

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**RISCO DE DEMANDA E ABANDONO CONTRATUAL: UMA
ANÁLISE POR OPÇÕES REAIS DA CONCESSÃO DA
RODOVIA BR-381/262/MG/ES**

FELIPE DO AMARAL COSTA

ORIENTADOR: Dsc. CARLOS HENRIQUE MARQUES DA ROCHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO: T.DM – 004/2020
BRASÍLIA / DF: SETEMBRO 2020**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**RISCO DE DEMANDA E ABANDONO CONTRATUAL: UMA ANÁLISE
POR OPÇÕES REAIS DA CONCESSÃO DA RODOVIA
BR-381/262/MG/ES**

FELIPE DO AMARAL COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:

**CARLOS HENRIQUE MARQUES DA ROCHA, PhD (PPGT/FT – UnB)
(ORIENTADOR)**

**SERGIO RONALDO GRANEMANN, PhD (PPGT/FT – UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JOÃO CARLOS FÉLIX SOUZA, PhD (FT - UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 17 de SETEMBRO de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

COSTA, FELIPE DO AMARAL

Risco de Demanda e Abandono Contratual: uma Análise por Opções Reais da Concessão da Rodovia BR-381/262/MG/ES [Distrito Federal] 2020.

xiii, 116 p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Transporte - PPGT, 2020)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Opções Reais

2. Concessões rodoviárias

3. Abandono contratual

4. Risco de demanda

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSTA, F. A. (2020) *Risco de Demanda e Abandono Contratual: uma Análise por Opções Reais da Concessão da Rodovia BR-381/262/MG/ES*. Publicação T.DM-004/2020, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 116 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe do Amaral Costa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Risco de Demanda e Abandono Contratual: uma Análise por Opções Reais da Concessão da Rodovia BR-381/262/MG/ES

GRAU: Mestre ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

*Dedico este trabalho a minha maior
incentivadora e meu maior exemplo,
minha mãe.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a minha base familiar - minha mãe, avó, madrinha e ao Márcio. Sem o esforço de vocês, essa e outras conquistas jamais seriam possíveis.

Ao meu amor, Mariana, por compartilhar mais esse sonho comigo e o pelo apoio incondicional. Sou grato pela sua compreensão nas inúmeras oportunidades em que deixamos de fazer algo para que pudesse dar prosseguimento com este trabalho. Agradeço também a sua participação direta com a primorosa revisão ortográfica.

Agradeço a todas as pessoas incríveis que tive o prazer de conhecer durante a minha vida profissional e contribuíram de alguma forma nesta dissertação. Nomeadamente, agradeço à Marília Azevedo e Paulo Borges por me apresentarem e despertarem o meu interesse pelas obras de infraestrutura e o Gerenciamento de Riscos. Ao Fernando Nogueira e o Prof. Silvio do Santos pela oportunidade e por me introduzirem à área de Transportes. Ao Marcos Nascimento, por ter “segurado as pontas” no trabalho todas as vezes que tive que sair no meio do expediente para frequentar as aulas.

Aos professores e colegas do PPGT, pela troca e todo o aprendizado nos últimos anos. À Camila, pelo pronto suporte que recebi de todas as dúvidas e demandas que tive durante o programa. Aos membros da banca examinadora, professores Sérgio Granemann, João Carlos Félix Souza e Pastor Taco, por aceitarem o convite e pelas suas contribuições.

Por fim, mas não menos importante, ao Professor Carlos Henrique. Lembro-me, ainda em 2016, quando me ocorreu a ideia de cursar o Mestrado, via nele a figura do orientador ideal para a linha de pesquisa que queria seguir. Agradeço por ter aceitado essa orientação e a confiança em mim depositada. Foi uma satisfação e privilégio tê-lo como orientador. Muito obrigado pela dedicação, disponibilidade e, sem dúvidas, por ter me apresentado ao fascinante mundo das opções reais. Foi um período de aprendizado intenso, com muitas recomendações de leitura e discussões produtivas, que levarei comigo como o mais valioso desse ciclo que se encerra.

RESUMO

Esta dissertação avalia a relação entre risco de demanda e abandono contratual de concessões rodoviárias à luz da promulgação da Lei da Relicitação (Lei nº 13.448/2017) e subsequentes alterações na regulamentação. O abandono contratual é uma flexibilidade gerencial existente em contratos desse tipo e pode agregar valor ao projeto, uma vez que o concessionário deve ser indenizado pelos investimentos realizados, independente da origem da rescisão. A teoria das opções reais foi utilizada para modelagem da opção de abandono da concessão da BR-381-262/MG/ES. O projeto, ainda em fase de licitação, prevê a concessão do trecho rodoviário por um prazo de 30 anos. São esperados investimentos na ordem de R\$ 9,12 bilhões, sendo R\$ 5,86 bilhões em obras de ampliação do sistema viário, divididos em duas etapas. Na primeira etapa, prevista para os anos 3 ao 8, serão realizados investimentos no montante de R\$ 3,03 bilhões. Já na segunda etapa – entre os anos 15 e 20 – são previstos investimentos na ordem de R\$ 2,83 bilhões. A partir do fluxo de caixa esperado para o projeto e dados históricos de concessões congêneres sobre o risco de demanda, o modelo binomial foi aplicado para precificação da opção. Nessas condições de incerteza, verificou-se que a opção agrega valor substancial ao projeto, em torno de R\$ 2,60 bilhões. A análise de sensibilidade foi aplicada para testar o comportamento que o percentual de multa aplicada sob o montante da indenização, valor presente e a volatilidade do projeto exercem sobre o modelo, sendo possível constatar que as duas primeiras afetam sensivelmente o valor da opção. Este trabalho contribui para um melhor entendimento sobre a relação entre as incertezas envolvidas, o abandono do projeto e o valor agregado criado. É importante ter conhecimento prévio sobre a questão do abandono contratual para definições de valores de indenizações para estruturação de provisões.

ABSTRACT

This dissertation assesses the relationship between demand risk and contractual abandonment of road concessions according to recent changes in Brazilian legislation (Law #13.448/2018) and subsequent changes in regulation. Contractual abandonment is an existing managerial flexibility pertaining to road concession and can add value to the project since the concessionaire, according to the law, must be compensated for the investments made, regardless the termination origin. The real options theory was applied to model roadway BR-381-262/MG/ES concession's abandonment option. The project, currently in the bidding phase, is a 30-year road concession. Investments in the order of R\$ 9.12 billion are expected, with R\$ 5.86 billion in works to expand the road system, divided into two stages. In the first, scheduled for years 3 to 8, investments will be made in the amount of R\$ 3.03 billion. In the second stage - between the years 15 and 20 - investments of approximately R\$ 2.83 billion are expected. Based on the expected cash flow for the project and historical data on demand risk for similar projects, the binomial model was applied to price the option. Under these conditions of uncertainty, it was found that the option adds substantial value to the project, around R\$ 2.60 billion. The sensitivity analysis was applied to test the behavior of 3 variables on the model: the percentage of fine applied under the amount of indemnity, present value and volatility. It was found that the first two significantly affect the value of the option. This work contributes to a better understanding of the relationship among uncertainties, the abandonment of the project and the added value. It is important to have prior knowledge on the issue of contractual abandonment to define optimal levels of incentives and indemnities for provision purposes.

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Definição do Problema	4
1.3. Hipótese	5
1.4. Objetivo	5
1.5. Justificativa	5
1.6. Estrutura da Dissertação	7
2. Concessões Rodoviárias	9
2.1. Histórico dos Programas de Concessão no Brasil	11
2.1.1. Programa de Concessões Rodoviárias do Governo Federal	11
2.1.2. Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo	19
2.2. Riscos em Projetos de Concessões	21
2.2.1. Risco de Demanda.....	24
2.3. Término Antecipado de Concessões	29
2.3.1. Análise Financeira.....	32
2.3.2. Custos de Saída.....	35
2.3.3. Indenizações.....	35
3. Análise Tradicional de Investimentos	38
3.1. Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e Projetos de Capital	38
3.1.1. Fluxos de Caixa Incrementais.....	41
3.1.2. Custos Afundados (<i>Sunk Costs</i>).....	42
3.1.3. Custos de Oportunidade	42
3.1.4. Capital de Giro	43
3.2. Custo Médio Ponderado do Capital (WACC)	43
3.3. Custo de Capital de Terceiros – Custo da Dívida	45
3.4. Custo do Capital Próprio e o CAPM	46
3.4.1. Determinação da Taxa de Retorno Livre de Risco (r_f)	49
3.4.2. Determinação do Beta (β).....	53
3.5. Métricas de Avaliação de Projetos	54
3.5.1. Valor Presente Líquido (VPL).....	55
3.5.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)	56
4. Teoria das Opções Reais (TOR)	59
4.1. Características das Opções Reais	61

4.2.	Tipologia das Opções Reais	63
4.3.	Métodos para Precificação de Opções Reais	65
4.4.	Técnicas para Valoração das Opções Reais	66
4.5.	Modelo Black-Scholes e Merton.....	68
4.6.	Modelo Binomial.....	69
4.6.1.	Abordagem do Portfólio Replicado.....	71
4.6.2.	A Abordagem Probabilística Neutra em Relação ao Risco	72
4.6.3.	Dedução da Equação Binomial para o Apreçamento de Opções.....	73
4.7.	Abordagem Consolidada para Avaliação de Opções Reais	75
4.8.	Aplicação da TOR no Abandono de Projetos.....	76
5.	Concessão da BR-381/262/MG/ES e análise do projeto.....	79
5.1.	Caracterização do Projeto de Concessão.....	79
5.2.	Análise do Fluxo de Caixa Estático do Projeto.....	81
5.2.1.	Demanda de Tráfego.....	82
5.2.2.	Receitas.....	83
5.2.3.	Despesas de Capital (CAPEX)	84
5.2.4.	Custos Operacionais (OPEX).....	84
5.2.5.	Depreciação e Amortização.....	85
5.2.6.	Tributos.....	85
5.2.7.	Capital de Giro	85
5.2.8.	Valor Presente do Projeto.....	86
6.	Análise por Opções Reais	87
7.	Resultados e Discussão.....	94
8.	Conclusões.....	99
	Referências Bibliográficas.....	103
	Apêndices	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Extensões concedidas por programas federais, estaduais e municipais (km)	10
Tabela 2.2: Concessões rodoviárias da primeira etapa	12
Tabela 2.3: Concessões rodoviárias da segunda etapa	15
Tabela 2.4: Concessões rodoviárias da terceira etapa	17
Tabela 2.5: Concessões rodoviárias da terceira etapa	18
Tabela 2.6: Resumo riscos concessões	23
Tabela 2.7: Desvio das previsões de demanda encontrados na literatura	27
Tabela 2.8: Causas dos desvios nos estudos de demanda	28
Tabela 2.9: Término antecipado de PPPs em países em desenvolvimento – por segmento	29
Tabela 2.10: Término antecipado de PPPs em países em desenvolvimento – por região.....	30
Tabela 2.11: Caracterização da situação de risco de descontinuidade da empresa	34
Tabela 3.1: Demonstração dos fluxos de caixa disponível da empresa	41
Tabela 3.2: Demonstração dos fluxos de caixa disponíveis dos acionistas	41
Tabela 3.3: Betas setoriais voltados à infraestrutura de mercados emergentes.....	54
Tabela 4.1: Desvantagens do FCD (premissas x realidade).....	59
Tabela 4.2: Opções financeiras x opções reais	61
Tabela 4.3: Tipologia as Opções Reais	63
Tabela 4.4: Vantagens e desvantagens dos métodos de precificação de OR	66
Tabela 4.5: Modelos de precificação de opções reais	67
Tabela 4.6: Triângulo de Pascal	74
Tabela 5.1: Localização das praças de pedágio.....	80
Tabela 5.2: Estrutura de fluxo de caixa do projeto	82
Tabela 5.3: Tabela de equivalência de veículos	83
Tabela 6.1: Série histórica do índice ABCR e volatilidade do tráfego	89
Tabela 6.2: Resumo estatísticas simulação Monte Carlo	90
Tabela 6.3: Investimentos não amortizados e depreciados por ano de concessão (R\$ milhões)	92
Tabela 6.4: Parâmetros de entrada modelo Binomial	93
Tabela 6.5: Parâmetros calculados Modelo Binomial.....	93
Tabela 7.1: Comparativo com trabalhos de referência.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Malha rodoviária federal concedida	12
Figura 2.2: Malha rodoviária concedida no estado de São Paulo	19
Figura 2.3: Histograma de distribuição dos desvios do tráfego observado/previsto em concessões brasileiras.....	28
Figura 3.1: Derivação gráfica do β dos ativos R e S	48
Figura 4.1: Preços ativo e opção para árvore binomial de nó único	70
Figura 5.1: Mapa de situação BR-381/262/MG/ES	79
Figura 5.2: Praças de pedágio BR-381/262/MG/ES	80
Figura 6.1: Resultado simulação Monte Carlo retornos do projeto (z).....	89
Figura 6.2: Taxa livre de risco (<i>US 10-year T Bond</i>).....	91
Figura 6.3: Histórico Risco Brasil.....	92
Figura 6.4: Fluxos de investimento e depreciação	92
Figura 7.1: Análise de sensibilidade do valor da opção - % multa sob indenização	96
Figura 7.2: Análise de sensibilidade do valor da opção – volatilidade	97
Figura 7.3: Análise de sensibilidade do valor da opção – valor do ativo subjacente.....	97
Figura 7.4: Análise de sensibilidade do valor da opção – volatilidade e VP	98

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AAD – Análise de Árvores de Decisão

ABCR – Associação Brasileira de Concessionárias Rodoviárias

ABCR – Associação Brasileira de Concessionários Rodoviários

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

ARTESP – Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

BP – Balanço patrimonial

CAPEX – *Capital expenditure*

CAPM – *Capital Asset Price Model*

CDPED – Conselho Diretor do Programa Estadual de Desestatização

CONIT – Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte

CSLL – Contribuição Social Sobre Lucro Líquido

DFC – Demonstrativo de fluxo de caixa

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DRE – Demonstrativo do resultado do exercício

EMBI – *Emerging Market Bond Index*

EPL – Empresa de Planejamento e Logística

FCD – Fluxo de caixa descontado

FCDA – Fluxo de caixa disponível do acionista

FCDE – Fluxo de caixa disponível da empresa

FCFE – *Free cash flow to the equity*

FCFF – *Free cash flow to the firm*

FGV – Fundação Getúlio Vargas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGPM – Índice Geral de Preços de Mercado

IL – índice de lucratividade

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IR – Imposto de Renda

MAD – Negação do Ativo Negociado

MB – Modelo Binomial

MBSM – Modelo Balck Scholes e Merton
NYSE – *New York Stock Exchange* (bolsa de valores)
OAEs – Obras de arte especiais
OPEX – *Operational expenditure*
ORH – Opções reais híbridas
P&D – Pesquisa e desenvolvimento
PER – Programa de Exploração Rodoviária
PIL – Programa de Investimentos em Logística
PND – Programa Nacional de Desestatização
PPI – Programa de Parcerias e Investimentos
PPP – Parceria público privado
RFFSA – Rede Ferroviária Federal SA
ROA – *Return on assets*
ROE – *Return on equity*
S&P – Standard&Poor's
SMC – Simulação Monte Carlo
TIR – Taxa interna de retorno
TIR-M – Taxa interna de retorno modificada
TMA – Taxa mínima de atratividade
TOR – Teoria das opções reais
VAE – Valor anual equivalente
VDM – Veículos diários médios,
VDMeq. – Veículos diários médios equivalentes
VPL – Valor presente líquido
VPLA – Valor presente líquido anualizado
WACC – *Weighted Average Cost of Capital*
YTM – *Yield to maturity*

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado é resultado de um estudo para avaliar o valor agregado que o término antecipado de um contrato confere a um projeto de concessão rodoviária à luz das mudanças decorrentes a partir da Lei nº 13.448/2017, que flexibiliza as hipóteses para devolução amigável de concessões a partir do instrumento da relicitação.

Este primeiro Capítulo, de caráter introdutório, volta-se para contextualização sobre a evolução das concessões no segmento de infraestrutura rodoviária no Brasil, desde a promulgação da Lei das Concessões, em 1995. Na sequência, o Capítulo busca correlacionar como a teoria das opções reais pode ser empregue para quantificar o valor agregado adicionado a flexibilização quanto ao término antecipado das parcerias.

Além da contextualização, o presente Capítulo apresenta a definição do problema, hipótese, objetivo, relevância e justificativa e, por fim, apresenta um resumo da estrutura da dissertação.

1.1. Contextualização

Desde meados da década de 1980 há uma tendência mundial crescente em direção a menos intervenção governamental na economia e maior dependência do setor privado para a prestação de uma variedade de serviços públicos. Foi a forma encontrada pelos governos para reduzir a dependência do dinheiro dos impostos, intensificando a sua aplicação nos serviços essenciais para a sociedade e, ainda, porque se acredita que seja mais fácil resolver problemas de agência dentro de organizações privadas do que públicas (ABDELDAYEM & ALDULAIMI, 2019).

Merece o registro que a utilização de organizações privadas para a prestação de serviços públicos não elimina o problema de agência (JENSEN & MECKLING, 1976); acrescenta outro, agora entre o Estado e o prestador de serviço. O problema central é o de saber como criar regras de atuação do parceiro privado que o leve a ter um desempenho próximo daquele que é desejado pelo Estado.

Falando em serviços de transporte, boa parte da operação dos portos mundiais passou para o setor privado, enquanto a administração permaneceu com o Estado. Hoje três em cada quatro

passageiros na Europa viajam por meio de um aeroporto parcial ou totalmente privatizado (GUPTA, 2018). Uma quantidade grande de ferrovias e rodovias mundo afora é explorada pelo setor privado (CAMPOS NETO *et al.*, 2018).

O Brasil embarcou na onda de desestatização dos serviços de transporte em 1992, com as ferrovias (SANTOS, 2011). O modelo adotado foi o de concessão, em que a iniciativa privada constrói/melhora as condições operacionais, opera durante um período predefinido e devolve o negócio para o domínio do Estado após o término do contrato.

O modelo de concessão tem sido usado para as ferrovias, rodovias, portos e aeroportos. Nos últimos anos, verifica-se um número crescente de parcerias entre agentes públicos e privados no setor de infraestrutura. Essa tem sido a alternativa encontrada pelo governo, nas esferas federal, estadual e municipal, para aumentar o volume de investimentos na precária infraestrutura brasileira por meio de programas de investimentos, a exemplo do Programa de Investimento em Logística (PIL) e o mais recente Programa de Parcerias e Investimentos (PPI).

Para se ter dimensão da atual política pública de desestatização no setor de infraestrutura, desde a criação do PPI em 2016 até 2019, foram qualificados 248 projetos. Desses, 151 foram leiloados com previsão de geração de investimentos nos próximos anos de R\$ 262,5 bilhões e o pagamento de R\$ 52,3 bilhões em outorgas para os cofres da União (BRASIL, 2019).

Ao mesmo tempo que se intensifica o número de novas concessões, vivencia-se o colapso de outras, como é o caso das concessões do Aeroporto de Viracopos (Campinas/SP) e o Aeroporto de São Gonçalo do Amarante (Natal/RN), além das rodovias BR-153/GO/TO e BR-040/MG/DF. Segundo Oliveira (2018), esse contraste entre o aumento das concessões e a inviabilidade de algumas parcerias não revela uma incongruência do modelo brasileiro. O cenário atual é reflexo da crise econômica que o país atravessa desde meados de 2014. Ao mesmo tempo em que novos contratos são firmados como estratégia de estímulo à economia e meio de arrecadação para o Poder Público, outros já se tornaram ineficientes.

Projetos de infraestrutura, especialmente os voltados aos transportes, cuja receita depende essencialmente da cobrança de tarifa, são bastante sensíveis ao risco de demanda (FRANCO & PAMPLONA, 2008). A prática adotada nas concessões brasileiras aloca esse risco

exclusivamente ao parceiro privado, que exerce pouco controle sobre esse (POMPERMAYER & SILVA FILHO, 2016). Portanto, a quebra da demanda esperada, intensificada por uma potencial crise econômica, pode alterar significativamente o retorno esperado do investimento. Soma-se a isso a necessidade de vultosos investimentos, muitos dos quais são custos afundados, e o longo prazo requerido para o retorno do investimento.

Para enfrentar essa realidade, o Governo Federal editou em 2016 a Medida Provisória nº 752, posteriormente convertida na Lei nº 13.448/2017 (BRASIL, 2017a), que flexibiliza as hipóteses para devolução amigável de concessões via processo de relicitação para os contratos supostamente em situação de insolvência.

A questão central no caso da extinção antecipada dos contratos é que as partes cheguem a um acordo acerca do justo valor da compensação financeira sobre os investimentos realizados e o ônus resultante da inadimplência das obrigações contratuais (XIONG *et al.*, 2016; COLÍN *et al.*, 2016). Na Resolução nº 5.860/2019 (ANTT, 2019c), a ANTT define a metodologia para o cálculo da indenização relativa à extinção dos contratos de concessões rodoviárias.

O abandono contratual representa uma opção tácita inerente a esse tipo de arranjo (IGREJAS *et al.*, 2017). Uma opção representa um direito e não uma obrigação (DAMODARAN, 2008; MYERS, 1984; TRIGEORGIS, 1991).

A possibilidade de abandono da concessão da rodovia introduz uma flexibilidade no projeto de investimento. Os projetos de investimento que apresentam flexibilidade gerencial podem ser analisados à luz das opções reais. O valor presente líquido (VPL) do projeto de investimento flexível, diferente do VPL tradicional, é expresso pela relação $VPL_{OR} = VPL_T + V_{OR}$. Em que VPL_{OR} é o valor presente líquido do projeto de investimento flexível, VPL_T é o VPL tradicional e V_{OR} é o valor da opção real. O valor da opção real entra na equação porque foi dada ao parceiro privado o direito de abandonar a concessão, mediante o recebimento de indenização. O exercício dessa opção é interessante quando em determinado período t , em função da volatilidade da demanda e outras incertezas, o valor de indenização supera os valores esperados de fluxo de caixa do período $t+1$ até o final da concessão.

Pode-se dizer que a revolução das opções reais surgiu em parte como uma resposta à insatisfação de profissionais, estrategistas e acadêmicos com as técnicas tradicionais de orçamentação de capital (MYERS, 1984; ZENG & ZHANG, 2011). A teoria das opções reais é uma extensão da teoria das opções financeiras aplicada a ativos reais e projetos (RAKIC & RADJENOVI, 2014). Os modelos mais usados para calcular o valor da opção financeira e real são o modelo Black-Scholes (1973) & Merton (1973) e o modelo binomial de autoria de Cox, Ross e Rubinstein (1979), embora o modelo binomial seja o mais indicado para opções reais, como alegam Copeland & Antikarov (2001) e Rakic e Radjenovic (2014).

O modelo de precificação de opções binomiais é um modelo de tempo discreto e que oferece quase os mesmos resultados que o modelo contínuo de Black-Scholes-Merton, mas é mais simples de derivar e entender. O modelo de precificação de opção binominal é baseado na análise de cenário e em uma árvore binominal para avaliação de opções. Os seus resultados podem ser obtidos de duas maneiras, aplicando (a) a abordagem de replicação de portfólio ou (b) a abordagem de probabilidades neutras ao risco (COPELAND & ANTIKAROV, 2001; RAKIC & RADJENOVIC, 2014), como será apresentado adiante.

1.2. Definição do Problema

Conforme discutido anteriormente, projetos de concessões de transportes estão sujeitos a riscos, principalmente o de demanda. A antecipação do término de contratos existe como uma alternativa para projetos em situação de insolvência. A compensação financeira do parceiro privado no caso de extinção antecipada possui uma relação dual: ela existe como uma alternativa de ressarcir o concessionário pelos investimentos realizados em um ativo público e coibir ganhos indevidos por parte da administração pública no caso de extinção contratual; por outro lado, pode ser vista como uma garantia que a administração pública confere ao parceiro privado.

Nesse sentido, esta dissertação busca responder aos seguintes problemas de pesquisa: qual o valor adicional que a opção de abandono de uma concessão rodoviária agrega ao valor original do projeto? Como incorporar essas flexibilidades na avaliação econômica desse tipo de empreendimento?

1.3. Hipótese

A análise dos instrumentos contratuais e arcabouço regulatório, no que diz respeito ao término antecipado de projetos de concessão em infraestrutura rodoviária, pode ser quantificada por meio da aplicação da Teoria das Opções Reais. Essa pode ser incorporada ao processo de avaliação de investimentos em concessões de infraestrutura de transportes e auxiliar na sua classificação para os processos de tomada de decisão em comparação às análises tradicionais de investimentos.

1.4. Objetivo

O objetivo geral dessa pesquisa é quantificar o valor agregado pela flexibilidade gerencial da extinção antecipada, por meio de um estudo de caso aplicado a análise de viabilidade econômico-financeira de um contrato de concessão rodoviária, com a aplicação da Teoria das Opções Reais (TOR). Têm-se como objetivos específicos desta pesquisa:

- a) Identificar e analisar os métodos utilizados na análise da viabilidade econômica de investimentos em concessões rodoviárias.
- b) Aplicar a Teoria das Opções Reais no estudo de viabilidade econômica do projeto de concessão da BR-381/262/MG/ES, em fase de licitação, quantificando o valor agregado pela opção do término antecipado do contrato em situação de incerteza de demanda.
- c) Testar o comportamento da opção de abandono em diferentes cenários de porcentagens de indenização contratual, níveis de risco e valor do projeto.

1.5. Justificativa

Em projetos de infraestrutura, três tipos de riscos são usualmente relevantes: custos e atrasos na construção, variações na demanda prevista e obtenção e custos de financiamento (POMPERMAYER & SILVA FILHO, 2016). A viabilidade de um investimento na área de transportes é diretamente relacionada à previsão de demanda do projeto.

A prática na avaliação econômico-financeira de projetos de infraestrutura utiliza o método do Fluxo de Caixa Descontado - FCD (MARTINS *et al.*, 2015). Os projetos são avaliados por meio

de indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL), o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR), a relação custo/benefício e o *payback*. A exposição do projeto a riscos é avaliada por meio da análise de sensibilidade, que é obtida majorando os custos e minorando os benefícios.

No entanto, existem críticas quanto aos métodos consagrados para avaliação de projeto. Myers (1984) destacou, entre outras limitações, que o uso de fluxos de caixa esperados para um determinado projeto não reflete adequadamente as flexibilidades existentes dentro do investimento. É a partir dessa limitação que surge a Teoria das Opções Reais (TOR), cujo modelo de avaliação pretende justamente incorporar as dinâmicas de mudanças nos projetos de investimentos, que podem trazer novas alternativas para o tomador de decisão (TRIGEORGIS, 1993). Uma das vantagens do uso de opções reais é que ela leva em consideração a capacidade da administração de criar, executar e abandonar estratégias e flexibilidade de opções (MUNN, 2002).

Embora a análise por meio da Teoria das Opções Reais ainda não tenha sido amplamente adotada na prática da avaliação de projetos de infraestrutura, encontra-se na literatura um número significativo de publicações sobre o tema. A abordagem mais frequente é a adoção da TOR para avaliação financeira de garantias contratuais em concessões, como, por exemplo, a garantia de receita mínima ou prazo variável (HO & LIU, 2002; HUANG & CHOU, 2006; BRANDÃO & SARAIVA, 2007; LARA GALERA & SOLIÑO, 2010).

Além das garantias citadas, o abandono do contrato é uma opção, que sempre existiu nos contratos dessa natureza. Mesmo antes da promulgação da Lei nº 13.448/2017 (BRASIL, 2017a) e subsequente regulação, o ordenamento jurídico brasileiro já previa, segundo a Lei das Concessões, Lei nº 8.987/1995, o mecanismo de caducidade dos contratos em situação de inadimplência. Portanto, esse último instrumento tornou mais flexíveis as hipóteses e procedimentos para a extinção antecipada desses contratos e trouxe o assunto para o centro das discussões no meio acadêmico e no mercado.

Dessa maneira, a motivação desta dissertação é apresentar a Teoria das Opções Reais como uma ferramenta efetiva e útil na avaliação dos contratos de parceria, avaliando especificamente a opção do abandono contratual. O apreçamento dessas flexibilidades gerenciais pode se tornar uma vantagem competitiva para investidores e governos no momento de avaliação sobre o valor

do projeto. Embora, alguns trabalhos já tenham avaliado a opção do abandono, como será abordado nas próximas seções, este trabalho inova ao interpretar a nova regulamentação brasileira no cálculo do valor adicionado pela flexibilidade gerencial.

1.6. Estrutura da Dissertação

O trabalho é composto por nove Capítulos. Este primeiro apresenta a contextualização do tema proposto, define o problema, o objetivo geral e específico, a hipótese considerada para pesquisa, aborda motivação e a justificativa para o trabalho, além deste item, que descreve a sua estrutura. O segundo Capítulo apresenta um breve histórico sobre a evolução das concessões rodoviárias brasileiras, desde a sua origem com a Lei das Concessões até o presente momento. Busca-se aprofundar sobre os dois maiores programas de concessões rodoviárias brasileiras - o programa federal e o do estado de São Paulo. Esse Capítulo ainda apresenta a revisão da literatura no tocante a identificação e alocação de riscos nos contratos de concessões rodoviárias, risco de demanda e discute a questão do término antecipado dessas parcerias.

O terceiro Capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre a análise tradicional de investimentos em projetos de capital. Inicia-se com a discussão sobre o método de Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e seus pressupostos teóricos, partindo para análise das métricas e indicadores para avaliação de projetos. Esse Capítulo serve como embasamento para discussão e comparação da prática da avaliação tradicional com a Teoria das Opções Reais.

Inicialmente, o Capítulo quatro conceitua o que são as opções reais, suas principais características, quais são os tipos de opções reais existentes em projetos de investimento e as técnicas de avaliação de opções reais. Na sequência, discutem-se os dois principais modelos para quantificação de opções reais: o Modelo de Black-Scholes e Merton e o Modelo Binomial. Por fim, apresentam-se os resultados do levantamento bibliográfico da aplicação da TOR para a análise do abandono contratual em concessões.

O Capítulo cinco destina-se a análise do projeto de concessão utilizado para o estudo de caso deste trabalho. São apresentados o escopo e as especificidades do projeto de concessão da BR-381/262/MG/ES e analisado o fluxo de caixa estático do projeto de acordo com o que foi

apresentado na modelagem econômico-financeira do edital de concessão, base para análise por opções reais.

O Capítulo seis descreve a análise por opções reais do abandono contratual do projeto estudado e o Capítulo sete reserva-se a apresentação dos resultados encontrados e respectivas análises. Por fim, o Capítulo oito apresenta as conclusões, limitações e recomendações para pesquisas futuras.

2. CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

No Brasil, a base legal para o processo de concessão foi instituída pelo Decreto-lei nº 791 de 1969, que autorizou a cobrança de pedágio em estradas bloqueadas ou rodovias expressas, pontes, viadutos, túneis e obras de grande vulto (CASTRO, 2009).

Esse entendimento foi mantido após a Constituição de 1988, que em seu art. 175 estabelece que *“Incumbe ao poder público, na forma da lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos”* (BRASIL, 1988). Segundo esse artigo, o regime das empresas concessionárias de serviços públicos, o caráter especial de seu contrato e de sua prorrogação, bem como as condições de caducidade, fiscalização e rescisão da concessão, os direitos dos usuários, a política tarifária e a obrigação da concessionária de manter o serviço adequado são definidos por meio de lei ordinária.

Além da previsão constitucional, segundo Campos Neto *et al.* (2018), o mecanismo de concessão de serviços públicos a exploração privada no Brasil está alicerçado em outros dois instrumentos legais. São eles:

- a. A Lei nº 8.987/1995 (BRASIL, 1995), chamada Lei das Concessões, que regulamentou o art. 175 da Constituição, estabelecendo a política tarifária dos concessionários de serviços públicos, entre outros.
- b. A Lei nº 11.079/2004 define que a Parceria Público Privada (PPP) é um tipo de concessão que apresenta características distintas. Por essa Lei, prevê-se a constituição de PPPs por meio de duas formas de contrato administrativo: na modalidade patrocinada e na modalidade administrativa.

No caso brasileiro, o processo de concessão de serviços, operação e infraestrutura de transportes ocorreu impulsionado pelo movimento de ampliação da participação da iniciativa privada na provisão desses serviços (CASTRO, 2009). O Programa Nacional de Desestatização (PND) foi instituído pela Medida Provisória nº 1551, de 15 de março de 1990, tendo sofrido várias reedições até a sua conversão em lei. Em 12 de abril de 1990, foi promulgada a Lei nº 8.0312 que cria o Programa Nacional de Desestatização (MATOS, 2013).

Em 1992, a Rede Ferroviária Federal SA (RFFSA) foi incluída no Plano Nacional de Desestatização por meio do Decreto nº 473, de março de 1992, e o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) ficou responsável pela elaboração e gestão. O modelo aprovado consistiu na divisão da RFFSA em seis malhas, cuja operação seria concedida à iniciativa privada pelo prazo de 30 anos, com arrendamento dos ativos operacionais (SANTOS, 2011).

Atualmente, a rede de transporte ferroviário de longa distância já é quase integralmente, operada pela iniciativa privada, assim como os sistemas de transporte sobre trilhos em grandes cidades, como é o exemplo do Rio de Janeiro. A operação portuária é praticamente toda privada, juntamente com a operação dos principais aeroportos brasileiros. Os programas de concessões rodoviárias já atingiram as esferas municipais, estaduais e federais (CASTRO, 2009).

Segundo dados da Associação Brasileira de Concessionários Rodoviários - ABCR (2018), as rodovias concedidas no Brasil contabilizam 20.745 quilômetros, correspondendo a 9,7% da malha rodoviária pavimentada nacional, em 12 estados. Desde 1995, foram investidos cerca de R\$ 107 bilhões em melhorias e manutenção desses ativos, tendo passado por essas rodovias um volume de 1,757 bilhão de veículos no ano de 2018. A Tabela 2.1 apresenta a distribuição da malha rodoviária concedida por estado, dividida entre os programas federal, estaduais e municipais.

