



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAYSSA DE SOUSA CARNEIRO

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA OTIMIZAÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO EM PAVIMENTO
AEROPORTUÁRIO**

FORTALEZA
2021

RAYSSA DE SOUSA CARNEIRO

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA OTIMIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO EM PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO

Projeto de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda
de Oliveira.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C29a Carneiro, Rayssa de Sousa.
Análise do Custo do Ciclo de Vida para otimização de estratégias de manutenção e reabilitação em pavimento aeroportuário / Rayssa de Sousa Carneiro. – 2021.
108 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.
1. Análise do Custo de Ciclo de Vida. 2. Pavimentos. 3. Aeroportos. 4. Manutenção e Reabilitação. 5. Irregularidade longitudinal. I. Título.

CDD 620

RAYSSA DE SOUSA CARNEIRO

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA OTIMIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO EM PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO

Projeto de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 31/03/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Jorge Bráulio Cossío Durán
Universidade de São Paulo (USP)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para este trabalho.

Ao professor e orientador Heber, por ter feito parte deste trabalho de forma tão atenciosa. Agradeço também pela motivação que me ofereceu durante a monitoria de PCIV e a Iniciação Científica. Pelo esmero de suas correções, por ser um grande exemplo de professor. Esteja certo de que cada risco colorido (haja caneta!), cada mensagem, cada crítica ou sugestão foram recebidos com muita satisfação. Obrigada pela paciência, presença constante e pelas discussões amigáveis, sejam remotas ou presenciais.

Ao Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva e o Dr. Jorge Braulio Cossío Durán por terem aceitado o convite de compor a Banca Examinadora deste trabalho e pelas considerações que colaboraram para sua melhoria.

À minha família, por me ensinar a cada dia, por apoiar nossas decisões e não medir esforço para concretizá-las. Agradeço aos meus pais, Jonalva e Etiene, pelo carinho e amor dedicados a mim e aos meus irmãos. Ao meu irmão Allan e cunhada Wyl. Aos meus tios e primos por tornarem minha família tão especial. Aos meus avós Joana, Severino (*in memoriam*) e particularmente à minha querida Maria José/Mazé (*in memoriam*) por ter sido exemplo de perseverança e o alicerce da minha família, ter cuidado dos seus e fazer parte da minha história.

À minha irmã Laryssa, minha grande inspiração, mesmo que à distância. Agradeço pelas palavras de ânimo nos momentos de ansiedade e cansaço, pelas inúmeras mensagens, ligações e videochamadas (seja para acompanhar alguma série ou livro, falar de alguma receita vegana ou simplesmente para conversar), pelo incentivo e companhia incondicionais. Agradeço por ser essa pessoa de luz imensa, por ser uma grande amiga e por fazer parte da minha vida desde o primordial momento de nossa existência.

Aos amigos, de longa ou curta data, por todo o incentivo. Às amigas da monitoria de PCIV e da Iniciação Científica. Carinhosamente agradeço a Fab, Jess, La e Marcos, obrigada por aquecerem meu coração, pelas conversas jogadas fora e por aceitarem minhas aleatoriedades e incertezas. Agradeço a amizade irrestrita.

Aos que vagaram comigo pelo Pici e/ou Benfica, aos que dividiram os corredores do 708 e os perrengues da Civil, aos amigos da Casa de Cultura Francesa. Aos que foram apoio e incentivo nos trabalhos mais difíceis (aqueles que quase não merecem ser mencionados devido às noites de insônia que proporcionaram). Aos que tornaram a graduação (e por que não a vida?!) mais leve.

À Universidade Federal do Ceará, por ter me acolhido e por mostrar que educação pública e de qualidade mudam vidas. Agradeço pela oportunidade de fazer parte do querido LER - Literatura, Engenharia e Reflexões, dos projetos de monitoria de PCIV e Gerenciamento e, especialmente, ao PIBIC UFC por me aproximar da pesquisa.

Aos professores da Engenharia Civil que contribuíram para minha formação, sobretudo àqueles que tive o privilégio de ser orientanda.

À dádiva da vida.

RESUMO

Atividades de Manutenção e Reabilitação (M&R) são necessárias para manter ou prolongar o desempenho e, por consequência, a vida útil dos pavimentos. No caso de pavimentos aeroportuários, essas atividades estão relacionadas à segurança das operações de pouso e decolagem e ao aumento da demanda por transporte aéreo, sendo compreensível que exista preocupação por parte da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e do operador do aeródromo com os recursos financeiros dispensados para manter o pavimento em condições adequadas de operação e trafegabilidade. Por esse ângulo, as Análises do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) permitem a realização de uma avaliação econômica a médio e longo prazos que, associadas à análise do desempenho dos pavimentos em sua vida útil, amparam a tomada de decisão e auxiliam na garantia da segurança das operações aeroportuárias, bem como na gestão eficaz dos recursos disponíveis. No desenvolvimento deste trabalho foram analisados cinco diferentes cenários para realização de atividades de M&R da pista de pouso e decolagem (PPD) de um aeródromo militar brasileiro destinadas a corrigir sua irregularidade longitudinal, avaliada por meio do Índice Internacional de Irregularidade (IRI). A ACCV realizada apresentou potencial para comparar economicamente as alternativas propostas, além de evidenciar a indispensabilidade das atividades de M&R, visto que a aplicação de manutenções, sejam preventivas ou corretivas, reduziram os custos totais e ofereceram um melhor desempenho ao pavimento, considerando o período de análise. Dessa forma, para ambas as abordagens determinística e probabilística, verificou-se que a não realização das atividades de M&R ocasiona custos mais elevados para os operadores de aeródromos e que, como consequência da condição do IRI da PPD, a manutenção do pavimento é essencial para a garantia segurança das operações de pouso e decolagem.

Palavras-chave: Análise do Custo de Ciclo de Vida. Pavimentos. Aeroportos. Manutenção e Reabilitação. Irregularidade Longitudinal.

ABSTRACT

Maintenance and rehabilitation (M&R) activities are necessary to maintain or extend the performance and, consequently, the useful life of the pavements. In airport pavements, these activities are related to the safety in landing and take-off operations. Especially with the increased demand for air transport, it is understandable that there is concern on the part of the National Civil Aviation Agency of Brazil (ANAC) and aerodrome operator with the necessary financial resources to maintain the pavement in proper operating and traffic conditions. Therefore, Life Cycle Cost Analysis (LCCA) allow an economic evaluation in the medium and long term, which associated with the pavement performance throughout their useful life, support decision making and assist in guaranteeing security in airport operations, as well as the effective management of available resources. During the development of this work, five different scenarios for M&R activities on a brazilian military aerodrome runway aimed at correcting the excess of roughness, assessed through the International Roughness Index (IRI), were analyzed. The ACCV carried out had the potential to economically compare the proposed alternatives, in addition to highlighting the indispensability of M&R activities, since the application of maintenance, whether preventive or corrective, reduced the total costs and offered a better performance to the pavement, considering the period of analyses. Thus, for both deterministic and probabilistic approaches, it was found that the failure to carry out M&R activities causes higher costs for aerodrome operators. As a result of the runway roughness condition, the pavement maintenance is essential for the guaranteed safety of landing and take-off operations.

Keywords: Life Cycle Cost Analysis. Runway. Maintenance. Rehabilitation. Roughness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Condição do pavimento ao longo de sua vida útil	20
Figura 2 – Condição do pavimento x tempo	21
Figura 3 – Diagramas de Fluxo de Caixa e análises VPL e VAEU	30
Figura 4 - Área delimitada pela curva de desempenho para estimativa do benefício das manutenções	32
Figura 5 - Planta das pistas de pouso e decolagem do aeródromo	38
Figura 6 – Interface do <i>software</i> ProFAA com os resultados para o perfil longitudinal avaliado	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição cumulativa de probabilidade de custos das alternativas	60
Gráfico 2 – Distribuição de probabilidade de custos das alternativas	61
Gráfico 3 – Histograma de custos das alternativas	62
Gráfico 4 – IRI médio das seções ao longo do período de análise	66
Gráfico 5 – IRI médio das seções	67
Gráfico 6 – Progressão do IRI ao longo do período de análise	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal	24
Tabela 2 - Localização das medições de irregularidade longitudinal	24
Tabela 3 – Estratégia de M&R proposta para os valores de IRI.....	42
Tabela 4 – Classificação e atividades propostas para correção do IRI	43
Tabela 5 - Distribuições para os parâmetros de entrada da ACCV probabilística.....	46
Tabela 6 – Levantamento da irregularidade longitudinal atual do pavimento	47
Tabela 7 – Classificação dos valores atuais de IRI para a PPD e seus terços	48
Tabela 8 – Custos unitários dos serviços de M&R	49
Tabela 9 – Resumo das estratégias avaliadas	50
Tabela 10 – Atividades de M&R propostas pela Alternativa B.....	51
Tabela 11– Atividades de M&R propostas pela Alternativa C.....	52
Tabela 12 – Atividades de M&R propostas pela Alternativa D	53
Tabela 13 – Atividades de M&R propostas pela Alternativa E.....	54
Tabela 14 – VPL e VAEU das Alternativas avaliadas.....	55
Tabela 15 – VPL para manutenção dos terços da PPD	57
Tabela 16 – Resultados da ACCV probabilística.....	58
Tabela 17 – Valores médios de IRI (m/km) para o período de análise	64
Tabela 18 – Relação Efetividade/Custo das estratégias avaliadas.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACCV	Análise do Custo do Ciclo de Vida
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AEC	Análise Efetividade-Custo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> (Administração Federal de Aviação – EUA)
IATA	<i>International Air Transport Association</i> (Associação Internacional de Transporte Aéreo)
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> (Organização da Aviação Civil Internacional)
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IRI	<i>International Roughness Index</i> (Índice Internacional de Irregularidade)
LCCA	<i>Life Cycle Cost Analysis</i>
M&R	Manutenção e Reabilitação
PCI	<i>Pavement Condition Index</i> (Índice de Condição do Pavimento)
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
RBC	Relação Benefício-Custo
SCI	<i>Structural Condition Index</i> (Índice de Condição Estrutural)
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPA	Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários
VAEU	Valor Anual Equivalente Uniforme
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema da Pesquisa	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Objetivos Geral e Específicos	17
1.4	Estrutura do trabalho.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Pavimentos aeroportuários	18
2.2	Manutenção em pavimentos aeroportuários.....	19
2.3	Irregularidade Longitudinal em pavimentos aeroportuários	22
2.4	Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA.....	25
2.5	Análise do Custo do Ciclo de Vida - ACCV	26
2.5.1	<i>Custos considerados para a análise</i>	<i>27</i>
2.5.2	<i>Métodos de análise de viabilidade econômica.....</i>	<i>29</i>
2.5.3	<i>Limitações e incertezas da ACCV em pavimentos.....</i>	<i>32</i>
2.6	Análises de custos em pavimentos aeroportuários	34
3	PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE.....	37
3.1	Análise do perfil longitudinal.....	37
3.2	Definições preliminares para a ACCV.....	39
3.3	Definição da progressão do IRI ao longo do período de análise	40
3.4	Proposição e definição das estratégias para análise.....	41
3.5	Estimativa dos custos.....	44
3.5.1	<i>Custos com as atividades de M&R</i>	<i>44</i>
3.5.2	<i>Custos operacionais e impacto aos usuários</i>	<i>45</i>
3.6	Análise do Custo do Ciclo de Vida.....	45
3.6.1	<i>Análise Determinística.....</i>	<i>46</i>
3.6.2	<i>Análise Probabilística.....</i>	<i>46</i>
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
4.1	Dados de irregularidade longitudinal – IRI.....	47
4.2	Custos do ciclo de vida: aplicação das estratégias de M&R.....	49
4.1.1	<i>Alternativa A – Não fazer nada</i>	<i>50</i>
4.1.2	<i>Alternativa B – Manutenções preventivas.....</i>	<i>51</i>
4.1.3	<i>Alternativa C – Manutenções Corretivas.....</i>	<i>52</i>
4.1.4	<i>Alternativa D – Alternância de Manutenções Preventivas e Corretivas</i>	<i>53</i>
4.1.5	<i>Alternativa E – Manutenções Preventivas e Corretivas</i>	<i>54</i>

4.3	Análise Determinística do Custo do Ciclo de Vida	55
4.4	Análise Probabilística do Custo do Ciclo de Vida.....	58
4.5	Análise da irregularidade longitudinal na ACCV.....	63
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
5.1	Principais Conclusões	73
5.2	Limitações da pesquisa	74
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES ANALÍTICAS DE CUSTO UNITÁRIO	82
	APÊNDICE B – ANÁLISE DOS DADOS DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DO AEROPORTO DE FORTALEZA (SBFZ) – COMPARATIVO ANTES E APÓS REABILITAÇÃO	88
	APÊNDICE C – ANÁLISE DOS DADOS DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DO AEROPORTO DE FORTALEZA (SBFZ) – EVOLUÇÃO DO IRI ENTRE 2014 E 2020.....	89
	APÊNDICE D – ÍNDICE INTERNACIONAL DE IRREGULARIDADE (IRI) DAS SEÇÕES AO LONGO DO PERÍODO DE ANÁLISE.....	90
	APÊNDICE E – ACCV DETERMINÍSTICA: CUSTOS DAS ALTERNATIVAS AVALIADAS	95
	ANEXO A – COMPOSIÇÕES DO SICRO E DA INFRAERO COTEJADAS	100
	ANEXO B – ENCARGOS SOCIAIS SOBRE O PREÇO DE MÃO-DE-OBRA (SINAPI-GOÍÁS).....	108

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de transportes, além de influenciar no cotidiano das sociedades, consistem em elementos essenciais ao seu desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Nesse sentido, o transporte aéreo vem expandindo-se e tornando-se uma das mais importantes alternativas dentre as possibilidades para transporte de pessoas e cargas.

O cenário de crescimento do transporte aéreo é uma tendência mundial. Segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, 2020), houve um total de 4,5 bilhões de embarques em aeronaves em 2019, o que representa um aumento de 3,6% em relação ao ano anterior. Além disso, todos os continentes apresentaram, nesse mesmo ano, incremento no número de passageiros e de operações aéreas.

Com o aumento do número de operações aeroportuárias surgem, também, algumas preocupações relacionadas ao nível de serviço das pistas de pouso e decolagem (PPD), principalmente no que se refere à garantia da segurança operacional e das características de superfície dos pavimentos. Entre essas preocupações, está a exigência e a necessidade de que a infraestrutura aeroportuária passe por atividades de manutenção e reabilitação (M&R) adequadas e com a devida periodicidade.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019) determina que é responsabilidade do operador do aeródromo manter o aeródromo em condições operacionais e de infraestrutura requeridas. À vista disso, é de interesse do operador do aeródromo que suas decisões atendam a particularidades de caráter técnico-econômico com o propósito de destinar adequadamente os materiais, os equipamentos e os recursos financeiros e humanos disponíveis que, muitas vezes, se apresentam de modo restrito ou mesmo escasso.

Irfan *et al.* (2015) salientam que as agências responsáveis por operar e manter aeródromos normalmente gerenciam os pavimentos com base na necessidade imediata de se fazer atividades de M&R em vez de recorrer a atividades baseadas no desempenho a longo prazo. Além disso, Das *et al.* (2015) acreditam que a escolha de um pavimento aeroportuário envolve, na maioria das vezes, apenas o custo de implantação, desconsiderando os custos de conservações. Dessa forma, uma tomada de decisão apropriada do operador do aeródromo só será realizada se for tecnicamente possível e economicamente viável a longo prazo.

Diante desses fatos, é necessário que os operadores de aeródromos sejam orientados quanto à identificação e escolha das práticas de M&R que garantam a vida útil prevista para o pavimento. Assim, a Análise de Custo do Ciclo de Vida - ACCV (*Life-Cycle Cost Analysis - LCCA*) foi determinada pela FAA (2016), nos Estados Unidos, como um dos elementos do

processo decisório de implantação de um pavimento ou de sua manutenção. Assim, a ACCV pode ser utilizada principalmente para auxiliar os operadores de aeródromos na tomada de decisão, tanto na seleção do tipo de pavimento como para avaliar e comparar economicamente diferentes estratégias de M&R.

Nessa perspectiva, a ACCV permite a adoção de pavimentos com melhor custo-benefício e maior durabilidade - quando avaliados a longo prazo. É significativo, portanto, que a decisão por uma infraestrutura aeroportuária esteja atenta aos custos sociais, ambientais e econômicos, além dos aspectos de segurança operacional, e seja pautada em considerações socioambientais, técnicas e econômicas.

1.1 Problema da Pesquisa

Diversos são os fatores que influenciam a implantação de um aeródromo e a escolha do seu tipo de infraestrutura, assim como suas estratégias de M&R. Pode-se citar: o contexto socioambiental e econômico, a experiência com construções similares do operador do aeródromo e, com grande relevância, os custos necessários para a construção e manutenção das alternativas disponíveis.

Para Oliveira (2009), os pavimentos estão entre as mais importantes estruturas de um complexo aeroportuário e, por esse motivo, merecem atenção no que concerne à tomada de decisão dos operadores de aeródromos. Entretanto, há de se destacar que a escolha por uma solução de infraestrutura, muitas vezes, é marcada pelo empirismo ou pela experiência do gestor e pela ausência de análises técnico-econômicas que considerem o desempenho e os recursos financeiros dispensados ao longo de todo o ciclo de vida do pavimento. Esse tipo de planejamento, ou a falta dele, no pior cenário, podem ocasionar em um uso inadequado dos investimentos financeiros, algo já relatado pela FAA (2014).

Destaca-se, portanto, que é frequente - inclusive no Brasil - a ausência de planejamento estratégico, por parte do operador do aeródromo, que considere o comportamento dos pavimentos ao longo de toda sua vida útil e os recursos financeiros dispensados a longo prazo. Em consequência, compromete-se a tomada de decisão, a destinação adequada dos recursos e a preservação das condições do pavimento para fins de garantia da sua segurança operacional.

1.2 Justificativa

Um pavimento aeroportuário deve, na medida do possível, apresentar adequado desempenho e durabilidade, reduzir custos socioeconômicos e incrementar a segurança das operações aéreas, em solo ou no lado ar. Em função disso e com o crescimento do tráfego aéreo e o desenvolvimento de aeronaves mais pesadas, os pavimentos aeroportuários exigem frequentes atividades de M&R.

Diante disso, destaca-se a importância das atividades de M&R para prolongar o desempenho e a vida útil do pavimento e para prover uma maior segurança operacional. É compreensível, então, que exista atenção com os recursos financeiros dispensados para manter o nível de serviço do pavimento ao longo de sua vida útil e com os respectivos impactos gerados por essas atividades. Entretanto, os custos financeiros associados às ações de M&R realizadas durante a vida útil do pavimento e os custos aos usuários, causados por estas intervenções, geralmente não são considerados no processo de tomada de decisão (HEUVINCK, 2015).

A ACCV se apresenta como um método útil para avaliar a viabilidade econômica de diferentes alternativas de investimento em pavimentos. Esse tipo de análise se baseia em princípios econômicos que permitem definir a praticabilidade econômica da construção e das intervenções realizadas no pavimento ao longo do seu ciclo de vida.

O uso de análises que considerem toda a vida útil do pavimento vem recebendo notoriedade no processo de tomada de decisões (ABREU *et al.*, 2019). Contudo, para pavimentos aeroportuários estes tipos de estudos ainda são pouco explorados e, de modo geral, limitam-se à comparação e decisão entre diferentes tipos de pavimentação. Esse cenário também foi percebido por Santero *et al.* (2011) que recomendaram aplicações mais diversificadas dessas análises, quando aplicadas à pavimentação, como comparação de técnicas de M&R e otimização da vida útil do projeto. Pittenger (2011) considera, ainda, que poucas pesquisas foram realizadas para auxiliar os operadores de aeródromos na investigação e na redução dos impactos socioambientais e econômicos das atividades de M&R dos pavimentos aeroportuários.

Nessa lógica, é importante evidenciar que uma ACCV é um importante instrumento do Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), entretanto, nem sempre é aplicada. Do mesmo modo, um SGPA adequado contribui para as ACCV, pois deve amparar o processo de avaliação da condição atual e previsão da condição futura do pavimento. Além disso, um SGPA associado à uma análise de custos a longo prazo pode apoiar a tomada de decisão dos operadores de aeródromo, pois dedica-se a manter a segurança operacional e a

reduzir custos financeiros, avaliando as alternativas e determinando o momento ideal para realização das atividades de M&R e aplicação dos recursos (ANAC, 2017, FAA, 2014).

Diante disso, é pertinente a realização de uma análise econômica que considere o desempenho dos pavimentos aeroportuários, assim como os recursos financeiros dispensados ao longo de sua vida útil, seja em atividades de construção ou de M&R. Dessa forma, busca-se garantir o nível de serviço e desempenho, a segurança das operações aeroportuárias e, como consequência, a gestão eficaz dos recursos disponíveis.

1.3 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo principal deste trabalho é analisar diferentes estratégias de manutenção e reabilitação (M&R), para um pavimento aeroportuário, com uma Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV).

Podem ser citados como objetivos específicos:

- a) Comparar os custos do ciclo de vida ocasionados por diferentes estratégias de M&R do pavimento, para os operadores do aeródromo;
- b) Analisar o desempenho funcional do pavimento, por meio de sua irregularidade longitudinal, para diferentes alternativas e sequências de atividades de M&R do pavimento.
- c) Investigar a relevância das atividades de M&R e sua influência nas despesas geradas ao longo do ciclo de vida do pavimento;

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório o segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que aborda os principais conceitos relacionados ao assunto e que são relevantes para o entendimento do trabalho. O terceiro capítulo descreve os métodos utilizados para obtenção de dados e seu processo de análise. Os resultados obtidos, assim como a análise e discussão destes, estão apresentados no quarto capítulo. O quinto capítulo, por fim, apresenta as principais conclusões desta pesquisa e expressa recomendações para futuros trabalhos relacionados ao tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo expor uma revisão bibliográfica de trabalhos que abordam a Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e a otimização de estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) em pavimentos, com foco em aplicações em pavimento aeroportuário.

2.1 Pavimentos aeroportuários

Segundo Bernucci *et al.* (2010), pavimento é uma estrutura destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego e do clima e que propicia aos usuários condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Expandindo essa definição, pavimento aeroportuário seria toda infraestrutura de suporte e rolamento de um aeródromo que em sua funcionalidade permite as operações aeroportuárias de forma segura e fornece estrutura adequada às cargas impostas pelas aeronaves.

Os pavimentos aeroportuários são responsáveis por grande parcela dos investimentos financeiros e recursos materiais dispensados pelo operador do aeródromo e, além disso, desempenham um papel importante, uma vez que sua condição e desempenho são características que influenciam a segurança operacional. Essas infraestruturas, entretanto, quando comparadas aos pavimentos rodoviários, apresentam algumas particularidades que podem justificar a necessidade de se fazer considerações especiais no momento de projetar, construir e manter.

Para Medina e Motta (2005), as diferenças entre os pavimentos rodoviários e os pavimentos aeroportuários são consideráveis, sobretudo no que se refere às características geométricas e tipo do tráfego. No entanto, elas vão além das dimensões da faixa de rolamento e da magnitude das solicitações do tráfego e podem inclusive apoiar a escolha pela utilização de materiais e especificações de maior qualidade para as camadas do pavimento aeroportuário (HUANG, 2004).

Na visão de Ramos (2015), os pavimentos aeroportuários também se distinguem dos rodoviários pelo número de repetições e pela maneira que o pavimento é solicitado pelos esforços gerados com o impacto do pouso, que não ocorre em rodovias. Complementando essa percepção, outra distinção a ser feita é a necessidade de verificar o desempenho do pavimento como medida essencial para garantia da segurança das operações de pouso, decolagem e taxiamento. Dessa forma, Ramos (2015) afirma que uma característica dos pavimentos em

aeródromos é o maior nível de exigência e controle, tanto na execução quanto na manutenção destes, para a garantia de desempenho funcional e estrutural da superfície.

2.2 Manutenção em pavimentos aeroportuários

Os materiais que compõem o pavimento, no decorrer de sua vida útil, sofrem degradações que comprometem as propriedades mecânicas das camadas constituintes. Sendo assim, a manutenção é o conjunto de operações destinado a preservar ou elevar as condições de desempenho do pavimento. Para Chen *et al.*, (2017), manutenção é toda atividade que pode manter ou restaurar a usabilidade do pavimento. Sob a mesma perspectiva, essas atividades podem ser definidas como aquelas destinadas a reparar danos, retardar falhas e prolongar a vida útil do pavimento (WANG; WANG, 2017).

A degradação dos pavimentos causada pelas condições climáticas e ambientais, pela ação do tempo e do tráfego ou por atividades inadequadas de manutenção é um dos fatores contribuintes para as ocorrências de incidentes e acidentes envolvendo aeronaves (OLIVEIRA, 2009). Tendo em vista a segurança das operações, a ANAC (2019) define parâmetros de operação e manutenção e determina que o operador do aeródromo deve instituir e implementar um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para a infraestrutura aeroportuária. As manutenções devem fornecer ao pavimento condições físicas e operacionais necessárias para o cumprimento dos padrões estabelecidos. O sistema deve, também, conter processos contínuos de monitoramento e manutenções, sejam preventivas ou corretivas.

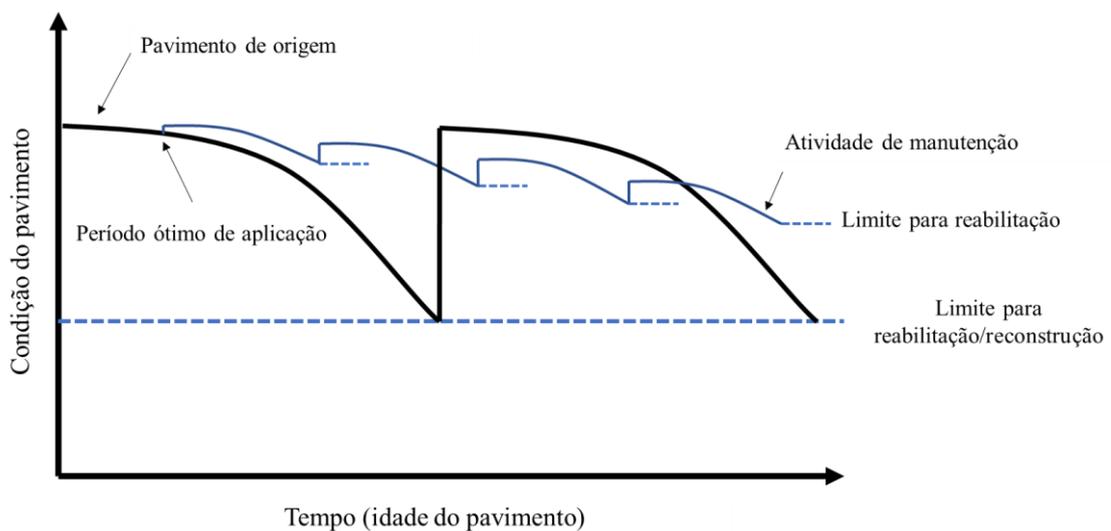
Ainda conforme a ANAC (2019), a manutenção das áreas pavimentadas dos aeroportos visa à resistência à derrapagem, ao controle direcional das aeronaves e à integridade dos equipamentos aeronáuticos. Entre as exigências estabelecidas estão a avaliação estrutural e funcional do pavimento, dos defeitos, dos desníveis, da irregularidade longitudinal, do atrito, da macrotextura e do acúmulo de borracha. Além disso, os pavimentos aeroportuários exigem elevada integridade da superfície devido à possibilidade de danos causados por objetos estranhos e a necessidade de elevada aderência está relacionada à frenagem das aeronaves e, conseqüentemente, à segurança das operações de pouso e decolagem.

À vista disso, é notável que a garantia do desempenho superficial das infraestruturas aeroportuárias está intrinsecamente relacionada à segurança das operações. Entretanto, há de se destacar que a decisão pela conservação do sistema de pavimentos aeroportuários é dificultada por fatores externos, como a disponibilidade de recursos, dado que as intervenções demandam, geralmente, altos custos e os recursos, por sua vez, em diversas ocasiões se mostram

insuficientes (OLIVEIRA, 2009; GRANSBERG; PITTENGER, 2015; SOUZA; DE ALMEIDA FILHO, 2020).

Para a FAA (2014), um programa eficaz de preservação de pavimentos trata os pavimentos enquanto eles ainda estão em condições adequadas e antes que ocorram danos graves. Ainda segundo FAA (2014), ao aplicar um tratamento no momento apropriado, a condição do pavimento é melhorada e, dessa forma, tratamentos de preservação sistemáticos e sucessivos minimizam a necessidade de reparos dispendiosos no futuro. A Figura 1 ilustra o conceito de preservação do pavimento ao longo de sua vida útil, segundo a FAA (2014).

Figura 1 – Condição do pavimento ao longo de sua vida útil

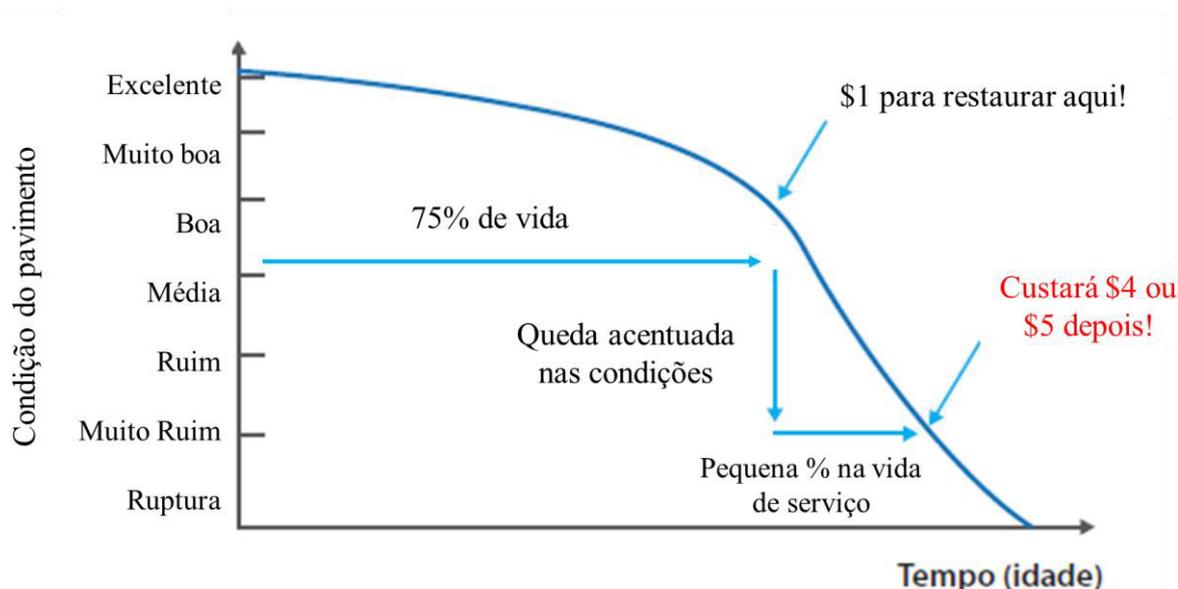


Fonte: Adaptado de FAA (2014)

Com o gráfico apresentado na Figura 1 nota-se a correlação entre o decréscimo da condição do pavimento e o tempo. Assim, em algum momento o pavimento deverá receber uma reabilitação que retome, da melhor maneira possível, o nível de serviço inicial; enquanto as atividades de manutenção se destinam a restaurar a condição geral da infraestrutura, mesmo que não agreguem capacidade e valor estrutural.

