



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA ECONÔMICA E FINANCEIRA NOS NEGÓCIOS

DALMO SILVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE BETA SETORIAL DE DAMODARAN E BETA
EMPÍRICO DA RUMO S.A. NO CAPM FERROVIÁRIO BRASILEIRO**

GOIÂNIA

2026

DALMO SILVEIRA

COMPARAÇÃO ENTRE BETA SETORIAL DE DAMODARAN E BETA EMPÍRICO DA RUMO S.A. NO CAPM FERROVIÁRIO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Especialização em
Engenharia Econômica e Financeira Aplicada
aos Negócios da Universidade Federal de
Goiás (UFG), como requisito para a obtenção
do título de Especialista.

Orientador: Thyago Carvalho Marques

GOIÂNIA

2026

Resumo

Este trabalho investiga a mensuração do risco sistemático no setor ferroviário brasileiro, com foco na comparação entre parâmetros globais e a evidência empírica local. O objetivo central é analisar a divergência entre o coeficiente Beta desalavancado setorial de mercados emergentes, proposto por Aswath Damodaran, e o Beta desalavancado calculado a partir do histórico de negociação da Rumo S.A. (RAIL3) na B3, avaliando seu impacto no modelo CAPM. A metodologia quantitativa baseou-se na regressão linear dos retornos logarítmicos diários da RAIL3 contra o Ibovespa no período de 01/04/2021 a 31/03/2026, resultando em um Beta alavancado empírico. A Equação de Hamada foi aplicada para isolar o risco operacional da companhia. Os resultados demonstraram que o Beta desalavancado da Rumo (0,67700) é inferior ao parâmetro setorial de Damodaran (0,74698). A adoção do referencial internacional superestima o risco operacional em 10,33%, o que, em condição *coeteris paribus*, eleva o custo de capital próprio (K_e) em 1,207 ponto percentual. Conclui-se que a utilização de médias setoriais globais pode introduzir distorções na precificação de ativos de infraestrutura locais, sendo recomendada a priorização de dados primários do mercado brasileiro para a modelagem financeira de concessões ferroviárias.

Palavras-chave: Beta Alavancado. Beta desalavancado. CAPM. Custo de capital próprio. Setor ferroviário. Damodaran. Rumo S.A.

Abstract

This study investigates the measurement of systematic risk in the Brazilian railway sector, focusing on the comparison between global parameters and local empirical evidence. The main objective is to analyze the divergence between the unlevered sector Beta for emerging markets, proposed by Aswath Damodaran, and the unlevered Beta calculated from the trading history of Rumo S.A. (RAIL3) on B3, evaluating its impact on the CAPM model. The quantitative methodology was based on the linear regression of daily logarithmic returns of RAIL3 against the Ibovespa from 04/01/2021 to 03/31/2026, resulting in an empirical levered Beta. The Hamada Equation was applied to isolate the company's operational risk. The results demonstrated that Rumo's unlevered Beta (0.67700) is lower than Damodaran's sector parameter (0.74698). The adoption of the international benchmark overestimates the operational risk by 10.33%, which, under ceteris paribus conditions, increases the cost of equity (K_e) by 1.207 percentage points. It is concluded that the use of global sector averages can introduce distortions in the pricing of local infrastructure assets, and the prioritization of primary data from the Brazilian market is recommended for the financial modeling of railway concessions.

Keywords: Levered Beta. Unlevered Beta. CAPM. Cost of equity. Railway sector. Damodaran. Rumo S.A.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO: O DESAFIO DA MENSURAÇÃO DO RISCO SISTEMÁTICO NO SETOR FERROVIÁRIO BRASILEIRO	7
1.1 O Coeficiente Beta como Variável Central da Engenharia Financeira	9
1.2 Problema de Pesquisa: A Divergência dos Betas e suas Implicações	10
1.3 Justificativa e Objetivos do Estudo.....	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO: O BETA COMO MEDIDA DE RISCO SISTEMÁTICO.....	11
2.1 Teoria Moderna de Carteiras e o Paradigma Risco-Retorno.....	11
2.2 O <i>Capital Asset Pricing Model</i> (CAPM) e a Estimação do Custo de Capital Próprio (Ke)	12
2.3 Estrutura de Capital, Impostos e a Equação de Hamada: Isolando o Risco Operacional	13
2.4 O Paradigma de Aswath Damodaran: Metodologia e Relevância Global ...	15
2.5 A Rumo S.A.: Relevância Estratégica e Representatividade no Mercado Brasileiro	16
3. METODOLOGIA APLICADA.....	16
3.1 Beta RAIL3.....	16
3.1.1 Fonte de Dados	16
3.1.2 Recorte Temporal da Análise	18
3.1.3 Tratamento de Dados	18
3.1.4 Premissas de cálculo do Beta Alavancado (RAIL3)	19
3.1.5 Premissas de cálculo do Beta Desalavancado RAIL3	21
3.2 Beta Desalavancado (β_U) de Damodaran	22
3.3 Premissas Matemáticas do CAPM e o Desdobramento do Beta	23
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	23
4.1 Resultados do Cálculo do Beta Alavancado (RAIL3)	24
4.2 Resultados do Cálculo do Beta Desalavancado (RAIL3)	26
4.3 Beta Desalavancado (β_U) de Damodaran	27
4.4 Comparação dos Betas RUMO S.A. e Damodaran	28
4.5 Desdobramento Quantitativo no CAPM	29

5. CONCLUSÃO	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A: COMPOSIÇÃO DA CARTEIRA DO IBOVESPA (29/06/2026)	35
APÊNDICE B: ROTINAS PYTHON PARA EXTRAÇÃO, TRATAMENTO E CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS	39
B.1) Rotina 1: Extração da Série Histórica da RAIL3.....	39
B.2) Rotina 2: Consolidação da Série Histórica do Ibovespa.....	41
B.3) Rotina 3: Cruzamento e Auditoria da Base Consolidada.....	43

1. INTRODUÇÃO: O DESAFIO DA MENSURAÇÃO DO RISCO SISTEMÁTICO NO SETOR FERROVIÁRIO BRASILEIRO

A avaliação de empresas e ativos financeiros exige a determinação de uma taxa de retorno que compense o investidor pelo custo de oportunidade e pelos riscos inerentes ao empreendimento. No âmbito da Engenharia Financeira, a estimação do custo de capital próprio $[K_e]$ ¹ é imprescindível para determinar a viabilidade de um projeto e depende diretamente da correta mensuração do risco sistemático do ativo.

Ao avaliar a perspectiva do K_e , chega-se ao conceito de *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Segundo Assaf Neto (2014), este é o modelo que precifica ativos com base no retorno e no risco esperado. Todo investimento de maior risco deve oferecer remuneração mais elevada, sendo o retorno esperado igual a uma taxa de juro livre de risco mais um prêmio pelo risco assumido.

O CAPM é amplamente adotado para a estimação do custo de capital próprio, que postula que o retorno esperado de um investidor deve ser proporcional ao risco sistemático ao qual o ativo está exposto. Dentro desta formulação, uma variável de grande desafio de composição é o coeficiente Beta $[\beta]$, que quantifica a sensibilidade dos retornos do ativo em relação às oscilações observadas no mercado, Assaf Neto (2014) apresenta considerações adicionais ao indicar que o retorno esperado de um ativo, $E(R_j)$, apresenta uma correlação linear positiva com o risco sistemático, medido pelo coeficiente beta (inclinação da regressão linear). O Beta não apenas incorpora a percepção de risco operacional e financeiro das empresas, mas constitui a variável central na determinação da taxa de retorno exigida pelo acionista

Observando o setor ferroviário brasileiro, a Rumo S.A. é a única empresa do segmento com ações negociadas na Bolsa de Valores do Brasil [B3], sob o *ticker* RAIL3. Para esse ativo, a correta estimação do Beta não constitui mero exercício acadêmico, mas uma necessidade analítica permanente para a precificação do risco sistêmico em novos projetos de investimento.

O problema central que motiva este estudo é a recorrente incerteza sobre qual parâmetro de Beta deve ser adotado em economias emergentes, como a brasileira, para o cálculo do K_e no setor ferroviário. Diante da baixa liquidez histórica do mercado

¹ Cost of Equity

de ferrovias no Brasil e da escassez de empresas deste segmento listadas em bolsa, analistas e investidores recorrem ao paradigma internacional estabelecido pelo Professor Aswath Damodaran² da *New York University* [NYU]. Damodaran é amplamente reconhecido como referência internacional em *valuation*, sendo suas bases de dados de betas setoriais amplamente utilizadas como parâmetro para estimativas de retorno. Tal relevância decorre não apenas da granularidade na segmentação por setores de mercado, mas também da estratificação dos dados conforme o nível de desenvolvimento das economias, permitindo ajustes metodológicos consistentes entre países de diferentes graus de maturidade.

Nos *datasets* de Damodaran não há, de forma geral, estimativas individualizadas para o Brasil, sendo o país tratado como integrante da região da América Latina. Essa classificação regional, na qual se enquadra o Brasil, está contida no agrupamento mais amplo de “Mercados Emergentes” (*Emerging Markets*), que abrange, além da América Latina, economias da Ásia (excluído o Japão), Europa Oriental (inclusive Rússia), Oriente Médio e África, conforme apresentado na Tabela 1 a seguir: Classificação Regional Damodaran³

Tabela 1-Classificação Regional Damodaran

Região	Inclui
<i>United States</i>	<i>Just US</i>
<i>Europe (EU, UK, Switzerland & Scandinavia)</i>	<i>Western Europe & UK</i>
<i>Japan</i>	<i>Just Japan</i>
<i>Emerging Markets (Asia, Latin America, Eastern Europe, Mid East and Africa), with a further breakdown for India & China</i>	<i>All of Asia, other than Japan, Latin America, Africa, Middle East, Eastern Europe, Russia</i>
<i>Australia, New Zealand & Canada</i>	<i>Australia, New Zealand and Canada</i>
<i>Global</i>	<i>All firms</i>

Fonte: DAMODARAN, Aswath. Damodaran Online: betas by sector (emerging markets). New York University, jan. 2026. Disponível em: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Acesso em: mar. 2026.

