



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - ECV

TOM FAUSEL KOCH

**O PAPEL DA ENGENHARIA DE TÚNEIS NA TOMADA DE DECISÃO DE
ALTERNATIVAS EM PROJETOS RODOFERROVIÁRIOS**

Florianópolis, 2021

TOM FAUSEL KOCH

**O PAPEL DA ENGENHARIA DE TÚNEIS NA TOMADA DE DECISÃO DE
ALTERNATIVAS EM PROJETOS RODOFERROVIÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Marques Noronha.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Koch, Tom Fausel
O PAPEL DA ENGENHARIA DE TÚNEIS NA TOMADA DE DECISÃO
DE ALTERNATIVAS EM PROJETOS RODOFERROVIÁRIOS / Tom Fausel
Koch ; orientador, Marcos Aurélio Marques Noronha, 2021.
67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Túneis. 3. Análise Custo
Benefício. 4. Tomada de Decisão. I. Aurélio Marques
Noronha, Marcos. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Florianópolis, 2021

Tom Fausel Koch

**O PAPEL DA ENGENHARIA DE TÚNEIS NA TOMADA DE DECISÃO DE
ALTERNATIVAS EM PROJETOS RODOFERROVIÁRIOS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Cursos de Engenharia Civil.

Florianópolis, 24 de setembro de 2021.

Prof. Luciana Rohde
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Marcos A. Marques Noronha, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Naloan Coutinho Sampa, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Eloi Angelo Palma Filho, M.
Comitê Brasileiro de Túneis

“É para ser difícil. Se não fosse difícil, todos fariam. É o difícil que o torna ótimo.”
(Tom Hanks)

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Marcos Noronha pela orientação, abertura de contato, conversas motivadoras e incentivo de perdurar na caminhada do desenvolvimento técnico e profissional. Também por me abrir as portas desse mundo da engenharia de túneis o qual me entusiasmei desde o primeiro evento que fui, o FLORIPATUN.

Agradeço ao Bruno Pilar pelas conversas, ajudas e ideias para o trabalho.

Agradeço ao Sr. Eloi Palma Filho pelos materiais fornecidos do Contorno Viário de Florianópolis e pela ajuda no desenvolvimento das análises.

Agradeço ao Professor Sebastião Lauro Nau pelas considerações e sugestões para o trabalho as quais foram essenciais para melhorar a escrita e a assimilação do mesmo.

Agradeço a minha família pelas orações e pensamentos positivos para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a UFSC por me fornecer estrutura e este universo de pessoas incríveis as quais posso interagir e me apoiar na busca pelo conhecimento e capacitação.

Agradeço aos meus pais por proverem a estrutura familiar e financeira necessária para que eu pudesse aproveitar sempre todas as oportunidades que a vida me dava. Sem vocês eu não teria conseguido.

Agradeço à Caroline Nau, minha namorada incrível, pelos incentivos diários para desenvolver o trabalho de conclusão, pela compreensão, por estar sempre ao meu lado em todas as minhas decisões tanto pessoais quanto profissionais e pelos aprendizados que fazem-me evoluir constantemente.

RESUMO

A infraestrutura de um país tem grande importância em seu desenvolvimento e as decisões cabem principalmente aos tomadores de decisão do setor público, os quais muitas vezes não possuem conhecimento técnico de engenharia. Devido a isso, as tomadas de decisão tendem a passar por uma análise financeira apenas, visando a alternativa mais barata e desprezando possíveis alternativas como a de traçados rodoferroviários com túneis, por exemplo. Mesmo que as obras de túneis tendam a ser mais onerosas, elas trazem resultados únicos como redução de acidentes de trânsito, redução do tempo de viagem, redução de manutenção, redução do impacto ambiental entre outros. Este trabalho tem por objetivo explorar a visão técnica da engenharia de túneis nas tomadas de decisão de alternativas em projetos rodoferroviários. Explora-se métodos de construção de túneis, métodos de tomada de decisão, traz-se cinco exemplos de casos representativos e duas análises de custo-benefício de obras reais. Conclui-se que as tomadas de decisão de projeto rodoferroviários englobam uma série de fatores que muitas vezes são extremamente complicados de se contabilizar através de valores monetários.

Palavras-chave: Túneis; Análise Custo-Benefício; Tomadas de decisão.

ABSTRACT

A country's infrastructure is of great importance in its development. However, decisions are mainly made by decision makers from the public sector, who often do not have technical engineering knowledge. Due to this fact, decision-making tends to go through a financial analysis only, focusing on the cheapest alternative and ignoring possible alternatives such as tunneling for road-rail projects. Even though tunneling works tend to be more costly, they bring unique results such as reducing traffic accidents, reducing travel time, reducing maintenance, reducing environmental impact, among others. This paper aims to explore the technical vision of tunnel engineering in decision-making for alternatives in road-rail projects. It explores tunnel construction methods, decision-making methods, five representative case examples and two cost benefit analyses of real works. It is concluded that the road-railway project decision-making involves a series of factors that are often extremely complicated to account through monetary values.

Keywords: Tunnels, Cost-Benefit Analysis, Decision Making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de traçados ferroviários sem túneis em relevos acidentados (Serra do Mar, Paraná).....	16
Figura 2 - Extensão e volume total dos túneis construídos no Brasil.....	20
Figura 3 - Vala a céu aberto.....	21
Figura 4 - Túnel imerso	22
Figura 5 - Tuneladora – TBM (Tunnel Boring Machine)	22
Figura 6 - Rodovia dos Imigrantes	41
Figura 7 - Imigrantes - trecho TD 01	43
Figura 8 - Trechos da Nova Tamoios	44
Figura 9 - Nova Ferroeste.....	46
Figura 10 - Alternativas de traçados analisadas	47
Figura 11 - Bolu Mountain Tunnel.....	48
Figura 12 - Contorno Florianópolis	49
Figura 13 - Trecho de análise Contorno Viário de Florianópolis.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos métodos Fonte: Autor	40
Tabela 2 - Resultados Bolu Mountain Tunnel.....	52
Tabela 3 - Valor presente líquido de cada alternativa	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Valor Presente Líquido.....	28
Equação 2 - Taxa Interna de Retorno	30
Equação 3 - Relação Benefício Custo	31
Equação 4 - Tempo de Recuperação de Capital	32

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ACB – Análise Custo-Benefício

ACE – Análise Custo-Efetividade

ACU – Análise Custo-Utilidade

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento

CTC – Centro Tecnológico

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo

EVTEA – Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental

FMI – Fundo Monetário Internacional

NATM – New Austrian Tunneling Method

SDI - Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura
ACB – Análise de Custo-Benefício

TBM - Tunnel Boring Machine

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	17
1.2	Metodologia	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Contexto histórico dos túneis	18
2.2	Métodos de construção	20
2.2.1	Vala a Céu Aberto.....	20
2.2.2	Túnel Imerso	21
2.2.3	TBM – Tunnel Boring Machine.....	22
2.2.4	Novo Método Austríaco de Tunelamento – NATM (New Austrian Tunneling Method).....	23
2.3	Projeto de túneis.....	24
2.3.1	Tipos de contrato.....	24
2.3.2	Duração de execução	25
2.4	Métodos de tomada de decisão de obras rodoferroviárias.....	26
2.4.1	Custos e Benefícios	26
2.4.2	Indicadores para seleção de projetos.....	27
2.4.3	Análise Custo-Benefício (ACB)	32
2.4.4	Análise Custo-Efetividade (ACE).....	33
2.4.5	Análise Custo-Utilidade (ACU).....	34
2.4.6	Método “BE PART”	35
2.4.7	Guia Prático de Análise de Custo-Benefício	38
2.4.8	Resumo dos métodos apresentados.....	40
3	EXEMPLOS DE CASOS REPRESENTATIVOS	41
3.1	Nova Imigrantes – pista descendente.....	41

3.1.1	Informações gerais	41
3.1.2	Informações sobre a obra	42
3.1.3	Tomadas de decisão	42
3.2	Nova Tamoios	43
3.2.1	Informações gerais	43
3.2.2	Informações sobre a obra	44
3.2.3	Tomadas de decisão	45
3.3	Curitiba – Paranaguá (Nova Ferroeste).....	45
3.3.1	Informações gerais	45
3.3.2	Informações sobre a obra	46
3.3.3	Tomadas de decisão	47
3.4	Bolu Mountain Tunnel (Turquia).....	47
3.4.1	Informações gerais	47
3.4.2	Informações sobre a obra	48
3.4.3	Tomadas de decisão	48
3.5	Contorno Viário de Florianópolis	49
3.5.1	Informações gerais	49
3.5.2	Informações sobre a obra	49
3.5.3	Tomadas de decisão	50
4	ANÁLISES	51
4.1	Análise Custo-Benefício Bolu Montain Tunnel	51
4.2	Análise Custo-Benefício Túneis do Contorno Viário de Florianópolis.....	53
5	CONCLUSÕES	59
5.1	Recomendações para trabalhos futuros.....	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O sistema de transporte de um país é de grande importância para o seu desenvolvimento e constitui um dos elementos mais relevantes da infraestrutura de base (saneamento, transporte, energia e telecomunicação). Atualmente, as decisões entre as possíveis alternativas de infraestrutura rodoferroviária cabem principalmente ao setor público, que se apoia fundamentalmente na análise da relação custo-benefício de projetos, atribuindo grande importância ao aspecto financeiro apenas (qual alternativa é menos onerosa), sem considerar outros aspectos relevantes, ou minimizando a importância deles, para uma tomada de decisão mais sustentável ecológica e financeiramente.

No Brasil, aspectos mais gerais e abrangentes são frequentemente desconsiderados nas análises de alternativas de projetos de infraestrutura. Perde-se assim a chance de tomar decisões mais adequadas, muitas vezes até mesmo negligenciando-se a contribuição técnica dos profissionais da engenharia (técnicos e engenheiros) que poderiam contribuir muito com informações cruciais sobre os custos indiretos do projeto, envolvendo questões de qualidade, funcionalidade, meio ambiente, riscos, manutenção e vida útil das obras. Por exemplo, projetos rodoferroviários em regiões com obstáculos ou relevos complicados deveriam ser motivos para se investigar com mais detalhe as soluções alternativas baseadas em túneis. A Figura 1 ilustra um caso atual de traçados ferroviários considerados para a descida da serra entre Curitiba e o Porto de Paranaguá, onde percebe-se trechos excessivamente sinuosos que poderiam ser retificados com a construção de túneis, otimizando a eficiência da via em termos de distância, velocidade, segurança e menor impacto ambiental.



Figura 1 - Exemplo de traçados ferroviários sem túneis em relevos acidentados (Serra do Mar, Paraná)

Fonte: PROFERR Ferrovias: Trecho Lapa (PR) – Paranaguá (PR), ANTT (2013)

Atualmente, com o desenvolvimento de novas técnicas de engenharia de túneis, torna-se possível oferecer uma análise mais ampla e útil à tomada de decisões, permitindo que aspectos socioeconômicos no longo prazo possam ser analisados e devidamente comparados. Na prática, obras de túneis são geralmente mais onerosas se considerarmos a obra em si, mas, quando comparadas com alternativas com percursos sinuosos, geram menos acidentes, menos manutenção, menos impacto ambiental, mais agilidade de locomoção entre outros benefícios que ao final, são mais vantajosos. Assim, este trabalho busca analisar alternativas para a atual engenharia rodoferroviária brasileira, considerando outros aspectos além daqueles apenas financeiros na tomada de decisão sobre o melhor projeto a ser executado, explorando aspectos ambientais e socioeconômicos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo principal explorar a visão técnica da engenharia de túneis nas tomadas de decisão de alternativas em projetos rodoferroviários, buscando dar ênfase aos benefícios ambientais e socioeconômicos das alternativas de traçados com túneis em relação à prática atual no Brasil que tende a evitá-los na maioria dos casos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos do trabalho, destacam-se:

- apresentar o contexto histórico da construção de túneis no Brasil e no mundo;
- apresentar uma síntese sobre o conhecimento atual de técnicas utilizadas na área de engenharia de túneis a partir do estudo de artigos, dissertações, teses e outros e documentos técnicos;
- avaliar projetos relacionados às obras rodoferroviárias no Brasil onde a alternativa de túneis desempenharia um fator decisivo;
- discutir os fatores envolvidos nas tomadas de decisão de projetos rodoferroviários;
- mapear as alternativas para as tomadas de decisão de projetos rodoferroviários, considerando estudo de caso de projetos de túneis;
- apresentar motivos, a partir da literatura técnica, que justificam a viabilidade de implantação de túneis em diferentes obras rodoferroviárias no Brasil.

1.2 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho baseia-se no estudo sistematizado de referência bibliográfica sobre o tema. Foram estudadas referências bibliográficas que contextualizam os aspectos históricos dos projetos rodoferroviários brasileiros, especialmente aqueles que apresentavam a construção de túneis. Em seguida, foram analisados os documentos que abordavam o conhecimento atual de técnicas utilizadas na área de engenharia de túneis como artigos, dissertações, teses e outros documentos técnicos. Após isto, foram estudadas referências bibliográficas associadas à tomada de decisão em projetos de infraestrutura rodoferroviária. Em seguida, foram analisados sites de notícias referentes a exemplos atuais de obras de túneis no Brasil e no mundo. Por fim, foram realizadas as devidas conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contexto histórico dos túneis

Os túneis são obras de Engenharia Civil que comumente atendem às demandas do setor de transporte e da necessidade de ocupação do espaço subterrâneo decorrente do aumento dos índices demográficos nos grandes centros urbanos. Esse comportamento populacional leva à consequente carência nos diversos setores de infraestrutura que, por sua vez, demanda o emprego de obras subterrâneas nos transportes, no saneamento e na distribuição de gás, eletricidade e comunicação. (TRAVAGIN, V. 2012)

De acordo com Moreira, 2006, desde o século IX AC a civilização persa desenvolveu túneis em cadeias de montanhas com a finalidade de mineração e agricultura, os quais tinham pequena inclinação para aproveitar as águas das nascentes dos rios, reduzindo as perdas por evaporação. Há registros, ainda, de consideráveis túneis na civilização grega como o sistema de abastecimento de água da cidade de Samos, construído no século VI AC, de aproximadamente um quilômetro de comprimento. A civilização romana, por sua vez, é famosa pela Cloaca Massima, rede de túneis para condução de esgoto urbano, construído no final do século VI AC, os quais chegavam a ter seções com 3,2 metros de largura por 4,2 metros de altura (MOREIRA, 2006).