Tabela 2.1: Extensões concedidas por programas federais, estaduais e municipais (km)

ESTADO/PROGRAMA	FEDERAL	ESTADUAL	MUNICIPAL	TOTAL
Bahia	681	350	-	1.030
Espírito Santo	476	68	-	543
Distrito Federal	40	-	-	40
Goiás	723	-	-	723
Minas Gerais	2.315	735	-	3.050
Mato Grosso do Sul	845	-	-	845
Mato Grosso	851	-	-	851
Pernambuco	-	42	-	42
Paraná	546	2.502	-	3.048
Rio de Janeiro	983	197	38	1.219
Rio Grande do Sul	931	-	-	931
Santa Catarina	294	-	-	294
São Paulo	1.024	7.105	-	8.129
TOTAL	9.708	10.999	38	20.745

Fonte: ABCR (2018).

2.1. Histórico dos Programas de Concessão no Brasil

Nesta seção, são apresentados o histórico e a evolução regulatória dos dois maiores programas de concessões brasileiros, o programa Federal e do estado de São Paulo. Juntos, os dois programas contam com mais de 16.000 km de rodovias concedidas e correspondem a mais de 80% da malha rodoviária sob administração privada no país (ABCR, 2018).

2.1.1. Programa de Concessões Rodoviárias do Governo Federal

A pressão por melhorias na infraestrutura de transportes no início da década de 1990 fez com que o Governo buscasse no setor privado investimentos por meio do Programa de Concessões de Rodovias Federais (CARDOSO *et al.*, 2012). Dados mais recentes, retirados do sítio eletrônico da ANTT, indicam que ao todo são 21 contratos de concessões rodoviárias em vias federais, perfazendo uma extensão de aproximadamente 10.134 km (ANTT, 2019a). O mapa apresentado na Figura 2.1 demonstra a distribuição das rodovias federais atualmente sob administração privada.

O processo de implantação do programa de concessões rodoviárias federais foi iniciado em 1995 com a concessão da Ponte Rio Niterói. No ano seguinte, foi a vez da rodovia Presidente Dutra (BR-116/RJ/SP Rio-São Paulo), rodovia BR-116/RJ (Rio de Janeiro-Teresópolis) e da BR-040/MG/RJ (Rio de Janeiro-Juiz de Fora). Por fim, essa primeira etapa concluída em 1997, com a concessão da BR-290/RS Osório-Porto Alegre, acesso Guaíba.

Ressalta-se que no ano 2000, foi incorporado às concessões federais o trecho do polo rodoviário de Pelotas, concedido pelo estado do Rio Grande do Sul à iniciativa privada, em julho de 1998 (CAMPOS NETO *et al.*, 2018). A Tabela 2.2 resume os contratos dos 6 trechos que compõem a primeira etapa de concessões totalizando 1.315,90 km de extensão.



Figura 2.1: Malha rodoviária federal concedida
 Fonte: elaboração própria (dados do DNIT).

Tabela 2.2: Concessões rodoviárias da primeira etapa

Rodovias	Trecho	Extensão (km)	Concessionária	Início Concessão	Prazo
BR-101/RJ	Ponte Rio-Niterói	13,2	CCR Ponte	01/06/1995	20 anos (Contrato encerrado)
BR-116/RJ/SP	Rio de Janeiro – São Paulo	402	Nova Dutra	01/03/1996	25 anos
BR-040/MG/RJ	Rio de Janeiro – Juiz de Fora	179,9	CONCER	01/03/1996	25 anos
BR-116/RJ	Rio de Janeiro – Teresópolis – Além Paraíba	142,5	CRT	22/03/1996	25 anos
BR-290/RS	Osório – Porto Alegre	121	CONCEPA	04/07/1997	20 anos (Contrato encerrado)
BR-116/293/RS	Pólo de Pelotas	457,3	ECOSUL	15/07/1998	25 anos

Fonte: ANTT (2019b).

A política tarifária dos contratos da primeira etapa foi influenciada por um contexto macroeconômico instável e condições de deterioração das vias, o que acabou por incorrer em

tarifas em patamares elevados. Campos Neto e outros (2018) resumem a conjuntura dos contratos dessa etapa:

- a) Taxa Selic elevada (cerca de 25% a.a em 1996) e consequente aumento no custo de oportunidade do capital e financiamento, o que requeria taxas de retornos mais elevadas;
- b) Elevado risco-país e consequente encarecimento do custo de capital de terceiros direcionados ao Brasil;
- c) Insegurança regulatória e política. As concessões eram um negócio novo no Brasil.
- d) As condições das vias, de modo geral, encontravam-se bastante deterioradas, o que requereu maiores investimentos.

Foi nesse contexto que os contratos da primeira etapa foram elaborados. Como reflexo, Guerrero *et al.* (2013) apontam características dessas concessões.

- a) Formato mais voltado para obra pública:
 - i) Definição de preços unitários para as diversas obras (ao invés de valor global), eliminando o risco privado de variações na quantidade de insumos nas obras definidas contratualmente (PER – Programa de Exploração Rodoviária);
 - ii) Possibilidade de revisão dos preços dos insumos ou dos fatores de produção relevantes não atendidas pela fórmula paramétrica, reduzindo o risco privado de alterações de preços em seus custos.
- b) Reajustes contratuais eram automáticos e baseados em uma cesta de índices dos principais componentes de custos de obras rodoviárias (média ponderada de terraplenagem, pavimentação, obras de arte especiais e serviços de consultoria), medidos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Negociações contratuais mudaram o índice de reajuste, a partir de 2012, para o índice de preços ao consumidor amplo (IPCA)/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- c) Ausência de mecanismo de revisão tarifária periódica, impedindo a repartição dos ganhos de produtividade e de compartilhamento de riscos;
- d) Ausência de matriz de risco explícita, implicando o uso da teoria das áleas;
- e) Baixo incentivo ao uso de receitas acessórias como instrumento para modicidade tarifária.

Outro aspecto desses contratos destacado por Campos Neto *et al.* (2018) diz respeito ao engessamento da estrutura rodoviária concedida pelo prazo contratual, uma vez que não há previsão de investimentos em ampliação da capacidade. Por fim, cabe registrar que os contratos apresentam reduzidos riscos para o negócio, consequência da inexistência de matriz de riscos.

Entre a primeira e a segunda etapa das concessões federais, mais precisamente em 2001, foi promulgado o projeto de lei que reestruturou os órgãos governamentais que controlam o setor de transportes, criando as agências reguladoras Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), além do Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte (CONIT) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Compete às agências reguladoras, dentro das suas esferas de atuação, implementar a política de transportes definidas pelo CONIT e Ministério dos Transportes (atual Ministério da Infraestrutura), em especial regular e supervisionar as atividades de prestação de serviços e da exploração da infraestrutura de transportes, exercidas por terceiros, com vistas a garantir a movimentação de pessoas e bens, em conformidade com padrões de eficiência, segurança, conforto, regularidade, pontualidade e modicidade nos fretes e tarifas (CASTRO, 2009)

A segunda etapa das concessões federais ocorreu entre 2008 e 2009, já sob responsabilidade da ANTT. Ao todo, foram firmados oito contratos, totalizando 2.982,94km de rodovias concedidas. A Tabela 2.3 resume os contratos dessa etapa.

Do ponto de vista regulatório, avanços significativos ocorreram (CAMPOS NETO *et al.*, 2018). As lições aprendidas com os contratos da primeira etapa, incorporaram aos novos mecanismos a fim de garantir a maior eficiência na execução do seu objeto. Além disso, é importante destacar que a conjuntura econômica na época da celebração desses era totalmente distinta da etapa anterior. A taxa Selic entre 2007-2009 estava em torno de 11,0% a.a e o risco Brasil encontrava-se em patamares baixos. Essas circunstâncias favoreceram a adoção de tarifas mais baixas.

Tabela 2.3: Concessões rodoviárias da segunda etapa

Rodovias	Trecho	Extensão (km)	Concessionária	Início Concessão	Prazo
BR-381/MG/SP	Belo Horizonte - São Paulo	562	ARTERIS S/A	14/02/2008	25 anos
BR-101/RJ	Divisa RJ/ES – Ponte Presidente Costa e Silva	320	ARTERIS S/A	14/02/2008	25 anos
BR-116/376/PR e BR-101/SC	Trecho Curitiba – Palhoça	405,94	ARTERIS S/A	14/02/2008	25 anos
BR-116/PR/SC	Curitiba – Divisa SC/RS	413	ARTERIS S/A	14/02/2008	-
BR-116/SP/PR	BR-116/SP/PR	402	ARTERIS S/A	14/02/2008	25 anos
BR-393/R	Divisa MG/RJ – Entroncamento BR-116 (DUTRA)	200	K-INFRA	26/03/2008	25 anos
BR-153/SP	Divisa MG/SP – Divisa SP/PR	321	Triunfo -	14/02/2008	25 anos
BR 116/324/BA e BA 526/528	Salvador - Feira de Santana (BR-324) Feira de Santana – Div. BA/MG (BR-116)/ Entr BR-324 - Entr BA-528 (BA-526) / Entr BA-526 – Aratu (BA528) -	680	Via Bahia	03/09/2009	25 anos

Fonte: ANTT (2019b).

A seguir, são listados os principais avanços regulatórios incorporados aos contratos dessa etapa.

- Os contratos previam obras para a ampliação da capacidade da rodovia;
- Os contratos incorporaram dispositivos que permitiam a flexibilização por parte do poder concedente do cronograma de obras e investimentos incluídos no Programa de Exploração Rodoviário (PER) em função do fluxo de veículos;
- A concessionária passou a manter, em favor da ANTT, garantia de execução do contrato, por meio de apólices de seguro;
- Critérios de recomposição econômico-financeira foram definidos a partir das revisões: ordinária (ajustes previstos em contrato), extraordinária (ocorrência superveniente) e quinquenal (reavaliação do PER para ajuste do fluxo de caixa);
- A inadimplência com as obrigações previstas nos cronogramas de implantação de obras e serviços obrigatórios estabelecidos no PER passou a implicar a revisão contratual;
- Imposição de penalidades contratuais para o não atendimento dos parâmetros de qualidade estabelecidos no PER para determinados tipos de obras e serviços;
- Com o objetivo de não pressionar o valor das tarifas e preservar o Equilíbrio Econômico e Financeiro do contrato, estabeleceu-se que obras de ampliação de capacidade, acessos,

trevos, passagens superiores ou inferiores e passarelas poderiam ser executadas com recursos da União, dos estados ou dos municípios interessados;

- Definiu-se que parte dos recursos advindos da exploração de receitas extraordinárias seria apropriada pelo concessionário e parte revertida para a modicidade tarifária (apuração anual).

Além das inovações observadas em todos os contratos dessa etapa, em 2009, a concessão da BR-116/324/BA, segundo o autor, apresentou importantes avanços do ponto de vista contratual e regulatório. São eles:

- As obras de ampliação de capacidade passaram a ser condicionadas a gatilhos de investimentos, que estabelecem volumes de tráfego pré-definidos para início das obras.
- O conceito de desconto de reequilíbrio foi introduzido. Esse define o desconto da tarifa básica de pedágio no caso de atraso ou inexecução de obras de ampliação e capacidade, garantindo o equilíbrio econômico financeiro do contrato.
- Outro novo conceito incorporado foi o de fluxo de caixa marginal, como forma de calcular o impacto no equilíbrio econômico financeiro do contrato em decorrência da inclusão de novos investimentos.
- Definição de parâmetros de desempenho, que são os indicadores estabelecidos no contrato e no PER que expressam as condições mínimas de qualidade e quantidade que devem ser mantidas pela concessionária.
- Definiu-se a revisão quinquenal com vista a reavaliar a concessão frente às reais necessidades do sistema e à situação econômica.
- Quanto a alocação de riscos, definiu-se explicitamente no contrato como risco do concessionário a obtenção de todas as licenças, permissões e autorizações necessárias ao pleno exercício das atividades objeto da concessão, o aumento do custo de capital, inclusive os resultantes de elevação da taxa de juros, variação das taxas de câmbio e inflação, custos de desapropriações, tecnologia empregada e caso fortuito e força maior que possam ser objeto de cobertura de seguros oferecidos no Brasil.

Com relação a terceira etapa, ao todo, foram leiloados 5.348,70 km de rodovias, entre os anos de 2013 a 2014, divididos em 8 contratos apresentados na Tabela 2.4. Insere-se também nessa

fase a concessão da Ponte Rio-Niterói (BR-101/RJ) em 2015. Essa foi a primeira relicitação de um trecho anteriormente concedido.

Tabela 2.4: Concessões rodoviárias da terceira etapa

Rodovias	Trecho	Extensão (km)	Concessionária	Início Concessão	Prazo
BR-060, BR-153 e BR-262 DF/GO/MG	-	1.176,5	Triunfo	31/01/2014	30 anos
BR-050 GO/MG	BR-040/GO até a divisa de MG/SP)	436,6	Ecorodovias	05/12/2013	30 anos
BR 101/ES/BA	Entroncamento BA-698 (acesso a Mucuri) - Divisa ES/RJ	475,9	Ecorodovias e SBS	17/04/2013	25 anos
BR-153/GO/TO	Trecho Anápolis/GO (BR-060) até Aliança do Tocantins/TO (TO-070)	624,8	Galvão Engenharia S.A	12/09/2014	30 anos
BR-163/MS	Início na divisa com o estado do MT e término na divisa com o PR	847,2	Grupo CCR	12/03/2014	30 anos
BR-163 e MT-407	MS até o entroncamento com a MT-220	850,9	Odebrecht Transport	12/03/2014	30 anos
BR-040/DF/GO/MG	Trecho Brasília-DF - Juiz de Fora-MG	936,8	INVEPAR	12/03/2014	30 anos
BR-101/RJ	Ponte Rio-Niterói	13,2	Ecorodovias	18/05/2015	30 anos

Fonte: ANTT (2019b).

Dos contratos da terceira etapa, cinco deles constavam no Programa de Investimentos em Logística (PIL), criado pelo Governo Federal para fomentar o melhoramento da infraestrutura de transportes no Brasil. Campos Neto *et al.* (2018), resumem os avanços incorporados nesses contratos:

- Manutenção dos gatilhos de investimentos;
- Permanência do fluxo de caixa marginal;
- Inclusão da revisão do fluxo de caixa marginal, visando ajustar os dados de projeção de demanda aos dados reais apurados;
- Prazo de sessenta meses (cinco anos) para duplicar todo o trecho concedido, aumentando a capacidade e a segurança da via;
- Início da cobrança de pedágio somente após a conclusão de 10% das obras de duplicação;
- Introdução do Fator D, que é um redutor ou incrementador da tarifa básica de pedágio utilizado como mecanismo de aplicação do desconto de reequilíbrio relativo ao não atendimento aos parâmetros de desempenho, às obras de ampliação de capacidade e de

manutenção do nível de serviço ou como acréscimo de reequilíbrio, no caso de antecipação na entrega de obras, com vistas à manutenção da equivalência contratual entre os serviços prestados e a sua remuneração;

- Aplicação do Fator Q, um redutor ou incrementador da tarifa básica de pedágio, utilizado como mecanismo de aplicação de desconto por não atendimento aos indicadores de qualidade determinados no contrato de concessão;
- Ampliação do prazo de concessão para trinta anos, visando elevar a atratividade financeira dos contratos;
- Possibilidade de prorrogação do contrato por até trinta anos, por imposição do interesse público.

A última etapa do programa de concessões federais, ainda em execução, já realizou dois leilões, no total de 905 km de rodovias. Os novos contratos são resumidos na Tabela 2.5. Os projetos dessa nova etapa fazem parte do Programa de Parcerias e Investimentos (PPI) do Governo Federal, estabelecido pela Lei nº 13.334, de 2016 com a finalidade de ampliar e fortalecer a interação entre o Estado e a iniciativa privada por meio da celebração de contratos de parceria e de outras medidas de desestatização.

Tabela 2.5: Concessões rodoviárias da terceira etapa

Rodovias	Trecho	Extensão (km)	Concessionária	Início Concessão	Prazo
BR-101/290/448/386/RS	Rodovias Integradas do Sul	472	Grupo CCR	11/01/2019	30 anos
BR-364/365/MG/GO	Ecovias do Cerrado	437	EcoRodovias	19/12/2019	30 anos

Fonte: ANTT (2019b).

Além dos projetos já licitados, o PPI conta com uma carteira de projetos já qualificados no programa (ANTT, 2019c). Os trechos rodoviários atualmente em etapa de Audiência Pública são: BR-381/262/MG/ES, BR-153/414/080/TO/GO, BR-163/230/MT/PA e BR-116/101/SP/RJ.

Compõem também a carteira de projetos as concessões próximas ao término de vigência contratual: I - BR-116/RJ/SP - Rodovia Presidente Dutra - trecho Rio de Janeiro/RJ - São Paulo/SP; II - BR-116/RJ - trecho Além Paraíba/MG - Teresópolis/RJ - entroncamento com a BR-040; e III - BR-040 MG/RJ - trecho Juiz de Fora/MG - Rio de Janeiro/RJ. Outros empreendimentos no setor rodoviário já qualificados no programa são a rodovia BR-

364/MT/RO, no trecho entre Porto Velho/RO e Comodoro/MT, BR-470/SC, entre Navegantes até a divisa SC/RS, BR-282/SC, entre o entroncamento com BR-470/SC até o entroncamento com a BR-153/SC e BR-153/SC, entre o entroncamento com a BR-282/SC e a divisa de SC/RS.

2.1.2. Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo

No âmbito estadual, o estado de São Paulo possui a maior malha rodoviária sob regime de concessão. Atualmente são quase 10.000 km de rodovias concedidas (ARTESP, 2020), representadas no mapa da Figura 2.2. O Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo surgiu no ano de 1997 com a promulgação da Lei nº 9.361, de 05 de julho de 1996, que cria o Programa Estadual de Desestatização – PED (MATOS, 2013).

A primeira etapa do programa paulista, licitada em 1997, incluiu a concessão de 12 lotes prioritários, numa extensão de quase 3.600 km, que cortavam 167 municípios com população de mais de 20 milhões de habitantes. Os primeiros nove contratos foram assinados no ano de 1998 e os demais em 2000. Todos com prazo de 20 anos (CARDOSO *et al.*, 2012).

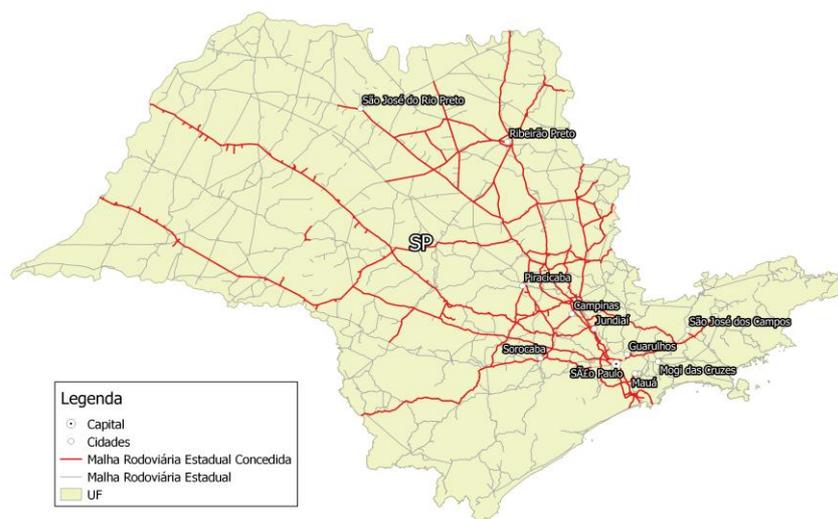


Figura 2.2: Malha rodoviária concedida no estado de São Paulo

Fonte: elaboração própria (dados EPL).

Durante a etapa inicial do programa a fiscalização das concessionárias foi delegada à Comissão de Monitoramento das Concessões e Permissões de Serviços Públicos. Criada em caráter temporário pelo Governo do Estado de São Paulo, por meio do Decreto nº 43.011, de 03 de

abril de 1998, foi extinta no ano de 2002 com a criação da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo – ARTESP. Atualmente, a ARTESP é a autarquia responsável por regular e fiscalizar o Programa de Concessões do Estado de São Paulo de modo a estabelecer padrões de serviço adequado (MATOS, 2013).

A segunda etapa do Programa de Concessões Rodoviárias ocorreu em 2008 com a publicação dos editais de concessão do Trecho Oeste do Rodoanel Mario Covas e mais cinco lotes rodoviários: Corredores D. Pedro I, Raposo Tavares, Rondon Oeste, Rondon Leste e Ayrton Sena/Carvalho Pinto, totalizando mais de 1.700 quilômetros de rodovias (ARTESP, 2017).

Em dezembro de 2014, foi assinado o contrato para uma nova concessão da rodovia Tamoios, na modalidade PPP. Essa concessão é tratada pelo Governo de São Paulo como a terceira etapa do Programa de Concessões, apesar de compreender apenas um trecho de pouco mais de 119 km (GALLO & BASTIANI, 2017).

Em 2016, o Conselho Diretor do Programa Estadual de Desestatização – CDPED aprovou o modelo de concessão dos serviços públicos de exploração das rodovias dos novos lotes de concessões rodoviárias do estado e autorizou a divulgação dos elementos pertinentes em Audiência e Consultas Públicas, iniciando a quarta etapa do programa de exploração rodoviária (ARTESP, 2016).

Nessa etapa está prevista a concessão de 2.217 quilômetros de rodovias e um montante de mais de R\$ 10,5 bilhões em investimentos divididos em 4 lotes. Até o momento, as rodovias do Centro-Oeste Paulista e Rodovia dos Calçados já foram licitadas (GALLO & BASTIANI, 2017).

No tocante a evolução regulatória dessas parceiras, Matos (2013) comparou os contratos da primeira e segunda etapa do programa paulista, tendo os principais pontos resumidos a seguir.

- a) **Prazo da concessão e possibilidade de prorrogação:** o prazo dos contratos de concessão da primeira etapa é de 20 anos e na segunda etapa de 30 anos. Em ambas as etapas, admite-se a possibilidade de alteração do prazo contratual, única e exclusivamente para recompor o equilíbrio econômico-financeiro.

- b) **Alocação dos riscos:** não houve alterações quanto a alocação de riscos. Nos contratos referentes à primeira e segunda etapas, é genericamente previsto que a concessionária assumirá a responsabilidade pelos riscos inerentes à exploração do sistema rodoviário.
- c) **Instituto do equilíbrio econômico-financeiro nos contratos de concessão das rodovias estaduais:** nos contratos, o mecanismo do equilíbrio econômico-financeiro também é previsto de maneira muito genérica. Nas duas fases, os contratos apenas discriminam as hipóteses de cabimento de reequilíbrio conforme estabelecido em lei. No ano de 2013, a ARTESP publicou a Resolução nº 001, de 25 de março de 2013, que dispõe sobre o fluxo de caixa marginal para novos investimentos nas concessões.
- d) **Reajustamento da tarifa de pedágio:** os contratos da primeira etapa adotaram o Índice Geral de Preços de Mercado (IGPM), da Fundação Getúlio Vargas, como fator de atualização de reajuste das tarifas de pedágios. Os contratos da segunda etapa adotaram o índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), do IBGE, como fator de atualização de reajuste das tarifas de pedágios. Em dezembro de 2011, foram firmados os aditivos contratuais entre a ARTESP e concessionárias da primeira etapa do programa de concessões alterando o índice de reajuste das tarifas de pedágio dos contratos de concessão, bem como definindo o procedimento e a forma de revisão contratual para verificação da existência de desequilíbrio econômico-financeiro e sua recomposição, decorrentes da utilização de novo índice de reajuste tarifária.

2.2. Riscos em Projetos de Concessões

Vassallo *et al.* (2012) definem que o risco nos contratos de concessão reflete a incapacidade das partes interessadas em conhecer antecipadamente a mudança nas variáveis que determinam o valor do negócio. Segundo Senna (2014), a literatura macroeconômica define que indivíduos são, essencialmente, avessos ao risco e a sua exposição a determinado tipo de risco deve ser condicionada à cobrança de um prêmio, recompensa ou benefício. Quanto maior o nível da exposição e aversão ao risco, maior o prêmio cobrado e vice-versa.

Para o caso da concessão de serviços públicos, pode-se de maneira simplista inferir que quanto maior for a parcela de riscos assumida pelo concessionário, maior tende a ser o prêmio cobrado, com reflexos diretos sobre a tarifa praticada, que tende a ser maior. Por outro lado, a assunção demasiada de riscos por parte do poder concedente pode onerar excessivamente os gastos do

governo e comprometer a eficiência da concessão, pois o benefício que os usuários têm com a redução tarifária (via direta) passa a ser cobrado indiretamente dos contribuintes.

Trata-se de um problema de alocação ótima, devendo-se então identificar os riscos para posterior alocação na parte que está mais apta a mitigá-lo e, assim, reduzir os custos globais da concessão (GUERRERO *et al.*, 2013). A alocação de riscos em contratos de concessões foi abordada nos trabalhos de Bing *et al.* (2005), Medda (2007), Chao & Zhang (2008), Jin (2010), Ke *et al.* (2010), Vassalo *et al.* (2012), Hwang *et al.* (2013) e Guerrero *et al.* (2013).

Xiong *et al.* (2017) afirmaram que a excessiva alocação de riscos na parte privada pode comprometer o bom andamento do projeto. Por exemplo, a transferência inadequada ou excessiva de riscos pode reduzir o número de licitantes e promover o oportunismo. Uma das práticas mais observadas é quando o contratado ganha a oferta com um preço baixo e força renegociações favoráveis após a assinatura do contrato.

Além do citado aumento dos custos dos serviços de infraestrutura, a alocação equivocada de riscos em projetos de concessões pode levar a renegociações contratuais. Em casos mais extremos, tal imprecisão pode levar a interrupção dos serviços e o término antecipado do contrato como será discutido na seção seguinte.

Como regra geral, a alocação de riscos entre poder concedente e concessionários é feita de acordo com a parte que se mostra mais capaz de gerenciá-los (FRANCO & PAMPLONA, 2008). Seguindo essa linha de raciocínio, além da alocação dos riscos na parte mais estruturada para avaliar e controlá-los, deve-se considerar, ainda, a parte com melhor acesso a instrumentos de cobertura, maior capacidade para diversificação e o menor custo para suportá-los (GRIMSEY & LEWIS, 2002).

Cada concessão pressupõe um modelo de negócio com características intrínsecas que ensejam análises de riscos particulares (SENNA, 2014). A identificação e a avaliação de riscos é um assunto amplamente abordado na literatura, podendo aqui ser citados os trabalhos de Grimsey & Lewis (2002), Xu *et al.* (2010), Chan *et al.* (2011), Xu *et al.*, (2012), Valipour *et al.* (2015) e NGUYEN *et al.* (2018). Chan *et al.* (2011) forneceram uma identificação abrangente dos riscos em projetos de PPP chinesas (entendida aqui como uma modalidade de concessão),

apresentada na Tabela 2.6. Os riscos identificados podem ser generalizados para outros contextos econômicos, sem prejuízos a análise.

Após conduzirem uma revisão sistêmica da literatura, os autores identificaram 34 riscos associados a projetos de PPP. Os riscos são agrupados em duas categorias principais de acordo com a literatura: riscos sistêmicos/país e riscos específicos do projeto. A primeira categoria está relacionada com as condições macro do ambiente em que o projeto é desenvolvido. Estão fora do controle do concessionário. Os riscos sistêmicos são divididos nas subcategorias (1) riscos políticos, (2) riscos econômicos, (3) riscos legais, (4) riscos sociais, (5) riscos naturais. Por outro lado, os riscos do projeto são gerenciáveis pela iniciativa privada. São aqueles que envolvem a natureza do projeto e seu microambiente. Os riscos de projeto subdividem-se em cinco subcategorias: (6) riscos de construção, (7) risco de operação, (8) risco de mercado, (9) risco de relacionamento, (10) outros riscos.

Tabela 2.6: Resumo riscos concessões

Categoria	Subcategoria de Risco	Riscos Identificados
Riscos sistêmicos/país	(1) Riscos políticos	Corrupção, intervenção governamental, nacionalização/expropriação, crédito público, má tomada de decisão pública
	(2) Riscos econômicos	Flutuação da taxa de juros, flutuação cambial, inflação, risco de financiamento
	(3) Riscos legais	Alteração da legislação, alterações tributárias, ineficiência da legislação e fiscalização
	(4) Riscos social	Oposição política/pública
	(5) Riscos naturais	Força maior, condições geotécnicas/hidrológicas desconhecidas, riscos ambientais
Riscos do projeto	(6) Riscos de construção	Risco de conclusão, indisponibilidade de material / mão de obra, técnicas de engenharia não conhecidas
	(7) Riscos de operação	Alterações de projeto / operação, excedente de custo de operação, alteração de preço, risco de pagamento de despesas
	(8) Riscos de mercado	Competição, mudanças de demanda
	(9) Riscos de relacionamento	Atraso/violação de terceiros, risco de organização e coordenação, incapacidade da concessionária
	(10) Outros riscos	Aquisição de terras, atraso nas aprovações e autorizações do projeto, contrato conflitante ou imperfeito, falta de infraestrutura de suporte, risco residual, concorrência inadequada para licitação

Fonte: adaptado Chan *et al.* (2011).

O consenso encontrado na literatura sob a alocação de riscos indica que os governos são mais propensos assumirem os riscos sistêmicos, enquanto a parte privada, os riscos do projeto (CHAN *et al.* 2011; SENNA, 2014). Grimsey & Lewis (2002) apontam que os principais riscos que recaem sobre a parte privada são os sobrecustos na fase de construção e operação e a variação da demanda.

Segundo Medda (2007), nas concessões voltadas para o setor de transportes podem ser elencados quatro principais domínios de risco. Os riscos técnicos cobrem os riscos na construção, como excedentes de custo ou atrasos na conclusão, bem como riscos relacionados as falhas na proposta de licitação ou projeto. Em investimentos em transportes os custos efetivos mostram-se, em média, 28% superiores aos custos previstos.

O segundo domínio são os riscos políticos e regulatórios que derivam de ações governamentais, que afetam a capacidade do setor privado de gerenciar o contrato nas condições inicialmente estabelecidas. Isso pode incluir ações que terminam com a concessão, imposição de impostos ou regulamentos que severamente diminuam o valor para os investidores, restrições da capacidade arrecadação ou revisões tarifárias, conforme especificado no contrato de concessão, e empecilhos para resolução de disputas contratuais. Até a mudança de governo pode gerar riscos, pois a falta de consistência nas prioridades do governo e objetivos podem induzir perdas para os investidores.

Terceiro, os riscos econômicos e financeiros emanam de incertezas quanto ao crescimento econômico, taxas de inflação, conversibilidade de moedas e taxas de câmbio. Em particular, os riscos de inconvertibilidade e transferibilidade estão relacionados à incapacidade do setor privado de converter as receitas em moeda local em moeda estrangeira e transferir sem restrições o capital para fora do país anfitrião.

Finalmente, existem as incertezas de mercado, como a mudança na demanda. As previsões de demanda geralmente diferem da realidade em 20-30% (TRUJILLO *et al.*, 2002). Portanto, a superestimação da demanda de transporte assume um papel relevante nesse tipo de projeto, sobretudo em função da receita tarifária estar intimamente ligada ao retorno esperado do investimento, além dos vultosos investimentos, dos custos afundados e do longo prazo requerido para retorno do investimento. A discussão sobre esse risco em específico é aprofundada na seção seguinte.

2.2.1. Risco de Demanda

A demanda no mercado de transportes é avaliada em termos de nível de tráfego atuais e esperados, da previsibilidade do tráfego esperado e da disposição dos usuários para pagar tarifas

(*willingness to pay*). Cada um desses fatores é crítico para a determinação dos fluxos e estimativa da capacidade de geração de caixa/benefícios com magnitude e previsibilidade suficiente para que se obtenham os financiamentos necessários para o projeto. No entanto, dada a dificuldade na exatidão da projeção das receitas/benefícios, a previsibilidade da demanda é particularmente importante para a atração de capital em projetos de transporte (SENNÁ, 2014).

O risco de demanda pode ser medido por intermédio da variação entre o que foi projetado para um determinado empreendimento e o efetivamente verificado. A consequência direta das imprecisões nas estimativas de demanda em projetos de concessões, além da alocação ineficiente de recursos em empreendimentos de pouca utilidade para o interesse público, pode refletir-se, entre outros aspectos, na escolha equivocada da empresa vencedora da concessão, incapacidade do setor privado de cumprir os compromissos acertados na concessão, necessidade de aportes públicos, reajustes tarifários não previstos e adiamento do cronograma de obras (LANA, 2014).

Estudos internacionais, como Pickrell (1990), Flyvbjerg *et al.* (2005) e Bain (2009) buscaram verificar o tamanho desses desvios em um conjunto abrangente de projetos de infraestrutura de transporte e apontaram a existência de variações significativas nos estudos de demanda. Em certos contextos, esses desvios não apenas foram de grande magnitude, como apresentaram também um viés de subestimação ou superestimação sistêmica.

Na área de transportes rodoviários, Flyvbjerg *et al.* (2005) apresentaram uma grande contribuição ao realizar o primeiro estudo sobre o tema contando com um banco de dados significativo, composto de 183 projetos rodoviários. O estudo indicou uma grande imprecisão das estimativas de demanda, com elevada variabilidade do erro, mas também a existência de um viés de superestimação nos estudos de demanda. Apurou-se um volume de tráfego 9,5% superior ao previsto, sendo que em mais da metade dos projetos avaliados o erro foi superior a mais ou menos 20%.