² <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

³ https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/databreakdown.html

A questão fundamental é: em que medida a volatilidade de ferrovias na Ásia, África, Oriente Médio, leste Europeu, Rússia ou mesmo na América Latina reflete o risco sistêmico de uma ferrovia no Brasil? Tais diferenças estruturais podem levar a uma percepção de risco distorcida se os parâmetros internacionais forem aplicados sem a devida validação empírica local? O próprio Damodaran alerta para o fato de que ao expandir a base de dados para uma perspectiva global, obtém-se a vantagem de um conjunto de dados amplo e robusto; entretanto, podem ser negligenciadas diferenças relevantes tanto nas métricas de finanças corporativas quanto nos indicadores de *valuation* entre regiões.

Em síntese, o beta representa o parâmetro que incorpora o risco do ativo à taxa de retorno exigida pelo investidor. Sua superestimação implica elevação artificial do custo do capital próprio (K_e), podendo inviabilizar investimentos economicamente atrativos. Por outro lado, sua subestimação conduz à subavaliação do risco, resultando em precificação inadequada e na eventual alocação de capital em projetos destrutivos de valor. Nesse contexto, a avaliação da aderência dos betas estimados por Damodaran aos resultados observados para a Rumo S.A. constitui o objetivo central deste estudo, com vistas a aprimorar a mensuração de risco no setor ferroviário brasileiro.

1.1 O Coeficiente Beta como Variável Central da Engenharia Financeira

O Beta é mais do que um simples coeficiente de regressão; ele é o elo fundamental entre a teoria de carteiras e a realidade do mercado de capitais. No setor ferroviário, o Beta deve capturar a ciclicidade da demanda por transporte de carga (que no Brasil é fortemente ligada ao agronegócio e mineração), a exposição a variações de custos operacionais e a sensibilidade a choques macroeconômicos. A Rumo S.A., após consolidar sua estrutura societária, tornou-se o laboratório ideal para essa análise. A liquidez de suas ações permite que o mercado precifique de forma eficiente o seu risco sistemático, fornecendo os dados necessários para uma estimação empírica robusta e representativa.

Nesse contexto, torna-se necessária a distinção entre o beta alavancado (*levered* beta - β_L) e o beta desalavancado (*unlevered* beta - β_U). O beta alavancado reflete não apenas o risco operacional do ativo, mas também o efeito da estrutura de

capital da empresa, capturando a amplificação do risco decorrente do uso de dívida. Por sua vez, o beta desalavancado isola o risco intrínseco das operações, desconsiderando os impactos financeiros do endividamento, sendo, portanto, mais adequado para comparações entre empresas com diferentes estruturas de capital ou para a construção de parâmetros setoriais. A relação entre esses parâmetros pode ser formalmente expressa pelo ajuste do beta ao nível de alavancagem, permitindo sua posterior realavancagem conforme a estrutura de capital específica da empresa em análise.

1.2 Problema de Pesquisa: A Divergência dos Betas e suas Implicações

A questão que norteia este trabalho é: existe uma divergência significativa entre o Beta desalavancado setorial ferroviário proposto por Damodaran e o Beta desalavancado calculado a partir dos dados reais de negociação da Rumo S.A. (RAIL3) na Bolsa de Valores do Brasil (B3)? E, em caso afirmativo, qual é impacto dessa variação na precificação do risco do setor ferroviário brasileiro, quando aplicada ao modelo CAPM?

1.3 Justificativa e Objetivos do Estudo

A justificativa para este estudo reside na necessidade de rigor técnico na mensuração do risco de ativos de capital intensivo. Pequenas variações no coeficiente beta exercem efeito multiplicador sobre o custo de capital próprio (K_e).

Este trabalho busca contribuir para a literatura de finanças em mercados emergentes ao testar a aderência de parâmetros globais à realidade local. Os resultados podem auxiliar analistas, gestores e investidores na precificação mais assertiva de seus ativos através de um modelo CAPM mais aderente à realidade do mercado nacional.

1.3.1 Objetivo Geral

Comparar o beta desalavancado setorial ferroviário internacional, calculado e divulgado por Damodaran, com o beta desalavancado estimado empiricamente para a Rumo S.A. no mercado de capitais brasileiro, evidenciando a diferença entre os parâmetros e seu desdobramento quantitativo no modelo CAPM.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar o beta alavancado da Rumo por meio de regressão linear dos retornos da ação frente ao índice de mercado (Ibovespa), utilizando dados diários da B3;
- Calcular o beta desalavancado da Rumo, isolando o risco operacional por meio da Equação de Hamada, utilizando dados de endividamento da companhia;
- Coletar o beta desalavancado setorial ferroviário médio para Mercados Emergentes na base de dados de Aswath Damodaran, compreendendo sua metodologia de construção;
- Comparar os valores obtidos, mensurando as variações absoluta e percentual entre o parâmetro empírico nacional (Rumo S.A.) e o referencial internacional (Damodaran);
- Apresentar o desdobramento quantitativo do Beta sobre a estrutura matemática do modelo CAPM assumindo a condição *Coeteris Paribus*⁴ para as demais variáveis de cálculo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO: O BETA COMO MEDIDA DE RISCO SISTEMÁTICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que norteiam a análise de risco e retorno em ativos financeiros, com foco particular na estimação do custo de capital próprio. Inicialmente, discute-se a Teoria Moderna de Carteiras e o modelo CAPM, estabelecendo a distinção entre risco sistemático e não-sistemático. Na sequência, detalha-se a metodologia de desalavancagem e realavancagem de betas através da Equação de Hamada, essencial para isolar o risco operacional da estrutura de capital. Por fim, explora-se a abordagem empírica de Aswath Damodaran e a relevância da Rumo S.A. como *proxy* do setor ferroviário brasileiro, consolidando a base conceitual para a análise comparativa desenvolvida neste estudo.

2.1 Teoria Moderna de Carteiras e o Paradigma Risco-Retorno

A base científica da relação entre risco e retorno foi estabelecida por Harry Markowitz (1952) em seu artigo *Portfolio Selection*. Até então, o risco era tratado de

⁴ Coeteris Paribus é uma expressão em latim que significa: tudo o mais constante. É utilizada para verificar o efeito de variáveis isoladas independentemente dos efeitos de outras variáveis.

forma intuitiva e os investidores focavam apenas no retorno esperado de ativos isolados. Markowitz demonstrou matematicamente que o risco de uma carteira depende não apenas da variância dos ativos individuais, mas fundamentalmente da covariância entre eles em uma carteira. Através da diversificação, o investidor pode alcançar a Fronteira Eficiente, um conjunto de carteiras que oferecem o máximo retorno para um dado nível de risco, ou o mínimo risco para um dado nível de retorno. O conceito revolucionário de Markowitz foi mostrar que o risco pode ser reduzido sem sacrificar o retorno, desde que os ativos não sejam perfeitamente correlacionados.

A teoria evoluiu para a distinção fundamental entre:

- **Risco Não-Sistemático (Específico ou Diversificável):** Decorre de fatores internos à empresa, como falhas de gestão, problemas operacionais ou perda de clientes-chave. Em uma carteira bem diversificada, esse risco tende a zero, pois os eventos negativos em uma empresa são compensados por eventos positivos em outra. Este risco é irrelevante para o investidor racional, pois pode ser eliminado sem custo.
- **Risco Sistemático (Inerente ao Mercado ou Não-Diversificável):** Decorre de fatores macroeconômicos que afetam todos os ativos simultaneamente, como variações no PIB, inflação, taxas de juros básicas ou crises políticas. Esse risco não pode ser eliminado pela diversificação, sendo o único risco pelo qual o investidor racional deve ser remunerado pelo mercado. É a medida deste risco que o Beta busca capturar.

2.2 O Capital Asset Pricing Model (CAPM) e a Estimação do Custo de Capital Próprio (K_e)

O CAPM, desenvolvido independentemente por William Sharpe (1964), John Lintner (1965) e Jan Mossin (1966), formalizou a precificação do risco sistemático. O modelo postula que, em um mercado em equilíbrio, o retorno esperado de um ativo (K_e) é uma função linear de sua sensibilidade ao risco de mercado, representada pelo coeficiente Beta (β).

A equação fundamental do CAPM, **Equação (1)**, é expressa como:

$$K_e = R_f + \text{Beta} * (R_m - R_f)$$

Onde:

- K_e : Retorno esperado do ativo (Custo de Capital Próprio);
- R_f (Risk-Free Rate): Taxa livre de risco, geralmente representada por títulos soberanos;
- Beta: Medida de risco sistemático do ativo, quantificando a sensibilidade do retorno do ativo em relação ao retorno do mercado;
- $(R_m - R_f)$: Prêmio de risco de mercado, equivale ao retorno adicional exigido pelo investidor para migrar da segurança da taxa livre de risco (R_f) para a volatilidade do mercado de ações.

Nesta ótica, o K_e representa o custo de oportunidade do capital próprio. O CAPM baseia-se em pressupostos fortes: investidores são racionais e avessos ao risco, têm expectativas homogêneas sobre o futuro, e não há custos de transação ou impostos. Embora essas premissas sejam frequentemente violadas na realidade, o CAPM permanece como o modelo central na determinação da remuneração do acionista.

2.3 Estrutura de Capital, Impostos e a Equação de Hamada: Isolando o Risco Operacional

A relação entre como uma empresa se financia e o risco de suas ações é um dos pilares da Engenharia Financeira. Modigliani e Miller (1958) estabeleceram que, em um mundo perfeito, a estrutura de capital é irrelevante para o valor da empresa. No entanto, ao introduzir impostos, o uso de dívida torna-se vantajoso devido à dedutibilidade dos juros, mecanismo conhecido como benefício fiscal ou *tax shield*.

O uso de dívida, via capital de terceiros, gera alavancagem financeira e aumenta o risco para o acionista, pois os pagamentos de juros são fixos e devem ser honrados antes de qualquer distribuição de dividendos. Nessa ordem de pagamento, o Fluxo de Caixa da Dívida é prioritário frente ao Fluxo de Caixa do Acionista. Portanto, o Beta observado no mercado reflete dois riscos somados:

- I. risco operacional do negócio;
- II. risco financeiro da dívida.

Para comparar o risco do setor ferroviário (Rumo vs. Damodaran), deve-se utilizar o beta desalavancado (β_U), que isola o efeito da dívida.