As técnicas mais antigas de construção de túneis consistiam na escavação utilizando objetos artesanais ou na quebra das rochas por meio das mudanças bruscas de temperatura (Moreira, 2006). Porém, um grande avanço para as técnicas de escavações ocorreu em 1679, quando se utilizou pela primeira vez a pólvora na escavação de um túnel no Sul da França. Quase 200 anos depois, utilizou-se, nos Estados Unidos, a nitroglicerina e em 1867 Alfred Nobel criou a dinamite, que foi revolucionária devido a sua eficácia e segurança (MOREIRA, 2006).

Marc Brunel utilizou em 1818 um escudo/couraça durante uma escavação, dando estabilidade provisória às paredes laterais enquanto o revestimento definitivo não era construído. O mesmo princípio foi utilizado na obra do túnel do Rio Tâmis (1823), o primeiro túnel subfluvial construído (BEAVER, 1973). O escudo de Brunel inspirou também a criação das tuneladoras modernas (TBM - Tunnel Boring Machine), que foram se aprimorando rapidamente no final do século XX. Por fim, em 1957 na Áustria, Ladislaus Von

Rabcewicz, Leopold Muller e Franz Pacher desenvolveram um método de escavação sequencial, NATM – New Austrian Tunneling Method, que é comumente utilizado até hoje. (KONDA, 2001).

No Brasil, os primeiros túneis de grande importância foram construídos no século XIX, durante o Império, com a construção da Estrada de Ferro D. Pedro II, a qual uniu os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Esta é considerada uma obra importante, pois se tratava de uma ferrovia de bitola larga, onde havia um desnível de 400 metros, com condições técnicas desfavoráveis. Naquele contexto, houve a perfuração de 15 túneis com comprimentos variando entre 25 e 2.238 metros, somando um total de 5.220 metros. Os túneis em rocha eram perfurados com ponteiro, marreta e pólvora negra. Perfuratrizes mecânicas e dinamite ainda não existiam (TELLES, 2006).

De acordo com Telles (2006), entre 1877 e 1879 utilizou-se pela primeira vez, também na Estrada de Ferro D. Pedro II na cidade do Rio de Janeiro, perfuratrizes de ar comprimido e dinamite na perfuração de dois túneis do ramal da Marítima e no túnel 5 (ferroviário) utilizou-se um processo de envolvimento, onde os dois lados foram alargados simetricamente de forma que a nova galeria envolveu a antiga, evitando assim possíveis desmoronamentos do solo arenoso. Com exceção dos túneis escavados em rocha viva, todos os túneis tiveram estrutura de concreto armado.

Mais recentemente, na década de 1970, começou-se a investir em metrô no país. O primeiro a utilizar tuneladoras de couraça foi o metrô de São Paulo. Com a implementação desse meio de transporte de massas, já foi possível experimentar a redução de transtornos sócios econômicos, até então causados por escavação a céu-aberto (Celestino, 2006).

Com o passar dos anos, foram empregadas diversas tecnologias nas escavações brasileiras, como o uso de Jet Grouting, variados chumbadores, rebaixamento do nível d'água por poços profundos, injeções químicas, congelamento do solo, entre outras (MENDONÇA, 2017). Muitos túneis surgiram no Brasil ao longo das décadas do século XX e XXI. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra a evolução em extensão total e volume total dos túneis (não apenas viários) construídos no Brasil entre 1960 e 2000 (CELESTINO, 2006).

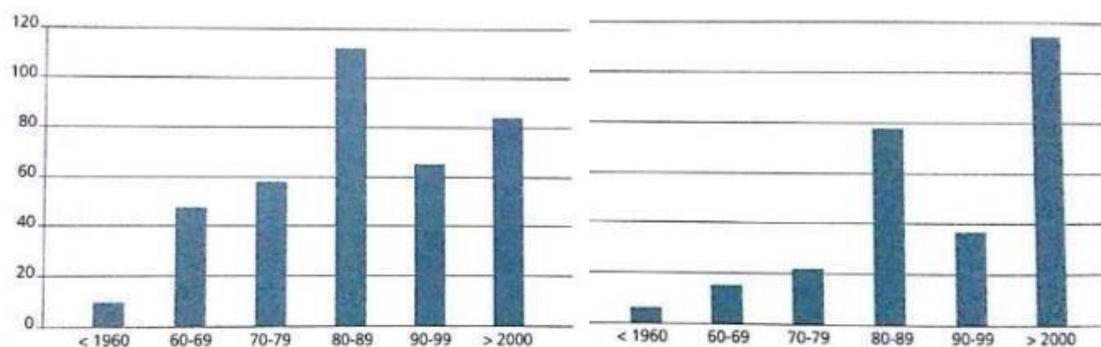


Figura 2 – Extensão total (km) e volume total (10⁶ m³) dos túneis construídos no Brasil

Legenda: Esquerda – Extensão total; Direita – Volume total.

Fonte: Mendonça (2017)

2.2 Métodos de construção

Os métodos de escavação de túnel foram sendo aprimorados junto com o desenvolvimento de novas tecnologias, iniciando com a escavação por dinamite até as grandes máquinas de escavação (PIRES et al 2016).

Existem diferentes métodos de execução de túneis e eles podem ser divididos em duas categorias: os métodos destrutivos, quando é iniciada a escavação pela superfície do terreno e posteriormente aterrado; e os métodos de escavação subterrânea, com pouco impacto na superfície. A categoria de escavação subterrânea engloba os métodos de tuneladora (TBM – Tunnel Boring Machine) e o Novo Método Austríaco de Escavação de Túneis (NATM – New Austrian Tunneling Method), que são os mais conhecidos atualmente (MENDONÇA, 2017).

Além das propriedades do maciço a ser escavado, vários outros fatores são importantes para a escolha do método de escavação, como custo, tempo de execução, riscos, etc. Sendo assim, ressalta-se a necessidade de realização de estudo geológico-geotécnico, investigação *in situ* e em laboratório, junto com a análise de deformação do túnel (PIRES et al., 2016).

2.2.1 Vala a Céu Aberto

A vala a céu aberto é um método de execução de túnel da categoria de métodos destrutivos. Ela corresponde à técnica mais simples de escavação de túneis, onde inicialmente é realizada a escavação de uma vala de profundidade necessária para a estrutura do túnel e, por fim, realizado o recobrimento da vala até atingir o nível do terreno (MENDONÇA, 2017).

Pelo fato deste método ser simples, ele permite que o trajeto do túnel aceite variações de largura e formatos. Entretanto, além de não ser viável para projeto de túneis profundos, necessita de uma grande área para canteiro de obra. Por isso não é recomendável para grandes centros urbanos, pois gera transtornos socioeconômicos, afetando o tráfego e a infraestrutura de saneamento da região (MENDONÇA, 2017). A Figura 3 representa uma escavação do tipo vala a céu aberto, utilizada na construção do Metrô de Brasília.



Figura 3 - Vala a céu aberto.

Fonte: Geocompany (<http://geocompany.com.br/>)

2.2.2 Túnel Imerso

O túnel imerso, assim como a vala a céu aberto, é um método destrutivo, ou seja, acontece primeiramente o corte e posteriormente o aterro. A diferença está pelo túnel ser realizado de forma submersa. A estrutura do túnel é composta por segmentos de túnel pré-fabricados que recebe vedação. Os segmentos são inundados e transportados por barcos até o local de instalação. Então a peça é imersa em uma trincheira que foi escavada previamente por dragagem. Estando os componentes devidamente alocados e conectados, é realizada vedação e posteriormente aterramento do túnel imerso (MENDONÇA, 2017). A Figura 4 representa uma escavação do tipo túnel imerso.



Figura 4 - Túnel imerso

Fonte: Cimento Itambé
 (<https://www.cimentoitambe.com.br/>)

2.2.3 TBM – Tunnel Boring Machine

As tuneladoras ou TBMs (Tunnel Boring Machines) são máquinas perfuradoras utilizadas em túneis de pequenos (microtúneis) a grandes diâmetros. As TBMs correspondem a um método de escavação subterrânea, sendo capazes de escavar diferentes tipos de litologia (rochas e solos) (PIRES et al, 2016).

As TBMs são máquinas com seção idêntica à seção que será escavada (normalmente seção circular) e suportam as tensões do maciço durante a escavação. Elas possuem escudos que funcionam como suportes temporários, para a escavação, retirada de material escavado e instalação dos suportes definitivos. Finalizada a seção, a máquina se desloca junto com o escudo, dando continuidade à escavação Moreira (2006). A Figura 5 representa uma máquina tuneladora - TBM.

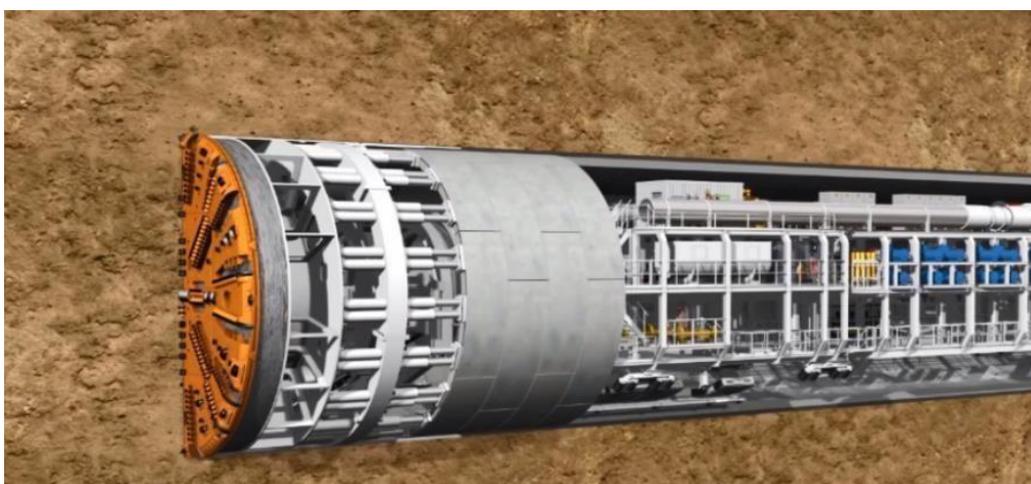


Figura 5 - Tuneladora – TBM (Tunnel Boring Machine)

Fonte: Metro de Santiago, Chile

As tuneladoras podem operar de duas formas distintas: escudos abertos e escudos fechados. As máquinas do tipo escudo aberto são utilizadas quando não há instabilidade da seção e a presença de água não é muito significativa. Já quando o maciço apresenta característica instável, e faz-se necessária uma aplicação de pressão estabilizante e com presença significativa de água, opera-se com escudos fechados (MOREIRA, 2006).

O processo de escavação é automatizado e é, geralmente, realizado através da cabeça de corte circular a qual possui ponteiros de escarificação e discos de corte. Além disso, a cabeça de corte é posicionada na frente da máquina, sendo tensionada contra o solo por um conjunto de macacos hidráulicos, realizando o corte do material. Após a seção ter sido escavada, são instalados segmentos de concreto (suporte definitivo) e então injetada argamassa nos vazios entre a estrutura de concreto e o solo. Todo material escavado é retirado automaticamente por esteiras rolantes até a traseira da máquina e então encaminhado para fora do túnel (MENDONÇA, 2017).

2.2.4 Novo Método Austríaco de Tunelamento – NATM (New Austrian Tunneling Method)

O Novo Método Austríaco de Tunelamento – NATM (New Austrian Tunneling Method) é um método de escavação subterrânea. Este método consiste em realizar a escavação de forma sequencial e utilizando-se da própria estabilidade do maciço como elemento de suporte do túnel (MENDONÇA, 2017).

O NATM rege-se principalmente por dois princípios:

1. permitir a deformação do maciço após a escavação para que a estrutura do próprio maciço forneça suporte para a estrutura do túnel;
2. observação contínua da obra por meio de instrumentos específicos de medição de recalque.

Após a escavação, deve-se aplicar o suporte primário (rápido e flexível), de forma que aproveite o efeito de arqueamento das tensões no maciço. O suporte primário possui função de segurança e estabilidade até o término de escavação (MOREIRA, 2006).

Finalizada a escavação, é instalado o suporte definitivo que possui como objetivo garantir a utilização do túnel, assegurando a estabilidade ao longo de toda a vida útil da obra. Devido ao fato de a estrutura da obra depende da própria estabilidade do maciço, faz-se necessário o controle do comportamento do maciço e da estrutura. Por isso é fundamental a observação contínua da obra. As escavações por este método são realizadas normalmente por

técnicas de ataque pontual. Isso garante ao método uma grande flexibilidade entre diferentes geometrias e diferentes tipos de solo (MOREIRA, 2006).

O suporte primário é constituído por concreto projetado, em casos de boa estabilidade e por acréscimo de perfis, redes ou malhas metálicas, pregagens e outros elementos, em casos de estabilidade baixa que necessite aumentar a rigidez estrutural. Já o suporte final é constituído geralmente por concreto moldado *in situ*, além de ser executado um sistema de impermeabilização. A infiltração é prejudicial pois pode acarretar a degradação do concreto (MOREIRA, 2006).