É importante destacar que na maioria desses estudos a variação da demanda foi medida percentualmente como a diferença entre o tráfego atual menos o tráfego projetado em função do tráfego projetado. Ressalta-se também que a maioria dos estudos verificou o desempenho dos projetos no primeiro ano de operação. Buscou-se dessa forma isolar os resultados de

medidas adaptativas não previstas originalmente, como mudanças na política de tarifas, melhorias adicionais no acesso à estrada, entre outras providências que podem ser tomadas como reação aos níveis de tráfego iniciais dos projetos (FLYVBJERG *et al.*, 2005).

Embora exista o argumento em prol da verificação dos dados do primeiro ano dos empreendimentos, alguns autores, como Vassallo (2007) e Colín *et al.* (2016), argumentam que empreendimentos pedagiados necessitam de um período de adaptação e acomodação até que atinjam todo seu potencial, o chamado período de *ramp up*. Citron (2006) corrobora com a afirmação ao apontar que os erros tendem a serem maiores nos anos iniciais pela dificuldade de estimação da fuga dos usuários devido à implantação do pedágio. Após um período de estabilização, a demanda tende a voltar a patamares em que é possível estimar com maior nível de acurácia.

O relatório da Standard & Poor's (2004), elaborado a partir de dados de 87 projetos de rodovias pedagiadas, indicou que o tráfego médio era superestimado em quase 30% no primeiro ano de operação dos empreendimentos. O estudo comparou a distribuição dos erros amostrais com os 183 projetos de Flyvbjerg *et al.* (2005), cuja base de dados consistiu em 90% de rodovias não pedagiadas. A análise dos resultados apontou que a distribuição dos erros possui formato similar, embora os picos sejam deslocados. Sobre o assunto, o relatório conclui que os projetos rodoviários pedagiados diferenciam-se dos não pedagiados, apresentando um viés de otimismo adicional de 20%. A diferença estaria entre estudos conduzidos pelo governo, no caso de rodovias não pedagiadas, e estudos conduzidos pela iniciativa privada, retirados das propostas dos vencedores da concessão.

O mesmo viés de superestimação para rodovias pedagiadas foi apontado por Bain (2009), cuja base de dados contou com 104 projetos internacionais de financiamento privado. O tráfego observado atingiu em média 77% do esperado. Outra constatação interessante reflete a estratificação da amostra considerada. O autor analisou o erro em sub-amostras do banco de dados e encontrou erros de valores sensivelmente superiores nos projetos executados em países com pouca experiência em pedágios (tráfego 42% abaixo do estimado), comparado aqueles com rede de estradas concedidas mais antigas e consolidadas (19% abaixo).

O resumo dos principais resultados dos estudos internacionais sobre o desvio da demanda em estudos de tráfego em projetos de infraestrutura de transportes é apresentado a seguir na Tabela 2.7.

No contexto brasileiro, apesar de existirem dados disponíveis sobre a demanda de rodovias em bases de dados da ANTT, DNIT e órgãos estaduais, há poucos estudos voltados para o erro de demanda em estudos de tráfego. O trabalho mais relevante identificado foi o de Lana (2014). O autor construiu um banco de dados estruturado com a coleta de dados de demanda de 41 concessões rodoviárias brasileiras, nos âmbitos federais e estaduais.

Tabela 2.7: Desvio das previsões de demanda encontrados na literatura

Estudo	Amostra	País	Desvio
Pickrell (1990)	10 sistemas de trem urbanos	EUA	45,1%
Mackett & Edwards (1998)	3 sistemas de trem urbanos	Inglaterra	-30,3%
J.P. Morgan (1997)	14 projetos rodoviários pedagiados	EUA	-30,0%
Flyvbjerg et al (2005)	27 projetos ferroviários	Diversos	-51,4%
Flyvbjerg et al (2005)	183 projetos rodoviários (90% sem pedágio)	Diversos	+9,5%
Standard & Poor's (2004)	87 projetos rodoviários pedagiados	Diversos	-24,0%
Standard & Poor's (2005)	104 rodoviários (90% pedagiados - 52 ano)	Diversos	-21,0%
Bain (2009)	104 projetos rodoviários pedagiados	Diversos	-23,0%
Bain (2009)	Sub-amostra com experiência	Diversos	-19,0%
Bain (2009)	Sub-amostra sem experiência	Diversos	-42,0%
Henshe & Li (2010)	5 projetos rodoviários pedagiados	Austrália	-43,5%
Naess et al (2006)	7 projetos rodoviários pedagiados	Diversos	-6,1%
Naess et al (2006)	63 projetos rodoviários não pedagiados	Diversos	+11,5%
Naess et al (2006)	14 projetos rodoviários pedagiados	EUA	-42,0%
Naess et al (2006)	7 projetos rodoviários (antes de 1980)	Dinamarca	-9,3%
Naess et al (2006)	9 projetos rodoviários (após 1980)	Dinamarca	+95,9
Vassalo (2007)	14 projetos pedagiados	Espanha	-35,2%
Welde (2011)	25 projetos rodoviários pedagiados	Noruega	-2,5%
Welde (2011)	25 projetos rodoviários não pedagiados	Noruega	+19,0%

Fonte: Lana (2014).

O desvio médio da demanda observada situou-se em patamar 29,1% abaixo do previsto, com clara tendência à superestimação da demanda. Somente cinco das concessões avaliadas apresentaram resultados acima do previsto. A distribuição dos erros de previsão é apresentada na Figura 2.3, sendo possível visualizar a cauda da distribuição alongada para a esquerda, indicando a presença de grandes superestimações e a concentração de projetos na faixa entre -30% e -20% de desvio.

A explicação para os desvios de demanda encontrados também foi amplamente abordada pela literatura (PICKRELL, 1990; TRUJILLO *et al.*, 2002; FLYVBJERG *et al.*, 2005; VASSALLO, 2007; BAIN, 2009). Os argumentos dividem-se em fatores técnicos, políticos, econômicos,

fiscais e comportamentais, que podem tanto direcionar o estudo para ambos os caminhos: superestimação ou subestimação. A Tabela 2.8 apresenta um resumo das principais causas dos desvios nos estudos de demanda.

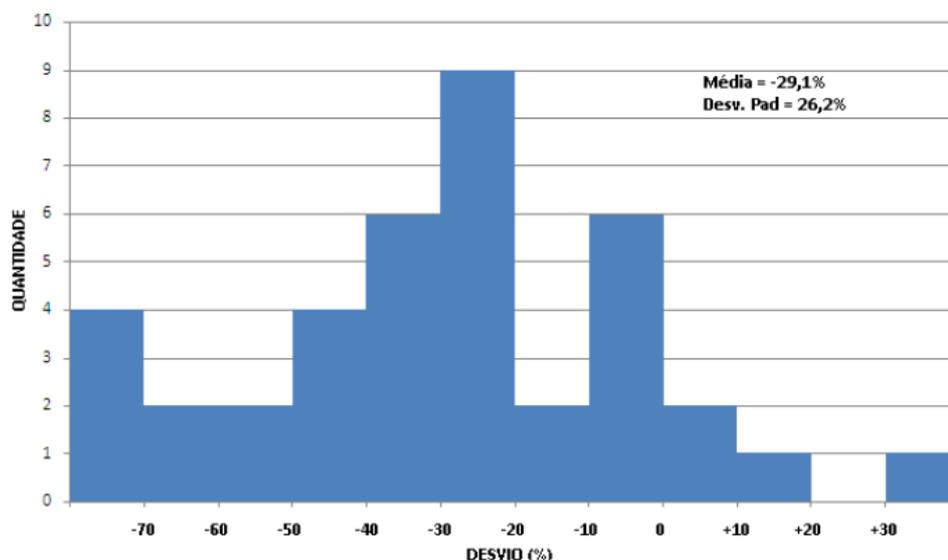


Figura 2.3: Histograma de distribuição dos desvios do tráfego observado/previsto em concessões brasileiras.

Fonte: Lana (2014).

Tabela 2.8: Causas dos desvios nos estudos de demanda

Categoria	Fatores	Superestimação	Subestimação
Fatores técnicos	Desconsiderar demanda latente		X
	Erro na elasticidade consumo		X
	Basear taxas de crescimento no passado recente	X	X
	Não mensuração de benefícios a não-usuários		X
	Peso excessivo nas estimativas da hora de pico	X	
	Parâmetros importados de outros pares	X	X
	Horizonte muito amplo	X	X
	Pobreza de dados	X	X
Fatores políticos, institucionais e econômicos	Tirar o projeto do papel, prestígio do projetista	X	
	Convencimento do público	X	
	Obra chamativa	X	
	Taxa de crescimento estimada como meta pública, não realista	X	
	Conjuntura econômica inesperada	X	X
	Dependência de imusamentos futuros	X	
	Restrição orçamentária		X
Fatores fiscais	Aversão ao risco		X
	Competição por verbas de ente federativo superior		
	Erros de custo bancados por outro ente governamental	X	
Fatores psicológicos — comportamentais	Erros de custo futuros caem em outro mandato	X	
	Otimismo	X	
	Fatores estratégicos	X	
	Estratégia para vencer leilão	X	
	Expectativa de renegociação de contrato	X	
	Oportunismo		

Fonte: Lana (2014).

2.3. Término Antecipado de Concessões

De acordo com dados do Banco Mundial para países em desenvolvimento, apresentados por Xiong *et al.* (2016), de 1984 a 2010, 334 dos 4.874 (6,85%) projetos de infraestrutura na modalidade de parceria entre entes público e privado foram cancelados antes do término previsto em contrato. No caso de concessões rodoviárias, esse percentual ficou em 6,76% de um total de 695 (Tabela 2.9) projetos financiados no período.

Tabela 2.9: Término antecipado de PPPs em países em desenvolvimento – por segmento

Segmento/Região	Terminados Antecipadamente	Total	% Términos Antecipados (%)
Energia – geração, transmissão e distribuição	93	1,645	5,65
Gás natural – transmissão e distribuição	15	353	4,25
Telecomunicações – acesso fixo, móvel e longa distância	53	818	6,48
Aeroportos — pátio e terminal	8	141	5,67
Portos – dragagem e terminal	8	369	2,17
Ferrovias—ativos fixos, carga, intercidades e urbano	47	119	39,50
Pedágios – pontes, rodovias e túneis	47	695	6,76
Saneamento – tratamento de água e esgotos	29	416	6,97
Saneamento — distribuição e coleta com e sem tratamento de esgoto	34	318	10,69
Total	334	4.874	6.85

Fonte: Xiong *et al.* (2016).

Na Tabela 2.10, o número de casos de termos antecipados é apresentado por região. As parcerias na América Latina e Caribe fracassaram em 8,95% dos projetos, ficando abaixo somente da África Subsaariana, com 9,35%. Além da distribuição por segmento e região geográfica, constata-se também que o término precoce desses contratos pode ocorrer em fases distintas do projeto, mas tipicamente, a maioria acaba sendo encerrada na fase de operação (LIU *et al.*, 2017).

Silva Neto *et al.* (2016) apontam como uma tendência para os estudos relacionados a contratos de parcerias público-privado a análise de questões voltadas ao término e renegociação das PPPs, sobretudo em função das dificuldades vivenciadas por governos e setor privado na gestão desses projetos de alta complexidade. Corroborando com a tendência identificada, Costa & Rocha (2020) analisaram a evolução temporal do número de publicações e citações relacionados ao

término antecipado de contratos de concessões e verificaram um crescimento considerável a partir de 2015.

Tabela 2.10: Término antecipado de PPPs em países em desenvolvimento – por região

Segmento/Região	Terminados Antecipadamente	Total	% Términos Antecipados (%)
Leste Asiático e Pacífico	84	1,466	5,73
Europa e Ásia Central	65	1,324	4,91
América Latina e Caribe	137	1,531	8,95
Oriente Médio e Norte da África	6	134	4,48
Sul da Ásia	9	657	1,37
África Subsaariana	39	417	9,35
Total	334	4.874	6.85

Fonte: Xiong *et al.* (2016).

Podem ser encontrados na literatura casos de concessões rodoviárias encerradas prematuramente em diferentes países, sejam elas motivadas pela vontade do poder concedente ou concessionário. Por exemplo, a concessão da rodovia *Wutong Mountain Tunnel* na China, iniciada em 1997 e prevista para 30 anos de duração, foi recomprada pelo governo local, após pouco mais de 10 anos de operação. O projeto encontrou forte oposição da população local com relação aos níveis de serviços oferecidos na única ligação do distrito de *Yantian* as demais áreas urbanas de Shenzhen. Como alternativa, o governo em 2008 anunciou a construção de uma segunda ligação rodoviária não pedagiada e a recompra do projeto (SONG *et al.*, 2017).

Cita-se como exemplo de término originado pela parte privada, a concessão da rodovia *South Bay Expressway*, uma concessão tipo *Build-Transfer-Operate* de 35 anos no estado norte-americano da Califórnia. O contrato foi encerrado após 8 anos de operação e um investimento de mais de US\$ 1 bilhão. A demanda aquém do previsto e sobrecustos na implantação de projeto levaram o contrato a insolvência. A concessão foi vendida para o governo por US\$ 341,5 milhões (XIONG & ZHANG, 2013).

No Brasil, situação semelhante ocorre com alguns projetos no setor. Por exemplo, a concessão da rodovia BR-153, trecho Anápolis/GO até Aliança do Tocantins/TO, concedida no ano 2014, foi declarada caduca em 2017 (BRASIL, 2017b). Mais recentemente, a concessionária responsável pela concessão da rodovia BR-040, trecho Brasília/DF e Juiz de Fora/MG, também iniciada em 2014, declarou o interesse em abandonar a concessão, já nos termos da devolução

amigável, alegando dificuldades financeiras em virtude da movimentação de veículos aquém do previsto (Via 040, 2019).

O término antecipado de uma concessão quase sempre é associado com a materialização de um ou mais riscos que de alguma forma frustram as expectativas iniciais de uma ou ambas as partes e as levam ao abandono do projeto. Em face de eventos de risco imprevisíveis, os setores público e privado frequentemente buscam renegociações contratuais e tentam tomar medidas para solucionar o problema, em vez de finalizar imediatamente o projeto. Guash (2004) examinou aproximadamente 1.000 contratos de concessão na América Latina e observou que 53% dos contratos na área de transportes foram renegociados.

Cardoso *et al.* (2012) avaliaram que durante o período entre 1996-2006, foram realizados 144 reajustes contratuais nas concessões paulistas. As alterações de cronograma físico-financeiro representam o maior número de solicitações. Bessa (2019) analisou as renegociações nas concessões federais, constatando que 59,1% dos contratos foram renegociados. Ao todo foram 69 renegociações, com reajustes tarifários e alteração de investimentos configurado entre os pleitos mais frequentes.

Geralmente, o término antecipado ocorre quando as renegociações falham e os governos se veem forçados a rescindir os contratos por meio da relicitação ou recompra dos projetos (SONG *et al.*, 2017). Segundo Britto & Rocha (2020), a possibilidade de devolução de uma concessão é matematicamente representada pela condição:

$$[se, DA_{kt} > VPL(FCE)_{kt} - CS_{kt} + IR_{kt}, abandona] \quad (2.1)$$

Onde:

DA_{kt} : déficit acumulado do projeto k no ano t (valor em módulo)

$VPL(FCE)_{kt}$: valor presente líquido dos fluxos livres esperados (revisados) de caixa do projeto k, de t+1 a T, avaliado no ano t, sendo que T é o último ano da concessão

CS_{kt} : representa os custos de saída do projeto k, no ano t;

IR_{kt} : representa indenizações em razão de investimentos realizados no projeto k, avaliadas em t;

Para os autores, a decisão de abandono passa, necessariamente, por uma análise aprofundada do negócio, a partir de suas demonstrações financeiras que informam sobre o passado e de

expectativas futuras, sobretudo de demanda. Por isso, as três próximas seções abordam a questão da análise financeira das concessões, custos de saída e indenizações.

2.3.1. Análise Financeira

Britto & Rocha (2020) propuseram uma análise da saúde financeira e dos motivos que levaram ao pedido de devolução da concessão do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante (Natal/RN) por meio da aplicação de conceitos consolidados na Engenharia Financeira, mas adaptados ao contexto de concessões de serviços públicos. A análise englobou a aplicação de indicadores financeiros convencionais, a avaliação da capacidade de geração de caixa, a necessidade de capital de giro e a aplicação de modelos de falência a partir da análise dos balanços contábeis da concessionária. Esses aspectos são descritos qualitativamente a seguir. Não é objetivo do trabalho aprofundar a discussão sobre cada indicador e método.

a) Indicadores Financeiros

Os indicadores contábeis empregados na análise foram aqueles relacionados à liquidez, endividamento, produtividade e rentabilidade do investimento. A liquidez de uma empresa relaciona-se com a boa capacidade de cumprir com suas obrigações de curto prazo; o endividamento é de particular interesse dos credores ao evidenciar o percentual do ativo total financiado com capital de terceiros e indicar o grau de dependência; a produtividade do ativo, mostra quão bem a empresa transforma os investimentos fixos em faturamento, indicando a capacidade de geração de recursos a partir das operações, recursos necessários para a continuidade da operação, para servir os credores e para remunerar os acionistas; e, por fim, a rentabilidade do investimento que indica a capacidade do negócio em gerar riqueza para seus investidores após o pagamento de tributos.

b) Capacidade de Geração de Caixa

O EBITDA (*Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*) corresponde ao lucro de uma empresa antes da depreciação, amortização e imposto de renda. Segundo Assaf Neto (2020), é entendido como uma medida de geração operacional de caixa disponível para todos os detentores de capital (acionistas e credores). No caso de uma concessionária de serviço

público, o pagamento de outorga e a construção de infraestrutura, quando aplicáveis, devem ser expurgados do resultado operacional (EBITDA ajustado).

O EBITDA ajustado é apurado para cada ano fiscal. Contudo, em face da natureza do negócio, são esperados anos com EBITDA positivo e anos com EBITDA negativo. Importa para a análise da sobrevivência e continuidade de longo prazo de um empreendimento que o valor presente do EBITDA seja positivo e elevado o suficiente para remunerar adequadamente os acionistas em conformidade com a taxa mínima de atratividade.

c) Necessidade de Capital de Giro

No curto prazo, a continuidade das operações e, portanto, a sobrevivência do negócio depende da capacidade de financiamento do ciclo operacional. Convencionou-se como capital de giro, a diferença entre ativos circulantes e passivos circulantes.

Os ativos circulantes diretamente vinculados às operações podem ser financiados com passivos de curto prazo também vinculados ao ciclo ou com passivos não circulantes (FLEURIET *et al.*, 2003). No primeiro caso, que corresponde a situação ideal, há relação direta de usos e origens de recursos com o ciclo operacional. Na segunda hipótese, reconhece-se a necessidade de financiamento do giro com recursos permanentes, ainda que sua classificação patrimonial seja no circulante, dado que tipicamente os ciclos operacionais são inferiores a um exercício.

As contas do ativo e do passivo circulantes são classificadas como cíclicas ou financeiras. As contas cíclicas são aquelas que guardam relação direta com o ciclo operacional (FLEURIET *et al.*, 2003). A diferença entre os ativos circulantes e passivos circulantes cíclicos em cada exercício é conhecida como necessidade de investimento em giro (NIG). A NIG decorre de defasagens de tempo e de valor das operações que as contas representam de forma a manter as operações mesmo quando as saídas de caixa ocorrem antes das entradas, criando-se a necessidade de aplicação de fundos permanentes.

As demais contas são classificadas como financeiras. Denomina-se saldo disponível (SD) a diferença entre as somas dos ativos circulantes financeiros e passivos circulantes financeiros. O saldo disponível consiste em uma reserva financeira da empresa, disponível a eventuais aumentos

da necessidade de investimento operacional decorrente de choques exógenos na produção, nas vendas e/ou nas condições de recebimento por vendas.

O somatório do NIG e SD corresponde ao capital circulante líquido (CCL). Conforme Assaf Neto (2020), a análise do NIG em relação ao CCL permite que se caracterize a situação de liquidez dinâmica de uma empresa. A Tabela 2.11 indica três situações de risco de insolvência e descontinuidade de uma empresa a partir da análise dinâmica de liquidez.

Tabela 2.11: Caracterização da situação de risco de descontinuidade da empresa

Risco Descontinuidade	CCL	NIG	SD
Risco Baixo	Positivo	Negativo ou Positivo	Positivo
Risco Médio	Negativo ou Positivo	Positivo	Negativo
Risco Alto	Negativo	Negativo	Negativo ou Positivo

Fonte: Britto & Rocha (2020).

Uma empresa é dita estar em situação de baixo risco de falência quando apresenta CCL positivo e superior à NIG, resultando em SD positivo. Nesta situação, a empresa possui recursos líquidos suficientes para financiar suas operações e um saldo disponível para eventuais descompassos entre recebimentos e desembolsos.

O risco de descontinuidade do negócio é médio, se a NIG for superior ao CCL, indicando que parte das operações são financiadas com empréstimos e financiamentos de curto prazo. O risco de descontinuidade se eleva quando ambos CCL e NIG são negativos, indicando recursos de curto prazo aplicados no permanente. Neste caso, fica caracterizada a necessidade de geração de caixa a partir das operações em montante e tempo suficientes para servir seu passivo de curto prazo.

d) Modelo de Previsões de Falência

Os modelos de previsão de insolvência foram desenvolvidos com o objetivo de caracterizar um sinal de dificuldade financeira, a partir de um grande conjunto de indicadores. A literatura possui uma vasta quantidade de modelos a partir da estimação estatística de equações paramétricas, empregando informações obtidas de demonstrações financeiras de uma amostra de empresas, que permitam prever chance de falência, ou insolvência futura.

Dentre os principais modelos disponíveis, Britto & Rocha (2020) aplicaram os de Altman, de 1968, de Elizabetsky, de 1976, de Kanitz, de 1978, de Altman, Baidya e Dias, de 1979, e de Altman, de 2007. Em comum, esses testes avaliam as empresas em insolventes, solventes ou, dependendo do

modelo, inconclusivo. A escolha desses modelos foi justificada pelo seu pioneirismo e a adaptação à realidade de empresas não industriais e de países emergentes.

2.3.2. Custos de Saída

Os custos de saída consistem em despesas necessárias para se encerrar um negócio, incluindo multas por quebra de contrato, débitos remanescentes por atrasos em investimentos e/ou performance no fornecimento dos serviços e despesas irrecuperáveis de capital. Como são, em geral, pagos pelo concessionário, um custo de saída pode adiar a decisão de abandono.

2.3.3. Indenizações

Nos casos de término antecipado de concessões, a determinação da adequada compensação é um aspecto sensível para ambas as partes (XIONG *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2017; SONG *et al.*, 2018). Mesmo em situações de término por inadimplência do concessionário, a inexistência de uma compensação financeira para a parte privada pode beneficiar injustamente a administração pública. A questão, no entanto, volta-se para determinar o valor da compensação justa (COLÍN *et al.*, 2016).

Países como Reino Unido, Austrália, Coreia do Sul (LIU *et al.*, 2017) e Espanha (VASSALLO, 2012) normatizaram a questão da compensação em manuais para estruturação de contratos ou por meio de legislação específica. De modo geral, os critérios para compensação podem ser sintetizados de acordo com a parte geradora do fato (SONG *et al.*, 2018).

Caso a extinção seja causada por inadimplência das obrigações assumidas pelo governo ou pela recompra voluntária, o parceiro privado deve ser recompensado pela perda de lucro no período restante da concessão, pelos débitos remanescentes e pelos custos adicionais em decorrência do cancelamento do contrato. Se o término for por causa de inadimplência do parceiro privado, a ele será devido a devolução de parte do investimento inicial. Na situação em que o término não é oriundo de inadimplência das partes, as perdas financeiras devem ser divididas entre entes público e privado, e esse último deve ser parcialmente compensado pela perda de receita, débitos remanescentes e custos adicionais.

A Lei nº 8.987/1995 (BRASIL, 1995), que dispõe sobre o regime de concessão, define que o processo aplicável para o caso da extinção contratual advinda da inadimplência do concessionário é por meio da caducidade. A lei define genericamente que será devido a indenização das parcelas dos investimentos vinculados a bens reversíveis em casos de caducidade. Segundo os procedimentos definidos no dispositivo, a declaração de caducidade envolve a necessidade da instauração de processo administrativo, que, muitas vezes, acaba por culminar em longos litígios com perdas significativas para ambas as partes (OLIVEIRA, 2018).

A autora cita, a título de exemplo, o extenso lapso temporal para extinção da concessão da BR-153. A ANTT notificou a concessionária responsável em 30 de novembro de 2015 acerca do descumprimento das obrigações contratuais, dando-lhe o prazo de 90 dias para as devidas correções. Transcorrido o prazo, sem, no entanto, ter sido verificado que os descumprimentos haviam sido sanados, a Agência instaurou, em 19 de maio de 2016, processo administrativo para apuração das infrações. Somente após um ano e três meses depois foi decretada a caducidade do contrato.

Para lidar com a realidade de algumas concessões brasileiras, sobretudo as concessões rodoviárias da Terceira Etapa, leiloadas entre 2013 e 2014, foi publicada a Lei nº 13.448/2017 (BRASIL, 2017a), que institui o instrumento da relicitação e amplia as hipóteses de extinção antecipada, mediante o pagamento de indenização. Esse instrumento foi criado como uma alternativa para flexibilizar e tornar mais célere o processo de extinção dessas concessões problemáticas. Os contratos da Terceira Etapa foram severamente afetados pelas condições econômicas desfavoráveis advindas da crise iniciada a partir de 2014.

Oliveira (2018), ao comparar a relicitação com a prerrogativa estatal de decretação da caducidade, avalia ser mais eficiente ao Poder Público, se verificadas as condições de aplicação da medida, optar por essa alternativa. Argumenta a respeito da eficiência advinda da flexibilização gerada pelo novo dispositivo:

“Será um instrumento eficiente quando for usada, sob a perspectiva do particular, como medida para sanar situações em que o inadimplemento decorre de fatos alheios ao seu controle e que o levem a uma situação de incapacidade comprovada de cumprimento. Sob o ponto de vista do poder

público, por sua vez, será aplicável quando a situação de anormalidade que gera a inviabilidade contratual seja de tal monta que o faça alterar premissas e diretrizes regulatórias a serem aplicadas e a própria modelagem do ajuste a resultar em um novo contrato.”

Na esteira dos fatos, o Decreto nº 9.957/2019 regulamentou o procedimento para relicitação dos contratos de parceria nos setores rodoviário, ferroviário e aeroportuário de que trata a Lei nº 13.448, de 5 de junho de 2017 (BRASIL, 2017a). Posteriormente, a ANTT publicou a Resolução nº 5.860/2019 (ANTT, 2019c), estabelecendo a metodologia para o cálculo dos valores de indenizações relativos aos investimentos vinculados a bens reversíveis não depreciados ou amortizados em caso de extinção antecipada de concessões rodoviárias federais, conforme atribuição definida no art. 17 § 2º, da Lei nº 13.448/2017.

A Resolução classifica como “reversíveis” os bens utilizados pela concessionária na prestação de serviços de conservação, manutenção, monitoração e operação rodoviários, bem como a própria infraestrutura rodoviária sob concessão. Esses, só assim serão considerados caso: (i) contribuam para a continuidade da prestação do serviço público, (ii) sejam de propriedade da concessionária e (iii) possuam prazo de vida útil remanescente, a depender do caso.

3. ANÁLISE TRADICIONAL DE INVESTIMENTOS

Dixit e Pindyck (1994) definem um investimento como o ato de incorrer em um custo imediato na expectativa de um retorno futuro. Quando se dispõe de recursos finitos e uma gama de projetos potenciais, faz-se necessário avaliar as vantagens e desvantagens de cada um deles. Encontram-se na literatura diversas métricas para a avaliação de investimentos, tais como os tradicionais VPL e TIR. Em comum, as técnicas se baseiam na projeção dos fluxos de caixa futuro e o seu desconto por uma taxa de atratividade, que minimamente remunera o custo do capital.

Para uma compreensão sobre a análise de investimentos, esse Capítulo busca inicialmente explorar o conceito de fluxo de caixa e sua relação com os projetos de investimento. Na sequência, discute-se a abordagem para projeção de fluxos de caixa para projetos de capital. Em seguida, faz-se uma explanação sobre a estrutura e o custo de capital, de terceiros e próprio, e, por fim, são apresentadas as principais métricas para a avaliação financeira de projetos.

3.1. Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e Projetos de Capital

Para Abreu Filho & Cury (2018), um projeto de capital ou de investimento é um desembolso de fundos que uma empresa faz objetivando produzir benefícios de longo prazo. A análise de um projeto de investimento visa fornecer os subsídios para a tomada de decisão objetiva, por parte dos investidores, com base em premissas e avaliação de cenários, tendo em vista a maximização da riqueza e pela melhor relação risco/retorno.

As empresas fazem investimentos de capital por diversos motivos. Os mais comuns são a expansão das operações, a substituição ou a reforma de ativos imobilizados e a obtenção de algum outro benefício tangível no longo prazo. No caso de projetos de infraestrutura, os investimentos envolvem o comprometimento de fundos em longo prazo com a construção e operação de um ativo em troca da expectativa de um retorno futuro advinda da cobrança de tarifas e/ou uma contraprestação por parte do poder concedente, aquele que detém o direito de exploração do ativo.

A análise de investimentos em infraestrutura tem sido um fértil campo de pesquisa nas últimas décadas, sobretudo a partir da onda global de concessões desses ativos. O método do fluxo de caixa descontado (FCD) tem sido a abordagem comumente utilizada para avaliação desse tipo de investimento. Este método tem sido considerado o mais adequado para capturar o real valor do projeto (MARTINS *et al.*, 2015). Para Munn (2002), as vantagens dessa abordagem são:

- Trata-se de um critério de decisão claro e consistente para avaliar todos os projetos;
- Mesmos resultados, independente da preferência ao risco dos investidores;
- Quantitativo, razoável acurácia e economicamente racional;
- Relativamente simples e amplamente disseminado e aceito;
- Lógica intuitiva para a gestão: “se os benefícios excedem os custos, faça-o!”.

O método do fluxo de caixa descontado baseia-se no conceito que o valor de um ativo é determinado pelo valor presente que os benefícios gerados pelos fluxos de caixa futuros, descontados por uma taxa de atratividade que reflete o custo de oportunidade dos proprietários do capital (PÓVOA, 2020). Utiliza-se como medida nessa avaliação o fluxo de caixa livre disponível (*Free Cash Flow*). O fluxo de caixa livre representa o montante de caixa disponível para os investidores – credores e acionistas - após a empresa ter satisfeito suas necessidades operacionais e coberto os investimentos em ativos fixos e em ativo circulante líquido (GITMAN, 2010).

Abreu Filho & Cury (2018) alertam para a importância de se entender bem o conceito do fluxo financeiro de um projeto e não confundir com instrumentos contábeis, como o demonstrativo de fluxo de caixa (DFC), o demonstrativo do resultado do exercício (DRE) ou o balanço patrimonial (BP). Essas ferramentas, fundamentais para o processo decisório dentro de organizações, utilizam o regime de competência, enquanto os fluxos de caixa de um projeto utilizam exclusivamente o regime de caixa.

Existem dois tipos básicos de fluxos de caixa disponíveis a serem considerados: o fluxo de caixa disponível da empresa (FCDE) e o fluxo de caixa disponível do acionista (FCDA) (ASSAF NETO, 2014; PÓVOA, 2020). A taxa de atratividade usada para trazer a valor presente os fluxos de caixa disponíveis futuros será discutida mais adiante nas seções 3.2, 3.3 e 3.4.

O fluxo de caixa disponível da empresa (FCDE), também conhecido pela sua sigla em inglês FCFE (*free cash flow to the firm*), corresponde ao excedente operacional de caixa pertencente aos credores e acionistas. É um fluxo de caixa livre, calculado após o reinvestimento em ativos fixos e capital de giro necessário para a continuidade e expansão da estratégia da empresa. Por ser obtido antes das despesas financeiras (juros sobre a dívida), trata-se de um fluxo desalavancado.

O fluxo de caixa disponível do acionista (FCDA), do inglês FCFE (*free cash flow to the equity*), reflete o valor restante ao acionista após a dedução de todos os custos, despesas e reinvestimentos. É o montante de dividendos que a empresa distribui aos seus acionistas. Ele é calculado a partir do resultado líquido da organização. Isto é, após o cômputo de reinvestimentos, giro e dedução das despesas financeiras.

A utilização do fluxo de caixa depende do que se deseja avaliar. Em teoria, as duas abordagens devem gerar o mesmo valor para empresa (ASSAF NETO, 2014). Todavia, Kayo *et al.* (2012) argumentam a favor do uso do FCDE para avaliação de projetos, pois independe da estrutura de financiamento. Salvo situações em que existam alguma fonte de financiamento específica ligada ao projeto (ex.: linha de financiamento subsidiada), as avaliações via FCDE e FCDA são equivalentes.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração na avaliação de fluxos de caixa futuros é a consideração ou não da inflação no período. Caso sejam projetados fluxos de caixas desconsiderando a inflação e mantendo o poder de compra (moeda constante), deve-se utilizar a taxa real de desconto. Alternativamente, caso os fluxos de caixas sejam projetados com a moeda corrente (poder de compra correspondente à data do fluxo a ser projetado), deve-se usar a taxa nominal de juros (KAYO *et al.*, 2012). A relação entre as taxas de desconto reais (i_{real}), nominais ($i_{nominal}$) e a inflação ($i_{inflação}$) é expressa por:

$$i_{real} = \frac{(i_{nominal} + 1)}{(i_{inflação} + 1)} - 1 \quad (3.1)$$

Os fluxos de caixa sob a ótica do projeto podem ter a mesma configuração do FCDE, em decorrência da ausência de alavancagem financeira - independente da estrutura do financiamento (ABREU FILHO & CURY, 2018). Reflete o resultado anual fornecido aos

detentores do capital – acionistas e credores. A Tabela 3.1, a seguir, exemplifica a estrutura típica de um FCDE ou fluxo de caixa do projeto.

