

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS – ESAN
CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

FLAVIO ALVES DA SILVA

**Análise de uma Carteira de Ativos de Renda Variável: Uma
Aplicação *Capital Assets Pricing Model* - CAPM**

Campo Grande – MS

2025

FLAVIO ALVES DA SILVA

**Análise de uma Carteira de Ativos de Renda Variável: Uma
Aplicação *Capital Assets Pricing Model* - CAPM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Escola de Administração e Negócios da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Matheus Wemerson
Gomes Pereira.

Campo Grande – MS

2025

FLAVIO ALVES DA SILVA

Análise de uma Carteira de Ativos de Renda Variável: Uma Aplicação *Capital Assets Pricing Model* - CAPM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Escola de Administração e Negócios da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, sob a orientação do Prof. Drº Matheus Wemerson Gomes Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 24/fevereiro/2025 pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros.

BANCA EXAMINADORA

Matheus Wemerson Gomes Pereira

Profº Drº

Orientador/ESAN/UFMS

Wladimir Machado Teixeira

Profº Drº

Examinador/ ESAN/UFMS

Odirlei Fernando Dal Moro

Profº Drº

Examinador/ ESAN/UFMS

Campo Grande, MS, 24 de fevereiro de 2025.

SILVA, F.A. **Análise de uma Carteira de Ativos de Renda Variável: Uma Aplicação *Capital Assets Pricing Model - CAPM***. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciências Econômicas). ESAN – Escola de Administração e Negócios, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande -MS, 2025.

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo através de dados e análises estatísticas analisar uma carteira de ativos de renda variável listada na Bolsa de Valores brasileira B3 para o período de novembro de 2019 a novembro de 2024 tendo como base a Teoria Moderna do Portfólio utilizando o *Capital Assets Pricing Model – CAPM*. Para alcançar tal objetivo foi utilizado os dados históricos dos 10 ativos com maior valor de mercado (*market cap*) listados na bolsa de valores brasileira B3. Esse modelo que analisa a relação risco-retorno, é amplamente utilizado na academia e no mercado financeiro para estimar o retorno de ativos de renda variável.

Através dos resultados, constatou-se que o peso do risco sistemático no risco total variou entre 28% e 64%, demonstrando que o beta do mercado não é suficiente para descrever o risco de todos os ativos, indicando influência de fatores não observados (riscos específicos).

Palavras-Chave: Teoria Moderna do Portfólio; CAPM; renda variável; risco-retorno.

ABSTRACT

The present study aims to analyze, through data and statistical analysis, a portfolio of variable income assets listed on the Brazilian Stock Exchange B3 for the period from November 2019 to November 2024, based on the Modern Portfolio Theory using the Capital Assets Pricing Model – CAPM. To achieve this objective, historical data from the 10 assets with the highest market value (market cap) listed on the Brazilian Stock Exchange B3 were used. This model, which analyzes the risk-return relationship, is widely used in academia and in the financial market to estimate the return on variable income assets.

Through the results, it was found that the weight of systematic risk in the total risk varied between 28% and 64%, demonstrating that the market beta is not sufficient to describe the risk of all assets, indicating the influence of unobserved factors (specific risks).

Key-words: Modern Portfolio Theory; CAPM; variable income; risk-return.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos sobre o CAPM no Brasil aplicados em <i>Portfólio</i>	28
Quadro 2 - Trabalhos sobre o CAPM no Brasil aplicados em ativos individuais.	29
Quadro 3 - Médias, Desvio Padrão, Coeficientes alfa, beta e R ²	45
Quadro 4 - Estatísticas de teste para os coeficientes alfa e beta	46
Quadro 5 - Classificação dos ativos quanto ao nível sistemático (valor de β).	47
Quadro 6 - Somas dos quadrados das diferenças entre retornos reais e esperados usando o CAPM.....	49
Quadro 7 - Divisão dos ativos em super ou subavaliados em relação à SML.	52
Quadro 8 - Estatísticas de teste para os coeficientes alfa e beta da carteira ótima	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Modelo teórico da fronteira eficiente e da taxa livre de risco	20
Gráfico 2	Risco Não Diversificável vs Nº de Ativos	22
Gráfico 3	Diversificação de Risco.....	25
Gráfico 4	Fronteira Eficiente.....	26
Gráfico 5	Evolução dos retornos semanais do Ibovespa (2019-2024)	43
Gráfico 6	Valor acumulado de um investimento inicial de R\$ 100 no Ibovespa (2019-24).....	44
Gráfico 7	Valores de beta para os ativos	47
Gráfico 8	Composição do risco total em risco sistemático e risco não sistemático	48
Gráfico 9	Dispersão dos ativos em beta x diferenças entre retornos reais e esperados.....	50
Gráfico 10	Security Market Line entre o ativo livre de risco e IBOV	51
Gráfico 11	Alfas de Jensen para os ativos selecionados	53
Gráfico 12	Índices de Sharpe para os ativos selecionados.....	54
Gráfico 13	Composição da carteira ótima de risco	55
Gráfico 14	Composição da carteira ótima de risco	56

LISTA DE SIGLAS

Ambev S.A – Companhia de Bebidas das Américas Sociedade Anônima

B3 S.A – Bolsa de Valores Brasil, Bolsa, Balcão Sociedade Anônima

Banco Bradesco S.A – Bradesco Sociedade Anônima

Banco BTG Pactual S.A – Banking and Trading Group Pactual Sociedade Anônima

Banco do Brasil S.A – Banco do Brasil Sociedade Anônima

Banco Santander (Brasil) S.A – Banco Santander Sociedade Anônima

CAPM – *Capital Asset Pricing Model*

CDI – Certificado de Depósito Interbancário

IBOV – Índice Bovespa

IS – Índice de Sharpe

ISE – Índice de Sustentabilidade Empresarial

Itaú Unibanco Holding S.A – Itaú Unibanco Holding Sociedade Anônima

Itaúsa S.A – Itaúsa Sociedade Anônima

Petróleo Brasileiro S.A. – Petróleo Brasileiro Sociedade Anônima

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

SML – *Security Market Line*

Vale S.A – Companhia Vale do Rio Doce Sociedade Anônima

WEG S.A – Weg Equipamentos Elétricos Sociedade Anônima

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Santíssima Trindade Excelsa: Deus Pai O Todo Poderoso, Filho e Espírito Santo por ter me dado vida e saúde para lutar.

Aos meus pais Enedino Antonio (*in memorian*) e Iracema Alves, cujo apoio incondicional, amor, confiança e persistência em todos os momentos difíceis de minha trajetória foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Aos meus professores da Escola de Administração e Negócios da UFMS pela dedicação, esforço e otimismo em compartilhar conhecimento.

Aos meus amigos de graduação pelo companheirismo, compreensão e trocas de ideias.

Eterna Gratidão.

"Seja valente, meu coração! (...)

Mantenha o seu território!

Na vitória, não se vanglorie;
na derrota, não caia em prantos!"

Arquíloco, poeta grego

Será grande a Dignidade do guerreiro: Humildade na vitória
e Fortaleza na derrota. E paz de espírito. Porque se ele
deu o seu melhor, se travou a boa batalha, ele está em paz
consigo mesmo. Feliz, vivo ou morto!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVO GERAL.....	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 MODELO CAPM.....	17
2.2 TAXA LIVRE DE RISCO NO BRASIL.....	20
2.3 RISCO	21
2.3.1 Risco total.....	22
2.3.2 Indicadores de risco.....	23
2.4 O RETORNO DE MERCADO.....	24
2.4.1 A Relação Risco e Retorno de um ativo	25
2.5 FRONTEIRA EFICIENTE	26
2.6 ESTUDOS SOBRE O CAPM NO BRASIL.....	27
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 APLICAÇÃO DO MODELO DE PRECIFICAÇÃO DE ATIVOS DE CAPITAL (CAPM)	30
3.2 A TAXA LIVRE DE RISCO (CDI).....	32
3.3 O ÍNDICE IBOVESPA.....	32
3.4 O PROCESSO METODOLÓGICO	34
3.4.1 Base de dados.....	34
3.4.2 Estimação e Comparação dos Betas dos Ativos	34
3.4.3 Caracterização das Empresas Seleccionadas	35
3.5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO.....	38
4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	42
4.1 COMPORTAMENTO DO ÍNDICE IBOVESPA.....	42
4.2 AVALIAÇÃO DOS ATIVOS INDIVIDUAIS	45
4.2.1 Avaliação da Adequação dos Modelos de Regressão Linear Simples .	45
4.2.2. Avaliação da Capacidade Preditiva do Parâmetro Beta Estimado	49

4.2.3. Construção da Security Market Line (SML).....	50
4.2.4. Avaliação e Seleção de Ativos	53
4.2.5. Avaliação do CAPM aplicado para uma Carteira	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
7. ANEXOS	61

1. INTRODUÇÃO

Investir no mercado financeiro e de capitais implica em assumir riscos, e para diminuir os riscos associados o investidor diversifica seus investimentos em diferentes ativos ou setores ao formar seu portfólio. Para tornar uma carteira de investimentos eficiente, a relação risco-retorno pode ser avaliada por meio do Modelo de Precificação de Ativos, que é um método utilizado para analisar essa relação esperada para um investimento indicado através de seu coeficiente beta.

Investir no mercado financeiro tem exigido cada vez mais atenção por parte do investidor, uma vez que as alternativas de investimentos são diversas com diferentes prazos, liquidez, risco e retorno.

De maneira geral, todo investidor busca a máxima eficiência de seus recursos ou em outras palavras o máximo retorno esperado de seu capital investido para o risco que ele está disposto a aceitar dado seu patrimônio líquido, ou o menor risco possível para um dado retorno que ele espera receber.

Nesse sentido, modelos de precificação de ativos é um dos tópicos mais discutidos e analisados na área financeira. Em finanças corporativas por exemplo, através da determinação da taxa de retorno, permite analisar a viabilidade de um projeto de investimento na tomada de decisão, auxiliando na determinação do custo médio ponderado de capital da empresa, ajuda na determinação da estrutura ideal de capital, cujo objetivo maximizar a riqueza dos acionistas e minimizar os custos de financiamento, pois considerando um mercado globalizado onde as empresas competem internacionalmente é de suma importância trabalhar com estruturas de capital. Além disso, é amplamente utilizado por analistas e gestores financeiros na alocação de recursos.

Para Ross, Westerfield e Jaffe (2002), o modelo de precificação de ativos de capital representa um dos avanços mais relevantes na teoria das finanças, sendo largamente útil para fins de investimentos, uma vez que mostra como o retorno esperado de um ativo está relacionado ao seu risco sistemático.

Ferreira (2012) destaca que a globalização financeira ocorrida na década de 1990, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, promoveu a elevação do volume e da velocidade de circulação de capitais e maior integração financeira, no entanto acabou por provocar maior instabilidade

econômica mundial, despertando o interesse de investigações quanto ao grau de exposição dos países.

No ato da negociação de compra ou venda de um ativo é de fundamental importância saber se o preço está adequado para o mercado, se está subvalorizado ou sobrevalorizado. Logo, a expansão e o fortalecimento do mercado financeiro e de capitais estão sujeitos à implementação de mecanismos que possibilitem a confiabilidade e transparência nas divulgações dos resultados financeiros, pois a informação do funcionamento e resultados apresentados está associada à eficiência de mercado. Segundo Reilly (1994), um mercado de capitais pode ser considerado eficiente quando o preço das ações negociadas se ajusta rapidamente em função da divulgação de novas informações e, conseqüentemente, seu preço reflete toda a informação relevante.

A transparência e a divulgação de informações relevantes, confiáveis e detalhadas, permitem o conhecimento da organização, de sua política de investimentos, seus objetivos organizacionais e estratégicos e, além disso, também é um direito do investidor para orientar suas expectativas futuras sobre o mercado em relação a área de atuação da empresa.

Sendo assim, esse conjunto de informações disponíveis ao mercado faz com que os gestores acompanhem a movimentação, uma vez que as empresas serão influenciadas pelos riscos que fogem de seu controle, pois a flutuação de preços provoca efeitos que desestabilizam as estratégias, levando os gestores a gerir os riscos de suas carteiras e reposicionando suas estratégias de investimentos. Adicionalmente, diante das incertezas que influenciam as variações no mercado financeiro e levando em consideração o objetivo de maximizar riqueza, utilizam-se técnicas que ajudam no planejamento e previsão de risco e retorno futuros.

Nesse sentido, uma das técnicas mais utilizadas para calcular risco e retorno é o *Capital Assets Pricing Model – CAPM* ou Modelo de Precificação de Ativos de Capital, desenvolvido por Harry Markowitz e que posteriormente viria a ser conhecido como a Teoria Moderna do Portfólio.

Considerado o marco temporal o trabalho realizado por Markowitz (1952), aprofundado por Tobin (1958) e observado nos estudos de Jack Treynor (1962), Sharpe (1964) com a colaboração de Lintner (1965) e Mossin (1966) desenvolveram o *Capital Assets Pricing Model - CAPM* que relaciona o risco e o

retorno de um ativo, tornou-se o principal e mais importante modelo na relação risco e retorno, o que rendeu a William Sharpe o Prêmio Nobel de Economia em 1990, dividindo-o com o Howard Miller e Harry Max Markowitz. Na abordagem quantitativa, para mensurar o risco, surgiu com os trabalhos de Markowitz (1952) na otimização de carteiras, em seguida, Sharpe (1964) e Lintner (1965) na abordagem teórica buscando o equilíbrio entre o risco e o retorno.

Portanto, de acordo com esta literatura, o Modelo CAPM possibilita ao investidor mensurar o retorno mínimo exigido ao alocar recursos num ativo de risco. Com a finalidade de obter este retorno na aplicação, tal modelo estabelece essa relação entre risco e retorno, levando em consideração as seguintes variáveis na mensuração: a) o retorno sobre o investimento livre de risco; b) o retorno de mercado; c) o risco sistemático, que é medido pelo coeficiente beta.

Este coeficiente beta tem por objetivo medir a variabilidade de um ativo em relação a carteira hipotética, representando o mercado. Dessa forma, quanto maior o beta, maior o risco relacionado à operação e, por conseguinte, maior deverá ser o retorno esperado.

Dessa maneira, este trabalho pretende discutir e aplicar o Modelo CAPM, mensurando risco e retorno para ativos de renda variável listados na bolsa brasileira, sendo dividido em 6 partes. A primeira parte corresponde a essa Introdução, apresentando a Justificativa, o Objetivo Geral e os Objetivos específicos. A segunda parte apresenta o Referencial Teórico, o qual aborda a teoria de Markowitz, as hipóteses que fundamentam do Modelo e as definições das variáveis. Na terceira parte a Metodologia, a fórmula e os dados utilizados na pesquisa. Já a quarta parte traz os Resultados obtidos na aplicação do Modelo CAPM. Por fim, a quinta parte diz respeito às Considerações Finais e a sexta parte do trabalho encerra com as Referências Bibliográficas.

1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Para Markowitz o principal instrumento para reduzir o risco de um portfólio de investimento é a diversificação de ativos, pois o investidor considera dois fatores fundamentais ao realizar seus investimentos: o risco e o retorno da aplicação. Na formação de um portfólio com menor risco, o investidor aceita menor retorno e menor flutuação no montante aplicado. Portanto, para mensurar a eficiência de uma carteira de investimento é aplicado o binômio risco e retorno.

Então, o investidor somente aceitará maior risco se a aplicação oferecer maior retorno. Segundo Markowitz, dado dois ativos quaisquer com retorno semelhante e risco diferente, o investidor escolherá o ativo de menor risco.

Para Markowitz, os investidores são seres que tem aversão ao risco, escolhendo sempre pelo maior retorno e menor risco, pois caso aceitem uma maior variância (ou seja, um maior risco) na sua carteira de investimentos, então exigirá maior retorno esperado.

Nesse sentido, insere-se este estudo que tem por objetivo responder o seguinte problema de pesquisa: Qual o risco e o retorno esperado utilizando o Modelo CAPM para ativos de renda variável da bolsa de valores brasileira, no período de novembro de 2019 a novembro de 2024?

1.2. JUSTIFICATIVA

No que diz respeito ao mercado financeiro e de capitais, o mercado de ações brasileiro tem apresentado crescimento e pesquisas sobre valores mobiliários, investimentos, diversificação de investimentos também evoluíram e, com isso, o volume das negociações aumentou consideravelmente, uma vez que os investidores têm interesse em alternativas para minimizar o risco de seus investimentos. Sendo assim, os preços dos ativos de renda variável têm sofrido diversas modificações, como por exemplo a implementação de sistemas eletrônicos dando dinamismo nas negociações. Tais mudanças e com maior dinamismo, permite aumento de liquidez e capacidade para cumprir com sua função básica, o qual os investidores buscam no mercado financeiro, a manutenção da liquidez dos recursos transacionados associado com a maximização do retorno para seus ativos.

Particularmente, a partir dos anos de 2020 tornou-se ruim para a bolsa brasileira, enfrentando dificuldades devido à pandemia do Coronavírus, que gerou instabilidade sanitária e econômica, cuja influência no mercado de capitais brasileiro se estendeu até 2022. Conforme Lira e Almeida (2020) esse cenário refletiu no mercado de ações no mundo todo. Rocca (2008) destaca que acontecimentos aleatórios ou inesperados, sejam internos ou externos, provocam oscilações e instabilidades e esses fatores de incertezas devem ser analisados por gestores, investidores e todos os participantes do mercado financeiro.

Diante de tais incertezas, aumentou o resgate das aplicações e diminuíram as aplicações e a volatilidade disparou e, além disso, outros fatores também contribuíram negativamente para investimentos em renda variável, uma vez que o momento era de risco. Com o mercado instável e o índice Ibovespa apresentando quedas significativas e sem horizonte de recuperação, os gestores tiveram de readequar suas estratégias de posicionamento.

Dessa maneira, a relevância deste trabalho está por meio da aplicação do CAPM avaliar a performance dos 10 ativos de maior participação da bolsa brasileira no período de 2020 a 2024, calcular e analisar o risco e o retorno e contribuir com a teoria do Modelo de Markowitz.

1.3. OBJETIVO GERAL

Segundo Gresler (2004, p. 112): “O objetivo é a diretriz, o elemento que dá a direção ao trabalho. O objetivo do trabalho deve refletir sua finalidade, ou seja, o que se pretende alcançar com sua realização”.

Para Vergara (2006, p.25); “os objetivos intermediários são metas cujo atingimento depende do alcance do objetivo final”.

O trabalho proposto tem como objetivo central apresentar uma aplicação prática do Modelo de Precificação de Ativos de Capital – CAPM tradicional, desenvolvido por Markowitz (1952).

Nesse sentido, o objetivo geral do presente estudo é calcular o risco e o retorno dos ativos de renda variável da bolsa de valores brasileira.

Para alcançar tal intuito foram selecionados os 10 ativos com maior valor de mercado listado na bolsa de valores brasileira B3, sendo o período de estudo de novembro de 2019 a novembro de 2024. Este período se justifica pela instabilidade apresentada na bolsa pós-pandemia que afetou o mercado financeiro de todos os países, inclusive as ações brasileiras, cujo mercado também é caracterizado como emergente, instável e de juros altos.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O estudo está fundamentado no Modelo CAPM, sendo assim, têm-se como objetivos específicos:

- a) Aplicar a teoria do portfólio na carteira para o período 2019 a 2024;
- b) Calcular e analisar o risco e o retorno dos ativos;

- c) Encontrar a carteira ótima;
- d) Encontrar a linha SML da relação risco e retorno esperado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MODELO CAPM

De acordo com Young e O'Byrne (2003), o Modelo CAPM foi desenvolvido por Sharpe (1964) e Litner (1965). Tal Modelo, assenta-se nas premissas das teorias da utilidade e na hipótese da eficiência de mercado (COSTA JR, MENEZES e LEMGRUBER, 1993), e considerava que numa situação de equilíbrio, a expectativa de retorno de um ativo seria igual ao retorno de um ativo livre de risco, somado ao prêmio pelo risco assumido, resultado da diferença entre o retorno da carteira de mercado e ativo livre de risco, ponderado pelo beta (BRUNI, 1998).

O Modelo CAPM ou coeficiente de custo de capital próprio resulta da soma da taxa de retorno dos títulos sem risco e da taxa de risco sistemático (beta), multiplicada pela taxa de prêmio relativa ao risco de mercado (CATAPAN; HEIDEMAN, 2002).

A importância da análise do Modelo CAPM está associada ao processo de avaliação de tomada de decisão em condição de risco. O modelo CAPM tradicional ou conhecido também como estático mostra que existe uma relação linear entre risco e retorno de uma ação, onde os investidores sempre buscarão formar uma carteira que tenha a melhor relação entre risco e retorno, já que esses são indivíduos que procuram maximizar a utilidade esperada da sua riqueza. (ASSAF NETO, ARAÚJO; LIMA, 2008).