Robert Hamada (1972) integrou as teorias de Modigliani e Miller ao CAPM, criando a fórmula que permite isolar o risco do ativo da seguinte forma, **Equação (2)**:

$$\beta_L = \beta_U * [1 + (1 - T) * \left(\frac{D}{E}\right)]$$

E, por consequência algébrica, o Beta desalavancado, **Equação (3)**:

$$\beta_U = \frac{\beta_L}{[1 + (1 - T) * \left(\frac{D}{E}\right)]}$$

Onde:

- β_L = Beta alavancado (Beta do Patrimônio Líquido);
- β_U : Beta desalavancado (Beta dos Ativos);
- T: Alíquota marginal de Imposto de Renda [IR] e Contribuição Social sobre Lucro Líquido [CSLL], equivalentes a 34%⁵ para empresas com classificação de Lucro Real no Brasil;
- D/E: Relação Dívida Bruta / Patrimônio Líquido a valor de mercado.

Nota metodológica: Embora a teoria acadêmica clássica muitas vezes mencione "dívida líquida", a adoção do endividamento bruto (Dívida Bruta) é o padrão estabelecido por Damodaran na construção de seus betas setoriais. Para garantir a comparabilidade rigorosa entre a evidência empírica da Rumo e o parâmetro internacional, este estudo adota a dívida bruta na relação D/E.

Este procedimento de desalavancagem permite a comparação do risco operacional da Rumo (independente de sua dívida) com o das ferrovias globais analisadas por Damodaran. Sem a desalavancagem, a comparação seria distorcida pelas diferentes políticas de financiamento de cada empresa, tornando a análise inconsistente.

⁵ A alíquota de 34% (25% de IRPJ + 9% de CSLL) representa a alíquota marginal corporativa padrão no Brasil e é adotada neste trabalho como premissa simplificadora da modelagem teórica. Na prática, a Rumo S.A. pode apresentar uma alíquota efetiva significativamente inferior em função de benefícios fiscais associados a pesados investimentos em infraestrutura (CAPEX), tais como depreciação acelerada de ativos ferroviários, incentivos tributários regionais e outros créditos. A utilização da alíquota marginal, contudo, é a prática padrão amplamente adotada em finanças corporativas para fins de comparabilidade metodológica.

O mesmo princípio algébrico que permite isolar o risco operacional pela desalavancagem também possibilita o caminho inverso: a **realavancagem**. Para que a comparação no modelo CAPM seja metodologicamente consistente, o Beta Desalavancado de Damodaran será realavancado com a estrutura de capital da Rumo S.A., aplicando a **Equação (2)** com os parâmetros D/E e T da própria companhia. Esse procedimento garante que ambos os coeficientes, o empírico e o de referência, reflitam o mesmo nível de endividamento ao serem inseridos na equação do CAPM, de modo que a divergência observada decorra exclusivamente da diferença entre os Betas Desalavancados.

2.4 O Paradigma de Aswath Damodaran: Metodologia e Relevância Global

Aswath Damodaran estabeleceu um dos padrões mais respeitados em finanças corporativas para a estimação de parâmetros de risco. Sua abordagem fundamenta-se na premissa de que o erro estatístico associado à estimação do Beta de uma única empresa (o "*standard error*") é significativamente alto. Para mitigar essa imprecisão, Damodaran propõe o uso de médias setoriais (*Bottom-up* Betas), que diluem os ruídos estatísticos e idiosincrasias de empresas individuais, resultando em um Beta mais estável e representativo do risco operacional do setor.

A metodologia de Damodaran para a construção de sua base de dados setorial segue critérios rigorosos:

- **Amostragem Ampla e Diversificada:** Damodaran utiliza um universo de milhares de empresas globais, agrupando-as em setores industriais específicos;
- **Isolamento do Risco de Negócio (Desalavancagem):** Para tornar as empresas comparáveis, Damodaran coleta o Beta alavancado de cada componente da amostra e o desalavanca utilizando a estrutura de capital (D/E) e a alíquota de imposto específicas de cada empresa e país;
- **Médias Ponderadas e Recortes Geográficos:** A base de dados é segmentada por regiões. Para economias como a brasileira, o recorte de Mercados Emergentes é o mais adequado. Este estudo questiona se este agrupamento é fiel à realidade da Rumo.

Devido à escassez de empresas listadas no setor ferroviário brasileiro, a metodologia de Damodaran preenche uma importante lacuna de dados, atuando como padrão comparativo.

2.5 A Rumo S.A.: Relevância Estratégica e Representatividade no Mercado Brasileiro

A Rumo S.A. é a maior operadora ferroviária independente do Brasil. No mercado de capitais brasileiro, a Rumo S.A. ocupa uma posição de exclusividade técnica para este estudo. A Rumo, por meio do *ticker* RAIL3, é a única empresa ferroviária com capital aberto e listada no Novo Mercado da B3, o segmento de mais alto nível de governança corporativa. Sua presença no Índice Bovespa (Ibovespa) garante a liquidez necessária para que o mercado precifique continuamente o seu risco sistemático. Portanto, a RAIL3 constitui a principal referência empírica disponível para estimação do risco sistemático do setor ferroviário brasileiro. Nesse contexto, o comportamento das ações da Rumo S.A. constitui a principal referência observável disponível para estudos que busquem estimar o risco sistemático do setor ferroviário brasileiro.

3. METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo delinea os procedimentos metodológicos, as premissas matemáticas e as bases de dados utilizadas para a estimação empírica do Beta desalavancado da empresa Rumo S.A. e para a coleta do parâmetro internacional de Aswath Damodaran. A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, aplicada e de natureza comparativa. Ressalta-se que este capítulo é dedicado exclusivamente à apresentação do modelo e das equações, reservando a exposição e discussão dos resultados para o capítulo subsequente.

3.1 Beta RAIL3

A estimação do risco sistemático da Rumo S.A. exige a mensuração da volatilidade de suas ações em relação ao comportamento do mercado nacional. Neste contexto, o coeficiente Beta atua como a métrica central de sensibilidade, expressando como os retornos do ativo respondem às oscilações sistêmicas do mercado.

3.1.1 Fonte de Dados

A base empírica do estudo baseia-se exclusivamente em fontes primárias e oficiais da empresa Rumo S.A. e do mercado financeiro nacional:

- a) Ação Rumo S.A. (RAIL3): Os dados de cotação da empresa foram extraídos da base de Séries Históricas (COTAHIST) da Bolsa de Valores do Brasil - B3⁶. Esta base contém o registro oficial de todas as negociações do mercado de ações brasileiro. Os dados relacionados aos dividendos pagos pela ação RAIL3 no período de análise foram obtidos diretamente na seção de Relações com Investidores [RI] no site da empresa⁷;
- b) Índice de Mercado: Como proxy para o retorno do mercado (R_m), adotou-se o Índice Bovespa (Ibovespa), cujos dados históricos foram extraídos diretamente da plataforma de dados da B3⁸. Esta escolha fundamenta-se na sua posição como principal indicador do mercado acionário brasileiro, sendo o referencial de risco sistêmico local amplamente aceito pela literatura acadêmica e por profissionais de finanças. Ressalta-se, contudo, a concentração setorial do índice; para fins deste estudo, observa-se que a Rumo S.A. (RAIL3) integra a carteira vigente (maio–agosto de 2026), classificada no setor de Bens Industriais/Transporte com participação de 0,694% (detalhamento da composição do Ibovespa disponível no **Apêndice A**). Observa-se, ainda, que os setores Financeiro, Petróleo e Energia concentram parcela significativa da carteira teórica do índice, enquanto o segmento de Transporte apresenta participação relativamente reduzida. Tal característica constitui uma limitação metodológica, uma vez que parte da volatilidade do Ibovespa decorre de fatores econômicos não diretamente relacionados ao setor ferroviário. Apesar dessa restrição, o Ibovespa permanece como a principal proxy de mercado disponível para a estimação do Beta no contexto brasileiro, em razão de sua abrangência, liquidez e ampla aceitação na literatura acadêmica e na prática financeira.

⁶ https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/mercado-a-vista/cotacoes-historicas/

⁷ <https://ri.rumolog.com/informacoes-financeiras/dividendos/>

⁸ https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/indice-ibovespa-ibovespa-estatisticas-historicas.htm?utm_source/

3.1.2 Recorte Temporal da Análise

O horizonte temporal adotado para a análise compreende o intervalo de dias úteis entre 1º de abril de 2021 e 31 de março de 2026, totalizando uma janela de cinco anos. A escolha dessa extensão temporal fundamenta-se na literatura clássica de estimação do beta, notadamente em Fama e MacBeth (1973), que empregaram períodos equivalentes em seus testes empíricos do CAPM, ainda que com retornos mensais. Tal definição reflete o trade-off intrínseco à estimação do beta: de um lado, a necessidade de robustez estatística, obtida por meio de amostras amplas; de outro, a aderência à dinâmica contemporânea do risco sistemático, reconhecendo que os betas não são parâmetros estáticos ao longo do tempo. A utilização de dados diários amplia significativamente o poder estatístico da amostra, preservando a capacidade de capturar ciclos econômicos relevantes e a dinâmica recente de mercado da companhia. Apesar das variações metodológicas observadas na literatura subsequente, estudos como Groenewold e Fraser (2000), Cenesizoglu e Reeves (2013) e Cenesizoglu et al. (2014) sustentam a permanência da janela de cinco anos como referência válida, particularmente em aplicações baseadas em retornos mensais.

3.1.3 Tratamento de Dados

Devido ao elevado volume das bases de dados brutas, implementaram-se rotinas computacionais em Python para garantir o processamento, a integridade e o alinhamento das séries temporais. O tratamento obedeceu a dois procedimentos fundamentais:

- a) **Alinhamento de Séries Temporais:** Realizou-se o cruzamento das datas de negociação da RAIL3 com as datas de pregão do Ibovespa. O algoritmo garantiu que apenas os dias com negociação simultânea em ambos os ativos fossem mantidos na amostra final;
- b) **Validação de Integridade:** Testes lógicos foram aplicados para identificar valores ausentes (NaN), variações percentuais extremas (outliers não justificados por eventos corporativos) e inconsistências na estrutura dos dados, assegurando uma base limpa e estatisticamente válida para a regressão. Os códigos desenvolvidos para esta extração e tratamento encontram-se detalhados no **Apêndice B** deste trabalho.