O mesmo pensamento é corroborado por Shahin (2005) que correlaciona o custo relacionado as atividades de M&R à idade e à condição do pavimento, assim, o atraso nos serviços de manutenção pode levar à imposição de vultosos dispêndios com a restauração do pavimento, da ordem de quatro ou cinco vezes mais onerosos, como apresenta a Figura 2.

Figura 2 – Condição do pavimento x tempo



Fonte: Adaptado de Shahin (2005)

O gráfico da Figura 2 esclarece, também, o ponto de vista de Wells e Young (2004) de que durante os 75% iniciais de sua vida, o desempenho dos pavimentos é relativamente estável. Assim, os SGP devem se preocupar com a previsão dos 75% de vida útil do pavimento, pois é após o alcance dos 25% restantes que o pavimento começa a deteriorar-se mais aceleradamente e notavelmente, sendo necessário evitar sua degradação completa.

Com as considerações de Shahin (2005) e de FAA (2014), pode-se inferir que, de maneira geral, a condição do pavimento no momento de aplicação de manutenções influencia no custo total do ciclo de vida do pavimento e, também, na eficácia do tratamento. Labi e Sinha (2005) avaliaram a efetividade-custo de procedimentos de manutenção preventiva em pavimentos rodoviários; a eficácia das intervenções foi avaliada pelo aumento na vida útil restante do pavimento comparado a opção de não se realizar atividade de manutenção. Os resultados mostraram que a manutenção preventiva eleva a razão efetividade-custo, mas somente até um certo ponto, quando a partir dele há redução na relação, principalmente pelo aumento do custo total para manter o pavimento.

A não realização ou o atraso das atividades de manutenção nos pavimentos, além de implicar em custos diretos mais elevados, podem elevar os custos socioambientais e exigir intervenções maiores que afetam mais significativamente as operações aéreas. Dessa forma, a manutenção preventiva é uma solução promissora para a redução dos custos com manutenção e para o aumento da vida útil dos pavimentos (SIMÕES; ALMEIDA-COSTA; BENTA, 2017).

Ding, Sun e Chen (2013) compararam três estratégias de manutenção sob a ótica da ACCV em uma seção de autoestrada: (i) apenas manutenção de rotina, (ii) manutenção após dano perceptível e (iii) aplicação de manutenções preventivas; os autores verificaram que, para quaisquer que sejam as intervenções preventivas realizadas, estas são superiores em relação ao custo-benefício do ciclo de vida do pavimento.

No entanto, o efeito do momento de aplicação e da condição dos pavimentos nos custos do ciclo de vida ainda não foi explorado adequadamente, ademais, quando se fala de abordagens em pavimentos aeroportuários as pesquisas são ainda mais escassas (RAHMAN; TAREFDER, 2012; TAREFDER; RAHMAN, 2016). Hein e Aho (2011) realizaram uma comparação simples entre cenários de manutenção em pavimento aeroportuário, um envolvendo a realização de manutenções preventivas e outro apenas com reabilitação. A alternativa com manutenção preventiva resultou em uma economia considerável de recursos, ratificando o que FAA (2014) preconiza.

Em seus estudos, Tarefder e Rahman (2016) compararam soluções de manutenção em pavimento aeroportuário com base no *Pavement Condition Index* (PCI) e no *Structural Condition Index* (SCI), que analisam respectivamente a condição funcional e estrutural do pavimento. Eles notaram que aeroportos com PCI inicial mais alto - ou seja, com condições funcionais melhores - possuem custos de ciclo de vida menores, para diferentes soluções de manutenção. Desse modo, adiar ou não reparar os pavimentos podem ocasionar custos elevados com reconstrução e, mais criticamente, uma interrupção nas operações do aeródromo (PITTENGER, 2011).

2.3 Irregularidade Longitudinal em pavimentos aeroportuários

Vários indicadores relacionados à condição superficial do pavimento estão disponíveis para avaliação de seu desempenho ou serventia, podendo também ser utilizados para revelar a eficácia de uma atividade de M&R, um desses indicadores é a irregularidade longitudinal. A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros mais importantes na avaliação funcional de pavimentos, pois influencia na qualidade de rolamento e nos custos de transporte.

Em relação à ACCV, a irregularidade longitudinal é um parâmetro comumente utilizado para indicar e analisar o custo e o benefício em relação às M&R em pavimentos rodoviários (CHEN *et al.*, 2017), em razão de sua relação com a qualidade do rolamento e também com os custos operacionais dos veículos e custos relacionados ao tempo e conforto das viagens. Isso também se deve ao fato de a irregularidade longitudinal ser considerada um

parâmetro diretriz (ou básico) da superfície dos pavimentos e, segundo Durán (2015), é o parâmetro que melhor se correlaciona com o custo operacional dos veículos, o conforto, a segurança, a velocidade, a economia das viagens e a drenagem dos revestimentos.

De acordo com Bernucci et al. (2010), a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios verticais do perfil longitudinal do pavimento em relação ao plano superficial de referência de projeto. A mensuração da irregularidade longitudinal tem grande relevância dentro do sistema decisório dos SGP, influenciando na tomada de decisão de M&R, pois o perfil longitudinal do pavimento é relacionado aos seus quatro principais parâmetros funcionais (economia, rapidez, segurança e conforto). Assim, a irregularidade longitudinal demonstra as condições gerais da superfície ocasionadas por um conjunto de defeitos do pavimento.

A análise da irregularidade longitudinal em pavimentos aeroportuários, entretanto, é distinta do pavimento rodoviário, sobretudo pois o desconforto do passageiro não é significativo (EMERY; HEFER; HORAK, 2015) e, por outro lado, há preocupação com o desconforto ocasionado pela aceleração vertical excessiva na cabine do piloto, o que pode prejudicar a leitura dos equipamentos aeronáuticos. Nesse sentido, nas operações aeroportuárias, a segurança é mais relevante do que o conforto dos passageiros, pois as irregularidades podem provocar incidentes ou acidentes devido, por exemplo, ao aumento da distância de parada em operações emergenciais (*rejected takeoff*) e a danos nos trens de pouso ou na estrutura da aeronave.

A análise da irregularidade longitudinal do pavimento auxilia na determinação de seções com níveis excessivos de desvios verticais, capazes de prejudicar a segurança das operações em solo, causar danos ou aumentar a fadiga estrutural de uma aeronave (ACRP, 2011), oferecendo, portanto, informações relevantes aos operadores de aeródromos, podendo levar a decisões por ações de manutenção (LOPRENCIPE; ZOCCALI, 2017).

A frequência para medição e o limite de aceitabilidade da irregularidade longitudinal nos aeródromos são definidos pelos órgãos reguladores de cada país. No caso do Brasil, a ANAC (2019) define que a irregularidade longitudinal das pistas de pouso e decolagem (PPD) seja monitorada por valores expressos na escala do Índice Internacional de Irregularidade (*International Roughness Index - IRI*). A frequência mínima para a medição da irregularidade longitudinal é determinada em função do número de operações de pouso do aeródromo, em periodicidades que variam de 12 a 36 meses (Tabela 1). O limite de aceitabilidade adotado no Brasil é o valor de IRI igual a 2,5m/km reportados a cada 200m, para as PPD, e o levantamento deve ser feito a 3m e a 6m do eixo, uma vez a cada lado (Tabela 2). Não há exigência ou recomendação expressa quanto ao levantamento da irregularidade nas pistas de taxiamento.

Tabela 1 - Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal

Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano	Frequência de medição do IRI
Menos de 15	Cada 36 meses
16 a 30	Cada 24 meses
31 a 90	Cada 24 meses
91 a 150	Cada 18 meses
151 a 210	Cada 12 meses
Mais de 210	Cada 12 meses

Fonte: Adaptado de ANAC (2019)

Tabela 2 - Localização das medições de irregularidade longitudinal

Letra do código	Localização da medição	Quantidade mínima
A, B ou C	A 3m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista
D, E ou F	A 3m e 6m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista, para cada distância da coluna

Fonte: Adaptado de ANAC (2019)

Para permitir a análise do perfil longitudinal de pavimentos aeroportuários a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration - FAA*) desenvolveu o *software* ProFAA. O dado de entrada do programa é a elevação dos pontos de um perfil longitudinal que devem ter, necessariamente, espaçamento longitudinal constante. Além da determinação dos valores dos índices de avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento, tais como: *Straightedge*, *Boeing Bump Index (BBI)*, *IRI*, *California Profilograph (PI)* e *RMS Bandpass*; o programa também é capaz de simular a resposta dinâmica de aeronaves comerciais às irregularidades do pavimento. Entretanto, o *software* apresenta limitações, como a consideração de aeronaves que não estão mais em operação, sendo necessário configurar as informações relativas aos trens de pouso e/ou Peso Máximo de Decolagem (PMD) para que seja possível fazer analogias com aeronaves atualmente em operação. O ProFAA exibe, para cada índice calculado, os valores do índice ao longo do perfil e apresenta esses valores para seções com dimensões definidas pelo usuário.

A irregularidade longitudinal, reconhecidamente, influencia os custos dos usuários e gestores dos pavimentos. Para avaliar essa influência ao longo do ciclo de vida do pavimento Molz *et al.* (2020) utilizaram modelos propostos pelo *software* HDM- 4, analisando três diferentes valores de IRI máximo admissível. O aumento do limite de aceitabilidade reduziu o custo dos gestores com as atividades de manutenção e os custos totais, porém os custos dos usuários elevaram-se.

Para avaliar a sustentabilidade de alternativas de manutenção superficial em pavimento rígido, Zhang, Keoleian e Lepech (2008) realizaram uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) integrada a uma ACCV. O consumo de material, o congestionamento causado pelas atividades de construção e os efeitos da irregularidade causados pela deterioração do pavimento foram identificados como os três fatores dominantes que influenciam os impactos ambientais e os custos totais. Em contrapartida, ao correlacionar dados de IRI e taxas de acidentes em aeródromos do Novo México, para estimativa dos custos com acidentes, Rahman e Tarefder (2012) identificaram que, para os casos avaliados, os acidentes dependem mais da operação anual e do comprimento da pista do que da irregularidade do pavimento. Dessa forma, infere-se que o impacto da irregularidade longitudinal nos custos com manutenções e custos dos usuários pode ser distinto em pavimentos rodoviários e aeroportuários.

2.4 Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA

O Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) tem como um dos seus objetivos a melhoria contínua do nível de serviço e a segurança da infraestrutura aeroportuária a partir da otimização e gerenciamento eficaz dos recursos disponíveis para as atividades de M&R (ANAC, 2017).

O SGPA se relaciona diretamente com a tomada de decisão do operador do aeródromo, sobretudo pois as escolhas estão associadas a recursos financeiros escassos e medidas de M&R periodicamente necessárias. Segundo Hein e Aho (2011) um programa de manutenção para pavimentos aeroportuários bem-sucedido não se realiza sem o suporte de recursos associados aos SGPA, como a avaliação das condições do pavimento e a identificação e priorização dos tratamentos de conservação. Entretanto, o SGPA deve não apenas priorizar as áreas de reparo, mas também deve fornecer uma solução econômica para aumentar sua vida útil (IRFAN *et al.*, 2015).

O gerenciamento adequado dos pavimentos aeroportuários pode colaborar na estimativa de custos decorrentes das ações de M&R dos pavimentos, além de recomendar estas ações. Para Durán (2015), contudo, para que o SGPA possa efetivamente atuar como auxiliador na tomada de decisão é importante que o sistema seja coerente e avalie vários cenários de estratégias e alternativas que sejam condizentes com a condição real. Para isso, então, é necessário, também, que o SGPA esteja pautado em um constante e consistente banco de dados que permita a avaliação atual dos pavimentos e auxilie na previsão das condições futuras da infraestrutura.

Nesse sentido, a FAA (2014) considera que o SGPA não deve estar limitado à avaliação da condição atual do pavimento, mas deve também auxiliar na previsão da sua condição futura, com base em indicadores adequados. Vale destacar que um modelo de deterioração adequado uma análise de custo de ciclo de vida permite a determinação do momento ideal de aplicação da estratégia de M&R escolhida, evitando custos mais elevados no futuro (FAA, 2014).

O processo decisório de um SGPA pode ser considerado em nível de rede e em nível de projeto. Durán (2015) define como gerência em nível de rede o sistema que se relaciona com as necessidades orçamentárias de curto, médio ou longo prazo. O nível de rede preocupa-se com a escolha da melhor estratégia - ou seja, na seleção da atividade e da periodicidade de execução dos serviços de M&R mais apropriadas. Portanto, o gerenciamento em nível de rede exerce um importante papel no apoio às políticas de gestão por parte dos responsáveis financeiros do aeródromo, sendo o nível mais importante para as ACCV.

Além de avaliar a condição atual e futura do pavimento e auxiliar na determinação da estratégia viável de M&R - por meio da consideração das restrições orçamentárias e monitoramento das condições da rede pavimentada - o SGPA deve reconhecer o impacto no pavimento se nenhum reparo for realizado, levando em consideração sua habilidade de realizar uma ACCV para as diversas alternativas de M&R disponíveis (FAA, 2014).

2.5 Análise do Custo do Ciclo de Vida - ACCV

No processo de gerenciamento de pavimentos é comum a necessidade de se avaliar e comparar diferentes alternativas para um projeto de construção, manutenção ou reabilitação. Nesta lógica, é de interesse dos gestores ter a acesso a formas imparciais e justas de avaliação das diferentes estratégias disponíveis e que esteja alinhada com os recursos disponíveis. Para Lamptey *et al.* (2005), este cenário favoreceu a busca, por parte dos administradores de rodovias, por ferramentas que auxiliem na tomada de decisão e que sejam pautadas em conceitos operacionais e econômicos para identificar um investimento adequado a longo prazo.

A Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV) é um procedimento de análise de alternativas de investimento fundamentado em princípios de Engenharia Econômica que avalia a efetividade econômica a longo prazo. Dessa maneira, a ACCV auxilia na identificação da alternativa de construção ou de M&R com menor custo ao longo de um ciclo de vida que satisfaça o objetivo de desempenho inicialmente planejado (WALLS; SMITH, 1998).

Os gestores de pavimentos, sejam rodoviários ou aeroportuários, frequentemente enfrentam limitações de financiamento e os recursos técnicos e humanos também não estão sempre disponíveis. Isto posto, os gestores buscam maneiras para identificar práticas econômicas de preservação de seus pavimentos e de seu nível de serviço (KHURSHID; IRFAN; LABI, 2011; IRFAN *et al.*, 2009).

A ACCV de um pavimento deve considerar, na medida do possível, todos os custos significativos relacionados à construção, manutenção, reabilitação e operações ao longo dos períodos de análise (XU; TSAI, 2012). Além disso, segundo Karnikowski (2019), a análise pode ser usada para demonstrar o comprometimento dos gestores com a administração adequada e para tornar o processo analítico mais transparente e eficiente. A contribuição desse tipo de análise está além da identificação das alternativas economicamente mais viáveis, pois, também, colabora para a alocação adequada de recursos, sejam eles econômicos, humanos ou técnicos – dado um contexto de aplicação – favorecendo a compreensão dos fatores que influenciam a relação de viabilidade financeira e eficácia de desempenho.

2.5.1 Custos considerados para a análise

Walls e Smith (1998) determinaram que a periodicidade e tipos de atividades de manutenção, assim como o desempenho dos pavimentos antes e após as intervenções e os custos considerados são pontos de consideração essenciais na ACCV. Santos (2011) considera que a ACCV consiste, basicamente, na definição dos custos ao longo do ciclo de vida de um pavimento.

Existem duas categorias distintas de custos, os custos das agências (ou gestores) - expressos como os custos com construção inicial e com M&R – e os custos dos usuários ou custos sociais – expressos como os custos operacionais dos veículos (que incluem o consumo de combustível, óleo, reparo e substituição dos pneus, manutenção e reparação de veículos), custo relacionado ao tempo, desconforto e custos/riscos de acidentes. Estudos de Zhang, Keoleian e Lepech (2008) e Han e Do (2015) definem, ainda, uma outra categoria de custos, os custos ambientais.

Os custos relacionados às atividades de M&R, normalmente, compreendem uma considerável parte dos custos do ciclo de vida de um pavimento. Entretanto, incorporá-los na análise pode ser um processo complexo, pois envolve a previsão do desempenho dos pavimentos e da disponibilidade de recursos para realização das atividades de M&R. Em relação aos custos dos usuários, que também têm definição complexa, poucos estudos

estabelecem conceitos e métodos para a estimativa de custos do usuário (KHURSHID; IRFAN; LABI, 2009).

No caso dos pavimentos aeroportuários os custos dos usuários também são de difícil estimativa, entretanto, esses custos certamente serão adotados pelos usuários na forma de taxas, impostos, preço de passagens, quantidade disponível de poltronas, possibilidade ou não de fazer upgrades em voos, entre outros.

Khurshid, Irfan e Labi (2009), inclusive, afirmam que existe certo pensamento que considera que a melhor maneira de expressar os custos dos usuários seja qualitativamente, pois estes custos seriam, na verdade, o benefício advindo da redução nos impactos aos usuários em relação a uma alternativa que não realiza atividades de M&R. Em contrapartida, é notório que os custos dos usuários representam uma grande parcela dos custos do ciclo de vida e sua determinação influencia os resultados das ACCV (WALLS; SMITH, 1998; ZHANG; KEOLEIAN; LEPECH, 2008; KHURSHID; IRFAN; LABI, 2009), sendo relevante para geração de resultados mais confiáveis.

A ACCV pode ainda avaliar o valor residual dos pavimentos ao fim do ciclo de vida. O valor residual é o valor remanescente de um investimento ao final do período de análise, sendo normalmente considerado como um custo negativo. Amini *et al.* (2012) recomendam sua composição em duas partes: valor residual e vida útil. O valor residual é o valor líquido do pavimento (ou seja, quanto ainda vale), comumente não considerado em análises ACCV, pois tem efeito pouco significativo sobre os custos do ciclo de vida quando descontado ao longo do período de análise. Já a vida útil compõe a parte principal do valor residual e se refere à vida útil restante do pavimento no final do período de análise (WALLS; SMITH, 1998).

De maneira geral, quanto mais elaboradas e abrangentes, melhores serão os resultados oferecidos pelas ACCV aos tomadores de decisão que visam a alocação adequada dos recursos para sua infraestrutura.

Vale ressaltar, no entanto, que, de acordo com Walls e Smith (1998), as ACCV normalmente assumem que todas as alternativas analisadas fornecem níveis semelhantes de serviço. Assim, a seleção é fundamentada na opção que minimiza os custos, pois os benefícios das alternativas avaliadas são semelhantes. Contraditoriamente, o benefício funcional para diferentes estratégias de M&R e seus respectivos serviços e períodos de aplicação nem sempre é o mesmo, dessa forma, segundo Tarefder e Rahman (2016), é necessário incluir uma análise do desempenho do pavimento para cada alternativa.

2.5.2 Métodos de análise de viabilidade econômica

Para comparar o desempenho econômico entre as alternativas existentes alguns métodos que se fundamentam em conceitos de Engenharia Econômica estão disponíveis para os tomadores de decisão. Pode-se citar o Valor Presente Líquido (VPL), o Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), a Relação Benefício-Custo (RBC) e a Análise Efetividade-Custo (AEC). Dentre esses métodos, o do VPL é o mais utilizado e, também, o mais recomendado para ACCV em pavimentos segundo alguns autores, como Walls e Smith (1998) e Babashamsi *et al.* (2016). A análise de custos associada a análise de efetividade-custo ou benefício-custo é essencial para o apoio à tomada de decisão dentro de um SGP.

O método do VPL consiste na conversão para valores presentes de todos os benefícios e custos previstos para ocorrer ao longo do horizonte de projeto. O VPL pode ser usado não somente para avaliação de projetos individualmente, mas também para comparação entre alternativas, que podem amparar o processo decisório e indicar as soluções economicamente mais viáveis. Santos (2011) destaca que método do VPL apresenta a vantagem de ser direto e de fácil interpretação. O VPL pode ser calculado pela Equação 1.

$$VPL = \sum_{n=1}^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

FC_n = Fluxo de Caixa relativo ao período;

i = taxa de desconto;

n = período da análise.

O VAEU representa o valor atual líquido de todos os custos de uma alternativa como se ocorressem uniformemente durante todo o período de análise (WALLS; SMITH, 1998). O método é relacionado ao VPL e é uma opção frequente para projetos de pavimentação, pois, comumente, os orçamentos de manutenção do pavimento são estabelecidos dentro de um único ano fiscal (SANTOS, 2011; PITTENGER, 2011). O VAEU pode ser calculado pela Equação 2.

$$VAEU = VPL \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

Onde:

VAEU = Valor Anual Equivalente Uniforme

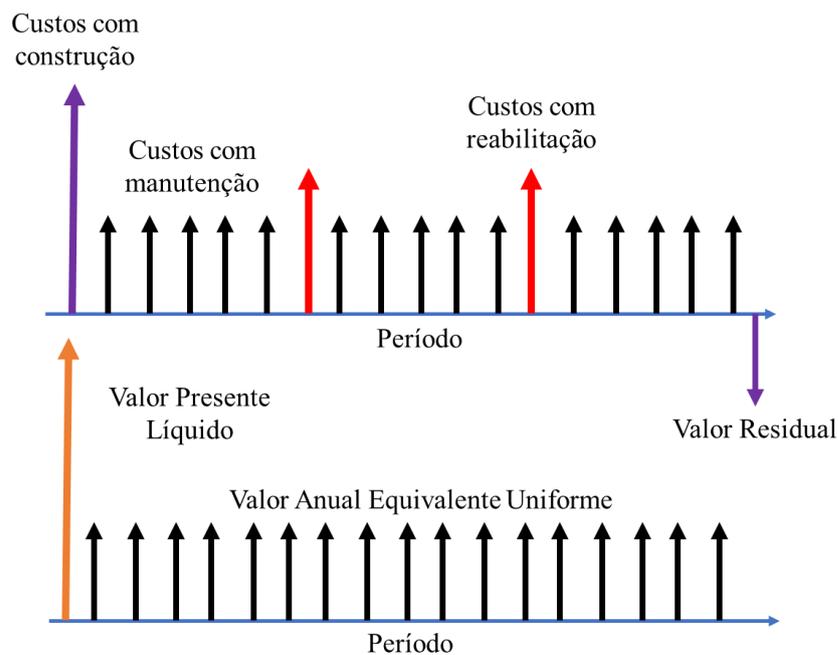
VPL = Valor Presente Líquido

i = taxa de desconto

n = período da análise

Fluxo de caixa é o registro da movimentação financeira, considerando as entradas e saídas monetárias durante um determinado período. A Figura 3 apresenta a ocorrência dos custos de construção e M&R de um pavimento ao longo do período de análise e o VPL e VAEU que representariam esses custos.

Figura 3 – Diagramas de Fluxo de Caixa e análises VPL e VAEU



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

O método da RBC trata da razão entre os valores dos benefícios e das despesas referentes a uma alternativa, esse método é útil para quantificar os benefícios associados aos custos dos usuários e podem até mesmo incluir o valor da economia no tempo de viagem, da redução de gases de efeito estufa e contaminantes do ar e das melhorias na segurança do tráfego. A análise de benefício-custo do ciclo de vida do pavimento atribui valores monetários a todos os benefícios do projeto, sejam eles sociais, ambientais ou financeiros, entretanto, segundo Babashamsi *et al.*, o processo de monetização é questionável para alguns aspectos intangíveis

e há complexidade em quantificar os diversos tipos de custos ambientais e benefícios. A relação pode ser calculada a partir da Equação 3.

$$RBC = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{B_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^n \frac{C_n}{(1+i)^n}} \quad (3)$$

Onde:

RBC = Relação Custo-benefício;

C_n = Custo relativo ao período;

B_n = Benefício relativo ao período;

i = taxa de desconto;

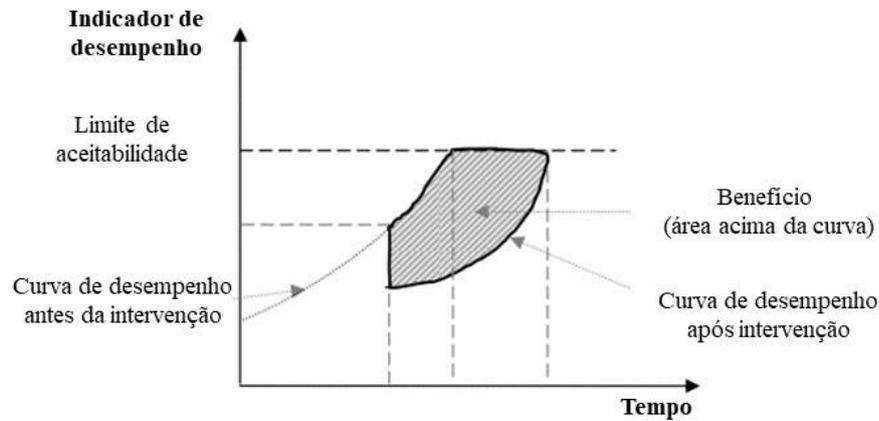
n = período da análise.

A AEC também é um método utilizado para estimar os benefícios de uma avaliação de ciclo de vida de pavimentos, entretanto, ao contrário da RBC, a REC considera os benefícios como parâmetros não mensuráveis monetariamente e pode avaliar a eficácia a longo prazo das intervenções nos pavimentos.

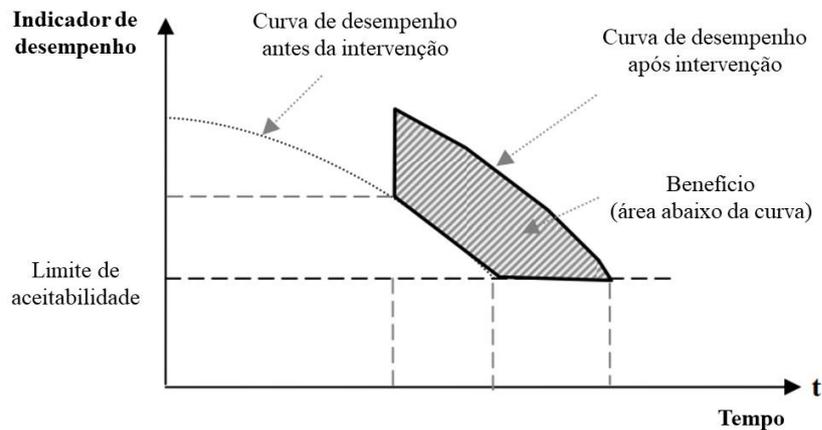
Para Haider e Dwaikat (2011) a avaliação da efetividade das atividades de manutenção deve ser parte integrante dos processos de análise de M&R de pavimentos. A efetividade das manutenções pode ser verificada a curto e a longo prazo, porém, em ambos os casos a escolha de um indicador de desempenho apropriado é uma etapa fundamental que apoiará o modelo de desempenho e a análise da eficácia dos tratamentos (KHURSHID; IRFAN; LABI, 2011). Entre as opções para avaliação da efetividade a curto prazo, Haider e Dwaikat (2011) destacam o salto imediato no desempenho e a redução da taxa de deterioração do pavimento. Já para a determinação da efetividade a longo prazo, os autores destacam o aumento na condição média do pavimento e a área delimitada pela curva de desempenho.

A área delimitada pela curva de desempenho e pela linha de limite de aceitabilidade estabelecida para o indicador de desempenho do pavimento se sobressai em relação aos outros procedimentos, pois, de acordo com Khurshid, Irfan e Labi (2011) é um método capaz de auxiliar na comparação dos benefícios das manutenções. A Figura 4 ilustra este conceito.

Figura 4 - Área delimitada pela curva de desempenho para estimativa do benefício das manutenções



(a) Para indicadores de desempenho "crescentes" (por exemplo: IRI)



(b) Para indicadores de desempenho "decrescentes" (por exemplo, PCI)

Fonte: Adaptado de Khurshid, Irfan e Labi (2011).

O conceito apresentado na Figura 4 colabora para a interpretação de que um desempenho superior por um período mais longo fornece mais benefícios em comparação a um desempenho inferior durante um período mais curto. A AEC é um método bastante adequado para ACCV em pavimentos aeroportuários, pois os benefícios de uma infraestrutura bem conservada são numerosos e podem ser difíceis de quantificar em termos monetários.

2.5.3 Limitações e incertezas da ACCV em pavimentos

As análises de ciclo de vida, como as ACV e ACCV, são influenciadas pela capacidade do SGP de estimar as condições futuras do pavimento. No entanto, esta previsão depende da escolha do modelo de previsão e dos dados de entrada, tal como da estimativa de tráfego (CHOOTINAN et al., 2006). As ACCV, mais especificamente, são influenciadas pela

estimativa dos custos, pela taxa de desconto e período de análise (CHEN; FLINTSCH, 2007; PITTENGER et al., 2012). Pode-se citar, também, para os pavimentos aeroportuários, as influências quanto à configuração e capacidade estrutural do pavimento, ao histórico de M&R, à priorização adotada para as seções do pavimento, ao indicador de avaliação, à quantidade de pousos e decolagens e à configuração dos trens de pouso das aeronaves. A alta variabilidade dos dados de entrada da análise podem contribuir para a diminuição da confiabilidade dos resultados, ocasionada pela incerteza das previsões. Por consequência, as incertezas devem ser consideradas em análises que visam a tomada de decisão.

Segundo Tighe (2001), as incertezas das ACCV vão além das estimativas e previsões dos dados e, também, estão relacionadas à aleatoriedade - ou seja, variação e frequência dos valores observados - e à possível omissão de variáveis devido à limitação de dados. Para Chen e Flintsch (2007), uma maneira de avaliar o risco da incerteza das variáveis da análise é a abordagem probabilística.

A abordagem estocástica permite uma quantificação mais adequada das incertezas associadas à seleção de M&R do pavimento e contribui para a validação dos resultados. Há ainda a possibilidade da realização de uma análise de sensibilidade quando a abordagem determinística é empregada, algo que já foi considerado por diversos autores, principalmente em relação à variação da taxa de desconto (PITTENGER *et al.*, 2012; FERREIRA; SANTOS, 2012; WHITE; KITCHEN, 2019), ao nível de aceitabilidade do índice de condição do pavimento (TIGUE *et al.*, 2004), à variação do tráfego (ZHANG; LEPECH, 2008; KHURSHID; IRFAN; LABI, 2011), à consideração dos custos dos usuários (KHURSHID; IRFAN; LABI, 2009) e ao período de análise (PITTENGER, 2011). Entretanto, há de se destacar que ao contrário de uma abordagem probabilística, a análise de sensibilidade determinística não aborda todas as incertezas associadas à análise (PITTENGER *et al.*, 2012).