Tabela 3.1: Demonstração dos fluxos de caixa disponível da empresa

(+)	Receita Operacional Bruta
(-)	Impostos Indiretos
(=)	Receita Operacional Líquida
(-)	Custo Mercadorias Vendidas
(=)	Lucro Bruto
(-)	Despesas Gerais, Adm., Vendas
(-)	Depreciação
(=)	Lucro Operacional
(+)	Depreciação e Amortização
(=)	Lucro Operacional Caixa (EBITDA)
(+/-)	Variação Capital de Giro
(-)	CAPEX
(-)	IR/CSLL
(=)	Fluxo de Caixa Disponível da Empresa

Os fluxos de caixa disponíveis para os acionistas adicionam a estrutura anterior as variações nas fontes de financiamento e estrutura de capital social, conforme apresentado na Tabela 3.2. Observa-se que na avaliação de projetos de capital, não faz sentido considerar receitas/despesas não operacionais e, portanto, a diferença se dá nas fontes de financiamento (KAYO *et al.*, 2012).

Tabela 3.2: Demonstração dos fluxos de caixa disponíveis dos acionistas

(=)	Fluxo de Caixa Disponível da Empresa (FCDE)
(-)	Despesas Financeiras
(+)	Receitas Financeiras
(-)	Amortização de Dívidas
(+)	Novas Dívidas
(+)	Aumento do Capital Social
(+/-)	Variação nos Ativos Não Operacionais
(+/-)	Despesas/Receitas Não Operacionais
(=)	Fluxo de Caixa Livre para Acionistas (FCDA)

Nas próximas seções são discutidos os principais aspectos relacionados a projeção de fluxos de caixa em projetos na avaliação de projetos de capital.

3.1.1. Fluxos de Caixa Incrementais

As alternativas de investimento de capital são avaliadas a partir da determinação dos fluxos de caixa incrementais, que consistem no acréscimo as saídas (investimento) e as entradas subsequentes (ABREU FILHO & CURY, 2018). Também conhecido como fluxos de caixa

relevantes, representam os fluxos de caixa adicionais — saídas ou entradas — que se espera obter a partir da decisão de investimento em um projeto de capital.

Kayo *et al.* (2012) ponderam que somente os fluxos incrementais devem ser utilizados nas projeções de fluxos de caixa futuros. Os fluxos já existentes independentes da realização ou não do projeto não devem ser considerados. Por exemplo, em um projeto de ampliação fabril, não se deve projetar todos os fluxos referentes à produção da nova instalação e contrapô-los com os custos de expansão. Deve-se apenas levar em consideração o aumento marginal na receita oriundo da ampliação da capacidade. Caso contrário, a análise de viabilidade estaria superestimada.

3.1.2. Custos Afundados (*Sunk Costs*)

Os custos afundados, ou em inglês *sunk costs*, são custos que já ocorreram independentemente da realização ou não do investimento de capital. O exemplo mais expressivo de custo afundado envolve a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos (P&D). Em projetos de infraestrutura, os custos afundados envolvem a elaboração de pré-projetos de engenharia, estudos e elaboração de propostas, dentre outros. Esses custos devem ser desprezados na análise dos fluxos de caixa (GITMAN, 2010; PÓVOA, 2020).

A análise de investimentos deve considerar, para efeitos de precificação, os eventos estimados a partir do início da projeção. Receitas e custos já incorridos consistem em fatos passados e já estão refletidos no caixa e na situação atual da empresa – por isso o nome “custo afundado”.

3.1.3. Custos de Oportunidade

Os custos de oportunidade representam os fluxos de caixa não realizados em decorrência do emprego do ativo no projeto proposto. O custo de oportunidade é um conceito atrelado ao sacrifício da perda de remuneração admitido pelo investidor pela decisão de ter aplicado seus recursos financeiros em algum investimento alternativo, de mesmo nível de risco (ABREU FILHO & CURY, 2018).

São fluxos de caixa que poderiam ser realizados por meio do melhor uso alternativo de um ativo pertencente à empresa. Por isso, quaisquer custos de oportunidade devem ser incluídos como saídas de caixa ao determinar os fluxos de caixa incrementais de um projeto.

3.1.4. Capital de Giro

O capital de giro líquido é a parcela pela qual o ativo circulante de uma empresa supera o passivo circulante. A diferença entre a variação do ativo circulante e a variação do passivo circulante é a variação do capital de giro líquido. Normalmente, o ativo circulante aumenta mais do que o passivo circulante, resultando em maior investimento em capital de giro líquido. Esse maior investimento é tratado como uma saída inicial. Se a variação do capital de giro líquido for negativa, será mostrada como uma entrada inicial (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2013).

Por exemplo, para o projeto de uma refinaria de petróleo é preciso considerar os investimentos em estoque de matéria-prima, estoques de produtos em processamento, estoques de produtos acabados, caixa mínimo operacional, entre outros. Todos esses investimentos variam proporcionalmente com os níveis de produção da refinaria (KAYO *et al.*, 2012).

Para suportar aumentos nos níveis de produção, é necessário que se disponha de caixa para sustentar o novo nível operacional, e crescentes aumento nas contas a receber, estoques e contas a pagar necessários para atender a maior demanda por produtos (GITMAN, 2010).

3.2. Custo Médio Ponderado do Capital (WACC)

As expressões “custo de capital”, “taxa de desconto”, “taxa mínima de atratividade” são frequentemente utilizadas como sinônimos para referir-se ao mínimo retorno que remunera o risco de investimento. O custo de capital é calculado para cada componente da estrutura de capital de uma empresa ou projeto. Compõem a estrutura de capital o custo do capital de terceiros (k_i), relacionados às dívidas onerosas mantidas, e o custo do capital próprio (k_e), que representa a remuneração mínima exigida pelos acionistas.

A proporção entre as duas fontes de financiamento é expressa pelo custo médio ponderado do capital, ou também conhecido pelo seu acrônimo em inglês WACC (*Weighted Average Cost of Capital*). É usado como custo de oportunidade dos capitais investidos na empresa, indicando o

retorno mínimo necessário que a empresa deve auferir para remunerar as expectativas de seus credores e acionistas. O WACC é a taxa de desconto a ser aplicada aos fluxos de caixa esperados para determinação do seu valor econômico (ASSAF NETO, 2014). Sua formulação é expressa por:

$$WACC = K_e \frac{PL}{P + PL} + K_i(1 - \tau) \frac{P}{P + PL} \quad (3.2)$$

Onde:

WACC: custo total do capital;

K_e: custo de oportunidade do capital próprio. Taxa mínima de retorno exigida pelos acionistas considerando o risco do capital investido;

K_i: custo explícito de capital de terceiros (dívidas onerosas – empréstimos e financiamento);

τ: alíquota de imposto de renda;

P: capital oneroso de terceiros (passivos com juros) e valor de mercado;

PL: capital próprio a valor de mercado (quantidade de ações x cotação de mercado de cada ação);

P+PL: total do capital investido na empresa a valor de mercado.

Para Gitman (2010), há duas formas para se calcular os pesos do WACC: com base i) no valor contábil ou ii) no valor de mercado, valendo-se de proporções históricas ou ideais. Os pesos baseados em valores contábeis utilizam dados dos balanços contábeis para medir a proporção de cada fonte de capital na estrutura financeira da empresa. Os pesos baseados em valores de mercado medem a proporção de cada tipo de capital ao preço de mercado dos títulos envolvidos.

Essa última alternativa mostra-se mais atraente, pois melhor se aproxima da quantia efetiva a ser recebida com a venda dos títulos. Somam-se também os fatos das empresas calcularem o custo do capital com base nos preços vigentes no mercado e os fluxos de caixa de investimento de longo prazo a que se aplicam o custo de capital serem estimados em termos de valores de mercado correntes e futuros.

Os pesos históricos podem basear-se em valores contábeis ou de mercado, com as proporções efetivas da estrutura de capital. Esse esquema de ponderação está alicerçado em proporções reais. Os pesos ideais também podem basear-se em valores contábeis ou de mercado, refletindo as proporções desejadas da estrutura de capital da empresa. As empresas que usam pesos ideais estabelecem essas proporções com base na estrutura de capital “ótima” que desejam atingir.

Considerando o grau de subjetividade associado ao cálculo do custo médio ponderado de capital, a escolha dos pesos pode não ser crucial. Entretanto, do ponto de vista puramente teórico, o esquema preferível de ponderação emprega proporções ideais baseadas no valor de mercado.

3.3. Custo de Capital de Terceiros – Custo da Dívida

O custo de capital de terceiros, também conhecido como o custo da dívida, consiste no custo que uma empresa arca ao obter empréstimos e financiamento no mercado. É um custo explícito de capital, calculado pela taxa de desconto que iguala as entradas e saídas de caixa em um momento no tempo. Existem diversas modalidades de financiamento que assumem diferentes taxas de juros ao tomador dos recursos. As variáveis que influenciam essas diferenças são, segundo Assaf Neto (2014), prazo de vencimento, risco de não pagamento e liquidez.

O autor sintetiza as principais características que relacionam o custo da dívida com as variáveis risco, custo e a questão fiscal conforme apresentado a seguir.

- A taxa de juros deve ser coerente com o nível de risco do tomador de recursos e as condições de mercado. Empresas e projetos podem captar a diferentes taxas de juros;
- Por se tratar de uma expectativa de pagamento futuro, existe o risco de que a liquidação da dívida não ocorra na forma esperada, o chamado risco de crédito. Quanto maior o prazo para liquidação, maior o risco da não liquidação;
- Os encargos financeiros da dívida reduzem o lucro tributável de organizações e projetos. Logo, produzem um benefício fiscal, que se eleva proporcionalmente ao capital de terceiros em sua estrutura de financiamento;
- O credor da dívida assume um risco menor do que o acionista, fundamentado pela prioridade no recebimento na remuneração do capital e ressarcimento em caso de descontinuidade nos pagamentos da dívida. Por conseguinte, o custo da dívida torna-se, geralmente, mais barato do que o capital próprio, fornecendo um atrativo para alavancagem financeira;
- Por outro lado, quanto maior o endividamento das empresas e dos projetos na sua estrutura de capital, maior é o risco de falência. Ante ao maior risco, os acionistas passam a exigir um maior retorno mínimo, onerando o custo de capital próprio da

empresa. Por sua vez, o credor irá exigir uma maior taxa de remuneração conforme a empresa aumenta a sua alavancagem financeira. Existe um ponto ótimo na relação dívida/patrimônio líquido, que minimiza o custo de capital e maximiza o seu valor econômico.

3.4. Custo do Capital Próprio e o CAPM

O custo do capital próprio é a taxa de retorno que os investidores (acionistas) exigem para investir em uma empresa. Representa o ganho mínimo que justifica a aceitação de um investimento. De acordo com o princípio da substituição, os investidores somente aplicam seus recursos em um determinado ativo se não encontrarem alternativa economicamente equivalente à decisão (ABREU FILHO & CURY, 2018).

A relação entre o risco assumido e o retorno esperado é de extrema relevância quando se trata de decisões em investimento, composição de ativos e *valuation*. Como medir o risco? Quanto recompensar pelo risco assumido? Essas são questões que desempenham papel de destaque no debate entre teóricos sobre qual o melhor modelo a ser utilizado. Assaf Neto (2014) aponta como motivos, primeiramente, a dificuldade natural em mensurar o prêmio a ser pago pelo risco. Em segundo lugar, devido à grande importância que essa métrica possui no processo decisório sobre a alocação de capital. Apesar de todos os esforços e evolução do assunto, o custo de capital próprio ainda é obtido por vinculação a certos pressupostos restritivos e algum nível de subjetividade na sua incorporação.

A partir da década de 60, foram desenvolvidos modelos quantitativos para explicar a relação risco-retorno. Dentre eles, o Modelo de Formação de Preços de Ativos (CAPM - *Capital Asset Price Model*) é o modelo mais aceito e o utilizado como padrão para estimativa do custo do capital próprio (DAMODORAN, 2008; PÓVOA, 2020).

De acordo com Póvoa (2020), o desenvolvimento do modelo CAPM é atribuído a Sharpe (1964) e Linter (1964). Diversos outros autores posteriormente ampliaram, refinaram e testaram essa teoria que, hoje, é de aceitação generalizada. A base para construção do CAPM é a premissa de que a variância dos retornos é a medida de risco mais apropriada.

No entanto, somente a porção não diversificável do risco é recompensada. Essa parcela do risco, que não pode ser eliminada por meio da diversificação de uma carteira, corresponde a riscos sistêmicos que afetam o mercado como um todo. O modelo mede a variância não diversificável usando uma estimativa β (coeficiente beta) e a relaciona com os retornos esperados.

Damodaran (2008) explica a fundamentação do modelo afirmando que os investidores alocarão os seus recursos em dois ativos – um livre de risco e uma carteira de mercado com todos ativos sujeitos a risco, proporcionalmente aos seus valores de mercado. Dessa forma, o risco de qualquer ativo será medido pela quantidade de risco adicional acrescido à carteira de mercado. O risco adicional pode ser estimado utilizando-se a covariância entre os retornos do ativo e a carteira de mercado. Esta covariância pode ser padronizada se dividida pela variância do mercado.

Por exemplo, a Figura 3.1 representa graficamente a relação entre os retornos de dois ativos (eixo y) - R e S - frente aos retornos do mercado (eixo x) para um dado período de tempo. Os retornos podem ser medidos em períodos diários, mensais ou anuais. A mensuração empírica do β pode ser aproximada por meio da regressão dos mínimos quadrados para encontrar o coeficiente da regressão b_j da reta dada pela equação (GITMAN, 2010):

$$r_j = a_j + b_j r_m + e_j \quad (3.3)$$

Onde:

r_j : retorno do ativo j ;

a_j : interseção;

b_j : coeficiente β , dado pela Equação 3.4;

e_j : termo de erro aleatório, que reflete o risco diversificável, ou não sistemático, do j .

$$b_j = \frac{Cov(r_j, r_m)}{\sigma_m^2} \quad (3.4)$$

Onde:

$Cov(r_j, r_m)$: covariância do retorno do ativo j , r_j , e do retorno da carteira de mercado, r_m ;

σ_m^2 : variância do retorno da carteira de mercado;

r_m : taxa de retorno exigida sobre a carteira de títulos do mercado.

Derivação gráfica do beta dos ativos R e S

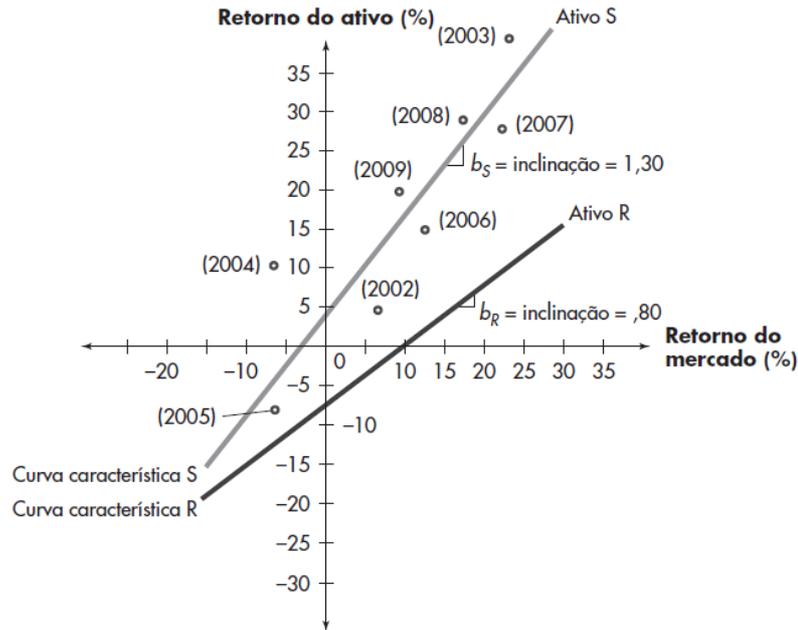


Figura 3.1: Derivação gráfica do β dos ativos R e S
Fonte: Gitman (2010).

A inclinação da reta formada é o beta. O beta do mercado é considerado como igual a 1,0. A maioria dos betas situam-se entre 0,5 e 2,0, embora também possam assumir valores negativos (GITMAN, 2010). O retorno de uma ação do ativo S, apresentado na imagem anterior, cujo β corresponde a 1,3, implica que para cada 1,0% de variação no retorno da carteira de mercado, o retorno da ação deve mudar 1,3%. Comparando os retornos esperados dos ativos R e S, depreende-se que o beta mais elevado do ativo S indica que seu retorno é mais sensível as variações do mercado. Logo, conclui-se que o ativo S é mais arriscado do que o ativo R.

O modelo de formação de preços é dado pela Equação 3.5.

$$r_j = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad (3.5)$$

Em que:

r_j : retorno exigido do ativo j ;

r_f : taxa de retorno livre de risco;

β : coeficiente beta ou índice de risco não diversificável do ativo j ;

r_m : retorno de mercado (retorno sobre a carteira de mercado de ativos).

A equação anteriormente apresentada pode ser interpretada em duas parcelas que compõem o CAPM: (1) a taxa de retorno livre de risco (r_f), que é o retorno exigido sobre um ativo livre de risco. Pode ser usado como referência uma Letra do Tesouro norte-americano (*T-bill*), uma

obrigação de curto prazo emitida pelo Tesouro dos Estados Unidos e (2) o prêmio pelo risco assumido $[\beta(r_m - r_f)]$. Essa parcela da equação representa o prêmio que o investidor precisa receber por aceitar o risco médio associado à carteira de mercado. Muitas vezes utilizam-se o *Standard & Poor's 500 Stock Composite Index* ou outro índice de ações semelhante para representar o retorno de mercado.

O CAPM baseia-se na hipótese de um mercado eficiente, com as seguintes características (PÓVOA, 2020):

- Mercado com alta liquidez;
- Investidores dispõem das mesmas informações e expectativas a respeito dos títulos;
- Ausência de restrições ao investimento;
- Ausência de impostos e custos de transação; e
- Investidores racionais, que encaram os títulos da mesma maneira e têm aversão ao risco, preferindo retornos mais altos e riscos mais baixos.

Segundo Gitman (2010), embora o mundo perfeito do mercado eficiente pareça pouco realista, há estudos que respaldam a existência das expectativas descritas pelo CAPM em mercados ativos. Todavia, é feita uma ressalva quanto ao uso generalizado no caso de ativos reais, como instalações e equipamentos, que ainda não há consenso no meio acadêmico. Fatores como a indivisibilidade, do porte relativamente grande, do número limitado de transações e da ausência de um mercado eficiente para esses ativos limitam o seu uso. Contudo, ainda segundo o autor, o CAPM fornece um arcabouço conceitual útil para avaliar o risco e o retorno e relacionar um ao outro.

3.4.1. Determinação da Taxa de Retorno Livre de Risco (r_f)

Em termos práticos, tanto a taxa de retorno livre de risco, como o beta são obtidos por meio de dados históricos sobre os retornos médios de títulos livres de risco e ações. Damodaran (2008) pontua que duas questões devem ser levadas em consideração ao utilizar séries históricas: 1) Qual a extensão do período de medição? 2) Devem ser aplicadas médias geométricas ou aritméticas no cálculo do prêmio do risco?

Usualmente, segundo o autor, períodos de medições superior a dez anos são utilizados na prática. O uso de séries maiores se justifica pela ausência de qualquer tendência de prêmios ao longo do tempo, obtendo-se erros menores e interpretações distorcidas quanto ao bom desempenho do mercado em períodos mais curtos.

Quanto ao segundo questionamento, não há consenso no meio acadêmico. Há quem argumente que a média aritmética é mais consistente com a estrutura da média da variância do CAPM e prevê melhor o prêmio para o período seguinte. Por outro lado, o uso da média geométrica se justifica pelo argumento de melhor prever o prêmio no médio e longo prazo. Geralmente, essa última produz médias mais baixas do que a média aritmética e tem o seu uso recomendado (DAMODORAN, 2008)

Segundo Póvoa (2020), tecnicamente, um ativo considerado como livre de risco deve apresentar três características básicas:

- Inexistência de risco de *default* (calote no pagamento);
- Risco de reinvestimento (se houver pagamento de juros e amortização durante a vida do título, teoricamente já não serve); e
- Imunidade relativamente a oscilação de taxa de juros.

Como citado na seção anterior, muito frequentemente, as taxas de retornos livre de risco são correlacionadas com títulos da dívida pública. Embora as contas do governo e os títulos ofereçam retornos livres de risco em termos nominais, esses não estão livres de risco em termos reais uma vez que a inflação esperada pode ser volátil. A abordagem padrão nesse caso é subtrair a taxa de inflação esperada a partir da taxa de juros nominal para chegar a uma taxa real livre de risco (PÓVOA, 2020).

Muito embora, o *valuation* de empresas e projetos ocorram fora dos Estados Unidos, a taxa de juros livre de risco é frequentemente estimada com base em títulos do tesouro daquele país. Damodaran (2008) argumenta no sentido que, enquanto o capital puder fluir livremente para as economias com maiores retornos reais, pode não haver diferenças nas taxas reais livres de risco entre mercados. O segundo argumento aplica-se em condições de restrição no fluxo de capital entre mercados. Nesse caso, o retorno real esperado de uma economia, a longo prazo, deve ser

igual a taxa de crescimento real esperada. Assim, economias com maior potencial de crescimento devem ter maiores taxas reais de juros livre de risco.

O autor aponta para uma série de restrições quanto ao uso de dados históricos de mercados fora dos EUA, muito embora faça-se necessário estimar um prêmio de risco para uso nesses. Para abordar essa questão de estimativa, parte-se da proposição de que o prêmio de risco em qualquer mercado de ações pode ser expresso pela soma do prêmio base para um mercado de capital maduro mais o prêmio risco país. Essa segunda parcela reflete o risco adicional em um mercado específico. Dois questionamentos derivam da proposição feita: qual deve ser o prêmio base para um mercado de ações maduro? Deveria haver um prêmio por país e, em caso afirmativo, como estimar o prêmio?

Para responder a primeira pergunta, argumenta-se que o mercado acionário dos EUA é um mercado maduro e que existem dados históricos suficientes nos Estados Unidos para fazer uma estimativa razoável do prêmio de risco.

Quanto ao segundo questionamento, parece ser intuitivo que investir em ações em dois países emergentes tem níveis de risco distintos. Todavia, inicialmente, pondera-se sobre os riscos relevantes para a estimativa do custo de patrimônio líquido são riscos de mercado não diversificado. A questão-chave a ser esclarecida é se o risco em um mercado emergente é diversificado ou não diversificável? Embora seja um ponto controverso, argumenta-se que, apesar da queda nas barreiras de negociação entre os mercados, os investidores ainda têm um viés doméstico em suas carteiras e esses mercados permanecem parcialmente segmentados. Contudo, os investidores globalmente diversificados têm desempenhando um papel crescente na precificação de ações no mundo todo. O aumento da correlação entre mercados resulta em uma parte do risco-país sendo não-diversificável.

Corroborando com a linha de raciocínio, Assaf Neto (2014) elenca condições do mercado brasileiro que justificam a adoção de uma economia mais consolidada para mensuração do custo de capital. São elas:

- Forte concentração de capital. Verifica-se no mercado acionário brasileiro, que na média um acionista detém mais de 50% das ações emitidas por uma empresa de capital aberto;
- Predomínio de ações preferencias negociadas na bolsa de valores;
- O índice da bolsa e o conseqüente retorno do mercado são determinados por ações de poucas empresas, que não são representativas do mercado como um todo. Cabe destacar que 5% das companhias de capital aberto negociadas em bolsa no Brasil representam mais de 64% do volume de negócios do mercado acionário.

Dessa maneira, uma alternativa para se obter o custo do patrimônio líquido em mercados emergentes pode ser expresso por:

$$\text{custo capital próprio (real)} = r_f + \beta(r_m - r_f) + \text{risco país} - \text{inflação EUA} \quad (3.6)$$

Detalhando cada termo da expressão:

- Taxa livre de risco (r_f): representa a remuneração nominal dos títulos emitidos pelo Tesouro norte-americano (*treasury bonds*), determinada pela *yield to maturity (YTM)*;
- Coeficiente β : média dos betas das empresas norte-americanas comparável com a companhia brasileira em avaliação. Essa média é obtida de forma desalavancada como *benchmark* e alavancada de acordo com a estrutura de capital mantida pela empresa e alíquota de IR e CSLL;
- Rentabilidade da carteira de mercado (r_m): geralmente obtida pelo retorno da carteira da bolsa de valores de Nova York (*NYSE*) ou da carteira *Standard&Poor's (S&P)*;
- Risco país: representa o risco de *default* do mercado brasileiro. De maneira mais simples, pode ser determinado pela diferença entre as taxas de juros dos títulos da dívida externa brasileira e do bônus do Tesouro Americano (*T-Bonds*).

Sobre esse último item, Póvoa (2020) complementa que historicamente o mercado utilizou o *Emerging Market Bond Index (EMBI)*. É um indicador calculado a partir do diferencial de risco, em pontos percentuais, entre uma cesta de títulos brasileiros soberanos emitidos no exterior e um grupo de títulos norte-americanos com prazo de vencimento equivalente. O EMBI teve grande importância no processo de *valuation* de empresas brasileiras até o início deste século. Alternativamente, o mercado passou a usar como referência o *Credit Default Swap*, um

instrumento financeiro que corresponde a um seguro que o investidor tem que pagar para garantir o principal, em caso de calote de algum título soberano brasileiro.

3.4.2. Determinação do Beta (β)

O beta de uma empresa, segundo Damadoran (2008), é determinado por três variáveis: o tipo de negócio da empresa, o grau de alavancagem operacional e a alavancagem financeira. O valor do beta correlaciona o grau de risco de uma empresa frente a um índice de mercado. Quanto mais sensível o negócio for as condições de mercado, maior o valor esperado para o beta. De acordo com essa interpretação, é esperado que empresas de negócios cíclicos tenham betas mais altos do que empresas não-cíclicas (*ceteris paribus*). Sob essa mesma ótica, a diversificação de negócios e setores de atuação é uma forma para mitigar o risco da organização.

O grau de alavancagem operacional é definido como a relação entre os custos fixos e totais de uma empresa. Uma empresa cujos custos fixos representam uma grande fatia dos custos totais, isto é, operacionalmente alavancada, é mais suscetível a variância nas receitas operacionais, o que implica em maiores betas permanecendo inalterada as demais condições.

Por fim, quanto maior a alavancagem financeira maior o beta do seu patrimônio líquido, permanecendo tudo igual. O risco de uma empresa pode ser dividido em dois grupos: econômico e financeiro. O primeiro grupo engloba os riscos do negócio da empresa, determinado por fatores tais como concorrência, dependência de tecnologia, alavancagem operacional, dentre outros. O risco financeiro, por outro lado, retrata a capacidade financeira da empresa em honrar os seus compromissos com terceiros (ASSAF NETO, 2014).

Os pagamentos de juros sobre a dívida aumentam a variância da receita líquida. Quanto maior a alavancagem, mais alto é o risco de não pagamento. Por outro lado, se todo capital da empresa tiver como origem os acionistas não há risco financeiro.

Quando se calcula o beta de uma determinada empresa por meio da regressão dos retornos das ações e mercado, apura-se uma medida do risco total da empresa, também conhecido como beta alavancado (β_L). O coeficiente que exprime somente o risco de negócio é denominado de beta desalavancado (β_U), expresso por:

$$\beta_L = \beta_U \left(1 + [1 - t] \left[\frac{D}{E} \right] \right) \quad (3.7)$$

Onde:

β_L : beta alavancado do patrimônio líquido da empresa;

β_U : beta não alavancado da empresa (beta sem dívidas);

t : alíquota de imposto corporativo;

D/E : relação dívida/patrimônio líquido (*debt/equity*).

A seguir, na Tabela 3.3, são apresentados os betas setoriais relacionados com a construção e provimento de serviços de infraestrutura. São mostrados os betas não alavancados (β_U) e alavancados (β_L) com base em um levantamento feito com empresas de mercados emergentes no ano de 2019.

Tabela 3.3: Betas setoriais voltados à infraestrutura de mercados emergentes

Segmento Industrial	Nº de empresas avaliadas	Beta Não Alavancado (β_U)	Beta Alavancado (β_L)
Transporte Aéreo	87	0,57	0,99
Carvão & energia	108	1,13	1,30
Suprimentos Construção Civil	518	0,96	1,14
Engenharia/Construção	797	0,89	1,26
Saneamento e Serviços Ambientais	117	1,06	1,25
Energia renovável	90	0,68	1,06
Óleo e Gás (geral)	24	0,96	1,19
Óleo e Gás (produção/exploração)	133	1,32	1,62
Óleo e Gás (distribuição)	84	0,86	1,27
Energia	360	0,52	0,85
Telecom (<i>Wireless</i>)	60	0,76	0,99
Telecom. (Equipamentos)	296	1,45	1,45
Telecom. (Serviços)	128	0,81	0,99
Transportes	176	0,87	1,11
Transporte Ferroviário	11	1,30	1,45
Mercado Total (Sem Serviços Financeiros)	19.676	0,93	1,14
Mercado Total	21.855	0,84	1,11

Fonte: Damadoran (2020b).

3.5. Métricas de Avaliação de Projetos

Existem diversas métricas para avaliar a atratividade de um projeto de investimento. As mais difundidas na literatura são: o *payback* simples e descontado, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) simples e modificada, índice de lucratividade e valor anual equivalente

(CASSAROTTO FILHO & KOPITTKÉ 2000; GITMAN, 2010; KAYO *et al.*, 2012; BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2012; ASSAF NETO, 2014; ABREU FILHO & CURY, 2018; PÓVOA, 2020).

Cada métrica possui suas particularidades, aplicações adequadas e limitações. Em comum, todas partem de dois parâmetros básicos: fluxos de caixa projetados e taxas de desconto (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2013). Nas seções seguintes são discutidos os dois principais indicadores para avaliação de projetos: VPL e TIR. Segundo Bordeaux-Rêgo *et al.* (2013), uma pesquisa realizada nos Estados Unidos, conduzida por Harvey e Graham (2001), apontou que das 392 maiores empresas norte-americanas, 78% utilizam esses indicadores na avaliação de projetos.

Segundo Cassarotto Filho & Kopittke (2000), na avaliação de projetos, o CAPM pode ser utilizado como a taxa mínima de atratividade (TMA), quando o projeto de investimento tem nível de risco comparável com o da empresa. Quando o risco do projeto exceder o risco da empresa, deve-se utilizar uma taxa superior.

3.5.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é encontrado subtraindo-se o investimento inicial de um projeto (FC_0) do valor presente das suas entradas de caixa (FC_t), descontadas a taxa de custo de capital da empresa (r), conforme expresso pela Equação 3.8.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (3.8)$$

Para Gitman (2010), o VPL é uma técnica sofisticada para orçamento de capital, pois considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo, descontando os fluxos de caixa esperados a uma taxa especificada que reflete o custo do capital ou o custo de oportunidade. Ao utilizar essa técnica, deve-se considerar os seguintes critérios para aceitação-rejeição dos investimentos:

- $VPL > 0$, aceitar o projeto;
- $VPL < 0$, rejeitar o projeto.

Considera-se, dessa forma, que um VPL maior do que zero indica que a empresa receberá um retorno superior ao seu custo de capital. Isso aumentaria o seu valor de mercado e, portanto, a riqueza dos acionistas em um valor correspondente ao seu VPL.

O uso do VPL pressupõe de forma implícita que quaisquer entradas de caixa intermediárias geradas por um investimento sejam reinvestidas ao custo de capital da empresa. Como será visto na seção seguinte, o uso da taxa interna de retorno (TIR) pressupõe reinvestimento a taxa especificada pela TIR, geralmente superior ao custo do capital (ASSAF NETO, 2012). Como o custo de capital tende a ser uma estimativa razoável da taxa a que a empresa pode efetivamente reinvestir as entradas de caixa intermediárias, usar o VPL, a uma taxa de reinvestimento mais conservadora e realista, é preferível, em tese (GITMAN, 2010).

3.5.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) consiste na taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento seja igual a zero (CASSAROTTO FILHO & KOPITTKKE 2000; GITMAN, 2010; ASSAF NETO, 2012). É a taxa de retorno composta que a empresa obterá se investir no projeto e receber as entradas previstas.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - FC_0 \quad (3.9)$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = FC_0 \quad (3.10)$$

Utilizam-se os seguintes critérios para aceitação-rejeição de projetos quando aplicada a taxa interna de retorno. Esses critérios asseguram que a empresa receba, pelo menos, o retorno requerido. Tal resultado deve aumentar o seu valor de mercado e riqueza dos acionistas (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2013).

- TIR > custo de capital, aceitar o projeto;
- TIR < custo de capital, rejeitar o projeto.

Além da questão do reinvestimento pontuada na seção anterior, Cassarotto Filho & Kopittke (2000) apontam para a subjetividade em comparar a TIR de um projeto a uma taxa mínima de atratividade arbitrada. Há ainda uma limitação matemática do uso da TIR para o caso de fluxos

de caixa não convencionais – aqueles que possuem mais de uma mudança de sinal. Nesses casos, existe mais de uma raiz para solução da equação, que é igual ao número de mudanças de sinais nos coeficientes do fluxo de caixa. Dessa maneira, podem existir múltiplas TIRs para um mesmo projeto (BORDEAUX-RÊGO et al, 2013).

Apesar das limitações apresentadas, Gitman (2010) aponta pela predileção do uso da TIR na avaliação de investimentos de capital. Como taxas de juros, lucratividade e outros são usualmente expressos em taxas anuais de retorno, o uso da TIR faz sentido para os tomadores de decisões financeiras. Eles tendem a achar o VPL menos intuitivo, por não medir os benefícios em relação a quantia investida. Quanto a sua limitação matemática, há técnicas para evitar as armadilhas da TIR e o seu uso generalizado não implica falta de sofisticação da parte dos tomadores de decisões financeiras.