3.1.4 Premissas de cálculo do Beta Alavancado (RAIL3)

O cálculo do Beta Alavancado (β_L) baseia-se na sensibilidade dos retornos do ativo (RAIL3) em relação aos retornos do mercado (Ibovespa). O processo de estimação segue uma sequência metodológica de três etapas: ajuste da série de preços, cálculo dos retornos e estimação do coeficiente.

Etapas 1 — Ajuste da série de preços da RAIL3 por dividendos pagos

Diante dos pagamentos de dividendos pela Rumo S.A. (RAIL3), realizou-se o ajuste retroativo dos preços de fechamento da ação nas datas anteriores aos eventos *ex-dividendos*, visando eliminar descontinuidades artificiais na série histórica. Este procedimento aplica-se exclusivamente à série da RAIL3. A série do Ibovespa não requer ajuste equivalente, uma vez que o índice é calculado na modalidade de retorno total, incorporando automaticamente os proventos distribuídos pelas empresas que o compõem. O preço ajustado da ação RAIL3 foi calculado conforme a **Equação (4)**:

$$P_{ajustado} = P_{bruto,t-1} * \left(\frac{(P_{bruto,t} - Dividendo_t)}{P_{bruto,t}} \right)$$

Onde:

- $P_{ajustado,t-1}$: Preço da ação no período anterior à data *ex-dividendos*, ajustado para expurgar a descontinuidade mecânica da série;
- $P_{bruto,t-1}$: Preço de fechamento da ação registrado no período anterior ao evento de distribuição;
- $P_{bruto,t}$: Preço de fechamento da ação registrado no dia do evento (data *ex-dividendos*), ainda sob influência da redução de valor pelo provento;
- $Dividendo_t$: Valor nominal do dividendo distribuído pela companhia por ação na data t .

Esse procedimento justifica-se pelo fato de que o pagamento de dividendos constitui uma redistribuição de valor que ocasiona redução mecânica na cotação do ativo na data *ex*, sem alterar seus fundamentos econômicos. Sem esse ajuste, a série de retornos sofreria distorções, comprometendo a precisão das medidas de dispersão e a estimação do coeficiente Beta.

Nota metodológica: Para a construção da série de preços ajustados, os preços brutos de fechamento da ação RAIL3 foram extraídos da base de dados da plataforma virtual da Bolsa de Valores oficial do Brasil, B3, sendo o histórico completo de proventos obtido diretamente no portal de Relações com Investidores (RI) da empresa Rumo S.A. Este procedimento garante que os retornos calculados reflitam adequadamente a variação de valor de mercado do ativo, eliminando vieses nas medidas de dispersão e reforçando a integridade estatística na estimação do coeficiente Beta. A série do Ibovespa, por sua vez, foi utilizada diretamente sem ajustes adicionais, dado que sua metodologia de cálculo já contempla o reinvestimento de dividendos.

Etapa 2 — Cálculo dos retornos logarítmicos

Com a série de preços ajustados da RAIL3 e a série de pontos de fechamento do Ibovespa obtidas, os retornos diários de ambas foram calculados na forma logarítmica, conforme a **Equação (5)**:

$$rt = \ln\left(\frac{Pt}{Pt-1}\right)$$

Onde:

- rt : fator de variação da série no período;
- Pt : valor de fechamento da série no período t ;
- $Pt-1$: valor de fechamento da série no período imediatamente anterior.

Essa abordagem foi adotada por apresentar propriedades estatísticas superiores ao retorno percentual simples, notadamente a aditividade temporal, garantindo que os momentos estatísticos utilizados na etapa seguinte sejam robustos e consistentes ao longo de todo o horizonte da amostra.

Etapa 3 — Cálculo do Beta Alavancado (β_L)

Com os retornos adequadamente calculados para ambas as séries (RAIL3 e Ibovespa), o Beta Alavancado é obtido pela razão entre a covariância dos retornos do ativo e a variância dos retornos do mercado, conforme a **Equação (6)**:

$$\beta_L = \frac{\text{Covariância}(R_j; R_m)}{\text{Variância}(R_m)}$$

Onde:

- β_L : Beta alavancado;
- Covariância (R_j , R_m): Representa a covariância entre os retornos do ativo “j” (RAIL3) e os retornos do mercado “m” (Ibovespa);
- Variância (R_m): Representa a variância dos retornos do mercado (Ibovespa).

Etapla 4 — Validação do Beta via regressão linear (Gretl/MQO)

Conforme a fundamentação de Assaf Neto (2014), o Beta Alavancado corresponde matematicamente à inclinação da reta de regressão linear estimada pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Para fins de transparência metodológica e robustez, os resultados obtidos na Etapa 3 foram validados mediante regressão linear no software econométrico *Gretl*⁹. O modelo estimado assume a forma da Equação (7):

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x$$

Onde:

- $\hat{y}$: valor estimado da variável dependente;
- β_0 : intercepto da regressão;
- β_1 : coeficiente angular, corresponde ao Beta Alavancado (β_L), parâmetro de interesse central do estudo;
- x : variável independente (Ibovespa).

3.1.5 Premissas de cálculo do Beta Desalavancado RAIL3

Como o Beta Alavancado carrega o efeito da dívida específica da Rumo, ele não é aplicável para uma comparação direta com médias setoriais globais ou para avaliar o risco puro do negócio de transporte ferroviário, que se expressa pelo Beta Desalavancado. Para isolar o risco operacional, aplica-se o procedimento de desalavancagem financeira fundamentado na Equação de Hamada (1972), já expressa na **Equação (3)** deste TCC.

A aplicação desta equação remove o prêmio de risco financeiro exigido pelos acionistas em virtude do endividamento da companhia, permitindo que o Beta

⁹ <https://gretl.sourceforge.net/>

resultante represente o risco operacional do setor logístico ferroviário, dissociada do efeito da estrutura de capital da companhia.

Nota metodológica: assume-se a alíquota de 34% (25% de IRPJ + 9% de CSLL) como representante da alíquota marginal corporativa padrão no Brasil, sendo adotada neste trabalho como premissa simplificadora. Na prática, a Rumo S.A. pode apresentar uma alíquota efetiva inferior em função de benefícios fiscais e depreciação. A utilização da alíquota marginal, contudo, é a prática padrão adotada para fins de comparabilidade.

3.2 Beta Desalavancado (β_U) de Damodaran

O referencial internacional de Aswath Damodaran atua como o principal paradigma para a estimação do risco em mercados emergentes, suprimindo a lacuna deixada pela baixa liquidez e escassez de empresas comparáveis listadas localmente. A compreensão de sua metodologia de composição é essencial para validar a comparação com o dado empírico nacional.

A base de dados de Damodaran (referência de Janeiro de 2026) utiliza uma abordagem *Bottom-Up*¹⁰, agrupando empresas globais por setor de atuação. Para este estudo, o recorte metodológico focou estritamente no setor de *Transportation (Railroads)* dentro da classificação geográfica de Emerging Markets (Mercados Emergentes).

A metodologia de Damodaran para a construção do Beta Desalavancado setorial (β_U) envolve:

- A coleta do Beta alavancado de diversas empresas ferroviárias operantes em países em desenvolvimento;
- A desalavancagem individual do Beta de cada empresa, utilizando a alíquota de imposto e a relação D/E locais;
- O cálculo da média simples desses Betas desalavancados, resultando em um parâmetro setorial que busca diluir os ruídos estatísticos e idiosincrasias corporativas individuais.

¹⁰ <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/podcasts/cfspr22/session10slides.pdf>

O β_U setorial resultante representa a percepção média do risco operacional de ferrovias em mercados emergentes, servindo como referencial para a precificação de ativos do setor em contextos de escassez de dados locais. É esse parâmetro que será diretamente comparado ao Beta Desalavancado empírico da Rumo S.A., calculado no item 3.1.5.

3.3 Premissas Matemáticas do CAPM e o Desdobramento do Beta

O objetivo de determinar o coeficiente Beta é sua inserção no Capital Asset Pricing Model (CAPM) para a mensuração do Custo de Capital Próprio (K_e). O CAPM estabelece que a taxa de retorno exigida pelo acionista é igual à taxa livre de risco somada a um prêmio pelo risco sistemático assumido, conforme a **Equação (1)** deste trabalho.

Para isolar o impacto exclusivo da divergência do coeficiente Beta sobre a modelagem do CAPM, a metodologia estabelece a aplicação da condição *Coeteris Paribus*. Isso significa que os parâmetros R_f e o Prêmio de Risco ($R_m - R_f$) são mantidos constantes na análise, de modo que a variação no K_e decorra exclusivamente da diferença entre os coeficientes Beta adotados em cada cenário.

Como o CAPM exige o Beta Alavancado (β_L) em sua formulação, os Betas Desalavancados (β_U), tanto o empírico da Rumo S.A. (RAIL3) quanto o de referência de Damodaran, serão realavancados antes de sua inserção na equação. Para garantir que essa realavancagem não introduza uma nova fonte de divergência, ambos os parâmetros serão realavancados com a mesma estrutura de capital: a relação D/E da própria Rumo S.A., aplicando a Equação (2) de Hamada. Dessa forma, a diferença no K_e calculado para cada cenário refletirá exclusivamente a divergência entre os β_U , que é o objeto central deste estudo.

Nota metodológica: Para fins de consistência analítica, a formalização do Custo de Capital Próprio (K_e) neste estudo segue a **Equação (1)**, parâmetro central para a interpretação do impacto do Beta no modelo de precificação.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados numéricos derivados da aplicação do modelo metodológico descrito anteriormente. Os dados empíricos da Rumo S.A. são

processados e contrastados diretamente com os referenciais internacionais, evidenciando as diferenças na percepção de risco sistêmico.