Lamprey, Labi e Li (2008) realizaram uma análise de sensibilidade para selecionar o tipo e a periodicidade de manutenções preventivas e observaram que a extensão da seção corrigida afeta significativamente a escolha do período de aplicação da intervenção, além do desempenho do pavimento ao longo do tempo. Os autores também perceberam que o pavimento apresentou melhor desempenho para alternativas com intervalos mais longos entre as intervenções, em comparação a intervalos mais curtos. Além disso, no que se refere aos custos, a taxa de desconto também influenciou na identificação da periodicidade ideal das intervenções.

Pittenger *et al.* (2012) julgam que a variabilidade e a incerteza quanto aos materiais de construção de pavimentos, tal como o concreto asfáltico, são elevadas e influenciam fortemente os resultados da ACCV, sendo assim, a abordagem estocástica seria o melhor

método a ser utilizado. Ainda sobre a variabilidade de dados, Dong e Huang (2012) analisaram a eficácia e a relação efetividade-custo de diferentes reabilitações de pavimento asfáltico e concluíram que o nível de tráfego, a irregularidade e sua taxa de progressão antes da reabilitação têm o mesmo efeito na relação efetividade-custo, enquanto a espessura da sobreposição e do fresamento têm efeitos diferentes, devido ao aumento de custos.

2.6 Análises de custos em pavimentos aeroportuários

Embora amplamente utilizada em pavimentos rodoviários, pavimentos urbanos e até mesmo pavimentos de pontes, a aplicação da ACCV em pavimentos aeroportuários ainda é escassa e recente (a maior parte dos estudos datam da última década), tanto na literatura nacional quanto na internacional.

De acordo com Irfan *et al.* (2015), a melhor forma de otimizar a alocação de recursos, para agências de transporte, é a priorização plurianual usando uma análise do incremento efetividade-custo. Entretanto este método raramente é implementado para redes de pavimentação em aeroportos. ACRP (2011) esclarece que alguns fatores que justificam isso é que, em aeroportos, as redes de pavimentação são menores, há uma maior importância de questões operacionais e existem limitações nos *softwares* de gerência de pavimentos.

Análises ACCV relacionadas à implantação de pavimentos aeroportuários parecem mais recorrentes quando comparadas a estudos de otimização de M&R. Nowak (2013) comparou, para a implantação de um pavimento aeroportuário, pavimentos do tipo rígido e flexível, e concluiu que, a longo prazo, o pavimento rígido tem custo menor, além de ocasionar menores impactos aos usuários. Das *et al.* (2015) chegaram a uma conclusão semelhante em relação aos custos envolvendo pavimentos aeroportuários rígidos e flexíveis. Entretanto, apesar de abordar os impactos aos usuários ocasionados pelas atividades de implantação e manutenção dos pavimentos, nenhum dos dois trabalhos determina estes impactos de forma monetária.

Heuvinck (2015) considera, entretanto, que ignorar os custos dos usuários pode levar a decisões de implantação equivocadas. O autor observou em seus estudos que os custos aos usuários representam cerca de 20% do custo total. Abreu *et al.* (2019), por outro lado, compararam a construção de um pavimento aeroportuário perpétuo (projetado para um longa vida útil) com a de um convencional, considerando os custos indiretos e uma taxa de desconto de 4% ao ano. O pavimento perpétuo apresentou uma redução de 18% nos custos indiretos, além de ter menores custos com M&R.

Tighe *et al.* (2004) identificaram a necessidade atual e futura de M&R em um pavimento aeroportuário com base em três diferentes conjuntos de níveis mínimos aceitáveis de PCI (*Pavement Condition Index*) - para a PPD, pistas de taxiamento e vias de serviço - e compararam as alternativas quanto ao custo do ciclo de vida. Verificou-se que os recursos financeiros necessários com as M&R são diretamente proporcionais ao nível de serviço, ou seja, quanto mais alto o nível mínimo aceitável de PCI maior o custo total com as atividades de M&R, o que é bastante compreensível.

Em seu trabalho Irfan *et al.* (2015) avaliaram quatro possibilidades de manutenção em uma PPD, incluindo a reconstrução, e os resultados não só identificam as áreas de manutenção a serem priorizadas e as atividades com menor custo, como também consideram as condições de superfície do pavimento, expressas na forma do *Pavement Condition Index* (PCI). Essa avaliação de efetividade-custo se propõe a fornecer uma solução econômica para aumentar a vida útil do pavimento, garantindo seu desempenho a longo prazo.

A utilização de modelos computacionais elaborados, tais como Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithm - GA*) para indicar sequências otimizadas de atividades de M&R em pavimentos aeroportuários vem sendo ampliada. Ling, Du e Yang (2013) desenvolveram uma metodologia para determinar sequências de otimização plurianual de M&R em pavimentos aeroportuários, por meio de uma abordagem com GA e com base em duas alternativas: recondicionamento e manutenção de rotina. O procedimento foi baseado em simulação de Monte Carlo para consideração das incertezas e, além disso, os autores consideram os efeitos do atraso nas operações causadas pelas atividades de M&R; por fim, concluem que modelos baseados em abordagens determinísticas não são confiáveis, sendo necessário tomar os efeitos da incerteza dos parâmetros na determinação das atividades de M&R.

Balinho do Ó e Picado Santos (2017) desenvolveram um algoritmo para apoiar o planejamento da manutenção de pavimentos aeroportuários, visando à minimização do custo total das atividades de manutenção para o período de análise. Os resultados são apresentados em um estudo numérico utilizando GA e comparados a uma solução exata. O estudo considerou nove alternativas de M&R, incluindo a não realização de reparo, e foi capaz de atingir um custo 74% menor em relação ao custo da alternativa inicial considerada.

As incertezas também são inerentes à determinação do custo do ciclo de vida dos pavimentos aeroportuários. Dessa forma, tentando incorporar a variabilidade dos dados em uma análise de custos, Pittenger (2011) analisou a influência da vida útil das atividades de manutenção no custo do ciclo de vida de um pavimento aeroportuário. O autor identificou, por exemplo, que, para a restauração do atrito da superfície da PPD, a seleção econômica entre

microrrevestimento, lama asfáltica e jateamento depende diretamente da vida útil esperada para cada tratamento. Assim, considerou que qualquer serviço poderia ser selecionado, a depender dos dados de entrada da análise.

Nesse sentido, Rahman e Tarefder (2012) realizaram uma análise probabilística de custos do ciclo de vida, para diferentes estratégias de M&R em pavimento aeroportuário para incorporar a variabilidade da taxa de desconto. Também foram considerados diferentes níveis de aceitabilidade do PCI, o que também influencia a análise ACCV. Entretanto, em todo caso, é mais eficaz aplicar uma manutenção preventiva do que uma manutenção corretiva, ou seja, antes que o pavimento atinja o PCI crítico considerado.

O trabalho de Rahman e Tarefder (2012) se propôs a determinar os custos e a eficácia de quatro estratégias de M&R. Foram considerados tratamentos de trincas e de superfície, comparados por meio da melhoria do PCI. Além disso, o estudo também estimou o custo do acidente devido à irregularidade, expressa em valores de IRI, e o custo ambiental devido à poluição do ar causada pela aplicação desses processos de manutenção. Os resultados levaram à identificação dos tratamentos com menores custos e maiores benefícios ao desempenho do pavimento.

No cenário nacional, por sua vez, Durán (2015) contribuiu para o desenvolvimento de um SGPA em nível de rede no Aeroporto Estadual de Araraquara, considerando as condições da PPD, da pista de rolagem e do pátio de aeronaves. Em sua pesquisa, o autor determinou os valores de PCI da rede e com os dados históricos das intervenções realizadas previu o desempenho dos pavimentos. Assim, foram planejadas e comparadas economicamente cinco estratégias de M&R baseadas no PCI. As alternativas também foram avaliadas em relação ao PCI médio da rede, considerando um período de projeto de 20 anos. A estratégia menos onerosa apresentou PCI médio igual a 77, o que caracteriza condições adequadas de operações.

Mesmo que alguns estudos investiguem maneiras de minimizar os custos do ciclo de vida de pavimentos aeroportuários - enquanto se observa sua condição superficial - a literatura e a aplicação de ACCV em aeródromos permanece escassa, ao menos até onde o presente trabalho conseguiu identificar. As análises feitas até então, por exemplo, não relacionam os custos de manutenção advindos de dados de mensuração de IRI, atrito ou textura, por exemplo, que são atividades comumente realizadas nos aeródromos. Além disso, a priorização de trechos e identificação de atividades de M&R adequadas e suficientes para cada seção ou zona de solicitação do pavimento aeroportuário (cabeceiras, zonas de toque, dentre outras) é recomendada, mas as implicações econômicas disso ainda não foram amplamente avaliadas ou divulgadas adequadamente.

3 PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para a realização da Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) em uma pista de pouso e decolagem (PPD), levando em consideração as estratégias (M&R) propostas para a correção da irregularidade longitudinal, avaliada por meio do Índice Internacional de Irregularidade (*International Roughness Index - IRI*). O capítulo também descreve os custos considerados e o método para estimativa do desempenho funcional do pavimento.

3.1 Análise do perfil longitudinal

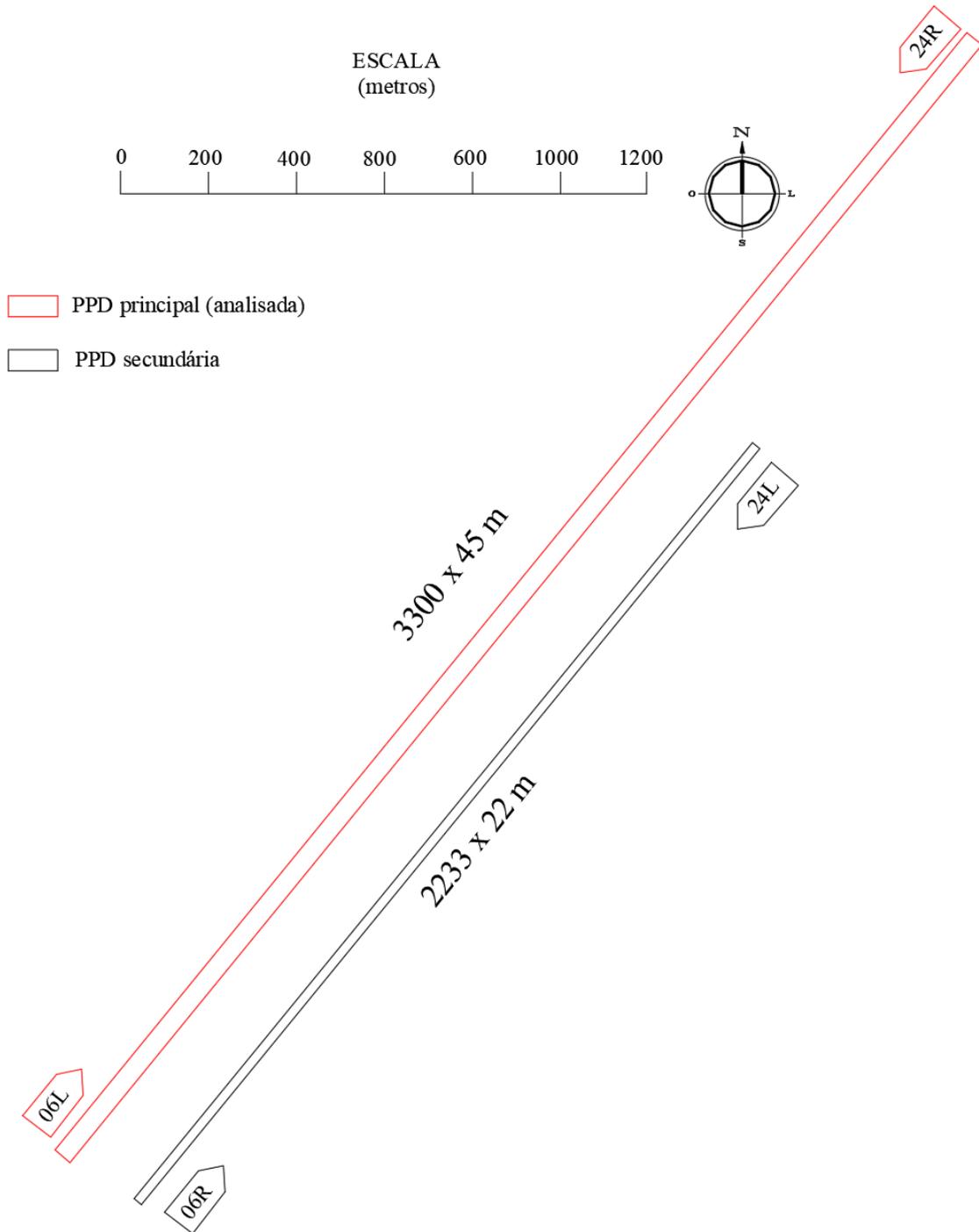
Os dados de irregularidade longitudinal foram obtidos por meio da análise de um perfil longitudinal de uma PPD. A irregularidade longitudinal atual do pavimento foi analisada pelo *software* ProFAA, em sua versão mais recente lançada no dia 27 de julho de 2017 pela Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration - FAA*).

O perfil analisado corresponde à PPD principal de um aeródromo militar brasileiro localizado no estado de Goiás. A PPD analisada possui 3.300m de extensão e 45m de largura, constituída de Concreto Asfáltico no revestimento e materiais granulares nas subcamadas. O aeródromo também possui outra PPD, com mesma orientação de azimute magnético, com 2.233m de comprimento e 22m de largura.

De acordo com a nomenclatura recomendada pela ICAO (2004), que é obtida considerando-se o azimute magnético das cabeceiras da PPD, o aeródromo possui denominação das cabeceiras das PPD os valores 06 e 24. Como o aeroporto possui duas PPD, é necessária a classificação R (right – direita) e L (left – esquerda), dessa forma, o aeródromo possui como cabeceiras, 06L, 24R, 06R e 24L. A Figura 5 apresenta um esquema das PPD do aeródromo, com destaque para a PPD principal, que teve o perfil longitudinal avaliado neste trabalho.

O perfil longitudinal neste trabalho foi avaliado segundo o limite de aceitabilidade (2,5m/km reportados a cada 200m) e a periodicidade recomendada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019). Por esse mesmo motivo, optou-se pela utilização do IRI como índice de avaliação funcional do pavimento e de sua irregularidade longitudinal.

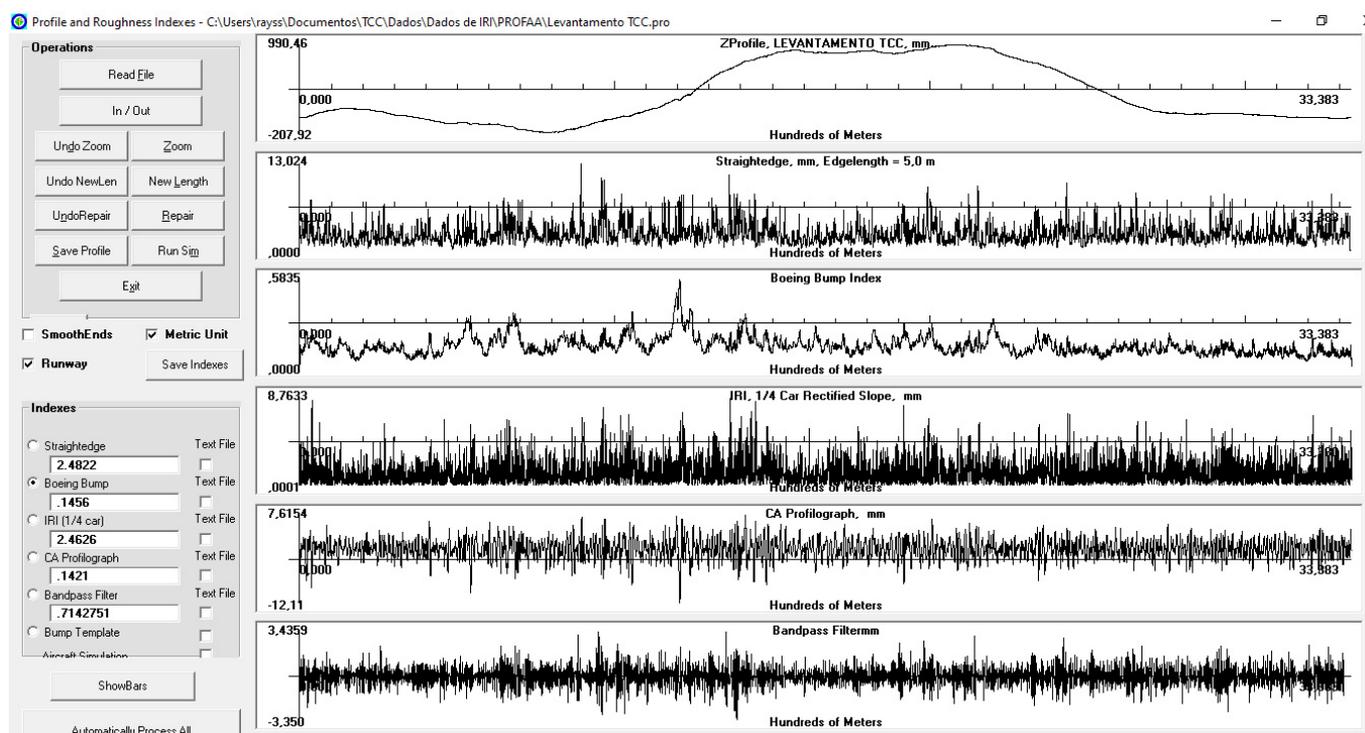
Figura 5 - Planta das pistas de pouso e decolagem do aeródromo



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A Figura 6 apresenta a interface do ProFAA com os perfis resultantes gerados pela simulação dos parâmetros para a PPD avaliada. A descrição e interpretação em relação aos resultados do IRI do pavimento estão expostos com maiores detalhes no capítulo de Análise dos Resultados deste trabalho.

Figura 6 – Interface do *software* ProFAA com os resultados para o perfil longitudinal avaliado



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

3.2 Definições preliminares para a ACCV

Neste trabalho, os custos do ciclo de vida considerados e calculados se referem às atividades para manutenção preventiva e corretiva da irregularidade longitudinal da PPD principal. A pista de pouso e decolagem foi seccionada em seções de 200m, totalizando 17 seções. A escolha desta dimensão se deve ao fato de ser a recomendada pela ANAC (2019) para notificação da irregularidade longitudinal, na escala do IRI. De maneira geral, supõe-se que as seções apresentem características idênticas, ou seja, mesma composição estrutural (espessuras e materiais constituintes do pavimento), processo construtivo e histórico de manutenções similares, assim como as mesmas condições de carregamento (tráfego e condições climáticas).

O período de análise ao longo do qual os custos são considerados deve ser suficientemente longo para refletir as diferenças de custo associadas a cada cenário. O período de análise foi selecionado com base no requisito da FAA (2016) de que os pavimentos em aeródromos devem ser dimensionados para uma vida de projeto de 20 anos. Portanto, o período adotado, neste trabalho, foi de 20 anos.

Tendo em vista a incerteza na evolução do contexto econômico durante o período de análise, é necessário considerar uma taxa de desconto que possibilite a atualização dos custos

ao longo do período de análise. A taxa de desconto recomendada por Walls e Smith (1998) são valores entre 3% e 5% ao ano. Porém, em países não desenvolvidos as taxas usuais podem ser bem distintas, alcançando valores mais próximos dos 10% ou 12% ao ano (DNIT, 2006). Para levar em consideração o contexto socioeconômico nacional adotou-se uma taxa de desconto maior que a recomendada por Walls e Smith (1998) e igual a 7% ao ano e, dessa maneira, a análise realizada apresenta um contexto mais mercadológico em relação à aplicação das intervenções. A incerteza quanto à taxa de desconto e às condições inflacionárias foram analisadas por uma ACCV probabilística.

3.3 Definição da progressão do IRI ao longo do período de análise

A deterioração e o comportamento do pavimento dependem de fatores locais, como o tipo e número de cargas de tráfego (*mix* de aeronaves), condições ambientais, resistência do subleito e características dos materiais componentes das camadas do pavimento. A seleção de modelos de desempenho do pavimento depende da disponibilidade de dados e pode ser útil na otimização de estratégias de M&R para estimar o tempo em que a próxima manutenção, reabilitação ou reconstrução são necessárias e, portanto, pode facilitar o desenvolvimento de cronogramas e orçamentos realistas para preservação do pavimento a longo prazo.

Para uma ACCV é usual que a extensão e os tipos de manutenção previamente aplicados às seções do pavimento também sejam determinados, antes da seleção de novas estratégias. Entretanto, estas informações não estão disponíveis para a PPD avaliada. Dessa forma, foi necessário estimar um modelo para a progressão do IRI, assim como o comportamento do índice após a realização das intervenções e manutenções.

Utilizou-se levantamentos da irregularidade longitudinal do Aeroporto Internacional de Fortaleza (SBFZ) como fonte de dados. O aeródromo em questão possui código E de classificação, o que está relacionado à envergadura da aeronave crítica de projeto que, nesse caso, possui valor entre 52 e 65m. O revestimento de sua PPD também é do tipo flexível e constituído por Concreto Asfáltico, com 2.545m de extensão e 45m de largura. As cabeceiras do aeródromo têm denominação 13 e 31, sendo a cabeceira 13 a predominante para pousos, com média de 70 pousos diários no ano de 2019 (ANAC, 2020). Assim, o levantamento da irregularidade longitudinal no SBFZ deve ser realizado a cada 24 meses e as medições devem estar localizadas uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista, para as distâncias de 3m e 6m. A análise dos dados de IRI do SBFZ são apresentados nos Apêndices B e no Apêndice C.

Foram analisados três relatórios de levantamento do IRI da PPD do SBFZ, dos anos de 2014 e 2020. Os dados foram recebidos em forma de relatório técnico de levantamento de irregularidade longitudinal da PPD do aeródromo. Os dados de IRI do ano de 2020 referem-se a medições obtidas em fevereiro e dezembro deste ano, sendo que esta última foi efetuada após a reabilitação de toda a extensão da PPD, que passou por reabilitação com a substituição de 5cm de Concreto Asfáltico de seu revestimento. Logo, como os dados disponibilizados se referem à irregularidade longitudinal antes e após o processo de reabilitação, os resultados também foram tomados para ponderar as previsões relacionadas à condição do pavimento após intervenções similares. Essas informações também ampararam o processo de indicação das estratégias de M&R e de previsão do desempenho e comportamento do IRI para a PPD analisada.

A análise do IRI da PPD serviu como parâmetro para avaliação da segurança das operações de pouso e decolagem e também do benefício das alternativas. Foi adotada como premissa que, dado o nível atual da condição do pavimento, em casos de não haver realização de nenhuma atividade de manutenção, o IRI da seção aumentará. Assim, a previsão de desempenho do pavimento adotada corresponde à perda de desempenho, expressa pela elevação percentual anual do IRI, que cada seção que compõe o perfil analisado apresenta. Ou seja, adotou-se uma curva linear para a progressão do IRI (Equação 4).

$$IRI_n = IRI_{n-1} \times 1,10 \quad (4)$$

Onde:

- IRI_n = IRI no ano n;
- IRI_{n-1} = IRI no ano n-1.

Ou seja, estima-se um aumento de 10% de IRI a cada ano para as seções do pavimento.

3.4 Proposição e definição das estratégias para análise

Foram propostos e avaliados cinco diferentes cenários de aplicação das atividades de M&R para a PPD. A determinação das atividades de M&R foi influenciada, também, pela prática observada dentro do cenário nacional. Considerou-se as atividades de M&R usualmente propostas para a correção da irregularidade longitudinal de pavimentos aeroportuários, esta etapa foi fundamentada, sobretudo, nas considerações de Durán (2019).

Uma vez que o limite de IRI adotado em PPD brasileiras é 2,5 m/km reportado a cada 200m (ANAC, 2019), uma classificação em cinco categorias com base neste limite foi elaborada para servir como referência para as estratégias de M&R propostas neste trabalho. De modo geral, distinguiu-se manutenções preventivas - que incluem serviços que preservam a condição do pavimento e retardam sua deterioração - de manutenções corretivas, que visam o reparo de um defeito do pavimento para restabelecer suas condições operacionais. A classificação proposta pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 – Estratégia de M&R proposta para os valores de IRI

Faixa de IRI	Condição do pavimento	M&R recomendada
<1,5	Muito bom	Não fazer nada
1,5 a 2,0	Bom	Preventiva
2,0 a 2,5	Regular	Corretiva
2,5 a 3,0	Ruim	Reforço
>3,0	Muito ruim	Reconstrução

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

Entende-se, também, que a manutenção do pavimento incrementa a segurança das operações de pouso e decolagem, visto que a irregularidade longitudinal excessiva pode prejudicar a drenabilidade do pavimento, ocasionar acelerações acentuadas nas cabines dos pilotos e causar danos às aeronaves, contribuindo para a ocorrência de incidentes no ambiente aeroportuário.

Para cada M&R recomendada foi proposta uma atividade, ou conjunto de atividades, destinada à correção da irregularidade longitudinal. Por outro lado, também foi necessário presumir o comportamento do pavimento logo após a realização da intervenção, pois foi necessário estimar a melhoria das condições da seção do pavimento. A partir deste valor estimado e da previsão de desempenho sugerida pode-se identificar as necessidades futuras de M&R. Isto posto, a relação proposta por este trabalho para as M&R é:

- a) Não fazer nada: pavimentos em condições adequadas não necessitam de intervenção;
- b) Manutenção preventiva: realização de selagem de trincas e reparos superficiais;
- c) Manutenção corretiva: realização do reperfilamento do pavimento;
- d) Reforço: realização de um recapeamento do pavimento, composto por fresagem e recomposição do revestimento (capa);
- e) Reconstrução: composta pela demolição e reconstrução das camadas de base e sub-base, caso necessário, e revestimento (capa e *binder*).

Em razão do nível de exigência e das particularidades técnicas e construtivas entendeu-se que intervenções tais como Reforço e Reconstrução – que reestabelecem consideravelmente a condição do pavimento – reduzem o IRI a um valor limitado a 1,5m/km, pois atingir valores inferiores seria oneroso ou mesmo impraticável, considerando o contexto nacional de aplicação dessas execuções. Um resumo das considerações feitas sobre as atividades de M&R adotadas na análise é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação e atividades propostas para correção do IRI

Faixa de IRI	Condição do pavimento	M&R recomendada	IRI após intervenção (melhoria)
<1,5	Muito bom	Não necessário	-
1,5 a 2,0	Bom	Preventiva	15%
2,0 a 2,5	Regular	Corretiva	30%
2,5 a 3,0	Ruim	Reforço	até 1,5
>3,0	Muito ruim	Reconstrução	até 1,5

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

Cada alternativa foi composta com as informações da progressão do IRI e dos dados da Tabela 4. Assim, a cada ano da análise foram identificadas as seções que necessitam de atividades de M&R e de qual tipo. Para a manutenção preventiva, a quantidade de selagem de trincas e reparos superficiais foram estimados com base na área da seção a ser mantida. Para o reperfilamento, proposto como manutenção corretiva, e para o reforço considerou-se a fresagem e a execução de 5cm de espessura de concreto asfáltico para recuperação do revestimento (capa). Por fim, para a reconstrução, admitiu-se a fresagem e reexecução de 12cm de espessura de concreto asfáltico (capa e binder).

Foram avaliadas cinco alternativas, sendo umas delas a não realização de atividades de M&R durante o período de análise que permitiu a comparação dos custos e desempenho do pavimento. As alternativas avaliadas foram:

- a) Não realizar atividades de manutenção;
- b) Realização de manutenções preventivas;
- c) Realização de manutenções corretivas;
- d) Alternância de manutenções preventivas e corretivas
- e) Realização de manutenções preventivas e corretivas, com predominância de manutenções preventivas.

3.5 Estimativa dos custos

Para que a ACCV possa contribuir para a tomada de decisão é necessário determinar os custos incidentes ao longo do período avaliado.

3.5.1 Custos com as atividades de M&R

Para a definição dos custos de cada cenário e de cada estratégia de M&R foram utilizadas informações do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2020), tendo como data de referência o mês de julho de 2020 para a Região Centro-Oeste, Estado de Goiás. As composições do SICRO compreendem aos custos com equipamentos, mão-de-obra, materiais e transporte de materiais. Além disso, o SICRO considera a variabilidade dos preços regionais, levando em consideração a disponibilidade dos insumos e as condições de execução dos serviços, por exemplo.

Contudo, as particularidades dos pavimentos aeroportuários (operações, disponibilidade de recursos, etc) em comparação aos rodoviários ressaltam a necessidade de se considerar essas diferenças na definição de custos das atividades de M&R. Por esse motivo, também foram utilizadas outras fontes de dados, especialmente Planilhas Orçamentárias e Composições Unitárias de Custos de processos licitatórios da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO, 2020). As composições do SICRO e da INFRAERO analisadas podem ser vistas no Anexo A.

Para levar em consideração os aspectos regionais e os relacionados à infraestrutura aeroportuária, abordados respectivamente pelo SICRO e pelos processos licitatórios da INFRAERO, foram elaboradas, para cada atividade de M&R considerada, Composições de Preço Unitárias, que podem ser consultadas no Apêndice A. Desse modo, assim como a taxa de desconto, as composições elaboradas também abordam a ACCV de modo mercadológico.

Vale ressaltar que foram considerados apenas os custos diretos das atividades de M&R. Não foram levantados, portanto, os custos com o planejamento e administração das obras, com a mobilização dos materiais e equipamentos ou com a implantação e operação dos canteiros de obras. Todavia, mesmo que estes custos estejam omitidos, julga-se que não é um fator que prejudicou a análise, pois se refere a valores que não variam significativamente para as alternativas avaliadas.

Entretanto, para consideração dos custos indiretos, tais como impostos sobre o faturamento e lucro, definiu-se um valor para os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). O BDI engloba o risco relacionado ao custo de um empreendimento, tais como incertezas, custo financeiro do capital de giro, tributos e taxa de comercialização.

A definição do BDI proposto neste trabalho foi fundamentada na composição analítica do BDI da INFRAERO (2020), que definiu o BDI máximo da obra de reabilitação do Aeroporto de Congonhas (SBS) - a qual teve as composições de custos unitárias analisadas e consideradas neste trabalho – como igual a 21,75%, conforme Anexo A. Logo, adotou-se no cálculo das composições o valor máximo de BDI permitido para esta obra. Já a definição dos encargos sociais sobre preços de mão-de-obra foi fundamentada na tabela de custos do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI (CAIXA, 2020), que é apresentada no Anexo B.

