

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

MÁRCIO WANDERLEI RANGEL SILVA

LCCA – ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA ENTRE MANUAIS

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

MÁRCIO WANDERLEI RANGEL SILVA

LCCA – ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA ENTRE MANUAIS

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

LCCA – ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA ENTRE MANUAIS

por

MÁRCIO WANDERLEI RANGEL SILVA

Esta monografia foi apresentada em 30 de OUTUBRO de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho a todos meus familiares e amigos presentes nessa longa caminhada.

RESUMO

SILVA, Márcio Wanderlei Rangel Silva. **LCCA – ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA ENTRE MANUAIS**. 2017. 52 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A demanda por redução de custos traz a tona a necessidade de metodologias que contribuam para essa missão. A análise do custo do ciclo de vida ou *life cycle cost analysis* (LCCA) se apresenta como esta ferramenta. Faz-se necessário então que se escolha de maneira correta qual ferramenta, guia ou manual utilizar com essa finalidade. Através de metodologia adaptada foi realizada a avaliação de três diferentes manuais que abordam o tema LCCA. Desta avaliação foi elaborado um quadro comparativo entre os manuais. Desse quadro foi definir quais critérios apresentam se mostram importantes, quais critérios não e qual dos manuais melhor se adequa aos critérios estabelecidos.

Palavras-chave: Custo do Ciclo de Vida. LCCA.

ABSTRACT

SILVA, Márcio Wanderlei Rangel Silva. **LCCA – CRITICAL AND COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN HANDBOOKS**. 2017. 52 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The demand for cost reduction brings out the need for methodologies that contribute to this mission. The life cycle cost analysis (LCCA) presents itself as this tool. It is then necessary to choose correctly which tool, guide or manual to use for this purpose. Through an adapted methodology was carried out the evaluation of three different manuals that approach the LCCA theme. From this evaluation a comparative table was drawn up between the manuals. From this framework was to define which criteria present are important, which criteria are not and which manual best fits the established criteria

Palavras-chave: Life Cycle Cost Analysis. LCCA

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa utilizada no trabalho.....	18
Quadro 1 - Escala para classificação e comparação de LCCA's.....	21
Quadro 2 - Análise de risco - Classificações.....	24
Quadro 3 - Apresentação da comparação entre os manuais.	27
Quadro 4 – Categorias de avaliação e seu método.	49
Quadro 5 - Comparativo final	51

LISTA DE SIGLAS

AACEI	Association for the Advancement of Cost Engineering International
ADEED	Alaska Department of Education & Early Development
BEP	Break Even Point
DOC	Department of Commerce
DOE	Department of Energy
DOT	Department of Transportation
EUA	Estados Unidos da América
FEMP	Federal Energy Management Program
GAO	Government Accountability Office
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
LCCE	Life Cycle Cost Estimation
NIST	National Institute of Standards and Technology
OM&R	Operação, Manutenção e Reparo
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
WBS	Work Breakdown Structure

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA	14
1.2	PREMISSAS E PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivo Específico.....	16
1.4	JUSTIFICATIVA	17
1.5	METODOLOGIA.....	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	METODOLOGIA DE ANÁLISE	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO	20
2.2.1	Critério 1 - Objetivo.....	21
2.2.2	Critério 2 - Identificação das alternativas.....	22
2.2.3	Critério 3 - Identificação do modelo de custo adequado.....	22
2.2.4	Critério 4 - Geração de estimativas de custo.....	22
2.2.5	Critério 5 - Análise de BEP (<i>Break Even Point</i>)	23
2.2.6	Critério 6 - Determinação dos fatores mais impactantes no LCCA.....	23
2.2.7	Critério 7 - Determinação dos custos totais	24
2.2.8	Critério 8 - Análise de risco.....	24
2.2.9	Critério 9 - Análise de sensibilidade	25
2.2.10	Critério 10 - <i>Trade-off</i> ou “Custo de oportunidade”	25
2.3	APRESENTAÇÃO DA COMPARAÇÃO	26
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	28
3	APRESENTAÇÃO DOS MANUAIS	29
3.1	O LCCA E O MINNESOTA <i>DEPARTMENT OF TRANSPORTATION</i> ..	29
3.2	O LCCA E O <i>DEPARTMENT OF ENERGY</i>	31
3.3	O LCCA E O <i>NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY</i>	32
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	34
4	ANÁLISE	35
4.1	CRITÉRIO 1 - OBJETIVO.....	35
4.1.1	Critério 1 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	35
4.1.2	Critério 1 - <i>Department of Energy</i>	36
4.1.3	Critério 1 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	36
4.2	CRITÉRIO 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	37
4.2.1	Critério 2 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	37
4.2.2	Critério 2 - <i>Department of Energy</i>	37
4.2.3	Critério 2 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	38