4.1 Resultados do Cálculo do Beta Alavancado (RAIL3)

A estimação do coeficiente Beta da Rumo S.A. (RAIL3) em relação ao Ibovespa, fundamentada na razão entre a covariância dos retornos e a variância do mercado de referência (**Equação 6**), compreendeu a série histórica de retornos logarítmicos entre 01/04/2021 e 31/03/2026. Aplicando a **Equação (6)** com os dados da série:

$$\beta_{L_{RAIL3}} = \frac{Covariância(RAIL3; IBOV)}{Variância(BOV)} = \frac{0,000124}{0,000122} = 1,01542$$

Para garantir a robustez das estimativas, os cálculos foram validados por meio do modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), utilizando o *software* econométrico Gretl, conforme o modelo descrito na **Equação (7)**. Os resultados da estimação são consolidados na Tabela 2:

Tabela 2-Indicadores estatísticos da regressão linear do ativo RAIL3

Estatística	Valor
Número de observações (n)	1.246 dias úteis
Variância Ibovespa	0,012232%
Covariância (RAIL3,Ibovespa)	0,012421%
Beta Alavancado (β_L)	1,01542
Correlação (ρ)	0,571694
R ² (Coeficiente de Determinação)	0,3268 (32,68%)
Erro Padrão do Beta (SE)	0,041317
Estatística t	24,576142
p-valor	< 0,001
Intervalo de Confiança (95%)	Inferior = 0,9346; Superior = 1,0962
Equação de Regressão Linear	$\hat{R}_{RAIL3} = -0,000569 + 1,01542 * Retorno_{IBOVESPA,t}$

Fonte: elaborado pelo autor, 2026

O coeficiente Beta de 1,0154 indica que as ações da Rumo S.A. (RAIL3) possuem um perfil de risco praticamente neutro em relação ao mercado ($\beta \approx 1$), denotando que o ativo tende a acompanhar as variações do Ibovespa na mesma proporção. A estatística t (24,58) e o p -valor ($p < 0,001$) confirmam a elevada significância estatística do coeficiente estimado. Complementarmente, o R^2 de 32,68% demonstra que aproximadamente um terço da variância dos retornos do ativo é explicada pelo risco sistêmico de mercado. Adicionalmente, observa-se que o intervalo de confiança de 95% do coeficiente Beta, compreendido entre 0,9346 e 1,0962, engloba o valor unitário ($\beta = 1$). Esse resultado sugere que o coeficiente estimado apresenta comportamento compatível com o risco médio do mercado brasileiro no período analisado.

A reta de regressão estimada é definida pela função $\hat{R}_{RAIL3,t} = -0,00057 + 1,0154 \cdot R_{IBOV,t}$, onde o intercepto (α) de $-0,057\%$ ao dia não apresenta significância estatística, validando a premissa do CAPM. Ressalta-se que o modelo apresenta a propriedade de neutralidade estatística, na qual a soma dos retornos observados é idêntica à soma dos retornos estimados ($\sum Y_{real} = \sum \hat{Y}_{regressão}$), assegurando a inexistência de viés sistemático na estimação do coeficiente Beta. A Figura 1 ilustra a dispersão dos retornos e a linha de tendência ajustada obtida via Gretl.

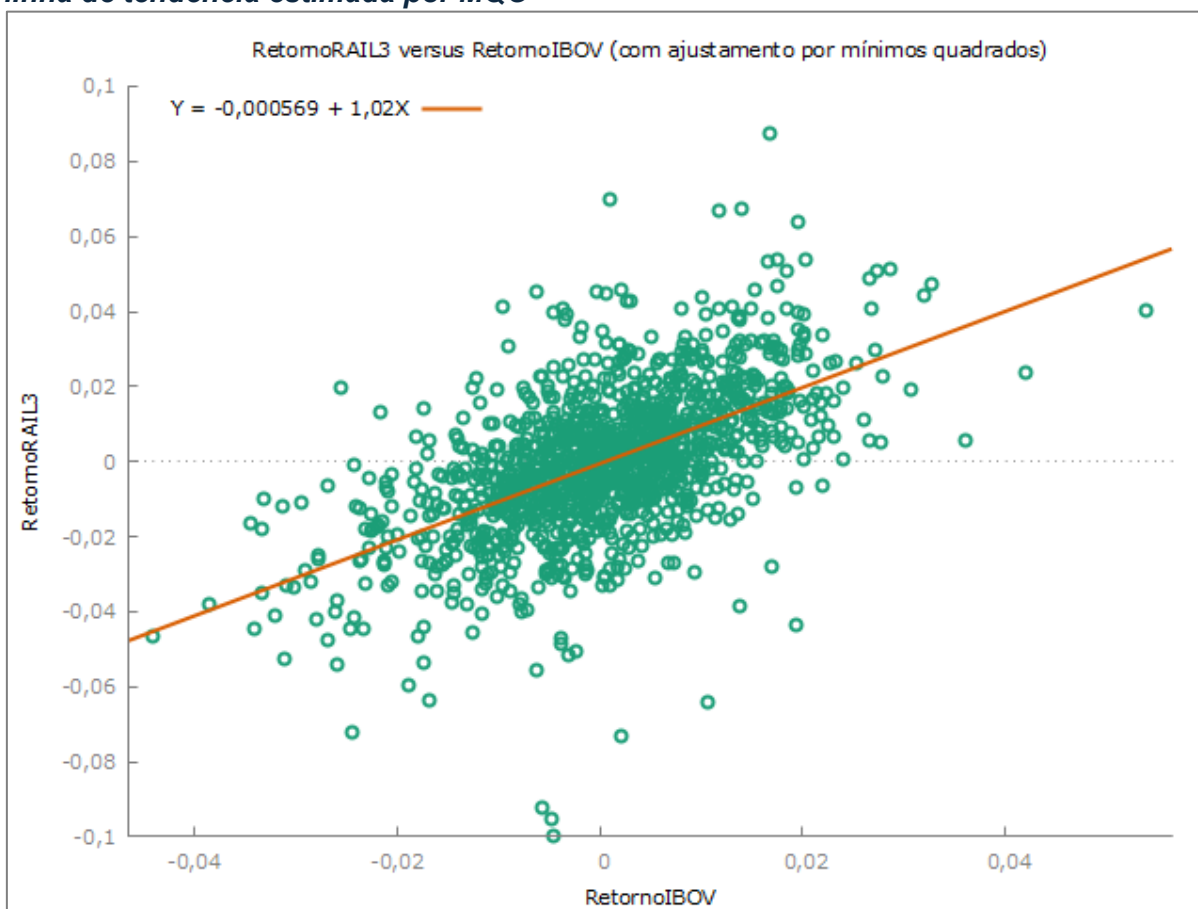
Figura 1-Validação estatística dos parâmetros do modelo CAPM via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)

Modelo 1: MQO, usando as observações 1-1246				
Variável dependente: RetornoRAIL3				
	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	-0,000569467	0,000457082	-1,246	0,2130
RetornoIBOV	1,01543	0,0413176	24,58	4,88e-109 ***
Média var. dependente	-0,000173	D.P. var. dependente		0,019645
Soma resíd. quadrados	0,323433	E.P. da regressão		0,016124
R-quadrado	0,326835	R-quadrado ajustado		0,326294
F(1, 1244)	603,9868	P-valor(F)		4,9e-109
Log da verossimilhança	3375,775	Critério de Akaike		-6747,550
Critério de Schwarz	-6737,294	Critério Hannan-Quinn		-6743,694

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da B3 e processado via software Gretl (2026).

A Figura 2 apresenta a dispersão dos retornos e a linha de regressão ajustada:

Figura 2-Dispersão dos retornos logarítmicos diários da RAIL3 versus Ibovespa e linha de tendência estimada por MQO



Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da B3 e processado via software Gretl (2026).

4.2 Resultados do Cálculo do Beta Desalavancado (RAIL3)

Com o Beta Alavancado estimado, procedeu-se ao isolamento do risco operacional da companhia através da Equação de Hamada. A aplicação da fórmula exigiu os parâmetros financeiros e tributários da Rumo S.A. referentes ao fechamento do período de análise.

Premissas utilizadas na desalavancagem estão apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3– Premissas financeiras para o cálculo do Beta desalavancado

Variável	Valor
Beta Alavancado (β_L)	1,01542
Estoque de Ações (31/03/2026)	1.858.828.617
Preço de Fechamento Ajustado (31/03/2026):	R\$ 16,25
Market Cap (Valor de Mercado)	R\$ 30.205.965.026,25

Variável	Valor
Endividamento Bruto (1T26)	R\$ 22.878.000.000,00
Dívida/Patrimônio (D/E) RUMO S.A.	75,74%
Alíquota de Imposto Considerada	34%

Fonte: elaborado pelo autor, 2026

Aplicando a **Equação (3)**, Equação de Hamada:

$$\beta_{U_{\text{RAIL3}}} = \frac{1,01542}{[1 + (1 - 0,34) * (0,7574)]} = 0,67700$$

O resultado obtido representa o risco operacional da atividade de transporte ferroviário de cargas no Brasil, expurgado do risco financeiro decorrente da estrutura de capital específica adotada pela Rumo S.A.

4.3 Beta Desalavancado (β_U) de Damodaran

A estimação do referencial de mercado baseou-se nos dados da base Damodaran Online (janeiro de 2026). Para a calibragem do parâmetro setorial, aplicou-se um filtro para empresas do segmento de *Transportation (Railroads)* sediadas em mercados emergentes (*Emerging Markets*), resultando em uma amostra composta por 18 empresas. A Tabela 4 consolida os parâmetros setoriais obtidos:

Tabela 4-Parâmetros Damodaran

Variável	Valor
Número de empresas na amostra	18
Beta Alavancado (β_L) Setorial Médio	0,95865
D/E Ratio Médio	37,63%
Taxa Marginal de imposto	24,71%
Beta Desalavancado (β_U) Damodaran	0,74698

Fonte: DAMODARAN, Aswath. Damodaran Online: betas by sector (emerging markets). New York University, jan. 2026. Disponível em: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Acesso em: mar. 2026.

O valor de $\beta_U = 0,74698$ representa a média simples dos betas desalavancados das 18 empresas da amostra, calculados internamente por Damodaran mediante

aplicação da **Equação (3)** com os parâmetros individuais de D/E e alíquota de imposto de cada empresa, conforme metodologia descrita no item 3.2 deste trabalho.

Este coeficiente de 0,74698 é uma métrica de Beta relevante e paradigma adotado por analistas na ausência de cálculos empíricos locais para a precificação de ativos logísticos no Brasil. Ele serve como benchmark setorial para comparar o risco operacional da Rumo S.A. com a média global de mercados emergentes, constituindo o parâmetro de referência internacional desta pesquisa.