3.5.2 Custos operacionais e impacto aos usuários

Os custos operacionais não foram contemplados na análise. Para esta determinação pode-se estimar a redução da receita diária do aeródromo ocasionada pelas atividades de M&R. Entretanto, assim como os custos de engenharia e de gerenciamento, pode-se presumir que estes custos não variam significativamente para as alternativas avaliadas, principalmente pela possibilidade de que as atividades de M&R se realizem somente no período noturno ou no período de menor movimentação do aeródromo, não alterando consideravelmente os custos do ciclo de vida do pavimento. Além disso, é possível que as empresas aéreas planejem com o operador do aeródromo uma maneira de reduzir o impacto nas operações e, conseqüentemente, nos custos. Os impactos aos usuários, ou seja, os custos sociais relativos ao risco de acidentes e o custo associado ao tempo, por exemplo, também não foram avaliados neste trabalho.

3.6 Análise do Custo do Ciclo de Vida

Foram considerados, neste trabalho, duas abordagens para a realização da ACCV, a determinística e a probabilística. A finalidade é identificar as alternativas de M&R mais adequadas para aplicação na PPD no tocante aos recursos financeiros, sob as duas abordagens.

3.6.1 Análise Determinística

Para a avaliação determinística dos Custos de Ciclo de Vida - após a identificação das atividades de M&R necessárias ao longo de todo o período de análise, suas seções e períodos de aplicação - utilizou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL) para analisar o custo total, convertido para valor presente, de cada cenário proposto. Também foram determinados o Valor Anual Equivalente Uniforme (VAEU), que é complementar ao VPL e colabora para o planejamento plurianual dos investimentos, e a Relação Efetividade/Custo, que correlaciona o desempenho do pavimento e os custos com M&R. Os cálculos foram realizados com o auxílio do *software Microsoft Excel 2016*.

3.6.2 Análise Probabilística

O custo real dos cenários e alternativas é significativamente afetado pelas mudanças nos preços dos materiais, pela taxa de desconto e mesmo pela progressão adotada para o IRI, que indica o período de aplicação das atividades. Assim, para considerar a variabilidade de alguns parâmetros de entrada, mais especificamente dos custos unitários dos serviços de M&R e da taxa de desconto, foi realizada, também, uma análise probabilística. A análise fornece um conjunto de eventuais custos de ciclo de vida e suas probabilidades de ocorrência associadas.

As variáveis de entrada mostradas na Tabela 5 foram modeladas e adotadas para análise como assumindo valores estocásticos, a cada uma foi atribuída uma distribuição de probabilidade normal, com valores para sua média e seu desvio padrão. Para cada alternativa avaliada foram realizadas 1.000 iterações de simulação do VPL do tipo Monte Carlo, com o auxílio do *software Microsoft Excel 2016*.

Tabela 5 - Distribuições para os parâmetros de entrada da ACCV probabilística

Parâmetro	Média	Desvio padrão
Custo da selagem de trincas	R\$ 4,57/m	R\$ 0,91/m
Custo do remendo superficial	R\$ 514,59/m ³	R\$ 102,92/m ³
Custo do CAUQ	R\$ 403,12/m ³	R\$ 60,47/m ³
Custo da fresagem	R\$ 0,91/m ³	R\$ 0,18/m ³
Custo da imprimação	R\$ 98,86/m ²	R\$ 19,77/m ²
Custo da pintura de ligação	R\$ 1,27/m ²	R\$ 0,25/m ²
Taxa de desconto	7%	1%

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados da Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) realizada neste trabalho, levando em consideração as atividades de manutenção e reabilitação (M&R) propostas para correção e melhoria da irregularidade longitudinal do pavimento. Além disso, as alternativas são comparadas em relação aos custos e ao desempenho funcional do pavimento da pista de pouso e decolagem (PPD), avaliado por meio do Índice Internacional de Irregularidade (*Internacional Roughness Index* - IRI).

4.1 Dados de irregularidade longitudinal – IRI

O desempenho funcional do pavimento foi avaliado por meio do IRI e os valores da irregularidade ao longo do perfil longitudinal da PPD para o período inicial da análise foram determinados com o auxílio do *software* ProFAA. A Tabela 6 apresenta o levantamento da irregularidade longitudinal da PPD, assim como a classificação de cada uma das suas seções de 200m, de acordo com as classes estabelecidas no capítulo anterior.

Tabela 6 – Levantamento da irregularidade longitudinal atual do pavimento

Seção	Trecho da pista (m)	IRI (m/km)	Classificação
Cabeceira 06L			
1	0 - 200	4,21	Muito ruim
2	200 - 400	4,08	Muito ruim
3	400 - 600	2,18	Regular
4	600 - 800	2,04	Regular
5	800 - 1000	1,98	Bom
6	1000 - 1200	2,04	Regular
IRI _{médio} : 2,76 Desvio padrão: 1,08			
7	1200 - 1400	1,98	Bom
8	1400 - 1600	2,06	Regular
9	1600 - 1800	2,01	Regular
10	1800 - 2000	2,02	Regular
11	2000 - 2200	2,01	Regular
IRI _{médio} : 2,02 Desvio padrão: 0,03			
12	2200 - 2400	1,90	Bom
13	2400 - 2600	1,95	Bom
14	2600 - 2800	1,96	Bom
15	2800 - 3000	2,06	Regular
16	3200 - 3200	3,58	Muito ruim
17	3200 - 3300	3,75	Muito ruim
IRI _{médio} = 2,46 / Desvio padrão: 0,84			
Cabeceira 24R			

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a maior parte da PPD se encontra em condições que indicam a necessidade de se realizar atividades de manutenção, sendo que 47% (8 seções) estão em situação “Regular” e 24% (4 seções) estão em situação “Muito Ruim”. Em relação ao limite de aceitabilidade do valor de IRI recomendado por ANAC (2019), 2,5m/km a cada 200m, verifica-se que a maioria das seções apresentam valores aceitáveis de irregularidade longitudinal. Destaca-se que as quatro seções que não atendem a este limite se referem aos 400m iniciais da Cabeceira 06L e aos 300m iniciais da Cabeceira 24R. Uma das maneiras de se analisar e explicar este fato é que o primeiro e o terceiro terço da PPD são os mais solicitados devido à existência da zona de toque das aeronaves no momento do pouso, o que pode ocasionar maiores impactos e uma maior degradação do pavimento e, conseqüentemente, a presença de valores de IRI discrepantes do restante do perfil longitudinal da pista de pouso e decolagem.

O primeiro terço da PPD, que nesta análise compreende as 6 primeiras seções (1200m), é o que apresenta as piores condições de irregularidade longitudinal, tendo somente uma seção com pavimento classificada como “Bom” e média de IRI 12% maior que o IRI médio da PPD. Em seguida, o terceiro terço, que compreende as últimas 6 seções (1100m) apresenta 3 seções com classificação “Bom” e média de IRI 3% maior que o IRI médio da pista. Por fim, o segundo terço, que compreende as seções 7 a 11 (1000m), apresenta uma seção classificada como “Bom” e 4 seções “Regular”; entretanto, é o único terço que não apresenta seções com classificação “Muito Ruim” e possui média de IRI 18% menor que o IRI médio da PPD. A Tabela 7 apresenta um resumo dos dados de IRI da PPD analisada.

Tabela 7 – Classificação dos valores atuais de IRI para a PPD e seus terços

Classificação	Toda a PPD		1º Terço		2º Terço		3º Terço	
	Seções	Percentual	Seções	Percentual	Seções	Percentual	Seções	Percentual
Muito Bom	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Bom	5	29,4	1	16,7	1	20,0	3	50,0
Regular	8	47,1	3	50,0	5	80,0	1	16,7
Ruim	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Muito Ruim	4	23,5	2	33,3	0	0,0	2	33,3

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

4.2 Custos do ciclo de vida: aplicação das estratégias de M&R

Os custos com as atividades de M&R estabelecidas neste trabalho foram fundamentados e definidos a partir da análise de composições de custos de dados anteriormente mencionados. Entretanto, para a realização desta análise optou-se pela criação de composições de custos próprias, que tentam levar em consideração o contexto de aplicação em ambiente aeroportuário. As composições adotadas são apresentadas no Apêndice A. A Tabela 8 mostra os custos unitários utilizados neste trabalho com suas respectivas unidades.

Tabela 8 – Custos unitários dos serviços de M&R

Serviço	Unidade	Custo (R\$/Unidade)
Selagem de trincas	m	4,58
Remendo superficial ou tapa buraco	m ³	515,32
Concreto asfáltico usinado a quente	m ³	403,16
Pintura de ligação	m ²	0,91
Fresagem do pavimento	m ³	98,88
Imprimação	m ²	1,27

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

Após a análise dos resultados do IRI, foram recomendadas e analisadas cinco diferentes estratégias de M&R para a PPD do aeródromo avaliado. Para este fim, foi proposta uma classificação em cinco categorias que orienta a seleção das estratégias de M&R com base no valor do IRI da seção. As cinco alternativas foram analisadas e comparadas economicamente com o propósito de se identificar a alternativa que ocasiona os menores custos para o operador do aeródromo, mas que, em contrapartida, seja capaz de manter a operacionalidade e a segurança das operações de pouso e decolagem.

Para todas as alternativas propostas foi necessário estimar o comportamento da PPD e seu desempenho em relação à progressão do IRI, para que a aplicação das estratégias de M&R evitem, a todo modo, que o IRI alcance o valor limite de aceitabilidade segundo a ANAC (2019). Sendo assim, ressalta-se que nenhuma das alternativas que propõem atividades de M&R apresentam seções que atingem o IRI crítico de 2,5m/km, ou seja, a condição do pavimento ao longo do período de análise é mantida nas categorias de classificação “Muito Bom”, “Bom” e “Regular”, uma vez que ultrapassar o valor limite para o IRI compromete a segurança operacional e pode ocasionar gastos excessivos decorrentes das atividades de M&R.

Os tópicos seguintes apresentam o raciocínio para a proposição de cada uma das alternativas avaliadas, que estão resumidas na Tabela 9. De modo geral, a fim de contribuir para a exequibilidade da aplicação das estratégias de M&R foram evitadas a realização de atividades muito esparsas ou pontuais ao longo do perfil da PPD, em um mesmo ano da análise. Além disso, utilizou-se as informações de dois levantamentos do IRI do Aeroporto Internacional de Fortaleza (SBFZ) (Apêndices B e C) para auxiliar no processo de proposição das alternativas a partir da equação de previsão do IRI, da classificação de seus valores e dos limites (máximo e mínimo) sugeridos neste trabalho. Não se considerou o valor residual dos investimentos ao fim dos 20 anos da ACCV.

Tabela 9 – Resumo das estratégias avaliadas

Alternativa	Descrição
A	Não fazer nada
B	Aplicação de manutenção preventiva
C	Aplicação de manutenção corretiva
D	Alternância de manutenções preventivas e corretivas
E	Manutenções preventivas e corretivas com prevalência de preventivas

Fonte: Elaborada pela Autora (2021)

4.1.1 Alternativa A – Não fazer nada

Esta alternativa propõe a não realização de atividades de M&R, exceto aquelas de reabilitação inicial e no fim da análise. Apesar de se compreender que não são gerados custos com atividades de manutenção, ainda são necessários investimentos relacionados à inspeção e ao monitoramento das condições do pavimento. Vale destacar que seu valor residual pode impactar nos resultados da ACCV e, em caso de aeródromos concedidos, esse valor apresenta maior relevância ainda, pois o pavimento é um ativo e não deve perder valor ao longo do tempo. Assim, contratualmente a Alternativa A seria improvável, mas pode funcionar como ponto de partida para comparação e verificação dos casos onde não ocorre concessão ou manutenção.

Outro aspecto a ser avaliado é a influência nos custos indiretos, sobretudo aos custos dos usuários, que compreendem os custos com atrasos e riscos de acidentes, que podem se tornar elevados em caso de não correção dos defeitos. Além disso, a não realização de intervenções prejudica o pavimento, podendo ocasionar danos à operacionalidade do aeródromo e à segurança dos usuários, dada sua deterioração funcional e estrutural ao longo do tempo, que podem demandar a realização de uma recuperação mais onerosa.

4.1.2 Alternativa B – Manutenções preventivas

A Alternativa B se propõe a corrigir os defeitos do início do período de análise, seguido pela realização sucessiva de manutenções preventivas ao longo do período analisado, evitando que qualquer uma das seções atinja o IRI de 2,0m/km, que caracteriza a necessidade de uma manutenção corretiva. Desta maneira, para o primeiro ano de análise são aplicadas atividades de reconstrução parcial dos pavimentos das seções que apresentaram classificação “Muito Ruim”, enquanto as outras seções têm aplicação de manutenções corretivas. A Tabela 10 resume as atividades aplicadas ao longo da análise para a Alternativa B.

Tabela 10 – Atividades de M&R propostas pela Alternativa B

ALTERNATIVA B – Aplicação de manutenções preventivas																	
Ano \ Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Reconstrução	Reconstrução	Manutenção preventiva	Reconstrução	Reconstrução												
2																	
3																Manutenção preventiva	Manutenção preventiva
4	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva														
5				Manutenção preventiva													
6																	
7	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva														
8				Manutenção preventiva													
9																	
10	Manutenção preventiva																
11																Manutenção preventiva	Manutenção preventiva
12	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva														
13				Manutenção preventiva													
14																Manutenção preventiva	Manutenção preventiva
15	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva													
16					Manutenção preventiva												
17																	
18	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva				Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva						
19				Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva					Manutenção preventiva					
20	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva	Manutenção preventiva														

Legenda:	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
		Não fazer nada	Manutenção preventiva	Reforço	Reconstrução																

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

4.1.3 Alternativa C – Manutenções Corretivas

De maneira oposta à Alternativa B, a Alternativa C corrige os defeitos iniciais do pavimento e realiza somente manutenções corretivas ao longo do período de análise. Em comparação à alternativa anterior, uma menor quantidade de atividades é realizada e as seções do pavimento não atingem o limite de 2,5m/km. A Tabela 11 apresenta de forma resumida as atividades de M&R adotadas nesta alternativa.

Tabela 11– Atividades de M&R propostas pela Alternativa C

		ALTERNATIVA C – Aplicação de manutenção corretiva																
Seção		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano																		
1		Reconstrução	Reconstrução	Manutenção corretiva	Reconstrução	Reconstrução												
2																		
3																		
4																		
5																	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva
6		Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva														
7					Manutenção corretiva													
8																		
9																	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva
10																		
11		Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva													
12						Manutenção corretiva												
13																		
14																	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva
15																		
16		Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva							
17													Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva		
18																		
19																	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva
20		Manutenção corretiva	Manutenção corretiva	Manutenção corretiva														

Legenda:		Não fazer nada	Manutenção preventiva	Manutenção corretiva	Reforço	Reconstrução
----------	--	----------------	-----------------------	----------------------	---------	--------------

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

4.1.5 Alternativa E – Manutenções Preventivas e Corretivas

Similarmente à Alternativa D, esta alternativa sugere a presença de atividades de manutenção preventivas e corretivas, com realização de reforço das duas primeiras seções de cada cabeceira da PPD no primeiro ano da análise e reperfilamento das demais seções no segundo ano. A Tabela 13 apresenta de forma resumida as atividades adotadas nesta alternativa.

Tabela 13 – Atividades de M&R propostas pela Alternativa E

ALTERNATIVA E – Alternância de manutenções preventivas e corretivas, com prevalência das preventivas

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Ano 1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		

Legenda:		Não fazer nada	Manutenção preventiva	Manutenção corretiva	Reforço		Reconstrução
----------	--	----------------	-----------------------	----------------------	---------	--	--------------

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

4.3 Análise Determinística do Custo do Ciclo de Vida

De forma a avaliar e comparar as alternativas de M&R utilizou-se o critério do Valor Presente Líquido (VPL). Dessa maneira, os custos totais representados nas análises econômicas das cinco alternativas propostas foram convertidos para um valor presente obtido em função de uma taxa que representa o custo de oportunidade do capital investido. O VPL foi calculado para uma taxa de desconto de 7% ao ano. Além disso, calculou-se o Valor Anual Equivalente Uniforme (VAEU), um método complementar ao VPL, com a finalidade de se facilitar a interpretação dos resultados como se as ações de M&R ocorressem uniformemente ao longo do período analisado.

Deste modo, a Tabela 14 apresenta o custo total, representado pelo VPL, de cada alternativa de M&R avaliada. São apresentados, também, os respectivos VAEU. Os custos das alternativas estão descritos com maiores detalhes no Apêndice E.

Tabela 14 – VPL e VAEU das Alternativas avaliadas

Alternativa	VPL (R\$)	VAEU (R\$)
A	11.665.648,35	-
B	5.330.467,12	503.158,39
C	8.863.918,14	836.691,22
D	6.502.923,70	613.829,99
E	4.935.005,91	465.829,65

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

A Alternativa A apresenta o maior VPL, sendo assim, a não realização de atividades de M&R não é uma solução eficaz em relação ao custo pois a deterioração do pavimento ao final do período de análise exige uma atividade de reabilitação mais onerosa. Além disso, tanto as condições funcionais quanto as estruturais devem estar prejudicadas, o que pode afetar a segurança das operações de pouso e decolagem.

A Alternativa B corresponde ao cenário no qual há aplicação de atividades corretivas no início do período analisado e, posteriormente, ocorre apenas manutenções preventivas nas seções que necessitam de intervenção. Essa alternativa também é caracterizada por realizar um grande número de intervenções que visam manter o IRI em nível adequado. Apesar disso, esta alternativa apresenta o segundo menor VPL e seu baixo custo é evidenciado, principalmente, pelo menor preço unitário das manutenções preventivas realizadas, definidas por selagem de trincas e restaurações superficiais. Contudo, mesmo que as seções do pavimento

não atinjam em nenhum momento o IRI limite de 2,5m/km, há de se destacar que a possibilidade de necessidade de uma atividade de M&R maior vulto, tais como reperfilamento ou reforço não são descartadas. Salienta-se que esta estratégia contém atividades de reconstrução nas seções que apresentam IRI elevado no início do período de análise, o que eleva bastante seu custo total.

A Alternativa C apresenta o maior custo entre as alternativas avaliadas que sugerem a realização de M&R, sendo 79,6% mais onerosa que a Alternativa E, que tem o menor VPL. A estratégia propõe apenas a realização de manutenções corretivas, isto é, as seções atingem um IRI próximo ao limite aceitável para só então receberem alguma intervenção. Embora seja a alternativa com menor quantidade de aplicações de M&R, particularmente também retratado por um maior intervalo de tempo entre a proposição de atividades, o VPL elevado se deve ao alto custo das atividades corretivas e, especialmente, da reconstrução das cabeceiras (primeiro e terceiro terço) da PPD.

A Alternativa D, que propõe a alternância entre atividades preventivas e corretivas após a recuperação inicial do pavimento, é a segunda mais onerosa, tendo VPL 31,7% maior que o da Alternativa E. O alto custo pode ser interpretado devido à realização de reforço nas 4 seções com classificação “Muito Ruim” no primeiro ano e de todo o restante da extensão da PPD no segundo ano. Verifica-se, entretanto, que o maior intervalo de tempo entre as atividades possibilitado pela realização das atividades corretivas, que elevam a serventia do pavimento, não foi eficiente na redução de custos. Assim, ocorre que as atividades corretivas são significativamente mais dispendiosas e, mesmo com menos aplicações ao longo do período analisado, o VPL ainda se mostra bastante elevado.

A Alternativa E apresenta o menor custo dentre as estratégias avaliadas. Esta estratégia propõe, assim como a Alternativa D, a alternância de atividades preventivas e corretivas. Em comparação a alternativa anterior, a Alternativa E foi mais eficiente na redução dos custos e consegue manter o IRI em níveis adequados. A Alternativa E também é marcada por uma grande quantidade de manutenções, em especial as manutenções preventivas, que é um procedimento menos oneroso, mais rápido e que reestabelece, dentro de seu alcance, o desempenho do pavimento.

Tendo em vista que a condição inicial da PPD é bastante variável ao longo de seu perfil longitudinal, existindo seções críticas próximas às cabeceiras e outras com melhores condições, a análise foi dividida por terços, o que é apresentado na Tabela 15. Pretende-se verificar se há diferença significativa entre a avaliação de custos global e por terços da PPD, em razão das diferenças nas solicitações das operações de pouso e decolagem em cada terço.

Tabela 15 – VPL para manutenção dos terços da PPD

Alternativa	Trecho			
	Toda a PPD (em milhões de R\$)	1º Terço (em milhões de R\$)	2º Terço (em milhões de R\$)	3º Terço (em milhões de R\$)
A	11,67	4,24	3,54	3,89
B	5,33	2,20	1,23	1,90
C	8,86	3,55	2,22	3,09
D	6,50	2,35	1,92	2,23
E	4,94	1,46	1,48	2,00

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Verifica-se pela Tabela 15, que, de modo geral, o primeiro terço é o que apresenta maiores custos totais decorrentes das atividades de M&R, seguido do terceiro e segundo terço. Este padrão não está presente somente na Alternativa E, que tem o primeiro terço como menos oneroso, seguido pelo segundo e, por fim, seus maiores gastos estão relacionados às correções do terceiro terço. O primeiro caso - Alternativas B, C e D - se deve principalmente aos custos das intervenções no início da análise que se destinam a corrigir a irregularidade longitudinal elevada das seções próximas às cabeceiras. Levando em consideração que o primeiro e o terceiro terço são os mais deteriorados é compreensível que estes demandem maiores esforços para correção, necessitando de atividades como reforço ou reconstrução, assim, o alto custo inicial de intervenção em suas seções se manifesta no VPL final.

É necessário destacar que, embora o primeiro e o terceiro terço recebam atividades de M&R similares, a diferença no custo total se deve - para as Alternativas B, C e D - tão somente, à variação de comprimento das seções consideradas. Como a PPD foi dividida em seções de 200m para concordar com a dimensão definida pela ANAC (2019) para notificação do valor do IRI, considerou-se, neste trabalho, o primeiro terço com um comprimento igual a 1200m e o terceiro com um comprimento igual a 1100m (últimas 6 seções). Assim, a variação de 100m se mostrou bastante considerável na determinação dos custos por terços da PPD.

Para a Alternativa E, a variabilidade dos custos totais entre o primeiro e terceiro terço se deve à maneira como as manutenções corretivas são aplicadas durante os 20 anos de análise. O primeiro terço, apesar de receber atividades de reforço no ano inicial, recebe majoritariamente atividades de manutenção preventiva o que acaba por justificar o menor custo total de suas intervenções. Em contrapartida, o segundo e terceiro terços recebem mais atividades corretivas comparativamente às seções do primeiro.

Ainda conforme os dados da Tabela 15, verifica-se que os gastos dispensados nas Alternativas C e D realmente demonstram que estas são as estratégias mais onerosas dentre as

com M&R, visto que, assim como para a análise do comprimento total da PPD, as intervenções destinadas às manutenções de seus terços também apresentam os maiores VPL.

No entanto, esta concordância não está totalmente presente na análise das Alternativas B e E, justamente as que apresentam custo total mais similar. O VPL da Alternativa E, considerando toda a PPD, é menor que o da Alternativa B, porém, atentando-se para a análise por terços é possível perceber que apenas o primeiro terço da Alternativa B tem maior VPL que o da Alternativa E, enquanto que para os demais terços o contrário acontece. A forma mais perceptível de interpretar isso é que a realização das atividades de reconstrução no primeiro ano da Alternativa B elevam significativamente seu custo total, e assim, sem a reconstrução esta estratégia teria o custo bastante reduzido. Dessa forma, é notável que evitar que o pavimento atinja níveis elevados de IRI a partir de manutenções preventivas é uma solução eficaz para elevar a vida útil do pavimento e distanciar-se de serviços onerosos de reabilitação ou reconstrução.

4.4 Análise Probabilística do Custo do Ciclo de Vida

Para considerar a variabilidade e a incerteza das variáveis da ACCV realizada neste trabalho utilizou-se uma abordagem probabilística. Neste caso, os parâmetros avaliados foram os custos unitários das atividades de M&R propostas e a taxa de desconto selecionada. A Tabela 16 descreve os resultados das 1.000 simulações realizadas e as distribuições cumulativas de probabilidade obtidas para os custos das cinco alternativas são apresentadas no Gráfico 1.

Tabela 16 – Resultados da ACCV probabilística

Alternativa	Mínimo (R\$)	Máximo (R\$)	Média (R\$)	Desvio Padrão (R\$)
A	6.723.767,39	17.075.999,04	11.712.115,20	1.590.613,37
B	3.297.751,58	7.319.033,58	5.303.761,54	639.696,94
C	4.965.350,68	14.081.330,97	9.109.444,26	1.427.354,40
D	3.986.048,52	10.058.687,51	6.534.379,63	916.891,14
E	2.922.956,70	7.435.652,95	4.958.494,02	675.554,15

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Os valores médios de VPL obtidos pelas 1.000 iterações foram, em sua maioria, maiores que os obtidos pela ACCV determinística, com exceção da Alternativa B, que, além de apresentar custo médio menor que o VPL determinístico, também apresentou o menor desvio padrão. Esse resultado se deve, provavelmente, à realização de atividades de manutenção

preventiva que possuem preços menos onerosos e que não proporcionam grande variação de custo total. Dessa maneira, a variabilidade expressa na Alternativa B é consequência maior das atividades de reconstrução e manutenção corretiva aplicadas no início do período de análise, assim como da taxa de desconto.

Outro ponto a se destacar é que as Alternativas B e E ainda oferecem os menores valores para o VPL. Contudo, o valor máximo obtido nas simulações da Alternativa E ultrapassa o valor máximo de VPL da Alternativa B em razão da diferença nos valores de desvio padrão das amostras, o que colabora, mais uma vez, para a interpretação de que as atividades corretivas aumentam a variabilidade de custos totais.

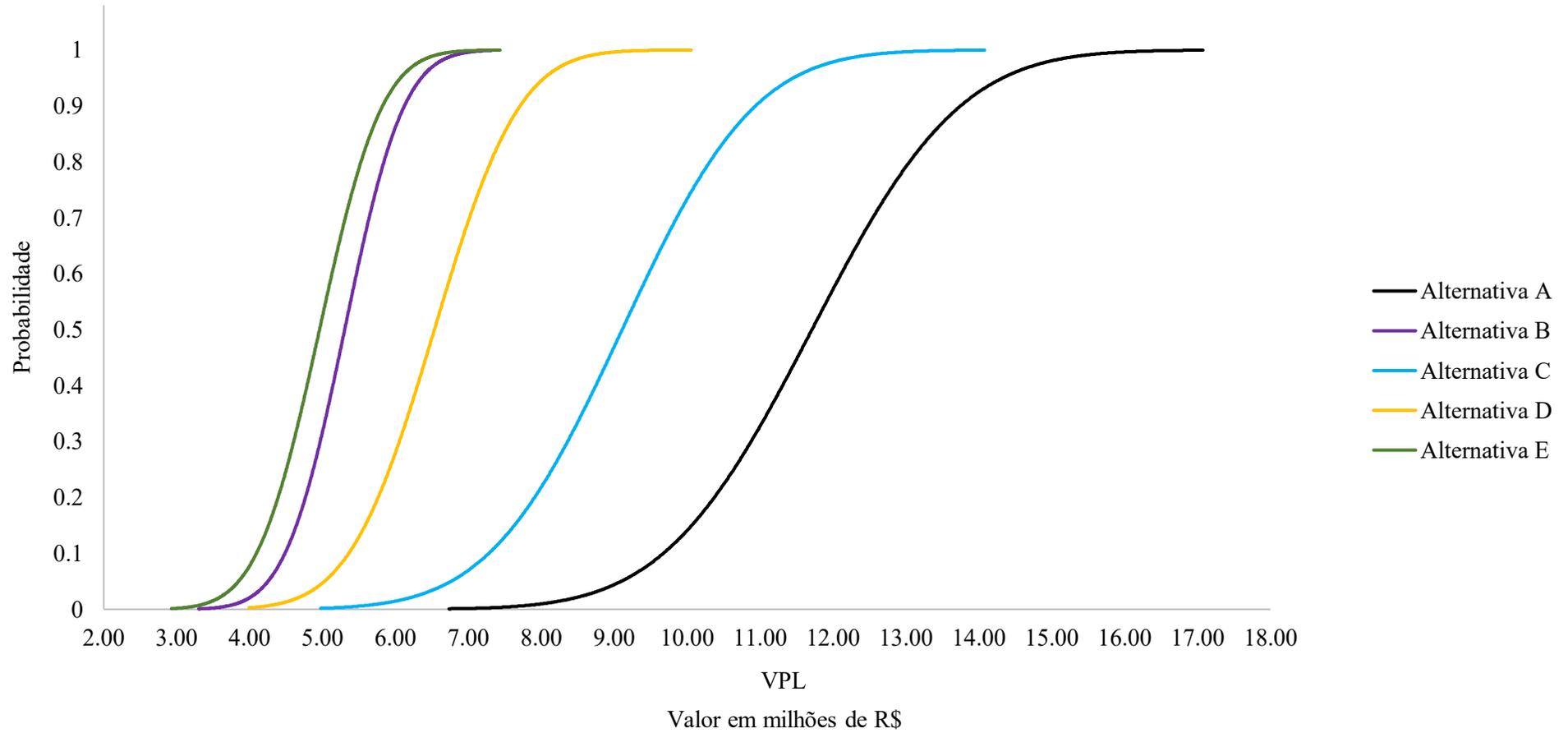
As distribuições cumulativas de probabilidade apresentadas no Gráfico 1 demonstram que a Alternativa A, de maior VPL, possui aproximadamente apenas 0,3% e 0,4% de probabilidade ter custo total menor que as Alternativas B e E, respectivamente. Além disso, verifica-se que a Alternativa C, que propõe a realização de alternativas corretivas, possui 87,95% dos valores de VPL obtidos maiores que os da Alternativa E.

As Alternativas A e C, por outro lado, são evidenciadas como as estratégias mais onerosas, sendo que até mesmo seus valores mínimos de VPL maiores que a média da Alternativa E, de menor custo total. Estas alternativas apresentam os maiores desvios padrões, ou seja, a maior variação de custos e, conseqüentemente, os maiores riscos de investimento associados. Assim, a interpretação dos resultados probabilísticos permite uma conclusão semelhante à obtida com a análise determinística. Entretanto, a análise estocástica contribui para a compreensão das probabilidades e variabilidades existente para o custo total das alternativas, além de possibilitar a investigação da sensibilidade do VPL em relação a grandeza dos parâmetros de entrada.

A análise do Gráfico 1 também permite compreender a variabilidade do VPL das alternativas propostas, que é inversamente proporcional à inclinação da curva de probabilidade cumulativa. Ou seja, quanto mais acentuada a inclinação, menor a variabilidade. Dessa forma as Alternativas A e C possuem as maiores incertezas – devido à variância dos resultados – e a Alternativa B, a menor. Nos Gráficos 2 e 3 estão expostas as distribuições probabilísticas e os histogramas obtidos para as alternativas avaliadas, respectivamente.