Para Sharpe (1964) mercado eficiente é aquele mercado em que o preço de cada ativo é sempre igual ao seu custo de investimento. Já BREALEY e MYERS (1995) são mercados em que os participantes formam expectativas em relação aos preços, baseado nas informações disponíveis sobre eventos que podem influenciar os preços do ativo.

É importante destacar:

o conceito de eficiência de mercado não implica a permanente presença de preços perfeitos dos diversos ativos transacionados (preços exatamente iguais a seus valores reais). A exigência desses mercados é de que os preços não sejam tendenciosos, ou seja, formados de acordo com alguma intenção e interesses individuais" (ASSAF NETO, 1999, P. 227).

O Modelo parte da premissa que a variância dos retornos é utilizada como medida de risco e que para ativos com retornos diferentes, porém com riscos iguais, o investidor escolherá o ativo com maior retorno (DAMODARAN, 1999).

Conforme a teoria das finanças o risco pode ser mensurado em duas partes: risco diversificável (não sistêmico) e não diversificável (sistêmico). O risco diversificável ou não sistêmico é inerente à empresa, está relacionado ao risco individual do ativo e pode ser eliminado através da diversificação da carteira de investimentos. O outro risco, o não diversificável, sistêmico, sistemático ou ainda risco de mercado, está relacionado a fatores ou eventos externos, de grande magnitude, de forma que não pode ser eliminado com a diversificação da carteira de investimentos (DAMODARAN, 1999).

De acordo com Ramos (2012) a redução ou a pouca realização de negócios podem aumentar o risco da empresa. Silva (2007, p. 7), declara que: “todo investimento é uma fonte intrínseca de risco”. (CAPELLETO; CORRAR, 2008, p.8) destaca que:

No mercado internacional, os países apresentam oportunidades de investimento com risco e retorno divergentes. As diferenças residem na percepção da qualidade do arcabouço econômico e na solidez financeira de cada país.

Nesse sentido, para reduzir as incertezas de um investimento utilizamos o coeficiente beta, uma vez que este índice mensura o risco sistemático de um ativo individual e também o risco de carteira com vários ativos, de modo a representar o grau de influência das mudanças globais que ocorrem no mercado (SANTOS; FONTES, 2010).

Na moderna teoria das finanças, o risco não diversificável ou sistêmico, representado pelo coeficiente beta, pode ser demonstrado matematicamente pela razão entre a covariância dos retornos dos ativos em comparação com o retorno de mercado e a variância dos retornos dos ativos. Quanto à sua interpretação, ativos com beta igual a 1 são classificados como moderados, ou seja, o risco é igual ao mercado, beta superior a 1 (>1) são ativos agressivos e inferiores a 1 (<1) são caracterizados como ativos conservadores (MOTTA E CALÔBA, 2002).

Para o desenvolvimento do modelo, Copeland e Weston (1988, p. 194) e Bodie, Kane e Marcus (2004) destacam as premissas que fundamentam o Modelo CAPM:

- a) Os investidores são indivíduos avessos a risco e maximizam a utilidade esperada de sua riqueza a cada fim de período;

- b) Os investidores são tomadores de preço e têm expectativas homogêneas sobre os retornos dos ativos, os quais assumem distribuição normal;
- c) Existe um ativo livre de risco que os investidores podem tomar emprestado ou emprestar quantias ilimitadas à taxa livre de risco;
- d) As quantidades de ativos são fixas. Além disso, todos os ativos são negociáveis e perfeitamente divisíveis;
- e) Os mercados de ativos são sem conflitos entre os agentes e as informações não têm custo e estão disponíveis de forma idêntica para todos os investidores. Nenhum investidor apresenta acesso privilegiado às informações;
- f) Não existem imperfeições de mercado, tais como impostos, regulamentações ou restrições sobre a venda a descoberto, isto é, não possui custos de transação.

O retorno esperado deve estar relacionado positivamente com seu risco (Ross, Westerfield e Jaffe, 2007). E a relação entre retorno e seu beta (risco) define o Modelo CAPM, representado pela fórmula (ELTON, 2012):

$$R_i = R_f + \beta_i (R_m - R_f)$$

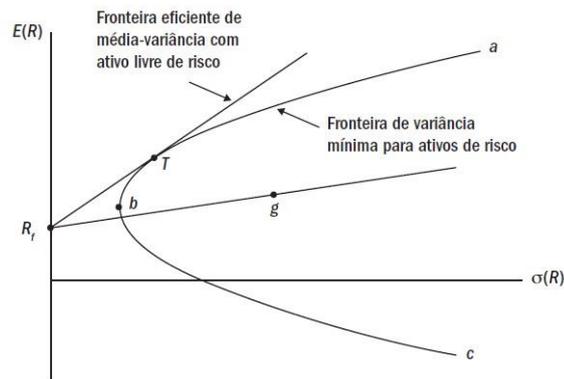
Onde:

R_i = retorno esperado de um ativo;

R_f = taxa livre de risco;

β_i = coeficiente beta sendo a medida do risco sistemático do ativo;

$(R_m - R_f)$ = diferença entre o retorno esperado de mercado e a taxa livre de risco.

Gráfico 1 - Modelo teórico da fronteira eficiente e da taxa livre de risco

Fonte: Fama e French (1993), traduzido para o português

Graficamente é representado como no gráfico 1, onde o eixo X é percentual de risco e o eixo Y é o retorno esperado. A curva representa a fronteira eficiente e o ponto R_f , no eixo Y, é o valor da taxa livre de risco, no ponto 'T' é onde a curva da fronteira eficiente tangencia a linha do ativo livre de risco, esse ponto é a carteira de melhor risco-retorno.

O beta é calculado da seguinte maneira:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Segundo Motta; Calôba (2002) o numerador corresponde à covariância entre o retorno do ativo e a carteira de mercado, e o denominador a variância dos retornos que a carteira de mercado apresentou. Estabelece uma associação em relação à movimentação de alta ou baixa do mercado, podem-se visualizar valores conforme a lógica que apresenta. Se o valor for positivo, significa que acompanha o fluxo, se negativo, é porque está em direção contrária. Ou seja, quanto maior o beta, maior o risco de mercado. Esta é formada por ativos negociados na economia. Conforme Assaf Neto; Lima (2009, p. 476):

[...] admite-se que a carteira de mercado seja constituída pelo índice da bolsa de valores. Por exemplo, a carteira de mercado no Brasil é representada pelo índice Bovespa [...]. A carteira de mercado é considerada a de menor risco. Por ser bastante diversificada, parte de seu risco foi eliminada pela diversificação (risco diversificável), permanecendo, contudo, o risco sistemático.

A carteira de mercado possui somente o risco sistemático e isso faz com que torne parâmetro para mensurar e analisar o beta de um ativo de risco.

Portanto, as variáveis a serem identificadas no Modelo CAPM são o retorno esperado, a taxa livre de risco e o beta.

2.2. TAXA LIVRE DE RISCO NO BRASIL

Tobin (1958) sugeriu a taxa livre de risco a ser incluída na composição da carteira (portfólio) eficiente de investimento. As carteiras formadas pelos investidores combinam um ativo livre de risco com um outro ativo com risco.

Segundo Assaf Neto, Lima e Araújo (2007, p. 76) a taxa livre de risco precisa expressar o cumprimento das obrigações de pagamento, do principal, dos encargos, por parte do devedor, com seus respectivos vencimentos.

Uma mensuração de taxa livre de risco geralmente adotada nos modelos de avaliação são os juros pagos pelos títulos de emissão pública. Deve ser acrescentado, no entanto, que nem todo título público pode ser considerado sem risco, determinando assim um problema em definir-se a taxa livre de risco em algumas economias, principalmente nas economias classificadas como emergentes. [...] A taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic) é a taxa de juro formada nas negociações com títulos públicos no Brasil e considerada como sem risco.

No Brasil, alguns autores propõem como proxy da taxa livre de risco os retornos da Caderneta de Poupança, os Certificados de Depósitos Interbancários (CDI) e a Taxa Selic, sendo este o mais utilizado (Silveira, 2010). No entanto, a taxa Selic possui limitações, uma vez que apresenta significativa variação histórica (Assaf Neto, 2008).

2.3. RISCO

Na avaliação de qualquer ativo, faz-se necessário compreender e mensurar os riscos envolvidos na operação financeira. Para Gitman (2004), risco é a possibilidade de perda financeira. E define risco (2010, p. 203) como “a variabilidade dos retornos associados a um dado ativo, ou seja, a chance de perda financeira”. Já para Norton e Reily (2008) risco é a chance de não atingir metas e o investimento em razão da incerteza do retorno no tempo. Ou seja, o risco surge da volatilidade esperada dos retornos dos ativos no tempo.

Para Assaf Neto (2008, p. 232):

O risco de uma carteira depende não somente do risco de cada elemento que a compõem e de sua participação no investimento total, mas também, da forma como seus componentes se relacionam (covariam) entre si. Relacionando-se ativos com baixa correlação (ou covariância inversa) é possível reduzir o risco total da carteira.

Assim, ativos considerados mais arriscados são aqueles que oferecem maiores probabilidades de perda financeira. Portanto, quanto mais ativos numa carteira maior será a diversificação, o que torna possível diminuir os riscos associados.

Assaf Neto (2012, p. 224) ressalta no que consiste a diversificação do risco:

Por meio do conceito da diversificação, é possível esperar que ativos com risco possam ser combinados no contexto de uma carteira (portfólio) de forma que se apure um risco menor que aquele calculado para cada um de seus componentes. Desde que os retornos dos ativos não sejam perfeita e positivamente correlacionados entre si, há sempre redução do risco da carteira pela diversificação. ”

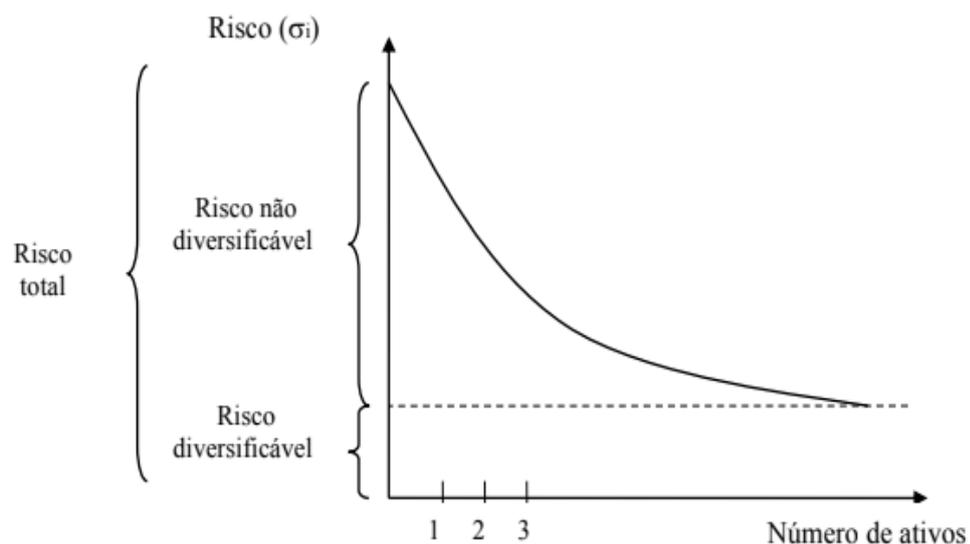
Os indicadores de risco mais utilizados são o coeficiente de variação, o beta e o desvio padrão, tendo como base os retornos históricos num determinado período de tempo.

2.3.1. Risco total

O risco total pode ser definido com a soma do risco sistemático com o risco não sistemático.

$$\text{Risco total} = \text{risco sistemático} + \text{risco não sistemático}$$

Gráfico 2 – Risco Não Diversificável vs N° de Ativos



Fonte: Damodaran (1997).

Risco sistemático: também chamado de risco não diversificado, é resultado de eventos inesperados que afetam os ativos, são decorrentes de fatores externos como por exemplo o cenário macroeconômico, catástrofes, crises pandêmicas como a pandemia, crises financeiras como a do subprime em 2008 nos Estados Unidos. Leite (1994) aponta que este risco tem origem nas flutuações a que está sujeito o sistema econômico, tendo como principais variáveis as taxas de juros, a taxa de inflação, instabilidade política e o comportamento do mercado financeiro e de capitais. O risco sistemático não pode ser eliminado por meio da diversificação dos ativos numa carteira de investimentos. Este risco é medido pelo coeficiente beta.

Risco não sistemático: este pode ser reduzido por meio da diversificação dos ativos ao compor uma carteira de investimentos, pois este risco está relacionado à empresa, ao risco individual do ativo.

2.3.2. Indicadores de risco

Beta: conforme Sharpe, Alexander e Bailey (1995), Tomazoni e Menezes (2002) o beta mensura a volatilidade dos retornos dos ativos relativamente ao retorno da carteira de investimento de mercado, considerado uma métrica do risco sistemático. É por meio desse indicador de risco, o beta, que é possível estimar o risco total da carteira (sistemático + não sistemático). Matematicamente o beta é dado pela razão entre a covariância do retorno do ativo e da carteira de mercado, pela variância do retorno da carteira de mercado. Segundo ELTON (2012), o cálculo do beta é expresso da seguinte forma:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_{it}, C_t)}{Var(C_t)}$$

Onde:

β_i : beta do ativo;

Cov (Rit, CT) : representa a covariância entre o mercado e o ativo;

Var (CT) : representa a variância do mercado.

Coeficiente de Variação: usado para comparar o risco de ativos, indicando o risco por unidade de retorno esperado. Quanto maior o coeficiente de variação,

maior será a razão entre risco e rentabilidade média. Essa medida é alcançada através da divisão do desvio padrão pelo retorno esperado.

$$CV = \sigma / Re$$

Onde:

CV = coeficiente de variação;

σ = desvio padrão;

Re = retorno esperado.

Covariância: é um indicador da relação linear entre duas variáveis aleatórias e permite verificar o efeito da diversificação nas carteiras de ativos.

$$Cov(X, Y) = \sum_{t=1}^n \frac{(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{n-1}$$

Coeficiente de Correlação: indica a relação entre a covariância e o produto dos desvios padrões. Assim como a covariância, o coeficiente de correlação é um indicador de relação linear entre duas variáveis.

$$Cór = \sum_{t=1}^n \frac{(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_t - \bar{X})^2 \sum (Y_t - \bar{Y})^2}}$$

É recomendável que a carteira apresente ativos mais negativamente correlacionados, pois quanto menor a correlação entre dois ativos, maior será o benefício da diversificação, resultando um menor risco para a carteira. Quanto mais próxima de 1 for a correlação, maior o risco de perda de retorno por causa da maior volatilidade.

Gitman (2008, p. 194): “para reduzir o risco geral, é melhor combinar com a carteira ou adicionar a ela ativos com correlação negativa (ou baixa correlação positiva). A combinação de ativos com retornos negativamente correlacionados pode reduzir a variabilidade geral dos últimos.

2.4. O Retorno de Mercado

Para Gitman (2008) o retorno de um investimento está relacionado a ganhos ou perdas num determinado período de tempo. O retorno esperado

depende da realização ou não de um evento. O retorno esperado ou médio, pode ser calculado da seguinte forma:

$$\bar{k} = \sum_{j=1}^n k_j \times Pr_j$$

Lemes Junior (2002, p. 135): “refere-se a variações no valor dos ativos e das distribuições de lucros”.

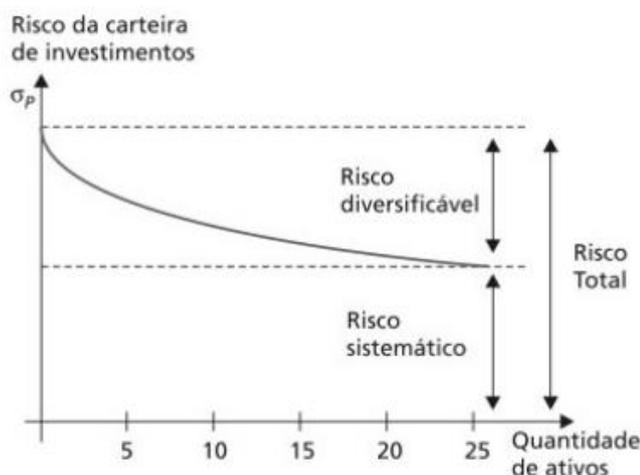
2.4.1. A Relação Risco e Retorno de um ativo

Os valores dos ativos no mercado de capitais, variam ao longo do tempo. Encontrar a relação do binômio risco-retorno de preferência num cenário de incertezas, é a grande preocupação do investidor (SUCOLOTTI, 2007). Portanto, é fundamental compreender adequadamente a relação para análises mais precisas.

Silveira (2009. P. 4) define retorno como “ o resultado estimado do capital aplicado no final do investimento”. Para Marques (2013), “a taxa de retorno de um investimento mede a velocidade de como o valor de um investimento cresce ou diminui”.

Brigham (2012, apud KOBAYASHI; MENEZES; THEILACKER, 2012) argumentam que nenhum investimento será realizado pelo investidor se a taxa de retorno não for suficientemente boa para recompensá-lo do risco em que está incorrendo.

Gráfico 3 – Diversificação de Risco

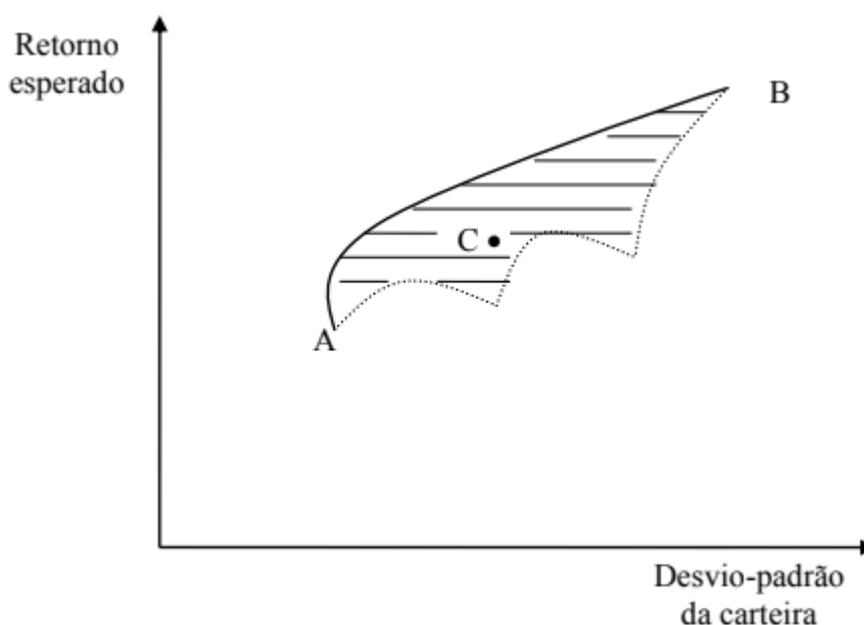


Fonte: Assaf Neto (2009).

2.5. FRONTEIRA EFICIENTE

A fronteira eficiente corresponde ao conjunto de todas as combinações possíveis dos ativos. A área tangenciada corresponde a todas as combinações viáveis entre retorno esperado e desvio padrão para uma carteira de investimentos. Para um dado nível de risco, existirá uma carteira com maior retorno esperado do que outras. Esse conjunto de carteiras constroem a fronteira eficiente.

Gráfico 4 – Fronteira Eficiente



Fonte: Damodaran (1997).

Segundo Markowitz (1952), as carteiras que apresentarem o melhor retorno conforme o nível de risco, compõem a fronteira eficiente e são denominadas como “carteiras ótimas”.

Uma carteira é considerada eficiente e fará parte da fronteira eficiente, caso três premissas são atendidas:

- (i) Não existe outra carteira com maior retorno e menor risco;
- (ii) Não existe outra carteira com maior retorno e mesmo nível de risco;
- (iii) Não existe outra carteira com mesmo nível de retorno e menor risco.

A fronteira busca mostrar como a diversificação melhora o perfil de risco sobre o retorno)e que a relação do binômio risco-retorno é não linear. Há um retorno marginal decrescente ao risco, pois adicionar mais risco não gera um retorno igual.

2.6. ESTUDOS SOBRE CAPM NO BRASIL

Diversos estudos foram desenvolvidos utilizando o modelo CAPM e suas variantes no Brasil, cujo objetivo testar sua aplicação, adequação e poder explicativo no que diz respeito a ativos de renda variável ou *portfólios*. E ao analisar a aplicação do modelo CAPM no Brasil, algumas particularidades são constatadas.

No estudo de Penteado e Famá (2002), os autores testam uma versão de carteira de mercado simultaneamente a teoria CAPM, com pesos de acordo com a participação no mercado. Verificou-se, que ao usar a nova carteira, a reta de regressão dos betas apresentou uma maior inclinação, indicando para o Brasil um maior custo de capital na utilização de carteira de mercado coerente com a teoria do modelo CAPM.