4.3	CRITÉRIO 3 - IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DE CUSTO ADEQUADO 38	
4.3.1	Critério 3 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	38
4.3.2	Critério 3 - <i>Department of Energy</i>	39
4.3.3	Critério 3 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	39
4.4	CRITÉRIO 4 - GERAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE CUSTO	40
4.4.1	Critério 4 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	40
4.4.2	Critério 4 - <i>Department of Energy</i>	40
4.4.3	Critério 4 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	41
4.5	CRITÉRIO 5 - ANÁLISE DE BEP (<i>BREAK EVEN POINT</i>).....	41
4.5.1	Critério 5 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	41
4.5.2	Critério 5 - <i>Department of Energy</i>	42
4.5.3	Critério 5 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	42
4.6	CRITÉRIO 6 - DETERMINAÇÃO DOS FATORES MAIS IMPACTANTES NO LCCA 42	
4.6.1	Critério 6 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	42
4.6.2	Critério 6 - <i>Department of Energy</i>	43
4.6.3	Critério 6 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	43
4.7	CRITÉRIO 7 - DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS TOTAIS.....	43
4.7.1	Critério 7 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	44
4.7.2	Critério 7 - <i>Department of Energy</i>	44
4.7.3	Critério 7 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	44
4.8	CRITÉRIO 8 - ANÁLISE DE RISCO	45
4.8.1	Critério 8 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	45
4.8.2	Critério 8 - <i>Department of Energy</i>	46
4.8.3	Critério 8 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	46
4.9	CRITÉRIO 9 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	46
4.9.1	Critério 9 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	46
4.9.2	Critério 9 - <i>Department of Energy</i>	47
4.9.3	Critério 9 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	47
4.10	CRITÉRIO 10 - <i>TRADE-OFF</i>	48
4.10.1	Critério 10 - <i>Minnesota Department of Transportation</i>	48
4.10.2	Critério 10 - <i>Department of Energy</i>	48
4.10.3	Critério 10 - <i>National Institute of Standards and Technology</i>	49
4.11	SÍNTESE DAS ANÁLISES	49
4.12	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	52
5	CONCLUSÃO	54
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo irá expor as premissas e problemas da pesquisa, seus objetivos, justificativas, procedimentos metodológicos e como será estruturado.

1.1 TEMA

A última década trouxe um cenário de austeridade financeira para a maioria das empresas, e no seu encalço, surgiu à necessidade de uma análise e uma comparação mais criteriosa das opções de investimento. A combinação do aumento da inflação, redução do poder de compra, limitações de orçamento e aumento da competitividade criaram uma urgência e um interesse no custo total dos produtos sistemas e estruturas, não só os custos de aquisição mais também os custos para se operar e manter esses sistemas (Durairaj et al. 2002).

Com o acesso aos mais variados mercados e possibilidade de encontrar produtos ou sistemas que entreguem as mesmas funções, Barringer (1996) diz que os custos de aquisição são amplamente utilizados como critério primário para a seleção de um equipamento ou sistema. Entretanto ele ressalta que, apesar de ser um critério de simples utilização, pode levar a decisões que financeiramente não são atraentes para a empresa.

Buscando apoiar a tomada de decisão por engenheiros e gestores surgiram várias ferramentas, dentre essas ferramentas é o objeto deste estudo, e irá nortear este projeto, o LCCA (*Life Cycle Cost Analyses*) ou Análise do Custo do Ciclo de Vida.

O conceito de LCCA foi utilizado pela primeira vez pelo Departamento de Defesa dos EUA, em meados da década de 60 (Okamo, 2001), desde então as agências governamentais norte americanas vem trabalhando com essa ferramenta com o intuito de dar lastro às decisões tomadas.

Para o NIST (*National Institute of Standards and Technology*, 1995) LCCA é um método de avaliação de projetos no qual os custos decorrentes de possuir, operar, manter e finalmente descartar um projeto são considerados potencialmente importantes. Ainda de acordo com o NIST (1995), O LCCA é particularmente adequado para se avaliar entre as alternativas de projeto aquela que atende os

requisitos de performance mesmo possuindo diferentes custos iniciais; diferentes custos de operação, manutenção e reparo (OM&R); e possivelmente tempos de vida diferentes.