4.4 Comparação dos Betas RUMO S.A. e Damodaran

O cerne da pesquisa reside no confronto entre o parâmetro acadêmico global e a evidência empírica nacional. A Tabela 5 consolida as métricas para comparação direta:

Tabela 5-Comparação β_U Rumo vs Damodaran

Parâmetro	Evidência Empírica (Rumo S.A.)	Referencial Global (Damodaran)	Diferença absoluta	Diferença percentual
Beta Alavancado Base	1,01542	0,95865		
Relação D/E	75,74%	37,63%		
Alíquota de Imposto	34,00%	24,71%		
Beta Desalavancado (β_U)	0,67700	0,74698	0,06998	10,33%

Fonte: elaborado pelo autor, 2026

A análise dessa divergência indica que a aplicação direta da média de mercados emergentes, proposta por Damodaran, resulta em uma estimativa de risco operacional 10,33% superior ao parâmetro estimado para a Rumo S.A. Essa diferença pode decorrer da heterogeneidade da amostra global, composta por 18 ferrovias de países com perfis econômicos, estruturas de capital e exposições setoriais distintas, o que não implica, necessariamente, um erro do modelo de referência, mas reflete a especificidade do risco operacional da Rumo S.A. no contexto do mercado ferroviário brasileiro.

Em síntese, os dois parâmetros são resultados tecnicamente válidos que partem de premissas distintas: o β_U calculado para a Rumo S.A. reflete o risco operacional histórico específico da companhia. no mercado brasileiro, enquanto o β_U

de Damodaran representa a média setorial de uma amostra global heterogênea. A divergência observada é, portanto, esperada e metodologicamente explicável.

4.5 Desdobramento Quantitativo no CAPM

Identificada a divergência entre o beta desalavancado empírico da Rumo S.A. e o parâmetro de referência de Damodaran, este trabalho analisa o impacto desse desalinhamento nas métricas de risco sobre o resultado do modelo CAPM.

Para atender aos requisitos da equação básica da taxa de retorno esperada no modelo CAPM, é necessário realavancar os Betas ($\beta_U \rightarrow \beta_L$), aplicando a **Equação (2)** de Hamada, disposta no capítulo 2.3 deste trabalho.

Assim, adota-se o referencial da própria Rumo S.A. para cálculo dos Betas Alavancados, conforme apresentado na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6-Parâmetros para realavancagem (D/E, β_U RAIL3, β_U Damodaran)

Variável	Valor
Dívida/Patrimônio (D/E) RUMO S.A.	75,74%
Beta Desalavancado (β_U) RAIL3	0,67700
Beta Desalavancado (β_U) Damodaran	0,74698

Fonte: elaborado pelo autor, 2026

Com esses parâmetros definidos, procede-se à realavancagem de cada β_U

Equação (8): Realavancagem do β_U RAIL3:

$$BL_{RumoS.A.} = 0,67700 * (1 + (1 - 0,34) * 0,7574) = 1,01542$$

Equação (9): Realavancagem do β_U Damodaran:

$$BL_{Damodaran} = 0,74698 * (1 + (1 - 0,34) * 0,7574) = 1,12038$$

Na sequência, a fim de quantificar o impacto isolado da divergência entre os Betas Alavancados sobre o Custo de Capital Próprio, aplica-se a Equação (1) do CAPM em caráter estritamente laboratorial. Para que a comparação seja metodologicamente neutra, adotam-se valores de R_f e R_m extraídos de uma fonte única e independente dos dois métodos comparados: os parâmetros utilizados por Assaf Neto em exemplo ilustrativo do CAPM, apresentados no item 4.1 do livro

Valuation: métricas de valor & avaliação de empresas ($R_f = 5,0\%$; $R_m = 16,5\%$), de modo que qualquer diferença no K_e resultante seja atribuível exclusivamente à divergência entre os Betas. Mantendo-se a condição *Coeteris Paribus* para todos os demais termos além do Beta Alavancado, tem-se:

Equação (10): K_e com Beta RAIL3

$$K_{e_{Rumo}} = 5,0\% + 1,01542 * (16,5\% - 5,0\%) = 16,677\%$$

Equação (11): K_e com Beta Damodaran

$$K_{e_{Damodaran}} = 5,0\% + 1,12038 * (16,5\% - 5,0\%) = 17,884\%$$

A diferença apurada, considerando o exercício apresentado, corresponde a um acréscimo de 1,207 pontos percentuais no Custo de Capital Próprio, equivalente a 7,24% em termos relativos, resultado que decorre exclusivamente da divergência entre os β_U dos dois métodos, sem qualquer alteração nos parâmetros macroeconômicos de taxa livre de risco e prêmio de mercado. A Tabela 7 consolida todos os parâmetros e resultados do exercício:

Tabela 7-Consolidação CAPM (β_L realavancado, K_e , diferença)

Variável	Rumo S.A. (RAIL3)	Damodaran
Beta desalavancado (β_U)	0,677	0,74698
D/E utilizado na realavancagem	75,74%	75,74%
Alíquota utilizada na realavancagem	34,00%	34,00%
Beta realavancado (β_L)	1,01542	1,12038
K_e calculado (CAPM laboratorial)	16,68%	17,88%
Diferença no K_e	—	+1,207 p.p. (+7,24%)

Fonte: elaborado pelo autor, 2026

Cabe ressaltar que betas empíricos, como o calculado para a RAIL3, refletem condições históricas reais de mercado, ao passo que betas referenciais, como o de Damodaran, são construídos a partir de premissas econômicas, regionais, setoriais e de estruturas de capital distintas entre empresas. Evidencia-se, portanto, que a definição do parâmetro Beta não constitui mera escolha metodológica, mas uma

decisão com impacto material sobre a taxa de desconto e, por extensão, sobre a avaliação econômica e a atratividade do investimento.

5. CONCLUSÃO

Este estudo cumpriu o objetivo central de investigar a mensuração do risco sistemático no setor ferroviário brasileiro, ao comparar o coeficiente beta desalavancado empírico da Rumo S.A. (RAIL3) com o referencial internacional estabelecido por Aswath Damodaran para mercados emergentes. A pesquisa quantificou não apenas a divergência entre os parâmetros, mas também seu desdobramento direto no modelo de precificação de ativos (CAPM).

Os resultados empíricos, baseados na regressão linear dos retornos diários da RAIL3 em relação ao Ibovespa em uma janela de cinco anos (2021–2026), revelaram um Beta Alavancado de 1,01542. Após o isolamento do risco operacional pela Equação de Hamada, obteve-se um Beta Desalavancado (β_U) de 0,67700. Em contrapartida, a média setorial internacional para ferrovias em mercados emergentes, segundo Damodaran, indicou um β_U de 0,74698. Essa divergência observada demonstra que a aplicação direta do referencial global resulta em uma estimativa de risco operacional 10,33% superior ao coeficiente estimado para a Rumo S.A.

O desdobramento quantitativo dessa divergência no CAPM, sob condição *Coeteris Paribus* e adoção dos parâmetros laboratoriais de Assaf Neto ($R_f = 5,0\%$; $R_m = 16,5\%$), evidenciou um impacto material no Custo de Capital Próprio (K_e). A realavancagem do Beta de Damodaran com a estrutura de capital da Rumo S.A. gerou um K_e de 17,884%, enquanto o uso do Beta empírico resultou em um K_e de 16,677%. A diferença de 1,207 pontos percentuais (ou 7,24% em termos relativos) confirma que a escolha do parâmetro Beta altera de forma relevante a taxa de desconto do ativo.

Ressalta-se, contudo, que a divergência apurada não implica erro na modelagem internacional. O parâmetro de Damodaran reflete a média de uma amostra global de 18 ferrovias, submetidas a diferentes marcos regulatórios, matrizes de carga e estruturas macroeconômicas. O Beta empírico, por sua vez, captura a dinâmica específica da Rumo S.A. no contexto brasileiro, fortemente influenciada pelo agronegócio e pela infraestrutura logística nacional. A evidência sugere, portanto, que

a adoção direta de médias setoriais globais, sem ajustes e validações regionais, pode introduzir distorções significativas na precificação do risco sistêmico local.

O estudo apresenta limitações inerentes ao seu desenho metodológico. A utilização do Ibovespa como proxy de mercado carrega o viés de concentração em commodities e instituições financeiras. Além disso, a adoção da dívida bruta para o cálculo da alavancagem e da alíquota marginal de 34% como premissa tributária simplificadora, embora necessárias para garantir a comparabilidade com o método de Damodaran, podem diferir da estrutura efetiva de capital da companhia. Por fim, a janela temporal de cinco anos com dados diários capta a volatilidade recente, mas pode apresentar ruídos de microestrutura de mercado não observados em frequências mais longas.

Para o aprofundamento da temática, sugerem-se pesquisas futuras que incorporem análises comparativas de betas estimados a partir de retornos semanais e mensais, visando testar a estabilidade do coeficiente e avaliar a sensibilidade do parâmetro à frequência de amostragem, limitação reconhecida no presente estudo, que se restringiu à frequência diária. Adicionalmente, recomenda-se a avaliação do impacto das divergências no K_e sobre o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) e, por consequência, sobre o Valor Presente Líquido (VPL) de projetos ferroviários reais no Brasil, tema com potencial de contribuição relevante para a modelagem econômico-financeira de projetos de infraestrutura de capital intensivo.

Conclui-se que os resultados obtidos sugerem que a utilização de parâmetros empíricos locais pode produzir estimativas mais aderentes ao risco observado no mercado brasileiro, quando disponíveis dados representativos e estatisticamente robustos. Embora a aplicação de parâmetros globais permaneça metodologicamente válida, a divergência observada neste estudo indica que referenciais internacionais podem não refletir integralmente as especificidades do setor ferroviário brasileiro. Dessa forma, a utilização combinada de evidências locais e referenciais globais pode contribuir para a construção de estimativas de custo de capital mais aderentes ao contexto analisado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

ASSAF NETO, Alexandre. **Valuation: métricas de valor e avaliação de empresas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

B3. **Cotações Históricas**. São Paulo: B3, 2026. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/mercado-a-vista/cotacoes-historicas/. Acesso em: 10 mar. 2026.

B3. **Estatísticas Históricas do Ibovespa**. São Paulo: B3, 2026. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/indice-ibovespa-ibovespa-estatisticas-historicas.htm. Acesso em: 15 jun. 2026.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. **Principles of corporate finance**. 12. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.