Quanto a taxa livre de risco para o mercado brasileiro, Silveira, Barros e Famá (2003) realizam uma análise econométrica sobre séries temporais de CDI, C-Bonds, poupança e T-Bonds e mostraram a validade no uso da taxa livre de risco apenas para poupança e CDI. Nesse mesmo estudo, as séries apresentaram betas estatisticamente insignificantes e estacionariedade, comprovando a relevância de métodos lineares para estimar o beta.

Os autores também concluíram que para estudos descritivos do mercado brasileiro, que necessita de uma extensa base de dados, constatou-se como inviável utilizar a taxa de poupança e o CDI.

Outros trabalhos aplicados no mercado brasileiro fizeram uso do CAPM tradicional e suas variantes, abaixo são apresentados alguns desses trabalhos aplicando o CAPM para *portfólio* e ativos individuais:

Quadro 1 – Trabalhos sobre o CAPM no Brasil aplicados em *Portfólio*.

Autor	Objetivo do estudo	Conclusão
Castro Silva, Melo e Pinto (2009)	Investigar qual dos modelos CAPM, D-CAPM ou C-CAPM apresenta estabilidade e melhor ajuste nas estimativas no retorno de índices de ações na bolsa brasileira.	O C-CAPM mostrou-se mais estável e a presença de mudanças estruturais nas séries apontou que o beta não é o único fator que explica o risco.
Castro Silva (2009)	Testar e comparar o CAPM estático e na versão condicional.	Mostrou eficiência na versão condicional por apresentar menores critérios de informações de Akaike e Schwarz, sem a presença de quebra estrutural.
Lins, Silva e Marques (2007)	Construir carteiras de ativos variáveis com características homogêneas de risco x retorno.	Mostrou que o CAPM teve bom desempenho para calcular risco.
Rochman e Eid Jr. (2006)	Investigar se é melhor investir em fundos ativos ou passivos.	Confirmou-se a efetividade do CAPM na estimativa do risco de fundos.
Tambosi Filho, Costa Jr. E Rosseto (2006)	Apresentar as vantagens dos modelos condicionais em relação ao estático.	O C-CAPM é mais eficiente nas previsões que o CAPM.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que os estudos de CAPM aplicados ao mercado brasileiro mostraram-se efetivos e as variantes como C-CAPM mais eficiente conforme mostrado no quadro 1.

Já os estudos do CAPM para ativos individuais, apresentados no quadro 2, a maioria utilizou o modelo convencional, no qual mostrou-se eficiente e um trabalho aplicou a versão D-CAPM, a qual foi refutada.

Quadro 2 – Trabalhos sobre o CAPM no Brasil aplicados em ativos individuais.

Autor	Objetivo do estudo	Conclusão
Ceretta, Catarina e Muller (2007)	Analisar o efeito da inclusão das variáveis assimetria sistemática e curtose sistemática no CAPM.	Confirmou o desempenho explicativo do CAPM.

Castro Jr. e Yoshinaga (2008)	Analisar modelos de precificação de ativos incluindo novos fatores potencialmente relevantes na explicação do comportamento das taxas de retorno.	Confirmou o desempenho explicativo do CAPM.
Mazer e Nakao (2008)	Verificar a existência de relação entre o nível de transparência e o custo de capital próprio das empresas integrantes do Ibovespa.	Confirmou a efetividade do CAPM.
Motta, Fortunato e Russo (2007)	Testar empiricamente para as empresas que compõem o Ibovespa, avaliando se para mercados emergentes, existem medidas de risco mais adequadas do que o beta.	O D-CAPM foi considerado pouco adequado para estimar custo do capital próprio no Brasil.
Salmasi (2008)	Analisar a relação entre governança corporativa e o custo de capital próprio em empresas brasileiras de capital aberto.	Confirmou o desempenho estimativo do CAPM.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho foi a descritiva, cujo objetivo estabelecer uma associação entre risco e retorno proposto no Modelo de Precificação de ativos de Capital (CAPM). De acordo com Gil (2007, p. 42) a pesquisa descritiva tem por objetivo “a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. Já Cruz e Ribeiro (2004, p. 18) enfatizam na mesma linha que a pesquisa descritiva “é o estudo, análise, registro e interpretação dos fatos do mundo físico sem a interferência do pesquisador”.

No que diz respeito à sua abordagem, o presente estudo teve enfoque quantitativo, uma vez que utilizou a coleta e análise de dados para responder ao

problema da pesquisa utilizando de cálculos para mensurar o beta e verificar a relação entre o retorno dos ativos e os retornos esperados proposto no modelo CAPM.

Quanto à abordagem quantitativa, Markoni e Lakatos (2004, p. 287) sublinha que: “[...] vale-se do levantamento de dados para provar hipóteses baseadas na medida numérica e da análise estatística para estabelecer padrões de comportamento. Ele procura principalmente a expansão dos dados, ou seja, a informação”.

3.1. Aplicação do Modelo de Precificação de Ativos de Capital (CAPM)

O modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model), desenvolvido por Sharpe (1964), Lintner (1965) e Mossin (1966), pode ser representado matematicamente como:

$$E[R_i] = R_f + \beta_i \cdot [E(R_m) - R_f]$$

onde β_i é o beta do ativo e representa uma medida de risco sistemático do ativo, sendo calculado como:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Após sua formulação, diversos estudos passaram a testar empiricamente o CAPM, utilizando, principalmente, dados de ativos negociados nas bolsas dos EUA. Esses testes se baseiam em três premissas centrais do modelo:

1. Existe uma relação linear entre o retorno esperado dos ativos e seus respectivos betas, sem que outras variáveis apresentem poder explicativo adicional.
2. O prêmio de risco é positivo, ou seja, o retorno esperado da carteira de mercado supera o dos ativos não correlacionados com o mercado.
3. Na versão clássica do CAPM, ativos sem correlação com o mercado têm retorno esperado igual à taxa livre de risco, e o prêmio de

risco é definido como a diferença entre o retorno esperado de mercado e essa taxa.

Os métodos de teste incluem análises de seções transversais (*cross-section*) e regressões de séries temporais. Uma abordagem relevante foi proposta por Fama e Macbeth (1973), que realizaram regressões em seções transversais para projetar retornos em função dos betas e, posteriormente, agregaram os resultados ao longo do tempo. O processo começa com a estimativa dos betas, utilizando a relação entre os retornos das ações e do índice de mercado, estimando os valores dos coeficientes através do uso dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Depois, avaliam-se as séries temporais desses parâmetros, considerando que os retornos e os coeficientes são variáveis aleatórias independentes e normalmente distribuídas. Jensen (1968) sugeriu uma adaptação baseada em uma regressão temporal, descrita por:

$$R_{it} - R_f = \alpha_i + \beta_i(R_{mt} - R_f) + \varepsilon_{it}$$

Onde:

- $R_{it} - R_f$ é o retorno em excesso do ativo i ;
- $\beta_i(R_{mt} - R_f)$ é o prêmio de risco do ativo.

O termo α_i , conhecido como alfa de Jensen, indica se o retorno do ativo excede o esperado pelo CAPM ($\alpha_i > 0$) ou fica abaixo ($\alpha_i < 0$).

O beta, que mede a relação entre risco e retorno de um ativo em comparação ao mercado, é estimado via regressão linear, já que não é uma variável observável. A precisão dessa estimativa depende de fatores como frequência dos retornos (diária, semanal, mensal) e a liquidez do ativo. Por exemplo, ações com baixa liquidez podem apresentar betas artificialmente reduzidos devido à frequência limitada de negociações. O beta também varia conforme o setor da empresa, refletindo diferenças estruturais, como alavancagem, liquidez e exposição ao câmbio. Apesar dessas limitações, estudos, como os de Elton (2004), consideram as estimativas de beta obtidas por regressão como suficientemente confiáveis para análises futuras.

Na prática, a medida de mercado utilizada no CAPM é um índice representativo, como o S&P500 (EUA), Ibovespa (Brasil) ou Eurostoxx 50

(Europa), já que a carteira de mercado ideal, que incluiria todos os ativos da economia, é inatingível. Como ativo livre de risco, podem ser usadas taxas como o CDI, a taxa Selic ou os retornos de títulos do Tesouro. Enquanto o modelo teórico pressupõe uma relação linear positiva entre retorno e risco, os testes empíricos podem apresentar inclinações negativas na reta de regressão, devido a condições de mercado e erros de modelagem. Por fim, o coeficiente alfa ajuda a identificar potenciais oportunidades de investimento, apontando ativos subavaliados ($\alpha_i > 0$) ou superavaliados ($\alpha_i < 0$).

3.2. A Taxa Livre de Risco (CDI)

No Brasil, o CDI (Certificado de Depósito Interbancário) é amplamente utilizado como proxy da taxa livre de risco em análises financeiras. O CDI representa a taxa média praticada em empréstimos interbancários de curtíssimo prazo, geralmente de um dia útil, entre instituições financeiras no mercado brasileiro. Essa taxa reflete o custo do dinheiro em transações seguras e de baixo risco, sendo frequentemente usada como referência para o cálculo do retorno de ativos financeiros e como benchmark para diversas aplicações de renda fixa.

3.3. O Índice Ibovespa

O **Ibovespa** é o principal indicador de desempenho da Bolsa de Valores do Brasil, a B3. Criado em 1968, o índice mede a performance das ações de maior relevância e liquidez negociadas no mercado brasileiro. Ele é calculado com base em uma carteira teórica que reflete o comportamento dos papéis mais representativos em termos de volume e frequência de negociação. Atualmente, o Ibovespa é composto por ações de empresas que, juntas, abrangem cerca de 80% do volume financeiro transacionado no mercado. A B3, que administra o Ibovespa, também gerencia diversos outros índices de mercado, como o IBrX, que acompanha as 100 ações mais negociadas, e o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), que reflete empresas com boas práticas ambientais, sociais e de governança. Esses índices permitem aos investidores monitorarem setores específicos e estratégias de mercado.

O índice Ibovespa tem duas funções principais: servir como indicador do desempenho médio do mercado acionário brasileiro e como referência para produtos financeiros, como fundos indexados e contratos futuros. Por refletir a performance de empresas de grande porte e relevância, o Ibovespa é frequentemente usado por investidores como um termômetro da economia brasileira. A composição do índice é revisada regularmente para manter sua representatividade. Além dos critérios de liquidez e dispersão de capital (*free float*), a inclusão de ações também leva em conta fatores de governança corporativa e transparência. Embora a carteira teórica seja composta por diversas empresas, nem todas possuem o mesmo peso. Setores como bancos, energia elétrica e commodities geralmente têm maior representatividade no índice, dado o tamanho e a importância das empresas desses segmentos na economia brasileira. Atualmente, o Ibovespa é amplamente utilizado por investidores e analistas como referência para avaliar o desempenho do mercado de ações no Brasil. Informações atualizadas sobre o índice estão disponíveis em tempo real por meio de sistemas de dados como Bloomberg, além de publicações financeiras e do próprio site da B3.

Vale destacar que o Ibovespa é uma carteira genérica de ativos constituída de ações que estão listadas na B3, mediante uma série de critérios estabelecidos, cujo objetivo indicar o desempenho médio das cotações dos ativos que possuem maior negociabilidade e volume no mercado. No Brasil o Ibovespa tem o papel de ser o indicador comparativo de avaliação de retornos dos ativos de renda variável.

Segundo Norton e Reilly (2008) a carteira de mercado deve apresentar todos os ativos que possuem risco. No entanto, o Ibovespa não compõe todos os ativos de risco presentes no mercado.

3.4. O Processo Metodológico

3.4.1. Base de dados

O objetivo principal desta pesquisa é verificar a validade e a eficiência do modelo CAPM no mercado brasileiro, representado pelo índice Ibovespa. Para alcançar esse objetivo, o processo metodológico foi estruturado em duas etapas principais.

Na primeira etapa, foram selecionados 10 ativos que compõem o índice Ibovespa e que possuem o maior valor de capital (*market cap*) dentro da B3, e o beta (medida de risco sistemático) foi estimado por meio de regressões lineares simples. Os cálculos utilizaram retornos diários em um período de 5 anos, possibilitando a análise da adequação do modelo de regressão com base em parâmetros como os coeficientes alfa e beta, coeficiente de determinação (R^2) e outras métricas relevantes. Além disso, foi avaliado o peso do risco sistemático e do risco não sistemático no risco total de cada ativo.

Dessa forma, a estimativa dos Betas e dos demais parâmetros do CAPM foram realizadas com base nos seguintes parâmetros de pesquisa:

- **Intervalos de tempo:** 5 anos (de 22/11/2019 a 22/11/2024).
- **Frequências dos retornos:** diários.
- **Número de observações:** 1264.

Com base nos betas estimados, foram feitas projeções dos retornos esperados dos ativos, que foram posteriormente comparados com os retornos efetivamente observados. Na segunda etapa, ativos do índice Ibovespa foram selecionados para a formação de uma carteira ótima, também servindo de base para testar a aplicabilidade do modelo CAPM.

3.4.2. Estimação e Comparação dos Betas dos Ativos

Os ativos selecionados para análise pertencem ao índice Ibovespa, o principal indicador do mercado acionário brasileiro. A pesquisa considerou os 10 ativos com maior valor de mercado (*market cap*). Para cálculo dos retornos

diários observados, foram utilizadas as cotações de fechamento diárias dos ativos, expressas em Reais, no período entre 22 de novembro de 2019 a 22 de novembro de 2024. Essas empresas foram escolhidas por seu valor e também por sua representatividade e liquidez no mercado brasileiro. A seguir é feita uma breve descrição das empresas representadas por esses 10 ativos que, sozinhos, representam mais de 40% de todo o Ibovespa.

3.4.3. Caracterização das Empresas Selecionadas

- **Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras (PETR4):** A Petrobras é uma das maiores empresas do setor de energia no Brasil e no mundo, com atuação em exploração, produção, refino, transporte e comercialização de petróleo, gás natural e seus derivados. Suas operações incluem a prospecção e perfuração de campos terrestres e marítimos, bem como a extração de petróleo de xisto e outras fontes. Além disso, a empresa se destaca na geração de energia elétrica, produção de biodiesel, etanol e coprodutos. Seus segmentos de atuação são: Exploração e Produção, responsável pela extração de petróleo e gás natural; Refino, Transporte e Marketing, que engloba refino, logística e comercialização; e Gás e Energia, que atua na comercialização de gás natural e energia elétrica, além de projetos relacionados a fertilizantes e gás liquefeito. Fundada em 1953, a Petrobras tem sede no Rio de Janeiro e desempenha um papel estratégico na economia brasileira.

- **Itaú Unibanco Holding S.A. (ITUB4):** O Itaú Unibanco é uma das maiores instituições financeiras do Brasil, oferecendo uma ampla gama de produtos e serviços para clientes pessoas físicas e jurídicas. Com atuação nacional e internacional, suas operações estão divididas em três segmentos principais: Banco de Varejo, que atende correntistas, microempresas e consumidores de alta renda; Banco de Atacado, voltado para empresas de médio e grande porte; e Atividades com o Mercado + Corporação, com foco em investimentos, corretagem e assessoria financeira. O Itaú oferece soluções como contas correntes, empréstimos, cartões de crédito, seguros, previdência e leasing. Fundado em 1924 e

sediado em São Paulo, o banco é reconhecido por sua inovação e solidez, sendo subsidiária da IUPAR - Itaú Unibanco Participações S.A.

- **Vale S.A. (VALE3):** A Vale S.A. é líder global na produção de minério de ferro e pelotas, além de atuar em segmentos estratégicos para a transição energética. A empresa organiza suas atividades em dois grandes segmentos: Soluções em Ferro, responsável pela produção de minério de ferro, manganês e serviços logísticos; e Materiais para Transição Energética, que abrange a produção de níquel, cobre e metais preciosos, utilizados em aço inoxidável, veículos elétricos e construção civil. Fundada em 1942 como Companhia Vale do Rio Doce, a empresa mudou seu nome para Vale S.A. em 2009 e tem sede no Rio de Janeiro.

- **WEG S.A. (WEGE3):** A WEG é uma multinacional brasileira focada na fabricação de equipamentos e componentes elétricos, com destaque em soluções para energia renovável e industrial. Seu portfólio inclui motores elétricos, geradores, transformadores, inversores de frequência, automação industrial, e soluções para geração de energia solar, eólica e biomassa. A WEG também atua em sistemas de tração elétrica, tintas industriais e subestações elétricas. Com presença global, a empresa opera em mercados como Estados Unidos, Europa, Ásia e América Latina. Fundada no Brasil, a WEG é reconhecida por sua inovação e liderança no setor elétrico.

- **Ambev S.A. (ABEV3):** A Ambev é uma das maiores empresas de bebidas da América Latina, responsável pela produção e comercialização de cervejas, refrigerantes, água mineral e outras bebidas. Entre suas marcas de destaque estão Skol, Brahma, Antarctica, Budweiser, Stella Artois e Corona, além de refrigerantes como Guaraná Antarctica e H2OH!. A Ambev também oferece produtos como energéticos, isotônicos e sucos. A empresa atua com uma ampla rede de distribuição direta e indireta em vários países. Fundada em 1885 e com sede em São Paulo, a Ambev é subsidiária da Interbrew International B.V.

- **Banco do Brasil S.A. (BBAS3):** O Banco do Brasil é uma das instituições financeiras mais tradicionais do país, oferecendo produtos e serviços bancários para pessoas físicas, empresas e setores públicos. Suas áreas de atuação incluem: Segmento Bancário, com soluções de crédito, poupança e serviços financeiros; Investimentos, com intermediação no mercado de capitais; Gestão de Recursos, com administração de fundos e carteiras de investimento; Seguros e Previdência, com opções de capitalização e proteção; e Pagamentos, com soluções para transações eletrônicas. Fundado em 1808, o banco é referência em inovação e atendimento no mercado financeiro brasileiro.

- **Banco BTG Pactual S.A. (BPAC11):** O BTG Pactual é uma instituição financeira focada em investimentos e gestão de ativos, com atuação no Brasil e no exterior. O banco oferece serviços de gestão de patrimônio, crédito corporativo, financiamento de projetos, fusões e aquisições, além de operar em mercados de câmbio e derivativos. Fundado em 1983, o BTG se destaca pela inovação em soluções financeiras e por sua forte presença em mercados emergentes. A sede está localizada no Rio de Janeiro, e o banco é subsidiária do BTG Pactual Holding Financeira Ltda.

- **Banco Bradesco S.A. (BBDC3):** O Bradesco é um dos maiores bancos privados do Brasil, oferecendo uma ampla gama de produtos financeiros para pessoas físicas e jurídicas. Dividido nos segmentos Bancário e Seguros, o banco oferece soluções como contas correntes, crédito imobiliário, financiamento de veículos, consórcios, previdência, seguros e câmbio. Fundado em 1943 e com sede em Osasco, o Bradesco é reconhecido por sua atuação nacional e internacional e sua capacidade de atender diferentes perfis de clientes.

- **Banco Santander (Brasil) S.A. (SANB11):** O Santander Brasil é uma subsidiária do grupo espanhol Santander, oferecendo produtos financeiros para pessoas físicas, pequenas e médias empresas e grandes corporações. Suas áreas de atuação incluem financiamentos,

câmbio, derivativos, gestão de patrimônio e serviços de mercado de capitais. O banco opera por meio de uma rede multicanal, que inclui agências, caixas eletrônicos, internet banking e mobile banking. Fundado em 1985, o Santander Brasil tem sede em São Paulo e é uma das principais instituições financeiras do país.

- **Itaúsa S.A. (ITSA4):** A Itaúsa é uma holding brasileira com investimentos nos setores financeiro e industrial. Além de controlar o Itaú Unibanco, a empresa atua em mercados como o de calçados, têxteis, gás natural e materiais de construção. Destacam-se empresas do portfólio como Duratex (painéis de madeira e revestimentos cerâmicos) e Alpargatas (fabricante das sandálias Havaianas). Fundada em 1966 e sediada em São Paulo, a Itaúsa é reconhecida por sua diversificação e contribuição para o desenvolvimento econômico do Brasil.

3.5. Aplicação Prática do Método

Os dados históricos utilizados para os 10 ativos analisados foram obtidos por meio da plataforma Yahoo Finance. Como proxy para o mercado, foi utilizado o índice Ibovespa, o principal indicador de desempenho do mercado de ações brasileiro. Os dados históricos do índice foram coletados também no Yahoo Finance. Para a taxa livre de risco, foi adotada a taxa CDI, amplamente reconhecida no mercado brasileiro como referência para aplicações de baixo risco. No entanto, do ponto de vista prático, a taxa CDI apresentou variações no período estudado. Para representar uma taxa verdadeiramente livre de variações e, portanto, livre de risco, foi coletada a variação total acumulada no período (50,110818%) e esta variação foi distribuída uniformemente ao longo dos 1246 dias estudados, chegando a uma taxa constante de 0,0326% ao dia. As informações foram obtidas através do site da B3.