Para Kayo *et al.* (2012), a taxa interna de retorno modificada (TIR-M) é uma alteração do método original para tentar eliminar parte de suas limitações. No caso de fluxos de caixa não convencionais, não existem múltiplas TIR-M. Além disso, o reinvestimento dos fluxos de caixa pode ser realizado a uma outra taxa de desconto.

O problema da TIR-M, no entanto, é que se faz necessária a determinação de duas taxas de desconto para o seu cálculo: uma de financiamento e outra de investimento. A taxa de financiamento está diretamente associada ao custo do capital da empresa. A segunda taxa, é definida por meio da média das taxas que a empresa reinveste seus lucros. Essa taxa pode ser associada ao ROE (*return on equity*) se considerado o custo do capital próprio como taxa de financiamento, ou a ROA (*return on assets*), se considerado o custo médio ponderado do capital como taxa de financiamento.

A TIR-M é calculada por meio do somatório de todos os fluxos de caixa negativos trazidos ao valor presente pela taxa de financiamento ($VP_{saídas}$) e do somatório dos fluxos de caixa positivos levados ao valor futuro para a data do último fluxo de caixa do projeto ($VF_{entradas}$). Dessa forma, a TIR-M é expressa por:

$$TIR - M = \left(\frac{VF_{entradas}}{PV_{saídas}} \right) - 1 \quad (3.11)$$

$$PV_{saídas} = \sum_{t=0}^T \frac{(R_t - D_t)}{(1 + i_{fin})^t}, \text{ se } R_t < D_t \quad (3.12)$$

$$FV_{entradas} = \sum_{t=0}^T (R_t - D_t)(1 + i_{inv})^{(T-t)}, \text{ se } R_t \geq D_t \quad (3.13)$$

Onde:

TIR-M: taxa interna de retorno modificada;

VP saídas: valor presente saídas de caixa;

VF entradas: valor futuro entradas de caixa;

Rt: receitas em t;

Dt: despesas em t;

i_{inv}: taxa de investimento;

i_{fin}: taxa de reinvestimento;

t: cada um dos anos (ou meses) dos respectivos fluxos de caixa;

T: prazo total do projeto.

4. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS (TOR)

Myers (1984) destacou os principais problemas e limitações do método FCD, concluindo que sua aplicação pode levar a decisões equivocadas de investimento. Uma limitação do uso do FCD reside no fato de que os fluxos futuros esperados não refletem adequadamente a flexibilidade dentro do investimento e a operação dos ativos. Cita-se também que o fluxo de caixa em diferentes pontos no tempo geralmente exige taxas de desconto diferentes para refletir seus riscos adequadamente. Além disso, o FCD favorece projetos de curto prazo em determinados mercados, em detrimento de investimentos de longo prazo. A Tabela 4.1 elenca as principais limitações decorrentes das premissas consideradas no uso do FCD e a realidade da avaliação de investimentos.

Tabela 4.1: Desvantagens do FCD (premissas x realidade)

Premissas FCD	Realidade
As decisões são tomadas agora e fluxos de caixa são fixos para o futuro.	Incerteza e variabilidade em resultados futuros. Nem todas as decisões são tomadas no presente. Algumas são postergadas para o futuro quando a incerteza se torna resolvida.
Projetos são como “mini firmas” e são intercambiáveis com toda a empresa.	Com a inclusão de efeitos de rede, diversificação, interdependência e sinergia, empresas são portfólios de projetos e refletem o fluxo desses. Em muitas situações, projetos não podem ser avaliados como fluxos de caixa isolados.
Depois de iniciado, todos os projetos são gerenciados passivamente.	Projetos são usualmente gerenciados ativamente durante o seu ciclo de vida.
Fluxos de caixa futuros são determinísticos e altamente previsíveis.	Na prática, pode ser difícil estimar fluxos de caixa futuros, pois esses são estocásticos e sujeitos a risco em sua essência.
A taxa de desconto do projeto usada é o custo de oportunidade de capital, que é proporcional ao risco não diversificável.	Existem diversas fontes de riscos de negócio com características diversas e alguns são diversificáveis durante o ciclo de vida do projeto.
Todos os riscos são completamente quantificados na taxa de desconto.	A exposição ao risco do negócio e do projeto podem mudar durante o curso do projeto.
Todos os fatores que podem afetar o resultado do projeto e agregar valor para os investidores são refletidos no FCD, avaliados pelo VPL ou TIR.	Devido à complexidade do projeto e externalidades, pode ser difícil ou impossível quantificar todos os fatores em termos de fluxos de caixa incrementais. Resultados distribuídos e não planejados (ex. visão estratégica) podem ser significativos e estratégicos.
Incertezas desconhecidas (<i>unknown</i>), intangíveis ou não quantificáveis são valoradas em zero.	A maioria dos benefícios são ativos intangíveis ou posições estratégicas qualitativas.

Fonte: adaptado Munn (2002).

A metodologia tradicional de *valuation* baseada no fluxo de caixa descontado não considera alguns dos atributos intrínsecos da oportunidade de investimento. Os métodos tradicionais assumem que o investimento é uma estratégia do tipo tudo-nada e não consideram a flexibilidade gerencial que o curso de um investimento pode ser alterado ao longo do tempo, quando certos aspectos da incerteza do projeto se tornam conhecidos.

A partir da limitação do FCD em lidar com as flexibilidades gerenciais, surgiu a aplicação da Teoria das Opções Reais, capaz de captar o valor de flexibilidades em investimentos irreversíveis e sob incerteza (DIXIT & PINDYCK, 1994). Segundo Munn (2002), um dos componentes de valor agregado do seu uso leva em consideração a capacidade da administração de criar, executar e abandonar estratégias e flexibilidade gerenciais.

As opções reais utilizam a teoria das opções financeiras para analisar ativos reais. Hull (2015) define uma opção financeira como um contrato que confere ao seu portador o direito, mas não a obrigação legal, ao contrário dos contratos futuros, de conduzir uma transação envolvendo um ativo subjacente - por exemplo, ações, câmbio, índices e mercados futuros. A transação ocorre em uma data futura predeterminada ou dentro de um período de tempo especificado e a um preço predeterminado (o preço de exercício).

Embora existam muitas similaridades entre as opções reais e financeiras, há também algumas diferenças. Por exemplo, as opções financeiras têm curto prazo de vencimento, geralmente meses, enquanto as opções reais possuem validade de anos. O ativo subjacente no caso das opções financeiras são ações; enquanto as opções reais utilizam uma série de ativos reais. A Tabela 4.2 elenca as principais diferenças concernentes às opções reais e financeiras.

O conceito de opções reais foi introduzido inicialmente por Myers (1977) ao descrever o comportamento discricionário de investimentos futuros de uma firma como opções de compra. Para Copeland & Antikarov (2001), uma opção real é um direito, mas não a obrigação, de executar uma determinada ação a um custo pré-definido.

Segundo os autores, o registro mais antigo de uma opção real remonta à Grécia Antiga. O filósofo sofista Tales, ao ler as folhas de chá, teve o pressentimento de que a colheita de azeitonas naquela safra seria abundante. Confiante de sua intuição, Tales juntou todas as suas

economias e ofereceu aos proprietários das prensas de azeite como contrapartida ao direito de alugá-las durante a época de colheita ao preço habitual. Chegada a época da colheita, a previsão de Tales fez-se realidade. A safra superou todas expectativas. Então, Tales pagou aos proprietários das prensas o preço acordado no contrato de aluguel, mas cobrou dos plantadores o preço de mercado (quantia bem mais elevada), auferindo lucros extraordinários.

Tabela 4.2: Opções financeiras x opções reais

Opções Financeiras	Opções Reais
Curto prazo de vencimento, geralmente em meses.	Longo prazo de vencimento, geralmente anos.
Ativo subjacente que direciona seu valor é o preço das ações ou outro ativo financeiro.	Ativo subjacente são fluxos de caixa futuros, afetados por fatores tais como demanda, competição e gestão.
Não é possível controlar o valor da opção manipulação dos preços das ações.	Pode influenciar estrategicamente o valor da opção por decisões de gerenciamento e flexibilidade.
Os valores geralmente são pequenos.	Cada opção envolve vultosos valores na ordem de milhões ou bilhões.
Efeitos competitivos ou de mercado são irrelevantes para seu valor e preço.	O valor da opção é influenciado por fatores relacionados a competição e/ou mercado.
São negociados no mercado desde a década de 70	Incorporado a partir da década de 80 na rotina das finanças corporativas
Resolvidas usando soluções fechadas com o emprego de equações diferenciais parciais/ redução de variância para opções exóticas.	Geralmente solucionadas em equações de forma fechada e árvores binomiais com a simulação do ativo subjacente.
São ativos negociáveis com base em informações de mercado (maior segurança)	Não negociado no mercado, sem mercado comparável.
Premissas da administração e decisões não têm influência na avaliação.	As premissas e ações de gerenciamento direcionam o valor de uma opção real.

Fonte: adaptado Munn (2002).

4.1. Características das Opções Reais

As opções reais podem ser de compra ou venda. Uma opção de compra – também conhecida pelo seu termo em inglês *call* - dá o direito a seu portador de comprar o ativo subjacente mediante o pagamento do preço do exercício. Na data de vencimento, uma opção é lucrativa quando a diferença entre o valor do ativo subjacente (S) e o valor do exercício (X) é positiva; caso contrário não possui valor. Matematicamente o valor de uma opção de compra na data de seu vencimento (C) pode ser expresso por:

$$C = \max[S - X, 0] \quad (4.1)$$

A opção de venda (*put*) é exatamente o oposto. É o direito de vender o ativo subjacente pelo preço do exercício. Nesse caso, os retornos são positivos quando o preço de exercício supera o

preço do ativo subjacente. O valor de uma opção de venda na data de vencimento (P) é representada pela Equação 4.2

$$P = \max[X - S, 0] \quad (4.2)$$

O valor intrínseco de uma opção é definido como o valor que teria se não houvesse tempo até o vencimento, de modo que a decisão de exercício tivesse que ser tomada imediatamente, (HULL, 2015), representado pelas Equações 4.1 e 4.2.

As opções têm características diferentes de acordo com o seu valor intrínseco. Diz-se que a opção está no preço (*in-the-money*), quando o valor intrínseco é superior a zero; fora do preço (*out-of-the-money*), quando o seu valor intrínseco é menor do que zero e no preço (*at-the-money*) quando seu valor intrínseco é zero. Evidentemente, uma opção só será exercida se estiver no preço. Na ausência de custos transacionais, uma opção no preço sempre será exercida no seu vencimento se não tiver sido exercido previamente.

Hull (2015) ainda classifica as opções quanto as datas previstas para o exercício, podendo ser opções europeias e americanas. As opções europeias são aquelas que só podem ser exercidas na data do seu vencimento, enquanto as opções americanas podem ser exercidas em qualquer momento durante a sua vida.

De maneira análoga as suas primas, as opções financeiras, as opções reais têm seu valor influenciado por seis variáveis básicas (COPELAND & ANTIKAROV, 2001), listadas a seguir.

- 1) **Valor do ativo subjacente a risco (S).** Em se tratando de opções reais, o ativo subjacente pode ser um projeto, investimento ou aquisição. O valor da opção aumenta à medida que o valor do ativo subjacente cresce. Ao contrário das opções financeiras, em que o detentor atua passivamente sobre o valor do ativo (não é capaz de influenciar nos preços da ação). Os executivos detentores de opções reais podem intervir no curso do projeto, por exemplo, alterando o seu valor de mercado e conseqüente valor das opções reais que dele dependam;
- 2) **Preço de exercício (X).** É o montante investido para exercer uma opção de compra ou venda. À medida que o preço de exercício de uma opção aumenta, o valor da opção de compra diminui e o valor da opção de venda aumenta;

- 3) **Prazo de vencimento da opção (T)**. O valor da opção aumenta quanto maior o prazo de expiração;
- 4) **Desvio padrão do valor do ativo subjacente sujeito a risco (σ)**. Quanto maior o risco do ativo subjacente (maior volatilidade) maior é o valor da opção;
- 5) **Taxa de juros livre de risco (r)**. O valor da opção se eleva à medida que a taxa de juros livre de risco aumenta;
- 6) **Dividendos (D)**. O pagamento de dividendos pelo ativo subjacente reduz o valor da opção real.

4.2. Tipologia das Opções Reais

Segundo Trigegeorgis (1993) a abordagem por opções reais para o orçamento de capital tem o potencial de conceituar e até quantificar o valor das opções decorrentes de uma gestão ativa. Esse valor é decorrente de uma coleção de opções reais incorporadas as oportunidades de investimento em capital. A maioria dessas opções ocorre naturalmente (por exemplo, adiar, contratar, desligar ou abandonar); outras podem ser estrategicamente planejadas ou implementadas mediante um custo adicional (ex: expandir a capacidade, sequenciar investimento ou trocar entre alternativas). A Tabela 4.3 descreve brevemente as categorias mais comuns de opções reais encontradas e os segmentos de mercado que são mais frequentemente aplicadas.

Tabela 4.3: Tipologia as Opções Reais

Tipo de Opção	Descrição	Principal Utilização
Diferir, esperar ou timing	O investidor tem a flexibilidade de adiar um investimento para uma data futura, quando se verificar condições mais favoráveis para tal. Considera-se que, com o passar do tempo, é possível adicionar mais informações a respeito de um dado empreendimento, reduzindo as incertezas. É análoga a uma opção de compra americana.	Extração de recursos minerais e naturais; agronegócio; produção papelreira; mercado imobiliário.
Abandono	Se as condições de mercado são desfavoráveis, o gestor pode optar pelo abandono permanente da operação e vender o projeto ou seus ativos por um valor residual ou evitar futuros custos afundados (<i>sunk costs</i>). É análoga a uma opção de venda americana.	Setores intensivos em capital, por exemplo o mercado de aviação; operação de infraestrutura; serviços financeiros; P&D; e mercados incertos.
Contração	Os projetos podem ser construídos de maneira que a produção possa ser contraída. Essa opção foca na decisão de investimento marginal e apresenta-se como uma solução para o problema	Exploração de recursos naturais; indústria de bens de consumo; mercado imobiliário; e setores cíclicos.

Tipo de Opção	Descrição	Principal Utilização
	da capacidade ótima, salvando parte do investimento e poupando custos operacionais. É análoga a uma opção de venda.	
Expansão	O valor desses projetos deriva de oportunidades de crescimento para os fluxos de caixa esperados. Assim, um projeto em estágio inicial é necessário para desencadear a possibilidade de criação de valor com a ampliação do escopo. É análoga a uma opção de compra.	Setor de infraestrutura; tecnologia; estratégias empresariais, como aquisições e entradas em novos mercados.
Informação	A existência de novas informações pode diminuir as incertezas. Os investimentos sequenciais em informação podem revelar condicionantes capazes de reduzir a variância do risco, bem como indicar o momento adequado para a realização do projeto.	Mercado imobiliário.
Suspensão da operação	Pode ser equivalente a uma opção de compra ou venda. Refere-se a uma flexibilidade onde uma planta pode ser ativada ou desativada dinamicamente diante da mudança das condições de mercado.	Deslocamento de produto. Qualquer bem, obtido em pequenos lotes ou sujeito a demanda volátil.
Mudança de uso (<i>Input</i> ou <i>Output</i>)	Caso ocorram alterações nos preços de mercado ou demanda, flexibilizar a sua cesta de produtos (<i>outputs</i>). Alternativamente, o mesmo mix de produtos pode ser produzido de diferentes maneiras por meio da flexibilização de processos (<i>inputs</i>).	Indústrias sujeitas a demanda. Ex: setor energético, automotivo, indústria química, farmacêutica, microeletrônica.
Investimentos sequenciais (<i>Time to build option</i>)	Escalona o investimento como uma série de desembolsos fracionados. Cria a opção de abandonar o investimento no meio do curso no caso do surgimento de informações desfavoráveis. Pode criar várias opções ao longo do empreendimento. Cada etapa pode ser vista como uma opção sobre o valor das etapas subsequentes e valorada como uma opção composta.	Setores intensivos em P&D, especialmente o setor farmacêutico. Projetos intensivos em capital de longo prazo (infraestrutura); <i>Stratups</i> .
Parar/reiniciar a operação	Pode ser vista como uma opção de compra da receita do período. Possui a flexibilidade para recomeçar após uma suspensão temporária	Em geral, investimentos que se prolongam e não são realizados em etapas sucessivas. Ex: indústria farmacêutica, extração mineral, setor energético.
Interação entre opções compostas	Projetos envolvem uma coletânea de opções com potenciais diferentes que se combinam. O valor das opções combinadas pode diferir do somatório dos seus valores individuais, pois elas interagem.	Projetos na maior parte das indústrias anteriormente mencionadas.
Contratual	São opções incorporadas em contratos (Ex: fixação de preços e prazos de entrega). Opções de contração e comutação também pode aparecer na forma contratual. Nestes tipos de opções, a flexibilidade é negociada através de opções em contratos.	Empresas que investem em flexibilidade e que podem lidar com uma diversidade de clientes e produtos podem tirar proveito lucrativo desse tipo de flexibilidade.

Fonte: adaptado de Costa (2014) e Martins *et al.* (2015).

4.3. Métodos para Precificação de Opções Reais

Os métodos para precificação de opções reais são divididos em três principais tipos: equações diferenciais parciais, programação dinâmica e simulação. Para cada método, existem diversas técnicas de apreçamento associadas (COSTA, 2014).

As equações diferenciais parciais expressam o valor da opção segundo uma equação sujeita a condições de contorno, que relaciona a variação de valor da opção a oscilações verificáveis no mercado. As condições de contorno fornecem o valor da opção em pontos extremos, como na data de maturidade, no limite superior e no limite inferior.

Soluções analíticas podem ser utilizadas para estimativa do valor em alguns modelos de quantificação de opções mais simples, desde que observadas as premissas restritivas. Nesses casos, o valor da opção é obtido por uma equação como função direta dos *inputs*. O Modelo de Black Scholes e Merton é a solução analítica mais conhecida. Em algumas situações, recorre-se a modificação de uma equação diferencial parcial para aproximar analiticamente o valor da opção (COSTA, 2014).

Todavia, para modelos mais complexos utiliza-se a técnica de diferenças finitas. Consiste em aproximar a equação diferencial parcial por meio de um conjunto de equações de diferença, válidas para intervalos incrementais. Condições de contorno são estabelecidas para os valores extremos do ativo subjacente (na data da maturidade, limites superior e inferior). A solução parte dos *payoffs* na data de maturidade e, por meio de um método recursivo, as equações dos intervalos anteriores são solucionadas até o momento inicial (CORTAZAR, 2001).

Nos métodos de programação dinâmica, os valores que o ativo subjacente pode alcançar durante a vida da opção e suas probabilidades neutras ao risco são gerados, formando um reticulado (*lattice*). A técnica de programação dinâmica mais empregada é a árvore multinomial. Nessa abordagem, o processo estocástico de tempo contínuo do ativo subjacente é aproximado por um processo estocástico discreto, multinomial e multiplicativo. Os valores que o ativo subjacente pode assumir durante a vida útil da opção e suas probabilidades neutras em relação ao risco são apresentadas no formato de árvore. O valor da opção é obtido recursivamente dos nós finais em direção ao início da árvore (MILLER & PARK, 2002).

Os modelos de simulação descrevem o comportamento do valor do ativo subjacente por meio de um processo estocástico e um gerador de números aleatórios. Criam-se inúmeras trajetórias de evolução do ativo subjacente do momento presente até a data de maturidade da opção. A solução ótima é obtida no final de cada trajetória e o *payoff* calculado. O valor da opção é obtido tomando-se a média aritmética dos *payoffs* e descontando a taxa livre de risco para obter o valor presente da opção. Melin (2008) avalia a vantagem e desvantagem de cada técnica, evidenciando os critérios a serem considerados para a seleção da mais adequada, conforme apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Vantagens e desvantagens dos métodos de precificação de OR

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Soluções Analíticas	Forma simples e rápida de quantificar a opção.	Premissas são muito restritivas; Distanciamento em relação a situações práticas;
Diferenças Finitas	Permite a análise quando há um conjunto de valores iniciais; Acurácia matemática.	Pouco intuitiva; Complexidade de cálculo aumenta rapidamente com o número de fontes de incerteza.
Árvores Multinomiais	Intuitiva; Trata as características do ativo subjacente e da opção de maneira transparente; Permite visualizar os valores intermediários do ativo subjacente e opção; Flexibilidade (permite incorporar estruturas complexas de decisão, relacionamentos complexos entre o valor do ativo-objeto e da opção e formas complexas de dividendos); Facilidade de implementação.	Considera apenas um valor inicial para o ativo subjacente; Não permite trabalhar com várias fontes de incerteza.
Simulação Monte Carlo	Permite modelar relacionamentos complexos entre o valor da opção e o ativo subjacente; Permite modelar várias fontes de incerteza e processos estocásticos sofisticados; Pode solucionar opções dependentes da trajetória do ativo subjacente.	Não é muito adequado para opções do tipo americana, opções embutidas ou sequência de opções.

Fonte: adaptado Melin (2008).

4.4. Técnicas para Valoração das Opções Reais

Passaram-se mais de quatro décadas desde que o termo “opções reais” foi inicialmente citado no ambiente acadêmico. Desde então, diversas técnicas foram desenvolvidas para o apreçamento das opções reais. Segundo Costa (2014), as técnicas incluem o Modelo Black Scholes e Merton, Modelo Binomial, Modelo de Brennan e Shwartz, Modelo McDonald e Siegel, Modelo Majd Pindyck, Modelo de Paddock, Siegel e Smith, Método de Grant, Vora e

Weeks , Modelo de Opções de Luehrman, Método dos Mínimos Quadrados, Modelo de Cortazar Schwartz e Casaassus, Modelo de Schwartz e Zozaya-Gorostiza e o Método de Gamba.

Para Martins et al (2015) existem cinco técnicas principais para quantificação das opções reais: o Modelo Black Scholes e Merton (MBSM), o Modelo Binomial (MB), a Análise de Árvores de Decisão (AAD), a Simulação Monte Carlo (SMC) e as Opções Reais Híbridas (ORH). As especificações principais, vantagens e desvantagens são sumariamente apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Modelos de precificação de opções reais

Técnica	Vantagens	Desvantagens
MBSM	Simple de calcular o valor da opção.	Aplicável apenas a opções europeias; Funciona apenas com distribuições normais; Requer conhecimentos avançados sobre finanças; As premissas necessárias limitam o uso do modelo (preço, volatilidade, duração); Capaz de lidar com apenas um fator de incerteza.
MB	Eficaz ao lidar com um fator de incerteza; Fornece aos gerentes de projeto uma evolução; apropriada do ativo subjacente; Estima o valor de múltiplas opções.	Requer conhecimentos avançados sobre finanças; Capaz de lidar com apenas um fator de incerteza.
AAD	Permite mapear problemas complexos; Capaz de lidar com várias incertezas; Permite que os tomadores de decisão desenvolvam ideias sobre opções reais; Útil no caso de possíveis mudanças drásticas nos sistemas.	Não fornece o verdadeiro valor do projeto; Se o número de ramificações for alto, torna-se muito complexo e trabalhoso para solução.
SMC	Demonstra graficamente os resultados da análise; Capaz de lidar com múltiplas incertezas; Não requer profundo conhecimento da teoria financeira; Útil para problemas com dependência de caminho;	Falta de transparência; Metodologia difícil de implementar com opções do tipo americanas.
ORH	Interface amigável para documentos múltiplos. Capaz de lidar com múltiplas incertezas; Combina o melhor da análise de decisão e análise de opções; Manuseio independente de peças técnicas e financeiras.	Metodologia difícil de implementar (requer modelagem matemática altamente sofisticada Habilidades).

Fonte: adaptado Martins et al. (2015).

Tirantis (2003) pontua que os modelos Black-Scholes e Merton e o Modelo Binomial são amplamente utilizados para a valoração de problemas envolvendo opções reais, razão pela qual

nas próximas duas seções são abordados os pressupostos conceituais que envolvem esses dois modelos.

4.5. Modelo Black-Scholes e Merton

Os primeiros esforços voltados à aplicação matemática do apreamento de opções reais foram realizados, ainda em 1900, por Louis Bachelier (BERNSTEIN, 2011). Todavia, somente na década de 70, Black & Scholes (1973), no trabalho intitulado “*The pricing of options and corporate liabilities*”, propuseram uma solução fechada para o preço de equilíbrio de uma opção de compra de ação.

O modelo, que mais tarde incorporou as contribuições de Robert Merton (MERTON, 1973), motivo pelo qual é conhecido como Black Scholes & Merton, foi o primeiro de uma série de trabalhos que tratam do apreamento de opções financeiras. Em 1997, a importância do modelo foi reconhecida quando Robert Merton e Myron Scholes foram laureados com o Prêmio Nobel de Economia. Fisher Black morreu em 1995, sem receber a homenagem (HULL, 2015). De acordo com o modelo, o preço de uma opção de venda (P_0) é descrito pela Equação 4.3.

$$P_0 = X \cdot e^{-r_f \cdot T} \cdot N(-d_2) - S_0 \cdot N(-d_1) \quad (4.3)$$

Onde:

S_0 : preço do ativo subjacente (ação ordinária);

$N(d_1)$: probabilidade normal acumulada de uma unidade normal da variável d_1 ;

$N(d_2)$: probabilidade normal acumulada de uma unidade normal da variável d_2 ;

X : preço de exercício;

T : prazo de vencimento;

r_f : taxa livre de risco;

e : base log normal (2,7182...).

As variáveis d_1 e d_2 são dadas respectivamente por:

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + r_f}{\sigma \cdot \sqrt{T}} + \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (4.4)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (4.5)$$

Sendo σ a variância da taxa de retorno da ação.

O modelo assume como verdadeiras a existência de sete “condições ideais” de mercado, que são resumidas na sequência:

- a) O preço da ação segue uma trajetória aleatória contínua ao longo do tempo. O preço da ação segue uma distribuição log-normal (não há preços negativos);
- b) As ações não pagam dividendos ou outro tipo de distribuição;
- c) A taxa livre de risco é constante e conhecida;
- d) A opção é do tipo europeia (só pode ser exercida no seu vencimento);
- e) Não há custos transacionais para compra e venda da opção;
- f) Os papéis são perfeitamente divisíveis;
- g) Não existem requerimentos de margem de garantia.

Embora seja inquestionável o avanço que o modelo trouxe as pesquisas sobre o apreamento de opções financeiras, e também opções reais, há algumas limitações no seu uso. O modelo assume que a variância da taxa de retorno sobre determinado ativo é constante. De fato, isso não ocorre, uma vez que ela depende do preço do ativo e da maturidade da opção.

Outra limitação do modelo reside na sua incapacidade para avaliar opções compostas. Brandão (2002) também destaca a impossibilidade de incorporar no modelo os fluxos de caixas futuros decorrentes de ações tomadas pelos investidores do projeto. Ao contrário dos ativos financeiros, em ativos reais essa situação ocorre frequentemente.

4.6. Modelo Binomial

Cox, Ross e Rubinstein (1979) desenvolveram um modelo para precificação de opções com base na abordagem binomial. Embora tenha sido concebido para precificação de opções financeiras, o modelo é aplicável também às opções reais. A vantagem desse modelo é a sua capacidade de precificar a opção ao longo de todo seu período de vida. Dessa forma, torna-se possível o seu uso para análise tanto de opções europeias, quanto americanas.

Não há solução analítica para valoração de opções americanas. O modelo binomial é, portanto, o modelo mais apropriado para avaliar esse tipo de opção (HULL, 2015). É importante observar, no entanto, que, no limite, os resultados obtidos através o uso de árvores binomiais

tende a se aproximar daquelas derivadas de soluções de formas fechadas, a exemplo do MBSM (MUNN, 2002).

O modelo envolve a construção de uma árvore binomial, que consiste em um diagrama de representação dos diferentes caminhos que podem ser seguidos pelo preço de um ativo durante a vida útil da opção (HULL, 2015). O pressuposto desse método é que o preço do ativo segue uma trajetória aleatória e, em cada período de tempo t , há uma probabilidade p de um movimento de alta no preço e uma probabilidade $1-p$ de queda. Não existe arbitragem para valoração das opções.

O modelo binomial pode ser generalizado para a hipótese de não arbitragem considerando o preço de um ativo V_0 e uma opção sobre o ativo cujo preço é P_0 e vida útil t . Durante a vida da opção, o preço do ativo pode passar de V_0 para um nível V_0u , onde $u>1$, ou pode assumir um valor V_0d , onde $d<1$. Caso o preço do ativo suba para V_0u , o preço da opção assume P_u e, se o preço do ativo decai, o preço da opção assume P_d . A situação para um nó é apresentada na Figura 4.1.

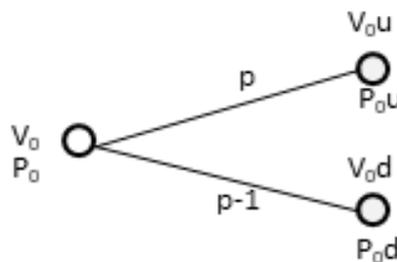


Figura 4.1: Preços ativo e opção para árvore binomial de nó único
Fonte: adaptado Hull (2015).

Segundo Copeland & Antikarov (2001), a aplicação direta da árvore binomial para resolução de problemas envolvendo opções reais não é suficiente, pois não há como correlacionar perfeitamente os valores dos fluxos de caixa do projeto com e sem opção, ferindo a hipótese dos preços únicos (não arbitragem). Nesse caso, os autores sugerem complementarmente ao uso da árvore a aplicação do método do portfólio replicado ou abordagem neutra em relação ao risco, como descrito nas seções seguintes.

4.6.1. Abordagem do Portfólio Replicado

Para se estimar o valor presente líquido de projetos que possuem algum tipo de opção real, cujos desembolsos de capital e fluxos de caixa são conhecidos, a grande questão é encontrar uma taxa de desconto ajustada ao risco. Uma solução é recorrer ao Modelo de Formação de Preços dos Ativos de Capital para se encontrar betas em nível de empresas que supostamente tenham o mesmo risco que o projeto em avaliação – “ativo gêmeo”.

Uma solução mais refinada para o problema pode ser obtida com a criação de um portfólio de títulos cujos valores tenham exatamente os mesmos retornos do projeto em análise e aplicar a Lei do Preço Único (COPELAND & ANTIKAROV, 2001). Dois ativos que têm exatamente o mesmo retorno em qualquer situação e são substitutos perfeitos devem possuir o mesmo valor de modo a impedir lucros por arbitragem.

O portfólio replicado pode ser composto por m ações do ativo gêmeo e B títulos da dívida sem risco para reproduzir os retornos do projeto. Sejam P_u e P_d os retornos de uma opção na situação de preços ascendentes e descendentes respectivamente e V_u e V_d os valores do ativo subjacente nas situações ascendentes e descendentes (Equações 4.6 e 4.7).

$$mV_u + B(1 + r_f) = P_u \quad (4.6)$$

$$mV_d + B(1 + r_f) = P_d \quad (4.7)$$

$$m = \frac{P_u - P_d}{V_u - V_d} = \frac{\text{Retorno incremental da opção}}{\text{variação}} \quad (4.8)$$

Na Equação 4.8, diferença entre as Equações 4.7 e 4.6, m é o coeficiente entre o retorno incremental da opção e a variação de seu ativo gêmeo – um coeficiente de *hedge*. Dessa forma, o coeficiente de *hedge*, multiplicado pelo valor do ativo subjacente sujeito a risco V_0 menos o valor da opção de venda, P_0 , proporciona o retorno livre de risco, B_0 , como mostra a Equação 4.9, a seguir. Se existirem m unidades do ativo gêmeo e o seu valor aumenta, o ganho de capital será compensado exatamente pela perda de capital na posição descoberto, decorrente da baixa na posição vendida.

$$mV_0 - B_0 = P_0 \quad (4.9)$$

A limitação da abordagem do portfólio replicado reside na impossibilidade de encontrar um ativo negociado no mercado perfeitamente correlacionado com os projetos analisados. Alternativamente, o valor presente do próprio projeto sem flexibilidades pode ser utilizado como ativo gêmeo (ativo subjacente sujeito à risco). Considera-se com essa hipótese que o valor presente dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade é a melhor estimativa não tendenciosa

do valor de mercado do projeto, caso esse fosse negociado no mercado. A essa hipótese dá-se o nome de Negação do Ativo Negociado (MAD).

Em adição, Munn (2002) pontua que o uso do portfólio replicado é mais difícil de entender e aplicar, mas os resultados obtidos são os mesmos do método apresentado na seção seguinte.

4.6.2. A Abordagem Probabilística Neutra em Relação ao Risco

A abordagem probabilística neutra em relação ao risco é uma abordagem alternativa ao portfólio replicado. Segundo Hull (2015), ela se baseia em um portfólio de *hedge* formado por m ações e uma posição vendida da opção. O coeficiente m , que torna o portfólio livre de risco, é calculado quando se iguala as condições nos movimentos ascendentes e descendentes (Equação 4.9), obtendo-se a seguinte equação:

$$muV_0 - P_u = mdV_0 - P_d \quad (4.10)$$

A Equação 4.11 mostra que m é o coeficiente de mudança no preço da opção em função da oscilação no preço do ativo subjacente, quando se move entre os nós de uma árvore binomial no período de tempo T:

$$m = \frac{P_u - P_d}{uV_0 - dV_0} \quad (4.11)$$

Seja r_f a taxa livre de risco, o valor presente do portfólio na situação ascendente é expresso por:

$$(V_0um - P_u)(1 + r_f)^{-1} \quad (4.12)$$

Igualando a expressão anterior ao valor do portfólio de *hedge*, tem-se:

$$(V_0um - P_u)(1 + r_f)^{-1} = V_0m - P_0 \quad (4.13)$$

Substituindo 4.11 em 4.13, chega-se a expressão para o valor da opção P_0 :

$$P_0 = \frac{\left[P_u \left(\frac{(1 + r_f) - d}{u - d} \right) + P_d \left(\frac{u - (1 + r_f)}{u - d} \right) \right]}{(1 + r_f)} \quad (4.14)$$

A probabilidade neutra em relação ao risco, (p) é expressa por:

$$p = \frac{(1 + r_f) - d}{u - d} \quad (4.15)$$

Logo, a equação se torna:

$$P_0 = \frac{[pP_u + (1 - p)P_d]}{(1 + r_f)} \quad (4.16)$$

Em suma, o valor presente da opção é igual aos retornos esperados, multiplicados pelas probabilidades que os ajustam a seus riscos. Alternativamente as probabilidades ajustadas ao risco, pode-se ajustar os fluxos de caixa a taxa de risco. Isso implica o uso de um método de

fluxo de caixa descontado, aplicando o risco de mercado apropriado a uma taxa de desconto ajustada, que normalmente é mais alta que a taxa livre de risco (MUNN, 2002). Ambas as soluções levam aos mesmos resultados.