Vale ressaltar que tanto o suporte primário quanto o final são dimensionados para seções típicas do túnel, referente às características geológico-geotécnicas e por isso podem ser reforçadas sempre que necessário. Entretanto, recomenda-se não realizar mudanças bruscas das dimensões do suporte, para evitar concentrações de tensões no maciço (MOREIRA, 2006).

Além disso, há outras técnicas para melhorar as características estruturais do maciço, como a técnica Jet Grouting por exemplo. Esta técnica consiste da aplicação de injeções de cimento a alta pressão que aumentam a resistência do maciço. Outro meio de estabilização da frente de escavação é a pregagem, que possui a finalidade de resistir às trações resultantes da escavação do maciço. As pregagens são compostas por tirantes de aço ou fibra de vidro. Um outro método utilizado para melhorar as características do solo são as enfilagens, que consiste na colocação de um elemento resistente numa sequência de furos quase horizontais em torno da abóbada (ou calota) de escavação (MOREIRA, 2006).

2.3 Projeto de túneis

2.3.1 Tipos de contrato

O projeto de túneis pode ser desenvolvido em dois tipos de contratação. Contrato do tipo Preço Global (PG) e do tipo Preço Unitário (PU), sendo em ambos os contratos o projeto básico de responsabilidade da contratante, junto com as condições do maciço e documentação comprovando as necessidades do empreendimento. Mesmo existindo esses dois tipos de contratação também para obras civis, os projetos para obras de túneis são desenvolvidos de maneira especial, devido ao fato de as condições geológicas e geotécnicas serem fatores determinantes na escolha do método construtivo (ITA, 1996).

No contrato do tipo Preço Global – Design-Build (DB) – a contratada é responsável

por realizar tanto o projeto executivo quanto a execução da obra. Já no contrato do tipo Preço Unitário – Design-Bid-Build (DBB) – a contratante é responsável pelo projeto executivo e apenas a execução fica a cargo da contratada (ITA, 1996).

As principais diferenças entre DB e DBB são o detalhamento do projeto básico e a relação entre a contratante com a contratada. No Design-Build o projeto básico é pouco detalhado, constando apenas as principais diretrizes da obra, já no Design-Bid-Build o nível de detalhamento do projeto básico é grande, contendo um grande leque de informações. Sobre o relacionamento da contratante, no DB a proprietário interage apenas com a construtora executora, já no DBB a proprietária interage tanto com a construtora executora quanto com a projetista do projeto executivo. O modelo de contrato DBB é o mais usual devido ao fato da contratante possuir controle do projetista e da executora, além de haver um projeto básico detalhado, garantindo melhor previsibilidade de custos e benefícios da obra. Além disso, vale-se ressaltar que o contrato DBB é mais utilizado em projeto de túneis devido à grande necessidade de flexibilização na execução desse tipo de obra, já que durante a execução faz-se necessário rápidas adequações às condições do ambiente (PIRES, et al, 2016).

2.3.2 Duração de execução

O tempo de duração da obra é diretamente atrelado às condições do maciço e às taxas de avanço que a construtora executora se compromete a realizar (dependendo do método). O tempo é calculado tomando-se o comprimento da obra e a taxa de escavação no período mais crítico, onde as condições são ruins e necessitam de mais tempo. Além disso, é levado em conta as possíveis paralisações e os acréscimos na quantidade de construções auxiliares - reforço maior para seções com estabilidade menor do que esperado ou outro problema encontrado durante escavação (PIRES et al, 2016).

Em relação às taxas de avanço, há uma grande heterogeneidade entre os métodos de escavação subterrânea. Isto pode ser verificado pela análise do método NATM e do método por tuneladoras TBM. Para fins de comparação, enquanto a média de avanço no NATM é de 3 metros por dia, observa-se no método com TBM avanços da ordem de 30 m por dia. Ambas as médias ainda possuem alta discrepância para diferentes tipos de solo. Por exemplo, durante as escavações do Túnel de São Gotardo – 57 km de túnel duplo para travessia dos alpes suíços, foram utilizados tanto o método NATM quanto TBM. O engenheiro chefe informou que os avanços diários pelo método NATM foram em média de 1 metro, já para o método TBM os avanços médio diários foram de 11,3 metros (SILVA, 2018). Observa-se uma grande

diferença entre os avanços diários pelos métodos, mas vale ressaltar que a escolha do método está atrelada a diversos fatores e não apenas no maior avanço diário. Por exemplo, não é coerente realizar escavação de pequenos trechos (menores que 500 metros) através de tuneladoras, devido ao alto custo de logística do maquinário.

2.4 Métodos de tomada de decisão de obras rodoferroviárias

A tomada de decisão deve-se estruturar em análises com fundamentação teórica e levantamento de dados. Para isso, utiliza-se de métodos de análise social e econômica de projetos (LANG, 2007). No presente trabalho foram pesquisados alguns dos métodos mais recomendados e recentes: Análise Custo-Benefício (ACB), Análise Custo Efetividade (ACE), Análise Custo Utilidade (ACU), Método “BE PART” e também se pesquisou sobre o Guia Prático de Análise de Custo-Benefício (Produto desenvolvido pelo Ministério da Economia em 2019). Além disso, entendeu-se por necessário abordar custos e benefícios de obras rodoferroviárias. Em seguida, entrou-se no assunto de indicadores para seleção de projetos, como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício Custo (B/C) e Payback Time ou Tempo de Recuperação do Capital (TRC).

2.4.1 Custos e Benefícios

Todos os métodos abordados neste trabalho utilizam como base de análise os custos e benefícios ocasionados por determinado projeto. Logo, torna-se necessário a mensuração de ambos os dados de entrada. Entretanto nessas avaliações econômicas, nem todos os preços que se encontram no mercado refletem fielmente os benefícios alcançados e os custos produzidos para sociedade em geral. Para solucionar este problema, torna-se necessário que se estime o preço social dos fatores, bens e serviços (FERNANDES, 1996).

Enquanto os preços de mercado estão atrelados aos benefícios e custos de oportunidade relacionados a empresas, os preços sociais não são diretamente identificados, já que refletem os custos de oportunidade da economia em geral. Entretanto, vale ressaltar que para avaliação de projetos de infraestrutura, principalmente pela ACB, utiliza-se no lugar de preços sociais o conceito de preços econômicos (SEHN, 2009).

A definição de custo econômico, ou preço econômico, está atrelada aos elementos do custo financeiro e à análise de sua natureza e identifica-se caso o objeto em questão diz respeito a um custo inferido pela sociedade ou não. Portanto, a distinção entre custos

financeiros e custos econômicos está relacionada a uma parcela dos custos financeiros que não representa, efetivamente, custos para a sociedade. Por exemplo, os custos referentes à tributação de impostos e subsídios. Pelo fato de esses custos serem apenas um mecanismo de circulação monetária entre os setores da economia de um país, os mesmos não devem ser considerados nos custos financeiros, mas sim, nos custos econômicos (MOREIRA, 2000).

Para avaliação de custos de um projeto em infraestrutura, Macário (2007) propõe que sejam considerados para análise:

- Custos diretos da construção
 - Investimento inicial;
 - Custos com manutenção, operação e administração;
- Custos indiretos da construção
 - Custos de perturbação devido aos trabalhos durante a obra;
 - Alterações nos custos das infraestruturas da rede existente;
- Valor residual da infraestrutura;
- Consideração da subestimação dos custos diretos de construção.

Já os benefícios econômicos analisados, em projetos em infraestrutura, de acordo com Sehn (2009), são:

- A redução dos custos operacionais dos veículos dos usuários;
- O estímulo ao desenvolvimento econômico;
- A redução do tempo de viagem dos usuários;
- Redução de acidentes;
- Aumento do conforto e conveniência.

Moreira (2000) faz análise das metodologias de avaliação de projetos em infraestrutura e constata que os benefícios recorrentemente considerados são: a redução do custo operacional dos veículos e a redução do tempo de viagem e seus custos. Isso se dá, pelo fato de serem benefícios que são mais facilmente computados em unidades monetárias.

Por fim, vale ressaltar que na Análise Custo-Benefício, o método mais utilizado atualmente, aplica na contabilização para fluxo de caixa apenas os custos e benefícios passíveis de mensuração monetária. Portanto, conclui-se que, na grande maioria das vezes, nem todos os resultados acarretados por projetos em infraestrutura são considerados (SEHN, 2009).

2.4.2 Indicadores para seleção de projetos

As análises de viabilidade de projetos de investimento são realizadas com dados de entrada que correspondem a resultados esperados de projeções e simulações, ou seja, as informações são indicadores de desempenho de um projeto no futuro. Dessa forma, é possível realizar comparações entre projetos e análises de viabilidade. Vale ressaltar que a qualidade das informações é tão importante quanto o próprio critério de análise (SEHN, 2009).

A seguir, são expostos alguns dos principais critérios utilizados em análise de investimentos. São eles:

- Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Relação Benefício Custo (B/C);
- Payback Time ou Tempo de Recuperação do Capital (TRC).

Utiliza-se como valor de referência no desenvolvimento das análises a taxa de desconto denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA é utilizada como fator de desconto, mas também possui a finalidade de equiparar valores que estão em diferentes tempos. A definição de Taxa Mínima de Atratividade é dada pela taxa mínima aceitável para um investimento ser realizado, sendo determinada pela melhor taxa de aplicação financeira, com menor risco atrelado, disponível para o investidor em questão (SEHN, 2009). Portanto, para que uma análise de investimento seja minimamente atrativa e viável, a taxa de retorno deve ser no mínimo equivalente à taxa de rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco – TMA (CASAROTTO e KOPITTKKE, 2000).

Valor Presente Líquido (VPL)

O conceito de Valor Presente Líquido, dá-se como o lucro líquido do projeto. Como a Equação 1 indica, calcula-se o valor presente de cada termo do fluxo de caixa e, então, soma-se os termos para chegar ao resultado (ABREU E STEPHAN, 1982).

Equação 1 - Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + i)^t} \quad (1)$$

Onde:

- B_t = Benefícios econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- C_t = Custos econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- i = Taxa de desconto (utiliza-se a TMA);
- t = Período.

Realiza-se a diferença entre benefícios e custos econômicos para cada período englobado na análise do projeto, constituindo o fluxo de caixa. Vale ressaltar que os custos de investimento iniciais já estão incluídos nos custos do projeto. Isso acarreta que, normalmente, projetos de transporte rodoferroviário possuam um caixa muito negativo nos períodos iniciais do investimento e uma estabilização no decorrer do período de maturação do investimento (SEHN, 2009).

Diante de investimentos privados, objetiva-se um VPL maior que zero, pois caso igual a zero, seria mais seguro para o investidor deixar o capital rendendo em uma aplicação à TMA, expondo-se apenas a um risco mínimo. Por isso, o projeto deve possibilitar um prêmio ao investidor, para que assim valha a pena correr o risco do investimento. Já para investimento públicos, objetiva-se um VPL maior ou igual a zero, pois neste caso, o lucro não é o objetivo primário e sim o desenvolvimento e melhoria da infraestrutura para a sociedade (ABREU E STEPHAN, 1982).

Por fim, vale ressaltar que existe uma correlação entre o VPL e o valor dispendido total do projeto. Em outras palavras, frequentemente, quanto maior o valor total do investimento, maior tende a ser o seu VPL. Isso cria uma preferência nos tomadores de decisão em optar por projetos de grande escala, deixando de lado os pequenos investimentos. Mesmo assim, o Valor Presente Líquido é um indicador indispensável e muito utilizado tanto no setor privado quanto no setor público (SEHN, 2009).

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno é um indicador muito utilizado pois torna possível a comparação de investimento com diferentes tempos e prazos de duração. O conceito da TIR é definido remetendo-se à taxa de juros que anula o Valor Presente Líquido de um projeto de investimento (ABREU E STEPHAN, 1982).

Logo, quando o VPL é igual a zero, Buarque (1984) calcula a TIR conforme a Equação 2 indica.

Equação 2 - Taxa Interna de Retorno

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} \quad (2)$$

Onde:

- B_t = Benefícios econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- C_t = Custos econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- TIR = Taxa Interna de Retorno (incógnita);
- t = Período.

Nota-se que a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** possui as mesmas variáveis que a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, atentando-se apenas na troca da TIR pela variável “ i ” - TMA. Tendo-se conhecimento dos custos (C_t) e benefícios (B_t) do projeto, é possível, através de uma matemática um pouco complexa, obter-se o valor da Taxa Interna de Retorno. Atualmente, através de calculadoras científicas e computadores, é possível se chegar a valores muito precisos da TIR (SEHN, 2009).

Analisando projetos de viés público, quando a TIR é maior que a TMA, conclui-se que o projeto é economicamente viável e deve ser considerado. Entretanto, como este indicador está atrelado ao VPL, os tomadores de decisão enfrentam a mesma adversidade: a limitação da análise governamental através da TIR e VPL, pois ambos desconsideram os benefícios não mensuráveis monetariamente, mas que são indispensáveis numa análise socioeconômica (SEHN, 2009).

Relação Benefício Custo (B/C)

O indicador denominado Relação Benefício Custo é definido pela razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos descontados (utilizando a TMA) (BUARQUE, 1984). A Equação 3 representa a metodologia de cálculo do indicador B/C.

Equação 3 - Relação Benefício Custo

$$\frac{B}{C} = \frac{VPB}{VPC} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (3)$$

Onde:

- $\frac{B}{C}$ = Relação Benefício Custo;
- VPB = Valor Presente dos Benefícios, descontados pela TMA ($i = \text{TMA}$);
- VPC = Valor Presente dos Custos, descontados pela TMA ($i = \text{TMA}$);
- B_t = Benefícios econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- C_t = Custos econômicos do projeto ao longo do período $t = 1$ até $t = n$;
- i = Taxa de desconto (utiliza-se a TMA);
- t = Período.