O processo metodológico foi dividido em etapas bem definidas. O primeiro passo consistiu no cálculo dos retornos diários para o índice Ibovespa e para os ativos selecionados, além da taxa efetiva equivalente relativa à taxa livre de risco já especificada. As séries de retorno foram geradas para o período entre 22 de

novembro de 2019 e 22 de novembro de 2024, em base diária de diferentes períodos. Os retornos foram calculados usando a fórmula:

$$R_t = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_{t-1}}$$

Onde:

- R_t é o retorno no período t;
- p_t é o preço do ativo no período t;
- p_{t-1} é o preço do ativo no período anterior ao período t.

Os prêmios de risco foram calculados como $(R_{mt} - R_f)$ e os excessos de retorno para o ativo foram calculados como $(R_{it} - R_f)$, sendo R_f a taxa livre de risco no período t.

A estimativa do coeficiente beta foi realizada por regressão linear simples, considerando o excesso de retorno de cada ativo $(R_{it} - R_f)$ como variável dependente, e o prêmio de risco de mercado $(R_{mt} - R_f)$ como variável independente:

$$R_{it} - R_f = \alpha_i + \beta_i(R_{mt} - R_f) + \varepsilon_{it}$$

O beta (β_i) é o coeficiente angular da linha de regressão e representa o risco sistemático do ativo. Adicionalmente, o beta também foi calculado de maneira independente (em uma abordagem utilizada para verificar a consistência dos resultados obtidos pelas regressões), por meio da fórmula:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Para avaliar a adequação do modelo CAPM, foram realizadas análises da significância estatística dos parâmetros alfa (α) e beta (β), com base na estatística t de Student. Caso o valor de $\alpha \neq 0$ seja estatisticamente significativo, então o CAPM falha em prever o prêmio de risco.

Além disso, o coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para medir o poder explicativo do modelo. Este parâmetro indica o quanto um modelo é capaz de explicar os valores da variável dependente. Valores de R^2 próximos de 1 indicam um bom ajuste do modelo. Outro uso do coeficiente de determinação

(R^2) é a decomposição do risco total em uma parcela de risco sistemático (não diversificável) e outra de risco não sistemático (diversificável). A partição entre os componentes do risco pode ser encontrada pela expressão:

$$R^2 = \frac{\text{Variação explicada}}{\text{Variação total}} = \frac{\text{Risco sistemático}}{\text{Risco total}} = \frac{\beta^2 \text{Var}(R_m)}{\text{Var}(R_i)}$$

Para validar o modelo CAPM, foram calculados os retornos diários esperados das ações para o período de 22 de novembro de 2019 a 22 de novembro de 2024, utilizando os betas previamente estimados com base nos retornos diários dos ativos. Esses cálculos seguiram a fórmula clássica do CAPM:

$$E[R_i] = R_f + \beta_i \cdot [E(R_m) - R_f]$$

A análise da adequação do modelo foi realizada comparando os retornos reais com os retornos esperados. A avaliação baseou-se na soma dos quadrados das diferenças (SQD) entre os retornos reais (R_i) e os retornos esperados (\hat{R}_i):

$$SQD = \sum (R_i - \hat{R}_i)^2$$

Essa abordagem permite verificar o grau de aderência do modelo CAPM aos dados históricos analisados.

A avaliação de desempenho de ativos ou portfólios é fundamental para fornecer aos investidores informações consistentes e alinhadas às suas expectativas. Entre as principais técnicas utilizadas, destacam-se o alfa de Jensen e o Índice de Sharpe. O alfa de Jensen é uma medida que avalia o desempenho ajustado pelo risco, indicando o diferencial entre o retorno de um ativo, acima do ativo livre de risco, e o retorno esperado pelo CAPM. Sua fórmula é:

$$\alpha_i = R_{it} - R_f - \beta_i \cdot (R_{mt} - R_f)$$

Um alfa positivo indica que o ativo ou portfólio teve desempenho superior ao esperado pelo risco assumido, sendo considerado uma boa oportunidade de investimento. Já um alfa negativo sugere que o retorno não compensa o risco assumido. O alfa de Jensen é amplamente utilizado na análise de fundos de

investimento para avaliar a habilidade de um gestor em superar o desempenho de mercado.

O Índice de Sharpe (IS), desenvolvido por William Sharpe em 1966, mede a relação entre o excesso de retorno de um investimento (acima da taxa livre de risco) e sua volatilidade, representada pelo desvio padrão. Sua fórmula é:

$$IS_i = \frac{\bar{R}_i - R_f}{\sigma_i}$$

Onde:

- \bar{R}_i é o retorno médio do ativo i;
- R_f é a taxa livre de risco;
- σ_i é o desvio padrão do ativo i (risco).

O Índice de Sharpe reflete o retorno por unidade de risco. Quanto maior o IS, melhor a relação entre retorno e risco do ativo ou fundo analisado. Por exemplo, um IS igual a 1 significa que o ativo gerou um retorno adicional de 1% para cada 1% de risco assumido. Em geral:

- Fundos com IS maior que 1 são considerados bons investimentos.
- Fundos com IS inferior a 1 não são recomendados.

O cálculo do Índice de Sharpe geralmente utiliza os últimos 36 meses de dados, sendo amplamente observado por gestores de investimentos devido à sua capacidade de combinar rentabilidade e risco na análise de desempenho.

Para complementar a análise, a validade do CAPM foi testada não apenas em ativos individuais, mas também em uma carteira de ativos. A construção das carteiras seguiu uma metodologia estruturada recomendada por Markowitz para maximizar o Índice de Sharpe, que representaria a carteira ótima de risco (melhor relação retorno/risco) baseada nos parâmetros individuais das empresas. A carteira analisada foi encontrada em um processo de otimização, atribuindo-se diferentes pesos para os ativos e para a carteira de mercado (que também pode integrar a carteira ótima), impondo restrições para que cada peso individual tenha que ser positivo (impedindo a existência de posições vendidas em ativos), ser menor do que 1 (evitando a existência de alavancagem) e fazendo com que

a soma de todos os pesos seja igual a 1 (não é permitido o investimento em outras alternativas além das apresentadas nesse trabalho).

Uma vez encontrada a carteira ótima, o processo de estimação de seu beta seguiu os mesmos princípios aplicados aos ativos individuais. Primeiramente, calculou-se os retornos diários das carteira, os prêmios de risco das carteiras e do índice de mercado foram calculados diariamente, e o beta da carteira (β_p) foi estimado por meio de uma regressão linear simples, conforme a equação:

$$R_{pt} - R_f = \alpha_p + \beta_p(R_{mt} - R_f) + \varepsilon_{pt}$$

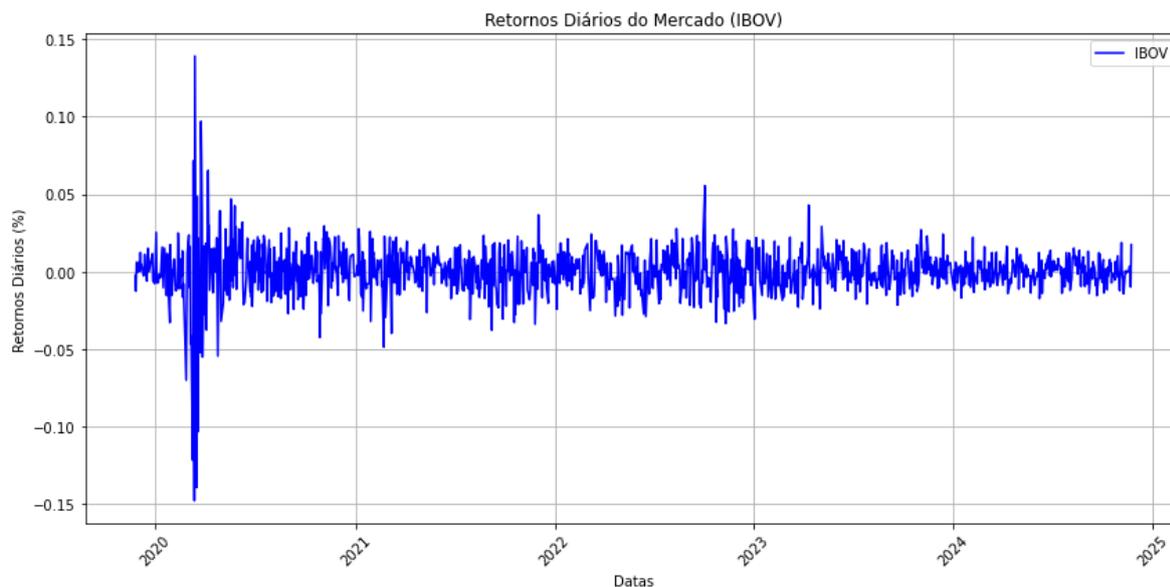
A análise da adequação dos modelos de regressão incluiu a verificação da relevância estatística dos coeficientes alfa (α_p) e beta (β_p) e a avaliação do coeficiente de determinação (R^2) indicando a proporção da variabilidade explicada pelo modelo. Esses métodos já foram descritos anteriormente e foram aplicados para verificar a consistência do CAPM ao analisar carteiras de ativos. As conclusões obtidas forneceram indicações sobre a relação entre risco e retorno nas diferentes categorias de carteira, além de validar a aplicabilidade do modelo em um contexto de mercado agregado.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Comportamento do Índice Ibovespa

Antes de analisar os resultados, é fundamental compreender o comportamento histórico dos retornos do índice Ibovespa, que, neste estudo, é utilizado como proxy para o retorno de mercado. O retorno de mercado desempenha um papel central no modelo CAPM, uma vez que é a base para a estimação dos prêmios de risco. No gráfico 5 observa-se a evolução dos retornos semanais do Ibovespa ao longo de cinco anos, de 22 de novembro de 2019 a 22 de novembro de 2024.

Gráfico 5 - Evolução dos retornos semanais do Ibovespa (22/11/2019-22/11/2024).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do gráfico indica que grande parte dos retornos semanais do mercado foi negativa durante o período analisado. Isso implica que os prêmios de risco de mercado, calculados como a diferença entre os retornos esperados do mercado e a taxa livre de risco, também foram muitas vezes negativos. Esse resultado vai contra o pressuposto teórico do CAPM, que assume um prêmio de risco positivo, refletindo a compensação adicional exigida pelos investidores para assumirem riscos.

Quando o retorno de mercado é consistentemente inferior à taxa livre de risco, o prêmio de risco de mercado se torna negativo. Embora esse comportamento seja atípico em condições normais de mercado, pode ocorrer em períodos de instabilidade econômica ou crises financeiras. Durante o período analisado, marcado por desafios econômicos globais, como a pandemia de Covid-19 e o período de elevada inflação (e altas taxas de juros) que se seguiu, é natural que o prêmio de risco de mercado tenha apresentado valores negativos em algumas ocasiões.

Um prêmio de risco de mercado negativo, se persistente no longo prazo, indicaria uma falha estrutural na economia e nos mercados financeiros. No entanto, no curto prazo, essas variações negativas podem ser explicadas por ajustes temporários no mercado. Para restaurar um prêmio de risco positivo, os seguintes fatores podem ser considerados:

- **Movimento de Capital:** Investidores tendem a migrar seus recursos para ativos mais seguros, como títulos de dívida, quando o prêmio de risco de mercado é negativo.
- **Redução na Taxa Livre de Risco:** Com a alta demanda por ativos sem risco, bancos e instituições financeiras podem ajustar as taxas para reequilibrar o mercado.
- **Recuperação Econômica:** A melhora no ambiente econômico pode aumentar o retorno de mercado, restaurando um prêmio de risco positivo.

No longo prazo, espera-se que o prêmio de risco de mercado retorne a valores positivos, pois essa é uma condição fundamental para a sustentabilidade do mercado de capitais. O gráfico 6 apresenta o valor acumulado de um investimento inicial de R\$ 100 no índice Ibovespa durante o período de cinco anos analisado.

Gráfico 6 - Valor acumulado de um investimento inicial de R\$ 100 no Ibovespa (2019-24)



Fonte: Ibovespa (22/11/2019-22/11/2024). Elaborado pelo autor.

Como mostrado no gráfico, o valor da carteira muitas vezes ficou abaixo de R\$ 100, evidenciando o impacto dos retornos negativos sobre o desempenho do investimento. Durante o período considerado, foram relativamente poucas as ocasiões em que o investidor teria obtido ganhos significativos. Esse comportamento reforça os desafios enfrentados pelo mercado durante o

intervalo analisado, destacando a importância de compreender os fatores que influenciam o prêmio de risco e a performance dos ativos de risco.

4.2. Avaliação dos Ativos Individuais

4.2.1. Avaliação da Adequação dos Modelos de Regressão

Linear Simples

Este estudo empírico teve como objetivo estimar e analisar o comportamento do risco sistemático das ações de empresas cotadas no mercado brasileiro (B3). A primeira etapa envolveu o cálculo dos betas individuais de 10 empresas, utilizando regressão linear simples. Além disso, foram avaliados parâmetros como:

- Significância estatística dos coeficientes alfa (α) e beta (β);
- Coeficiente de determinação (R^2).

Os retornos diários foram utilizados como base para a estimação, considerando um período de cinco anos (de 22 de novembro de 2019 a 22 de novembro de 2024), totalizando 1246 observações. Adicionalmente, os betas também foram calculados por meio da razão entre a covariância dos retornos do ativo e do mercado e a variância dos retornos de mercado. O quadro 3 apresenta para cada ativo e para a carteira de mercado (IBOV) a média dos retornos diários, o desvio padrão, os valores estimados para os coeficientes α e β , e o coeficiente de determinação (R^2):

Quadro 3 - Médias, Desvio Padrão, Coeficientes alfa, beta e R^2

Ativo	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Beta (Cov/Var)	Alfa (Regressão)	Beta (Regressão)	R^2 (Regressão)
PETR4	0,08187	3,23716	1,29847	0,00056	1,29847	0,42079
ITUB4	0,03561	1,97918	0,92466	0,00008	0,92466	0,57085
VALE3	0,06587	2,38587	0,93904	0,00038	0,93904	0,40514
WEGE3	0,13589	2,39631	0,78445	0,00108	0,78445	0,28027
ABEV3	0,00436	1,86572	0,69703	-0,00024	0,69703	0,36504
BBAS3	0,06272	2,32807	1,14081	0,00036	1,14081	0,62801
BPAC11	0,09773	3,02252	1,43790	0,00073	1,43790	0,59191
BBDC3	-0,02138	2,26955	1,08627	-0,00048	1,08627	0,59914
SANB11	-0,01526	2,23182	0,98827	-0,00042	0,98827	0,51283
ITSA4	0,02569	1,79176	0,88431	-0,00002	0,88431	0,63707
IBOV	0,02709	1,61721	1,00000	0,00000	1,00000	1,00000

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 4 apresenta os resultados do teste de hipótese para cada ativo avaliando se, ao nível de confiança de 95%, os valores de α encontrados são estatisticamente diferentes de zero e se os valores de β encontrados são estatisticamente diferentes de um.

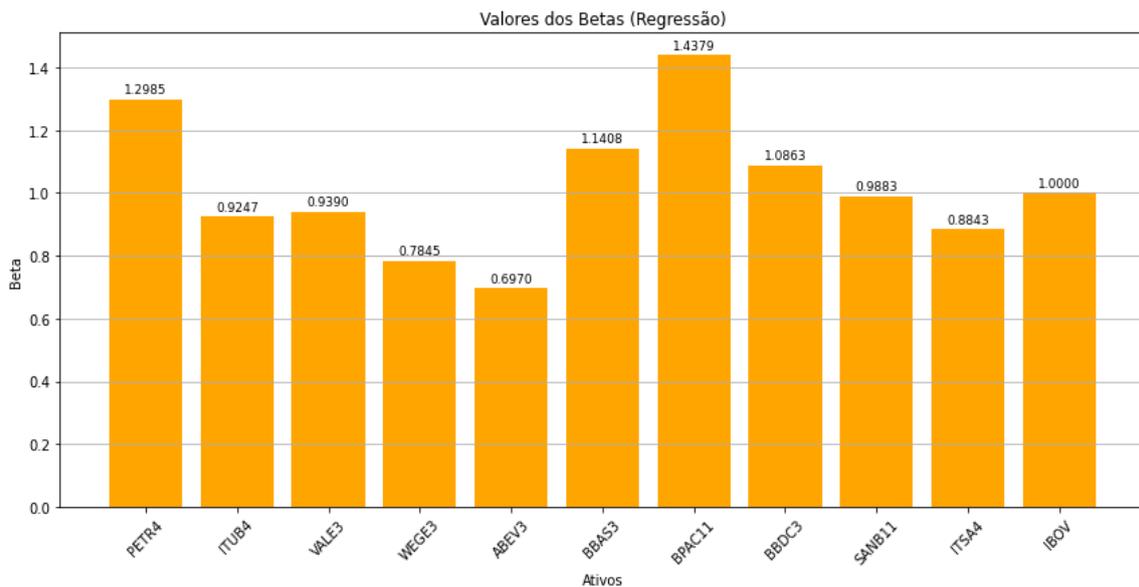
Quadro 4 - Estatísticas de teste para os coeficientes alfa e beta

Ativo	Alfa Regressão	Estatística t	Rejeitar H0	Beta Regressão	Estatística t	Rejeitar H0
PETR4	0,00056	0,80782	FALSO	1,29847	6,90744	VERDADEIRO
ITUB4	0,00008	0,22060	FALSO	0,92466	-3,31331	VERDADEIRO
VALE3	0,00038	0,73682	FALSO	0,93904	-1,88882	FALSO
WEGE3	0,00108	1,86705	FALSO	0,78445	-6,04524	VERDADEIRO
ABEV3	-0,00024	-0,57882	FALSO	0,69703	-11,61931	VERDADEIRO
BBAS3	0,00036	0,90450	FALSO	1,14081	5,65402	VERDADEIRO
BPAC11	0,00073	1,33451	FALSO	1,43790	12,93103	VERDADEIRO
BBDC3	-0,00048	-1,17787	FALSO	1,08627	3,42313	VERDADEIRO
SANB11	-0,00042	-0,96029	FALSO	0,98827	-0,42917	FALSO
ITSA4	-0,00002	-0,06652	FALSO	0,88431	-6,11067	VERDADEIRO
IBOV	0,00000	0,00000	FALSO	1,00000	0,00000	FALSO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de α apresentados nos quadros 3 e 4 são próximos de zero para a maioria das empresas, sugerindo uma boa adequação do modelo CAPM na explicação dos retornos esperados. Além disso, o teste de hipóteses indica que em nenhum caso é possível rejeitar a hipótese nula de os valores de α são nulos para um nível de confiança de 95%. Desse modo, o modelo de regressão linear simples parece explicar adequadamente a relação entre risco e retorno.

Os betas calculados pela regressão linear simples foram iguais aos valores obtidos pela razão entre a covariância dos retornos e a variância de mercado. O gráfico 7 apresenta os valores obtidos para os betas dos ativos.

Gráfico 7 - Valores de beta para os ativos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos valores de β e no resultado do teste de hipóteses, que avalia se os valores encontrados podem ser considerados diferentes de 1 para um nível de confiança de 95%, as empresas podem ser classificadas quanto ao nível de risco sistemático (Quadro 5):

Quadro 5 - Classificação dos ativos quanto ao nível sistemático (valor de β)

Ativos Agressivos $\beta > 1$	Ativos Moderados $\beta \sim 1$	Ativos Conservadores $\beta < 1$
PETR4 BBAS3 BPAC11 BBDC3	VALE3 SANB11	ITUB4 WEGE3 ABEV3 ITSA3

Fonte: Elaborado pelo autor.

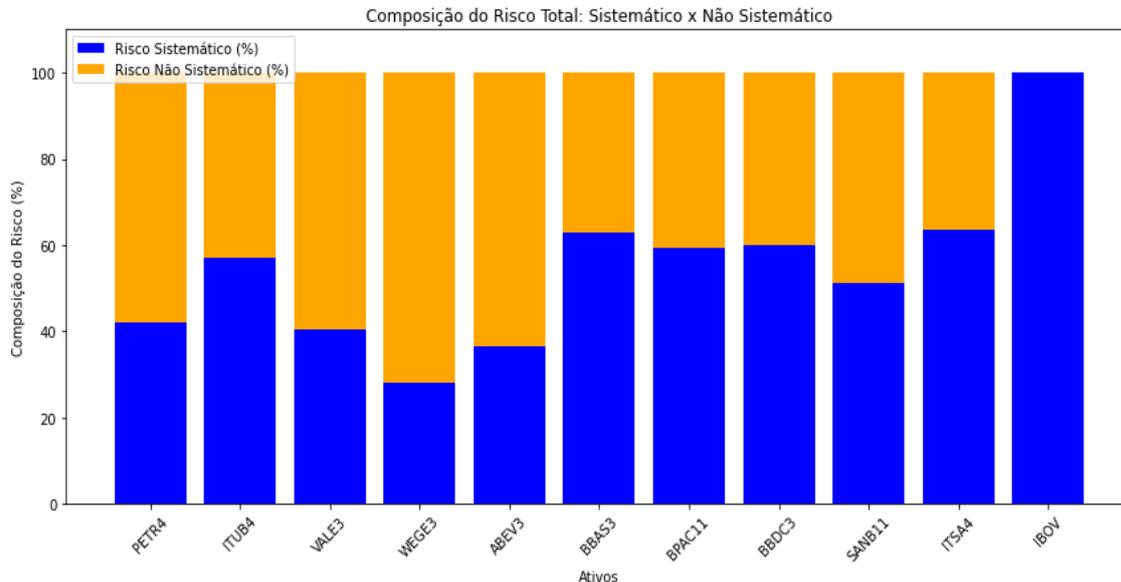
O coeficiente R^2 indica a proporção da variância nos retornos do ativo explicada pelos retornos do mercado. Os valores de R^2 variaram de 0,2803 a 0,6371, indicando que o modelo CAPM explica parcialmente os retornos. Exemplos:

- **ITSA3** apresentou o maior R^2 (0,6371), sugerindo que 63,71% da variabilidade dos retornos foi explicada pelo modelo CAPM.
- **WEGE3** teve o menor R^2 (0,2803), indicando uma relação linear fraca entre os retornos do ativo e do mercado. O modelo CAPM só consegue explicar 28,03% dos retornos desse ativo.

