o

Platts 65, pois mais de 77% de sua incerteza está atrelada à rota marítima C3 (Tubarão-Qingdao). A maior participação do frete C3 no risco do preço FOB para o Platts 65 em relação ao Platts 62 está conectado ao fato de o primeiro se mostrar “menos arriscado” que o segundo, conforme apresentado nos resultados do VaR e do ES.

A dominância do componente logístico na volatilidade da margem corrobora a visão de que a competitividade das mineradoras brasileiras é definida pela eficiência no transporte marítimo, e não apenas no processo produtivo (mineração). Como aponta Pinto (2013), a Vale atua, na prática, muito mais como uma empresa de operação logística do que puramente uma mineradora, dada a necessidade crítica de superar a desvantagem locacional do Brasil em relação à Austrália no atendimento ao mercado chinês.

A correlação positiva (Platts 62: 0,5229; Platts 65: 0,5415) entre o preço do minério e o valor do frete marítimo desempenha um papel fundamental na estabilização da margem FOB. Este fenômeno ocorre porque o frete é uma demanda derivada do minério, tendo em vista que a demanda chinesa por ferro leva tanto a um aumento do preço da commodity quanto a uma maior pressão por navios Capesize, elevando assim o custo logístico.

Considerando que o preço FOB é determinado pela diferença entre o preço CFR e o valor do frete, essa correlação positiva atua como um amortecedor natural. De fato, no cenário de queda do preço do minério (prejuízo na receita), há uma tendência de alívio no custo do frete, o que suaviza a queda da margem líquida. Contudo, a dominância do frete na composição do risco (75-77%) prova que este amortecedor é insuficiente para conter a volatilidade intrínseca do setor de transportes, que é muito superior à volatilidade da produção mineral.

O mecanismo de 'hedge natural' identificado pela correlação positiva entre o preço do minério e as taxas de frete é uma característica intrínseca do mercado transoceânico. Segundo Carvalho (2017), a análise da variação do frete Brasil-China é um fator determinante, pois aumentos na demanda por minério pressionam simultaneamente a disponibilidade de navios Capesize, elevando os custos logísticos no mesmo sentido da receita bruta.

6. Conclusões

A presente buscou quantificar e analisar o risco financeiro na exportação de minério de ferro, aplicando as metodologias Value-at-Risk (VaR) e Expected Shortfall (ES) como ferramentas de suporte à decisão. Os resultados evidenciaram que a margem FOB de exportação possui uma volatilidade intrínseca que não pode ser adequadamente capturada por modelos estatísticos que assumem a normalidade dos retornos. A necessidade do ajuste de Cornish-Fisher, dada a presença de caudas pesadas nas distribuições, demonstrou que o risco de perdas extremas — situando-se entre 25,5% e 27,5% nos piores cenários mensais — é uma realidade estatística que exige provisionamento de capital robusto e estratégias de mitigação ativas. Além disso, a comparação entre os indicadores revelou que o minério de maior teor de ferro (Platts 65) confere uma estabilidade ligeiramente superior à operação, apresentando um VaR Modificado de -18,81% contra os -20,41% calculados para o Platts 62.

O achado mais significativo deste estudo, contudo, reside na decomposição do risco por componentes, que revelou o protagonismo do frete marítimo sobre a volatilidade da margem líquida. Identificou-se que o transporte (Rota C3) detém entre 75,8% e 77,7% da responsabilidade pelo risco total, superando largamente a volatilidade da própria commodity. Este resultado prova que, em termos de exposição financeira, a mineradora atua mais como uma tomadora de serviços logísticos do que como uma produtora mineral, visto que três quartos da incerteza de sua receita FOB residem nas oscilações dos navios Capesize.

Por fim, a análise da correlação positiva de mais de 0,50 evidenciou a existência de um mecanismo de "hedge natural", onde o alívio nos custos de frete em momentos de baixa do minério suaviza a queda da margem. Entretanto, a pesquisa conclui que este mecanismo é insuficiente para garantir a previsibilidade financeira, dada a dominância do componente logístico na variância total. Como recomendação estratégica, sugere-se que a gestão de exportação priorize o uso de instrumentos de *hedging* para o frete, como os *Forward Freight Agreements* (FFAs), e avalie a migração para contratos de afretamento de longo prazo para o minério premium (Platts 65).

Cabe ressaltar que a presente análise focou estritamente nas cotações em dólares americanos (USD), o padrão do mercado internacional de commodities, não incorporando o impacto do risco cambial (USD/BRL). Para o exportador brasileiro, a volatilidade do câmbio adiciona uma camada extra de complexidade, dado que uma desvalorização do Real pode atuar

como um hedge para custos locais, enquanto uma valorização pode comprimir severamente as margens convertidas. Nesse sentido, sugere-se para pesquisas futuras a construção de um VaR Multiativos, que integre a variância cambial e suas correlações com os preços do minério e do frete, o que permitiria quantificar a exposição financeira real da operação sob a ótica da moeda nacional.

7. Referências

- ALEXANDER, C. **Market Risk Analysis, Volume II: Practical Financial Econometrics**. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
- CARVALHO, V. V. **Mercado Internacional de Minério de Ferro**. 2017. 24 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- HALLERBACH, W. G.; MENKVELD, A. J. Analysing Perceived Downside Risk: The Component Value-at-Risk Framework. **European Financial Management**, v. 10, n. 4, p. 567-591, 2004.
- JORION, P. **Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- MA, Y. Iron ore spot price volatility and change in forward pricing mechanism. **Resources Policy**, v. 38, n. 4, p. 621-627, 2013.
- MAILLARD, D. **A User's Guide to the Cornish Fisher Expansion**. HAL Open Science, 2020.
- PECHLIYE, M. O.; BEVILAQUA, J. C. M. O Mercado do Minério de Ferro no Brasil: Oportunidades e Desafios Frente ao Cenário Internacional em Meio a Uma Guerra Tarifária. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 6, p. 5394-5398, 2025.
- PEREIRA, V. R. A. **Modelo de Precificação de Minério de Ferro com Foco em Vendas para Mercado Externo**. 2024. 50 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.
- PINTO, B. H. T. **A Dinâmica do Mercado Global de Minério de Ferro e a Importância da Logística na Cadeia de Valor da Vale**. 2013. 50 f. Monografia (Bacharelado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- WEIGT, R. G. M. **O risco na avaliação de performance em empresas não financeiras: Uma abordagem estratégica**. 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2001.