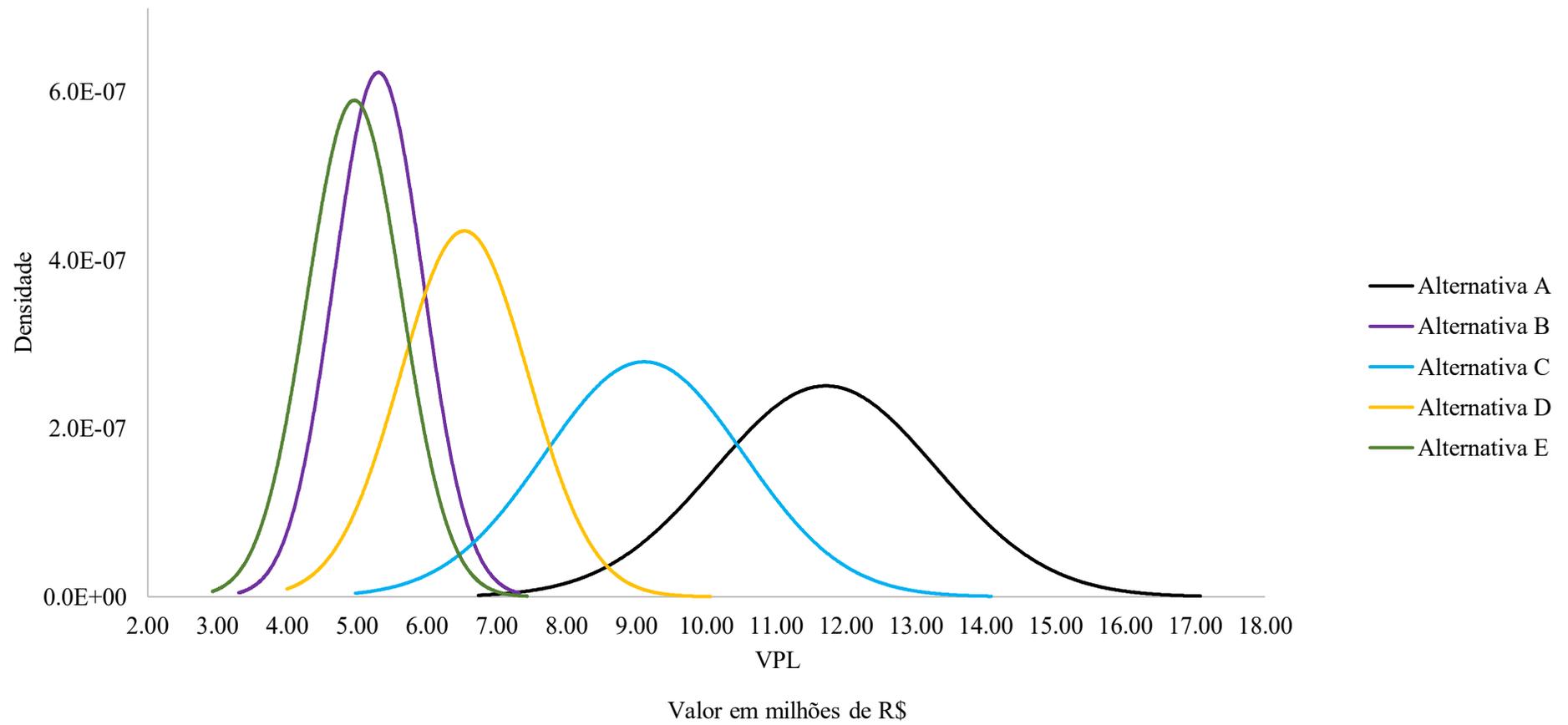
A interpretação do Gráfico 2 é compatível com a do Gráfico 1 e com os histogramas do Gráfico 3, contudo, a verificação da variabilidade dos valores de VPL é mais clara, além de permitir a identificação da faixa de VPL atendida por cada alternativa. O desvio padrão representa a variedade, a incerteza e os riscos associados a cada alternativa, assim, o conjunto desses dados colabora para a investigação do *tradeoff* entre risco e custos dos investimentos.

Gráfico 1 – Distribuição cumulativa de probabilidade de custos das alternativas



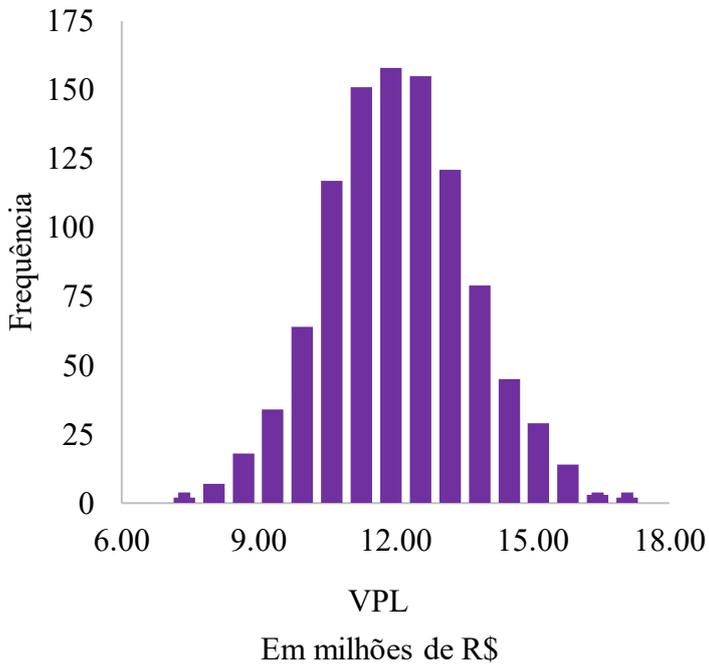
Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Gráfico 2 – Distribuição de probabilidade de custos das alternativas

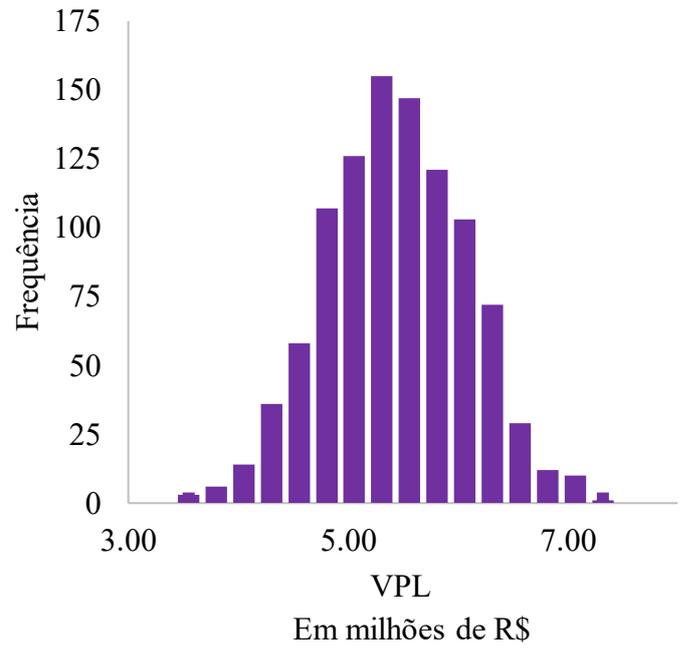


Fonte: Elaborado pela autora (2021)

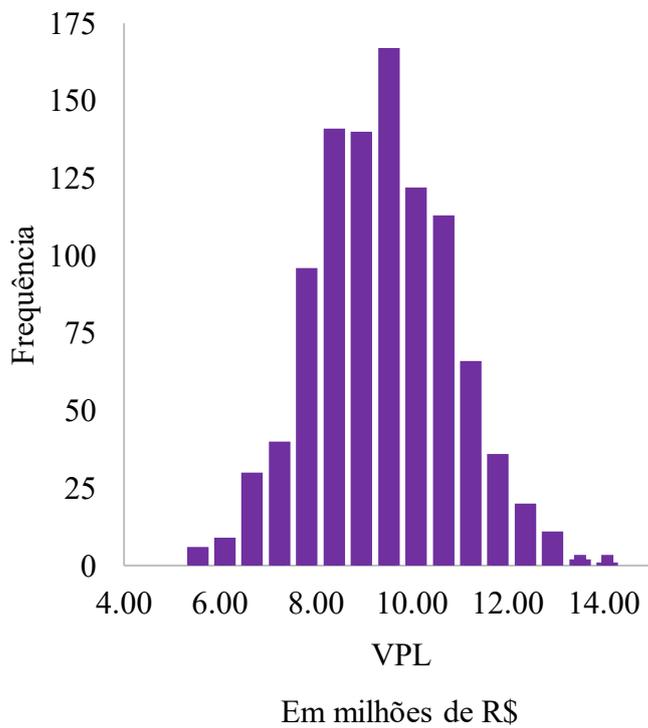
Gráfico 3 – Histograma de custos das alternativas



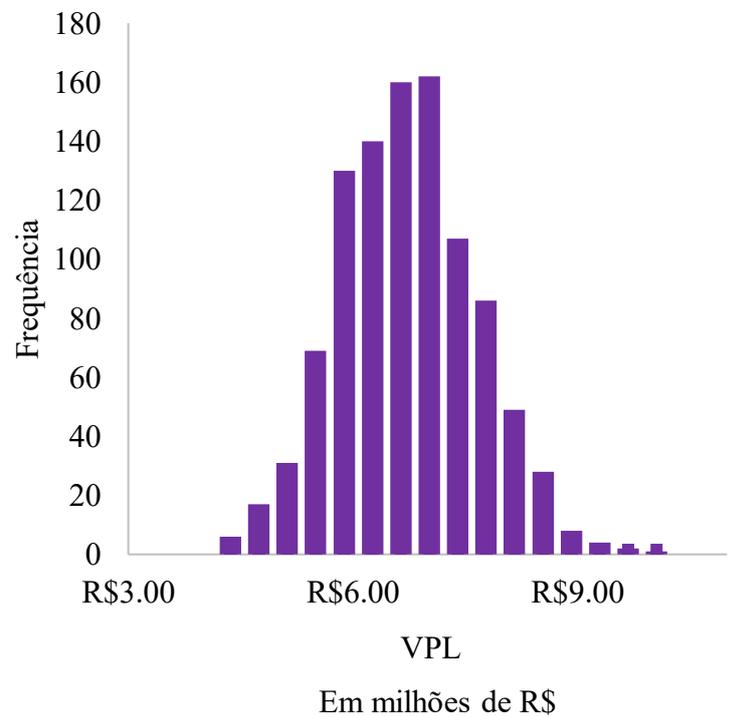
(a) Alternativa A



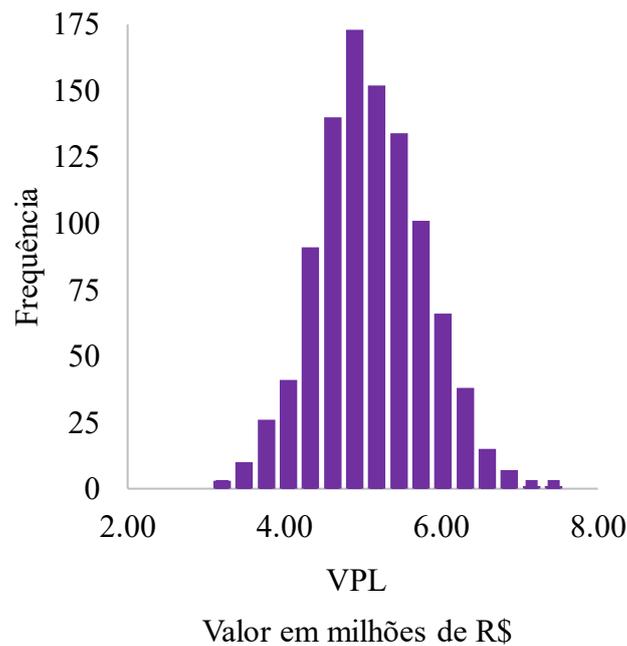
(b) Alternativa B



(c) Alternativa C



(d) Alternativa D



(e) Alternativa E

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

4.5 Análise da irregularidade longitudinal na ACCV

Definidas as estratégias para M&R e o modelo de previsão de desempenho baseado no IRI antes e após as atividades de M&R é possível estimar e avaliar o comportamento da irregularidade longitudinal da PPD durante o período de análise. Os resultados, aliados com a ACCV, podem apoiar o processo de tomada de decisão dos operadores de aeródromos em relação aos recursos dispensados para a manutenção do pavimento e garantia da segurança das operações de pouso e decolagem. Os dados de IRI ao longo do período de análise de cada alternativa estão descritos com maiores detalhes no Apêndice D.

Para avaliar o desempenho funcional do pavimento foram determinadas as médias do IRI, para cada alternativa, para todo o período de análise. Os resultados, considerando todo o comprimento da PPD e seus terços, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores médios de IRI (m/km) para o período de análise

Alternativa	Trecho			
	Toda a PPD	1º terço	2º terço	3º terço
A	5,00	5,24	4,73	5,00
B	1,71	1,72	1,71	1,69
C	1,87	1,88	1,87	1,87
D	1,83	1,83	1,83	1,82
E	1,78	1,78	1,79	1,76

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

De forma geral, verifica-se que a média do IRI para todo o período de análise não varia significativamente entre as estratégias avaliadas, com exceção da Alternativa A, que não propõe atividades de M&R, sendo que a diferença de IRI entre o melhor desempenho (Alternativa B) e o pior desempenho entre as estratégias que recomendam atividades de M&R (Alternativa C) é de apenas 9,4%. Além disso, os resultados das Alternativas B, C, D e E classificam o pavimento como “Bom” ao longo do período de análise, segundo a classificação proposta neste trabalho, enquanto a Alternativa A torna o pavimento em estado “Muito Ruim”.

A avaliação por terços da PPD também possibilita o mesmo entendimento. Isto valida que a definição de prioridades realizada foi capaz de evitar a deterioração do pavimento e, dessa forma, quaisquer uma das estratégias propostas que consideram a realização de intervenção devem, em teoria, garantir o desempenho funcional do pavimento e não prejudicar a segurança das operações de pouso e decolagem. Outro fator que também corrobora com essa consideração é que, ao se analisar a média do IRI a cada ano - como exposto no Gráfico 4(a) e 4(b) - percebe-se que para os 20 anos de avaliação nenhuma das alternativas permite que o pavimento alcance o limite de aceitabilidade do IRI, de 2,5m/km a cada 200m.

Há de se observar que a alternativa que demonstra o melhor valor médio de IRI para o período de análise é a Alternativa B, que embora não seja a alternativa com menor VPL é apenas 7,4% mais onerosa que a Alternativa E, de menor VPL. A Alternativa B sugere a realização de manutenções preventivas e, dessa forma, infere-se que estas foram eficazes em adiar ou evitar outras atividades mais onerosas.

A análise por terços demonstra que para uma mesma estratégia não é possível identificar variações consideráveis para os valores médios de IRI entre os diferentes trechos do pavimento, isto é, os terços da PPD têm desempenho bastante similar. Estes resultados levam à interpretação, mais uma vez, que a priorização realizada foi eficaz e não ocasiona a degradação de nenhum trecho da PPD. O Gráfico 5, que apresenta o IRI médio de cada seção para os 20 anos de análise, também auxilia nesta interpretação, além de reafirmar que as Alternativas B e

E proporcionam os menores valores de IRI.

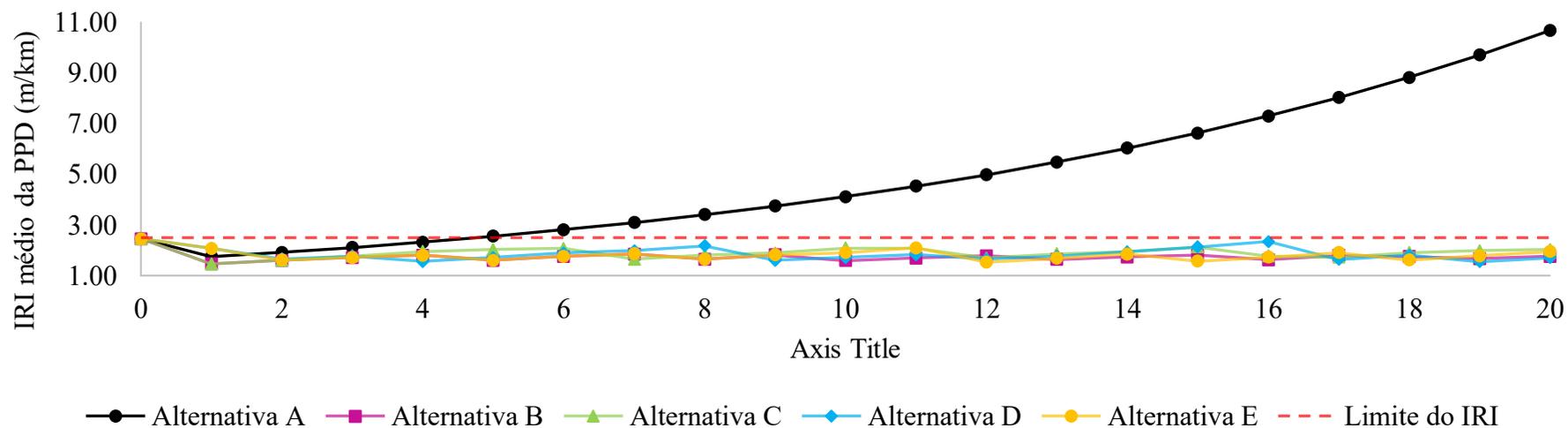
Os Gráficos 4(a), 4(b) mostram a evolução do IRI para todas as alternativas. Verifica-se que, em nenhum momento, o IRI atinge o limite de aceitabilidade. Entretanto, é possível notar que a Alternativa B é a que mais se distancia deste, o que pode ser confirmado, também, pelo valor médio do IRI apresentado na Tabela 17. A Alternativa B também é a que apresenta desempenho mais uniforme, pois as atividades preventivas se destinam a manter o nível de serviço do pavimento, contribuindo para a constância dos valores de IRI.

Seguido da Alternativa B está o desempenho da Alternativa E, que até mesmo possui alguns períodos com valores médios de IRI inferiores aos da Alternativa B, tais como os anos 12,15 e 18, o que foi possível em razão da manutenção corretiva realizada na maior parte da PPD no ano 12 e pela posterior aplicação de manutenções preventivas. A Alternativa E, assim como a B, também possui desempenho bastante uniforme, tendo pico de IRI no ano 11 de 2,10m/km, pois, nesse caso, esperou-se um IRI elevado para a proposição de um reperfilamento de grande parte de sua extensão, no ano seguinte.

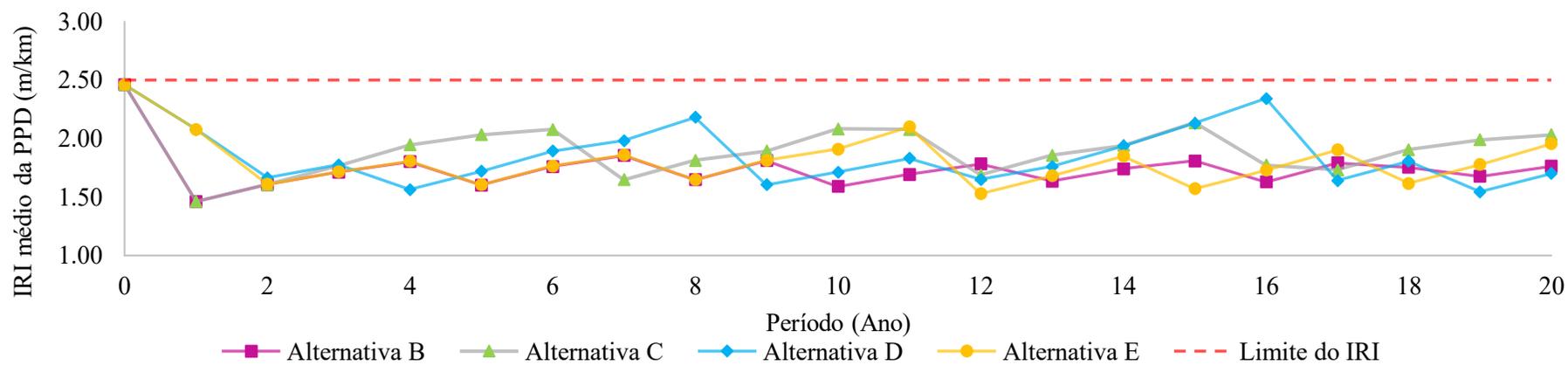
Por último estão as Alternativas A, C e D. Esta última apresenta o IRI que mais se aproximou do limite de aceitabilidade dentre as alternativas B, C, D e E; nos anos 8 e 16 (2,18m/km e 2,34m/km respectivamente), anteriores à proposição de manutenção corretiva em grande parte da extensão da PPD. Entretanto, em média, a Alternativa C é a que apresenta pior desempenho entre as estratégias que sugerem atividades de M&R, o que é bastante compreensível e esperado, pois a estratégia corresponde às atividades corretivas, aplicadas quando o pavimento apresenta IRI mais elevado.

A Alternativa A, por sua vez, demonstra o pior desempenho e, como visto no Gráfico 4(a) a partir do quinto ano da análise já apresenta IRI médio maior que o limite de aceitabilidade definido pela ANAC (2019), além de apresentar IRI médio elevado ao fim da análise (10,68m/km).

Gráfico 4 – IRI médio das seções ao longo do período de análise



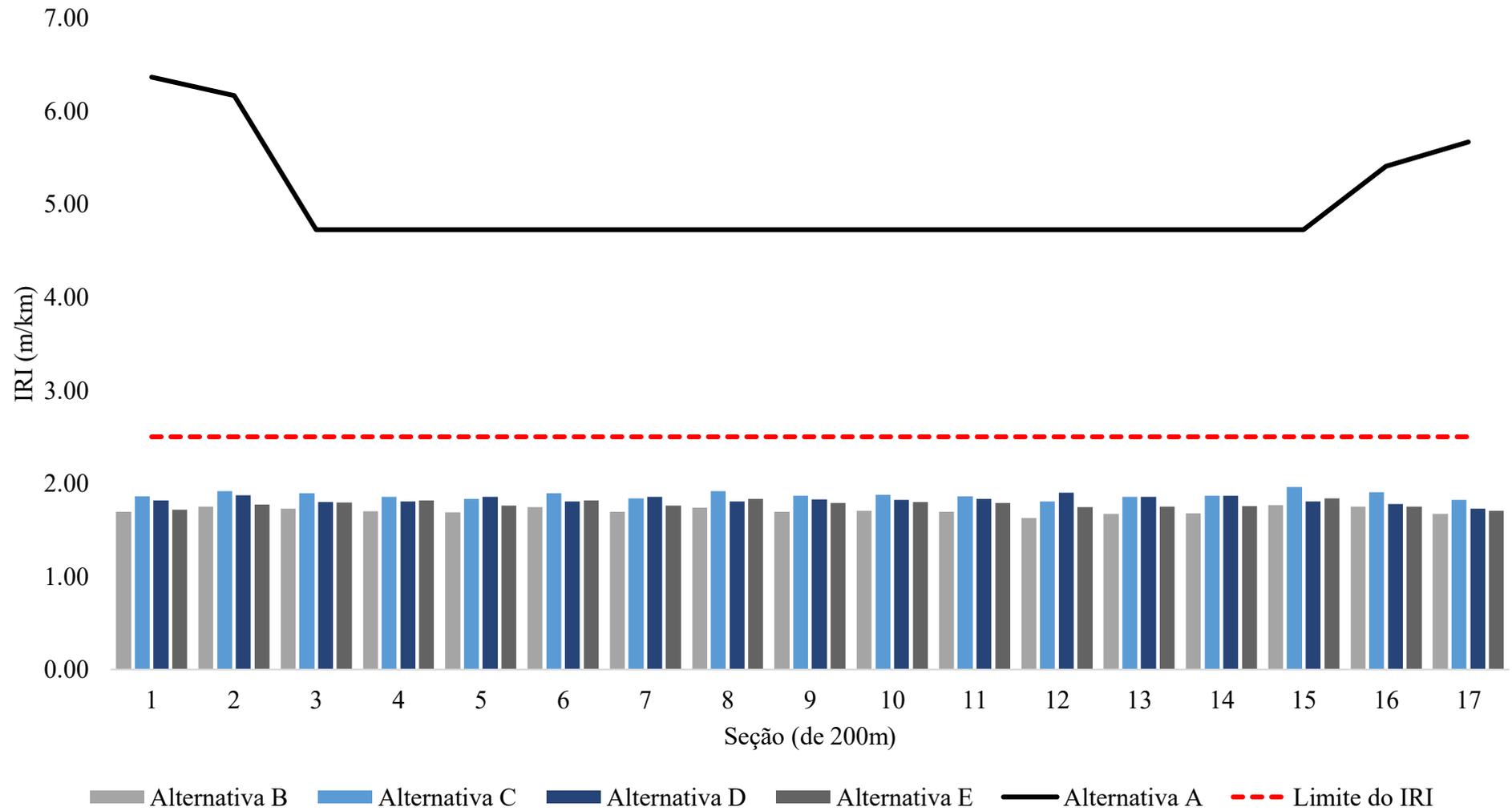
(a) Progressão do IRI para todas as alternativas



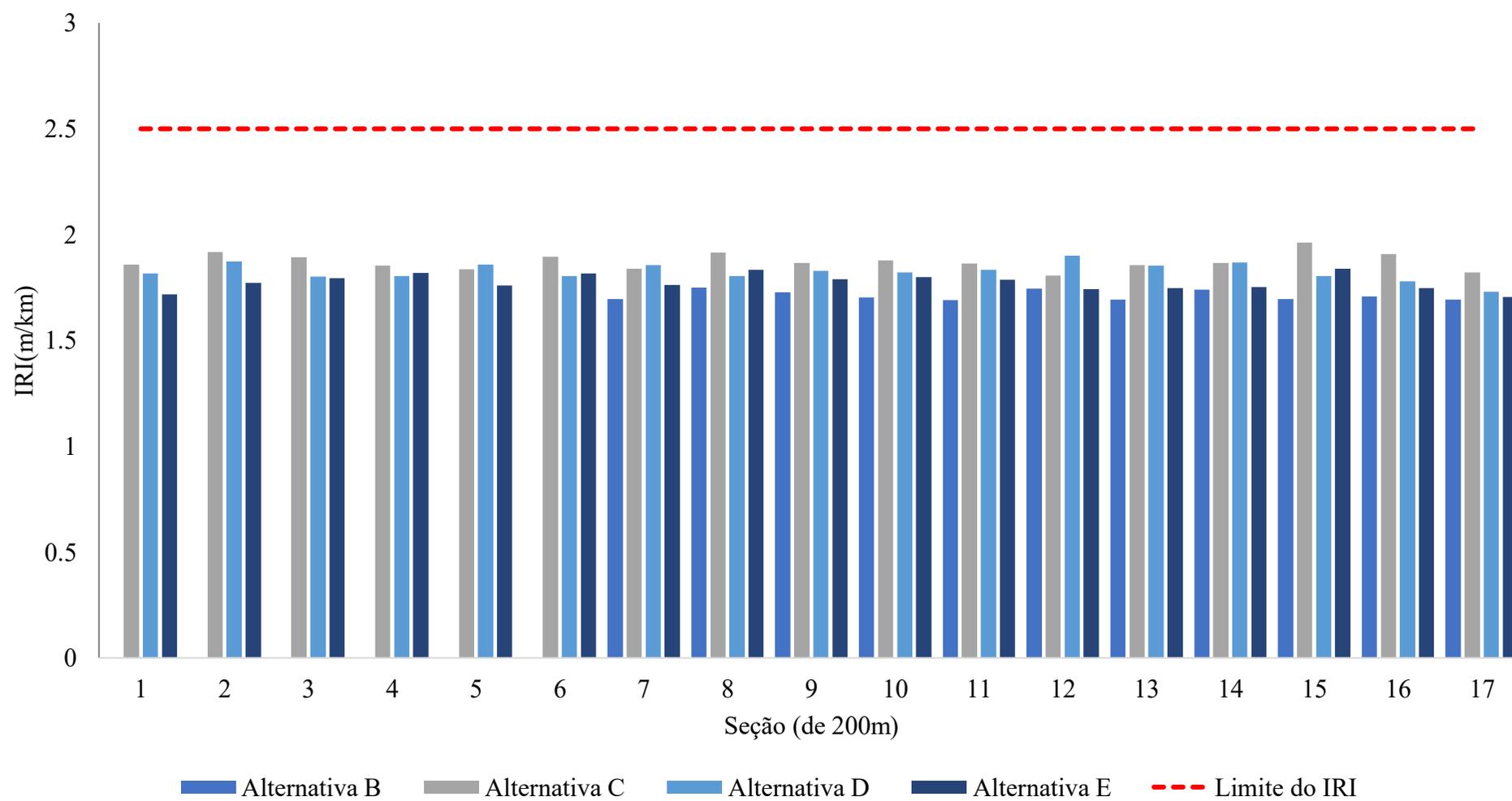
(b) Progressão do IRI para as Alternativas B a E

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Gráfico 5 – IRI médio das seções



(a) Todas as Alternativas
 Fonte: Elaborado pela autora (2021)



(b) Alternativas B a E
Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Para melhor se compreender estes resultados optou-se por realizar uma análise por meio da Relação Efetividade/Custo. A efetividade, que não foi representada monetariamente, é estimada pelo desempenho em relação à irregularidade longitudinal, expresso pela área delimitada pela curva de desempenho e pelo limite de aceitabilidade. Por sua vez, os custos são analisados por meio do VPL.

A Tabela 18 apresenta as relações Efetividade/Custo de cada uma das alternativas analisadas. Vale destacar que para a Alternativa A considerou-se que os benefícios representados pela área da curva acima do limite de aceitabilidade são negativos. Os valores foram elevados a sexta potência para facilitar sua comparação e avaliação.