A análise revelou que, embora o modelo CAPM tenha mostrado boa adequação para explicar os retornos de mercado de algumas empresas, sua capacidade de previsão varia entre os ativos. Empresas com baixos coeficientes R^2 indicam que outros fatores, além do risco sistemático, desempenham um papel importante na explicação de seus retornos. Para alguns ativos com baixos coeficientes de determinação (R^2), como PETR4, VALE3, WEGE3 e ABEV3 (todos com R^2 menores que 50%), o risco de mercado possui uma capacidade limitada de explicar as variações nos retornos.

Os pesos dos riscos sistemático e não sistemático no risco total de cada ativo foram avaliados e apresentados no gráfico 8. Observa-se que os valores de R^2 estão alinhados com os pesos do risco sistemático no risco total. O risco sistemático foi calculado utilizando os betas estimados pela razão entre a covariância dos retornos do ativo e do mercado e a variância dos retornos de mercado (mas seria indiferente utilizar os betas obtidos pela regressão, visto que os valores são iguais).

Gráfico 8 - Composição do risco total em risco sistemático e risco não sistemático.



Com base nos testes de adequação, os modelos de regressão linear apresentaram limitações para alguns ativos, para os quais o risco de mercado não explica uma parte significativa das variações nos retornos, sugerindo a presença de fatores não observados que impactam os retornos esperados. Esses resultados reforçam a necessidade de considerar outras variáveis

explicativas ou modelos alternativos ao CAPM para capturar as dinâmicas específicas desses ativos.

4.2.2. Avaliação da Capacidade Preditiva do Parâmetro Beta

Estimado

A capacidade preditiva do beta estimado foi avaliada com base nos retornos dos 10 ativos no período 22 de novembro de 2019 a 22 de novembro de 2024. Para isso:

- Os betas estimados com retornos diários (5 anos) foram utilizados para prever os retornos esperados dos ativos a partir do retorno livre de risco e do retorno do mercado (IBOV).
- Os retornos esperados foram comparados com os retornos reais observados no período.
 - A avaliação foi feita pela soma dos quadrados das diferenças entre retornos reais e esperados: $SQD = \sum (R_i - \hat{R}_i)^2$.

Quadro 6 - Somas dos quadrados das diferenças entre retornos reais e esperados usando o CAPM.

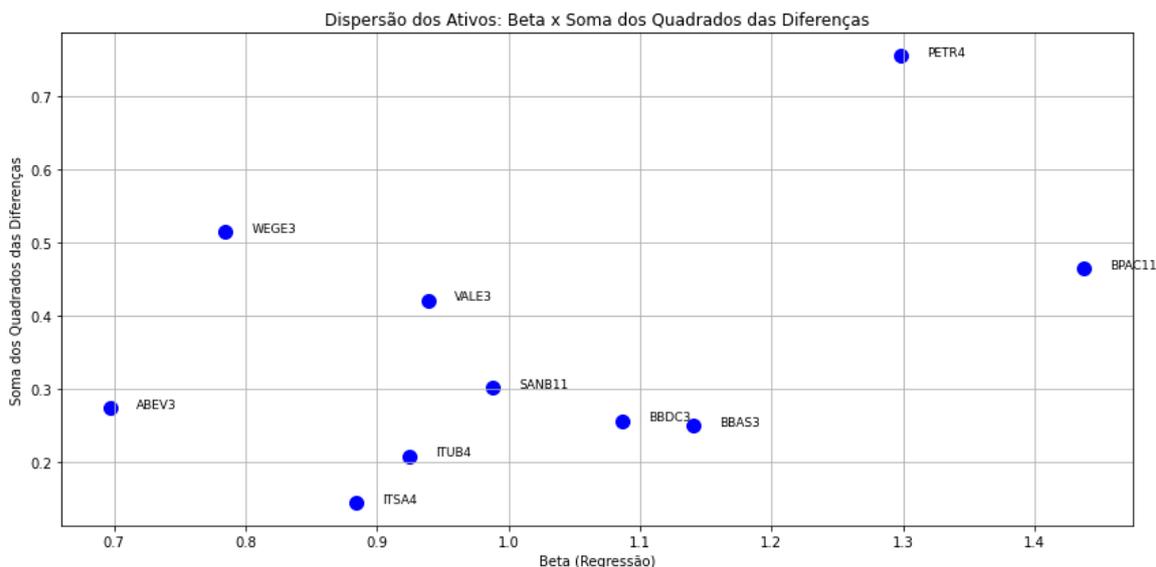
Ativos Agressivos $\beta > 1$	Ativos Moderados $\beta \sim 1$	Ativos Conservadores $\beta < 1$
PETR4 (0,75546) BBAS3 (0,25098) BPAC11 (0,46445) BBDC3 (0,25714)	VALE3 (0,42142) SANB11 (0,30210)	ITUB4 (0,20913) WEGE3 (0,51557) ABEV3 (0,27503) ITSA3 (0,14495)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que o ativo com a maior diferença entre os retornos reais e os retornos esperados foi a PETR4, que é um ativo agressivo ($\beta > 1$), enquanto a menor diferença entre os retornos reais e os retornos esperados ocorreu em ITSA3, que é um ativo conservador ($\beta < 1$). De modo geral, ativos agressivos, tendem a apresentar maior dificuldade de uma precificação adequada pelo mercado, resultando em maior divergência entre os retornos esperados e observados. O gráfico 9 apresenta os ativos em um gráfico de dispersão beta

versus diferenças encontradas entre retornos reais e retornos esperados pelo CAPM. Foi possível identificar uma leve tendência de maiores diferenças ocorrendo entre os ativos com maior risco sistemático (ativos mais à direita no gráfico).

Gráfico 9 - Dispersão dos ativos em beta x diferenças entres retornos reais e esperados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

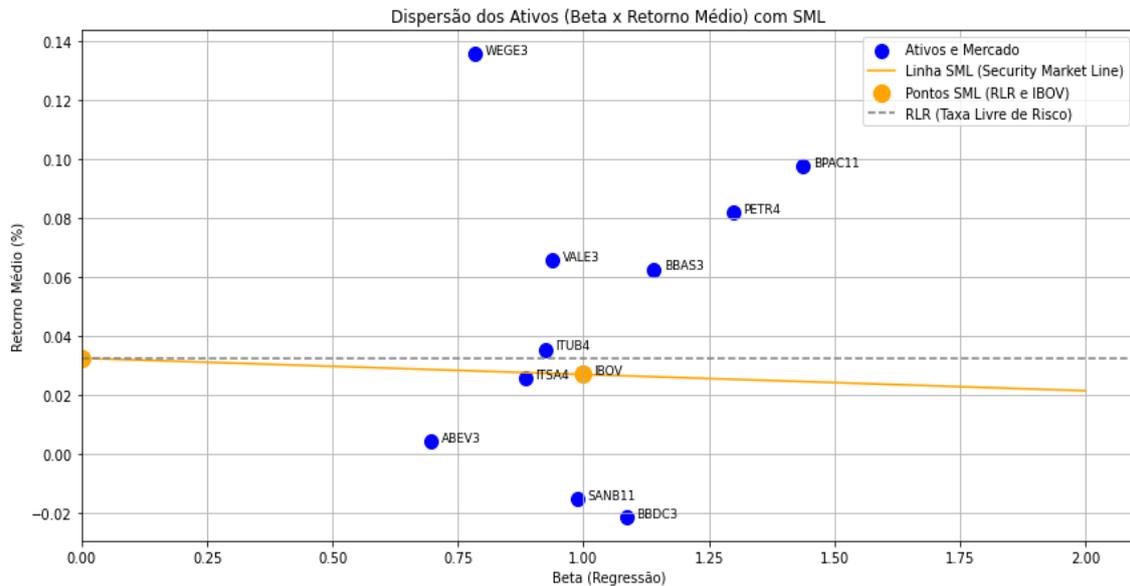
Os gráficos comparativos dos resultados acumulado pelos retornos diários reais e do resultado acumulado pelos retornos diários esperados para o investimento de R\$ 100 em cada ativo estão apresentados no Anexo. Esses gráficos permitem uma visualização clara das discrepâncias entre os retornos reais e os previstos pelo modelo CAPM. A análise demonstra que, enquanto o CAPM oferece previsões mais consistentes para alguns ativos mais conservadores, para outros ativos ele apresenta limitações na previsão de retornos, em um comportamento que tende a se acentuar para ativos de maior risco sistemático (maior beta). Essa limitação pode ser explicada pela maior sensibilidade desses ativos a fatores específicos não capturados pelo modelo, como eventos específicos ou mudanças abruptas no mercado.

4.2.3. Construção da Security Market Line (SML)

A Security Market Line (SML) é uma ferramenta essencial para identificar ativos subavaliados e sobreavaliados, ajudando investidores a encontrar títulos que oferecem o maior retorno para um dado nível de risco. O gráfico 10

apresenta a SML construída com base nos retornos esperados e retornos do mercado (índice IBOV), assumindo essa carteira como representativa da carteira ótima de risco.

Gráfico 10 - Security Market Line entre o ativo livre de risco e IBOV



A SML é definida no plano $[\beta, E(R)]$ onde o eixo x representa o coeficiente beta (β), que mede o risco sistemático do ativo, e o eixo y corresponde ao retorno esperado, $E(R)$. Para construir a reta, foram utilizados os seguintes pontos:

- **Intercepto:** Representando o ativo livre de risco, com $\beta = 0$ (por definição) e retorno diário de 0,0326% ao dia, conforme definido anteriormente.
- **Carteira de mercado:** Representando o Ibovespa (IBOV) com $\beta = 1$ (por definição) e retorno médio diário de 0,0271% ao dia, conforme calculado.

Como já comentado anteriormente, nos últimos cinco anos a carteira de mercado apresentou um retorno médio diário menor do que o ativo livre de risco, o que contraria os princípios do modelo CAPM. Mesmo assim, os 10 ativos foram plotados no gráfico da SML, indicando a relação entre risco (beta) e retorno esperado. A posição de cada ativo na SML revela se ele está: (1) abaixo da SML, caso em que o ativo oferece retorno inferior ao esperado pelo mercado para o nível de risco assumido (ativo superavaliado); ou (2) acima da SML, caso em

que o ativo apresenta retorno superior ao esperado pelo mercado para o risco assumido (ativo subavaliado). O quadro 7 apresenta a situação dos ativos em relação à SML, dividindo-os em superavaliados ou subavaliados.

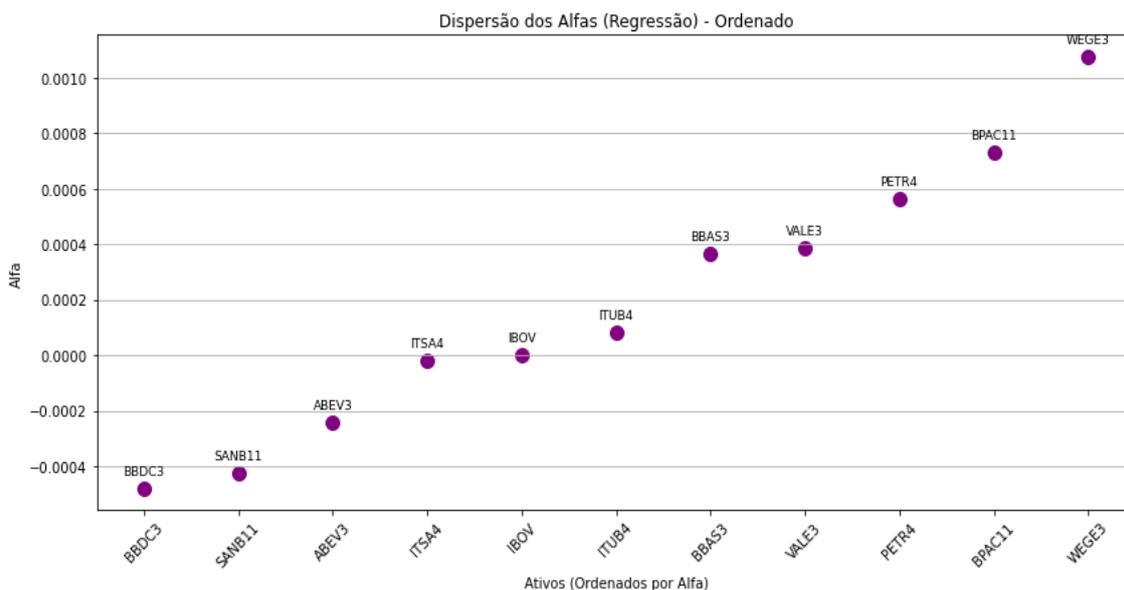
Quadro 7 - Divisão dos ativos em super ou subavaliados em relação à SML.

	Ativos Agressivos $\beta > 1$	Ativos Moderados $\beta \sim 1$	Ativos Conservadores $\beta < 1$
Superavaliados (abaixo da SML)	BBDC3	SANB11	ABEV3 ITSA3
Subavaliados (acima da SML)	PETR4 BBAS3 BPAC11	VALE3	ITUB4 WEGE3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os ativos BBDC3, SANB11, ABEV3 e ITSA3 estão todos abaixo da SML, indicando que o mercado está sobrevalorizando esses ativos. Ou seja, esses ativos oferecem retornos menores que o esperado para o risco que apresentam e a recomendação seria vender esses títulos, pois o aumento na oferta deve reduzir seus preços, ajustando o retorno esperado à SML. Por outro lado, os ativos PETR4, BBAS3, BPAC11, VALE3, ITUB4 e WEGE3 estão subavaliados, apresentando retorno maior que o esperado para o risco que oferecem. Segundo esse critério, esses ativos são recomendados para compra, pois a maior demanda tende a elevar seus preços e reduzir seus retornos esperados até a linha de equilíbrio.

O alfa de Jensen foi calculado como o diferencial entre o retorno em excesso do ativo e o retorno esperado pelo CAPM. Esse coeficiente ajuda a identificar discrepâncias entre o desempenho real e o desempenho esperado do ativo. Ativos com alfa positivo estão subavaliados (acima da SML), apresentando retornos médios acima dos esperados pelo CAPM. Ativos com alfa negativo estão sobrevalorizados (abaixo da SML), apresentando retornos médios abaixo dos esperados pelo CAPM. O gráfico 11 apresenta os valores do alfa para os ativos analisados.

Gráfico 11 - Alfas de Jensen para os ativos selecionados

Fonte: Elaborado pelo autor.

A inconsistência com o modelo CAPM para certos ativos reflete possíveis desequilíbrios de mercado, destacando a importância de ajustar estratégias de investimento conforme as condições de mercado.

4.2.4. Avaliação e Seleção de Ativos

A seleção de ativos e de fundos de investimento é uma etapa fundamental na gestão de carteiras. Dentre os diversos indicadores disponíveis, o alfa de Jensen e o índice de Sharpe são ferramentas amplamente utilizadas para avaliar a atratividade de ativos em relação ao binômio risco/retorno. O índice de Sharpe (IS) foi calculado com base em dados diários do período de 22 de novembro de 2019 e 22 de novembro de 2024, medindo o retorno excedente por unidade de risco conforme a expressão:

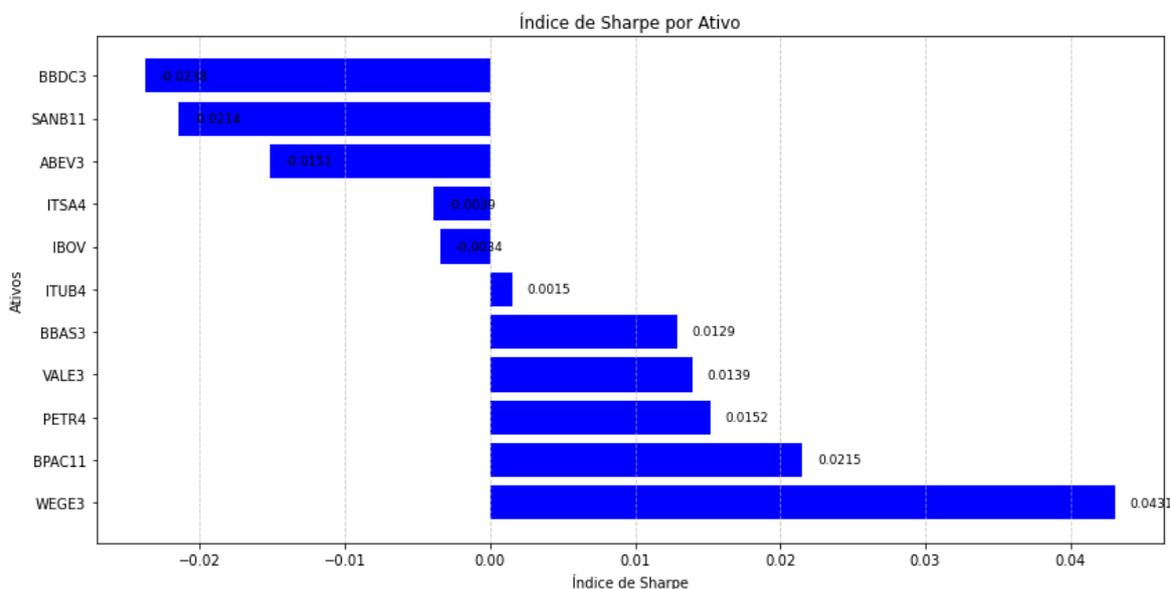
$$IS_i = \frac{\bar{R}_i - R_f}{\sigma_i}$$

Onde:

- \bar{R}_i é o retorno médio do ativo i;
- R_f é a taxa livre de risco;
- σ_i é o desvio padrão do ativo i (risco).

O gráfico 12 apresenta os Índices de Sharpe calculados para os ativos em análise.

Gráfico 12 - Índices de Sharpe para os ativos selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos 10 ativos analisados, quatro (além da própria carteira do Ibovespa) tiveram índices de Sharpe abaixo de 1, indicando que esses ativos não ofereceram uma boa relação risco/retorno no período. Os outros seis ativos tiveram índices de Sharpe positivos, sendo que o ativo WEGE3 foi o que apresentou o valor mais alto, superando o rendimento do ativo livre de risco na melhor relação excesso de retorno por risco assumido.

4.2.5. Avaliação do CAPM aplicado para uma Carteira

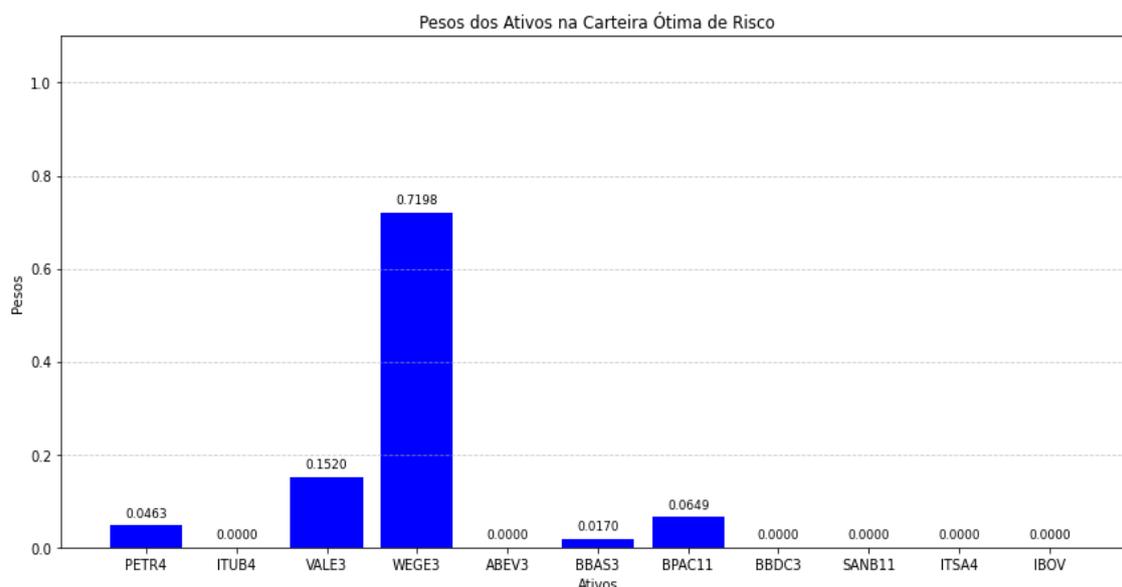
Para testar o CAPM também na representação dos retornos de uma carteira e não só em ativos individuais, criou-se uma carteira de risco fictícia. Essa carteira foi criada com o objetivo de maximizar o índice de Sharpe, dentro da teoria de relação risco (desvio padrão) e retorno (rendimento médio) desenvolvida por Markowitz. Essa carteira foi composta por uma composição estabelecida entre os dez ativos selecionados e a carteira de mercado (IBOV) respeitando as seguintes restrições:

- A soma dos pesos dos ativos na carteira deve ser igual a 1 ($\sum w_i = 1$), evitando investimento alavancado ou no ativo livre de risco;

- Nenhum ativo poderia ter um peso negativo ($w_i \geq 0$) na carteira, evitando-se assim assumir posições vendidas;
- Nenhum ativo poderia ter um peso maior ou igual a 1 na carteira ($w_i < 1$), evitando-se assim assumir posições alavancadas em determinados ativos ou a criação de uma carteira composta por um único ativo.