4.6.3. Dedução da Equação Binomial para o Apreçamento de Opções

No modelo de Cox, Ross e Rubenstein (1979), os autores recorreram a teoria da probabilidade a fim de desenvolver uma abordagem de grade binomial para o apreçamento das opções de modo a obter resultados semelhantes aos do cálculo de Ito, utilizado por Black-Scholes (1973) e outros. O uso da matemática de natureza algébrica é mais facilmente entendível do que as equações diferenciais estocásticas (COPELAND & ANTIKAROV, 2001).

O triângulo de Pascal foi o fundamento da matemática combinatória empregue para o apreçamento das opções. O triângulo foi descoberto em 1654, quando Pascal e Fermat se correspondiam para buscar uma solução para o problema dos pontos no jogo de *balla*, proposto por Pacioli. O problema consistia em como distribuir as apostas em um jogo em que dois jogadores, os quais faltavam a e b pontos, respectivamente, decidem interromper um jogo de *balla*. O triângulo representou um marco na teoria das probabilidades (BERNSTEIN, 2011).

O triângulo de Pascal trata de um auxílio para a contagem da distribuição de resultados de testes binomiais, que só apresentam dois resultados possíveis. Por exemplo, o sexo de um filho de um casal segue uma distribuição binomial. Na Tabela 4.6 é mostrado o triângulo de Pascal para o caso de um casal que deseja ter filhos, que podem ser do sexo masculino e feminino.

A linha superior mostra a probabilidade de um evento que não pode deixar de ocorrer. Só existe um resultado possível com incerteza zero. Esse caso é irrelevante para análise das probabilidades. Na segunda linha, é mostrada uma situação em que há 50-50% de probabilidade de nascer um menino ou uma menina em uma família que deseja ter um filho. O somatório da linha é o número de trajetórias possíveis, que nesse caso são duas.

Descendo uma linha, tem-se as combinações possíveis para uma família que deseja ter dois filhos. O somatório da linha mostra que há quatro soluções possíveis: um casal de meninos, um casal de meninas, dois casais de menino e menina. Na linha seguinte, são oito trajetórias

possíveis para um casal com três filhos. Há uma possibilidade em oito de três meninos (1/8), 1/8 de três meninas, 3/8 dois meninos e uma menina e 3/8 duas meninas e um menino.

Tabela 4.6: Triângulo de Pascal

Número Tentativas, T	Número de Trajetórias resultando em T-n caras (n= 0, 1, 2, ..., T)								Número Trajetórias
0	1								1
1	1	1							2
2	1	2	1						4
3	1	3	3	1					8
4	1	4	6	4	1				16
5	1	5	10	10	5	1			32
6	1	6	15	20	15	6	1		64
7	1	7	21	35	35	21	7	1	128

Fonte: adaptado Copeland & Antikarov (2001).

A probabilidade binomial de se ter n meninos em T filhos, dada a probabilidade p para um filho do sexo masculino pode ser generalizada como:

$$B(n|T, P) = \binom{T}{n} p^n (1 - p)^{T-n} \quad (4.17)$$

Copeland & Antikarov (2001) constatam que os retornos discretos das ramificações variam de zero no limite inferior e infinito no limite superior quando o número de períodos aumenta considerando que os movimentos ascendentes e descendentes do valor em uma árvore binomial são multiplicativos (geométricos) e que o valor inicial é positivo. Dessa forma, a distribuição de probabilidade se aproxima de uma distribuição log-normal a medida que n tende ao infinito.

Outra constatação sobre o modelo é que o método multiplicativo e o aditivo se aproximam dos respectivos limites quando o número de períodos aumenta, ou quando o número de períodos é dividido em incrementos menores de tempo.

Assumindo um processo multiplicativo, a forma geral da função de retorno de uma opção de venda, P , onde T é o número total de períodos e n é o número de movimentos ascendentes no valor do ativo subjacente sujeito a risco, cujo valor é V_0 .

$$MAX[0, X - u^n d^{T-n} V_0] \quad (4.18)$$

A probabilidade de cada retorno é dada pela equação das probabilidades binomiais expressa pela Equação 4.17. Multiplicando os retornos (Equação 4.18) por suas probabilidades e somando horizontalmente todos os possíveis retornos, chega-se ao valor da opção de compra venda P_0 .

$$P_0 = \frac{\left\{ \sum_{n=0}^T \frac{T!}{(T-n)!n!} p^n (1-p)^{T-n} \text{MAX}[0, X - u^n d^{T-n} V_0] \right\}}{(1+r_f)^T} \quad (4.19)$$

Cox, Ross e Rubenstein (1979) deduziram a relação que correlaciona os movimentos ascendentes e descendentes de uma árvore binomial com a volatilidade do ativo (σ).

$$u = e^{\sigma\sqrt{T/n}} \quad (4.20)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{T/n}} \quad (4.21)$$

Em que:

n : número de movimentos por período;

T : número total de períodos;

e : base log normal.

4.7. Abordagem Consolidada para Avaliação de Opções Reais

Copenald & Antikarov (2001) descrevem uma abordagem para avaliação de opções reais em quatro etapas. Segundo os autores, esse processo pode ser utilizado para solução de diferentes problemas envolvendo opções reais. A primeira etapa dessa abordagem consiste na análise do padrão do valor presente do projeto por meio da aplicação das técnicas convencionais para projeção dos fluxos de caixa livre, discutidas no Capítulo anterior.

A segunda etapa consiste na construção de uma árvore de eventos, que engloba um conjunto de incertezas combinadas que influenciam na volatilidade do projeto. É importante ressaltar que a árvore de eventos não incorpora decisões. Pelo contrário, ela modela a incerteza que influencia o valor do ativo subjacente sujeito a risco ao longo do tempo. Graças ao Teorema de Samuelson, na maioria dos casos, múltiplas incertezas podem ser combinadas em uma única: a distribuição dos retornos do projeto. Denominada de abordagem consolidada, a volatilidade dos retornos, por sua vez, pode ser obtida por meio da análise Monte Carlo.

Segundo o teorema, a taxa de retorno de qualquer título segue um caminho aleatório, independente do fluxo de caixa esperado para o futuro, desde que os investidores tenham informações completas sobre esses fluxos de caixa. Depreende-se, dessa maneira, que toda a informação sobre fluxos de caixa futuros esperadas já está incorporada ao preço do ativo. Ou seja, caso as expectativas se confirmem, os investidores devem auferir exatamente os custos de capital esperados. Sob essa perspectiva, os preços esperados só variam caso desvios na trajetória ocorram e esses são ocasionados por eventos aleatórios.

A prova que os preços flutuam aleatoriamente é de grande valia para quantificação de opções reais. A partir desse teorema, pode-se estabelecer que múltiplas incertezas correlacionadas podem ser combinadas em um único processo binomial multiplicativo. Para maiores detalhes sobre a prova do Teorema de Samuelson, consultar Copeland & Antikarov (2001).

A etapa seguinte no processo de estimativa do valor de um projeto com a presença de opções é transformar a árvore de eventos em uma árvore de decisões a partir da incorporação das decisões gerenciais possíveis de serem tomadas em cada ramo da árvore. A árvore de eventos representa o conjunto de valores que pode ser assumido pelo ativo subjacente sujeito a risco ao longo do tempo. Já a árvore de decisões mostra os retornos das decisões ótimas condicionadas ao exercício ou não das opções que se avaliam.

Por fim, a última etapa, é a avaliação dos retornos da árvore de decisões. Essa análise pode ser feita aplicando-se a abordagem do portfólio replicado ou a análise probabilística neutra em relação ao risco, conforme discutido nas seções 4.6.1 e 4.6.2, respectivamente.

4.8. Aplicação da TOR no Abandono de Projetos

A possibilidade de devolução de uma concessão pode ser entendida como uma opção real de abandono, na qual o concessionário tem o direito de vender a concessão ao poder concedente, sendo remunerado por parte dos investimentos realizados, descontadas as despesas com o processo de relicitação, multas contratuais e demais valores devidos pelo concessionário ao poder concedente.

Robichek e Horne (1967) foram os primeiros a reconhecer a necessidade de lidar com a possibilidade de abandono explicitamente em projetos de capital. Segundo os autores, alguns projetos possuem significantes valores de abandono ao longo de sua vida econômica e tal fato deve ser levado em consideração no cálculo do valor presente líquido e taxa de retorno. No modelo desenvolvido pelos autores, foi assumida a condição de abandono quando o valor residual do projeto era superior ao valor presente dos fluxos de caixa remanescentes.

Dyl & Long (1969) enfatizaram que, via de regra, o valor ótimo para o exercício do abandono não ocorre no primeiro momento em que o valor residual supera os valores dos fluxos de caixa. A opção de abandono em cada período deve reconhecer que, se o projeto não for abandonado, a firma permanece com o direito de exercer a opção no futuro, o que pode aumentar o seu valor.

Kensinger (1980) aplicou a abordagem de opções reais para o problema do abandono de projetos. Para o autor, o abandono constitui uma opção de venda (*put*) do tipo americana. Para Myers e Majd (1990), mantendo as demais variáveis constantes, pode-se inferir que o valor da opção de abandono é afetado de forma que (1) o aumento do valor residual do projeto aumenta o valor da opção; (2) a volatilidade no valor do projeto (ativo subjacente) é diretamente proporcional ao valor da opção; (3) o aumento no valor do projeto diminui o valor da opção; e (4) a redução da vida útil do projeto reduz o valor da opção.

No caso das concessões, as opções reais derivam naturalmente da interpretação das cláusulas dos contratos, que regulam direitos e obrigações das partes. O direito de abandono confere ao concessionário a flexibilidade para minimizar custos afundados sob condições adversas de mercado (DIXIT & PINDYCK, 1994).

Por outro lado, esse direito pode representar um ônus ao governo, ao passo que requer a previsão de uma contingência orçamentária e pode ser um incentivo ao parceiro privado a inadimplir arbitrariamente com suas obrigações e comprometer e/ou suspender a prestação de um serviço público. Muitas vezes, essa opção não é devidamente quantificada nos estudos de viabilidade econômico-financeira com técnicas convencionais de *valuation* (IGREJAS *et al.*, 2017).

Brandão (2002) propôs uma metodologia para avaliação de opções reais com a aplicação de ferramentas de análise de árvores de decisão (*Decision Tree Analysis*). O modelo foi aplicado em uma concessão rodoviária em que foram avaliadas as opções de abandono e expansão do projeto. Tebchrani (2010) aplicou o modelo binomial para avaliar as opções de expansão, abandono e renegociação da concessão do corredor Raposo Tavares, no estado de São Paulo.

Huang *et al.* (2014) e Igrejas *et al.* (2017) avaliaram o impacto de multas e incentivos contratuais e o abandono de projetos de parcerias público privado (PPP). Ambos os trabalhos concluíram que a opção de término do contrato garante ao concessionário a flexibilidade para

gerenciar incertezas do mercado que podem agregar valor ao projeto, mas são reduzidas ao passo que aumentam os valores das garantias e multas.

Blank *et al.* (2016) analisaram para o caso de uma concessão hipotética diferentes níveis de garantia de receita mínima, teto de receita e a implícita opção de abandono do contrato. Os autores demonstraram que esta última opção afeta diretamente os níveis necessários de garantia. Colín *et al.* (2016) avaliaram situações de insolvência em concessões rodoviárias espanholas. O trabalho avaliou a opção de abandono garantida pela administração pública ao concessionário conforme a legislação espanhola aplicado ao caso da rodovia M12, em Madrid.

Liu *et al.* (2017) examinaram os mecanismos de precificação para o término antecipado de projetos de PPPs em cenários de fluxos de caixa excessivamente altos ou excessivamente baixos, usando a teoria das opções reais. Segundo os autores, o preço da compensação é definido principalmente, além do fluxo de caixa do empreendimento, pelo montante investido e pelo poder de barganha das partes.

5. CONCESSÃO DA BR-381/262/MG/ES E ANÁLISE DO PROJETO

O projeto escolhido para análise da opção de abandono foi a concessão da BR-381/262/MG/ES. Esse projeto será uma das primeiras concessões licitadas pelo Governo após a regulamentação da lei sobre a relicitação. O trecho rodoviário, representado na Figura 5.1, situa-se na BR-381/MG, Entroncamento BR-262/MG, (Sabará) – Entroncamento BR-116/MG (Governador Valadares), BR-262/MG, Entroncamento BR-381/MG (João Monlevade) – Divisa MG/ES, e BR-262/ES, Divisa ES/MG – Entroncamento BR-101/ES (Viana).

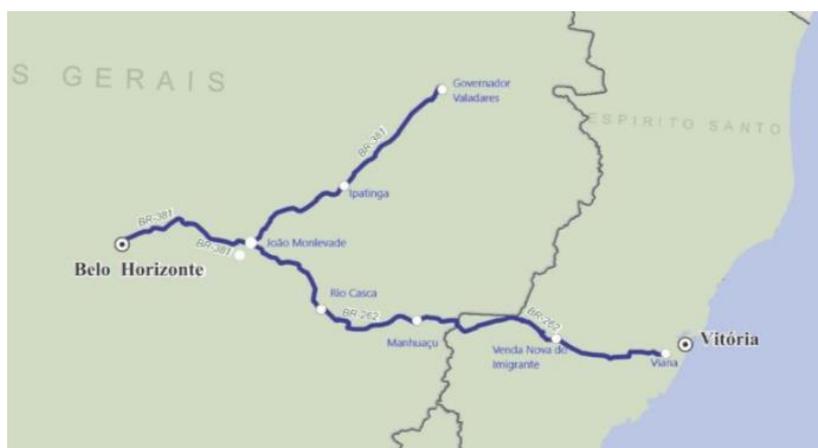


Figura 5.1: Mapa de situação BR-381/262/MG/ES

Fonte: ANTT (2019d).

5.1. Caracterização do Projeto de Concessão

A rodovia BR-381 liga o município de São Mateus/ES ao município de São Paulo/SP, atravessando o Vale do Aço, importante polo da indústria siderúrgica. Trata-se de um importante eixo para o escoamento de produtos acabados, sobretudo para o setor automobilístico. Já a rodovia BR-262 liga transversalmente os estados do Espírito Santo e Mato Grosso do Sul. A rodovia conecta áreas destinadas a pecuária, agricultura, mineração e os polos industriais e comerciais da região de Manhuaçu/MG, além de passar por importantes cidades como Belo Horizonte/MG e São Paulo/SP.

O escopo da concessão contempla a exploração da infraestrutura e da prestação do serviço público de recuperação, operação, manutenção, monitoramento, conservação, implantação de melhorias, ampliação de capacidade e manutenção do nível de serviço de 692,5 km do sistema rodoviário.

A previsão do Governo era que o lote fosse inicialmente leiloado ainda em 2020, mas teve de ser postergado para 2021 em função da pandemia de coronavírus. O critério de julgamento previsto na minuta de edital é o da maior oferta pela outorga, que consiste no maior valor de outorga fixa combinado com o critério de menor valor de tarifa. O período previsto de concessão é de 30 anos, contemplando os anos de 2021 a 2050. Esperam-se investimentos da ordem de R\$ 9,1 bilhões e R\$ 5,6 bilhões em gastos operacionais.

Ao todo, são previstas 11 praças de pedágio, representadas na Figura 5.2. A Tabela 5.1 apresenta para cada praça a rodovia, quilometragem, município de localização e UF.



Figura 5.2: Praças de pedágio BR-381/262/MG/ES
Fonte: ANTT (2019d).

Tabela 5.1: Localização das praças de pedágio

Praça de Pedágio	Km	Município	Rodovia	UF
P01	419+000	Caeté	BR-381	MG
P02	354+300	João Monlevade	BR-381	MG
P03	286+350	Itabira	BR-381	MG
P04	233+600	Belo Oriente	BR-381	MG
P05	179+250	Periquito	BR-381	MG
P06	149+750	São Domingos do Prata	BR-262	MG
P07	63+500	Manhuaçu	BR-262	MG
P08	18+050	Martins Soares	BR-262	ES
P09	147+750	Ibatiba	BR-262	ES
P10	97+050	Venda Nova dos Imigrantes	BR-262	ES
P11	26+600	Viana	BR-262	ES

Fonte: ANTT (2019d).

Nos primeiros dois anos de concessão, prevê-se a realização dos trabalhos iniciais, contemplando as intervenções emergenciais para eliminar problemas que representem riscos e desconforto aos usuários. Incluem nesta etapa a recomposição da sinalização vertical e horizontal, eliminação de defeitos em pavimentos, defensas, obras de arte especiais (OAEs), entre outras intervenções.

Entre o 3º e 8º ano, será feita a recuperação da rodovia, cujo objetivo é reestabelecer todas as suas características operacionais projetadas. Neste mesmo período ocorrerá o primeiro ciclo de duplicações, prevendo-se a duplicação da BR-381/MG, trecho entre Belo Oriente e Belo Horizonte, e a duplicação da BR-262/ES, trecho entre Viana e Vitor Hugo. Ao todo, serão 202 km de duplicações, além da implantação do contorno de Manhuaçu/MG.

O segundo ciclo de duplicações ocorrerá entre o 15º e 20º ano de concessão. Serão duplicados os trechos da BR-381/MG, entre Governador Valadares e Belo Oriente, e da BR-262/MG, entre o Entroncamento BR-381/MG com a Divisa ES/MG e a BR-262/ES, entre Vitor Hugo e a Divisa ES/MG, totalizando 596 km de duplicações.

Além das obras de duplicação e do contorno rodoviário, também estão incluídas nestas duas fases a construção de vias marginais, faixas adicionais, adequações de acessos, implantação de retornos em nível e desnível, passarelas, além da construção de dois túneis.

5.2. Análise do Fluxo de Caixa Estático do Projeto

Para a construção do fluxo de caixa do projeto, foram utilizadas como referência as premissas e valores da modelagem econômica financeira realizada pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL), parte integrante da minuta do edital da concessão (ANTT, 2019d). Foram adotadas algumas simplificações do documento original de modo a possibilitar a análise dinâmica dos fluxos de caixa, como será demonstrado adiante. A estrutura do fluxo de caixa adotado para o projeto é apresentada na sequência (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Estrutura de fluxo de caixa do projeto

Fluxo de Caixa do Projeto
(+) Receita Tarifária Bruta
(-) Tributos sobre o valor de venda
(+) Receita Não Tarifária Bruta
(-) Tributos sobre o valor de venda
(=) Receita Líquida
(-) Custos e Despesas Operacionais
(-) Outras despesas
(-) Seguros e garantias
(=) EBITDA
(-) Depreciação e Amortização
(=) EBIT
(-) Tributos
(=) Lucro líquido
(+) Depreciação e amortização
(-) Variação da NCG
(=) Fluxo de caixa operacional
(-) Fluxo de investimentos
(=) Fluxo de caixa

5.2.1. Demanda de Tráfego

A partir do estudo de tráfego, foi possível projetar a demanda anual de veículos por praça de pedágio e categoria de veículos. Os resultados, inicialmente obtidos em Veículos Diários Médios (VDM), foram transformados em Veículos Diários Médios Equivalentes (VDMeq.) e, posteriormente, transformados para volume anual equivalente de veículos.

A análise econômica financeira do empreendimento prevê uma projeção no crescimento do volume tráfego de veículos de 79.338 mil veículos equivalente ano em 2019 para 156.701 mil em 2049. Esses valores foram aplicados na Equação 5.1 para obtenção da taxa de crescimento do tráfego (μ) de 2,29% ao ano.

$$V_f = V_i(1 + \mu)^n \quad (5.1)$$

Sendo que:

V_i : Volume equivalente de veículos no ano 0 da concessão

V_f : Volume equivalente de veículos no ano 30 da concessão

n : número de períodos

μ : taxa de crescimento do tráfego

5.2.2. Receitas

O cálculo da receita tarifária anual foi feito multiplicando o valor da tarifa de cada uma das praças de pedágio pelo volume esperado de veículos pelo multiplicador correspondente a cada categoria de veículo (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Tabela de equivalência de veículos

Categoria do Veículo	Tipo de Veículo	Número de Eixos	Multiplicador
1	Automóveis	2	1
2	Automóveis c/ semirreboque	3	1,5
3	Automóveis c/ reboque	4	2
4	Veículos comerciais com 02 eixos	2	2
5	Veículos comerciais com 03 eixos	3	3
6	Veículos comerciais com 04 eixos	4	4
7	Caminhões com 05 eixos	5	5
8	Caminhões com 06 eixos	6	6
9	Caminhões com 07 eixos	7	7
10	Caminhões com 08 eixos	8	8
11	Caminhões com 09 eixos	9	9
12	Caminhões com 10 eixos	10	10
13	Motocicletas	-	0,5
14	Adicional para cada eixo excedente a 10	-	10 + n° eixos excedentes
15	Veículos oficiais e corpo diplomático	-	Isentos

Fonte: ANTT (2019d).

O edital da concessão inova ao instituir a diferenciação para trechos em pista simples e dupla. Segundo o documento, a tarifa teto obtida na modelagem econômica financeira é de R\$ 8,54/veículo equivalente e R\$ 11,10/veículo equivalente, respectivamente, para trechos em pista simples e pista dupla. Os valores de tarifa foram aplicados de acordo com o cronograma de duplicações previstos em edital. No período compreendido entre a primeira e a segunda fase de investimentos, assumiu-se como premissa um valor médio tarifário de R\$ 9,82/veículo equivalente.

A receita não tarifária, nos moldes do edital de licitação, foi considerada como 3% da receita tarifária anual. A alíquota de ISS considerada foi de 5% sobre o faturamento. O regulamento do PIS e COFINS prevê que o regime de incidência no caso de concessões rodoviárias deve ser o cumulativo. Dessa forma, as alíquotas de PIS e COFINS, respectivamente, foram de 0,65% e 3%, incidentes sobre o faturamento (ANTT, 2019d).

5.2.3. Despesas de Capital (CAPEX)

As despesas de capital consistem nos investimentos a serem feitos pela concessionária em capital físico e compreendem os investimentos realizados em trabalhos iniciais, recuperação das rodovias, manutenção rodoviária e obras de ampliação de capacidade, melhorias físicas e operacionais. Constituem também como despesas de capital, os investimentos em gestão ambiental, equipamentos, veículos e sistemas operacionais, projetos, desapropriações e desocupações.

Ao todo, prevê-se a realização de R\$ 9,12 bilhões em despesas de capital. Desses, R\$ 5,86 bilhões serão em obras de ampliação do sistema viário, divididos em duas etapas. Na primeira etapa, prevista para o período compreendido entre os anos 3 ao 8, serão realizados investimentos no montante de R\$ 3,03 bilhões. Já na segunda etapa – entre os anos 15 e 20 – são previstos investimentos na ordem de R\$ 2,83 bilhões. Os demais investimentos são estimados na ordem de R\$ 3,26 bilhões a serem realizados nos 30 anos de concessão.

5.2.4. Custos Operacionais (OPEX)

Os custos operacionais consistem nos custos que envolvem a operação da concessão, tais como: mão de obra, veículos e equipamentos, e consumo. Também são consideradas as despesas administrativas da concessionária.

As despesas operacionais da concessão, por simplicidade, foram assumidas como um valor proporcional à receita tarifária bruta total. Esses valores foram então considerados como fixos no decorrer dos 30 anos de concessão. Dessa forma, chegou-se ao percentual dos custos e despesas operacionais de 16,54% da receita tarifária bruta anual; seguros e garantias correspondem a 0,83% da receita tarifária bruta; e outras despesas, 7,69%.

Buscou-se com esse procedimento adaptar o comportamento das despesas operacionais aos fluxos de caixa dinâmicos. Com a demanda assumindo valores aleatórios, é razoável considerar que tais custos acompanhem o excesso ou decréscimo da demanda.

5.2.5. Depreciação e Amortização

A depreciação e amortização foi considerada de acordo com a Resolução nº 5.860/2019 (ANTT, 2019c). Essa foi outra premissa adotada diferente do fluxo de caixa original. Segundo o seu art. 11, as taxas de depreciação ou amortização utilizadas devem ser lineares, considerando o prazo entre o momento em que o ativo estiver disponível para uso e a sua vida útil. No caso da infraestrutura física do trecho rodoviário, a vida útil prevista considera o prazo final da concessão pelo advento do término contratual.

5.2.6. Tributos

A alíquota de Imposto de Renda (IR) considerada foi de 15% sobre o lucro apurado, com um adicional de 10% sobre o valor que exceder a R\$ 240 mil por ano. A Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) foi considerada com uma alíquota de 9%, incidente sobre o lucro real da concessão.

5.2.7. Capital de Giro

Seguiu-se com a mesma premissa adotada na modelagem econômico-financeira do projeto. Nesse caso, para o ciclo de conversão de caixa, que corresponde à diferença entre o período para recebimento e o tempo para quitação de contas a pagar, consideraram-se os seguintes períodos: contas a pagar 30 dias; contas a receber 20 dias; e tributos a recolher 30 dias.

5.2.8. Valor Presente do Projeto

O projeto foi então avaliado de acordo com o fluxo de caixa descontado. A taxa de desconto utilizada foi a mesma do EVTEA (Estudo de Viabilidade, Técnica, Econômica e Ambiental), 9,20% a.a, definida de acordo com a Nota da Secretaria do Tesouro Nacional (ANTT, 2019d). O valor presente do projeto (VP) foi determinado de acordo com a Equação 5.2.

$$VP = \sum_{t=1}^N \frac{E(FCF_t)}{(1+WACC)^t} \quad (5.2)$$

Sendo:

$E(FCF_t)$: valor esperado dos fluxos de caixa futuro do projeto (última linha do fluxo de caixa do Apêndice A);

$WACC$: custo ponderado médio do capital (9,20%).

6. ANÁLISE POR OPÇÕES REAIS

A precificação da opção de abandono foi realizada por meio da aplicação da abordagem consolidada (COPELAND & ANTIKAROV, 2001), apresentado no Capítulo 4, que trata sobre as opções reais. A respeito da análise do ativo subjacente sujeito a risco, encontram-se na literatura diversos estudos empíricos voltados para análise do risco de demanda em projetos de infraestrutura de transportes (FLYVJERG *et al.*, 2005; BAIN, 2009; LANA, 2014). Esses foram discutidos na seção 2.2.1. Os estudos demonstram haver uma forte dispersão entre o tráfego real e o projetado no primeiro ano do projeto e apontam, sem surpresa, para a existência de um viés de superestimação do tráfego inicial nos estudos de viabilidade nos projetos explorados pela iniciativa privada.

O trabalho de Lana (2014) foi o único que abordou o desvio entre a demanda projetada e efetiva nas concessões brasileiras e, por esse motivo, foi considerado para análise do projeto sob condições de incerteza. Segundo o estudo, a média e o desvio-padrão das variações das estimativas de demanda encontrados nas 41 concessões avaliadas foram 0,709 e 0,262, nesta ordem.

Como frequentemente encontrado na literatura (MUNN, 2002; BRANDÃO & SARAIVA, 2007; LARA GALERA, 2006; MARTINS, 2013), assumiu-se que o comportamento da demanda de tráfego nos anos subsequentes ao primeiro ano segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB), expresso por:

$$dS = \mu \cdot S \cdot dt + \sigma \cdot S \cdot dz \quad (6.1)$$

Onde:

dS = variação incremental do tráfego no intervalo de tempo Δt

μ = taxa de crescimento do tráfego (calculada como 2,29% a.a)

dz = incremento de Wiener padrão $\varepsilon \cdot \sqrt{dt}$, $\varepsilon \sim N[0,1]$

σ = volatilidade do tráfego

A solução da equação para intervalos de tempo anual utilizada para modelagem estocástica do tráfego é dada pela Equação 6.2, a seguir.

$$S_{t+1} = S_t \cdot e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \Delta t} \quad (6.2)$$

Onde:

S_{t+1} = Volume de tráfego no período $t+1$;

S_t = Volume de tráfego no período t ;

Δt = intervalo de tempo.

Dada a indisponibilidade de dados históricos do tráfego na rodovia analisada que pudessem servir de base para projeções e análises, foi necessário recorrer a inferências indiretas sobre a volatilidade do tráfego. Essa foi estimada com base no índice da Associação Brasileira de Concessionárias Rodoviárias (ABCR, 2019).

O índice é calculado a partir do fluxo de veículos que passa por rodovias pedagiadas. Iniciado em 1999, foi atribuído o valor de 100 à média do tráfego daquele ano, com base em dados de praças de pedágios de 33 concessões. Atualmente, são consideradas informações de 51 concessionários. É importante destacar que a entrada de novas praças só ocorre após a revisão da base, o que evita distorções no índice (ABCR, 2019).

O índice ABCR tem grande relevância na análise conjuntural da economia brasileira. Trata-se de um indicador de alta frequência e que se correlaciona com indicadores econômicos relevantes, como o PIB, a produção na indústria, as vendas no comércio varejista, os salários, entre outros (ABCR, 2019). Segundo Lara Galera (2006), a volatilidade é expressa como o desvio padrão do logaritmo dos retornos (crescimento) do tráfego. A série histórica do índice ABCR é apresentada na Tabela 6.1 entre os anos de 1999 a 2019, juntamente com as taxas de e os log-retornos do crescimento do tráfego. A volatilidade encontrada foi de 2,93%.

A volatilidade do projeto foi definida como o desvio padrão das variações percentuais do valor do projeto (z) de um período para o seguinte dada por:

$$z = \ln \left(\frac{VP_1}{VP_0} \right) \quad (6.3)$$

Em que VP_1 é o valor presente do projeto no período 1 e VP_0 o valor do projeto no período 0. A volatilidade foi calculada com o emprego da simulação Monte Carlo no fluxo de caixa sujeito a risco. Ao todo, foram realizadas 10.000 iterações com o uso do *software @Risk*, resultando em um desvio padrão de 66%. Como o valor encontrado foi relativamente elevado, constatou-se a necessidade de testar o comportamento do valor da opção frente a outros estimadores estatísticos, como moda, média e mediana da simulação. Mais adiante, será realizada a análise

da sensibilidade de volatilidade no valor da opção. O histograma dos retornos do projeto obtidos na simulação é apresentado na Figura 6.1 e a Tabela 6.2 resume os parâmetros estatísticos.

Tabela 6.1: Série histórica do índice ABCR e volatilidade do tráfego

Ano	Índice ABCR Anual	% Cresc.	Log-Retorno
1999	100,00	-	-
2000	98,73	-1,27%	-0,012796288
2001	99,46	0,74%	0,007403354
2002	101,06	1,61%	0,015973807
2003	99,14	-1,90%	-0,019224291
2004	103,05	3,94%	0,038685582
2005	105,53	2,41%	0,023801324
2006	107,49	1,86%	0,018381558
2007	113,99	6,04%	0,058679265
2008	120,91	6,07%	0,058961165
2009	123,60	2,23%	0,022031636
2010	133,12	7,70%	0,074187861
2011	141,44	6,25%	0,060641655
2012	147,97	4,62%	0,04512655
2013	153,59	3,80%	0,037257132
2014	157,23	2,37%	0,023449606
2015	154,25	-1,90%	-0,019166938
2016	148,85	-3,50%	-0,035606183
2017	151,51	1,78%	0,017687297
2018	150,44	-0,71%	-0,007078068
2019	155,88	3,62%	0,035515148
Volatilidade (σ)			2,93%

Fonte: ABCR (2019).

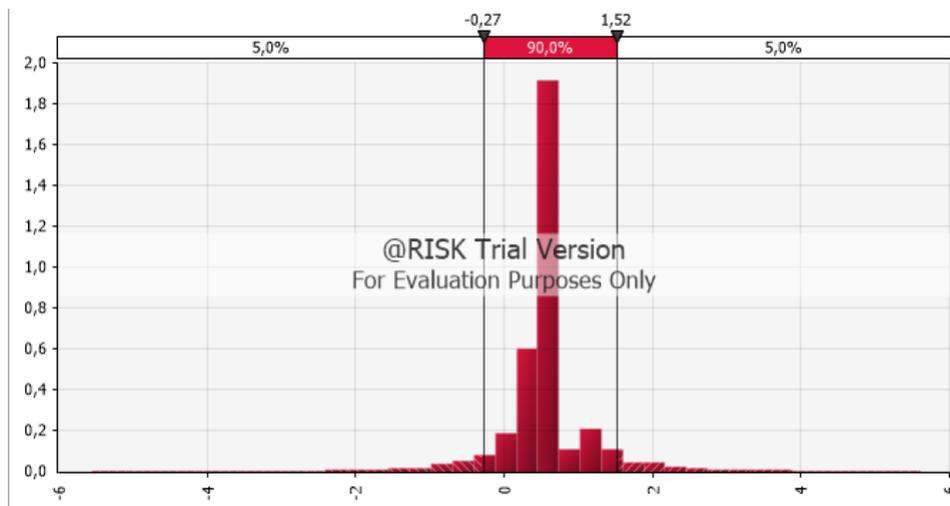


Figura 6.1: Resultado simulação Monte Carlo retornos do projeto (z)

Tabela 6.2: Resumo estatísticas simulação Monte Carlo

Resumo Estatístico Simulação Monte Carlo	
Mínimo	-5,5618
Máximo	5,6053
Média	0,5708
Desvio Padrão	0,6602
Variância	0,4358
Assimetria	-0,1047
Curtose	16,8084
Mediana	0,5695
Moda	0,6146
Esquerda X	-1,625
Esquerda P	1%
Direita X	2,0706
Direita P	99%

Para modelar a incerteza do valor futuro do projeto em função do processo estocástico da demanda, foi utilizado o método de árvore binomial proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979) e discutido na seção 4.6. A árvore binomial do valor presente do projeto sujeito à incerteza, calculada por meio de planilha Excel®, é apresentada no Apêndice B.