Este indicador é muito visado durante as tomadas de decisão pelo fato de tornar possível a comparação de opções de custos e benefícios mesmo que sejam bastante diferentes. Além disso, vale ressaltar que a TMA utilizada no desconto dos benefícios e custos é a mesma. Ou seja, considera-se que todas as restos de caixa são investidos à TMA, assim como os débitos são captados à TMA (SEHN, 2009).

Dando destaque para a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, quando a relação B/C for maior que 1, o investimento é atrativo pois possui uma taxa de retorno maior que a taxa mínima de atratividade. Por outro lado, quando a relação B/C for menor que 1, o investimento não é indicado, sendo mais rentável a alocação de capital em aplicação à TMA. Já quando a relação B/C é igual a 1, o investimento possui taxa de retorno igual à TMA. Contudo, ressalta-se que da mesma forma que a TIR e o VPL, a Relação Benefício Custo possui como dados de entrada apenas valores monetariamente mensuráveis, ou seja, desconsidera os benefícios secundários que devem também serem levados em conta em análises socioeconômicas (SEHN, 2009).

Payback Time ou Tempo de Recuperação de Capital (TRC)

O Tempo de Recuperação de Capital é o período necessário para que o somatório das

receitas anuais se iguale ao aporte do investimento inicial (CASAROTTO E KOPITTKE, 2000). A Equação 4 representa a forma de calcular o TRC.

Equação 4 - Tempo de Recuperação de Capital

$$TRC = \frac{I}{FC} \quad (4)$$

Onde:

- TRC = Tempo de Recuperação de Capital;
- I = Investimento inicial;
- FC = Fluxo de caixa esperado médio.

Tendo-se dois projetos para comparação, a análise deste indicador remete a favor do projeto que recuperar o capital investido no menor tempo. Salientando-se os investimentos de caráter público governamental, regularmente, este indicador não representa a variável mais importante para tomada de decisão. Entretanto, destaca-se como um indicador complementar e auxilia os tomadores de decisão durante as análises de investimento socioeconômico (SEHN, 2009).

2.4.3 Análise Custo-Benefício (ACB)

O método de Análise Custo-Benefício consiste em trazer todos os parâmetros que envolvem o projeto para a mesma referência, o valor monetário: “agregar todos os critérios relevantes ou não de um projeto em uma só medida: o dinheiro”. Para tal, também é evidentemente necessário que os parâmetros estejam no mesmo período, por isso desconta-se no tempo os custos e os benefícios. Avalia-se então os valores presentes de todas as variáveis, de forma que se os benefícios forem iguais ou maiores que os custos, o projeto é aceito, caso contrário, o projeto é rejeitado na maioria das vezes (ABREU E STEPHAN, 1982).

O princípio da compensação é atingido quando o montante de benefícios é maior que o montante de custos. Ou seja, a função de bem-estar social seja aumentada com projeto. Os custos e benefícios representam os efeitos sobre as partes interessadas no projeto (*stakeholders*) em momentos distintos e quando somados fornecem uma estimativa da variação resultante do bem-estar da coletividade resultante do projeto (ABREU E STEPHAN, 1982).

A metodologia técnica da Análise Custo-Benefício consiste em comparar o valor presente líquido dos custos com o valor presente líquido dos benefícios. Quanto maior o resultado, mais positivo é o projeto para a sociedade e seus stakeholders. Por isso, o objetivo é comparar diferentes projetos no intuito de maximizar o valor presente (LANG, 2007).

Ressalta-se que nem todos os critérios relevantes socialmente para a avaliação de projetos são mensuráveis através de valores monetários. Por isso, “quando identificada a necessidade da inserção de características indiretas e intangíveis, é interessante que a análise seja complementada por metodologias capazes de incorporar esse tipo de variável” (SEHN, 2009).

Os resultados de um projeto são, na maioria das vezes, classificados em diretos e indiretos. Os resultados diretos são os que estão relacionados às modificações associadas ao projeto como a redução de custos operacionais dos automóveis, em implantações de uma nova rodovia. Já os resultados indiretos são divididos em externalidades e efeitos incidentes. Estes estão relacionados às consequências do projeto que incidem não apenas aos usuários da via, mas sob todos os afetados secundariamente (ABREU E STEPHAN, 1982).

Para se compreender a ACB são necessários conhecimentos da Teoria do Bem-Estar e de excedente do consumidor. Esses aspectos são realmente relevantes em projetos públicos, pois esses não possuem como principal objetivo o lucro, mas sim maximizar o bem-estar (ABREU E STEPHAN, 1982).

A Análise Custo-Benefício é frequentemente utilizada para avaliação de projetos por entidades como o Banco Mundial, Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) e Fundo Monetário Internacional (FMI). O Banco Mundial realiza suas avaliações econômicas de projetos de transporte rodoviário através de um software que se utiliza da ACB. Além disso, o FMI exige que os projetos submetidos tenham passado por Análise Custo-Benefício (SEHN, 2009).

2.4.4 Análise Custo-Efetividade (ACE)

Em casos em que a estimação de benefícios se torne inviável ou com custos acima do orçamento, o que os tomadores de decisão devem fazer é ordenar as prioridades com base numa Análise Custo Efetividade (MOTTA, 1998). A ACE leva em consideração as opções disponíveis para que seja alcançada uma prioridade política e então realiza uma comparação entre os custos (SEHN, 2009). Dessa forma, assegura-se o resultado desejado e identifica-se o projeto com os menores custos (MOTTA, 1998).

A Análise Custo Efetividade acaba se diferenciando da Análise Custo-Benefício pois agrega medidas físicas à medida econômica para a interpretação dos benefícios (LANG, 2007). Ambas acabam tendo relevância no levantamento de argumentos para as tomadas de decisão, podendo a ACE complementar a ACB, pelo fato de inserir variáveis de difícil mensuração monetária, e assim, retirando as restrições da metodologia Análise Custo-Benefício (SEHN, 2009).

A ACE é uma avaliação microeconômica que foca na comparação de diferentes cursos de ação tanto em termos de custos como de resultados. O produto é a razão entre as diferenças de custos e as diferenças de resultados (LANG, 2007).

Há vantagens relevantes pela utilização do método ACE em relação a outros métodos de análise econômica e social. Vale ressaltar que através da ACE é possível assegurar aos tomadores de decisão um “valor para o dinheiro”, ou seja, tornando possível mostrar o que será alcançado com o recurso empregado. Outra vantagem está atrelada ao apoio nas decisões econômicas no que se refere à implementação de políticas, privilegiando a alocação eficiente dos recursos (BRANCO, 2008).

Embora as vantagens sejam evidentes, a Análise Custo Efetividade é pouco utilizada na prática em análises econômicas e de viabilidade. Isso é acarretado pela falta de treinamento no desenvolvimento e uso desse método (SEHN, 2009). No Brasil, a ACE é quase que inexistente, ainda mais no setor de infraestrutura, onde há um predomínio do método ACB. O campo onde a ACE está mais difundida é o científico da saúde (LANG, 2007).

Em síntese, o método ACE tenta comparar as diferentes alternativas disponíveis, mas que fornecem o mesmo resultado, mesmo que ocorram em diferentes intensidades e maneira completamente diferentes (LANG, 2007).

2.4.5 Análise Custo-Utilidade (ACU)

A Análise Custo de Utilidade deriva da Análise Custo Efetividade, mas acaba sendo um pouco mais genérico. O grande foco da ACU é esclarecer ao máximo a comparação entre as consequências e benefícios do projeto. Ao invés de concentrar os indicadores em uma única medida de valor monetário, esses são calculados tanto para valores econômicos como para outros critérios de interesse em questão. Torna-se assim um método muito relevante para áreas de estudo como ecologia e saúde (LANG, 2007).

“Cada indicador tem um peso absoluto e os benefícios das opções (de política, programas ou projetos) são avaliados com ponderações para cada indicador (magnitude)”

(MOTTA, 1998). Sendo assim, a questão principal está relacionada com a determinação de escalas coerentes com o projeto e ao mesmo tempo sendo aceitáveis para a definição da importância relativa dos diferentes indicadores, assim obtém-se uma ordenação de opções diferente para cada escala (LANG, 2007).

Da mesma forma que a ACE, a ACU é pouco empregada pelos tomadores de decisão para avaliação econômica de projetos de infraestrutura, sendo na maioria das vezes aplicado o método ACB (SEHN, 2009). Isso pode ser explicado devido à abordagem da ACU ser muito mais onerosa e assim fora da capacidade institucional, do compromisso político e da aceitação social nos países em desenvolvimento (MOTTA, 1998).

Em síntese, no método ACU, o tomador de decisão precisa analisar referências disponíveis para determinar a probabilidade de chegar a resultados específicos e avaliar uma série de resultados de acordo com uma medida comum de “desejabilidade”: a escala de utilidade (LANG, 2007).

2.4.6 Método “BE PART”

O método “BE PART” possui a finalidade de construir um planejamento participativo supragovernamental de infraestrutura logística de transportes. O nome do método representa os valores propostos, onde cada letra remete a um valor e pode ser melhor compreendida na língua inglesa, possibilitando uma aplicação universal (MOHR, 2019).

Segundo Mohr (2019) o método possui como missão a “Construção de um Planejamento Participativo Supragovernamental de Infraestrutura de Logística de Transportes”. Também segundo o autor, visão do método é “Ser conhecido como um plano de logística de infraestrutura perene”. Os valores são os seguintes:

- B – Benefício para todos;
- E – Ética é fundamental;
- P – Participação de todos;
- A – Argumentação;
- R – Respeito a todas as ideias;
- T – Técnica sempre prevalecerá.

“B”E PART – Benefício para todos (Benefits for all)

O método “BE PART” possui como primeiro valor, relacionado à letra “B”, a proposta de que os benefícios devem ser para a coletividade e não para indivíduos ou grupos de interesse (MOHR, 2019).

B“E” PART – Ética é fundamental (Ethical is essential)

O segundo valor do método, relacionado à letra “E”, é referente à ética durante o andamento do projeto e execução. É comum, ainda mais para obras de infraestrutura de grande porte, haver desvios financeiros para beneficiar outras questões que não possuem vínculo direto ou indireto com o projeto, denominados como atos de corrupção. Dessa forma, o valor “Ética é fundamental” estabelece a grande importância dos valores e da governança em planejamentos participativos. Junto da implantação de modelos de governança, a ética deverá assegurar que todos os processos do projeto sejam transparentes e ocorram de maneira límpida, sem dar espaço para atos de corrupção (MOHR, 2019).

BE “P”ART – Participação de todos (Participation of everyone)

O terceiro valor do método “BE PART”, representado pela letra “P”, é a participação de todos. Para que se tenha um projeto com conceito de Planejamento Supragovernamental, é de grande importância que haja a participação da sociedade civil organizada. Dessa forma, tem-se um planejamento perene, que não dependa exclusivamente de governos e políticos. Por isso, o terceiro valor – Participação de todos – sugere a participação de todos os *stakeholders*, entre eles o poder público executivo, legislativo e judiciário, a iniciativa privada, o terceiro setor, a academia, os órgãos de controle, as entidades representativas de classes, as associações, as agências reguladoras, e todos os *stakeholders* envolvidos no projeto (MOHR, 2019).

BE P“A” RT – Argumentação (Argumentation)

O quarto valor do método, representado pela letra “A”, é a argumentação. Entende-se que toda solução se constrói com base em diferentes opiniões e pontos de vista. Dessa forma, é de grande importância que cada pessoa, entidade, órgão deve poder argumentar e expor sua opinião, crenças, culturas para se obter diferentes visões do projeto. Por isso a argumentação é um dos valores que compõem o método (MOHR, 2019).

BE PA“R”T – Respeito a todas as ideias (Respect for all ideas)

O quinto valor do método, representado pela letra “R”, é o respeito a todas as ideias. O respeito a todas as ideias inicia-se com a oportunidade de todos exporem suas opiniões, através de reuniões consultas e audiências públicas, mecanismo eletrônicos e presenciais de participação. Em seguida, as opiniões devem ser analisadas e concluir se tais serão aproveitadas ou descartadas. Logo, todas as ideias, mesmo quando não utilizadas, devem ser sempre respeitadas e ouvidas (MOHR, 2019).

BE PAR“T” – Técnica sempre prevalecerá (Technical first)

O sexto e último valor do método, representado pela letra “T”, é a técnica sempre prevalecerá. Entende-se que após o recolhimento de todas as ideias sugeridas, a decisão – por adotar ou não tais sugestões – deve estar embasada por uma avaliação técnica. Além disso sabe-se que muitas obras são definidas por apoios políticos ou por interesses de grupos fechados, acarretando uma solução que não necessariamente será a melhor solução técnica para o projeto em questão. Dessa forma, com o intuito de evitar tais práticas, o último valor refere-se à blindagem do sistema de análise através da técnica, fazendo com que a tomada de decisão esteja sempre visando o melhor projeto (MOHR, 2019).

Etapas de implementação

A execução do método “BE PART” é constituída por cinco etapas: Trabalhos iniciais, Preparação para a reunião de lançamento *Kick Off*, Condução da reunião, Ações pós-reunião e Execução do plano de logística (MOHR, 2019).

Conforme Mohr (2019):

Etapas de implementação

Etapas de implementação

- Levantamento e convite aos stakeholders;
- Realizar e registrar entrevistas com os stakeholders;
- Levantar estudos e planejamentos já existentes.

Etapas de implementação

Etapas de implementação

- Preparar resumo do material coletado já existente;

- Definir convidados para as reuniões participativas;
- Definir datas, locais e formato para as reuniões;
- Disparar e registrar convites para as reuniões;
- Cumprir aspectos legais da chamada pública;
- Preparar apresentações e forma de condução das reuniões.

Etapa 3 – CONDUÇÃO DA REUNIÃO:

- Estabelecer acordos de comportamento ético;
- Enfatizar que os resultados devem beneficiar a coletividade e não interesses pessoais ou corporativos;
- Permitir a participação de todos, inclusive novos convidados;
- Permitir a argumentação e respeito a todas as propostas com que a técnica prevaleça sobre interesses pessoais ou políticos;
- Conduzir todo o processo dentro dos melhores conceitos de ética e governança;
- Criar comitês estratégicos, técnicos e regionais que representarão os stakeholders.