Tabela 18 – Relação Efetividade/Custo das estratégias avaliadas

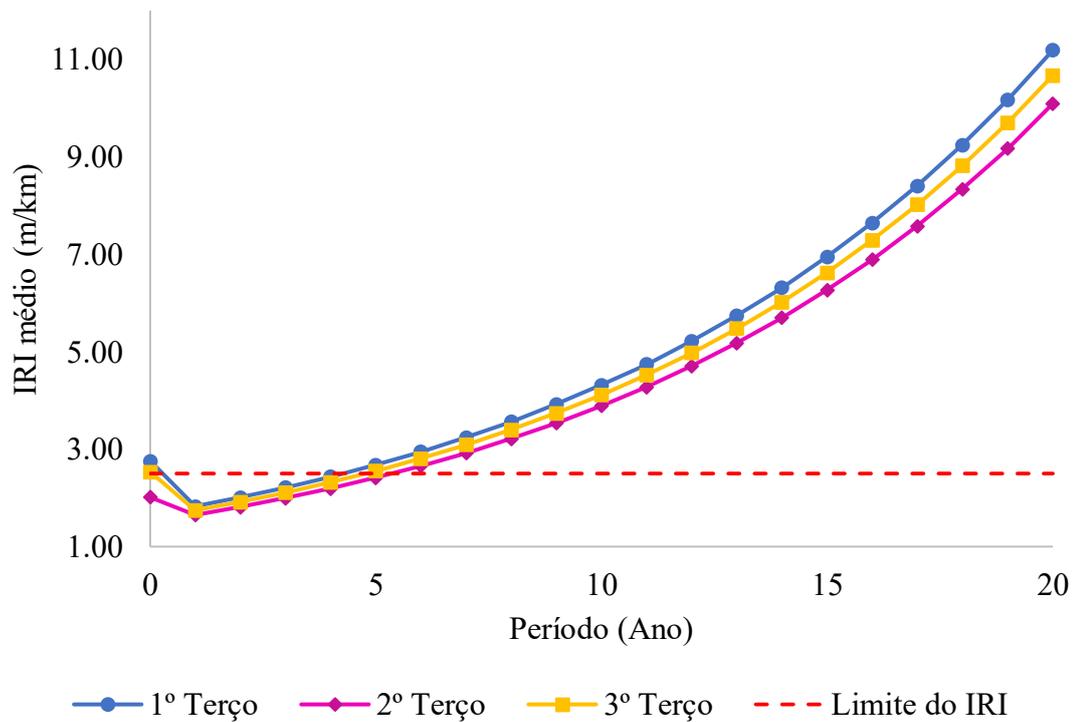
Alternativa	Efetividade (IRI×ano)	VPL (R\$)	Efetividade/Custo (IRI×ano/R\$)
A	-45,67	11.664.302,85	-3,92
B	15,53	5.328.316,47	2,91
C	12,33	8.863.039,78	1,39
D	13,11	6.501.412,02	2,02
E	14,23	4.934.917,59	2,88

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

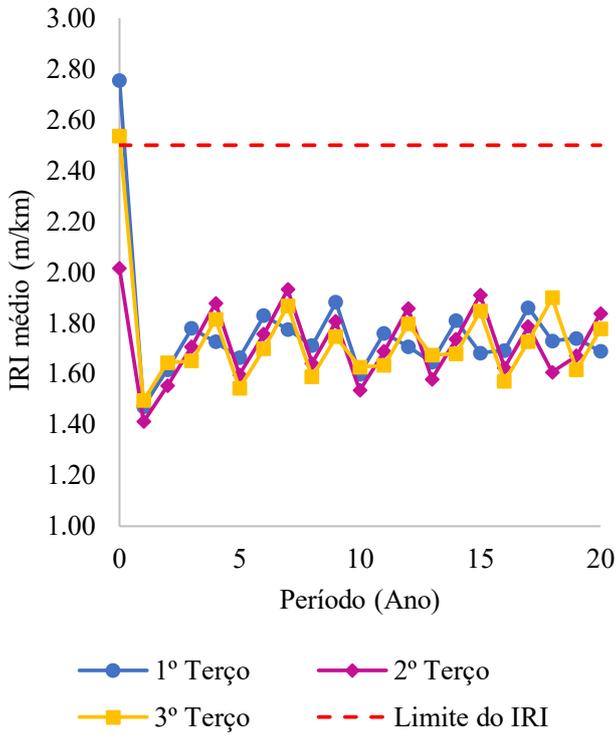
A Alternativa B se destaca por apresentar a melhor relação Efetividade/Custo, apesar de não possuir o menor VPL, esse fato evidencia a efetividade das manutenções preventivas, que colaboraram para a preservação das condições do pavimento em níveis adequados. Dessa forma, é validado que a Alternativa B é a que permite que o IRI da PPD mais se distancie do limite de aceitabilidade. Por outro lado, a Alternativa E, que possui o menor custo total, também possui uma ótima relação Efetividade/Custo, sendo apenas ligeiramente menor que a obtida pela Alternativa B. A ordem de seleção pelo critério Efetividade/Custo é similar à definida pela avaliação de custos, com exceção das Alternativas B e E. Essa conclusão deve-se aos altos valores de custos em comparação aos valores de efetividade, que não alteram significativamente a relação, além de se assumirem bastante similares para as quatro últimas estratégias avaliadas. Isto está de acordo com a definição de ACCV que considera que alternativas analisadas devem ter o benefício similar, para que a seleção de estratégias de M&R seja feita apenas em relação aos custos.

Pode-se entender que a estratégia de aplicação de manutenção preventiva oferece benefício adequado ao pavimento, possibilitando os menores valores de IRI, enquanto as manutenções corretivas, além de mais onerosas, devem ser evitadas, visto que apesar de serem acompanhadas de uma grande melhoria no desempenho do pavimento são aplicadas somente em momentos em que o pavimento atinge níveis de desempenho inadequados, o que pode prejudicar a segurança das operações no aeródromo. Todavia, ressalta-se que as variações em valores de IRI e efetividade ($IRI \times \text{ano}$) são ínfimas pois o objetivo das quatro últimas alternativas propostas é justamente evitar que as seções se aproximem do valor limite de aceitabilidade do IRI definido pela ANAC (2019).

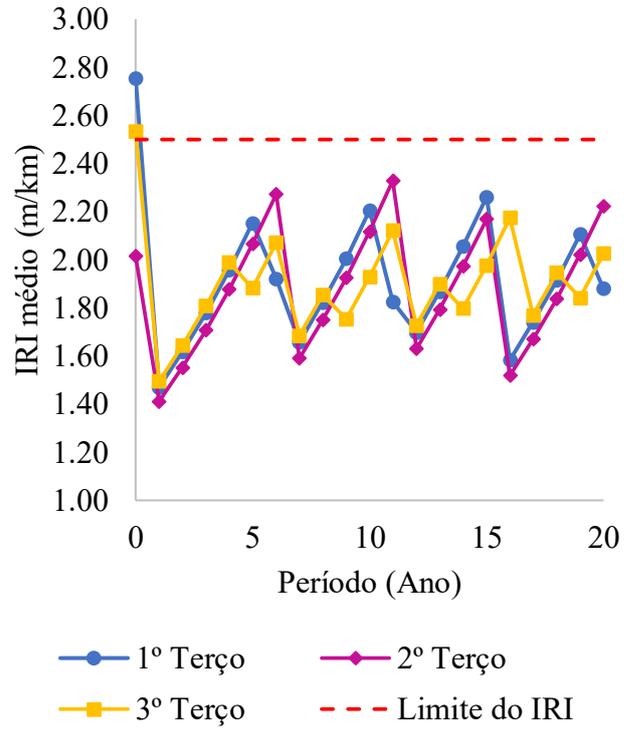
Gráfico 6 – Progressão do IRI ao longo do período de análise



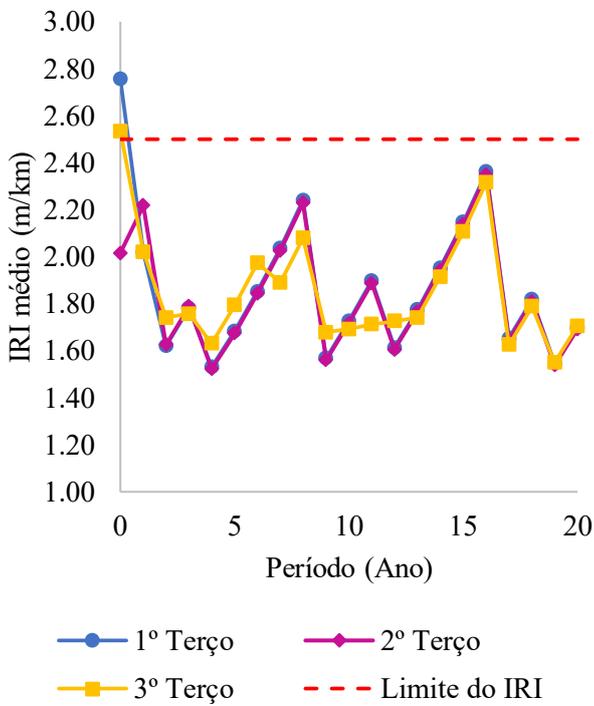
(a) Alternativa A



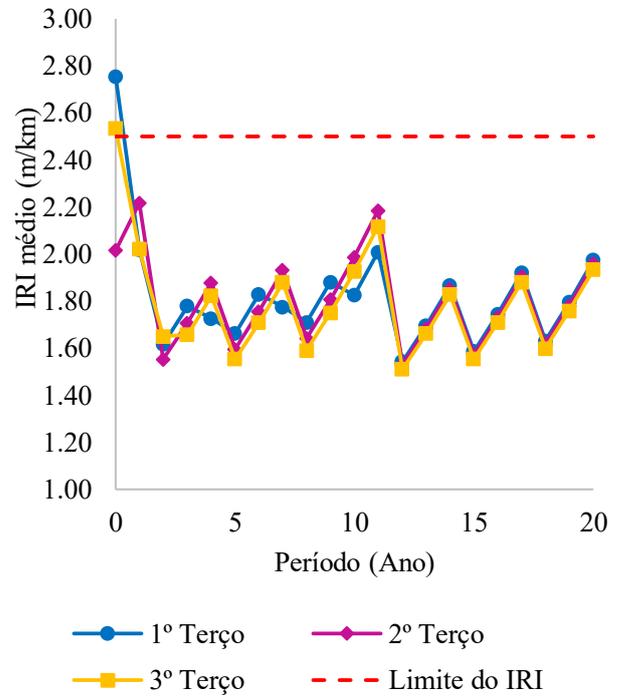
(b) Alternativa B



(c) Alternativa C



(d) Alternativa D



(e) Alternativa E

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Finalizando a avaliação do desempenho do pavimento são expostos, nos Gráficos 6(a), 6(b), 6(c), 6(d) e 6(e), os desempenhos funcionais dos terços da PPD em relação ao IRI das Alternativas A a E, não pela média do período, mas anualmente, durante os 20 anos de análise.

Ao se observar os dados para a Alternativa B verifica-se que, em geral, o primeiro terço possui IRI mais elevado, mesmo que apenas ligeiramente, posto que os valores não assumem grande variação. O segundo terço, por sua vez, é o que apresenta o menor IRI ao longo do tempo, isto pode ser explicado pela escolha de corrigir sua extensão por meio de um reperfilamento ao início da análise, o que acaba por elevar consideravelmente seu desempenho nos primeiros anos. Contudo, o oposto acontece com os terços que começam nas cabeceiras da PPD, pois estes estão mais degradados ao início da análise e as manutenções preventivas não recuperam completamente o desempenho das seções do pavimento.

De forma similar, as Alternativas C e D também revelam o primeiro terço como o que possui IRI mais elevado ao longo do tempo, sendo que para esta última o comportamento é mais uniforme entre os terços. Destaca-se que na Alternativa C o segundo terço apresenta valores de IRI elevados que se devem ao período de aplicação das atividades corretivas, já que o reperfilamento é realizado apenas quando o pavimento demonstra problemas funcionais identificados pelo IRI elevado.

A Alternativa E tem comportamento - para seus três terços - bastante semelhante, principalmente a partir do décimo segundo ano da análise, evidenciando a menor variação de IRI entre os terços da PPD dentre as alternativas avaliadas. Dessa forma, a diferença dos valores de IRI para as seções do pavimento é melhor observada apenas no início da análise, sendo que o primeiro possui os valores mais elevados neste período, por efeito de suas condições no ano inicial da análise.

A análise do Gráfico 6 demonstra que o método utilizado para proposição das atividades e priorização de seções foi capaz de evitar a degradação de toda a extensão do pavimento, evitando que a situação original se repetisse (os terços das cabeceiras bem mais danificados que o restante da PPD). Também é possível verificar a diferença entre as atividades de manutenção preventiva e corretiva; as manutenções preventivas são aplicadas em maior quantidade e deixam o IRI em uma faixa mais contida de valores, enquanto as manutenções corretivas são aplicadas menos vezes e seus valores de IRI assumem maior variabilidade.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

São expostas neste capítulo as principais conclusões e limitações obtidas com o desenvolvimento desta pesquisa, que se propôs a analisar diferentes estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) para correção de defeitos funcionais da pista de pouso e decolagem (PPD) de um aeródromo militar brasileiro, avaliados por meio da irregularidade longitudinal representada pelo Índice Internacional de Irregularidade (IRI). As alternativas de M&R foram analisadas em relação aos seus custos, considerando a Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e o desempenho do pavimento ao longo do tempo.

5.1 Principais Conclusões

Foram propostas e investigadas, em relação aos custos e ao desempenho funcional, cinco alternativas de M&R para uma PPD de um aeródromo militar brasileiro ao longo de um período de análise de 20 anos. A análise realizada contribuiu para a verificação de que as atividades de M&R são benéficas para o desempenho dos pavimentos aeroportuários.

Nessa perspectiva, a estratégia ‘Não Fazer Nada’ apresenta os maiores custos ao longo do tempo, apresentando custo total maior que o dobro do custo da alternativa com menor Valor Presente Líquido (VPL), esta interpretação está presente tanto na ACCV determinística quanto na probabilística. Além disso, a alternativa que considera a não realização de atividades de M&R apresenta a maior degradação do pavimento, o que é demonstrado pela elevada irregularidade longitudinal ao longo do período analisado. Ou seja, não realizar atividades de manutenção não é benéfico para o pavimento, pois além da necessidade de um investimento total de maior vulto, o IRI elevado pode afetar a segurança das operações de pouso e decolagem e pode prejudicar a segurança e integridade das aeronaves, dos equipamentos aeronáuticos e dos usuários que utilizam o aeródromo.

O desempenho em relação a irregularidade avaliada por meio do IRI é bastante similar para as alternativas que propõem atividades de intervenção no pavimento, assim, em teoria, qualquer uma dessas alternativas permitiriam o bom desempenho do pavimento ao longo do tempo e qualquer uma poderia ser selecionada sem trazer prejuízo à segurança operacional. Por sua vez, as manutenções preventivas são preferíveis em relação às manutenções corretivas, em razão de sua menor onerosidade e por possibilitarem a preservação do pavimento em níveis adequados de desempenho, além de apresentarem menor variabilidade e, conseqüentemente,

menores incerteza e risco associados aos investimentos necessários.

Outros aspectos, além da análise econômica, devem ser levados em consideração, tais como a experiência do operador do aeródromo com a execução de obras e serviços de pavimentação, o impacto nas operações, a disponibilidade de recursos humanos, financeiros e técnicos, restrições de projeto, práticas regionais e o cenário político e ambiental. A ACCV não determina qual estratégia é a mais adequada, mas suas informações podem ser utilizadas como componente da tomada de decisão, tornando o processo mais abrangente e favorecendo a argumentação das várias partes interessadas.

Portanto, a ACCV se mostrou eficaz para otimizar o processo de seleção de estratégias de M&R em pavimentos aeroportuários, tanto a abordagem probabilística quanto a determinística, possibilitando uma análise econômica crítica para a tomada de decisão e tornando o procedimento mais transparente. A análise probabilística permitiu identificar a variação de resultados para o VPL, mas, de modo geral, as duas abordagens levam a conclusão similares. Aliada à ACCV, a análise do desempenho da PPD possibilita, a partir da identificação das estratégias menos onerosas e com melhores desempenhos, a garantia e o incremento da segurança das operações de pouso e decolagem.

5.2 Limitações da pesquisa

A principal limitação deste trabalho está relacionada a escassez de dados disponíveis sobre o pavimento da PPD do aeródromo avaliado, incluindo sua composição de camadas, espessuras e materiais constituintes, mas, sobretudo, no que se refere às características de seu desempenho, que são necessárias para determinar o comportamento do IRI ao longo do tempo. A escassez de dados afeta a proposição das alternativas e quanto menor a quantidade de dados menos confiável é a análise. Assim, um banco de dados histórico e confiável associado a um SGPA auxiliaria na previsão dos investimentos do ciclo de vida e no desenvolvimento das alternativas da análise. Além disso, o banco de dados deve estar acompanhado do processamento e da análise integral dinâmica destes.

Os relatórios de levantamento das características do pavimento também precisam ser aprimorados e o levantamento de IRI pode conter, também, os perfis de elevação. Outra limitação do trabalho foi a simplificação em relação ao modelo de progressão do IRI e à subjetividade relacionada a proposição das melhorias do IRI após a intervenção. Além disso, não foram considerados os impactos à operacionalidade do aeródromo, apesar de que as manutenções corretivas e as reabilitações certamente afetam as operações de pouso e

decolagem, podendo até mesmo justificar operações com comprimento de pista reduzido e implicando em voos com menor quantidade de passageiros e cargas e peso e distância (quantidade de combustível) reduzidos.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

São listadas algumas sugestões para o desenvolvimento de pesquisas futuras:

- a) Integração da ACCV com Análises do Ciclo de Vida (ACV) e com informações de custos operacionais que podem contribuir para a avaliação dos impactos ambientais e das operações do aeródromo ocasionados pelas atividades de M&R, além da determinação e consideração de custos indiretos na ACCV, tais como os custos dos usuários e custos com o planejamento, implantação e administração das obras;
- b) Análise econômica das atividades de M&R destinadas à correção de características estruturais ou mesmo de outros aspectos funcionais, avaliados por meio de outros índices que não o IRI;
- c) Investigação do ponto ótimo entre manutenções preventivas e corretivas, em relação aos custos e riscos e variabilidades associados ao investimento;
- d) Verificação de diferentes equações para o IRI e suas influências quanto a sensibilidade do custo total;
- e) Avaliação da influência da variabilidade de outros parâmetros na ACCV probabilística, tais como o período de análise, o limite de aceitabilidade do IRI e a efetividade adotada para as atividades de M&R.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Edward; VARGAS, Erinne; TIGHE, Susan L.; VARAMINI, Sina. Life Cycle Cost Analysis of Perpetual Runway Pavements: Canadian Perspective. In: CSCE – Annual Conference, 2019, Laval (Greater Montreal). **Anais CSCE – Annual Conference**. Disponível em:

<https://csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2019/pdfs/PaperPDFversion_264_0503050149.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM (ACRP). **Common airport pavement maintenance practices. Transportation Research Board, A Synthesis of Airport Practice (Synthesis No. 22)**, Washington, D.C, 2011.

AMINI, A., *et al.* Life cycle cost comparison of highways with perpetual and conventional pavements. **International Journal of Pavement Engineering**, 13 (6), 553–568, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **MANUAL de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários – SGPA**. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília, DF, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153 EMENDA Nº 04: Aeródromos - Operação, manutenção e resposta à emergência**. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília, DF, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Relatório Técnico nº 002/2020/SBFZ**. Brasília: ANAC, 2020. 7p.

BABASHAMSI, P; YUSUFF N Izzi; CEYLAN, H.; NOR, N. G. & S.J, HASHEM. Evaluation of Pavement Life Cycle Cost Analysis: Review and Analysis. **International Journal of Pavement Research and Technology**. 9. 2016.

BALINHO DO Ó, I.; PICADO SANTOS, L. G. Airport pavement maintenance planning using a genetic algorithm for global cost minimization. In: **World Conference on Pavement and Asset Management**, 2017.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras/Abeda, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **SINAPI: Referências para Custos Horários e Encargos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Caixa Econômica Federal. – 1ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2020.

CHEN, Xueqin; ZHU, Hehua; DONG, Qiao; HUANG, Baoshan. Optimal thresholds for pavement preventive maintenance treatments using LTPP data. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 143, n. 6, p. 4017018, 2017.

CHEN, Chen; FLINTSCH, Gerardo W. Fuzzy logic pavement maintenance and rehabilitation triggering approach for probabilistic life-cycle cost analysis. **Transportation research record**, v. 1990, n. 1, p. 80-91, 2007.

CHOOTINAN, P.; CHEN, A.; HORROCKS, M.; BOLLING, D. A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach. **Transportation Research**. Part A 40:725–743, 2006.

DAS, Anik; BARUA, Saurav; KHAN, Nasim; RAHMAN, Mizanur. Evaluation of Life Cycle Cost Analysis of Airport Pavement. **International Journal of Pavement Research & Technology**, v. 4, n. 8, p. 352-356, 2015.

DING, Tingting; SUN, Lijun; CHEN, Zhang. Optimal strategy of pavement preventive maintenance considering life-cycle cost analysis. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 96, p. 1679-1685, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria Executiva. Coordenação-Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. Composições de Custos, DNIT, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. DNIT, 2006.

DONG, Qiao; HUANG, Baoshan. Evaluation of effectiveness and cost-effectiveness of asphalt pavement rehabilitations utilizing LTPP data. **Journal of Transportation Engineering**, v. 138, n. 6, p. 681-689, 2012.

DURÁN, J. B. C. **Avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos aeroportuários através da resposta dinâmica das aeronaves**. Tese (doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes – Área de concentração em Infra-Estrutura de Transporte. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2019.

DURÁN, J. B. C. **Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários: Estudo de Caso no Aeroporto Estadual de Araraquara**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes – Área de concentração: Infraestrutura de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. 202 p. São Carlos, SP, 2015.

EMERY, S.; HEFER, A.; HORAK, E. **Roughness of Runways and Significance of Appropriate Specifications and Measurement**. Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). Contratação de serviços de elaboração de projeto executivo e execução das obras e serviços de fresagem do revestimento asfáltico existente, execução de camada estrutural de concreto asfáltico (CBUQ), e execução de camada superficial porosa de atrito (CPA) na Pista de Pouso e Decolagem 17R/35L e serviços complementares no Aeroporto de Congonhas/SP. **Composição Analítica Proposta**. 2020. Disponível em: < https://licitacao.infraero.gov.br/portal_licitacao/servlet/DetalheLicitacao?idLicitacao=160904 >. Acesso em 14 jan. 2021.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular – AC 150/5320-6F. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington,

DC, 2016.

FAA. **Airport Pavement Management Program**. Advisory Circular – AC 150/5380-7B. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2014.

FERREIRA, Adelino; SANTOS, João. LCCA system for pavement management: sensitivity analysis to the discount rate. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 53, p. 1172-1181, 2012.

GRANSBERG, D.D; PITTENGER, D.M. Maintaining Airport Pavement Friction Using Surface Densification, in: **9th International Conference on Managing Pavement Assets**, 2015.

HAIDER, Syed Waqar; DWAIKAT, Monther B. Estimating optimum timing for preventive maintenance treatment to mitigate pavement roughness. In: **Transportation Research Record**, v. 2235, n. 1, p. 43-53, 2011.

HAN, Daeseok; DO, Myungsik. Life Cycle Cost Analysis on pavement inspection intervals considering maintenance work delay. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 6, p. 1716-1726, 2015.

HEIN, David K.; AHO, Brian. Preserving our airfield pavements. In: **Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow**. 2011. p. 244-254.

HEUVINCK, Timothy. **Life Cycle Cost Analysis: Application to an Airport Pavement**. 2015. 68 pág. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2015.

HUANG, Yang H. **Pavement analysis and design**. 2nd ed. New Jersey: Pearson, 2004.

IATA. **World Air Transport Statistics 2019**. International Air Transport Association. Montreal - Geneva, 2020.

ICAO. **Manual on the regulation of international air transport**. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, 2004.

IRFAN, Muhammad *et al.* Evaluating the cost effectiveness of flexible rehabilitation treatments using different performance criteria. **Journal of Transportation Engineering**, v. 135, n. 10, p. 753-763, 2009.

IRFAN, Muhammad *et al.* **Framework for airfield pavements management—an approach based on cost-effectiveness analysis**. European Transport Research Review, v. 7, n. 2, p. 13, 2015.

KARNIKOWSKI, Tamires. **Seleção de estratégias de manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos baseada na análise do custo do ciclo de vida**. 2019. 92 pág. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville, 2019.

KHURSHID, Muhammad Bilal; IRFAN, Muhammad; LABI, Samuel. Comparison of methods for evaluating pavement interventions: Evaluation and case study. **Transportation Research Record**, v. 2108, n. 1, p. 25-36, 2009.

KHURSHID, Muhammad Bilal; IRFAN, Muhammad; LABI, Samuel. Optimal performance threshold determination for highway asset interventions: Analytical framework and application. **Journal of transportation engineering**, v. 137, n. 2, p. 128-139, 2011.

LABI, Samuel; SINHA, Kumares C. Life-cycle evaluation of flexible pavement preventive maintenance. **Journal of transportation engineering**, v. 131, n. 10, p. 744-751, 2005.

LAMPTEY, G., AHMAD, M. Z., LABI, S., SINHA, K. C. **Life cycle cost analysis for INDOT pavement design procedures**. 2005.

LAMPTEY, G., LABI, S., LI, Z. **Decision support for optimal scheduling of highway pavement preventive maintenance within resurfacing cycle**. *Decis. Support Syst.* 46 (1), 376–387. 2008

LING, J.M; DU. Z.M; YUAN.M. Optimum Maintenance and Rehabilitation Decision Making Considering Delay Effects for Airport Pavement Management. In: **International Journal of Pavement Research and Technology**. 2013.

LOPRENCIPE, G.; ZOCCALI, P. Comparison of methods for evaluating airport pavement roughness. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 20, n. 7, p. 782–791, 2017.

MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

MOLZ *et al.* A influência da irregularidade dos pavimentos nos custos totais de transporte: estudo de caso de uma rodovia do Rio Grande do Sul. In: 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2020. **Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Evento Digital. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2020. p. 956-966. 2020. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20III/2_313_AC.pdf. Acesso em 03 fev. 2021.

NOWAK, George. LCCA and Pavement Design for The New Parallel Runway at Calgary International Airport. **Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements**. 2013.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. **Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: Estudo de caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza**. 2009. 184 pág. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PITTENGER, D. M. Evaluating sustainability of selected airport pavement treatments with life-cycle cost, raw material consumption, and Greenroads standards. **Transportation Research Record**, v. 2206, n. 1, p. 61-68, 2011.

PITTENGER, D. M. *et al.* Stochastic life-cycle cost analysis for pavement preservation treatments. **Transportation research record**, v. 2292, n. 1, p. 45-51, 2012.

RAHMAN, Md Mostaqur; TAREFDER, Rafiqul Alam. Selection Of The Most Cost Effective Pavement Maintenance Treatment For Selected Airport Pavements In New Mexico. *In: 7th Symposium on Pavement Surface Characteristics: SURF 2012*. 2012.

RAMOS, F. R. Q. **Aplicação de SMA (Stone Matrix Asphalt) em pavimentos aeroportuários**: estudo de caso do Aeroporto de Aracaju – SE. 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 174 pág, 2015.

SANTERO, Nicholas J.; MASANET, Eric; HORVATH, Arpad. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 9-10, p. 801-809, março. 2011.

SANTOS, Caio Rubens Gonçalves. **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. 2011. 295 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SHAHIN, M. Y. (2005) **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots**. 2nd Edition. Chapman & Hall, New York, USA.

SIMÕES, Diogo; ALMEIDA-COSTA, Ana; BENTA, Agostinho. Preventive maintenance of road pavement with microsurfacing—An economic and sustainable strategy. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 11, n. 9, p. 670-680, 2017.

SOUZA, N. M. D., DE ALMEIDA FILHO, A. T. A systematic airport runway maintenance and inspection policy based on a delay time modeling approach. **Automation in Construction**, v.110, 103039, 2020.

TAREFDER, Rafiqul Alam; RAHMAN, Md Mostaqur. Development of system dynamic approaches to airport pavements maintenance. **Journal of Transportation Engineering**, v. 142, n. 8, p. 04016027, 2016.

TIGHE, Susan. Guidelines for probabilistic pavement life cycle cost analysis. **Transportation research record**, v. 1769, n. 1, p. 28-38, 2001.

TIGHE, Susan *et al.* An Evaluation of Various Prioritization Methods for Effective Pavement Management: A Canadian Airport Case Study. *In: Federal Aviations Administration World Wide Airport Technology Transfer Conference, Atlantic City, New Jersey, USA*. 2004.

WALLS, J.; SMITH, M. R. **Life-cycle cost analysis in pavement design: Interim technical bulletin (No. FHWA-SA-98-079)**. United States. Federal Highway Administration, 1998.

WANG, Zilong; WANG, Hao. Life-cycle cost analysis of optimal timing of pavement preservation. **Frontiers of Structural and Civil Engineering**, v. 11, n. 1, p. 17-26, 2017.

WELLS, A. T. e YOUNG, S. B. (2004). **Airport Planning & Management**. 5th Edition.

McGraw-Hill. New York, USA.

WHITE, G; KITCHEN, R. Parametric comparison of the whole of life cycle cost of rigid and flexible aircraft pavements. **Eighteenth Annual International Conference on Pavement Engineering, Asphalt Technology and Infrastructure**, Liverpool, England, United Kingdom, 27-28, 2019.

XU, Ying; TSAI, Yi-Chang. Financial consequences of delaying pavement rehabilitation: Case study using LTPP data. **Journal of transportation engineering**, v. 138, n. 8, p. 975-982, 2012.

ZHANG, H.; KEOLEIAN, G. A.; LEPECH, M. D. An integrated life cycle assessment and life cycle analysis model for pavement overlay systems. In: **Proc., 1st Int. Symp. on Life-Cycle Civil Engineering**. London: Taylor & Francis Group, 2008. p. 907-915.

APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES ANALÍTICAS DE CUSTO UNITÁRIO

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	SELAGEM DE TRINCAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL						
CÓDIGO:	001.001	UNIDADE	m	DATA BASE	JUL/2020		
				PRODUÇÃO DA EQUIPE	93,75	m	
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
CAMINHÃO CARROCERIA COM CAPACIDADE DE 5 T - 115 KW	UN	1,000	0,5000	0,5000	88,1056	36,7815	62,44
EQUIPAMENTO PARA SELAGEM COM MATERIAL ASFÁLTICO REBOCÁVEL - 35 KW	UN	1,000	1,0000	0,0000	61,3047	39,2003	61,30
						CUSTO HORÁRIO DE EQUIPAMENTOS	123,74
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	2,000	15,9014	31,80
							0,00
						CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA	31,80
ENCARGOS SOCIAIS						114,70%	36,47
CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA (TOTAL)							68,27
						CUSTO HORÁRIO TOTAL	192,01
						CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO	2,05
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
AREIA MÉDIA				M³	0,00064	68,7875	0,04
EMULSÃO ASFÁLTICA RR-1C				T	0,00058	2880,00	1,67
						CUSTO UNITÁRIO DE MATERIAIS	1,71
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO UNITÁRIO DE ATIVIDADES AUXILIARES	0,00
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO DE UNITÁRIO DE TEMPO FIXO	0,00
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO DE UNITÁRIO DE TRANSPORTE	0,00
						CUSTO UNITÁRIO (TOTAL)	
						BDI	21,75%
						PREÇO UNITÁRIO TOTAL	
						3,76	0,82
						4,58	

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	REMENDO SUPERFICIAL OU TAPA BURACO EM PAVIMENTO FLEXÍVEL						
CÓDIGO:	001.002	UNIDADE	m³	DATA BASE	JUL/2020		
				PRODUÇÃO DA EQUIPE	0,75	m³	
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
CALDEIRA DE ASFALTO REBOCÁVEL COM CAPACIDADE DE 600 L	UN	1,000	0,0200	0,9800	9,2701	5,3748	5,45
COMPACTADOR MANUAL COM SOQUETE VIBRATÓRIO - 4,1 KW	UN	1,000	0,4400	0,5600	6,5001	0,6525	3,23
COMPACTADOR MANUAL DE PLACA VIBRATÓRIA - 3 KW	UN	1,000	0,2500	0,7500	5,1115	0,6610	1,77
COMPRESSOR DE AR PORTÁTIL DE 124 PCM - 27 KW	UN	1,000	0,2700	0,7300	24,7103	5,5321	10,71
MARTELETE PERFURADOR/ROMPEDOR A AR COMPRIMIDO DE 25 KG PARA ROCHA	UN	1,000	0,2700	0,7300	22,1941	20,9621	21,29
SERRA PARA CORTE DE CONCRETO E ASFALTO - 10 KW	UN	1,000	0,1600	0,8400	14,5587	0,9775	3,15
					CUSTO HORÁRIO DE EQUIPAMENTOS		45,60
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	6,000	15,9014	95,41
							0,00
					CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA		95,41
					ENCARGOS SOCIAIS		114,70%
					CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA (TOTAL)		204,85
					CUSTO HORÁRIO TOTAL		250,45
					CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO		333,93
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
DISCO DIAMANTADO - D = 350 MM				UN	0,01333	257,7455	3,44
PONTEIRO PARA MARTELETE DE 22 X 1.000 MM				UN	0,02000	140,9043	2,82
RESVESTIMENTO ASFÁLTICO				UN	1,00000	0,0000	0,00
					CUSTO UNITÁRIO DE MATERIAIS		6,26
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
MISTURA BETUMINOSA				M³	1,00000	0,000	0,00
					CUSTO UNITÁRIO DE ATIVIDADES AUXILIARES		0,00
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
REVESTIMENTO ASFÁLTICO - CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³				T	2,40000	18,2200	43,73
MISTURA BETUMINOSA - CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³				T	2,40000	16,3900	39,34
					CUSTO DE UNITÁRIO DE TEMPO FIXO		83,07
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
REVESTIMENTO ASFÁLTICO - CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³				TKM	2,40000	0,000	0,00
MISTURA BETUMINOSA - CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³				TKM	2,40000	0,00	0,00
					CUSTO DE UNITÁRIO DE TRANSPORTE		0,00
					CUSTO UNITÁRIO (TOTAL)		423,26
					BDI		21,75%
					PREÇO UNITÁRIO TOTAL		515,32

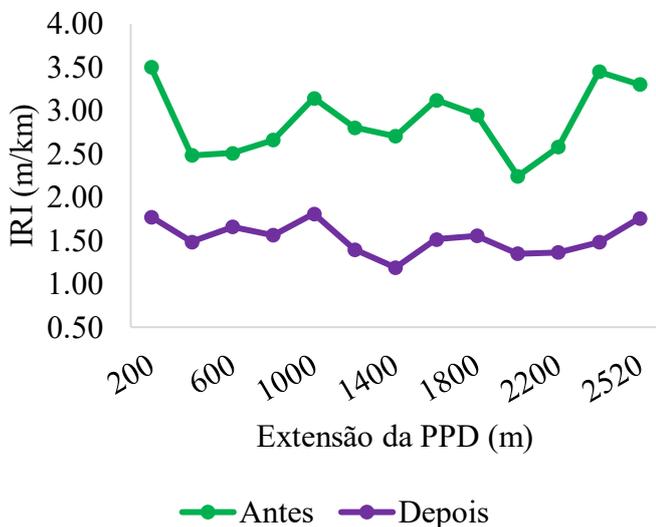
COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE - CAUQ						
CÓDIGO:	001.003	UNIDADE	m³	DATA BASE	JUL/2020		
				PRODUÇÃO DA EQUIPE	15	m³	
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
ROLO COMPACTADOR DE PNEUS AUTOPROPULIDO DE 27 T - 85 KW	UN	1,000	0,7000	0,3000	130,2610	64,2379	110,45
ROLO COMPACTADOR LISO TANDEM VIBRATÓRIO AUTOPROPULIDO DE 10,4 T - 82 KW	UN	1,000	0,8000	0,2000	160,2223	62,2379	140,63
VIBROACABADORA DE ASFALTO SOBRE ESTEIRAS - 82 KW	UN	1,000	1,0000	0,0000	189,6000	129,6000	189,60
BOB CAT	UN	1,000	0,7000	0,3000	89,4300	57,4300	79,83
						CUSTO HORÁRIO DE EQUIPAMENTOS	520,51
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	8,000	15,9014	127,21
							0,00
						CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA	127,21
						ENCARGOS SOCIAIS	114,70%
						CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA (TOTAL)	273,12
						CUSTO HORÁRIO TOTAL	793,63
						CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO	52,91
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
CONCRETO ASFÁLTICO				t	2,40000	115,9300	278,23
						CUSTO UNITÁRIO DE MATERIAIS	278,23
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO UNITÁRIO DE	0,00
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO DE UNITÁRIO DE TEMPO FIXO	0,00
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
						CUSTO DE UNITÁRIO DE TRANSPORTE	0,00
						CUSTO UNITÁRIO (TOTAL)	331,14
						BDI	21,75%
						PREÇO UNITÁRIO TOTAL	403,16

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	PINTURA DE LIGAÇÃO						
CÓDIGO:	001.004	UNIDADE	m²	DATA BASE	JUL/2020		
PRODUÇÃO DA EQUIPE				1800	M²		
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
CAMINHÃO TANQUE DISTRIBUIDOR DE ASFALTO COM CAPACIDADE DE 6.000 L - 7 KW/136 KW	UN	1,000	1,0000	0,0000	155,3629	46,2655	155,36
TANQUE DE ESTOCAGEM DE ASFALTO COM CAPACIDADE DE 30.000 L	UN	2,000	1,0000	0,0000	18,2811	11,6134	36,56
CUSTO HORARIO							191,92
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	2,000	15,9014	31,80
							0,00
CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA							31,80
ENCARGOS SOCIAIS					114,70%		36,47
CUSTO HORARIO DE MAO-DE-OBRA (TOTAL)							68,27
						CUSTO HORÁRIO TOTAL	260,19
					CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO		0,14
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
PINTURA DE LIGAÇÃO				M²	0,10000	1,0000	0,10
MATERIAL BETUMINOSO				M²	0,50000	1,0000	0,50
CUSTO UNITARIO DE MATERIAIS							0,60
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
							0,00
CUSTO UNITARIO DE ATIVIDADES AUXILIARES							0,00
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
							0,00
CUSTO DE UNITARIO DE TEMPO FIXO							0,00
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
							0,00
CUSTO DE UNITARIO DE TRANSPORTE							0,00
CUSTO UNITARIO (TOTAL)							0,74
BDI					21,75%		0,16
PREÇO UNITÁRIO TOTAL							0,91

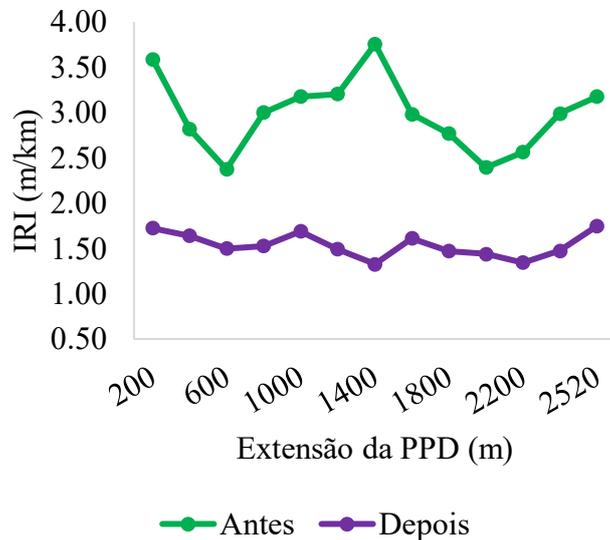
COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	FRESAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL						
CÓDIGO:	001.005	UNIDADE	m²	DATA BASE	JUL/2020		
PRODUÇÃO DA EQUIPE				31,5	M²		
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
FRESADORA A FRIO - 410 KW	UN	1,000	1,0000	0,0000	915,481	317,363	915,48
CAMINHÃO TANQUE COM CAPACIDADE DE 10.000 L - 188 KW	UN	1,000	0,2700	0,7300	187,725	49,065	86,50
BOB CAT	UN	1,000	0,4000	0,6000	89,430	57,460	70,25
COMPRESSOR 250 PCM	UN	1,000	0,2000	0,8000	105,000	25,000	41,00
CAMINHÃO BASCULANTE - 10M³	UN	1,000	1,0000	0,0000	146,5967	41,600	146,60
CUSTO HORÁRIO DE EQUIPAMENTOS						1.259,83	
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	5,000	15,9014	79,51
							0,00
CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA						79,51	
ENCARGOS SOCIAIS						114,70%	91,20
CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA (TOTAL)						170,71	
						CUSTO HORÁRIO TOTAL	1430,54
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						45,41	
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
BIT PARA FRESADORA DE 410 KW				UN	0,8500	32,2162	27,38
PORTA BITS PARA FRESADORA DE 410 KW				UN	0,0150	329,3114	4,94
REVESTIMENTO ASFÁLTICO				M²	1,0000	0,0000	0,00
CUSTO UNITÁRIO DE MATERIAIS						32,32	
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
							0,00
CUSTO UNITÁRIO DE ATIVIDADES AUXILIARES						0,00	
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
REVESTIMENTO ASFÁLTICO - CAMINHÃO BASCULANTE 10 M³				T	2,40000	1,450	3,48
							0,00
CUSTO DE UNITÁRIO DE TEMPO FIXO						3,48	
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
REVESTIMENTO ASFÁLTICO - CAMINHÃO BASCULANTE 10 M³				TKM	2,40000	0,00	0,00
CUSTO DE UNITÁRIO DE TRANSPORTE						0,00	
CUSTO UNITÁRIO (TOTAL)						81,21	
BDI						21,75%	
PREÇO UNITÁRIO TOTAL						98,88	

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
SERVIÇO:	IMPRIMAÇÃO						
CÓDIGO:	001.006	UNIDADE	M²	DATA BASE	JUL/2020		
				PRODUÇÃO DA EQUIPE	1125	M²	
EQUIPAMENTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	OPERATIVO	IMPRODUTIVO	CUSTO OPERACIONAL		CUSTO HORÁRIO
					OPERATIVO	IMPRODUTIVO	
CAMINHÃO TANQUE DISTRIBUIDOR DE ASFALTO COM CAPACIDADE DE 6.000 L - 7 KW/136 KW	UN	1,0000	1,0000	0,0000	155,3629	46,2655	155,36
TANQUE DE ESTOCAGEM DE ASFALTO COM CAPACIDADE DE 30.000 L	UN	2,0000	1,0000	0,0000	18,2811	11,6134	36,56
					CUSTO HORÁRIO DE EQUIPAMENTOS		191,92
MÃO-DE-OBRA				UNIDADE	QUANTIDADE	SALÁRIO	CUSTO HORÁRIO
SERVENTE				H	2,000	15,9014	31,80
							0,00
					CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA		31,80
					ENCARGOS SOCIAIS		114,70%
					CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA (TOTAL)		68,27
					CUSTO HORÁRIO TOTAL		260,19
					CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO		0,23
MATERIAIS				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
EMULSAO ASFALTICA CATIONICA CM-30 P/ USO EM PAVIMENTACAO ASFALTICA				KG	0,6250	1,300	0,81
					CUSTO UNITÁRIO DE MATERIAIS		0,81
ATIVIDADES AUXILIARES				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
					CUSTO UNITÁRIO DE ATIVIDADES AUXILIARES		0,00
TEMPO FIXO				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
					CUSTO DE UNITARIO DE TEMPO FIXO		0,00
MOMENTO DE TRANSPORTE				UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO UNITÁRIO TOTAL
					CUSTO DE UNITARIO DE TRANSPORTE		0,00
					CUSTO UNITARIO (TOTAL)		1,04
					BDI	21,75%	0,23
					PREÇO UNITÁRIO TOTAL		1,27

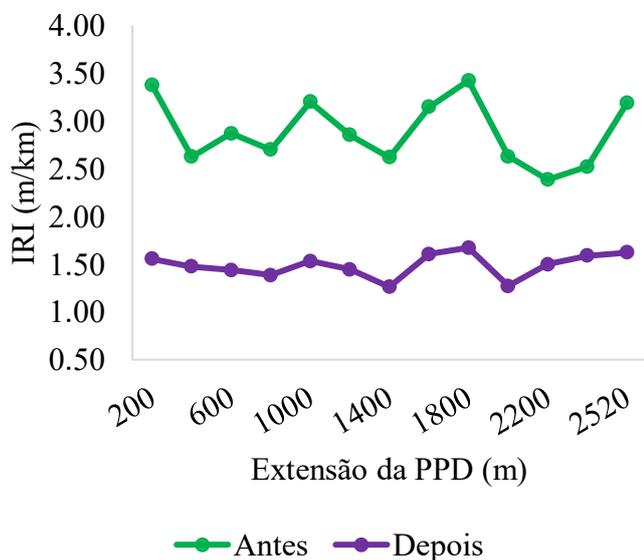
**APÊNDICE B – ANÁLISE DOS DADOS DE IRREGULARIDADE
LONGITUDINAL DO AEROPORTO DE FORTALEZA (SBFZ) –
COMPARATIVO ANTES E APÓS REABILITAÇÃO**



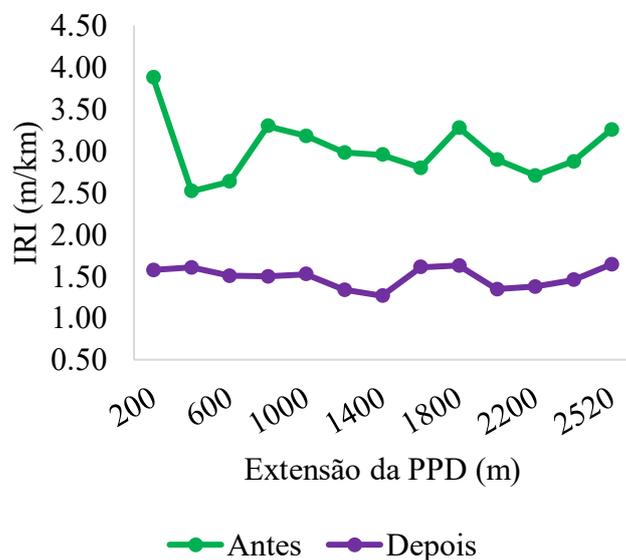
(a) Lado Esquerdo – 3m do eixo da pista



(b) Lado Direito – 3m do eixo da pista



(c) Lado Esquerdo – 6m do eixo da pista



(d) Lado Direito – 6m do eixo da pista

Redução do IRI após a reabilitação

Redução	PPD	LE (3m)	LE (6m)	LD (3m)	LD (6m)
Média	48,1%	46,4%	48,0%	47,7%	50,2%
Mínima	36,0%	34,0%	36,9%	36,8%	36,3%
Máxima	58,8%	57,0%	53,9%	64,6%	59,4%

**APÊNDICE C – ANÁLISE DOS DADOS DE IRREGULARIDADE
LONGITUDINAL DO AEROPORTO DE FORTALEZA (SBFZ) - EVOLUÇÃO
DO IRI ENTRE 2014 E 2020**

Levantamento de fevereiro de 2020

Levantamento de julho de 2014			Levantamento de fevereiro de 2020		
Trecho da pista (m)	IRI (m/km)		Trecho da pista (m)	IRI (m/km)	
	LE (3m)	LD (3m)		LE (3m)	LD (3m)
2000 – 2500	1,66	1,43	2400 - 2520	3,30	3,17
1500 – 2000	1,42	1,23	2200 - 2400	3,45	2,99
1000 – 1500	1,5	1,83	2000 - 2200	2,58	2,56
500 – 1000	1,55	1,23	1800 - 2000	2,24	2,39
100 – 500	1,58	1,43	1600 - 1800	2,95	2,77
			1400 - 1600	3,12	2,98
			1200 - 1400	2,70	3,75
			1000 - 1200	2,80	3,20
			800 - 1000	3,14	3,17
			600 - 800	2,66	3,00
			400 - 600	2,51	2,37
			200 - 400	2,48	2,81
			0 -200	3,50	3,58

Incremento médio anual do IRI (%) (2014 - 2020)

Trecho da Pista (m)	LE (3m)	LD (3m)
2000 – 2400	12,6%	13,6%
1500 – 2000	9,2%	12,4%
1000 – 1500	11,8%	9,6%
500 – 1000	10,8%	16,8%
100 – 500	10,2%	12,7%

APÊNDICE D – ÍNDICE INTERNACIONAL DE IRREGULARIDADE (IRI) DAS SEÇÕES AO LONGO DO PERÍODO DE ANÁLISE

ALTERNATIVA A – Não fazer nada																	
Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano 0	4,21	4,08	2,18	2,04	1,98	2,04	1,98	2,06	2,01	2,02	2,01	1,90	1,95	1,96	2,06	3,58	3,75
Ano 0	2,02	1,96	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,72	1,80
Ano 1	2,22	2,15	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,89	1,98
Ano 2	2,44	2,37	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	2,08	2,18
Ano 3	2,69	2,61	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,29	2,39
Ano 4	2,96	2,87	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,51	2,63
Ano 5	3,25	3,15	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,77	2,90
Ano 6	3,58	3,47	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	3,04	3,19
Ano 7	3,94	3,81	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	3,35	3,50
Ano 8	4,33	4,20	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,68	3,85
Ano 9	4,76	4,62	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	4,05	4,24
Ano 10	5,24	5,08	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	4,45	4,66
Ano 11	5,76	5,58	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,90	5,13
Ano 12	6,34	6,14	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	5,39	5,64
Ano 13	6,97	6,76	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,93	6,21
Ano 14	7,67	7,43	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	6,52	6,83
Ano 15	8,44	8,18	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27	7,17	7,51
Ano 16	9,28	8,99	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	7,89	8,26
Ano 17	10,21	9,89	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	8,68	9,09
Ano 18	11,23	10,88	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	9,55	10,00
Ano 19	12,36	11,97	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	10,50	11,00
Ano 20	13,59	13,17	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	11,55	12,10

ALTERNATIVA B – Aplicação de manutenções preventivas

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano 0	4,21	4,08	2,18	2,04	1,98	2,04	1,98	2,06	2,01	2,02	2,01	1,90	1,95	1,96	2,06	3,58	3,75
Ano 1	1,50	1,55	1,53	1,43	1,38	1,43	1,39	1,44	1,41	1,42	1,40	1,33	1,37	1,38	1,45	1,76	1,69
Ano 2	1,65	1,70	1,68	1,57	1,52	1,57	1,52	1,59	1,55	1,56	1,54	1,46	1,50	1,51	1,59	1,94	1,85
Ano 3	1,82	1,87	1,85	1,73	1,67	1,73	1,68	1,75	1,70	1,71	1,70	1,61	1,65	1,66	1,75	1,65	1,58
Ano 4	1,54	1,59	1,57	1,90	1,84	1,90	1,84	1,92	1,87	1,88	1,87	1,77	1,82	1,83	1,92	1,82	1,73
Ano 5	1,70	1,75	1,73	1,62	1,57	1,62	1,57	1,63	1,59	1,60	1,59	1,51	1,55	1,56	1,64	1,54	1,47
Ano 6	1,87	1,93	1,90	1,78	1,72	1,78	1,72	1,80	1,75	1,76	1,75	1,66	1,70	1,71	1,80	1,70	1,62
Ano 7	1,59	1,64	1,62	1,96	1,89	1,96	1,90	1,98	1,93	1,94	1,92	1,82	1,87	1,88	1,98	1,87	1,78
Ano 8	1,75	1,80	1,78	1,66	1,61	1,66	1,61	1,68	1,64	1,65	1,63	1,55	1,59	1,60	1,68	1,59	1,52
Ano 9	1,92	1,98	1,96	1,83	1,77	1,83	1,77	1,85	1,80	1,81	1,80	1,70	1,75	1,76	1,85	1,75	1,67
Ano 10	1,63	1,68	1,66	1,56	1,51	1,55	1,51	1,57	1,53	1,54	1,53	1,45	1,49	1,50	1,57	1,92	1,83
Ano 11	1,80	1,85	1,83	1,71	1,66	1,71	1,66	1,73	1,68	1,69	1,68	1,59	1,64	1,65	1,73	1,63	1,56
Ano 12	1,53	1,57	1,56	1,88	1,82	1,88	1,82	1,90	1,85	1,86	1,85	1,75	1,80	1,81	1,90	1,80	1,71
Ano 13	1,68	1,73	1,71	1,60	1,55	1,60	1,55	1,61	1,57	1,58	1,57	1,49	1,53	1,54	1,62	1,97	1,89
Ano 14	1,85	1,91	1,88	1,76	1,70	1,76	1,71	1,78	1,73	1,74	1,73	1,64	1,68	1,69	1,78	1,68	1,60
Ano 15	1,57	1,62	1,60	1,50	1,87	1,94	1,88	1,95	1,91	1,92	1,90	1,80	1,85	1,86	1,96	1,85	1,76
Ano 16	1,73	1,78	1,76	1,65	1,59	1,64	1,59	1,66	1,62	1,63	1,62	1,53	1,57	1,58	1,66	1,57	1,50
Ano 17	1,90	1,96	1,94	1,81	1,75	1,81	1,75	1,83	1,78	1,79	1,78	1,69	1,73	1,74	1,83	1,73	1,65
Ano 18	1,61	1,67	1,65	1,54	1,93	1,99	1,93	1,55	1,51	1,52	1,51	1,85	1,90	1,92	2,01	1,90	1,81
Ano 19	1,78	1,83	1,81	1,69	1,64	1,69	1,64	1,71	1,67	1,68	1,66	1,58	1,62	1,63	1,71	1,61	1,54
Ano 20	1,51	1,56	1,54	1,86	1,80	1,86	1,80	1,88	1,83	1,84	1,83	1,73	1,78	1,79	1,88	1,78	1,70

ALTERNATIVA C – Aplicação de manutenção corretiva

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano 0	4,21	4,08	2,18	2,04	1,98	2,04	1,98	2,06	2,01	2,02	2,01	1,90	1,95	1,96	2,06	3,58	3,75
Ano 1	1,50	1,55	1,53	1,43	1,38	1,43	1,39	1,44	1,41	1,42	1,40	1,33	1,37	1,38	1,45	1,76	1,69
Ano 2	1,65	1,70	1,68	1,57	1,52	1,57	1,52	1,59	1,55	1,56	1,54	1,46	1,50	1,51	1,59	1,94	1,85
Ano 3	1,82	1,87	1,85	1,73	1,67	1,73	1,68	1,75	1,70	1,71	1,70	1,61	1,65	1,66	1,75	2,14	2,04
Ano 4	2,00	2,06	2,03	1,90	1,84	1,90	1,84	1,92	1,87	1,88	1,87	1,77	1,82	1,83	1,92	2,35	2,24
Ano 5	2,20	2,27	2,24	2,09	2,03	2,09	2,03	2,11	2,06	2,07	2,06	1,95	2,00	2,01	2,12	1,64	1,57
Ano 6	1,54	1,59	1,57	2,30	2,23	2,30	2,23	2,32	2,27	2,28	2,26	2,14	2,20	2,21	2,33	1,81	1,73
Ano 7	1,69	1,75	1,72	1,61	1,56	1,61	1,56	1,63	1,59	1,60	1,58	1,50	1,54	1,55	1,63	1,99	1,90
Ano 8	1,86	1,92	1,90	1,77	1,72	1,77	1,72	1,79	1,75	1,76	1,74	1,65	1,70	1,71	1,79	2,19	2,09
Ano 9	2,05	2,11	2,09	1,95	1,89	1,95	1,89	1,97	1,92	1,93	1,92	1,82	1,87	1,88	1,97	1,53	1,46
Ano 10	2,25	2,32	2,29	2,15	2,08	2,14	2,08	2,17	2,11	2,12	2,11	2,00	2,05	2,06	2,17	1,69	1,61
Ano 11	1,58	1,63	1,61	1,50	2,28	2,36	2,29	2,38	2,32	2,34	2,32	2,20	2,26	2,27	2,39	1,85	1,77
Ano 12	1,73	1,79	1,77	1,65	1,60	1,65	1,60	1,67	1,63	1,64	1,62	1,54	1,58	1,59	1,67	2,04	1,95
Ano 13	1,91	1,97	1,94	1,82	1,76	1,82	1,76	1,83	1,79	1,80	1,79	1,69	1,74	1,75	1,84	2,24	2,14
Ano 14	2,10	2,16	2,14	2,00	1,93	2,00	1,94	2,02	1,97	1,98	1,96	1,86	1,91	1,92	2,02	1,57	1,50
Ano 15	2,31	2,38	2,35	2,20	2,13	2,20	2,13	2,22	2,16	2,18	2,16	2,05	2,10	2,11	2,22	1,73	1,65
Ano 16	1,61	1,67	1,65	1,54	1,49	1,54	1,49	1,55	1,51	1,52	1,51	2,25	2,31	2,33	2,45	1,90	1,81
Ano 17	1,78	1,83	1,81	1,69	1,64	1,69	1,64	1,71	1,67	1,68	1,66	1,58	1,62	1,63	1,71	2,09	2,00
Ano 18	1,95	2,02	1,99	1,86	1,80	1,86	1,80	1,88	1,83	1,84	1,83	1,73	1,78	1,79	1,88	2,30	2,20
Ano 19	2,15	2,22	2,19	2,05	1,98	2,05	1,98	2,07	2,02	2,03	2,01	1,91	1,96	1,97	2,07	1,61	1,54
Ano 20	1,50	1,55	1,53	2,25	2,18	2,25	2,18	2,27	2,22	2,23	2,21	2,10	2,16	2,17	2,28	1,77	1,69

ALTERNATIVA D – Alternância de manutenções preventivas e corretivas

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano 0	4,21	4,08	2,18	2,04	1,98	2,04	1,98	2,06	2,01	2,02	2,01	1,90	1,95	1,96	2,06	3,58	3,75
Ano 1	1,50	1,55	2,40	2,25	2,17	2,25	2,18	2,27	2,21	2,22	2,21	2,09	2,15	2,16	2,27	1,76	1,69
Ano 2	1,65	1,70	1,50	1,60	1,66	1,60	1,66	1,59	1,63	1,62	1,63	1,72	1,68	1,67	1,59	1,94	1,85
Ano 3	1,82	1,87	1,65	1,76	1,82	1,76	1,82	1,75	1,79	1,78	1,80	1,90	1,84	1,83	1,75	1,65	1,58
Ano 4	1,54	1,59	1,50	1,50	1,55	1,50	1,55	1,50	1,52	1,51	1,53	1,61	1,57	1,56	1,50	1,82	1,73
Ano 5	1,70	1,75	1,65	1,65	1,70	1,65	1,70	1,65	1,68	1,67	1,68	1,77	1,72	1,72	1,65	2,00	1,91
Ano 6	1,87	1,93	1,82	1,81	1,87	1,82	1,87	1,82	1,84	1,83	1,85	1,95	1,90	1,89	1,82	2,20	2,10
Ano 7	2,05	2,12	2,00	2,00	2,06	2,00	2,06	2,00	2,03	2,02	2,03	2,14	2,09	2,08	2,00	1,54	1,50
Ano 8	2,26	2,33	2,20	2,19	2,27	2,20	2,27	2,20	2,23	2,22	2,24	2,36	2,30	2,28	2,20	1,69	1,65
Ano 9	1,58	1,63	1,54	1,54	1,59	1,54	1,59	1,54	1,56	1,55	1,56	1,65	1,61	1,60	1,54	1,86	1,82
Ano 10	1,74	1,80	1,69	1,69	1,75	1,69	1,75	1,69	1,72	1,71	1,72	1,82	1,77	1,76	1,69	1,58	1,54
Ano 11	1,91	1,97	1,86	1,86	1,92	1,86	1,92	1,86	1,89	1,88	1,89	1,54	1,50	1,93	1,86	1,74	1,70
Ano 12	1,63	1,68	1,58	1,58	1,63	1,58	1,63	1,58	1,61	1,60	1,61	1,70	1,65	1,64	1,58	1,91	1,87
Ano 13	1,79	1,85	1,74	1,74	1,80	1,74	1,79	1,74	1,77	1,76	1,77	1,87	1,82	1,81	1,74	1,63	1,59
Ano 14	1,97	2,03	1,91	1,91	1,98	1,91	1,97	1,91	1,94	1,93	1,95	2,05	2,00	1,99	1,91	1,79	1,75
Ano 15	2,16	2,23	2,10	2,10	2,17	2,10	2,17	2,10	2,14	2,12	2,14	2,26	2,20	2,19	2,10	1,97	1,92
Ano 16	2,38	2,46	2,31	2,31	2,39	2,32	2,39	2,31	2,35	2,34	2,36	2,49	2,42	2,41	2,31	2,16	2,11
Ano 17	1,67	1,72	1,62	1,62	1,67	1,62	1,67	1,62	1,65	1,64	1,65	1,74	1,69	1,68	1,62	1,52	1,50
Ano 18	1,83	1,89	1,78	1,78	1,84	1,78	1,84	1,78	1,81	1,80	1,81	1,91	1,86	1,85	1,78	1,67	1,65
Ano 19	1,56	1,61	1,52	1,51	1,57	1,52	1,56	1,52	1,54	1,53	1,54	1,63	1,58	1,57	1,52	1,50	1,50
Ano 20	1,71	1,77	1,67	1,67	1,72	1,67	1,72	1,67	1,69	1,68	1,70	1,79	1,74	1,73	1,67	1,65	1,65

ALTERNATIVA E – Alternância de manutenções preventivas e corretivas, com prevalência das preventivas