CENESIZOGLU, Tolga; REEVES, Jonathan J. CAPM, components of beta and the cross section of expected returns. **SSRN Electronic Journal**, 2013. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2131029. Acesso em: 5 jul. 2026.

DAMODARAN, Aswath. **Corporate Finance: Session 10 - Risk Estimation (Slides)**. New York University: Stern School of Business, 2022. Disponível em: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/podcasts/cfspr22/session10slides.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

DAMODARAN, Aswath. **Damodaran Online: betas by sector (emerging markets)**. New York University, jan. 2026. Disponível em: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Acesso em: 15 mar. 2026.

DAMODARAN, Aswath. **Data Breakdown**. New York University: Stern School of Business, 2026. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/databreakdown.html. Acesso em: 01 jun. 2026.

DAMODARAN, Aswath. **Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2012.

FAMA, Eugene F.; MacBETH, James D. Risk, return, and equilibrium: empirical tests. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 81, n. 3, 1973.

GRET. **Gretl: Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library**. Versão 2026. Disponível em: <https://gretl.sourceforge.net/>. Acesso em: 10 jun. 2026.

GROENEWOLD, Nicolaas; FRASER, Patricia. Forecasting beta: how well does the 'five-year rule of thumb' do? **Journal of Business Finance & Accounting**, Oxford, v. 27, n. 7-8, 2000.

HAMADA, Robert S. The effect of the firm's capital structure on the systematic risk of common stocks. **The Journal of Finance**, New York, v. 27, n. 2, 1972.

LINTNER, John. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 47, n. 1, 1965.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, New York, v. 7, n. 1, 1952.

MODIGLIANI, Franco; MILLER, Merton H. The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. **The American Economic Review**, Nashville, v. 48, n. 3, 1958.

MOSSIN, Jan. Equilibrium in a capital asset market. **Econometrica**, New Haven, v. 34, n. 4, 1966.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JAFFE, Jeffrey. **Administração financeira**. 10. ed. São Paulo: AMGH, 2013.

RUMO S.A. **Informações Financeiras: Dividendos**. Curitiba: Rumo S.A., 2026. Disponível em: <https://ri.rumolog.com/informacoes-financeiras/dividendos/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

SHARPE, William F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **The Journal of Finance**, New York, v. 19, n. 3, 1964.

VASCONCELLOS, Marco Antonio Sandoval de. **Economia: micro e macro**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

APÊNDICE A: COMPOSIÇÃO DA CARTEIRA DO IBOVESPA (29/06/2026)

A tabela a seguir apresenta a composição completa da carteira vigente do Índice Bovespa (Ibovespa) em 29 de junho de 2026, com destaque para a participação da Rumo S.A. (RAIL3). Os dados foram extraídos diretamente da plataforma de Mercado de Dados da B3.

Tabela A. 1-Composição individual da carteira do Ibovespa

Código (Ticker)	Empresa	Part. (%)	Part. (%) acumulada	Setor
VALE3	VALE	11,472%	11,472%	Mats Básicos / Mineração
ITUB4	ITAUNIBANCO	8,856%	20,328%	Financ e Outros / Interms Financs
PETR4	PETROBRAS	6,970%	27,298%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
AXIA3	AXIA ENERGIA	4,981%	32,279%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
PETR3	PETROBRAS	3,925%	36,204%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
BBDC4	BRADESCO	3,795%	39,999%	Financ e Outros / Interms Financs
SBSP3	SABESP	3,528%	43,527%	Utilidade Públ / Água Saneamento
ITSA4	ITAUSA	3,336%	46,863%	Financ e Outros / Holdings Divers
B3SA3	B3	3,095%	49,958%	Financeiro e Outros/Serviços Financeiros Diversos
ABEV3	AMBEV S/A	2,968%	52,926%	Cons N Cíclico / Bebidas
WEGE3	WEG	2,893%	55,819%	Bens Indls / Máqs e Equip
BPAC11	BTGP BANCO	2,711%	58,530%	Financ e Outros / Interms Financs
EMBJ3	EMBRAER	2,420%	60,950%	Bens Indls / Mat Transporte
BBAS3	BRASIL	2,400%	63,350%	Financ e Outros / Interms Financs
ENEV3	ENEVA	2,130%	65,480%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
EQTL3	EQUATORIAL	2,059%	67,539%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
CPLE3	COPEL	1,881%	69,420%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
RENT3	LOCALIZA	1,733%	71,153%	Diversos
PRI03	PRI0	1,675%	72,828%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
RDOR3	REDE D OR	1,573%	74,401%	Saúde/SM Hosp An.Diag
VBBR3	VIBRA	1,469%	75,870%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
UGPA3	ULTRAPAR	1,135%	77,005%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
GGBR4	GERDAU	1,118%	78,123%	Mats Básicos / Sid Metalurgia
SUZB3	SUZANO S.A.	1,020%	79,143%	Mats Básicos / Madeira e Papel
VIVT3	TELEF BRASIL	1,020%	80,163%	Telecomunicação
BBSE3	BBSEGURIDADE	1,002%	81,165%	Financ e Outros / Previd Seguros
BBDC3	BRADESCO	0,951%	82,116%	Financ e Outros / Interms Financs
RADL3	RAIADROGASIL	0,947%	83,063%	Saúde/Comércio Distr.
CSMG3	COPASA	0,898%	83,961%	Utilidade Públ / Água Saneamento

Código (Ticker)	Empresa	Part. (%)	Part. (%) acumulada	Setor
CMIG4	CEMIG	0,866%	84,827%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
TIMS3	TIM	0,734%	85,561%	Telecomunicação
RAIL3	RUMO S.A.	0,694%	86,255%	Bens Indls/Transporte
ENGI11	ENERGISA	0,643%	86,898%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
TOTS3	TOTVS	0,636%	87,534%	Tec.Informação/Programas Servs
LREN3	LOJAS RENNER	0,611%	88,145%	Consumo Cíclico / Comércio
MOTV3	MOTIVA SA	0,602%	88,747%	Bens Indls/Transporte
KLBN11	KLABIN S/A	0,567%	89,314%	Mats Básicos / Madeira e Papel
ALOS3	ALLOS	0,557%	89,871%	Financ e Outros / Explor Imóveis
MBRF3	MARFRIG	0,540%	90,411%	Cons N Básico / Alimentos Processados
EGIE3	ENGIE BRASIL	0,507%	90,918%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
ASAI3	ASSAI	0,491%	91,409%	Cons N Cíclico / Comércio Distr.
CXSE3	CAIXA SEGURI	0,489%	91,898%	Financ e Outros / Previd Seguros
ISAE4	ISA ENERGIA	0,487%	92,385%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
SMFT3	SMART FIT	0,449%	92,834%	Consumo Cíclico/Viagens e Lazer
MULT3	MULTIPLAN	0,397%	93,231%	Financ e Outros / Explor Imóveis
PSSA3	PORTO SEGURO	0,395%	93,626%	Financ e Outros / Previd Seguros
SANB11	SANTANDER BR	0,394%	94,020%	Financ e Outros / Interms Financs
BRAV3	BRAVA	0,369%	94,389%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
TAE11	TAESA	0,360%	94,749%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
CPFE3	CPFL ENERGIA	0,355%	95,104%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
CSAN3	COSAN	0,350%	95,454%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
GOAU4	GERDAU MET	0,328%	95,782%	Mats Básicos / Sid Metalurgia
CMIN3	CSNMINERACAO	0,291%	96,073%	Mats Básicos / Mineração
FLRY3	FLEURY	0,290%	96,363%	Saúde/SM Hosp An.Diag
HYPE3	HYPERA	0,285%	96,648%	Saúde/Comércio Distr.
NATU3	NATURA	0,278%	96,926%	Cons N Cíclico / Pr Pessoal Limp
CYRE3	CYRELA REALT	0,273%	97,199%	Consumo Cíclico/Constr Civil
CURY3	CURY S/A	0,235%	97,434%	Consumo Cíclico/Constr Civil
BRAP4	BRADESPAR	0,232%	97,666%	Mats Básicos / Mineração
IGTI11	IGUATEMI S.A	0,219%	97,885%	Financ e Outros / Explor Imóveis
DIRR3	DIRECIONAL	0,193%	98,078%	Consumo Cíclico/Constr Civil
COGN3	COGNA ON	0,183%	98,261%	Diversos
USIM5	USIMINAS	0,178%	98,439%	Mats Básicos / Sid Metalurgia
POMO4	MARCOPOLO	0,177%	98,616%	Bens Indls / Mat Transporte
AURE3	AUREN	0,152%	98,768%	Utilidade Públ / Energ Elétrica
CSNA3	SID NACIONAL	0,143%	98,911%	Mats Básicos / Sid Metalurgia

Código (Ticker)	Empresa	Part. (%)	Part. (%) acumulada	Setor
SLCE3	SLC AGRICOLA	0,121%	99,032%	Cons N Cíclico/Agropecuária
VIVA3	VIVARA S.A.	0,121%	99,153%	Consumo Cíclico / Tecid Vest Calç
HAPV3	HAPVIDA	0,115%	99,268%	Saúde/SM Hosp An.Diag
RECV3	PETRORECSA	0,114%	99,382%	Petróleo/ Gás e Biocombustíveis
YDUQ3	YDUQS PART	0,096%	99,478%	Diversos
CEAB3	CEA MODAS	0,094%	99,572%	Consumo Cíclico / Comércio
AZZA3	AZZAS 2154	0,086%	99,658%	Consumo Cíclico / Comércio
MRVE3	MRV	0,082%	99,740%	Consumo Cíclico/Constr Civil
BRKM5	BRASKEM	0,069%	99,809%	Mats Básicos / Químicos
MGLU3	MAGAZ LUIZA	0,069%	99,878%	Consumo Cíclico / Comércio
BEEF3	MINERVA	0,068%	99,946%	Cons N Básico / Alimentos Processados
VAMO3	VAMOS	0,054%	100,000%	Diversos

Fonte: B3 — Composição da Carteira do Ibovespa, 29 jun. 2026. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/indice-ibovespa-ibovespa-composicao-da-carteira.htm