A distribuição dos pesos dos ativos foi encontrada através de um processo de otimização que buscou maximizar o índice de Sharpe da carteira, obedecendo às restrições impostas, formando uma carteira ótima de risco. Os resultados da distribuição dos ativos na composição da carteira são apresentados no gráfico 13.

Gráfico 13 - Composição da carteira ótima de risco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os retornos reais que teriam sido obtidos por essa carteira ótima foram calculados e submetidos ao processo de regressão linear, com resultados apresentados no quadro 8. A carteira ótima apresentou um retorno diário médio de 0,11902% ao dia com um desvio padrão de 2,02044%.

Quadro 8 - Estatísticas de teste para os coeficientes alfa e beta da carteira ótima

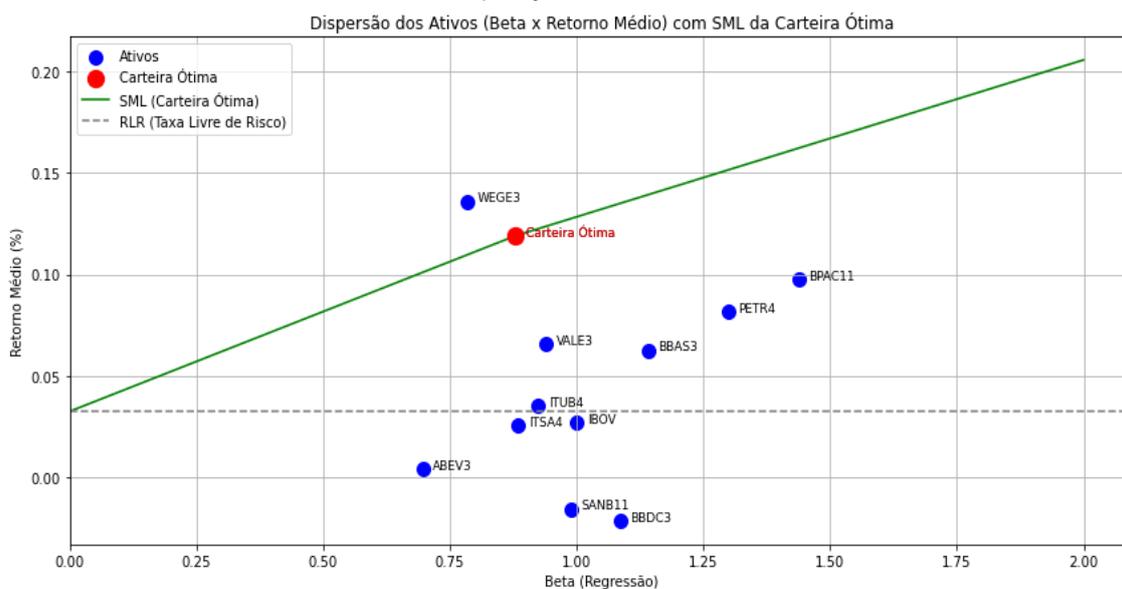
Ativo	Alfa (Regressão)	Estatística t	Rejeitar H0	Beta (Regressão)	Estatística t	Rejeitar H0
Carteira Ótima	0,00091	2,24351	VERDA DEIRO	0,88022	34,97503	VERDA DEIRO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diferentemente da carteira de mercado (Ibovespa) e dos próprios ativos que a compõem, a carteira ótima apresenta um valor de alfa positivo que é estatisticamente diferente de zero. Desse modo, a carteira ótima estaria subavaliada e sua representação pelo modelo CAPM convencional não é adequada. Em relação ao risco, o valor do beta da carteira é estatisticamente menor do que 1, mostrando que a carteira possui um risco sistemático menor do que o do mercado. Esse resultado já era esperado, uma vez que o processo de otimização do índice de Sharpe busca a combinação de ativos que proporciona o melhor retorno em relação ao risco assumido, aproveitando do efeito da diversificação (que reduz o beta).

Com a carteira de risco ótima, foi possível traçar uma nova SML, aproveitando a melhor composição de ativos em termos da relação retorno/risco.

Gráfico 14 - Composição da carteira ótima de risco



Fonte: Elaborado pelo autor.

A nova SML (gráfico 14) estabelece a melhor relação retorno/risco para uma carteira formada por mais de um ativo entre os dez ativos selecionados, buscando maximizar o retorno específico (retorno em excesso recebido por unidade de risco assumido). Nesse caso, foi corrigido o problema verificado na SML construída com o IBOV. Agora, nesta nova SML, o modelo CAPM prevê uma relação positiva entre beta e retorno, de acordo com a teoria deste modelo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi analisar a aplicabilidade do modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) no mercado brasileiro, utilizando uma amostra de 10 ativos pertencentes ao índice Ibovespa em um período de cinco anos, definido entre 22 de novembro de 2019 e 22 de novembro de 2024. A pesquisa avaliou a capacidade do modelo em explicar a relação entre risco e retorno, considerando tanto ativos individuais quanto uma carteira específica. Para isso, foram explorados os conceitos de risco sistemático (beta) e risco não sistemático.

Os betas foram estimados usando regressão linear e submetidos a testes de adequação. Em relação aos ativos individuais, para algumas empresas, como PETR4, WEGE3 e BPAC11, os resultados sugerem que o modelo CAPM não consegue explicar plenamente os retornos esperados. O peso do risco sistemático no risco total variou entre 28% e 64%, demonstrando que o beta do mercado não é suficiente para descrever o risco de todos os ativos, indicando influência de fatores não observados (riscos específicos). Além disso, os retornos esperados estimados para ativos agressivos ($\beta > 1$) apresentaram maior discrepância em relação aos retornos efetivamente observados, indicando que o modelo é mais eficaz para ativos conservadores e moderados.

Em relação à carteira, observou-se a redução da variabilidade dos betas, aumentando sua estabilidade e a adequação dos modelos de regressão. A inclusão de uma carteira formada por mais de um ativo, buscando otimizar o índice de Sharpe, apresentou uma SML que confirma a teoria do CAPM, em que carteiras com maior beta apresentam maiores retornos médios. Em relação à carteira do Ibovespa (IBOV), utilizada como carteira de mercado, verificamos que os retornos no período analisado foram positivos, mas inferiores ao retorno do ativo livre de risco, contrariando a teoria do CAPM. Esse fato, certamente influenciado pela crise financeira provocada pela pandemia de Covid-19 e seus desdobramentos, representou uma limitação significativa ao trabalho, dificultando a obtenção de resultados consistentes a partir de dados históricos de um ambiente econômico instável.

Embora o CAPM seja uma ferramenta amplamente utilizada por sua simplicidade e intuição, os resultados empíricos obtidos neste estudo destacam

limitações significativas. Ainda assim, o CAPM continua sendo uma conquista marcante na teoria financeira. Ele fornece uma estrutura inicial para compreender a relação entre risco e retorno, mas sua utilização deve ser acompanhada de um senso crítico.

Como sugerido por Damodaran (2012), um uso criterioso e flexível do modelo, sem dependência excessiva de dados históricos, é a abordagem mais eficaz para lidar com risco no contexto das finanças corporativas modernas. Ainda assim, o modelo CAPM, apesar de suas limitações, permanece uma base importante para estudos futuros e para a evolução de modelos alternativos, que buscam capturar a complexidade dos mercados financeiros contemporâneos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2006.

BARBOSA, T.; MOTTA, L. Custo de capital próprio em mercados emergentes: CAPM x D-CAPM. *Revista Eletrônica de Gestão e Organização*, v. 2, n. 3, 2004.

BRUNI, A. L. **Risco, retorno e equilíbrio: uma análise do modelo de precificação de ativos financeiros na avaliação de ações negociadas na Bovespa (1988-1996)**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 1998.

CASOTTI, F. P.; MOTTA, L. F. J. Oferta pública inicial no Brasil (2004-2006): uma abordagem da avaliação através de múltiplos e do custo de capital próprio. *Revista Brasileira de Finanças*, v. 6, n. 2, p. 157–204, 2008.

CASTRO Jr., F. H. F.; YOSHINAGA, C. E. Influência de comomentos em modelos de precificação: um estudo empírico com dados em painel. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 32., 2008, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

CASTRO SILVA, W. A. C.; PINTO, E. A.; MELO, A. O.; CAMARGOS, M. A. Análise comparativa entre o CAPM e o C-CAPM na precificação de índices acionários: evidências de mudanças nos coeficientes estimados de 2005 à 2008. In: Encontro Brasileiro de Finanças, 9., 2009, São Leopoldo. Anais... São Paulo: SBFIN, 2009.

_____ ; MELO, A. O.; PINTO, E. A. Capital asset pricing model (CAPM) e variantes em apreçamento de índices acionários da bolsa de valores de São Paulo. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 29., 2009, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009.

CATAPAN, Edilson A.; HEIDEMANN, Francisco G. **Variáveis essenciais a uma metodologia de cálculo do custo do capital**. PUC-PR. Caderno de Ciências Sociais Aplicadas, n. 4, mar. 2002.

CAPELLETO, Lucio Rodrigues; CORRAR, Luiz João. **Índices de Risco Sistêmico para o Setor Bancário**. Revista Contabilidade de Finanças. São Paulo, v. 19 n. 47, p. 6 – 18, maio/agosto 2008.

CERETTA, P. S.; COSTA JÚNIOR., N. C. A. Performance ajustada aos diversos níveis de risco. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 22., 1998, Foz do Iguaçu (PR). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 1998.

_____, P. S.; CATARINA, G. F. S.; MULLER, I. Modelo de precificação incorporando assimetria e curtose sistemática. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 31., 2007, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

CERETTA, P., COSTA JR, N. A. Quantas ações tornam um portfólio diversificado no mercado de capitais brasileiro? Mercado de Capitais: Análise empírica no Brasil, Coleção Coppead de Administração, 2000.

CORRAR, L. J., PAULO, E., DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2007.

Cotações históricas. 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: 22 nov. 2024.

DAMODARAN, Aswath. **Avaliação de investimentos**. São Paulo: Qualitymark, 2010.

FAMA, EUGENE F. & FRENCH, KENNETH R., 2007. **O modelo de precificação de ativos de capital: teoria e evidências**, RAE - Revista de Administração de Empresas, FGV-EAESP Escola de Administração de Empresas de São Paulo (Brazil), vol. 47(2), April.

FERREIRA, D. M. **O efeito contágio da crise do subprime no mercado acionário brasileiro**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 122 f., 2012.

GITMAN, Lawrence J.; MADURA, Jeff. **Administração financeira: uma abordagem gerencial**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

Índice Bovespa. B3. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/indice-ibovespa-ibovespa-estatisticas-historicas.htm>. Acesso em: 22 nov. 2024.

LEITE, H., SANVICENTE, A. Z. **Índice Bovespa: Um padrão para os Investimentos Brasileiros**. São Paulo: Atlas, 1995.

LINS, A. G.; SILVA, W. V.; GOMES, L.; MARQUES, S. Formulação de carteiras hipotéticas de ativos financeiros usando a técnica de análise de cluster. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 31., 2007, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

LINTNER, John. Security prices, risk, and maximal gains from diversification. **Journal of Finance**, v. 20, n. 4, p. 587-615, 1965.

LIRA, M. C.; ALMEIDA, S. A. **A volatilidade no mercado financeiro em tempos da pandemia do (novo) coronavírus e da covid-19: impactos e projeções.** Facit Business and Technology Journal, v. 1, n. 19, p.140–147, 2020.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **Journal of Finance**, v. 7, n.1, p. 77-91, 1952.

MARKOWITZ, H. **Portfolio selection: efficient diversification of investment.** New York: Wiley, 1959.

MAZER, L. P.; NAKAO, S. H. O impacto do nível de transparência no custo do capital próprio das empresas do Ibovespa. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 32., 2008, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

MOSSIN, J. **Equilibrium in a capital asset market.** *Econometrica*, v. 34, n. 4, p. 768-783, 1966.

MOTTA, Regis da Rocha.; CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

MOTTA, L. F. J.; FORTUNATO, G.; RUSSO, G. Custo de capital próprio em mercados emergentes: resultados de uma investigação empírica no Brasil com o Downside Risk. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 31., 2007, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

PENTEADO, Marco A., FAMÁ, Rubens. Será que o beta é o beta que queremos? Caderno de pesquisas em Administração. São Paulo, v. 09, n. 3, 2002.

ROCCA, C. A. **Revolução no mercado de capitais do Brasil: o crescimento recente é sustentável?.** Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2008.

ROCHMAN, R. R.; EID Jr, W. Fundos de investimento ativos e passivos no Brasil: comparando e determinando os seus desempenhos. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, 30., 2006, Salvador (BA). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2006.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira.** Tradução de: Antonio Zoratto Sanvicente. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002. Tradução de: Corporate Finance.

SALMASI, S. V. Governança corporativa e custo de capital próprio no Brasil. In: ENANPAD, 32., 2008, Rio de Janeiro (RJ). Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

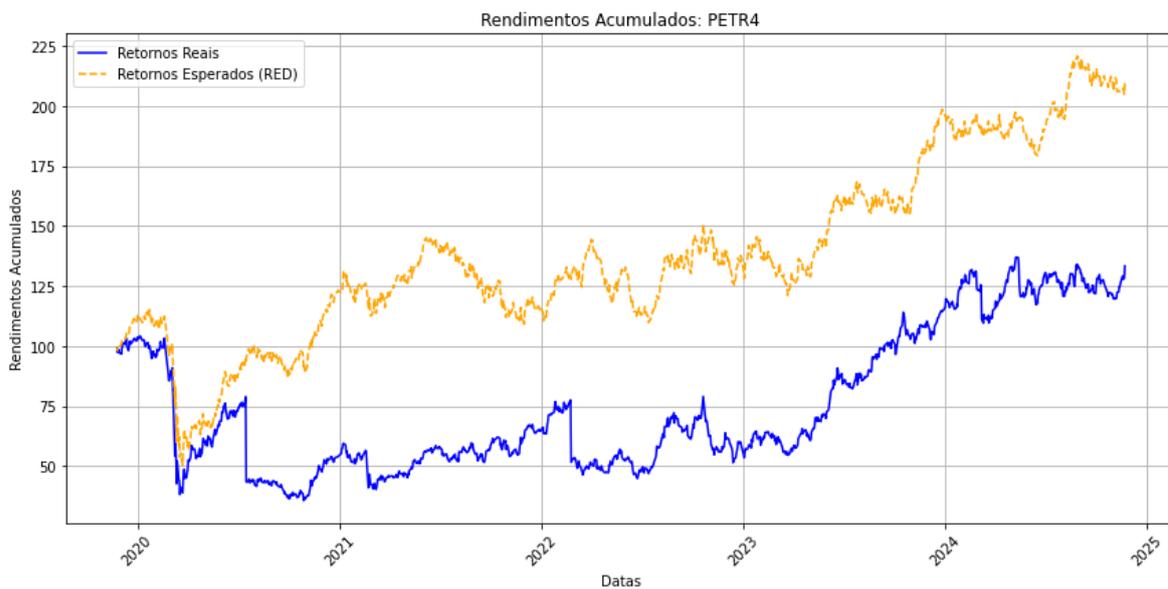
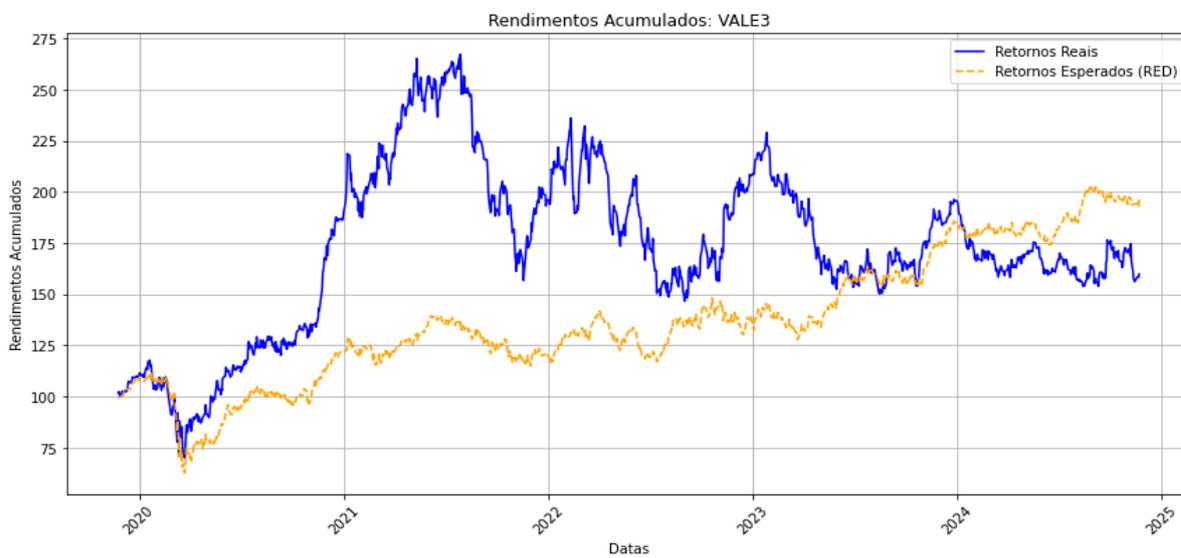
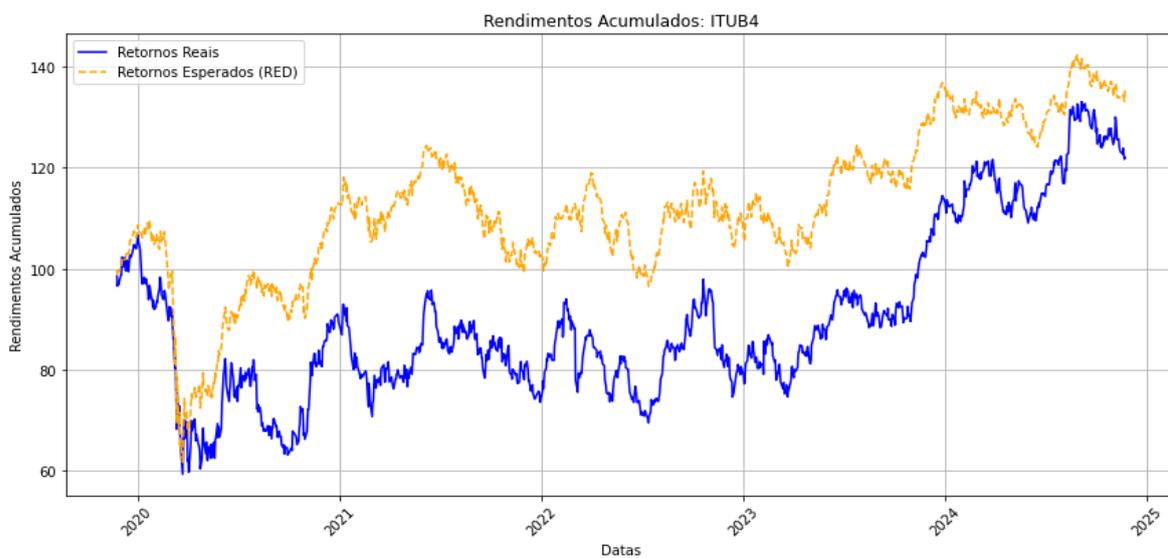
SHARPE, W. F. **A simplified model for portfolio analysis**. Management Science, v.9, n.2, p.277-293, Jan. 1963.