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ano 0	4,21	4,08	2,18	2,04	1,98	2,04	1,98	2,06	2,01	2,02	2,01	1,90	1,95	1,96	2,06	3,58	3,75
Ano 1	1,50	1,55	2,40	2,25	2,17	2,25	2,18	2,27	2,21	2,22	2,21	2,09	2,15	2,16	2,27	1,76	1,69
Ano 2	1,65	1,70	1,68	1,57	1,52	1,57	1,52	1,59	1,55	1,56	1,54	1,50	1,50	1,51	1,59	1,94	1,85
Ano 3	1,82	1,87	1,85	1,73	1,67	1,73	1,68	1,75	1,70	1,71	1,70	1,65	1,65	1,66	1,75	1,65	1,58
Ano 4	1,54	1,59	1,57	1,90	1,84	1,90	1,84	1,92	1,87	1,88	1,87	1,82	1,82	1,83	1,92	1,82	1,73
Ano 5	1,70	1,75	1,73	1,62	1,57	1,62	1,57	1,63	1,59	1,60	1,59	1,54	1,55	1,56	1,64	1,54	1,50
Ano 6	1,87	1,93	1,90	1,78	1,72	1,78	1,72	1,80	1,75	1,76	1,75	1,70	1,70	1,71	1,80	1,70	1,65
Ano 7	1,59	1,64	1,62	1,96	1,89	1,96	1,90	1,98	1,93	1,94	1,92	1,87	1,87	1,88	1,98	1,87	1,82
Ano 8	1,75	1,80	1,78	1,66	1,61	1,66	1,61	1,68	1,64	1,65	1,63	1,59	1,59	1,60	1,68	1,59	1,50
Ano 9	1,92	1,98	1,96	1,83	1,77	1,83	1,77	1,85	1,80	1,81	1,80	1,75	1,75	1,76	1,85	1,75	1,65
Ano 10	1,63	1,68	1,66	2,01	1,95	2,01	1,95	2,03	1,98	1,99	1,98	1,92	1,93	1,94	2,04	1,92	1,82
Ano 11	1,80	1,85	1,83	2,22	2,14	2,21	2,15	2,23	2,18	2,19	2,18	2,11	2,12	2,13	2,24	2,11	2,00
Ano 12	1,53	1,57	1,56	1,55	1,50	1,55	1,50	1,56	1,53	1,53	1,52	1,50	1,50	1,50	1,57	1,50	1,50
Ano 13	1,68	1,73	1,71	1,71	1,65	1,70	1,65	1,72	1,68	1,69	1,67	1,65	1,65	1,65	1,72	1,65	1,65
Ano 14	1,85	1,91	1,88	1,88	1,82	1,87	1,82	1,89	1,85	1,86	1,84	1,82	1,82	1,82	1,90	1,82	1,82
Ano 15	1,57	1,62	1,60	1,59	1,54	1,59	1,54	1,61	1,57	1,58	1,57	1,54	1,54	1,54	1,61	1,54	1,54
Ano 16	1,73	1,78	1,76	1,75	1,70	1,75	1,70	1,77	1,73	1,74	1,72	1,70	1,70	1,70	1,77	1,70	1,70
Ano 17	1,90	1,96	1,94	1,93	1,87	1,93	1,87	1,95	1,90	1,91	1,89	1,87	1,87	1,87	1,95	1,87	1,87
Ano 18	1,61	1,67	1,65	1,64	1,59	1,64	1,59	1,65	1,61	1,62	1,61	1,59	1,59	1,59	1,66	1,59	1,59
Ano 19	1,78	1,83	1,81	1,80	1,75	1,80	1,75	1,82	1,78	1,79	1,77	1,75	1,75	1,75	1,82	1,75	1,75
Ano 20	1,95	2,02	1,99	1,98	1,92	1,98	1,92	2,00	1,95	1,96	1,95	1,92	1,92	1,92	2,01	1,92	1,92

Legenda:

	Nenhuma atividade de M&R		Manutenção preventiva		Manutenção corretiva				Reconstrução		IRI>2,5m/km
--	--------------------------	--	-----------------------	--	----------------------	--	--	--	--------------	--	-------------

**APÊNDICE E – ACCV DETERMINÍSTICA: CUSTOS DAS ALTERNATIVAS
AVALIADAS**

Alternativa A	Custos unitários dos serviços de M&R		Dados da ACCV	
			Período de análise	Taxa de desconto
	Selagem de trincas	R\$4,58/m	20 anos	7%
	Remendo superficial	R\$515,32/m ³		
	CAUQ	R\$403,16/m ³		
	Pintura de ligação	R\$0,91/m ²		
	Fresagem	R\$98,88/m ³		
	Imprimação	R\$1,27/m ²		
			Dados do pavimento	
			Extensão da PPD	Largura da PPD
			3300m	45m
			Espessura serviços corretivos	Espessura serviços de reconstrução
			5cm	12cm
			Porcentagem de trincas em relação a área da PPD para manutenção	
			10%	
Estimativa de custos				
Ano	Custos com atividades de M&R		VPL	
0	R\$ 9.270.082,80		R\$ 9.270.082,80	
1	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
2	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
3	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
4	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
5	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
6	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
7	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
8	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
9	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
10	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
11	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
12	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
13	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
14	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
15	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
16	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
17	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
18	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
19	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
20	R\$ 9.270.082,80		R\$ 2.395.565,55	
	VPL		R\$ 11.665.648,35	

Alternativa B

Custos unitários dos serviços de M&R	
Selagem de trincas	R\$4,58/m
Remendo superficial	R\$515,32/m ³
CAUQ	R\$403,16/m ³
Pintura de ligação	R\$0,91/m ²
Fresagem	R\$98,88/m ³
Imprimação	R\$1,27/m ²

Dados da ACCV	
Período de análise	Taxa de desconto
20 anos	7%

Dados do pavimento	
Extensão da PPD	Largura da PPD
3300m	45m
Espessura serviços corretivos	Espessura serviços de reconstrução
5cm	12cm

Porcentagem de trincas em relação a área da	10%
---	-----

Estimativa de custos

Ano	Custos com atividades de M&R	
	Custo	VPL
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 4.431.337,20	R\$ 4.141.436,64
2	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3	R\$ 36.845,10	R\$ 30.076,58
4	R\$ 72.316,20	R\$ 55.169,68
5	R\$ 324.506,90	R\$ 231.368,93
6	R\$ 0,00	R\$ 0,00
7	R\$ 72.316,20	R\$ 45.034,89
8	R\$ 324.506,90	R\$ 188.865,97
9	R\$ 0,00	R\$ 0,00
10	R\$ 363.871,00	R\$ 184.973,57
11	R\$ 36.845,10	R\$ 17.504,84
12	R\$ 72.316,20	R\$ 32.109,26
13	R\$ 289.722,80	R\$ 120.224,66
14	R\$ 36.845,10	R\$ 14.289,17
15	R\$ 96.421,60	R\$ 34.947,63
16	R\$ 301.317,50	R\$ 102.066,66
17	R\$ 0,00	R\$ 0,00
18	R\$ 192.843,20	R\$ 57.055,34
19	R\$ 204.895,90	R\$ 56.655,42
20	R\$ 72.316,20	R\$ 18.687,88
	VPL	R\$ 5.330.467,12
	VAUE	R\$ 503.158,39

Alternativa C

Custos unitários dos serviços de M&R	
Selagem de trincas	R\$4,58/m
Remendo superficial	R\$515,32/m³
CAUQ	R\$403,16/m³
Pintura de ligação	R\$0,91/m²
Fresagem	R\$98,88/m³
Imprimação	R\$1,27/m²

Dados da ACCV

Período de análise	Taxa de desconto
20 anos	7%

Dados do pavimento

Extensão da PPD	Largura da PPD
3300m	45m

Espessura serviços corretivos	Espessura serviços de reconstrução
5cm	12cm

Porcentagem de trincas em relação a área da
10%

Estimativa de custos

Ano	Custos com atividades de M&R	
	Custo	VPL
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 4.431.337,20	R\$ 4.141.436,64
2	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3	R\$ 0,00	R\$ 0,00
4	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5	R\$ 284.418,00	R\$ 202.786,10
6	R\$ 568.836,00	R\$ 379.039,45
7	R\$ 2.275.344,00	R\$ 1.416.969,89
8	R\$ 0,00	R\$ 0,00
9	R\$ 284.418,00	R\$ 154.704,55
10	R\$ 0,00	R\$ 0,00
11	R\$ 758.448,00	R\$ 360.333,18
12	R\$ 2.085.732,00	R\$ 926.089,95
13	R\$ 0,00	R\$ 0,00
14	R\$ 284.418,00	R\$ 110.302,20
15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
16	R\$ 2.085.732,00	R\$ 706.509,59
17	R\$ 758.448,00	R\$ 240.105,21
18	R\$ 0,00	R\$ 0,00
19	R\$ 284.418,00	R\$ 78.643,95
20	R\$ 568.836,00	R\$ 146.998,03
	VPL	R\$ 8.863.918,74
	VAUE	R\$ 836.691,22

Alternativa D

Custos unitários dos serviços de M&R	
Selagem de trincas	R\$4,58/m
Remendo superficial	R\$515,32/m ³
CAUQ	R\$403,16/m ³
Pintura de ligação	R\$0,91/m ²
Fresagem	R\$98,88/m ³
Imprimação	R\$1,27/m ²

Dados da ACCV	
Período de análise	Taxa de desconto
20 anos	7%

Dados do pavimento	
Extensão da PPD	Largura da PPD
3300m	45m

Espessura serviços corretivos	Espessura serviços de reconstrução
5cm	12cm

Porcentagem de trincas em relação a área da
10%

Estimativa de custos

Ano	Custos com atividades de M&R	
	Custo	VPL
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 819.378,00	R\$ 765.773,83
2	R\$ 3.043.404,00	R\$ 2.658.226,92
3	R\$ 36.158,10	R\$ 29.515,78
4	R\$ 361.581,00	R\$ 275.848,41
5	R\$ 0,00	R\$ 0,00
6	R\$ 0,00	R\$ 0,00
7	R\$ 284.418,00	R\$ 177.121,24
8	R\$ 0,00	R\$ 0,00
9	R\$ 2.390.625,00	R\$ 1.300.341,60
10	R\$ 36.158,10	R\$ 18.380,94
11	R\$ 48.439,80	R\$ 23.013,40
12	R\$ 312.912,20	R\$ 138.936,76
13	R\$ 36.387,10	R\$ 15.099,35
14	R\$ 0,00	R\$ 0,00
15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
16	R\$ 0,00	R\$ 0,00
17	R\$ 3.128.598,00	R\$ 990.434,00
18	R\$ 0,00	R\$ 0,00
19	R\$ 398.655,10	R\$ 110.231,46
20	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	VPL	R\$ 6.502.923,70
	VAUE	R\$ 613.829,99

Alternativa E

Custos unitários dos serviços de M&R	
Selagem de trincas	R\$4,58/m
Remendo superficial	R\$515,32/m ³
CAUQ	R\$403,16/m ³
Pintura de ligação	R\$0,91/m ²
Fresagem	R\$98,88/m ³
Imprimação	R\$1,27/m ²

Dados da ACCV

Período de análise	Taxa de desconto
20 anos	7%

Dados do pavimento

Extensão da PPD	Largura da PPD
3300m	45m

Espessura serviços corretivos	Espessura serviços de reconstrução
5cm	12cm

Porcentagem de trincas em relação a área da
10%

Estimativa de custos

Ano	Custos com atividades de M&R	
	Custo	VPL
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 819.378,00	R\$ 765.773,83
2	R\$ 2.464.722,00	R\$ 2.152.783,65
3	R\$ 36.105,83	R\$ 29.473,11
4	R\$ 72.211,65	R\$ 55.089,92
5	R\$ 324.038,43	R\$ 231.034,92
6	R\$ 0,00	R\$ 0,00
7	R\$ 72.211,65	R\$ 44.969,79
8	R\$ 324.038,43	R\$ 188.593,31
9	R\$ 0,00	R\$ 0,00
10	R\$ 72.211,65	R\$ 36.708,74
11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
12	R\$ 2.631.730,65	R\$ 1.168.519,88
13	R\$ 0,00	R\$ 0,00
14	R\$ 0,00	R\$ 0,00
15	R\$ 398.078,08	R\$ 144.281,81
16	R\$ 0,00	R\$ 0,00
17	R\$ 0,00	R\$ 0,00
18	R\$ 398.078,08	R\$ 117.776,94
19	R\$ 0,00	R\$ 0,00
20	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	VPL	R\$ 4.935.005,91
	VAUE	R\$ 465.829,65

ANEXO A – COMPOSIÇÕES DO SICRO E DA INFRAERO COTEJADAS

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		Produção da equipe		93,75000 m	
Custo Unitário de Referência		Julho/2020					
4915626 Selagem de trincas mecanizada em pavimento flexível com emulsão - areia comercial						Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9687	Caminhão carroceria com capacidade de 5 t - 115 kW	1,00000	0,50	0,50	88,1056	36,7815	62,4436
E9154	Equipamento para selagem com material asfáltico rebocável - 35 kW	1,00000	1,00	0,00	61,3047	39,2003	61,3047
					Custo horário total de equipamentos		123,7483
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	2,00000	h	15,9014		31,8028	
					Custo horário total de mão de obra		31,8028
					Custo horário total de execução		155,5511
					Custo unitário de execução		1,6592
					Custo do FIC		-
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0028	Areia média	0,00064	m³	68,7875		0,0440	
M3900	Emulsão asfáltica RR-1C com polímero	0,00032	t	0,0000		0,0000	
					Custo unitário total de material		0,0440
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
					Custo total de atividades auxiliares		
					Subtotal		1,7032
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M0028	Areia média - Caminhão basculante 6 m³	5915399	0,00096	t	1,6600		0,0016
					Custo unitário total de tempo fixo		0,0016
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
M0028	Areia média - Caminhão basculante 6 m³	0,00096	tkm	5914314	5914329	5914344	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total		1,70

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,01817		Produção da equipe		1,00000 m³	
Custo Unitário de Referência		Julho/2020							
4915746 Remendo profundo com imprimação com asfalto diluído - demolição mecânica e serra								Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total		
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo			
E9155	Caldeira de asfalto rebocável com capacidade de 600 l	1,00000	0,01	0,99	9,2701	5,3748	5,4138		
E9647	Compactador manual com soquete vibratório - 4,1 kW	1,00000	0,44	0,56	6,5001	0,6525	3,2254		
E9556	Compactador manual de placa vibratória - 3 kW	1,00000	0,32	0,68	5,1115	0,6610	2,0852		
E9646	Compressor de ar portátil de 124 PCM - 27 kW	1,00000	0,27	0,73	24,7103	5,5321	10,7102		
E9527	Martelete perfurador/rompedor a ar comprimido de 25 kg para rocha	1,00000	0,27	0,73	22,1941	20,9621	21,2947		
E9591	Serra para corte de concreto e asfalto - 10 kW	1,00000	0,17	0,83	14,5587	0,9775	3,2863		
					Custo horário total de equipamentos		46,0156		
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total			
P9824	Servente	6,00000	h	15,9014		95,4084			
					Custo horário total de mão de obra		95,4084		
					Custo horário total de execução		141,4240		
					Custo unitário de execução		141,4240		
					Custo do FIC		2,5697		
					Custo do FIT		-		
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário			
M0104	Asfalto diluído CM 30	0,00480	t	0,0000		0,0000			
M1385	Disco diamantado - D = 350 mm	0,01333	un	257,7455		3,4357			
M1391	Ponteiro para martelete de 22 x 1.000 mm	0,02000	un	140,9043		2,8181			
M3509	Remendo profundo	1,00000	m³	0,0000		0,0000			
					Custo unitário total de material		6,2538		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário			
4900001	Material de base	0,80000	m³	0,0000		0,0000			
4915801	Mistura betuminosa	0,20000	m³	0,0000		0,0000			
					Custo total de atividades auxiliares		0,0000		
					Subtotal		150,2475		
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário		
4915801	Mistura betuminosa - Caminhão basculante 6 m³	5914328	0,48000	t	16,3900		7,8672		
M3509	Remendo profundo - Caminhão basculante 6 m³	5915476	2,13040	t	18,2200		38,8159		
					Custo unitário total de tempo fixo		46,6831		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário		
				LN	RP	P			
4900001	Material de base - Caminhão basculante 6 m³	1,20000	tkm	5914314	5914329	5914344			
4915801	Mistura betuminosa - Caminhão basculante 6 m³	0,48000	tkm	5914314	5914329	5914344			
M3509	Remendo profundo - Caminhão basculante 6 m³	2,13040	tkm	5914314	5914329	5914344			
					Custo unitário total de transporte				
					Custo unitário direto total		196,93		

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,01817			
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Produção da equipe 0,56000 m³			
4915757 Tapa buraco com pintura de ligação - demolição com serra corta piso		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo Horário Total	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9155	Caldeira de asfalto rebocável com capacidade de 600 l	1,00000	0,02	0,98	9,2701	5,3748	
E9556	Compactador manual de placa vibratória - 3 kW	1,00000	0,25	0,75	5,1115	0,6610	
E9591	Serra para corte de concreto e asfalto - 10 kW	1,00000	0,16	0,84	14,5587	0,9775	
					Custo horário total de equipamentos	10,3768	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	6,00000	h	15,9014		95,4084	
					Custo horário total de mão de obra	95,4084	
					Custo horário total de execução	105,7852	
					Custo unitário de execução	188,9021	
					Custo do FIC	3,4324	
					Custo do FIT	-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M1385	Disco diamantado - D = 350 mm	0,01333	un	257,7455		3,4357	
M1946	Emulsão asfáltica RR-1C	0,00900	t	0,0000		0,0000	
M3507	Revestimento asfáltico	1,00000	m²	0,0000		0,0000	
					Custo unitário total de material	3,4357	
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
4915801	Mistura betuminosa	1,00000	m³	0,0000		0,0000	
					Custo total de atividades auxiliares	0,0000	
					Subtotal	195,7702	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		
4915801	Mistura betuminosa - Caminhão basculante 6 m³	5914328	2,40000	t	16,3900		
M3507	Revestimento asfáltico - caminhão basculante 6 m³	5915433	2,40000	t	22,0300		
					Custo unitário total de tempo fixo	92,2080	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
4915801	Mistura betuminosa - Caminhão basculante 6 m³	2,40000	tkm	5914314	5914329	5914344	
M3507	Revestimento asfáltico - Caminhão basculante 6 m³	2,40000	tkm	5914314	5914329	5914344	
					Custo unitário total de transporte	287,98	
					Custo unitário direto total	287,98	

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,00454			
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Produção da equipe 99,60000 t			
4011463 Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo Horário Total	
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,71	0,29	130,2610	64,2379	
E9681	Rolo compactador liso tandem vibratório autopropelido de 10,4 t - 82 kW	1,00000	0,82	0,18	160,2223	62,2379	
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	164,9909	73,2230	
					Custo horário total de equipamentos	418,6903	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	8,00000	h	15,9014		127,2112	
					Custo horário total de mão de obra	127,2112	
					Custo horário total de execução	545,9015	
					Custo unitário de execução	5,4809	
					Custo do FIC	0,0249	
					Custo do FIT	-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
					Custo unitário total de material	-	
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	1,02000	t	104,3800		106,4676	
					Custo total de atividades auxiliares	106,4676	
					Subtotal	111,9734	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	5914649	1,02000	t	3,8900		
					Custo unitário total de tempo fixo	3,9678	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m³	1,02000	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte	115,94	
					Custo unitário direto total	115,94	

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,00454		
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Produção da equipe 1.500,00000 m ²		
4011353 Pintura de ligação				Valores em reais (R\$)		
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9509 Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/136 kW	1,00000	1,00	0,00	155,3629	46,2655	155,3629
E9558 Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	18,2811	11,6134	36,5622
				Custo horário total de equipamentos		191,9251
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	2,00000	h		15,9014		31,8028
				Custo horário total de mão de obra		31,8028
				Custo horário total de execução		223,7279
				Custo unitário de execução		0,1492
				Custo do FIC		0,0007
				Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M1946 Emulsão asfáltica RR-1C	0,00045	t		0,0000		0,0000
				Custo unitário total de material		0,0000
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo total de atividades auxiliares		
				Subtotal		0,1499
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário
				Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade		DMT		Custo Unitário
				LN	RP	P
				Custo unitário total de transporte		
				Custo unitário direto total		0,15

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		Produção da equipe 99,60000 m ²		
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Valores em reais (R\$)		
4011479 Fresagem contínua de revestimento asfáltico						
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9571 Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,55	0,45	187,7252	49,0653	125,3282
E9678 Fresadora a frio - 410 kW	1,00000	1,00	0,00	915,4811	317,3628	915,4811
E9697 Minicarregadeira de pneus com vassoura de 1,8 m - 42 kW	2,00000	0,83	0,17	95,1137	46,9348	173,8466
E9156 Soprador de ar costal - 2,6 kW	2,00000	1,00	0,00	3,8357	0,2818	7,6714
				Custo horário total de equipamentos		1.222,3273
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	5,00000	h		15,9014		79,5070
				Custo horário total de mão de obra		79,5070
				Custo horário total de execução		1.301,8343
				Custo unitário de execução		13,0706
				Custo do FIC		-
				Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M1974 Bit para fresadora de 410 kW	0,64800	un		32,2162		20,8761
M1975 Porta bits para fresadora de 410 kW	0,00136	un		329,3114		0,4479
M3507 Revestimento asfáltico	1,00000	m ²		0,0000		0,0000
				Custo unitário total de material		21,3240
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo total de atividades auxiliares		
				Subtotal		34,3946
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário
M3507 Revestimento asfáltico - Caminhão basculante 10 m ²	5915440	2,40000	t		1,4500	3,4800
				Custo unitário total de tempo fixo		3,4800
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade		DMT		Custo Unitário
				LN	RP	P
M3507 Revestimento asfáltico - Caminhão basculante 10 m ²	2,40000	tkm	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte		
				Custo unitário direto total		37,87

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,00454		
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Produção da equipe 49,20000 m ³		
4011480 Fresagem descontínua de revestimento asfáltico		Valores em reais (R\$)				
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9571 Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,27	0,73	187,7252	49,0653	86,5035
E9678 Fresadora a frio - 410 kW	1,00000	1,00	0,00	915,4811	317,3628	915,4811
E9697 Minicarregadeira de pneus com vassoura de 1,8 m - 42 kW	1,00000	0,82	0,18	95,1137	46,9348	86,4415
E9156 Soprador de ar costal - 2,6 kW	1,00000	1,00	0,00	3,8357	0,2818	3,8357
				Custo horário total de equipamentos		1.092,2618
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	3,00000	h		15,9014		47,7042
				Custo horário total de mão de obra		47,7042
				Custo horário total de execução		1.139,9660
				Custo unitário de execução		23,1700
				Custo do FIC		-
				Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M1974 Bit para fresadora de 410 kW	0,64800	un		32,2162		20,8761
M1975 Porta bits para fresadora de 410 kW	0,00136	un		329,3114		0,4479
M3507 Revestimento asfáltico	1,00000	m ³		0,0000		0,0000
				Custo unitário total de material		21,3240
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo total de atividades auxiliares		
				Subtotal		44,4940
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M3507 Revestimento asfáltico - Caminhão basculante 10 m ³	5914352	2,40000	t	2,1900		5,2560
				Custo unitário total de tempo fixo		5,2560
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M3507 Revestimento asfáltico - Caminhão basculante 10 m ³	2,40000	tkm	5914359	5914374	5914389	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total			49,75

Fonte: DNIT (2020)

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Goiás		FIC 0,00454		
Custo Unitário de Referência		Julho/2020		Produção da equipe 1.125,00000 m ³		
4011351 Imprimação com asfalto diluído		Valores em reais (R\$)				
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9509 Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/136 kW	1,00000	1,00	0,00	155,3629	46,2655	155,3629
E9558 Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	18,2811	11,6134	36,5622
				Custo horário total de equipamentos		191,9251
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	2,00000	h		15,9014		31,8028
				Custo horário total de mão de obra		31,8028
				Custo horário total de execução		223,7279
				Custo unitário de execução		0,1989
				Custo do FIC		0,0009
				Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M0104 Asfalto diluído CM 30	0,00120	t		0,0000		0,0000
				Custo unitário total de material		0,0000
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo total de atividades auxiliares		
				Subtotal		0,1998
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo unitário total de tempo fixo		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total			0,20

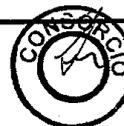
Fonte: DNIT (2020)



034

CONSÓRCIO CPA

Código: 02.02.003		Serviço: SELAGEM DE TRINCAS		Unidade: M		
				Quantidade: 1.240,030		
				Especificação:		
Equipamentos (A)		Utilização		Custo Operacional		Custo
Discriminação	Qtde	Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário
EQUIPAMENTO PARA SELAGEM COM MATERIAL ASFALTICO REBOCAVEL - CAMINHÃO CARROCERIA COM CAPACIDADE DE 5 T - 115 KW	1,00	1,00	0,00	60,63	41,51	60,63
	1,00	0,50	0,50	67,00	25,28	46,14
(A) TOTAL						106,77
Mão de Obra (B)		Leis Sociais	Quantidade	Salário Base	Custo	
Discriminação					Horário	
SERVENTE (E.S. INCLUSO)		114,93	2,00	9,62	41,36	
TOTAL						41,36
(C) Produção da Equipe 50,0000 M/H			(Custo Horário Total (A + B))			148,13
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =						2,96
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo	
Discriminação					Unitário	
AREIA MÉDIA		M ³	69,96	0,00	0,04	
E.A. RR-1C (FRETE INCLUSO)		T	2.880,00	0,00	1,85	
(E) TOTAL						1,89
Transporte (F)		DMT (T)	DMT (P)	DMT (Tot)	Custo	Custo
Discriminação						Unitário
(F) TOTAL						0,00
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)						4,85
Bonificação: 21,75 %						1,07
Preço Unitário Total:						5,92
Rua Venezuela, nº 208, sala 01-Pilotis, Sion, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.315-250						





CONSÓRCIO CPA

Equipamentos (A)		Utilização		Custo Operacional		Custo Horário	
Discriminação	Qtde	Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		
ROLO TANDEN	1,00	0,60	0,40	100,56	72,73	89,43	
ROLO DE PNEUS	1,00	0,90	0,10	103,09	72,73	100,05	
ACABADORA DE ASFALTO	1,00	1,00	0,00	189,60	129,60	189,60	
BOB CAT	1,00	0,70	0,30	89,43	57,43	79,83	
(A) TOTAL						458,91	
Mão de Obra (B)		Leis Sociais	Quantidade	Salário Base	Custo Horário		
Discriminação							
SERVENTE (E.S. INCLUSO)		114,93	4,00	9,62		82,72	
RASTELEIRO		114,93	4,00	10,66		91,64	
TOTAL						174,36	
(C) Produção da Equipe 10,0000 M3 / H				Custo Horário Total (A + B)		633,27	
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =						63,33	
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário		
Discriminação							
MASSA ASFÁLTICA CPA (POSTO OBRA)		T	384,53	2,40		922,87	
B.D.I. (SERV.+MAT) - 21,75%		%	986,19	21,75		214,50	
(E) TOTAL						1.137,37	
Transporte (F)		DMT (T)	DMT (F)	DMT (Tot)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Discriminação							
(F) TOTAL							0,00
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)						1.200,70	
Bonificação: 0,00 %						0,00	
Preço Unitário Total:						1.200,70	
Rua Venezuela, nº 208, sala 01-Pilotis, Sion, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.315-250							





032

CONSÓRCIO CPA

Equipamentos (A)		Utilização		Custo Operacional		Custo	
Discriminação	Qtde	Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário	
FRESADORA W1000	1,00	1,00	0,00	170,19	118,19	170,19	
BOB CAT	1,00	0,40	0,60	89,43	57,43	70,23	
COMPRESSOR 250 PCM	1,00	0,20	0,80	105,00	25,00	41,00	
CAMINHÃO PIPA 15.000 L	1,00	0,35	0,65	150,59	90,59	111,59	
CAMINHÃO BASCULANTE 20 T	1,00	1,00	0,00	121,59	61,59	121,59	
(A) TOTAL						514,60	
Mão de Obra (B)		Leis Sociais	Quantidade	Salário Base	Custo		
Discriminação					Horário		
SERVENTE (E.S. INCLUSO)		114,93	10,00	9,62	206,80		
TOTAL						206,80	
(C) Produção da Equipe 13,0000 M3 / H			Custo Horário Total (A + B)				721,40
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =						55,49	
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo		
Discriminação					Unitário		
BITS		UN	18,34	0,35	6,42		
(E) TOTAL						6,42	
Transporte (F)		DMT (T)	DMT (F)	DMT (Tot)	Custo	Custo	
Discriminação						Unitário	
(F) TOTAL						0,00	
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)						61,91	
Bonificação: 21,75 %						13,46	
Preço Unitário Total:						75,37	
Rua Venezuela, nº 208, sala 01-Pilotis, Sion, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.315-250							



Fonte: INFRAERO (2020)



035

CONSÓRCIO CPA

Código: 02.02.004		Serviço: PINTURA DE LIGAÇÃO			Unidade: M2		
					Quantidade: 87.920,240		
					Especificação:		
Equipamentos (A)		Utilização		Custo Operacional		Custo Horário	
Discriminação	Qtde	Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo		
(A) TOTAL						0,00	
Mão de Obra (B)		Leis Sociais	Quantidade	Salário Base	Custo Horário		
Discriminação							
TOTAL						0,00	
(C) Produção da Equipe 1,0000 M2 / H		Custo Horário Total (A + B)			0,00		
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =					0,00		
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário		
Discriminação							
PINTURA DE LIGAÇÃO		M2	0,12	1,00	0,12		
MAT. BETUMINOSO (PINT. ADER.)		M2	1,66	1,00	1,66		
(E) TOTAL						1,78	
Transporte (F)		DMT (T)	DMT (P)	DMT (Tot)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Discriminação							
(F) TOTAL							0,00
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)					1,78		
Bonificação: 0,00 %					0,00		
Preço Unitário Total:					1,78		
Rua Venezuela, nº 208, sala 01-Pilotis, Sion, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.315-250							



ANEXO B – ENCARGOS SOCIAIS SOBRE O PREÇO DE MÃO-DE-OBRA (SINAPI- GOIÁS)

GOIÁS		VIGÊNCIA A PARTIR DE 01/2020			
ENCARGOS SOCIAIS SOBRE A MÃO DE OBRA					
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	COM DESONERAÇÃO		SEM DESONERAÇÃO	
		HORISTA %	MENSALISTA %	HORISTA %	MENSALISTA %
GRUPO A					
A1	INSS	0,00%	0,00%	20,00%	20,00%
A2	SESI	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%
A3	SENAI	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
A4	INCRA	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
A5	SEBRAE	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%
A6	Salário Educação	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
A7	Seguro Contra Acidentes de Trabalho	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
A8	FGTS	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%
A9	SECONCI	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
A	Total	17,80%	17,80%	37,80%	37,80%
GRUPO B					
B1	Repouso Semanal Remunerado	17,82%	Não incide	17,82%	Não incide
B2	Feriados	3,70%	Não incide	3,70%	Não incide
B3	Auxílio - Enfermidade	0,90%	0,69%	0,90%	0,69%
B4	13º Salário	10,87%	8,33%	10,87%	8,33%
B5	Licença Paternidade	0,07%	0,06%	0,07%	0,06%
B6	Faltas Justificadas	0,72%	0,56%	0,72%	0,56%
B7	Dias de Chuvas	1,38%	Não incide	1,38%	Não incide
B8	Auxílio Acidente de Trabalho	0,11%	0,09%	0,11%	0,09%
B9	Férias Gozadas	10,09%	7,73%	10,09%	7,73%
B10	Salário Maternidade	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
B	Total	45,69%	17,49%	45,69%	17,49%
GRUPO C					
C1	Aviso Prévio Indenizado	5,86%	4,50%	5,86%	4,50%
C2	Aviso Prévio Trabalhado	0,14%	0,11%	0,14%	0,11%
C3	Férias Indenizadas	3,29%	2,52%	3,29%	2,52%
C4	Depósito Rescisão Sem Justa Causa	3,68%	2,82%	3,68%	2,82%
C5	Indenização Adicional	0,49%	0,38%	0,49%	0,38%
C	Total	13,46%	10,33%	13,46%	10,33%
GRUPO D					
D1	Reincidência de Grupo A sobre Grupo B	8,13%	3,11%	17,27%	6,61%
D2	Reincidência de Grupo A sobre Aviso Prévio Trabalhado e Reincidência do FGTS sobre Aviso Prévio Indenizado	0,49%	0,38%	0,52%	0,40%
D	Total	8,62%	3,49%	17,79%	7,01%
TOTAL(A+B+C+D)		85,57%	49,11%	114,74%	72,63%

Fonte: CAIXA (2020)