Etapa 4 – AÇÕES PÓS REUNIÃO:

- Registrar as reuniões e elaborar memórias das mesmas;
- Criar um site para depositar todos os estudos, convites e memórias de reuniões.

Etapa 5 – EXECUÇÃO DO PLANO LOGÍSTICO:

- Definir obras prioritárias;
- Contratar estudos de engenharia;
- Contratar as obras;
- Acompanhar a execução das obras;
- Dar ampla visibilidade ao status de cada obra.

2.4.7 Guia Prático de Análise de Custo-Benefício

Segundo o Decreto nº 9.745, de 2019, a Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI) do Ministério da Economia tem por atribuição “coordenar a elaboração de metodologia de priorização de projetos de infraestrutura, visando à maximização da produtividade e da competitividade do país”. Nessa linha, o Ministério da Infraestrutura lançou o Guia Prático de Análise de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020).

O objetivo do Guia é nortear os profissionais envolvidos na preparação e avaliação de projetos de investimento em infraestrutura no governo federal. Para tanto, busca-se ressaltar o componente socioeconômico dos possíveis projetos de investimento em infraestrutura o qual muitas vezes não é devidamente considerado nos estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA). No Guia, adota-se a análise custo-benefício como principal meio de representatividade, através de indicadores que por sua vez norteiam a escolha e priorização de projetos de investimento (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020).

A ACB – Análise de Custo-Benefício, também chamada de “avaliação socioeconômica”, refere-se à avaliação da contribuição líquida de um investimento de infraestrutura para a melhoria da sociedade. São realizadas projeções dos efeitos incrementais da possível obra durante a sua vida útil, também comparando com o cenário sem a obra. A partir destas projeções, são analisados os benefícios para a sociedade em valor presente. Esta prática é frequentemente utilizada em países referência em investimentos públicos, como Chile, Reino Unido e Coreia do Sul (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020).

É evidente que a adoção de uma melhor organização de projetos de investimentos deve fornecer melhores resultados em termos de eficiência. Para isso, é necessário instalar um novo modelo de governança o qual defina papéis de responsabilidade para todos os ciclos do investimento, desde o planejamento até o monitoramento e avaliação da execução e da operação após finalizado o empreendimento.

No Brasil, as tomadas de decisão dos projetos de investimento em infraestrutura acabam sendo fragmentadas e parciais, resultando em planejamentos que são descontinuados ou modificados no curto prazo. Dessa forma, é inevitável recair em uma situação de baixa eficiência dos projetos de infraestrutura, se comparado a um planejamento de longo prazo resultante de tomadas de decisão que englobassem todos os setores interessados. Da mesma maneira, caso houvesse uniformidade nas premissas de decisão, obter-se-ia maior eficiência.

Por não haver uma centralização da carteira de investimentos no âmbito do governo, é comum projetos possuírem metodologias, procedimentos de elaboração de estudos de viabilidade (EVTEA) e formas de organização muito diferentes. Além disso, concessões, parcerias público privadas (PPP) e obras executadas diretamente pelo poder público não seguem a mesma lógica de estruturação.

Sendo assim, o Guia apresenta, inicialmente, no capítulo 2 – Avaliação socioeconômica de projetos – a estrutura conceitual de uma ACB padrão, fundamentos e as etapas da avaliação socioeconômica de projetos. Também se encontra no capítulo 2, recomendações, diretrizes e exemplos didáticos, no intuito de facilitar e guiar a aplicação

prática. Em seguida, o capítulo 3 – Fundamentos para intervenção – dispõe sobre questões que necessitam ser respondidas antes de uma Análise Custo-Benefício, a exemplo: qual o contexto institucional, quais os objetivos do projeto, análise estratégica de alternativas e a adequada identificação do projeto. Já o no capítulo 4 – Requisitos informacionais da ACB – encontra-se as principais fontes de dados de entrada para a análise, como estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental. O capítulo 5 – Estimação de custos econômicos, capítulo 6 – Estimação de benefícios econômicos – e o capítulo 7 – Indicadores de viabilidade de projeto – representam os passos metodológicos clássicos da Análise Custo-Benefício tradicional. Seguidos pelo capítulo 8 – Análise de risco – que dispõe de testes de sensibilidade, análise de cenários e análises probabilísticas, complementando os resultados da ACB. Após este, o capítulo 9 – Análise distributiva – aborda a análise distributiva, a qual avalia os custos e benefícios em cada área afetada pelo projeto, também estuda o impacto do projeto sobre os grupos menos favorecidos da população. Concluindo, no capítulo 10 – Apresentação de resultados – apresenta-se um modelo de apresentação de resultados para Relatório de ACB (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020).

2.4.8 Resumo dos métodos apresentados

Método	Principais características
Análise Custo-Benefício (ACB)	Consiste em comparar o valor presente líquido dos custos e o valor presente líquido dos benefícios. Utiliza fatores quantitativos.
Análise Custo-Efetividade (ACE)	Consiste em ordenar as prioridades do projeto. Compara as opções de projeto disponíveis e resulta na razão entre as diferenças de custos e as diferenças de resultados.
Análise Custo-Utilidade (ACU)	Consiste em atribuir pesos específicos para os indicadores tanto de custos quanto de benefícios. Então, compará-los
Método Be Part	Consiste em um planejamento participativo supragovernamental, reiterando que a tomada de decisão possua a participação da sociedade envolvida.

Tabela 1 - Resumo dos métodos
Fonte: Autor

3 EXEMPLOS DE CASOS REPRESENTATIVOS

Neste capítulo traz-se cinco projetos que utilizaram túneis para vencer desafios impostos por diferentes condições. Todas as cinco possuem um grande foco na preservação ambiental, redução de tempo de viagem e melhoramento das condições de trecho. Traz-se informações gerais, informações sobre a obra e informações referentes à tomada de decisão de cada projeto.

3.1 Nova Imigrantes – pista descendente

3.1.1 Informações gerais

As obras da Rodovia dos Imigrantes, Figura 6, tanto a pista ascendente – norte (inaugurada em 1976) quanto a pista descendente – sul (inaugurada em 2002), são marcos na engenharia brasileira. A rodovia faz parte do Sistema Anchieta – Imigrantes (SAI), a principal ligação entre a região metropolitana de São Paulo e Baixada Santista. A pista sul representou um grande desafio de engenharia devido ao complexo relevo presente, do desnível de 700 metros do Parque Estadual da Serra do Mar vencidos em meros 21 quilômetros de extensão, além de tudo ter sido planejado para provocar o mínimo impacto ambiental (SANTOS, 2016).



Figura 6 - Rodovia dos Imigrantes

Fonte: www.viatrolebus.com.br

A obra foi inaugurada em 17 de dezembro de 2002 e encurtou o tempo de viagem entre a capital até o litoral sul do estado de São Paulo em cerca de 45%, gerando aumento no turismo e desenvolvimento econômico da região. Além disso, a rodovia foi construída em um novo padrão, testado na Inglaterra e Suíça, que visa utilização de tecnologia avançada para melhorar a experiência do usuário. Os túneis, por exemplo, possuem sensores de detecção de incidentes através de câmaras a cada 100 metros, expandindo a segurança e monitoramento do tráfego e garantindo agilidade aos operadores em caso de acidentes (ECOVIAS, 2017).

3.1.2 Informações sobre a obra

Segundo o projeto da obra, foram escavados três túneis sendo o mais extenso deles, o Túnel Descendente 1 (TD 1) com 3.146 metros, o maior túnel rodoviário do país. Os outros dois são o Túnel Descendente 2 (TD 2) com 2.080 metros e o Túnel Descendente 3 (TD 3) com 3.005 metros, totalizando 8,23 quilômetros de escavação de túnel rodoviário. O método construtivo escolhido foi o NATM, tendo sido, após os estudos geotécnicos, definido como a técnica mais confiável para os tipos de solos e a classificação de rochas presentes na Serra do Mar. Para executar as perfurações e posicionamento dos explosivos, foram importados quatro jumbos computadorizados da Suécia. Para cada 480 metros cúbicos de rocha escavada foram utilizados em média uma tonelada de explosivos (ECOVIAS, 2017).

3.1.3 Tomadas de decisão

Com foco na valorização socioambiental, a empresa responsável (Ecovias) tornou possível reduzir a necessidade de desmatamento em 40 vezes. Quando comparada com a construção da pista ascendente da rodovia, a qual gerou mais de 1600 hectares de desmatamento, observa-se um grande e benéfico resultado na construção da pista descendente, onde houve a necessidade de desmatar apenas 40 hectares de área. Vale ressaltar que para chegar a esse resultado, o projeto original (de 1986) teve de ser modificado. Os tomadores de decisão focaram em ter a maior parte possível do trajeto por meio de túneis, reduzindo a supressão vegetal. Além disso, decidiram por diminuir o traçado em viadutos e ampliar ao máximo as distâncias entre os seus pilares. Tais decisões garantiram à obra o título de modelo de gestão ambiental pelos técnicos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) (ECOVIAS, 2017).

A Figura 7 representa um trecho específico da Rodovia Imigrantes. Fez-se uma comparação do mesmo trecho com e sem túnel, através do Google Earth. Sem cálculos muito sofisticados, observa-se que o trecho com túnel possui aproximadamente 50% da extensão do trecho sem túnel, ou seja, uma redução para a metade da extensão de trajeto. Além disso, devido ao fato do trecho com túnel ser retilíneo, garante-se uma velocidade média muito maior. Logo, somando-se todos os benefícios, conclui-se que o túnel garante, através da redução de extensão e aumento de velocidade média, uma redução significativa no tempo de viagem.



Figura 7 - Imigrantes - trecho TD 01

Fonte: Google Earth

3.2 Nova Tamoios

3.2.1 Informações gerais

A Rodovia dos Tamoios (SP – 99) localiza-se no litoral norte do estado de São Paulo, e liga a Rodovia Presidente Dutra (BR – 116), município de São José dos Campos, com o futuro Contorno Sul de Caraguatatuba e São Sebastião, município de Caraguatatuba. A construção da rodovia foi realizada pelo DER/SP no fim da década de 1950. A rodovia é dividida em dois trechos: Trecho Planalto, duplicado pela DERSA (Desenvolvimento

Rodoviário S/A) entre 2012 e 2014, e o Trecho Serra, que está em obras de duplicação pela empresa Construtora Queiroz Galvão desde 2015. A Rodovia dos Tamoios, hoje, possui forte relação com o cenário econômico da Macro metrópole Paulista devido ao Porto de São Sebastião e às atividades turísticas do litoral norte do estado (SEHN, 2020).

O projeto da nova Rodovia Tamoios localiza-se entre os municípios de Paraibuna e Caraguatatuba, cruzando o Parque Estadual da Serra do Mar. As obras da duplicação da rodovia do Trecho Serra acontecem entre os quilômetros 60,45 e 82, com extensão total de 21,5 quilômetros (SEHN, 2020). A Figura 8 representa os trechos da Nova Rodovia dos Tamoios.



Figura 8 - Trechos da Nova Tamoios
 Fonte: <https://www.rodoviatamoios.com.br> (2021)

3.2.2 Informações sobre a obra

Conforme o projeto, serão escavados quatro túneis, sendo o mais extenso deles, o Túnel 3-4 com 5.555 metros, o futuro túnel rodoviário mais extenso do país. O Túnel 1 possui 2.889 metros de extensão, o Túnel 2 possui 714 metros de extensão e o Túnel 5 possui 3.696 metros de extensão. Ao todo serão 12,8 quilômetros de túneis, com gabarito vertical mínimo de 5,5 metros e diâmetro médio de 14,7 metros. Vale ressaltar as notáveis extensões dos túneis, sendo o mais extenso o Túnel 3-4 tendo mais de 5,5 quilômetros de extensão. Além

disso, contemplando o projeto, o método construtivo escolhido, da mesma forma que no projeto da Nova Imigrantes, é o NATM. Sendo o mesmo método utilizado tanto para as escavações em solo quanto em rocha (SEHN, 2020).

Fora os túneis principais, o projeto da obra também conta com a implantação de 8,7 quilômetros de pontes, viadutos e rodovias, 11,9 quilômetros de túneis de serviço (paralelos e contíguos aos túneis principais, interligados a cada 200 ou 250 metros, conforme as especificações do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo), estruturas de contenção, cortes e aterros (SEHN, 2020).

3.2.3 Tomadas de decisão

A empresa Construtora Queiroz Galvão executa a obra seguindo as restrições impostas pela topografia e geografia local. O Trecho Serra da Rodovia dos Tamoios caracteriza-se por possuir 800 metros de desnível, este acompanhado de limitações ocasionadas pelo fato da rodovia estar situada dentro de uma Unidade de Conservação – Parque Estadual da Serra do Mar. Sendo assim, a tomada de decisão convergiu para o traçado em túneis longos. Dessa forma, garante-se um traçado mais geometricamente favorável, além de assegurar grande redução dos impactos ambientais (SEHN, 2020).

Estes benefícios são notáveis quando o traçado por túneis é comparado a alternativas de execução com extensos percursos em superfície (através de cortes e aterros). Conforme a Figura 8 ilustra, percebe-se a grande diferença entre o Trecho Serra do Mar (atual) e o Trecho a ser duplicado. Sendo o traçado realizado através de túneis, é possível se ter trechos muitos mais retilíneos com curvas mais suaves, garantindo um ganho de velocidade média muito relevante. Como resultado, tem-se uma redução significativa no tempo de realização de percurso e mais segurança para os usuários.