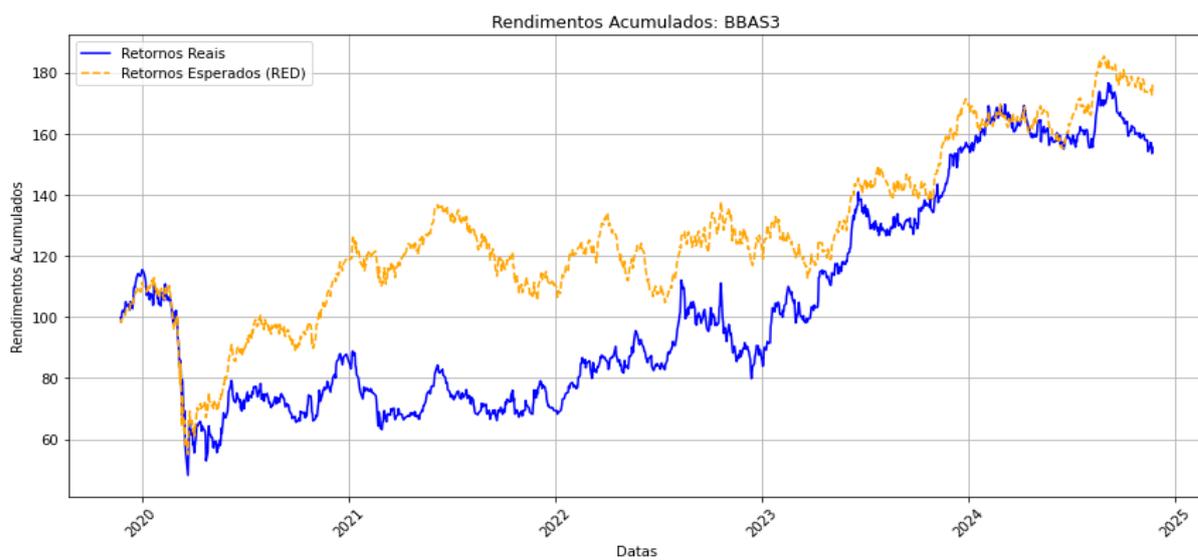
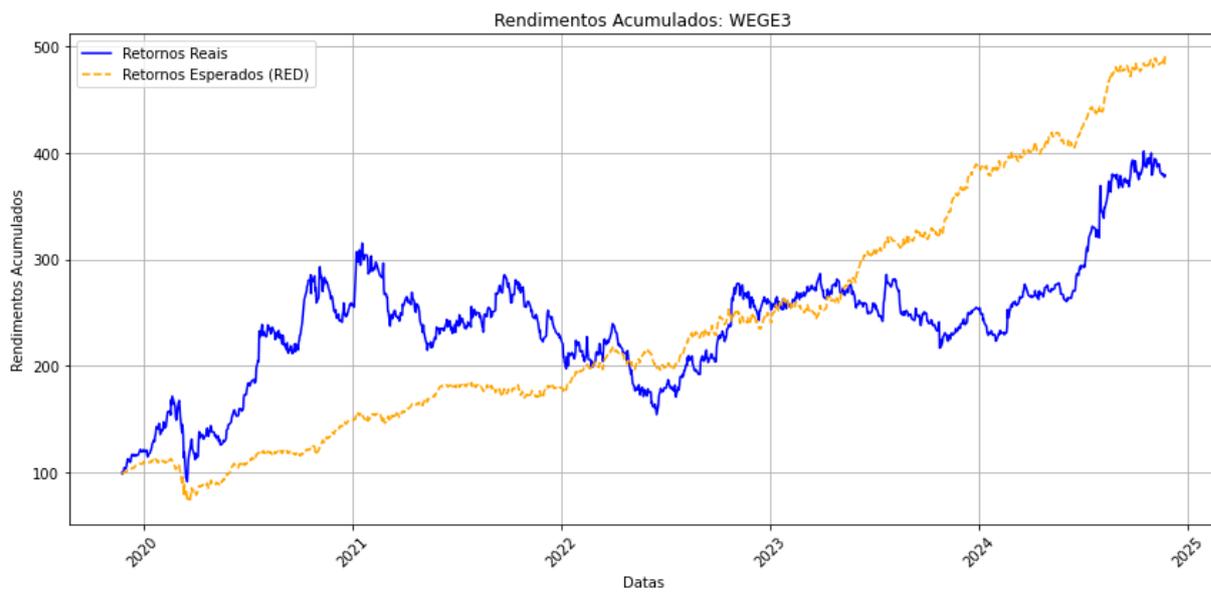
SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, v.19, p.425-442, Sept. 1964.

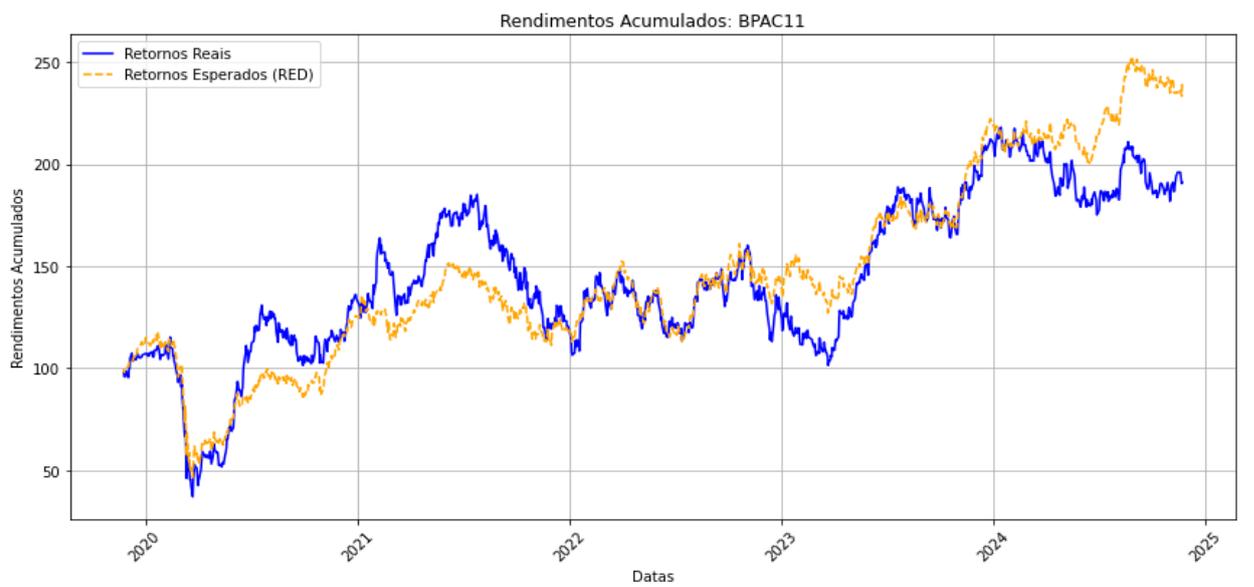
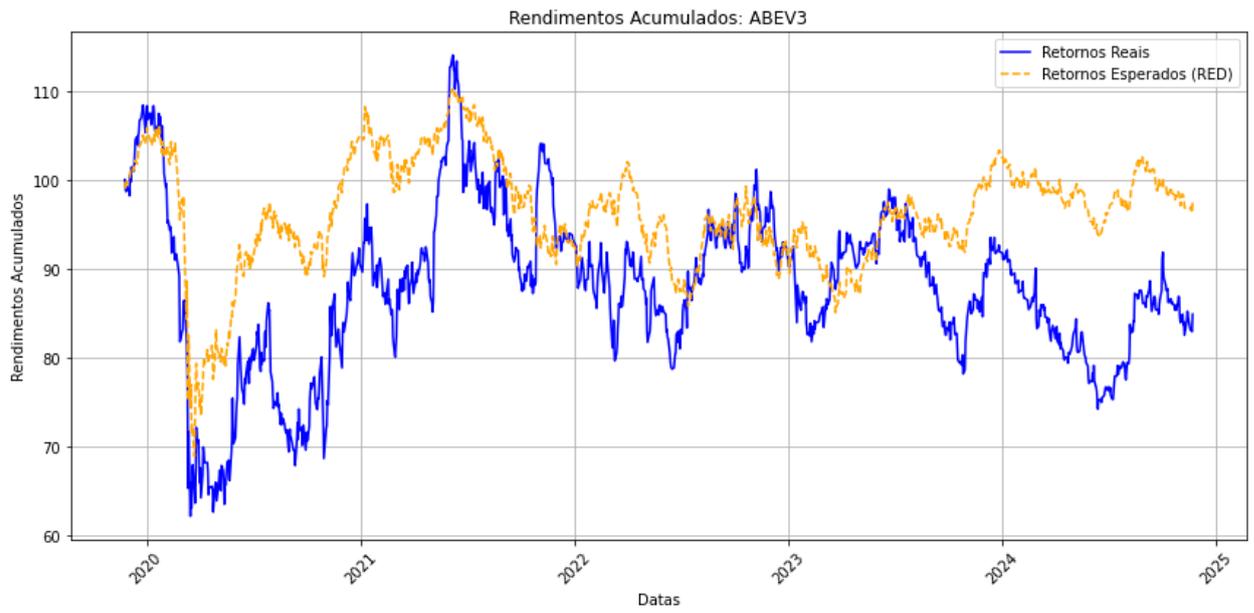
SILVEIRA, H. P., BARROS, L. A., FAMÁ, R. Aspectos da Teoria de Portfolios em Mercados Emergentes: Uma Análise de Aproximações para a Taxa Livre de Risco no Brasil. VI SEMEAD, 2003.

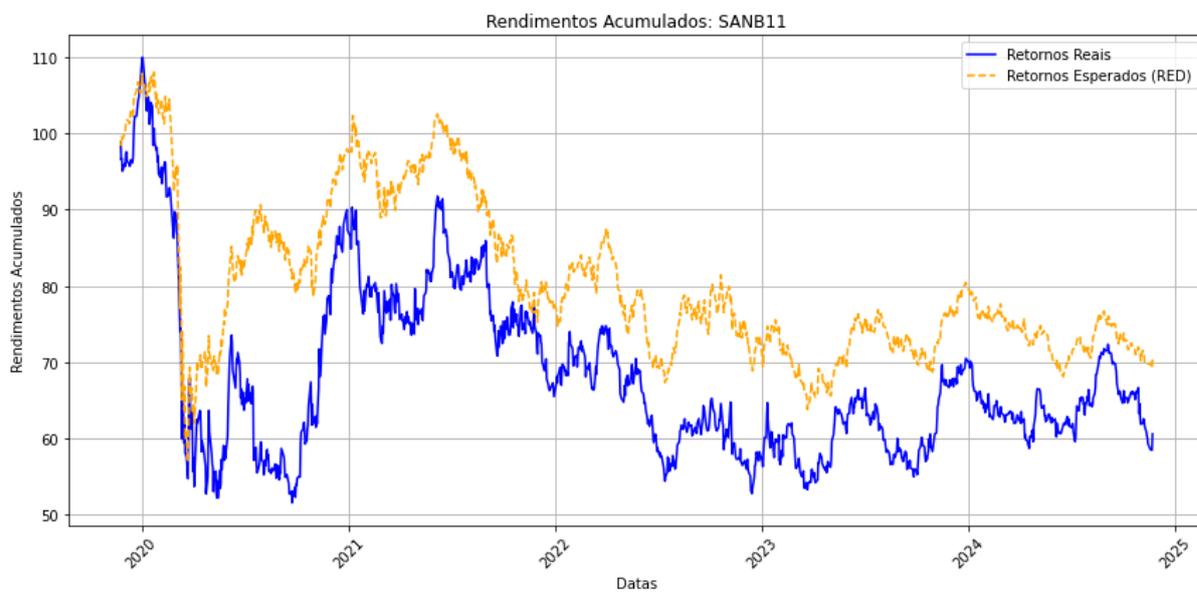
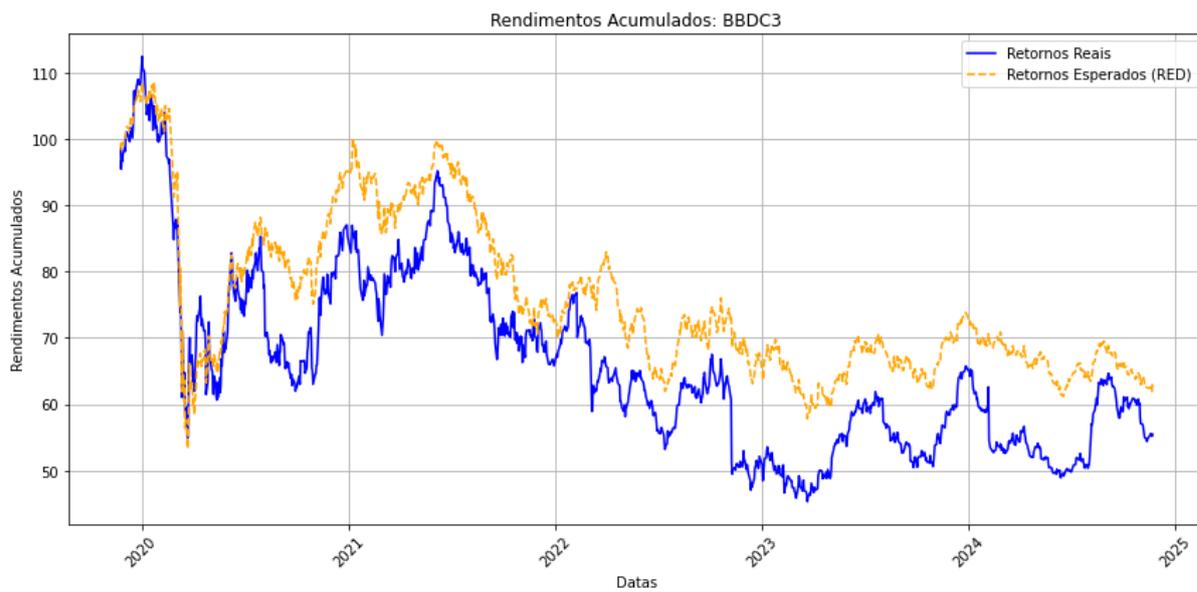
TAMBOSI FILHO, E.; COSTA JÚNIOR, N. C. A.; ROSSETTO, J. R. Testando o CAPM condicional nos mercados brasileiro e norte-americano. Revista de Administração Contemporânea, v. 10, n. 4, p. 143-168, out./dez., 2006.

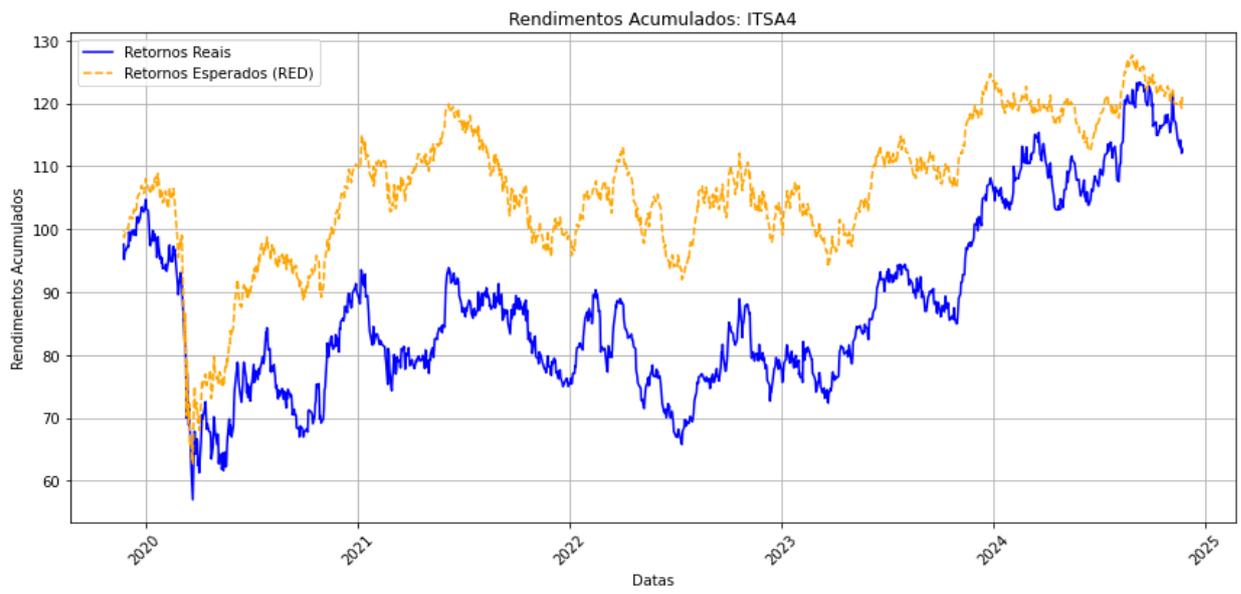
ANEXOS











Software: Python 3.12 (Spyder 5.4.3)

Script

```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import t

# Parâmetros
fator_acumulacao_cdi = 1.50110818 # Fator de Acumulação do CDI
dias_totais = 1246 # Total de dias (base para o cálculo do RLR)

# Calcular o Retorno Livre de Risco (RLR)
rlr = (fator_acumulacao_cdi) ** (1 / dias_totais) - 1

# Carregar a planilha Excel
file_path = "Database.xlsx" # Certifique-se de salvar o arquivo com este nome no mesmo
diretório do script
sheet_name = "RETORNOS"

# Ler os dados, ignorando a coluna de datas (A)
dados = pd.read_excel(file_path, sheet_name=sheet_name, index_col=0)

# Calcular a média e o desvio-padrão dos retornos diários
medias = dados.mean()
desvios_padrao = dados.std()

# Calcular o Beta por razão de Covariância e Variância
retorno_mercado = dados["IBOV"]
variacao_mercado = retorno_mercado.var()
betas_cov_var = {}

for ativo in dados.columns:
    if ativo != "IBOV":
        covariancia = dados[ativo].cov(retorno_mercado)
        beta = covariancia / variacao_mercado
        betas_cov_var[ativo] = beta

betas_cov_var["IBOV"] = 1

# Calcular Retornos em Excesso (REx) para cada ativo e o mercado
rex = dados.sub(rlr, axis=0)
rex_mercado = rex["IBOV"]

# Inicializar listas para armazenar os resultados
ativos = []
alfas = []
betas_regressao = []
r2_scores = []
```

```

estatisticas_t_alfa = []
rejeitar_h0_alfa = []
estatisticas_t_beta = []
rejeitar_h0_beta = []
somas_quadrados_diferencas = []

# Número de observações
n_observacoes = len(rex)

# Determinar o valor crítico da t-Student (bicaudal, 95%)
valor_critico = t.ppf(0.975, df=n_observacoes - 2)

for ativo in rex.columns:
    if ativo != "IBOV":
        # Dados da regressão
        x = rex_mercado.values.reshape(-1, 1)
        y = rex[ativo].values.reshape(-1, 1)
        reg = LinearRegression()
        reg.fit(x, y)
        alfa = reg.intercept_[0]
        beta = reg.coef_[0][0]
        r2 = reg.score(x, y) # Coeficiente de Determinação (R²)

        # Calcular os resíduos
        residuos = y - reg.predict(x)
        sse = np.sum(residuos ** 2) # Soma dos Quadrados dos Resíduos

        # Erros padrões
        erro_padrao_alfa = np.sqrt(sse / (n_observacoes - 2)) * np.sqrt(1 / n_observacoes +
        (rex_mercado.mean() ** 2) / np.sum((rex_mercado - rex_mercado.mean()) ** 2))
        erro_padrao_beta = np.sqrt(sse / (n_observacoes - 2)) / np.sqrt(np.sum((rex_mercado -
        rex_mercado.mean()) ** 2))

        # Estatísticas t
        estatistica_t_alfa = alfa / erro_padrao_alfa
        estatistica_t_beta = (beta - 1) / erro_padrao_beta # Para testar Beta = 1

        # Determinar se rejeitamos a hipótese nula
        rejeitar_alfa = abs(estatistica_t_alfa) > valor_critico
        rejeitar_beta = abs(estatistica_t_beta) > valor_critico

        # Armazenar os resultados
        ativos.append(ativo)
        alfas.append(alfa)
        betas_regressao.append(beta)
        r2_scores.append(r2)
        estatisticas_t_alfa.append(estatistica_t_alfa)
        rejeitar_h0_alfa.append(rejeitar_alfa)
        estatisticas_t_beta.append(estatistica_t_beta)
        rejeitar_h0_beta.append(rejeitar_beta)

# Calcular os retornos esperados diários (RED) e as diferenças para cada ativo