A correlação entre os valores dos fluxos de caixa do projeto com e sem opção foi realizada com a aplicação da abordagem probabilística neutra em relação ao risco (seção 4.6.2).

Na etapa seguinte, definiram-se as condições para o abandono do projeto em cada nó da árvore de eventos, para transformá-la em uma árvore de decisões. Nela, foram representados os retornos das decisões ótimas, condicionadas ou não ao exercício da opção de abandono.

A taxa livre de risco (rf) foi considerada a partir do histórico dos retornos nominais dos títulos de longo prazo do Tesouro Norte Americano (*US Treasury 10-year Bond*) dos últimos dez anos, cujo valor do retorno médio encontrado ficou em 2,58%, conforme apresentado na Figura 6.2. A taxa livre de risco, foi incorporada a taxa de risco país, somando-se o valor médio dos últimos dez anos do EMBI+ (Figura 6.3), estimado em 2,59%. Descontou-se da taxa livre de risco a inflação do período de 1,56% (Damodaran, 2020a), resultando em uma $rf = 3,61\%$; os cálculos foram feitos por meio da equação de Fisher (Dornbusch *et al.*, 2013).

Os valores da indenização relativos aos investimentos vinculados a bens reversíveis para cada período t foram calculados a partir dos dados disponíveis no fluxo de caixa do projeto (Apêndice A). Segundo o art. 6º da Resolução ANTT nº 5.860 (ANTT, 2019a), os valores da indenização dos bens reversíveis devem ser calculados com base no custo histórico, descontados os tributos recuperados, despesas financeiras, depreciação e amortização. Ou seja, para os fins propostos neste trabalho, o montante de indenização foi considerado como a diferença entre os valores acumulados dos fluxos de investimentos e depreciação/amortização, apresentado na Tabela 6.3 para cada ano do projeto.

A Figura 6.4 representa os investimentos anuais previstos em cada ano da concessão, segundo o cronograma de investimentos do edital, representados pelas barras em azul. As barras vermelhas correspondem a depreciação/amortização em cada ano. Os valores acumulados dessas duas rubricas do fluxo de caixa são indicados pelas linhas roxa e azul, respectivamente, para os investimentos e depreciação/amortização. A diferença entre esses valores acumulados, linha verde, representa a indenização para cada período t de acordo com o critério supramencionado.

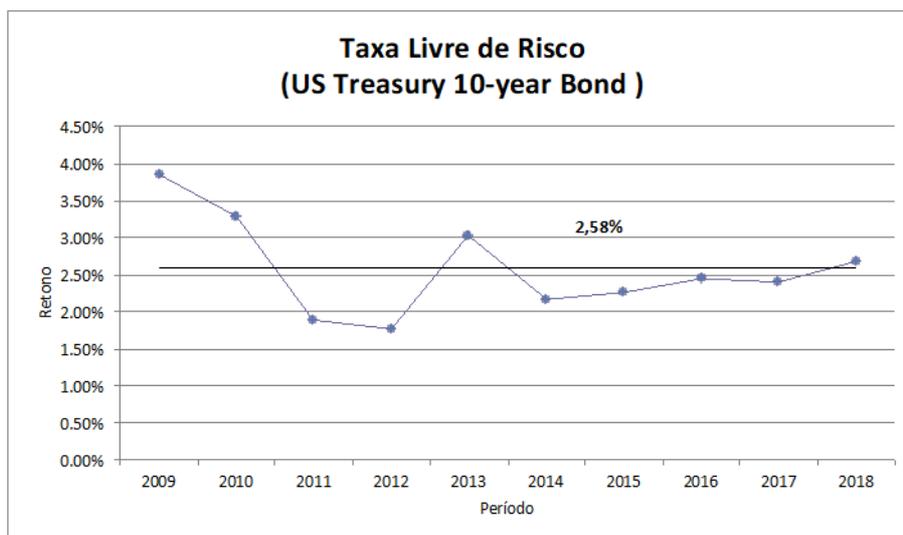


Figura 6.2: Taxa livre de risco (*US 10-year T Bond*)
Fonte: Damodaran (2020a).

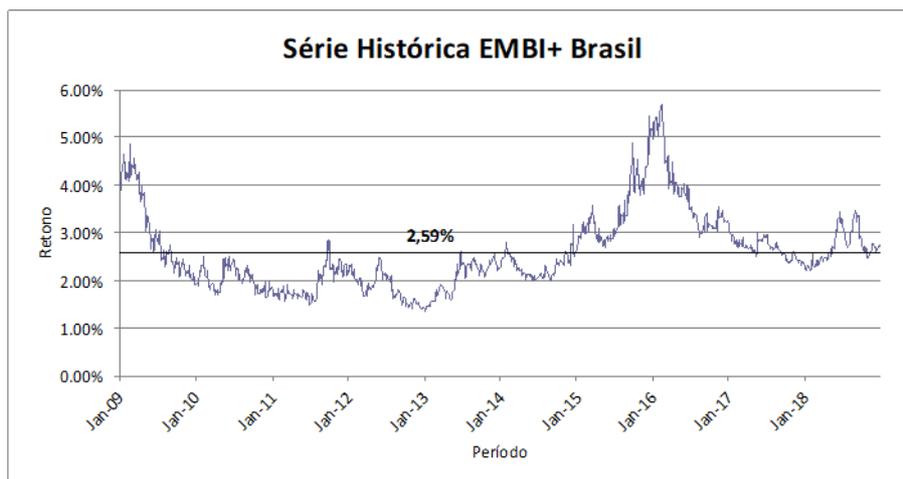


Figura 6.3: Histórico Risco Brasil
Fonte: IPEA (2020).

Tabela 6.3: Investimentos não amortizados e depreciados por ano de concessão (R\$ milhões)

Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
316.874	612.690	1.156.145	1.856.705	2.707.201	3.520.822	3.952.784	4.189.102
Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16
4.018.892	3.852.942	3.721.396	3.611.727	3.457.715	3.335.793	3.499.415	3.822.511
Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24
4.103.961	4.335.634	4.594.111	4.443.380	4.071.443	3.700.812	3.300.758	2.916.696
Ano 25	Ano 26	Ano 27	Ano 28	Ano 29	Ano 30		
2.485.618	2.032.935	1.568.499	1.079.779	568.232	-		

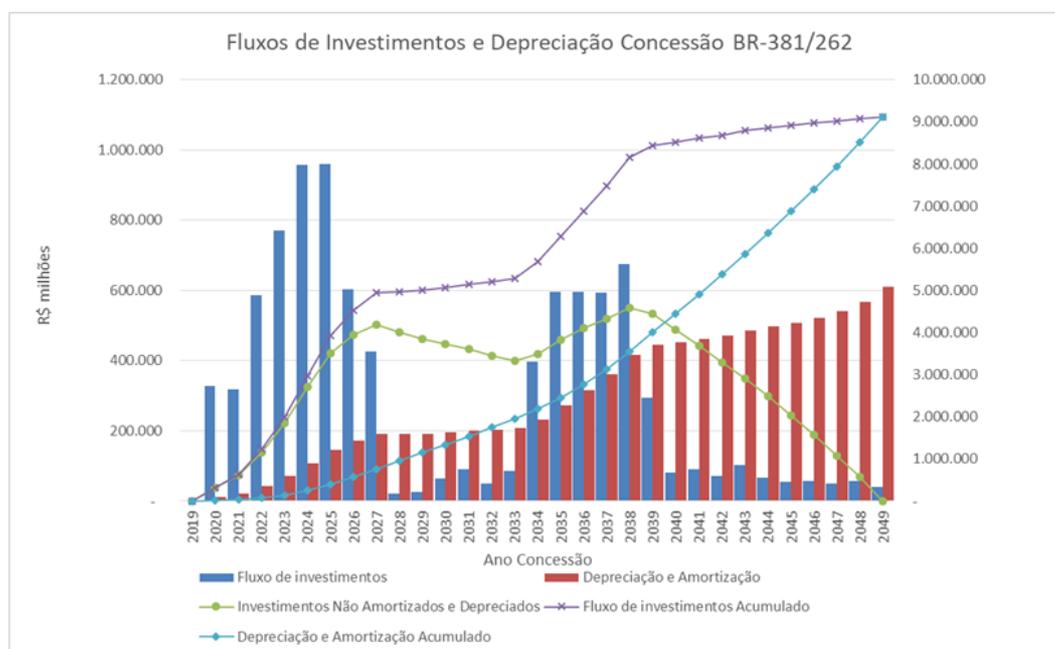


Figura 6.4: Fluxos de investimento e depreciação

Ao valor de indenização foi arbitrado um desconto de 10% referente às despesas com o processo de relicitação, eventuais multas contratuais e demais despesas relacionadas, sendo posteriormente objeto de uma análise da sensibilidade para avaliar a influência da variável sobre o valor da opção. Conforme encontrado na literatura, esse deságio varia entre 0% a 30% (BRANDÃO, 2002; BLANK *et al.*, 2016; COLÍN *et al.*, 2016). O período de exercício da opção foi considerado entre os anos 9 e 29 da concessão. Buscou-se eliminar o exercício da opção durante o primeiro ciclo de investimentos de aumento da capacidade do sistema viário, período que resultaria em elevados valores de indenização por parte da administração pública.

Por fim, os retornos ótimos da árvore de decisões foram calculados com o uso de uma planilha MS-Excel®. O valor da opção de abandono (P_0) é dado pela equação 4.19.

Os resultados encontrados na árvore de decisões são apresentados no Apêndice C. Na Tabela 6.4 e Tabela 6.5 são apresentados os parâmetros de entrada e os parâmetros calculados necessários para o uso do modelo binomial. Os parâmetros p , u e d foram obtidos com aplicação das Equações 4.15, 4.20 e 4.21, nesta ordem.

Tabela 6.4: Parâmetros de entrada modelo Binomial

1. Taxa livre de risco (ano)	3,61%
2. Valor corrente ativo subjacente, V_0	61.518
3. Vida da opção	21
4. Desvio padrão (ano)	0,66
5. N° passo (ano)	1
6. Multa	10%

Tabela 6.5: Parâmetros calculados Modelo Binomial

1. Movimento ascendente por passo	1,934792334
2. Movimento descendente por passo	0,516851334
3. Taxa livre de risco	3,61%
4. Probabilidade neutra ao risco (ascendente - u)	0,366199063
5. Probabilidade neutra ao risco (descendente - d)	0,633800937

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do fluxo de caixa estático do projeto, como discutido na seção 5.2.8, indicou que o valor presente do projeto (VP), no caso sem flexibilidade gerencial, foi de R\$ 61,52 milhões. Com a incorporação da opção de abandono, o valor presente do projeto aumenta para R\$ 2,64 bilhões. Logo, o valor da opção de abandono é de R\$ 2,58 bilhões. É um aumento expressivo de mais de 4.000% do valor do projeto.

O alto valor da opção de abandono está diretamente associado com a relação entre o baixo valor do ativo subjacente e o critério definido para venda do projeto. Na maior parte dos casos o valor de indenização supera os movimentos ascendentes e descendentes assumidos na árvore de eventos do projeto, conforme evidenciado no Apêndice B.

No primeiro ano de exercício da opção, ano 9, o valor da indenização é de R\$ 3,62 bilhões, chegando ao máximo de R\$ 4,13 bilhões no 19º ano. Somente então, a indenização passa a decrescer chegando ao mínimo de R\$ 511,41 milhões no penúltimo ano de concessão.

Para exemplificar a situação, no nono ano do projeto, o primeiro em que o abandono foi considerado, o investimento acumulado previsto é de R\$ 4,97 bilhões. Nesse período, a indenização supera os R\$ 3,5 bilhões, enquanto os movimentos da árvore binomial somente em três dos dez movimentos previstos não indicam o exercício da opção.

A Tabela 7.1 compila os resultados dos principais trabalhos identificados durante o processo de revisão bibliográfica voltados para quantificação do valor da opção de abandono em concessões rodoviárias (BRANDÃO 2002; TEBECHRANI, 2010; BLANK *et al.*, 2016; COLÍN *et al.*, 2016) e os comparam com os obtidos neste trabalho.

Quanto as técnicas para quantificação da opção, Brandão (2002) usou a árvore de decisões, Tebechrani (2010), o modelo binomial, enquanto Blank *et al.* (2016) e Colín *et al.* (2016) usaram a simulação Monte Carlo. Sendo assim, somente os dois primeiros trabalhos calcularam a volatilidade do valor presente do projeto. Nos dois casos, os valores mostraram-se bem abaixo dos 66% encontrados a partir das premissas consideradas neste trabalho.

Outra diferença significativa entre os projetos analisados está no CAPEX. Em valores monetários absolutos, os investimentos previstos no projeto da BR-381/262/MG/ES são bem superiores aos demais projetos. Adiciona-se também como uma variável diretamente associada ao valor da opção o cronograma de investimentos. Nos trabalhos analisados os investimentos estão concentrados nos anos iniciais do projeto. Diferentes critérios para o cálculo das indenizações devidas também foram aplicados.

Tabela 7.1: Comparativo com trabalhos de referência

	Brandão (2002)	Tebehrani (2010)	Blank et al (2016)	Colín et al. (2016)	Presente trabalho
Valor Presente do Projeto VP – (milhões)	107	783	70,50 ²	- ³	61,52
CAPEX (milhões)	300	1.400	1.000	327,8	9.120
Volatilidade Projeto(σ)	20%	32%	- ²	- ²	66%
Período de exercício da opção de abandono	Anos 4, 7 e 10	A partir do ano 7	A partir do ano 0	A partir do ano 3	A partir do ano 9
Indenização	70% do valor contábil do CAPEX	70% do valor contábil do CAPEX	R\$ 0	CAPEX depreciado + 5% multa	CAPEX depreciado ⁴ + 10% multa
Valor do abandono (milhões)	33	142 ¹	33,70	58,4	2.580

¹: valor da opção de abandono e expansão

²: a opção de abandono foi avaliada pela simulação Monte Carlo. Não apresenta volatilidade do projeto.

³: não informado no trabalho

⁴: depreciação ou amortização foi considerada linear o prazo entre o momento em que o ativo se encontra disponível para uso e a sua vida útil e, no caso da infraestrutura física do trecho rodoviário, a vida útil prevista considera o prazo final da concessão pelo advento do término contratual.

Para analisar o comportamento do valor da opção de abandono foram realizadas análises de sensibilidade para as variáveis de maior relevância do modelo. A primeira testada foi o percentual de multa aplicada sob o montante da indenização. Os resultados, apresentados na Figura 7.1, indicam que o valor da opção é sensivelmente afetado por esse percentual. No caso mais extremo avaliado, o valor da opção decaiu de R\$ 2,58 bilhões para R\$ 264 milhões quando o valor da multa sobe para 90%.

Adicionalmente, foi avaliada a sensibilidade da volatilidade dos retornos do projeto. Essa é a medida indireta da incerteza dos níveis de tráfego. A análise estocástica indicou que nas condições definidas na seção anterior, a volatilidade do projeto é de 0,66. O valor da opção foi testado no intervalo de menor risco de tráfego, com a volatilidade igual a 0,2, até uma condição

de maior incerteza, com a volatilidade igual a 1,4. Os resultados mostraram que a variável possui pouco impacto no valor da opção. O aumento da volatilidade de 0,2 para 1,4, representa um incremento de apenas 2,14% no valor do projeto com flexibilidade.

Ressalta-se, no entanto, que esse comportamento é diretamente afetado pelo baixo valor do ativo subjacente frente aos valores de indenização. Nas condições definidas, o exercício da opção é preferido na maior parte dos eventos da árvore binomial, o que limita a influência da volatilidade no modelo.

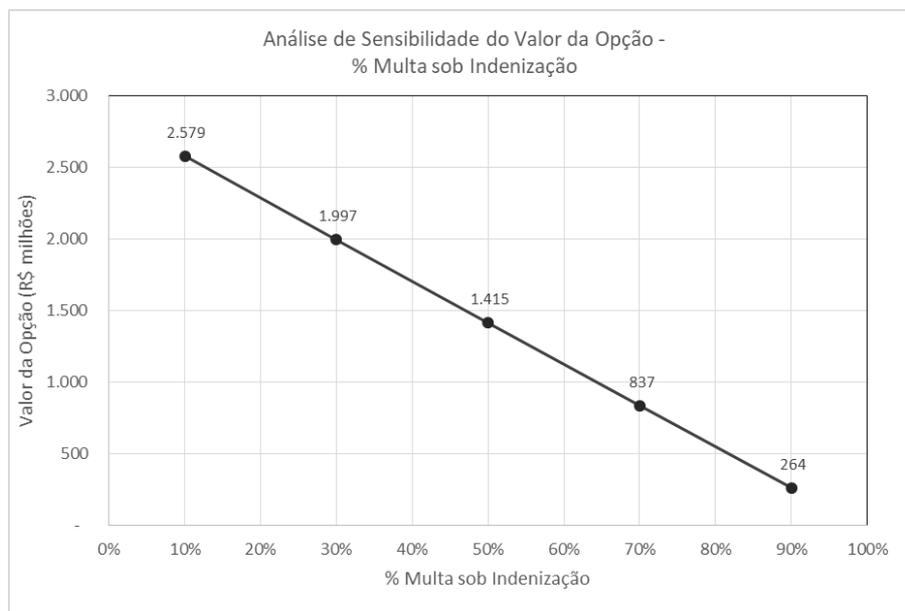


Figura 7.1: Análise de sensibilidade do valor da opção - % multa sob indenização

A Figura 7.2 mostra o comportamento da volatilidade no valor do projeto. No intervalo de 0,2 a 0,4, o valor do projeto é pouquíssimo influenciado pela variação da volatilidade, com resultado quase nulo. No intervalo de 0,4 a 1,2 de variação da volatilidade, o valor do projeto se mostra mais sensível, tendendo a estabilização a partir de 1,4 de volatilidade.

O valor do ativo subjacente foi outra variável testada. Buscou-se simular o valor da opção frente a diferentes valores de projeto, variando de R\$ 200 milhões a R\$ 1,80 bilhão, como mostrado na Figura 7.3. Como esperado, o valor da opção decresceu com o aumento do valor do projeto, porém a uma taxa baixa. Um aumento de 800% no VP reduziu somente em 13,90% o valor da opção. Constatou-se que a sensibilidade da variável é substancialmente afetada pela volatilidade do projeto.

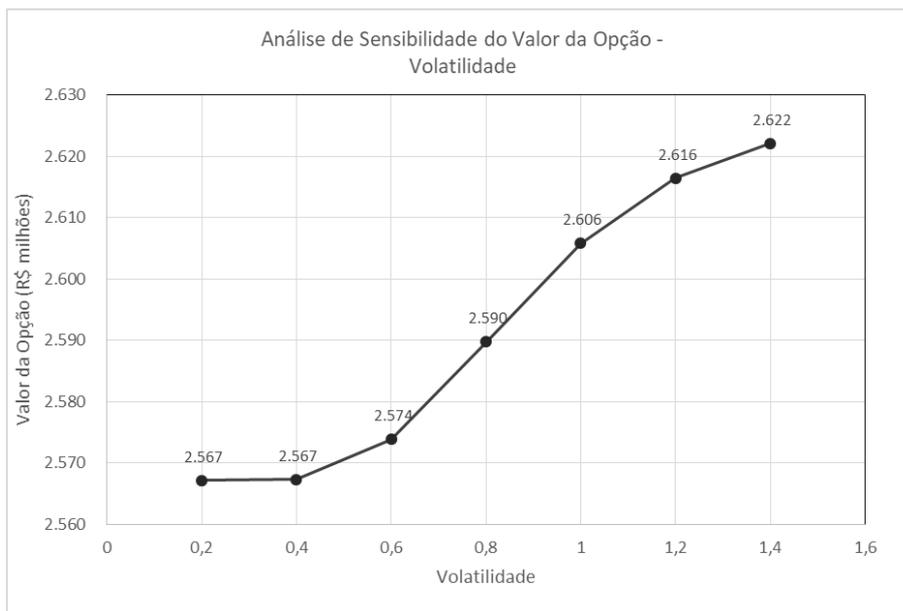


Figura 7.2: Análise de sensibilidade do valor da opção – volatilidade

Com as condições de incerteza de demanda apresentadas na seção anterior, obteve-se por meio da simulação Monte Carlo uma volatilidade de 66%. Se, por exemplo, essa volatilidade fosse reduzida em função de uma perspectiva mais otimista em relação ao risco para 20%, o mesmo incremento de 800% no valor do projeto teria a implicação na redução de 55,22% no valor da opção.

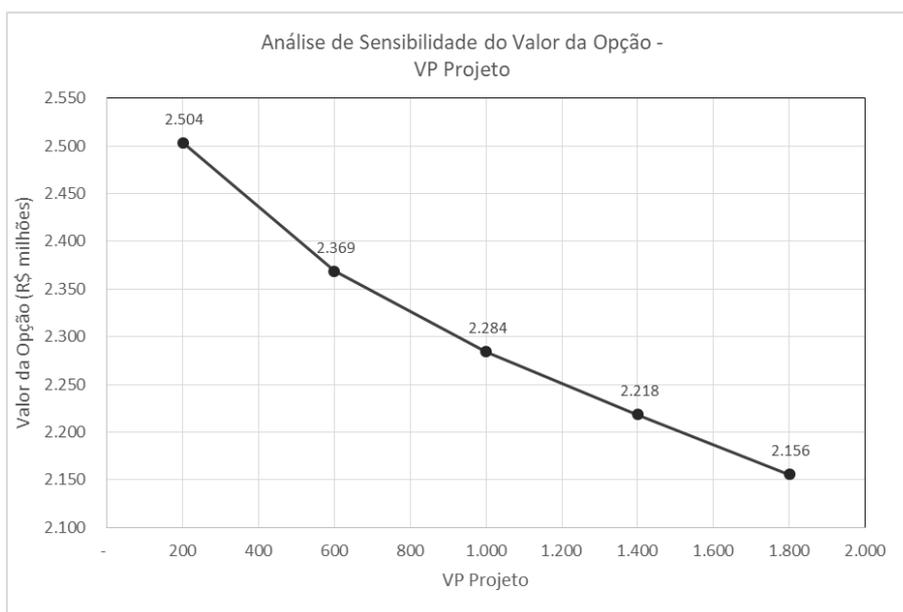


Figura 7.3: Análise de sensibilidade do valor da opção – valor do ativo subjacente

A Figura 7.4 ilustra a relação entre o valor da opção de abandono, a volatilidade dos retornos do projeto e o retorno do investimento. Como comentado anteriormente e analisado para cada variável isolada, o valor da opção cresce com o aumento da incerteza do projeto e diminui progressivamente com o aumento do valor do ativo subjacente. Nas condições extremas representadas a seguir, o valor da opção de abandono é de R\$ 2,60 bilhões quando a volatilidade é de 90% e o VP de R\$ 50 milhões. O valor decai para R\$ 2,18 bilhões (-16%) quando a volatilidade é reduzida para 10% e o VP aumentado para R\$ 450 milhões.

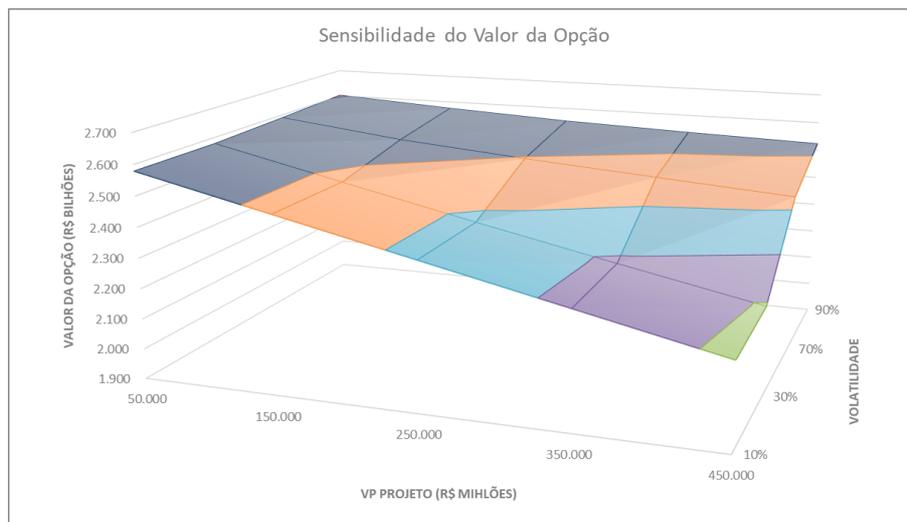


Figura 7.4: Análise de sensibilidade do valor da opção – volatilidade e VP

8. CONCLUSÕES

Neste trabalho, analisou-se o valor da opção de abandono de um contrato de concessão rodoviária à luz das mudanças ocorridas com a promulgação da Lei nº 13.448/2017, que instituiu a possibilidade da devolução amigável de projetos de parceria, flexibilizando as hipóteses para o término antecipado dos contratos.

A opção de abandono pode ser interpretada como a possibilidade que o concessionário tem de vender o projeto para o poder concedente, sendo remunerado por parte dos investimentos feitos em bens reversíveis. A volatilidade dos retornos nesse investimento está intimamente relacionada com as variações de demanda do mercado, dentre outras incertezas. Em condições adversas, o concessionário que detém a opção pode se desfazer da concessão, o que confere valor adicional ao projeto e, nem sempre, é quantificado pelas técnicas convencionais de avaliação de projetos de capital.

O primeiro problema de pesquisa definido foi quantificar o valor adicionado pela flexibilidade gerencial de abandono. Para tanto, foi proposto um estudo de caso com vista a análise da possibilidade de devolução da concessão da BR-381-262/MG/ES, ainda em processo de licitação, considerando a aplicação da teoria das opções reais para análise do projeto a partir dos dados do edital da concessão e o risco de demanda. Considerou-se que a opção poderia ser exercida do nono até o último ano do projeto e os valores de indenização definidos segundo a Resolução nº 5.860/2019 da ANTT. Esta opção de abandono foi modelada com o emprego do modelo de Cox, Ross & Rubinstein (1979).

Nas condições definidas, pôde-se responder o primeiro questionamento, chegando à conclusão que o término antecipado agrega um valor significativo ao projeto, cerca de R\$ 2,58 bilhões, ante a um valor presente sem flexibilidade de R\$ 61,52 milhões. Logicamente, por se tratar de um estudo de caso, o valor do abandono se restringe ao projeto analisado, não sendo possível generalizações. O valor da flexibilidade pode variar de acordo com a especificidade de cada projeto e o cenário de incerteza que esse se insere.

Todavia, merece destaque alguns fatores identificados que influenciaram o valor da opção de abandono. Os dados históricos de projetos rodoviários semelhantes evidenciaram que a

demanda projetada tende a ser superestimada em quase 30% do tráfego efetivo no início da concessão e a volatilidade do tráfego varia em torno de 3% ao ano. A consolidação das incertezas levou a uma volatilidade dos retornos do projeto expressiva, em torno de 66%.

Acrescenta-se as particularidades da análise o fato de o projeto analisado prever a execução em duas fases distintas de investimentos até o vigésimo ano, de um total de 30 anos de concessão. Dessa forma, o cronograma de investimentos proposto manteve o valor devido de indenização em patamares elevados por anos em função da depreciação e amortização do investimento faseado. Destaca-se também o baixo valor presente do ativo subjacente, o que demonstrou a preferência pelo exercício da opção em boa parte dos nós da árvore de decisão, aumentando significativamente o valor da opção.

A análise de sensibilidade evidenciou que o valor da opção é bastante afetado pelo desconto aplicado ao investimento não depreciado e amortizado. O valor de referência utilizado no cenário base foi de 10%. Entretanto, pondera-se sobre a dificuldade de antecipar futuras condições sobre a administração contratual e despesas com o processo de relicitação. Outra situação revelada pela análise de sensibilidade foi que o valor da opção decresce quando o valor do ativo subjacente aumenta, deixando de ser atrativo o seu exercício.

Embora exista como uma forma de prevenir ganhos indevidos por parte da administração pública na hipótese de extinção contratual, a compensação no caso do projeto analisado se revelou como uma significativa garantia que a administração pública confere ao parceiro privado. Todavia, é importante que os ganhos e os ônus de ambas as partes sejam equilibrados. Três fatores devem ser levados em consideração na definição desses níveis ótimos: (1) a concessão tem que ser atrativa para o investimento privado; (2) a atratividade a inadimplência contratual deve ser limitada a determinado patamar; e (3) o governo deve minimizar o comprometimento orçamentário.

Nesse sentido, foi possível responder ao segundo problema de pesquisa, justamente por demonstrar que o uso da teoria das opções reais contribui para o entendimento da relação entre as incertezas envolvidas nas concessões, as condições definidas pela legislação e o valor agregado ao projeto. Faz-se necessário o prévio conhecimento sobre o valor agregado pelo mecanismo de relicitação para que se modele contratos mais eficientes para concessões futuras.

É importante que se leve em consideração o tripé anteriormente descrito, podendo se valer da metodologia proposta neste trabalho, o que pode validar, dessa forma, as hipóteses da pesquisa.

A principal limitação do trabalho está relacionada com a taxa de juros usada pela ANTT e o fluxo de caixa disponibilizado para o edital. Acredita-se que a taxa (9,20%) não reflete a expectativa do mercado sobre a concessão. A taxa de desconto foi fixada neste valor para definição da tarifa máxima a ser licitada. Com esta prática, a agência reguladora apresenta para o mercado um projeto cujo valor presente é nulo.

A partir do fluxo de caixa, as organizações interessadas inserem as suas expectativas sobre o mercado e os seus custos de operação para, assim, definirem a sua estratégia na concorrência. Por esse motivo, julga-se ser interessante aplicar a mesma metodologia apresentada no trabalho para o plano de negócio do vencedor do certame. Dessa forma, ter-se-á o real valor da opção de abandono, pois nas condições apresentadas no edital a opção de abandono sempre terá um alto valor.

Este trabalho buscou conciliar a recente e controversa alteração legal com a instituição da devolução amigável das concessões e a aplicação da teoria das opções reais para se estimar o valor adicionado pela flexibilização. Tendo em vista o caráter inovador da alteração regulatória e toda a repercussão e incerteza que o assunto trouxe ao debate entre agentes públicos e privados, vislumbra-se um campo fértil para elaboração de trabalhos futuros.

Primeiramente, cita-se que avaliação feita nesta dissertação se ateve às concessões rodoviárias. Todavia, a Lei nº 13.448/2017 se aplica aos contratos de parceria, qualificados no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos – PPI, nos setores ferroviário e aeroportuário, além do rodoviário. Portanto, a avaliação das concessões no setor de portos e aeroportos, levando em consideração as características, incertezas e peculiaridades desses segmentos é uma sugestão para próximas pesquisas.

A incorporação de fontes adicionais de incertezas é uma outra recomendação para futuras pesquisas. Além da incerteza de demanda, pode-se incorporar a avaliação da opção de abandono, por exemplo, o risco de sobrecustos, riscos de câmbio e riscos de inflação e taxa de juros.

No tocante ao modelo para avaliação da opção de abandono, pode-se pensar na adaptação do modelo proposto ou no uso de métodos alternativos para avaliar as probabilidades e períodos ótimos para o abandono do projeto. Outra questão que deve ser incorporada à análise trata das renegociações contratuais, que antecedem a rescisão dos contratos e podem impactar no real valor da opção de abandono.

Como demonstrado neste trabalho, a opção de se abandonar a concessão nas condições definidas pela legislação brasileira agrega valor considerável ao projeto. Uma linha de pesquisa alternativa que pode ser explorada é a comparação do valor da opção calculado com base na metodologia para indenização definida na ANTT (ou outras agências reguladoras) e outros modelos para precificação da indenização para o término antecipado encontrados na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCR (2018) *Relatório Anual 2018*. Disponível em: <<https://abcr.org.br/institucional/biblioteca/relatorios/relatorio-anual-2018>>. Acesso em 08 jun 2020.
- _____ (2019) *Esclarecimentos sobre o índice ABCR*. ABCR. Disponível em: <www.abcr.org>. Acesso em 28 jan 2020.
- ABDELDAYEM, M. & ALDULAIMI, S. (2019) Privatization as a worldwide tool of economic reform: A Literature Review. *International Journal of Social and Administrative Sciences*. v. 4, p. 66-84.
- ABREU FILHO, J. C. F. & CURY, M. V. Q. (2018) *Análise de Projetos de Investimento*. 1ª edição. Editora FGV, Rio de Janeiro.
- ANTT [2019a] *Concessões Rodoviárias*. ANTT. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviaras/Index.html>. Acesso em: 04 jul. 2020.
- _____ [2019b] *Novos Projetos em Rodovias*. ANTT. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviaras/Novos_Projetos_em_Rodovias.html>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- _____ (2019c) Resolução nº 5.860, de 3 de dezembro de 2019. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 05 dez 2019. Ed. 255, seção 1, p. 55.
- _____ (2019d) Minuta Edital Concessão Sistema Rodoviário BR-381/262/MG/ES (Audiência Pública 10/2019) Brasília.
- ARTESP (2016). *Novas concessões rodoviárias de SP preveem investimentos de R\$ 10,5 bi e tarifa variável de pedágio*. ARTESP. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/sala-de-imprensa-noticias-novas-concessoes-rodoviaras-do-estado-de-sp.html>>. Acesso em: 01 jul 2017.
- _____ (2017) *2ª Etapa do Programa de Concessões Rodoviárias*. ARTESP. Disponível em <<http://www.artesp.sp.gov.br/rodovias-informacoes-gerais-concessoes-primeira-etapa-do-programa.html>>. Acesso em: 01 jul 2017.
- _____ [2020] *Programa de Concessões*. ARTESP. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/programa-de-concessoes.aspx>>. Acesso em: 04 jul. 2020.
- ASSAF NETO, A. (2012) *Matemática Financeira e suas Aplicações*. 12ª edição. Atlas, São Paulo.
- _____ (2014) *Valuation – Métricas de Valor & Avaliações de Empresas*. Atlas, São Paulo.