3.3 Curitiba – Paranaguá (Nova Ferroeste)

3.3.1 Informações gerais

A Nova Ferroeste é um projeto de ferrovia que visa conectar o município de Dourados – MS até o porto de Paranaguá – PR, com de 1.000 quilômetros de extensão. O estado do Paraná possui forte presença no setor do agronegócio, ficando a cada ano entre a quarta e quinta maior economia do país em relação ao PIB. A agricultura paranaense é responsável por

aproximadamente 20% da produção nacional de grãos, ficando atrás apenas do estado Mato Grosso do Sul (REGO, 2019). A Figura 9 representa o traçado da Nova Ferroeste.



Figura 9 - Nova Ferroeste
Fonte: Rego (2019)

3.3.2 Informações sobre a obra

Rego (2019) propõe quatro alternativas de traçado (azul, amarela, vermelha e roxa – representadas pela Figura 10) para o trecho entre Curitiba e Paranaguá. Mais precisamente, o trecho analisado pelo autor refere-se à ligação ferroviária entre a Estação de Engenheiro Bley, em Lapa (PR), e Paranaguá, totalizando um percurso de 150 quilômetros de extensão. O projeto prevê um raio mínimo de 350 metros, com bitola larga (1,6 metros) e uma velocidade máxima de projeto de 80 quilômetros por hora.

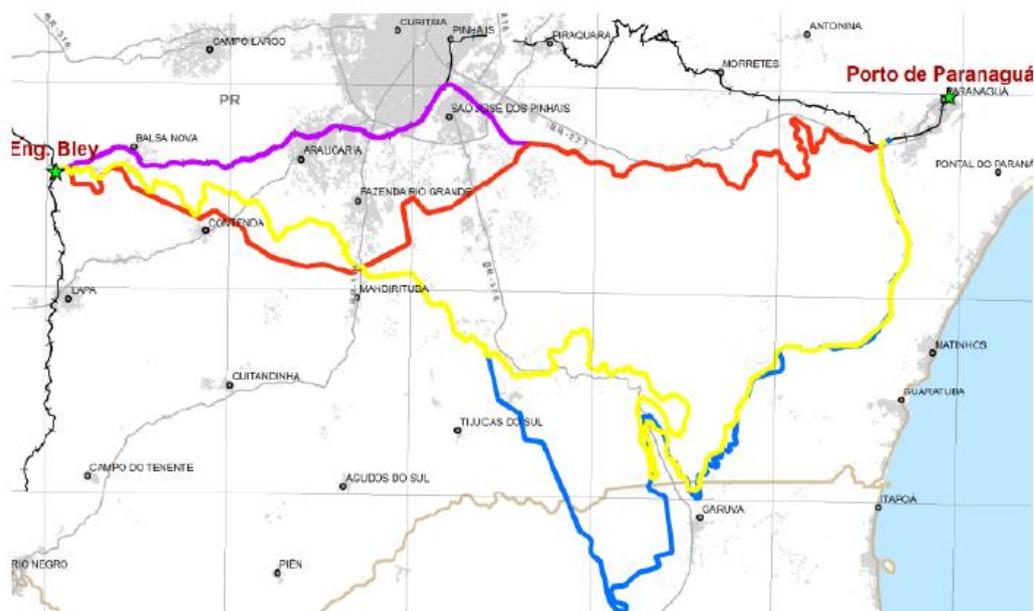


Figura 10 - Alternativas de traçados analisadas
Fonte: Rego (2019)

3.3.3 Tomadas de decisão

Rego (2019) utilizou o software Infracore para levantar dados dos quatro traçados e realizou uma análise multicritério seguida por um processo hierárquico analítico chamado de matriz AHP. Esta atribui pesos e importâncias para cada atributo, obtendo-se a melhor decisão. Além disso, o autor dividiu o trecho em duas áreas para aperfeiçoar a análise.

Após as análises de matrizes de decisão, o traçado final será composto pela junção da alternativa 1 e 3, sendo que na área 1 a melhor alternativa é a 3 e na área 2 a melhor alternativa é a 1. O traçado final do trecho, então, ficou com 72.924,02 metros, com 13 túneis (totalizando 21.568,43 metros), com 24 pontes e viadutos (totalizando 7.420,78 metros) (REGO, 2019).

3.4 Bolu Mountain Tunnel (Turquia)

3.4.1 Informações gerais

O túnel Bolu Mountain (Figura 11) localiza-se na rodovia que inicia em Ankara (capital da Turquia) e percorre até Kapikule Border Gate, passando por Istanbul. A rodovia também é designada por E-80. A passagem que percorre a montanha Bolu possui um nível

elevado de risco, principalmente no inverno, por se tratar de uma região montanhosa. Antes da execução do túnel a passagem era a única maneira de atravessar a montanha (KOCABAS E KOPURLU, 2010).

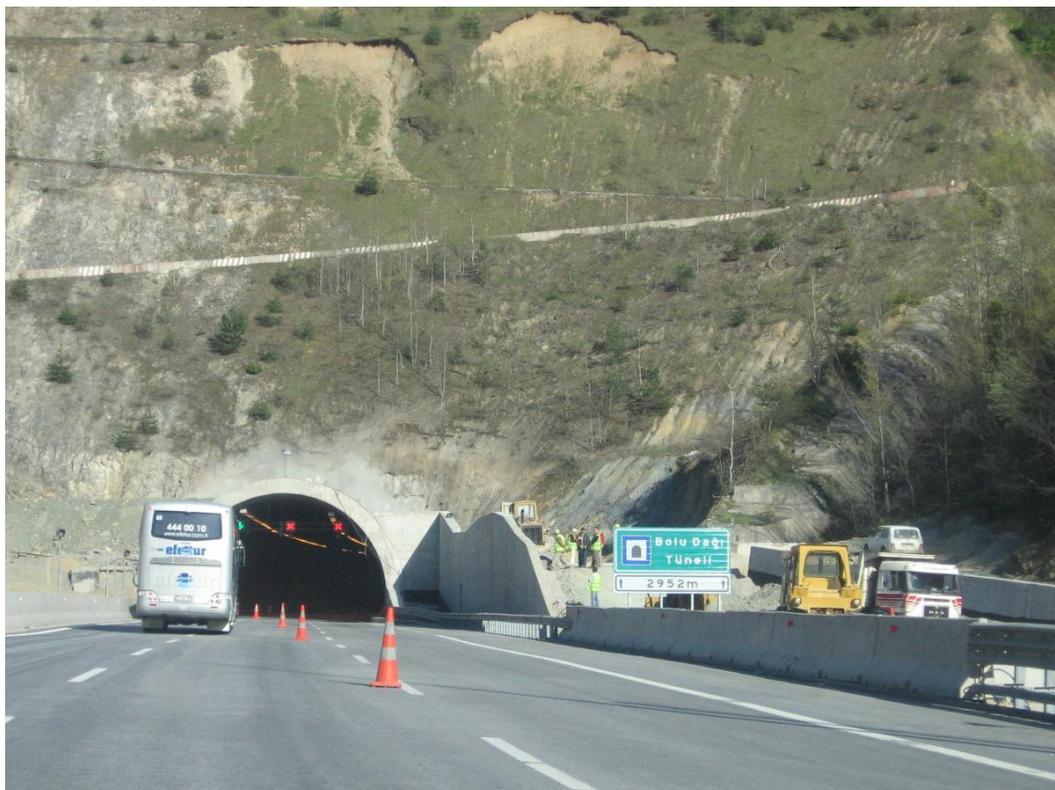


Figura 11 - Bolu Mountain Tunnel

Fonte: <https://structurae.net/en/structures/bolu-tunnel>

3.4.2 Informações sobre a obra

As obras do túnel iniciaram em 1987 com a preparação dos projetos e finalizaram em 2007 com a inauguração da rodovia. O projeto consistiu de 2871 metros de túnel duplo, junto com alguns viadutos. Vale ressaltar que em 1999, o país sofreu um terremoto o qual prejudicou inúmeras questões, dentre elas a execução da obra do túnel. Tal fato gerou modificações no andamento da execução e a obra acabou se prolongando. Assim, o túnel foi executado com 2954 metros, além de ter excedido o orçamento. Ressalta-se que o orçamento inicial era 686 milhões de dólares e a obra finalizou com um custo de 952 milhões de dólares (KOCABAS E KOPURLU, 2010).

3.4.3 Tomadas de decisão

A tomada de decisão pelo túnel teve grande peso devido ao grande risco de percurso do trecho durante épocas de inverno na região. Tendo um clima severo, o índice de acidentes no local era relevante (KOCABAS E KOPURLU, 2010). Abordar-se-á mais sobre a tomada de decisão da obra no Capítulo 4.1 Análise Custo-Benefício Bolu Mountain Tunnel.

3.5 Contorno Viário de Florianópolis

3.5.1 Informações gerais

O Contorno Viário de Florianópolis é uma obra que irá cruzar quatro municípios e possui como principal objetivo evitar o trecho da BR-101 que dá acesso à capital do estado de Santa Catarina, desviando o fluxo intenso por uma rota adicional, ilustrada na Figura 12 (ARTERIS, 2021).



Figura 12 - Contorno Florianópolis

Fonte: <https://www.contornodefiorianopolis.com.br/a-obra/>

3.5.2 Informações sobre a obra

A rodovia terá caráter expresso, focando em proporcionar aclives e declives não

acentuados, junto com curvas suaves, garantindo uma velocidade operacional de 100 quilômetros por hora. O projeto da obra conta com 50 quilômetros de rodovia de pista dupla, quatro túneis duplos, sete pontes, vinte passagens em desnível e seis trevos de interseção. A estimativa total de investimento é de 3,2 bilhões de reais (ARTERIS, 2021).

3.5.3 Tomadas de decisão

O projeto do contorno visa quatro túneis duplos garantindo bom fluxo de veículos e ausência de trechos em serra para atravessar montanhas (ARTERIS, 2021). Ressaltar-se-á mais sobre a tomada de decisão da obra no Capítulo 4.2 Análise Custo-Benefício Túneis do Contorno Viário de Florianópolis.

4 ANÁLISES

Como pode-se perceber pela bibliografia exposta neste trabalho, a tomada de decisão de um projeto rodoferroviário possui um grande número de fatores – alguns facilmente mensuráveis outros não. Através da Análise Custo Benefício busca-se trazer todas as variáveis (custos e benefícios) para o valor presente e, então, compará-las tanto pelo Valor Presente Líquido quanto pela Taxa Interna de Retorno e pela Relação entre Benefícios e Custos.

Para ilustrar sobre a aplicação dos métodos de Análise Custo Benefício, neste capítulo serão apresentados dois projetos, um na Turquia – Bolu Mountain Tunnel, e outro no Brasil – Contorno Rodoviário de Florianópolis.

4.1 Análise Custo-Benefício Bolu Mountain Tunnel

Kocabas e Kopurlu (2010), em seu artigo, realizam uma Análise Custo Benefício do Bolu Mountain Tunnel. Os autores informam que o túnel faz parte de um importante trecho entre Istanbul e Ankara, na Turquia. Antes da construção do túnel, o trecho era realizado apenas por uma serra que passa pela montanha Bolu e por isso sofre muito no inverno devido à neve forte e intensa neblina. O trecho é considerado um dos mais perigosos do país. Após o processo de pesquisa de dados, os autores levantaram os custos da construção do túnel, os custos de manutenção do túnel, a redução dos custos por acidentes, a redução dos custos por operação de veículo dos usuários e a redução do tempo de viagem dos usuários.

Segundo Kocabas e Kopurlu (2010) os custos de construção envolvem terraplenagem, superestrutura e obras de arte, além dos custos de preparação de projeto.

Também segundo Kocabas e Kopurlu (2010) para se obter os custos de manutenção, compatibiliza-se os custos de reparo (remendos, limpeza de drenos, conserto de buracos etc) e manutenção (rotineira, periódica e extraordinária).

Os autores Kocabas e Kopurlu (2010) ressaltam que referente à redução dos custos de acidentes, um dos benefícios mais importantes no melhoramento de uma rodovia (principalmente em obra de túneis) é a expectativa de redução de acidentes de trânsito. No caso do trecho em questão, a principal causa de acidentes era o mal tempo, especialmente no inverno. Neste benefício entra a redução dos custos de lesões e mortes por acidentes. Pelo fato de ser muito difícil colocar lesões ou mortes em termos quantitativos, e nem é recomendado pela literatura, trabalha-se com o termo perda de produção (para os cálculos utiliza-se o valor do salário mínimo). Sendo assim, em caso de morte calcula-se a perda de produção de 35

anos.

Sobre o benefício de redução de custos por operação de veículo Kocabas e Kopurlu (2010) salientam que tais custos são muito importantes na análise de viabilidade de projeto. A redução dos custos acontece a partir da melhora das condições de pista (beneficiamento do pavimento asfáltico).

Kocabas e Kopurlu (2010) também destacam sobre o benefício de redução de tempo de viagem. Devido ao melhoramento da pista, há redução do tempo no trânsito, acarretando em economia. Tal economia está relacionada às entradas financeiras do usuário da pista, ao tipo de viagem (férias ou trabalho), dia da semana etc.

Por fim, após os cálculos, a Análise Custo Benefício de Kocabas e Kopurlu (2010) resultou nos valores dispostos na Tabela 2, onde observa-se que o projeto oferece um Valor Presente Líquido negativo (NVP = -325.012.112 TRY), uma Taxa Interna de Retorno inferior à Taxa Mínima de Atratividade (IRR = 6,73% menor que 14%) e uma Relação entre Benefícios e Custos menor que 1,0 (B/C = 0,29). Os autores, então, ressaltaram que o projeto possui grandes indicadores para ser um projeto inviável. Entretanto, deve-se destacar que benefícios ambientais não foram considerados (por não haver maneira de quantificá-los) e que, de fato, a implementação do túnel reduziu o número de acidentes de trânsito. Portanto, mesmo que a análise tenha resultado em inviabilidade econômica, salienta-se que o valor de vidas humanas (e a perda de produção de trabalho) inverteu a estimativa inicial, permitindo considerar o projeto como a melhor alternativa.