```

```

for ativo in rex.columns:
    if ativo != "IBOV":
        # Calcular RED = rlr + alfa + Beta * rex_mercado
        red = rlr + 0*alfas[ativos.index(ativo)] + betas_regressao[ativos.index(ativo)] * rex_mercado

        # Diferenças entre retorno real e retorno esperado (diárias)
        diferencas = dados[ativo] - red

        # Soma dos quadrados das diferenças
        sqd = np.sum(diferencas ** 2)

        # Armazenar a soma dos quadrados das diferenças
        somas_quadrados_diferencas.append(sqd)

# Adicionar valor para o mercado (IBOV), que não tem RED calculado
somas_quadrados_diferencas.append(0) # Por definição, não faz sentido para IBOV

# Adicionar o mercado IBOV na tabela final
ativos.append("IBOV")
alfas.append(0)
betas_regressao.append(1)
r2_scores.append(1)
estatisticas_t_alfa.append(0)
rejeitar_h0_alfa.append(False)
estatisticas_t_beta.append(0)
rejeitar_h0_beta.append(False)

# Criar um DataFrame com os resultados finais
resultados_gerais = pd.DataFrame({
    "Ativo": ativos,
    "Média (%)": medias * 100,
    "Desvio Padrão (%)": desvios_padrao * 100,
    "Beta (Cov/Var)": [betas_cov_var[ativo] for ativo in ativos],
    "Alfa (Regressão)": alfas,
    "Beta (Regressão)": betas_regressao,
    "R² (Regressão)": r2_scores,
    "Estatística t (Alfa)": estatisticas_t_alfa,
    "Rejeitar H0 (Alfa=0)": rejeitar_h0_alfa,
    "Estatística t (Beta)": estatisticas_t_beta,
    "Rejeitar H0 (Beta=1)": rejeitar_h0_beta,
    "Soma dos Quadrados das Diferenças": somas_quadrados_diferencas
})

# Exibir a tabela no console
print(resultados_gerais)

# Salvar os resultados em um arquivo Excel atualizado
resultados_gerais.to_excel("resultados_finaisF.xlsx", index=False)
print("Os resultados finais foram salvos no arquivo 'resultados_finaisF.xlsx'.")

# Calcular o Índice de Sharpe (IS) para cada ativo, incluindo IBOV
indices_sharpe = []

```

```

for ativo in resultados_gerais["Ativo"]:
    retorno_medio = resultados_gerais.loc[resultados_gerais["Ativo"] == ativo, "Média (%)"].values[0] / 100
    desvio_padrao = resultados_gerais.loc[resultados_gerais["Ativo"] == ativo, "Desvio Padrão (%)"].values[0] / 100
    is_valor = (retorno_medio - rlr) / desvio_padrao if desvio_padrao > 0 else 0 # Prevenir divisão por zero
    indices_sharpe.append(is_valor)

```

```

# Adicionar os Índices de Sharpe à tabela final
resultados_gerais["Índice de Sharpe"] = indices_sharpe

```

```

# -----
# Geração dos gráficos
# -----

```

```

# Gráfico 1: Retornos diários do mercado (IBOV)
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(dados.index, retorno_mercado, label="IBOV", color="blue")
plt.title("Retornos Diários do Mercado (IBOV)")
plt.xlabel("Datas")
plt.ylabel("Retornos Diários (%)")
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_retornos_diarios_IBOV.png")
plt.show()

```

```

# Gráfico 2: Dispersão (Desvio Padrão x Média) dos Ativos e Mercado
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.scatter(resultados_gerais["Desvio Padrão (%)"], resultados_gerais["Média (%)"],
            color="green", s=100)
for i, ativo in enumerate(resultados_gerais["Ativo"]):
    plt.text(resultados_gerais["Desvio Padrão (%)"][i] + 0.005, # Ajuste horizontal
            resultados_gerais["Média (%)"][i] + 0.005, # Ajuste vertical
            ativo, fontsize=9)
plt.title("Dispersão dos Ativos: Média vs Desvio Padrão")
plt.xlabel("Desvio Padrão (%)")
plt.ylabel("Média (%)")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_dispersao_media_desvio_corrigido.png")
plt.show()

```

```

# Gráfico 3: Valores dos Betas (Regressão)
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.bar(resultados_gerais["Ativo"], resultados_gerais["Beta (Regressão)"], color="orange")
for i, beta in enumerate(resultados_gerais["Beta (Regressão)"]):
    plt.text(i, beta + 0.02, f"{beta:.4f}", ha="center", fontsize=9, color="black")

```

```

plt.title("Valores dos Betas (Regressão)")
plt.xlabel("Ativos")
plt.ylabel("Beta")
plt.grid(axis="y")
plt.xticks(rotation=45) # Girar os rótulos no eixo X para melhor visualização
plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_betas_regressao_com_rotulos.png")
plt.show()

# Gráfico 4: Dispersão dos Alfas (Regressão)
resultados_ordenados = resultados_gerais.sort_values("Alfa (Regressão)")
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.scatter(resultados_ordenados["Ativo"], resultados_ordenados["Alfa (Regressão)"],
            color="purple", s=100)
for i, ativo in enumerate(resultados_ordenados["Ativo"]):
    plt.text(i, resultados_ordenados["Alfa (Regressão)"].iloc[i] + 0.00005, ativo, fontsize=9,
            ha="center")
plt.title("Dispersão dos Alfas (Regressão) - Ordenado")
plt.xlabel("Ativos (Ordenados por Alfa)")
plt.ylabel("Alfa")
plt.grid(True, axis="y")
plt.xticks(rotation=45) # Girar os rótulos no eixo X para melhor visualização
plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_alfas_regressao_ordenado.png")
plt.show()

# Gráfico 5: Composição do Risco Total (Risco Sistemático x Risco Não Sistemático)
risco_sistemático = np.array(r2_scores) * 100 # R² multiplicado por 100
risco_nao_sistemático = 100 - risco_sistemático # Complemento de 100%
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.bar(ativos, risco_sistemático, label="Risco Sistemático (%)", color="blue")
plt.bar(ativos, risco_nao_sistemático, bottom=risco_sistemático, label="Risco Não Sistemático (%)", color="orange")
plt.title("Composição do Risco Total: Sistemático x Não Sistemático")
plt.xlabel("Ativos")
plt.ylabel("Composição do Risco (%)")
plt.xticks(rotation=45)
plt.ylim(0, 110) # Garantir que o gráfico não ultrapasse 100%
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.savefig("grafico_composicao_risco_empilhado.png")
plt.show()

# Gráficos 6: Rendimentos Acumulados Reais vs Esperados (RED)
for ativo in rex.columns:
    if ativo != "IBOV":
        # Calcular os retornos esperados diários (RED)
        red = rlr + alfas[ativos.index(ativo)] + betas_regressao[ativos.index(ativo)] * rex_mercado

        # Calcular rendimentos acumulados reais
        retornos_reais = dados[ativo] # Converter para formato decimal
        retornos_reais = retornos_reais[::-1] # Inverter a ordem para começar da data mais antiga

```

```

rendimentos_acumulados_reais = [100] # Valor inicial
for retorno in retornos_reais:
    rendimentos_acumulados_reais.append(rendimentos_acumulados_reais[-1] * (1 +
retorno))
    rendimentos_acumulados_reais = rendimentos_acumulados_reais[::-1] # Reverter para
exibição no gráfico

# Calcular rendimentos acumulados esperados (RED)
retornos_esperados = red[::-1] # Inverter a ordem para começar da data mais antiga
rendimentos_acumulados_esperados = [100] # Valor inicial
for retorno in retornos_esperados:
    rendimentos_acumulados_esperados.append(rendimentos_acumulados_esperados[-1]
* (1 + retorno))
    rendimentos_acumulados_esperados = rendimentos_acumulados_esperados[::-1] #
Reverter para exibição no gráfico

# Plotar o gráfico
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(dados.index, rendimentos_acumulados_reais[::-1], label="Retornos Reais",
color="blue")
plt.plot(dados.index, rendimentos_acumulados_esperados[::-1], label="Retornos
Esperados (RED)", color="orange", linestyle="--")

# Configurar o gráfico
plt.title(f"Rendimentos Acumulados: {ativo}")
plt.xlabel("Datas")
plt.ylabel("Rendimentos Acumulados")
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()

# Salvar o gráfico
plt.savefig(f"grafico_rendimentos_acumulados_{ativo}.png")
plt.show()

```

Gráfico 7: Dispersão (Beta x Retorno Médio) com Linha SML

```

plt.figure(figsize=(12, 6))
# Dispersão dos pontos dos ativos e mercado (Beta x Média)
plt.scatter(resultados_gerais["Beta (Regressão)"], resultados_gerais["Média (%)"],
color="blue", s=100, label="Ativos e Mercado")

```

Adicionar rótulos aos pontos

```

for i, ativo in enumerate(resultados_gerais["Ativo"]):
    plt.text(resultados_gerais["Beta (Regressão)"][i] + 0.02,
resultados_gerais["Média (%)"][i],
ativo, fontsize=9)

```

Construir a linha SML

```

# Ponto inicial da linha: (x = 0, y = rlr * 100)
x_sml = [0, 1] # Betas iniciais para a SML

```

```
y_sml = [rlr * 100, resultados_gerais.loc[resultados_gerais["Ativo"] == "IBOV", "Média (%)"].values[0]] # Retornos correspondentes
```

```
# Estender a linha além do ponto x=1
```

```
x_sml.extend([2]) # Ajuste para expansão da linha (você pode aumentar se necessário)
```

```
y_sml.extend([rlr * 100 + (y_sml[1] - y_sml[0]) * 2]) # Mantém a inclinação da linha
```

```
# Plotar a linha SML
```

```
plt.plot(x_sml, y_sml, color="orange", linestyle="-", label="Linha SML (Security Market Line)")
```

```
# Adicionar os pontos da SML (RLR e IBOV) como círculos preenchidos
```

```
plt.scatter([0, 1], [rlr * 100, y_sml[1]], color="orange", s=150, label="Pontos SML (RLR e IBOV)")
```

```
# Configurar o gráfico
```

```
plt.title("Dispersão dos Ativos (Beta x Retorno Médio) com SML")
```

```
plt.xlabel("Beta (Regressão)")
```

```
plt.ylabel("Retorno Médio (%)")
```

```
plt.axhline(rlr * 100, color="gray", linestyle="--", label="RLR (Taxa Livre de Risco)") # Linha horizontal no RLR
```

```
plt.xlim(0, None) # Define o mínimo do eixo X como 0
```

```
plt.grid(True)
```

```
plt.legend()
```

```
plt.tight_layout()
```

```
# Salvar o gráfico
```

```
plt.savefig("grafico_dispersao_beta_media_com_sml.png")
```

```
plt.show()
```

```
# Gráfico 8: Índice de Sharpe (Barras Horizontais)
```

```
plt.figure(figsize=(12, 6))
```

```
# Ordenar os ativos pelo valor do Índice de Sharpe
```

```
resultados_ordenados_sharpe = resultados_gerais.sort_values("Índice de Sharpe", ascending=False)
```

```
# Criar o gráfico de barras horizontais
```

```
plt.barh(resultados_ordenados_sharpe["Ativo"], resultados_ordenados_sharpe["Índice de Sharpe"], color="blue")
```

```
# Adicionar rótulos com os valores do Índice de Sharpe
```

```
for i, valor in enumerate(resultados_ordenados_sharpe["Índice de Sharpe"]):
```

```
    plt.text(valor + 0.001, i, f"{valor:.4f}", va="center", fontsize=9)
```

```
# Configurar o gráfico
```

```
plt.title("Índice de Sharpe por Ativo")
```

```
plt.xlabel("Índice de Sharpe")
```

```
plt.ylabel("Ativos")
```

```
plt.grid(axis="x", linestyle="--", alpha=0.7)
```

```
plt.tight_layout()
```

```
# Salvar o gráfico
```

```
plt.savefig("grafico_indice_sharpe.png")
plt.show()
```

```
# -----
```

```
# Otimização da Carteira de Risco
```

```
# -----
```

```
from scipy.optimize import minimize
```

```
# Dados iniciais
```

```
ativos_e_ibov = resultados_gerais["Ativo"].values
```

```
retornos_medios = resultados_gerais["Média (%)"].values
```

```
desvios_padrao = resultados_gerais["Desvio Padrão (%)"].values
```

```
# Retornos diários (para calcular a carteira ótima)
```

```
retornos_diarios = dados[ativos_e_ibov]
```

```
# Função para calcular o Índice de Sharpe da carteira
```

```
def indice_sharpe_carteira(pesos):
```

```
    retorno_carteira = np.sum(pesos * retornos_medios)
```

```
    desvio_carteira = np.sqrt(np.dot(pesos.T, np.dot(retornos_diarios.cov(), pesos)))
```

```
    return -(retorno_carteira - rlr) / desvio_carteira # Negativo para maximização
```

```
# Restrições
```

```
restricoes = [
```

```
    {"type": "eq", "fun": lambda pesos: np.sum(pesos) - 1}, # Pesos somam 1
```

```
]
```

```
# Limites dos pesos
```

```
limites = [(0, 1) for _ in ativos_e_ibov] # Pesos entre 0 e 1
```

```
# Chute inicial (pesos iguais)
```

```
pesos_iniciais = np.ones(len(ativos_e_ibov)) / len(ativos_e_ibov)
```

```
# Otimização
```

```
resultado = minimize(
```

```
    indice_sharpe_carteira,
```

```
    pesos_iniciais,
```

```
    method="SLSQP",
```

```
    bounds=limites,
```

```
    constraints=restricoes
```

```
)
```

```
# Pesos ótimos
```

```
pesos_otimos = resultado.x
```

```
print("Pesos ótimos da carteira:", pesos_otimos)
```

```
# Calcular o retorno diário da carteira ótima
```

```
retornos_diarios_carteira_otima = np.dot(retornos_diarios, pesos_otimos)
```

```

# Calcular o retorno médio e desvio-padrão da carteira ótima
retorno_medio_carteira_otima = np.mean(retornos_diarios_carteira_otima)
desvio_padrao_carteira_otima = np.std(retornos_diarios_carteira_otima)

# Índice de Sharpe da carteira ótima
indice_sharpe_carteira_otima = (retorno_medio_carteira_otima - rlr) /
desvio_padrao_carteira_otima
print("Índice de Sharpe da carteira ótima:", indice_sharpe_carteira_otima)

# Calcular os retornos em excesso da carteira ótima
retornos_excesso_carteira_otima = retornos_diarios_carteira_otima - rlr

# Realizar a regressão linear para a carteira ótima
x = rex_mercado.values.reshape(-1, 1) # Retornos em excesso do mercado
y = retornos_excesso_carteira_otima.reshape(-1, 1) # Retornos em excesso da carteira ótima
reg = LinearRegression()
reg.fit(x, y)

# Obter os coeficientes da regressão
alfa_carteira = reg.intercept_[0]
beta_carteira = reg.coef_[0][0]
r2_carteira = reg.score(x, y)

# Calcular os resíduos e o erro padrão
residuos = y - reg.predict(x)
sse = np.sum(residuos ** 2) # Soma dos Quadrados dos Resíduos
n_observacoes = len(retornos_diarios_carteira_otima)
erro_padrao_alfa = np.sqrt(sse / (n_observacoes - 2)) * np.sqrt(1 / n_observacoes +
(rex_mercado.mean() ** 2) / np.sum((rex_mercado - rex_mercado.mean()) ** 2))
erro_padrao_beta = np.sqrt(sse / (n_observacoes - 2)) / np.sqrt(np.sum((rex_mercado -
rex_mercado.mean()) ** 2))

# Calcular estatísticas t
estatistica_t_alfa = alfa_carteira / erro_padrao_alfa
estatistica_t_beta = beta_carteira / erro_padrao_beta

# Determinar os valores críticos para o teste bicaudal
valor_critico_t = t.ppf(0.975, df=n_observacoes - 2)

# Testar hipóteses
rejeitar_h0_alfa = abs(estatistica_t_alfa) > valor_critico_t # H0: Alfa = 0
rejeitar_h0_beta = abs(estatistica_t_beta) > valor_critico_t # H0: Beta = 0

# Adicionar os resultados da carteira ótima à tabela
resultados_carteira_otima = {
    "Ativo": "Carteira Ótima",
    "Média (%)": retorno_medio_carteira_otima * 100,
    "Desvio Padrão (%)": desvio_padrao_carteira_otima * 100,
    "Beta (Cov/Var)": None, # Não calculado diretamente para a carteira
    "Alfa (Regressão)": alfa_carteira,
    "Beta (Regressão)": beta_carteira,

```

```

"R² (Regressão)": r2_carteira,
"Estatística t (Alfa)": estatistica_t_alfa,
"Rejeitar H0 (Alfa=0)": rejeitar_h0_alfa,
"Estatística t (Beta)": estatistica_t_beta,
"Rejeitar H0 (Beta=1)": rejeitar_h0_beta, # Testando beta contra 1 para SML
"Índice de Sharpe": indice_sharpe_carteira_otima,
"Soma dos Quadrados das Diferenças": None # Não aplicável para a carteira ótima
}

# Criar o DataFrame para a carteira ótima
df_carteira_otima = pd.DataFrame([resultados_carteira_otima])

# Concatenar a linha da carteira ótima ao DataFrame existente
resultados_gerais = pd.concat([resultados_gerais, df_carteira_otima], ignore_index=True)

# Salvar os resultados atualizados na planilha
resultados_gerais.to_excel("resultados_finaisF.xlsx", index=False)
print("Os resultados atualizados foram salvos no arquivo 'resultados_finaisF.xlsx'.")

# -----
# Novos Gráficos da Otimização
# -----

# Gráfico 9: Pesos da Carteira Ótima
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.bar(ativos_e_ibov, pesos_otimos, color="blue")

# Adicionar rótulos com os valores dos pesos
for i, peso in enumerate(pesos_otimos):
    plt.text(i, peso + 0.02, f"{peso:.4f}", ha="center", fontsize=9)

# Configurar o gráfico
plt.title("Pesos dos Ativos na Carteira Ótima de Risco")
plt.xlabel("Ativos")
plt.ylabel("Pesos")
plt.ylim(0, 1.1) # Limite superior ligeiramente acima de 1
plt.grid(axis="y", linestyle="--", alpha=0.7)
plt.tight_layout()

# Salvar o gráfico
plt.savefig("grafico_pesos_carteira_otima.png")
plt.show()

# Gráfico 11: Dispersão (Beta x Retorno Médio) com SML da Carteira Ótima
plt.figure(figsize=(12, 6))

# Atualizar os retornos médios com a carteira ótima
retorno_medio_carteira_otima_percent = retorno_medio_carteira_otima * 100

```

```

# Adicionar os pontos da dispersão
plt.scatter(resultados_gerais["Beta (Regressão)"], resultados_gerais["Média (%)"],
color="blue", s=100, label="Ativos")

# Adicionar a carteira ótima como um ponto
plt.scatter([beta_carteira], [retorno_medio_carteira_otima_percent], color="red", s=150,
label="Carteira Ótima", zorder=5)

# Adicionar rótulos aos pontos
for i, ativo in enumerate(resultados_gerais["Ativo"]):
    plt.text(resultados_gerais["Beta (Regressão)"][i] + 0.02,
resultados_gerais["Média (%)"][i],
ativo, fontsize=9)
plt.text(beta_carteira + 0.02, retorno_medio_carteira_otima_percent, "Carteira Ótima",
fontsize=9, color="red")

# Construir a nova linha SML
x_sml = [0, beta_carteira, 2]
y_sml = [rlr * 100, retorno_medio_carteira_otima_percent,
retorno_medio_carteira_otima_percent + (retorno_medio_carteira_otima_percent - rlr * 100)]
plt.plot(x_sml, y_sml, color="green", linestyle="--", label="SML (Carteira Ótima)")

# Configurar o gráfico
plt.title("Dispersão dos Ativos (Beta x Retorno Médio) com SML da Carteira Ótima")
plt.xlabel("Beta (Regressão)")
plt.ylabel("Retorno Médio (%)")
plt.axhline(rlr * 100, color="gray", linestyle="--", label="RLR (Taxa Livre de Risco)")
plt.xlim(0, None)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()

# Salvar o gráfico
plt.savefig("grafico_sml_carteira_otima.png")
plt.show()

# Gráfico 12: Dispersão (Beta x Soma dos Quadrados das Diferenças)
plt.figure(figsize=(12, 6))

# Filtrar os dados para excluir o IBOV
ativos_sem_ibov = resultados_gerais[resultados_gerais["Ativo"] != "IBOV"]

# Pegar os valores de Beta e SQD
betas = ativos_sem_ibov["Beta (Regressão)"]
sqd = ativos_sem_ibov["Soma dos Quadrados das Diferenças"]

# Criar o gráfico de dispersão
plt.scatter(betas, sqd, color="blue", s=100, label="Ativos")

# Adicionar rótulos aos pontos

```

```
for i, ativo in enumerate(ativos_sem_ibov["Ativo"]):
    plt.text(betas.iloc[i] + 0.02, sqd.iloc[i], ativo, fontsize=9)

# Configurar o gráfico
plt.title("Dispersão dos Ativos: Beta x Soma dos Quadrados das Diferenças")
plt.xlabel("Beta (Regressão)")
plt.ylabel("Soma dos Quadrados das Diferenças")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()

# Salvar o gráfico
plt.savefig("grafico_beta_vs_sqd.png")
plt.show()
```