Tabela A. 2-Participação por setor na carteira do Ibovespa

Setor	Empresas	Part. (%)	Part. (%) acumulada
Financ e Outros / Interms Financs	6	19,107%	19,107%
Petróleo/ Gás e Biocombustíveis	8	16,007%	35,114%
Utilidade Públ / Energ Elétrica	11	14,421%	49,535%
Mats Básicos / Mineração	3	11,995%	61,530%
Utilidade Públ / Água Saneamento	2	4,426%	65,956%
Financ e Outros / Holdings Divers	1	3,336%	69,292%
Financeiro e Outros/Serviços Financeiros Diversos	1	3,095%	72,387%
Cons N Cíclico / Bebidas	1	2,968%	75,355%
Bens Indls / Máqs e Equip	1	2,893%	78,248%
Bens Indls / Mat Transporte	2	2,597%	80,845%
Diversos	4	2,066%	82,911%
Saúde/SM Hosp An.Diag	3	1,978%	84,889%
Financ e Outros / Previd Seguros	3	1,886%	86,775%
Mats Básicos / Sid Metalurgia	4	1,767%	88,542%
Telecomunicação	2	1,754%	90,296%
Mats Básicos / Madeira e Papel	2	1,587%	91,883%
Bens Indls/Transporte	2	1,296%	93,179%
Saúde/Comércio Distr.	2	1,232%	94,411%

Setor	Empresas	Part. (%)	Part. (%) acumulada
Financ e Outros / Explor Imóveis	3	1,173%	95,584%
Consumo Cíclico / Comércio	4	0,860%	96,444%
Consumo Cíclico/Constr Civil	4	0,783%	97,227%
Tec.Informação/Programas Servs	1	0,636%	97,863%
Cons N Básico / Alimentos Processados	2	0,608%	98,471%
Cons N Cíclico / Comércio Distr.	1	0,491%	98,962%
Consumo Cíclico/Viagens e Lazer	1	0,449%	99,411%
Cons N Cíclico / Pr Pessoal Limp	1	0,278%	99,689%
Cons N Cíclico/Agropecuária	1	0,121%	99,810%
Consumo Cíclico / Tecid Vest Calç	1	0,121%	99,931%
Mats Básicos / Químicos	1	0,069%	100,000%

Fonte: B3 — Composição da Carteira do Ibovespa, 29 jun. 2026. Disponível em:

https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/indice-Ibovespa-Ibovespa-composicao-da-carteira.htm

APÊNDICE B: ROTINAS PYTHON PARA EXTRAÇÃO, TRATAMENTO E CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS

O processamento dos dados brutos da B3 foi realizado em três rotinas sequenciais desenvolvidas em Python 3, executadas no ambiente Google Colab com integração ao Google Drive. O pipeline cobre as etapas de extração, consolidação e auditoria das séries históricas, gerando como produto final a base consolidada que alimentou os cálculos de retornos logarítmicos e estimação do Beta realizados em planilha Excel. As três rotinas estão descritas a seguir.

B.1) Rotina 1: Extração da Série Histórica da RAIL3

Objetivo: extrair os registros diários de negociação da RAIL3 dos arquivos históricos anuais da B3 no formato COTAHIST e estruturá-los em planilha Excel.

```
# Montagem do Google Drive
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

import os
from glob import glob

pasta = "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/1. TCC_dados_B3_RAIL3"
arquivos = sorted(glob(os.path.join(pasta, "COTAHIST_A*.TXT")))

# Extração dos registros da RAIL3 por leitura posicional
linhas_RAIL3 = []

for arquivo in arquivos:
    with open(arquivo, "r", encoding="latin1") as f:
        for linha in f:
            if linha[:2] != "01":      # apenas registros de cotação
                continue

            ticker = linha[12:24].strip()

            if ticker == "RAIL3":

                linhas_RAIL3.append(linha.rstrip())
```

```

# Estruturação em DataFrame e exportação para Excel

import pandas as pd

dados = []

for linha in linhas_RAIL3:

    dados.append({

        "Data":    pd.to_datetime(linha[2:10], format="%Y%m%d"),

        "Ticker":  linha[12:24].strip(),

        "Empresa": linha[27:39].strip(),

        "Abertura": int(linha[56:69]) / 100,

        "Maxima":   int(linha[69:82]) / 100,

        "Minima":   int(linha[82:95]) / 100,

        "Media":    int(linha[95:108]) / 100,

        "Fechamento": int(linha[108:121]) / 100,

        "Negocios":  int(linha[147:152]),

        "Quantidade": int(linha[152:170]),

        "Volume":    int(linha[170:188]) / 100

    })

df = pd.DataFrame(dados)

df = df[df["Data"] <= "2026-03-31"]      # corte temporal do estudo

```

```
df = df.sort_values("Data").reset_index(drop=True)

df.to_excel(

    "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/1.
TCC_dados_B3_RAIL3/RAIL3_2017_2026.xlsx",

    index=False

)
```

Resultado: planilha RAIL3_2017_2026.xlsx com 2.295 registros diários da RAIL3, cobrindo o período integral de negociação disponível de 13/03/2017 a 31/03/2026. Para fins do presente estudo, foi considerada a janela de cinco anos compreendida entre 01/04/2021 e 31/03/2026, totalizando 1.246 pregões efetivos, conforme critério metodológico definido no item 3.1 deste trabalho.

B.2) Rotina 2: Consolidação da Série Histórica do Ibovespa

Objetivo: consolidar os arquivos CSV anuais de evolução diária do Ibovespa em uma série temporal única, com tratamento de formato e verificação de integridade.

```
import pandas as pd
import re
import os
from glob import glob

pasta = "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/2. TCC_dados_B3_IBOVESPA"
arquivos = sorted(glob(os.path.join(pasta, "Evolucao_Diaria_*.csv")))

meses = {
    "Jan": 1, "Fev": 2, "Mar": 3, "Abr": 4,
    "Mai": 5, "Jun": 6, "Jul": 7, "Ago": 8,
    "Set": 9, "Out": 10, "Nov": 11, "Dez": 12
}

dados = []
```

```

for arquivo in arquivos:
    ano = int(re.search(r"\d{4}", os.path.basename(arquivo)).group())
    df_temp = pd.read_csv(arquivo, sep=";", encoding="latin1",
                          skiprows=1, dtype=str)
    df_temp.columns = df_temp.columns.str.strip()

    for _, linha in df_temp.iterrows():
        dia = pd.to_numeric(linha["Dia"], errors="coerce")
        if pd.isna(dia):
            continue
        dia = int(dia)
        for mes_nome, mes_num in meses.items():
            fechamento = linha[mes_nome]
            if pd.isna(fechamento) or str(fechamento).strip() == "":
                continue
            fechamento = (str(fechamento).strip()
                           .replace(".", "").replace(",", "."))
            fechamento = pd.to_numeric(fechamento, errors="coerce")
            if pd.isna(fechamento):
                continue
            data = pd.to_datetime(
                f"{ano}-{mes_num:02d}-{dia:02d}", errors="coerce")
            if pd.isna(data):
                continue
            dados.append({"Data": data, "IBOVESPA": fechamento})

ibov = pd.DataFrame(dados)
ibov["Data"] = pd.to_datetime(ibov["Data"])
ibov = ibov[ibov["Data"] <= "2026-03-31"]
ibov = ibov.sort_values("Data").reset_index(drop=True)

# Auditoria de integridade
print(f"Registros consolidados: {len(ibov)}")
print(f"Valores nulos: {ibov.isnull().sum().sum()}")
print(f"Duplicidades: {ibov.duplicated().sum()}")

```

```
ibov.to_excel(
    "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/2.
TCC_dados_B3_IBOVESPA/IBOVESPA_2016_2026.xlsx",
    index=False
)
```

Resultado: planilha IBOVESPA_2016_2026.xlsx com 2.544 registros diários do Ibovespa, cobrindo o período integral disponível de 04/01/2016 a 31/03/2026. Para fins do presente estudo, foi considerada a janela de cinco anos compreendida entre 01/04/2021 e 31/03/2026, em alinhamento com o critério metodológico aplicado à série da RAIL3. A auditoria confirmou ausência de valores nulos e de registros duplicados.

B.3) Rotina 3: Cruzamento e Auditoria da Base Consolidada

Objetivo: cruzar as séries da RAIL3 e do Ibovespa por data de pregão, reter apenas os dias em que ambos os ativos possuem registro simultâneo (inner join), e auditar a integridade da base resultante.

```
import pandas as pd

rail = pd.read_excel(
    "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/1.
TCC_dados_B3_RAIL3/RAIL3_2017_2026.xlsx"
)
ibov = pd.read_excel(
    "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/2.
TCC_dados_B3_IBOVESPA/IBOVESPA_2016_2026.xlsx"
)

rail["Data"] = pd.to_datetime(rail["Data"])
ibov["Data"] = pd.to_datetime(ibov["Data"])

# Cruzamento por data (inner join)
base_beta = pd.merge(rail, ibov, on="Data", how="inner")
base_beta = base_beta.sort_values("Data").reset_index(drop=True)
```

```

# Seleção das colunas relevantes
base_beta = base_beta[["Data", "Fechamento", "IBOVESPA"]].copy()
base_beta = base_beta.rename(columns={
    "Fechamento": "Fechamento_RAIL3",
    "IBOVESPA": "Fechamento_IBOV"
})

# Auditoria de integridade
print(f"Pregões na base consolidada: {len(base_beta)}")
print(f"Valores nulos: \n{base_beta.isnull().sum()}")
print(f"Duplicidades: {base_beta.duplicated().sum()}")
print(f"Período: {base_beta['Data'].min()} a {base_beta['Data'].max()}")

# Exportação
base_beta.to_csv(
    "/content/drive/MyDrive/TCC_Dalmo_UFG/3.
TCC_dados_B3_BETA_RAIL3/base_beta_RAIL3.csv",
    index=False, sep=";"
)

```

Resultado: arquivo base_beta_RAIL3.csv com 2.248 pregões (13/03/2017 a 31/03/2026), sem valores nulos e sem duplicidades. A auditoria confirmou a unicidade de todas as datas de pregão. Essa base foi importada para planilha Excel, onde foram calculados os retornos logarítmicos diários pela Equação (5) e estimado o Beta pela Equação (6), conforme descrito no item 3.2 deste trabalho.