NPV	-325.012.112 TRY
IRR	% 6,73
B/C	0,29

Tabela 2 - Resultados Bolu Mountain Tunnel

Fonte: Benefício de Kocabas e Kopurlu (2010)

Turkish Lira (TRY)

4.2 Análise Custo-Benefício Túneis do Contorno Viário de Florianópolis

A Análise Custo Benefício que será abordada neste capítulo é referente a um trecho do Contorno Viário de Florianópolis, o qual inicia-se no km 175,5 até o km 223 da BR-101/SC, ilustrado na Figura 13, A análise foi realizada pela Planservi Engenharia (2017) nos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental – EVTEA – Contorno de Florianópolis. Na Figura 13 são identificadas sete alternativas, sendo que a Alternativa 4 foi considerada inviável do ponto de vista socioambiental por estudos realizados anteriormente e as alternativas 6 e 7 foram avaliadas também em outro estudo. Portanto, a presente análise considerou apenas as alternativas 1, 2, 3 e 5. No decorrer da análise, as alternativas em questão foram sempre comparadas com a alternativa 0 – “não ação”.

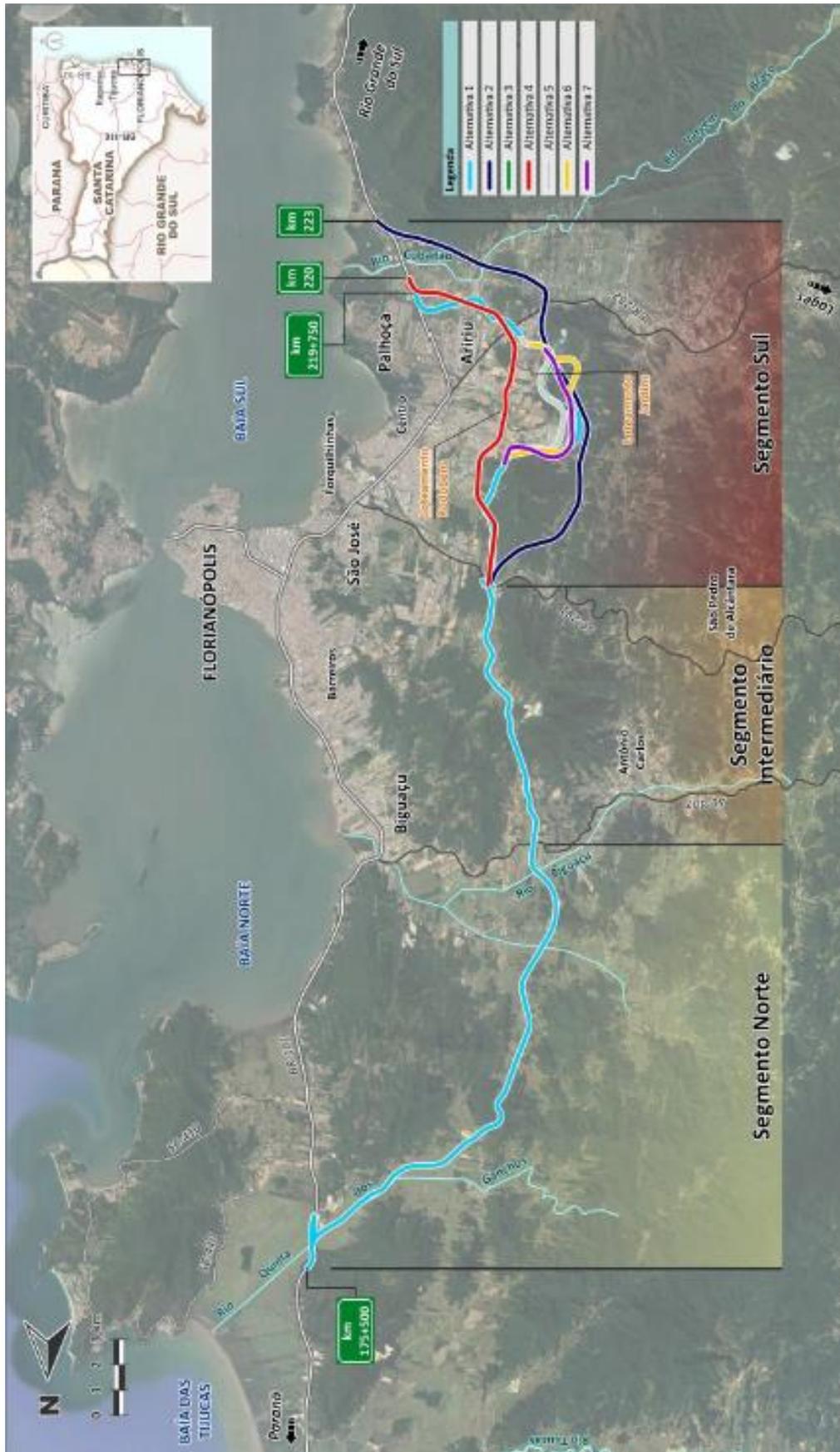


Figura 13 - Trecho de análise Contorno Viário de Florianópolis

Fonte: Engenharia (2017)

Engenharia (2017) iniciou a Análise Custo Benefício levantando os dados referentes aos custos totais para cada solução, sendo:

- Investimentos em projeto, com a execução dos estudos de viabilidade e projetos;
- Investimentos em desapropriações e desocupações necessárias;
- Investimentos para a obtenção das licenças ambientais;
- Investimentos na recuperação do passivo ambiental, onde são demonstrados os recursos referentes aos danos ambientais em decorrência da implantação do empreendimento e às ações mitigadoras, compensatórias;
- Investimentos em construção das obras (melhoramentos da rodovia e das instalações de apoio);
- Investimentos em remanejamento/remoção de interferências;
- Investimentos em manutenção e restauração;
- Investimentos em infraestrutura operacional e de monitoração (dispositivos de operação);
- Investimentos em supervisão das obras;
- Custos operacionais da concessionária e custos de conservação das vias, incluindo monitoração, operação, fiscalização, seguros e garantias e administração.

Em seguida, a empresa analista levantou os dados referentes aos benefícios (redução de custos) garantidos pelas alternativas:

- Custos operacionais fixos e variáveis dos veículos leves e pesados no trecho e seus dispositivos de interseção;
- Custos de tempo de viagem de seus usuários;
- Custos dos acidentes rodoviários.

Na análise em questão, utilizou-se como TMA a Taxa de Juros de Longo Prazo do BNDES do terceiro trimestre de 2017, cujo valor é igual a 7,0% ao ano. Além disso, considerou a obra com vida útil de 20 anos, entre os anos 2021 e 2040.

Após as simulações, obteve-se os valores dos custos e benefícios para cada ano em valor presente. Ressalta-se 2014 como o início dos custos da obra, 2021 como a inauguração da obra e início dos benefícios e 2040 como o último ano de vida útil da obra e fim da análise (ENGENHARIA, 2017). A Tabela 3 demonstra os valores obtidos para valor presente dos benefícios, valor presente dos investimentos (custos), valor presente líquido e relação

benefícios/custos.

Benefícios em Valor Presente (VP), Investimentos em Valor Presente (VP), Valor Presente Líquido (VPL) e Relação Benefícios/Custo (RS)																												
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
t. Taxa de Desc.	7,00%																											
1 Benefícios VP	-	-	-	-	-	-	-	1.010.915.093	1.003.567.358	992.525.350	975.577.455	958.514.794	938.803.507	917.182.753	892.247.164	868.395.588	841.886.882	817.771.750	789.163.323	763.537.855	738.205.827	713.186.895	687.791.256	662.180.739	637.371.615	612.304.408	588.909.735	16.410.039.348
1 Investimentos VP	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-360.507.545	-582.322.481	-647.125.889	-17.880.627	-16.710.867	-15.617.633	-14.595.918	-26.719.696	-24.971.679	-23.338.018	-21.811.231	-20.384.328	-19.050.774	-17.804.462	-16.639.684	-15.551.107	-14.533.744	-13.582.939	-12.694.335	-11.863.865	-11.087.724	-10.362.359	-9.684.448	-2.319.251.747
1 VPL	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-360.507.545	-582.322.481	-647.125.889	993.034.466	986.856.492	976.907.718	960.981.536	931.795.096	913.831.828	893.844.736	870.435.933	848.011.260	822.836.108	799.967.288	772.523.639	747.986.748	723.672.082	699.603.956	675.096.920	650.316.874	626.283.891	601.942.049	579.225.287	14.090.787.601
1 Relação Benefícios/Custo	7,08																											
2 Benefícios VP	-	-	-	-	-	-	-	944.451.575	874.195.156	808.551.514	745.189.848	687.410.341	633.980.060	584.160.601	536.399.733	494.270.091	453.055.451	417.338.831	380.668.235	349.733.263	320.704.734	294.614.856	270.393.209	247.458.480	226.347.166	206.525.251	189.653.462	9.665.101.858
2 Investimentos VP	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-637.776.909	1.039.305.203	1.188.750.436	-22.829.621	-21.336.095	-19.940.276	-18.635.772	-34.898.563	-32.615.480	-30.481.757	-28.487.623	-26.623.947	-24.882.193	-23.254.386	-21.733.071	-20.311.281	-18.982.506	-17.740.660	-16.580.056	-15.495.379	-14.481.663	-13.534.264	-12.648.845	-3.695.736.381
2 VPL	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-637.776.909	1.039.305.203	1.188.750.436	921.621.953	852.859.062	788.611.239	726.554.076	652.511.778	601.364.581	553.678.845	507.912.110	467.646.145	428.173.258	394.084.445	358.935.164	329.421.981	301.722.228	276.874.196	253.813.153	231.963.100	211.865.503	192.990.987	177.004.617	5.969.365.477
2 Relação Benefícios/Custo	2,62																											
3 Benefícios VP	-	-	-	-	-	-	-	1.006.117.002	982.558.236	957.302.811	928.510.588	901.007.888	872.658.019	843.392.134	812.605.619	784.432.592	753.459.934	725.563.479	694.987.133	667.673.111	641.042.782	615.852.875	590.786.016	565.510.158	541.514.417	517.494.661	495.800.074	14.898.269.528
3 Investimentos VP	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-431.172.968	-697.287.927	-786.569.218	-18.863.171	-17.629.132	-16.475.824	-15.397.966	-28.602.389	-26.731.204	-24.982.434	-23.348.069	-21.820.625	-20.393.108	-19.058.979	-17.812.130	-16.646.851	-15.557.804	-14.540.004	-13.588.789	-12.699.803	-11.868.974	-11.092.499	-10.366.822	-2.666.917.087
3 VPL	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-431.172.968	-697.287.927	-786.569.218	987.253.831	964.929.105	940.826.987	913.112.622	872.405.499	845.926.814	818.409.699	789.257.549	762.611.966	733.066.826	706.504.500	677.175.003	651.026.260	625.484.977	601.312.871	577.197.227	552.810.355	529.645.443	506.402.161	485.433.252	12.231.352.441
3 Relação Benefícios/Custo	5,59																											
5 Benefícios VP	-	-	-	-	-	-	-	1.006.117.002	982.558.236	957.302.811	928.510.588	901.007.888	872.658.019	843.392.134	812.605.619	784.432.592	753.459.934	725.563.479	694.987.133	667.673.111	641.042.782	615.852.875	590.786.016	565.510.158	541.514.417	517.494.661	495.800.074	14.898.269.528
5 Investimentos VP	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-377.454.834	-635.707.995	-656.442.559	-22.362.287	-20.899.334	-19.532.088	-18.254.288	-28.711.021	-26.832.729	-25.077.317	-23.436.745	-21.903.500	-20.470.561	-19.131.365	-17.879.781	-16.710.075	-15.616.893	-14.595.227	-13.640.399	-12.748.036	-11.914.053	-11.134.629	-10.406.195	-2.435.272.305
5 VPL	-54.097.998	-98.366.605	-114.271.467	-127.674.324	-377.454.834	-635.707.995	-656.442.559	983.754.715	961.658.903	937.770.724	910.256.300	872.296.867	845.825.289	818.314.816	789.168.874	762.529.092	732.989.373	706.432.114	677.107.353	650.963.036	625.425.889	601.257.648	577.145.617	552.762.122	529.600.364	506.360.032	485.393.879	12.462.997.223
5 Relação Benefícios/Custo	6,12																											

Tabela 3 - Valor presente líquido de cada alternativa

Fonte: Engenharia (2017)

Por fim, calculou-se os indicadores para cada alternativa e então realizou-se a Análise Custo Benefício das alternativas.

Alternativa 1:

- VPL: R\$14.090.787.601,02
- TIR: 38,24%
- Relação Benefício/Custo: 7,1

Alternativa 2:

- VPL: R\$5.969.365.477,16
- TIR: 23,08%
- Relação Benefício/Custo: 2,6

Alternativa 3:

- VPL: R\$12.231.352.441,17
- TIR: 34,57%
- Relação Benefício/Custo: 5,6

Alternativa 5:

- VPL: R\$12.462.997.223,33
- TIR: 36,45%
- Relação Benefício/Custo: 6,1

Engenharia (2017) concluiu, através da análise dos indicadores (VPL, TIR e B/C) que todas as quatro alternativas são viáveis. Todas possuem um valor de VPL maior que zero, uma TIR maior que 7,0% (TMA) e Relação Benefício Custo maior que 1,0 (um). Embora todas as quatro alternativas sejam viáveis, a Alternativa 1 possui os melhores indicadores socioeconômicos. Portanto a Alternativa 1 foi a solução indicada pela tomada de decisão para o trecho em questão do Contorno Viário de Florianópolis.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho buscou explorar tanto a visão técnica de engenharia de túneis quanto a visão socioeconômica de viabilidade de projetos para que, dessa forma, pudesse refletir sobre o processo de tomada de decisão de projetos rodoferroviários, estando em sincronia com o objetivo geral.