- _____ (2020). *Estrutura e Análise de Balanços: Um enfoque econômico-financeiro*. 12. Ed. São Paulo: Atlas.
- BAIN, R. (2009) Error and optimism bias in toll road traffic forecasts. *Transportation*, v. 36, n. 5, p 469-482.
- BERNSTEIN, P. (2011) *Desafio aos Deuses*. Elsevier, Rio de Janeiro.
- BESSA, J. T. (2019) *Renegociações dos Contratos de Concessões Rodoviárias*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.
- BING, L., AKINTOYE, A., EDWARDS, P. J. & HARDCASTLE, C. (2005) The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. *International Journal of Project Management*, v. 23, n.1, p. 25–35.
- BLACK, F. & SCHOLES, M. (1973) The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 637-659.
- BLANK, F. F., SAMANEZ, C. P., BAIDYA, T. K. N. & DIAS, M. A. G. (2016) Economic valuation of a toll road concession with traffic guarantees and the abandonment option. *Production*, v. 26, n. 1, p. 39–53.
- BORDEAUX-RÊGO, R., PAULO, G. P., SPRITZER, I. M. P. A. & ZOTES, L. P. (2013) *Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos*. 4ª edição. FGV, Rio de Janeiro.
- BRANDÃO, L. T. & SARAIVA, E. S. (2007) Garantias governamentais em projetos de PPP: uma avaliação por opções reais. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 37, n. 3, p. 381-404.
- BRANDÃO, L. T. (2002). *Uma aplicação da teoria das Opções Reais em tempo discreto para avaliação de uma concessão rodoviária no Brasil*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Industrial, PUC, Rio de Janeiro.
- BRASIL (1988) Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988
- _____ (1995) Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 fev. 1995, p. 1917.
- _____ (2004) Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 de. 2004, p. 6.
- _____ (2017a) Lei nº 13.448, de 05 de junho de 2017. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 jun. 2017, p. 1.
- _____ (2017b) Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 157, 16 de agosto de 2017. Seção I, p. 2.
- _____ (2019) *Governo Federal qualifica no PPI carteira de projetos mais diversificada desde a criação do programa*. Programa de Parcerias e Investimentos. Disponível em:

<<https://www.ppi.gov.br/governo-federal-qualifica-no-ppi-carteira-de-projetos-mais-diversificada-desde-a-criacao-do-programa>>. Acesso em: 04 jul. 2020.

- BRITTO, P. A. P. & ROCHA, C. H. (2020) Concessão do aeroporto de Natal: devolução e *performance* financeira. Artigo não publicado.
- CAMPOS NETO, C. A. S., MOREIRA, S. V. & MOTTA, L. V. (2018). Modelos de concessão de rodovias no Brasil, no México, no Chile, na Colômbia e nos Estados Unidos: evolução histórica e avanços regulatórios. *Texto para discussão n. 2378*. Ipea, Rio de Janeiro
- CARDOSO, A. B. C., AQUINO, A. C. B., NETO, F. A. & CARDOSO, R. L. (2012) Dinâmica dos ajustes contratuais em concessão de rodovias no estado de São Paulo. *Revista de Administração Pública*, v. 46, n. 5, p. 1295-1315.
- CASSAROTTO FILHO, N & KOPITTKE, B. H. (2000) *Análise de Investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão, Estratégia Empresarial*. 9ª edição. Atlas, São Paulo.
- CASTRO, N. (2009) *Privatização e regulação dos transportes no brasil*. Gestão Logística do Transporte de Cargas, José Vicente Caixeta-Filho, Ricardo Silveira Martins (eds.), Atlas, São Paulo.
- CHAN, A., YEUNG, J. & YU, C., WANG, S. Q. & KE, Y. (2011). Empirical Study of Risk Assessment and Allocation of Public-Private Partnership Projects in China. *Journal of Management in Engineering*. v. 27, p. 136-148.
- CHAO, Y. B. & ZHANG, L. Y. (2008) The allocation of risk in PPP construction projects. *Proceedings of the Second International Conference on Management Science and Engineering Management*, p. 285–292.
- CITRON, B. (2006) *Avaliação Crítica do Programa de Concessões Rodoviárias no Brasil: Estudo do Lote 5 da Segunda Etapa do Programa Federal*. Trabalho de Graduação. Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- COLÍN, F., SOLIÑO, A. S. & LARA GALERA, A. L. (2016) Default and abandonment option in motorway concessions. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 23 n. 1.
- COPELAND, T. & ANTIKAROV, V. (2001) Opções Reais: um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos. Campus, Rio de Janeiro.
- CORTAZAR, G (2001) Simulation and numerical methods in Real Options valuation. In: SCHWARTZ, E. S.; TRIGEORGIS, L. *Real Options and investment under uncertainty: classical readings and recent contributions*. The MIT Press, Cambridge, p.601-620.
- COSTA, B. E. (2014) *Estudo Bibliométrico Sobre Opções no Brasil*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade de Gestão e Negócios, Universidade de Uberlândia, Uberlândia.

- COSTA, F., & ROCHA, C. H. (2020) Revisão bibliométrica sobre o término antecipado de parcerias público-privadas. *Revista Estudos e Pesquisas em Administração*, v. 4, n. 1, p. 48-69.
- COX, J. C., ROSS, S. A. & RUBINSTEIN, M. (1979) Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, v.7, n. 3, p. 229–263.
- DAMODARAN, A. (2008) Avaliação de Investimentos: Ferramentas e Técnicas para a Determinação do Valor de Qualquer Ativo. Qualitymark, Rio de Janeiro.
- _____. (2020a) Historical Returns: Stocks, Bonds; T-Bills with Premiums. Disponível em: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/histretSP.html>. Acesso em: 30 Jan 2020.
- _____. (2020b) *Total Beta (beta for completely undiversified investor) – Emerging Markets*. Disponível em: <<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>>. Acesso em: 27 mai 2020.
- DIXIT, A. K. & PINDYCK, R. S. (1994) *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press, EUA.
- DORNBUSCH, R., FISCHER, .S & STARTZ, R. (2013) *Macroeconomia*. Bookman, Porto Alegre.
- DYL, E. A. & LONG, K. W. (1969) Abandonment Value and Capital Budgeting. *Journal of Finance*. p 88- 95 .
- FLEURIET, M.; KEHDY, R. & BLANC, G. (2003). O Modelo Fleuriet - A dinâmica das empresas brasileiras: Um método de análise, orçamento e planejamento financeiro.11ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- FLYVBJERG, B., SKAMRIS, M. & BUHL, S. (2005) How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? the case of transportation. *J. Am. Plan. Assoc*, v. 71, n. 2, p. 131-146.
- FRANCO, V. G. & PAMPLONA, J. B. (2008) Alocação de riscos em parcerias público-privadas no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 39, n. 1, p. 25-45.
- GALLO, F. & BASTIANI, P. A. (2017) Concessões de rodovias em São Paulo e a relevância dos repasses de ISSQN dos pedágios na composição dos orçamentos municipais. *Boletim Campineiro de Geografia*, v.7, n. 2.
- GITMAN, L. J. (2010) *Princípios de Administração Financeira*. 12ª ed. Pearson, São Paulo.
- GRIMSEY, D. & LEWIS, M. K. (2002) Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, v. 20, n.2, p. 107–118.
- GUASCH, L. (2004). *Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right*. World Bank, Washington, DC.

- GUERRERO, D. A., NETO, F. A. & BARBOSA, F. S. (2013) Análise dos contratos de concessão de rodovias federais - evolução da matriz de risco. *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões*.
- GUPTA, R. (2018). Issues in airport infrastructure development under public private partnership. *International Journal of Business and Management Invention*, v. 4, n. 6, p. 66-77.
- HO, S. P. & LIU, L. Y. (2002) An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects, *Construction Management and Economics*, v. 20, n. 2, p. 143-156.
- HUANG, Y. L. & CHOU, S. P. (2006) Valuation of the minimum revenue guarantee and the option to abandon in BOT infrastructure projects, *Construction Management and Economics*, v. 24, n. 4, p. 379-389.
- HUANG, Y. L. & PI, C.C. (2014) Real-option valuation of build-operate-transfer infrastructure projects under performance bonding. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 140, n. 5.
- HULL, J. C. (2015) *Options, Futures, and Other Derivatives*. Pearson, New Jersey.
- HWANG, B. G., ZHAO, X., & GAY, M. J. S. (2013) Public private partnership projects in Singapore: Factors, critical risks and preferred risk allocation from the perspective of contractors. *International Journal of Project Management*, v. 31, n. 3, p. 424-433.
- IGREJAS, R., CORDEIRO, L. & BRANDÃO, L. E. (2017) when is abandonment not an option? Dealing with ppp contract and government interests. *Advances in Public-Private Partnerships*, p. 486-498.
- IPEA. (2020) EMBI+ Risco-Brasil. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=40940&module=M>>. Acesso em 31 de jan de 2020
- JENSEN, M. C. & MECKLING, W. H. (1976) Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, v. 3, n. 4, p. 305-360.
- JIN, X. H. (2010). Neurofuzzy decision support system for efficient risk allocation in public-private partnership infrastructure projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 24, n. 6, p. 525-538.
- KAYO, E. K., SHENG, H. H., MARTITS, L. A., GABRIELLI, M. F., LORA, M. I. & NAKAMURA, W. T. (2012) *Introdução às Finanças Empresariais*. Saraiva, São Paulo.
- KE, Y. J., WANG, S. Q., CHAN, A. P. C. & LAM, P. T. I. (2010). Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects. *International Journal of Project Management*, v. 28, n. 5, p. 482-492.
- KENSINGER, J. W. (1980) Project abandonment as a put option: dealing with the capital investment decision and operating risk using option pricing theory. *Cox School of Business. Historical Working Papers*, p. 80-121.

- LANA, B. C. (2014) *Análise do Fluxo de Veículos e do Cronograma de Investimentos em Concessões Rodoviárias*. Dissertação mestrado. UFMG, Belo Horizonte.
- LARA GALERA, A. L. (2006) *Desarrollo de un Modelo de Valoración de Concesiones de Autopistas Basado en la Teoría de Opciones Reales, Validación Mediante el Análisis de Series Históricas de Datos de Concesiones en Servicio*. Tese Doutorado. Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, Espanha.
- LARA GALERA & A. L. E SOLIÑO A. S. (2010). A real options approach for the valuation of highway concessions. *Transportation Science*, v. 44, n. 3, p. 416–427.
- LINTER, J (1964) The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *Review of Economics e Statistics*, v. 47, p. 13-37.
- LIU, J.; GAO, R. & CHEAH, C. Y. J. (2017) Pricing mechanism of early termination of PPP projects based on real option theory. *Journal of Management in Engineering*, v. 33, n. 6.
- MARTINS, J. (2013) *Real Options as a Tool for Managing Uncertainty in Project Management - The New Lisbon Airport*. Dissertação de Mestrado. IST, Lisboa, Portugal.
- MARTINS, J., MARQUES, R. C. & CRUZ, C. O. (2015) Real options in infrastructure: revisiting the literature. *Journal of Infrastructure System*, v.21, n. 1.
- MATOS, F. D. O (2013) *Equilíbrio Econômico-Financeiro dos Contratos de Concessão de Rodovias Federais e Estaduais sob a Égide da Lei 8.987/95*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Franca/SP.
- MEDDA, F. (2007). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, v. 25, n. 3, p. 213–218.
- MELIN, B. B. (2008) *Análise das opções reais de um empreendimento de mineração utilizando simulação de Monte Carlo*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MERTON, R. C. (1973) Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, v. 4, n. 1, p. 141-183.
- MILLER, L. T. & PARK, C. S. (2002) Decision making under uncertainty – Real Options to the rescue? *The Engineering Economist*, v. 47, n. 2, p.105-149.
- MUNN, J. (2002) *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic*
- MYERS, S. C & MAJD, S. (1990) Abandonment Value and Project Life. *Advances in Futures and Options Research*, v. 4, p. 1-21.
- MYERS, S. C. (1977) Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, v. 5, n. 2, p. 147-175
- _____ (1984) Finance Theory and Financial Strategy. *Interfaces*, v. 14, n. 1, p. 126–137.

- NGUYEN, A., MOLLIK, A. & CHIH, Y. Y. (2018) Managing critical risks affecting the financial viability of public–private partnership projects: case study of toll road projects in Vietnam. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 144, n. 12.
- OLIVEIRA, C. Z. A. C. (2018) *Contratos Administrativos Complexos e de Longo Prazo: a Prorrogação Antecipada e a Relicitação na Teoria dos Contratos Públicos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro.
- PEREIRA, E. S. & ROCHA, C. H. (2019) Concessões aeroportuárias brasileiras, saúde financeira e prática regulatória: uma aplicação do modelo fleuriet. *Revista de Estudos e Pesquisas em Administração*, v. 3, n. 3, p. 147-161.
- PICKRELL, D. H. (1990) *Urban Rail Transit Projects: Forecast Versus Actual Ridership and Cost*. DOT-T-91-04. Urban Mass Transportation Administration, U. S. Department of Transportation, Washington DC.
- POMPERMAYER, F. M. & SILVA FILHO, E. B. (2016) *Concessões no setor de infraestrutura: propostas para um novo modelo de financiamento e compartilhamento de riscos*. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro.
- PÓVOA, A. (2020) *Valuation: Como Precificar Ações*. 2ª edição. Atlas, São Paulo.
- RAKIC, B. & RADJENOVIC, T. (2014) Real Options Methodology in Public-Private Partnership Projects Valuation. *Economic annals*, v. 59, p. 91-113.
- ROBICHECK, A. A. & HORNE, J. C. (1967) Abandonment value and capital budgeting. *Journal of Finance*, p. 577-589.
- SANTOS, S. (2011) *Transporte Ferroviário História e Técnicas*. CENGAGE Learning, São Paulo
- SENNA, L. A. S. (2014) *Economia e Planejamento de Transportes*. 1ª ed. Elsevier, Rio de Janeiro.
- SHARPE, W. F (1964) Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance* v.19, p. 425-442.
- SILVA NETO, D. C, CRUZ, C. O., RODRIGUES, F. & SILVA, P. (2016) Bibliometric analysis of ppp and pfi literature: overview of 25 years of research. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 142, n. 10.
- SONG, J., JIN, L., ZHAO, Y. & HU, W. (2017) Using bargaining-game model to negotiate compensation for the early termination of BOT highway projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 105, p. 197–209.
- SONG, J., YU, Y., JIN, L. & FENG, Z. (2018) Early termination compensation under demand uncertainty in public-private partnership projects. *International Journal of Strategic Property Management*, v. 22, n. 6, p. 532-543

- STANDARD & POOR'S (2004) *Traffic Forecasting Risk: Study Update 2004*. Londres.
- TEBECHRANI, F. Z. (2010) *Avaliação de Concessões Rodoviárias pela Abordagem de Opções Reais*. Dissertação de Mestrado. Insper – Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo.
- TIRANTIS A. J. (2003) *Real Options. Handbook of Modern Finance*. Research Institute of America, New York.
- TRIGEORGIS, L. (1991) Anticipated competitive entry and early preemptive investment in deferrable projects. *Journal of Economics and Business* v. 43, n. 2, p. 143–156.
- _____ (1993) real options and interactions with financial flexibility. *Financial Management*, v. 22(3) p. 202-224
- TRUJILLO L., QUINET E. & ESTACHE A. (2002) Dealing with demand forecasting games in transport privatization. *Transport Policy* v. 9, p. 325–34.
- VALIPOUR, A.; YAHAYA, N.; MD NOOR, N.; KILD IENË, S.; SARVARI, H. & MARDANI, A. (2015) A fuzzy analytic network process method for risk prioritization in freeway PPP projects: an Iranian case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 21, n.7, p. 933– 947.
- VASSALLO, J. M., ORTEGA, A. & BAEZA, M. D. L. Á. (2012) Impact of the economic recession on toll highway concessions in Spain. *Journal of Management in Engineering*, v. 28, n. 4, p. 398–406.
- VASSALLO, J.M. (2007) *Why traffic forecasts in PPP contracts are often overestimated?* EIB University Research Sponsorship Programme, EIB Luxembourg
- VIA040 (2019) *Vamos aos fatos – processo de relicitação*. Via 040. Disponível em <<http://via040.com.br/pages/vamosaosfatos>>. Acesso em: 05 nov 2019.
- XIONG, W. & ZHANG, X. (2013) Compensation approaches for early termination of PPP projects. *Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, p. 721–729.
- XIONG, W., ZHANG, X. & CHEN, H. (2016) Early-termination compensation in public–private partnership projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 142, n. 4.
- XIONG, W., ZHAO, X., YUAN, J. & LUO, S. (2017) Ex post risk management in public-private partnership infrastructure projects. *Project Management Journal*, v. 48, n. 3, p. 76–89.
- XU, Y L., YEUNG, J. F. Y., CHAN, A. P. C., CHAN, D. W. M., WANG, S. Q., & KE, Y. (2010) Developing a risk assessment model for PPP projects in China — A fuzzy synthetic evaluation approach. *Automation in Construction*, v. 19, n. 7, p. 929–943.
- XU, Y. L., LU, Y. J., CHAN, A. P. C., SKIBNIEWSKI, M. J. & YEUNG, J. F. Y. (2012) A computerized risk evaluation model for public-private partnership (PPP) projects and

its application. *International Journal of Strategic Property Management*, v. 16, n. 3, p. 277–297.

ZENG, S. & ZHANG, S. (2011) Real options literature review. *iBusiness*, v.3, n. 1, p. 43-48.

APÊNDICES

Apêndice A – Fluxo de Caixa do Projeto

Fluxo de Caixa do Projeto (Valores R\$ mil)	Total Projeto	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
(+) Receita Tarifária Bruta	34.088.058	-	-	709.001	725.270	741.912	758.937	776.352	794.167	812.390	955.590	977.517	999.948	1.022.894	1.046.366	1.070.377	1.094.938
(-) Tributos sobre o valor de venda	(2.948.617)	-	-	(61.329)	(62.736)	(64.175)	(65.648)	(67.154)	(68.695)	(70.272)	(82.659)	(84.555)	(86.496)	(88.480)	(90.511)	(92.588)	(94.712)
(+) Receita Não Tarifária Bruta	1.022.642	-	-	21.270	21.758	22.257	22.768	23.291	23.825	24.372	28.668	29.326	29.998	30.687	31.391	32.111	32.848
(-) Tributos sobre o valor de venda	(88.459)	-	-	(1.840)	(1.882)	(1.925)	(1.969)	(2.015)	(2.061)	(2.108)	(2.480)	(2.537)	(2.595)	(2.654)	(2.715)	(2.778)	(2.841)
(=) Receita Líquida	32.073.625	-	-	667.102	682.410	698.069	714.088	730.474	747.236	764.382	899.119	919.751	940.856	962.446	984.531	1.007.123	1.030.233
(-) Custos e Despesas Operacionais	(5.638.165)	-	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)
(-) Outras despesas	(2.621.372)	-	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)
(-) Seguros e garantias	(282.931)	-	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)
(=) EBITDA	23.531.157	-	(284.749)	382.353	397.661	413.320	429.339	445.725	462.487	479.633	614.370	635.002	656.107	677.697	699.782	722.374	745.484
(-) Depreciação e Amortização	9.120.629	-	10.927	21.882	42.820	71.412	108.288	146.701	171.860	190.414	191.376	192.647	195.863	200.652	203.395	208.487	233.294
(=) EBIT	32.651.786	-	(273.822)	404.235	440.481	484.732	537.627	592.426	634.347	670.047	805.746	827.649	851.970	878.349	903.177	930.861	978.778
(-) Tributos	(4.905.614)	-	-	(85.768)	(84.428)	(95.387)	(109.133)	(101.644)	(98.789)	(98.311)	(143.794)	(150.377)	(156.459)	(162.171)	(168.748)	(174.698)	(174.121)
(=) Lucro Líquido	27.746.172	-	(273.822)	318.467	356.053	389.345	428.493	490.782	535.558	571.736	661.952	677.272	695.511	716.177	734.429	756.163	804.658
(+) Depreciação e amortização	(9.120.629)	-	(10.927)	(21.882)	(42.820)	(71.412)	(108.288)	(146.701)	(171.860)	(190.414)	(191.376)	(192.647)	(195.863)	(200.652)	(203.395)	(208.487)	(233.294)
(-) Variação da NCG	-	-	31.639	(28.159)	(922)	85	298	(1.491)	(1.125)	(947)	(3.341)	(543)	(610)	(667)	(621)	(700)	(1.271)
(=) Fluxo de caixa operacional	18.625.543	-	(253.110)	268.426	312.311	318.017	320.503	342.589	362.573	380.375	467.235	484.082	499.038	514.859	530.414	546.977	570.092
(-) Fluxo de investimentos	(9.120.629)	-	(327.800)	(317.698)	(586.275)	(771.972)	(958.785)	(960.322)	(603.822)	(426.731)	(21.166)	(26.697)	(64.317)	(90.982)	(49.383)	(86.565)	(396.916)
(=) Fluxo de caixa	9.504.915	-	(580.910)	(49.272)	(273.964)	(453.954)	(638.282)	(617.733)	(241.250)	(46.356)	446.070	457.385	434.721	423.876	481.031	460.412	173.176

Fluxo de Caixa do Projeto (Valores R\$ mil)	Total Projeto	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25	Ano 26	Ano 27	Ano 28	Ano 29	Ano 30
(+) Receita Tarifária Bruta	34.088.058	1.120.064	1.145.766	1.172.057	1.198.952	1.226.464	1.418.141	1.450.683	1.483.971	1.518.024	1.552.857	1.588.490	1.624.941	1.662.228	1.700.371	1.739.389
(-) Tributos sobre o valor de venda	(2.948.617)	(96.886)	(99.109)	(101.383)	(103.709)	(106.089)	(122.669)	(125.484)	(128.364)	(131.309)	(134.322)	(137.404)	(140.557)	(143.783)	(147.082)	(150.457)
(+) Receita Não Tarifária Bruta	1.022.642	33.602	34.373	35.162	35.969	36.794	42.544	43.520	44.519	45.541	46.586	47.655	48.748	49.867	51.011	52.182
(-) Tributos sobre o valor de venda	(88.459)	(2.907)	(2.973)	(3.041)	(3.111)	(3.183)	(3.680)	(3.765)	(3.851)	(3.939)	(4.030)	(4.122)	(4.217)	(4.313)	(4.412)	(4.514)
(=) Receita Líquida	32.073.625	1.053.874	1.078.057	1.102.794	1.128.100	1.153.986	1.334.336	1.364.955	1.396.276	1.428.316	1.461.091	1.494.619	1.528.915	1.563.999	1.599.888	1.636.600
(-) Custos e Despesas Operacionais	(5.638.165)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)	(187.939)
(-) Outras despesas	(2.621.372)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)	(87.379)
(-) Seguros e garantias	(282.931)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)	(9.431)
(=) EBITDA	23.531.157	769.125	793.308	818.046	843.351	869.237	1.049.587	1.080.206	1.111.527	1.143.567	1.176.342	1.209.870	1.244.166	1.279.250	1.315.139	1.351.851
(-) Depreciação e Amortização	9.120.629	273.036	315.689	361.303	417.646	444.338	452.383	462.601	471.537	486.116	497.124	508.234	522.833	539.890	568.232	609.650
(=) EBIT	32.651.786	1.042.161	1.108.997	1.179.348	1.260.998	1.313.575	1.501.970	1.542.807	1.583.064	1.629.683	1.673.466	1.718.103	1.766.999	1.819.140	1.883.371	1.961.501
(-) Tributos	(4.905.614)	(168.646)	(162.366)	(155.269)	(144.716)	(144.442)	(203.026)	(209.961)	(217.573)	(223.509)	(230.910)	(238.532)	(245.229)	(251.359)	(253.924)	(252.324)
(=) Lucro Líquido	27.746.172	873.515	946.631	1.024.080	1.116.282	1.169.134	1.298.944	1.332.846	1.365.491	1.406.174	1.442.556	1.479.571	1.521.770	1.567.781	1.629.447	1.709.176
(+) Depreciação e amortização	(9.120.629)	(273.036)	(315.689)	(361.303)	(417.646)	(444.338)	(452.383)	(462.601)	(471.537)	(486.116)	(497.124)	(508.234)	(522.833)	(539.890)	(568.232)	(609.650)
(-) Variação da NCG	-	(1.707)	(1.803)	(1.901)	(2.219)	(1.393)	(4.663)	(1.043)	(1.023)	(1.201)	(1.118)	(1.139)	(1.257)	(1.346)	(1.686)	31.875
(=) Fluxo de caixa operacional	18.625.543	598.771	629.138	660.876	696.417	723.403	841.898	869.202	892.931	918.857	944.314	970.198	997.680	1.026.545	1.059.529	1.131.402
(-) Fluxo de investimentos	(9.120.629)	(596.133)	(597.140)	(592.975)	(676.124)	(293.607)	(80.445)	(91.970)	(71.484)	(102.053)	(66.046)	(55.550)	(58.397)	(51.170)	(56.685)	(41.418)
(=) Fluxo de caixa	9.504.915	2.638	31.998	67.901	20.293	429.796	761.453	777.231	821.447	816.804	878.268	914.648	939.283	975.376	1.002.844	1.089.984

Apêndice B – Árvore de Eventos do Ativo Subjacente (R\$ mil)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427
1		31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899
2		-	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799
3		-	-	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949
4		-	-	-	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740
5		-	-	-	-	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923
6		-	-	-	-	-	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561
7		-	-	-	-	-	-	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025
8		-	-	-	-	-	-	-	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796
9		-	-	-	-	-	-	-	-	162	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494
10		-	-	-	-	-	-	-	-	-	84	162	313	606	1.173	2.269
11		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	84	162	313	606
12		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	43	84	162
13		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	22	43
14		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	12
15		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
16		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142	64.317.005.536	124.440.049.283	240.765.653.445	465.831.540.672	901.287.294.015	1.743.803.747.554	3.373.898.123.468	6.527.792.226.340	12.629.922.360.091	24.436.276.966.397
1	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142	64.317.005.536	124.440.049.283	240.765.653.445	465.831.540.672	901.287.294.015	1.743.803.747.554	3.373.898.123.468	6.527.792.226.340
2	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142	64.317.005.536	124.440.049.283	240.765.653.445	465.831.540.672	901.287.294.015	1.743.803.747.554
3	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142	64.317.005.536	124.440.049.283	240.765.653.445	465.831.540.672
4	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142	64.317.005.536	124.440.049.283
5	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900	17.181.342.695	33.242.330.142
6	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882	4.589.743.169	8.880.199.900
7	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339	1.226.082.427	2.372.214.882
8	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266	327.529.899	633.702.339
9	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803	87.494.799	169.284.266
10	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340	23.372.949	45.221.803
11	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085	6.243.740	12.080.340
12	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068	1.667.923	3.227.085
13	84	162	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289	445.561	862.068
14	22	43	84	162	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518	119.025	230.289
15	6	12	22	43	84	162	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434	31.796	61.518
16	2	3	6	12	22	43	84	162	313	606	1.173	2.269	4.390	8.494	16.434
17	-	1	2	3	6	12	22	43	84	162	313	606	1.173	2.269	4.390
18	-	-	0	1	2	3	6	12	22	43	84	162	313	606	1.173
19	-	-	-	0	0	1	2	3	6	12	22	43	84	162	313
20	-	-	-	-	0	0	0	1	2	3	6	12	22	43	84
21	-	-	-	-	-	0	0	0	0	1	2	3	6	12	22
22	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	1	2	3	6	12
23	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	1	2	3
24	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Apêndice C – Árvore Decisões sobre o Ativo Subjacente (R\$ mil)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2.578.756	2.633.108	2.661.167	2.645.546	2.564.073	2.395.895	2.137.852	1.830.664	1.557.390	1.233.332	878.660	542.947	277.470	110.544	31.810	5.514
1		2.694.233	2.766.872	2.821.767	2.843.304	2.807.288	2.681.453	2.437.108	2.092.827	1.833.331	1.508.503	1.122.675	727.260	389.721	162.332	48.815
2			2.805.721	2.892.749	2.970.046	3.026.062	3.039.890	2.975.361	2.774.839	2.361.963	2.125.434	1.817.349	1.415.085	963.708	543.299	237.166
3				2.915.246	3.012.853	3.106.849	3.190.431	3.250.320	3.260.689	3.171.441	2.633.158	2.424.500	2.153.282	1.756.483	1.261.503	751.123
4					3.024.897	3.130.151	3.235.516	3.337.549	3.429.460	3.497.977	3.237.359	2.903.695	2.719.300	2.505.192	2.142.519	1.628.245
5						3.136.375	3.247.560	3.360.851	3.474.545	3.585.207	3.406.130	3.230.231	3.034.981	2.997.893	2.857.430	2.561.691
6							3.250.777	3.367.076	3.486.588	3.608.509	3.451.214	3.317.461	3.189.036	3.229.276	3.249.804	3.191.056
7								3.368.739	3.489.806	3.614.734	3.463.258	3.340.763	3.234.121	3.310.416	3.401.347	3.468.850
8									3.490.665	3.616.396	3.466.475	3.346.988	3.246.164	3.333.718	3.446.432	3.556.079
9										3.616.841	3.467.335	3.348.650	3.249.382	3.339.943	3.458.476	3.579.381
10											3.467.564	3.349.095	3.250.241	3.341.606	3.461.693	3.585.606
11												3.349.213	3.250.471	3.342.050	3.462.552	3.587.269
12													3.250.532	3.342.169	3.462.782	3.587.713
13														3.342.200	3.462.843	3.587.832
14															3.462.860	3.587.864
15																3.587.872
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	301	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	8.840	492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	74.692	14.166	805	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	344.549	113.917	22.692	1.316	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1.028.817	497.429	173.114	36.336	2.152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2.067.325	1.394.443	713.145	262.002	58.157	3.517	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2.993.235	2.573.855	1.867.510	1.014.427	394.703	93.039	5.750	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3.487.109	3.406.034	3.128.570	2.466.777	1.430.271	591.481	148.772	9.399	-	-	-	-	-	-	-
8	3.655.879	3.732.570	3.760.349	3.689.139	3.136.974	1.996.375	880.960	237.774	15.365	-	-	-	-	-	-
9	3.700.964	3.819.800	3.929.120	4.015.675	3.768.753	3.218.737	2.468.662	1.302.759	379.820	25.118	-	-	-	-	-
10	3.713.007	3.843.102	3.974.204	4.102.904	3.937.524	3.545.273	3.100.442	2.525.121	1.762.958	606.394	41.062	-	-	-	-
11	3.716.225	3.849.327	3.986.248	4.126.206	3.982.609	3.632.503	3.269.212	2.851.658	2.394.737	1.791.495	967.573	67.125	-	-	-
12	3.717.084	3.850.989	3.989.465	4.132.431	3.994.652	3.655.805	3.314.297	2.938.887	2.563.508	2.118.031	1.599.352	966.088	109.733	-	-
13	3.717.314	3.851.434	3.990.325	4.134.094	3.997.870	3.662.030	3.326.340	2.962.189	2.608.592	2.205.261	1.768.123	1.292.624	741.512	65.848	-
14	3.717.375	3.851.552	3.990.554	4.134.538	3.998.729	3.663.692	3.329.558	2.968.414	2.620.636	2.228.563	1.813.207	1.379.853	910.283	392.384	-
15	3.717.392	3.851.584	3.990.616	4.134.657	3.998.959	3.664.137	3.330.417	2.970.077	2.623.853	2.234.788	1.825.251	1.403.155	955.367	479.613	-
16	3.717.396	3.851.592	3.990.632	4.134.689	3.999.020	3.664.255	3.330.647	2.970.521	2.624.713	2.236.450	1.828.468	1.409.380	967.411	502.915	-
17		3.851.595	3.990.637	4.134.697	3.999.036	3.664.287	3.330.708	2.970.639	2.624.942	2.236.895	1.829.328	1.411.043	970.628	509.140	-
18			3.990.638	4.134.699	3.999.041	3.664.295	3.330.725	2.970.671	2.625.004	2.237.013	1.829.557	1.411.487	971.488	510.803	-
19				4.134.700	3.999.042	3.664.298	3.330.729	2.970.680	2.625.020	2.237.045	1.829.619	1.411.606	971.717	511.247	-
20					3.999.042	3.664.298	3.330.730	2.970.682	2.625.025	2.237.054	1.829.635	1.411.637	971.779	511.366	-
21						3.664.298	3.330.730	2.970.682	2.625.026	2.237.056	1.829.640	1.411.646	971.795	511.397	-
22							3.330.730	2.970.683	2.625.026	2.237.056	1.829.641	1.411.648	971.800	511.406	-
23								2.970.683	2.625.026	2.237.057	1.829.641	1.411.649	971.801	511.408	-
24									2.625.026	2.237.057	1.829.641	1.411.649	971.801	511.409	-
25										2.237.057	1.829.641	1.411.649	971.801	511.409	-
26											1.829.641	1.411.649	971.801	511.409	-
27												1.411.649	971.801	511.409	-
28													971.801	511.409	-
29														511.409	-
30														511.409	-