A escavação de túneis está presente na civilização há muito, seja para favorecer atividades como a mineração e a agricultura, seja para facilitar o transporte de cargas e pessoas. No Brasil, tem-se relatos de uso de túneis a partir do século XIX, com a construção da Estrada de Ferro D. Pedro II, a qual uniu os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Mesmo os túneis estão presentes na humanidade, apenas no século XX é que a tecnologia teve um rápido e grande avanço a favor dos métodos de construção, viabilizando obras maiores que garantem benefícios de maior impacto socioeconômico e ambiental.

Os métodos de escavação sofreram muitas transformações desde os primeiros túneis escavados a céu aberto, através de ferramentas rudimentares e mudanças bruscas de temperatura, até hoje com métodos de escavação sofisticados como o NATM e as grandes máquinas tuneladoras TBM. Mesmo com toda a tecnologia atual, ainda assim não são todas as obras de túneis que utilizam métodos sofisticados de escavação. Isso ocorre pelo fato de obras com dimensões menores muitas vezes serem mais facilmente escavadas por métodos convencionais. Também influenciam na decisão do método de escavação as condições ambientais, condições do solo e rocha do local e das condições econômicas do contratante.

Os projetos de túnel são desenvolvidos através de contratação por Preço Global ou Preço Unitário. No contrato do tipo Preço Global, a construtora contratada é responsável por realizar tanto o projeto executivo quanto a execução da obra. Já no contrato do tipo Preço Unitário, a contratante é responsável pelo projeto executivo (muitas vezes repassando para outra empresa) e apenas a execução fica por conta da construtora contratada.

O processo de tomada de decisão para obras rodoferroviárias deve estar estruturado em análises com fundamentação teórica e caráter técnico, além de os dados levantados serem de confiança. Neste trabalho foram explorados os métodos da Análise Custo-Benefício a qual consiste em comparar o valor presente líquido dos custos e o valor presente líquido dos benefícios, através de valores quantitativos; da Análise Custo-Efetividade a qual consiste em ordenar as prioridades do projeto e comparar as opções disponíveis de solução, resultando na

razão entre as diferenças de custos e diferenças de resultados; da Análise Custo-Utilidade a qual consiste em atribuir pesos específicos para os indicadores tanto de custo quanto de benefícios e então compará-los; e do método Be Part o qual consiste em um planejamento participativo supragovernamental, reiterando que a tomada de decisão possua uma participação da sociedade envolvida. Também buscou-se explorar a proposta do Ministério da Economia, o Guia Prático de Análise de Custo-Benefício, o qual tem função principal nortear os tomadores de decisão no processo de tomada de decisão de obras de caráter público.

No Capítulo 3 buscou-se expor exemplos de casos representativos de projetos que ao adotarem escavação de túneis obtiveram benefícios consideráveis quando comparados a projeto de obras sem túnel. O projeto da rodovia Nova Imigrantes foi muito benéfico ao adotar túneis em seu trecho, acarretando em redução de 40 vezes a necessidade de desmatamento para a concretização da obra. Já o projeto da rodovia da Nova Tamoios garantiu, através de túneis, trechos muito mais retilíneos, oferecendo segurança para os usuários da rodovia. Da mesma forma ocorreu para o projeto da ferrovia Nova Ferroeste, onde os trens que percorrerem a nova ferrovia terão uma velocidade média muito superior se comparado ao percurso atual.

Já no Capítulo 4 buscou-se exemplos de análises realizadas oficialmente para estudo de viabilidade de obra. A Análise Custo-Benefício do Bolu Mountain Tunnel explorou diversos indicadores socioeconômicos, custos da obra e benefícios garantidos pela mesma. A análise levou em consideração os custos de terraplenagem, manutenção, benefícios de redução de custos de acidentes, redução dos custos por operação de veículo e redução de tempo de viagem. Logo, os autores da pesquisa concluíram que mesmo que a análise tenha apurado a obra do trecho Bolu Mountain Tunnel como economicamente inviável (VPL negativo, TIR menor que TMA e relação Benefício por Custo menor que 1 (um)), ela garantiu redução de acidentes de trânsito e tal benefício resultou na inversão da estimativa inicial, tornando a obra um empreendimento viável. Já a Análise Custo-Benefício do Contorno Viário de Florianópolis explorou quatro alternativas para o trecho em questão, analisando dados de custos de execução de estudos de viabilidade, desapropriações, obtenção de licenças ambientais, recuperação do passivo ambiental, construção, remanejamento de interferências, manutenção, monitoração durante operação, supervisão das obras e operações da concessionária, redução de custos (benefícios) operacionais de veículos leves e pesados, tempo de viagem de usuários, e acidentes rodoviários. Ao final, a análise concluiu que a todas as quatro alternativas eram economicamente viáveis, mas a Alternativa 1 era a mais viável por possuir indicadores melhores que as outras alternativas.

O papel da engenharia de túneis na tomada de decisão de alternativas em projetos rodoferroviários é um tema de grande importância para o desenvolvimento de uma sociedade séria e que visa o crescimento socioeconômico. Este trabalho buscou embasar esse tema, partindo do contexto histórico das obras de túneis, da exploração de métodos construtivos, dos tipos de projeto, dos métodos de tomada de decisão, de exemplos de obras relevantes e por fim de duas Análises Custo-Benefício.

Obras de túneis tendem a possuir um projeto e uma execução mais sofisticados em relação a obras sem túnel, por isso acabam possuindo um valor total maior. Entretanto, os benefícios gerados são muitas vezes determinantes na escolha destas obras. Tais benefícios estão principalmente relacionados ao melhoramento na qualidade do trecho:

- Aumento do raio de curvas;
- Aumento da segurança;
- Aumento da velocidade média;
- Redução do tempo de viagem;
- Redução do custo de operação por veículo;
- Redução de custos de acidentes de trânsito;
- Redução de manutenção da via;
- Aumento da preservação ambiental.

Com base no que foi abordado, conclui-se que as tomadas de decisão são realizadas com base em análises de indicadores socioeconômicos, comparando-se custos e benefícios resultantes da obra em questão. Entretanto existem benefícios que dificilmente serão considerados corretamente através de indicadores quantitativos, como benefícios ambientais ou redução de custos por acidentes de trânsito. Como concluíram Kocabas e Kopurlu (2010) referente ao Bolu Mountain Tunnel, o valor das vidas humanas é um indicador muito superior quando comparado a qualquer indicador financeiro.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

O assunto em questão apresenta muitas possibilidades para serem exploradas por futuros trabalhos. Sugere-se, por exemplo considerar nos projetos da Nova Imigrantes, da Nova Tamoios e da Nova Ferroeste os seguintes aspectos de estudo:

- Realizar uma coleta de dados de tráfego, segundo procedimentos rígidos com

foco na qualidade da informação junto às concessionárias.

- Realizar estudo e elaboração de microssimulação de tráfego.
- Realizar Análise Custo-Benefício e Análise Custo-Efetividade e tirar conclusões socioeconômicas e ambientais.
- Realizar uma análise através do Guia Prático de Análise de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura e apresentar as conclusões socioeconômicas e ambientais, comparando com outros projetos que estão sendo discutidos junto ao Ministério da Economia atualmente.

REFERÊNCIAS

ABREU, Paulo Simas de; STEPHAN, Christian. **Análise De Investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 1982. 280 p.

ARTERIS. **A Obra**. 2021. Disponível em: <https://www.contornodeflorianopolis.com.br/a-obra/>. Acesso em: 13 set. 2021.

BEAVER, Patrick. **A History Of Tunnels**. Nova Jersey, Estados Unidos: High Street Books, 1973. 1 v.

BNDES. **Concessão Da Rodovia Dos Tamoios (SP-99)**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/leiloes-infraestrutura/leilao-rodovia-tamoios>. Acesso em: 01 set. 2021.

BRASIL. **Decreto N° 9.745, de 08 de abril de 2019**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9745.htm >. Acesso em: 05 de maio de 2021.

BRANCO, Mariana Castelo. **A Análise Custo-Efetividade: Sua Aplicação Com Auxílio Para A Definição De Políticas De Regulamentação Do Uso De Agrotóxicos**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Econômica do Meio-Ambiente, Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação Econômica De Projetos: Uma Apresentação Didática**. 2 ed, Campus: Rio de Janeiro, 1984, 266 p.

CASSAROTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise De Investimentos**. 10 ed, Atlas: São Paulo, 2000, 468 p.

CELESTINO, Tarcísio B. **Túneis Do Brasil – Apresentação**. Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

CONSTRUÇÕES, Grandes. **Na Rota Dos Tamoios**. Disponível em: <https://www.grandesconstrucoes.com.br/Materias/Exibir/na-rota-dos-tamoios>. Acesso em: 01 set. 2021.

ECOVIAS. **Pista Sul Da Rodovia Dos Imigrantes Completa 15 Anos**. 2017. Disponível em: <https://www.ecovias.com.br/noticias/release/pista-sul-da-rodovia-dos-imigrantes-completa-15-anos-185859>. Acesso em: 27 ago. 2021.

ENGENHARIA, Planservi. **Estudos De Viabilidade Técnica, Econômica E Ambiental – EVTEA - Contorno De Florianópolis**. Florianópolis: Planservi Engenharia, 2017. 165 p.

FERNANDES, Carlos Henrique. **Priorização De Projetos Hidrelétricos Sob A Ótica Social - Um Estudo De Caso Utilizando Análise Custo/Benefício E Uma Metodologia Multicritério De Apoio À Decisão - “Macbeth”**. 1996. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

ITA, Working Group 3. **ITA Position Paper On Types Of Contract: Ita Working Group On Contractual Practices In Underground Construction**. Châtelaine, Suíça: Wg Publications, 1996. 19 p.

KOCABAŞ, Gaye; KOPURLU, Barış Serkan. **An Ex-Post Cost - Benefit Analysis of Bolu Mountain Tunnel Project**. 10. ed. Izmir: Izmir University Of Economics, 2010. 9 p.

KONDA, Toru. **Shield Tunneling Methods**. Tokyo Metropolitan University. Toquio, Japão. 2001.

LANG, Aline. E. (2007). **As Ferrovias no Brasil e Avaliação Econômica de Projetos: Uma Aplicação em Projetos Ferroviários**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília - UNB, Brasília – DF, 154 p.

MACÁRIO, Rosário; CRESPO, Fernando; RODRIGUES, Maria João. **Estimação De Custos E Benefícios Reais Para A Avaliação Econômica De Projetos De Investimento**

Rodoviário. XXI ANPET, Rio de Janeiro, 2007.

MENDONÇA, Roberto Mendes Pereira França de. **Estudo Da Viabilidade De Túneis Viários Em Obras De Infraestrutura.** 2017. 50 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da

Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em:

<http://ct.ufpb.br/ceec/contents/documentos/tccs/2016.2/estudo-da-viabilidade-de-tuneis-viarios-em-obras-de-infraestrutura.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Guia Prático De Análise Custo- Benefício De Projetos De Investimento Em Infraestrutura.** 2020. Disponível em:

<<https://www.gov.br/economia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2020/guia-de-analise-custo-beneficio-de-projetos-de-investimento-em-infraestrutura>>. Acesso em: 03 de maio de 2021.

MOHR, João Arthur. **Metodologia Para A Construção De Planejamento Participativo Supragovernamental De Infraestrutura Logística De Transportes.** 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

MOREIRA, Carlos Manuel da Cruz. **Túneis, Uma Herança Ancestral Rumo Ao Futuro.** Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2006.

MOREIRA, Roberto. **Avaliação De Projetos De Transportes Utilizando Análise Benefício Custo E Método De Análise Hierárquica.** 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. TD 0556 - **Utilização De Critérios Econômicos Para A Valorização Da Água No Brasil.** 1998. Rio de Janeiro, abril de 1998. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0556.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

PIRES, Ana Carolina Gonzaga *et al.* **Influência Do Método Construtivo De Túneis Convencionais Em Seus Aspectos Contratuais.** 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, v. 12, n. 12, p. 1-12, 19 out. 2016. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160905195310000000995.pdf. Acesso em: 05 maio 2021.

REGO, Gabriel Fonseca Bordeaux. **Concepção E Análise De Novos Traçados Ferroviários Frente Ao Contexto Atual Da Malha Ferroviária Brasileira: Estudo De Caso Da Nova Ferroeste Entre Curitiba (PR) E Paranaguá (PR).** 2019. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SANTOS, Diego de Oliveira. **Compromisso Da Engenharia Com O Desenvolvimento Sustentável: Imigrantes Um Exemplo De Desenvolvimento Sustentável Na Engenharia Civil.** Guarujá: Universidade de Ribeirão Preto - Unaerp Campus Guarujá, 2016. 8 p.

SEHN, Daniele. **Avaliação Econômica De Projetos De Infraestrutura De Transportes: Uma Metodologia Aplicada À Tomada De Decisão Governamental.** 2009. 93 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SEHN, Maristela Adriane. **Medição E Controle De Overbreak Em Túneis Escavados Pelo Método Natm Com Explosivos – Estudo De Caso Túnel Principal 5 Do Trecho Serra Da Rodovia Dos Tamoios (SP-99).** 2020. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SILVA, Guilherme Tavares da. **Revestimento De Concreto Extrudado Para Túneis.** 2018. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Ppgtg, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

TAMOIOS, Rodovia. **Sobre A Rodovia Dos Tamoios - SP-99.** Disponível em: <https://www.rodoviatamoios.com.br/>. Acesso em: 01 set. 2021.

TELLES, Pedro C. da Silva. **Túneis Do Brasil – Túneis Antigos No Brasil**. Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

TRAVAGIN, Vinícius Bernardino. **Subsídios Para Escolha Do Método Construtivo De Túneis**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em:

https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/347/1/CT_PPGEC_M_Travagin%2C%20Vin%C3%ADcius%20Bernardino_2012.pdf. Acesso em: 05 maio 2021.