Barringer (1996) quando conceitua LCCA diz que este é a soma da estimativa dos custos desde inicio até o fim da vida útil tanto para equipamentos quanto para projetos. Ainda segundo Barringer (1996) é função do LCCA auxiliar engenheiros a justificar a seleção de equipamentos e processos baseado nos custos totais em detrimento de analisar somente o preço inicial de aquisição. Isso se dá, pois usualmente os custos de operação, manutenção e descarte excedem os outros custos em muitas vezes.

Okano (2001) diz que a aplicação do LCCA deve ser observada sob três diferentes perspectivas, a perspectiva da produção ou do produtor, a perspectiva do consumidor ou usuário do equipamento e a perspectiva social ou ambiental, e independente da ótica adotada o LCCA tem um papel fundamental na tomada de decisão.

De acordo com o Departamento de Energia dos EUA (*Department of Energy - DOE*, 2014) o LCCA oferece uma estimativa mais abrangente dos reais custos de um projeto ou programa quando comparada a uma estimativa que considera apenas as fases de execução ou fases iniciais. Ele ainda diz que o LCCA determina a opção mais rentável e documenta todo esse processo. E o critério padrão para se justificar economicamente qual processo ou projeto é mais lucrativo é o Valor Presente Líquido (VPL).

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA

As práticas adotadas atualmente no momento de tomada de decisão consistem frequentemente em determinar como mais interessante financeira para a empresa o projeto ou produto cujo valor inicial seja inferior. Entretanto essa prática não leva em consideração os custos de operação, manutenção e reparo, como já discutido anteriormente.

O dia-a-dia apresenta uma série de situações em que limitações de orçamento fazem com que decisões sejam tomadas para atender metas a curto prazo, por exemplo:

- À engenharia de confiabilidade é solicitado melhorias às quais não há orçamento para que as metas sejam alcançadas;
- Manutenção deixa de realizar rotinas preventivas para atender demandas de orçamento de curto prazo, porém acarretam elevação no custo total de funcionamento do ativo a longo prazo;
- Operação trabalha com a planta operando a 150% da capacidade nominal alegando possuir outros departamentos onde se pode investir para que os equipamentos trabalhem dentro do nomina.

Para estas situações o LCCA aparece como uma ferramenta para que gestores e engenheiros decidam pela alternativa com menor custo de propriedade a longo prazo (Barringer, 2003).

Observando as situações supracitadas surge o questionamento que motivou esse trabalho: Quais são as melhores práticas para conduzir um LCCA, e como elas podem ser adaptadas à realidade da nossa cultura industrial?

1.3 OBJETIVOS

Neste tópico será apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos da presente monografia.

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar uma comparação entre diferentes metodologias de LCCA, usando como base três manuais de órgãos governamentais norte-americanos.

1.3.2 Objetivo Específico

- Determinar as principais etapas de um LCCA presentes em todas as literaturas consultadas;
- Elaborar um método de comparação entre os manuais estudados, de forma a facilitar a escolha entre um deles;
- Apresentar as características básicas e quais ferramentas estão presentes e ausentes em cada um dos manuais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Como citado anteriormente, as entidades governamentais norte americanas fazem uso do LCCA a mais de 50 anos, sendo, com isso, referencia no assunto. Por esse motivo, utilizar-se-á de manuais e guias para buscar essas melhores praticas. Após considerar as opções, três manuais foram selecionados para servir de base para o atual projeto:

- *Life Cycle Cost Handbook, Guidance for Life Cost Estimation and Analysis, Department of Energy;*
- *Handbook 135, National Institute of Standards and Technology;*
- *Major Equipment Life-cycle Cost Analysis, Minnesota Department of Transportation.*

A diversidade na escolha dos manuais que irão referenciar esse projeto tem como objetivo buscar as práticas nos mais diversos campos, desde a área energética passando por comércio e transportes.

Também, os custos de OM&R superam com larga vantagem os custos iniciais de um projeto. Sabendo disso uma ferramenta para auxiliar na escolha do melhor projeto se faz necessária. Entretanto no Brasil existem poucas normas ou padrões que norteiem tal processo, um exemplo é a tradução da norma ISO 14040 e subsequentes, que tratam da análise do ciclo de vida de um produto sem trazer o viés econômico presente no LCCA.

Logo, a elaboração deste trabalho se justifica na busca por uma literatura de qualidade e que possa ser facilmente interpretada e aplicada em:

- Novos projetos, desde o conceito passando pela execução e finalmente o descarte;
- Equipamentos e o processo decisório de troca por um novo ou extensão da vida econômica do mesmo;
- Decisões gerenciais no que diz respeito à filosofia de manutenção (corretiva preventiva ou preditiva);
- Determinação da capacidade operacional que será imposta ao equipamento com uma visão de longo prazo.

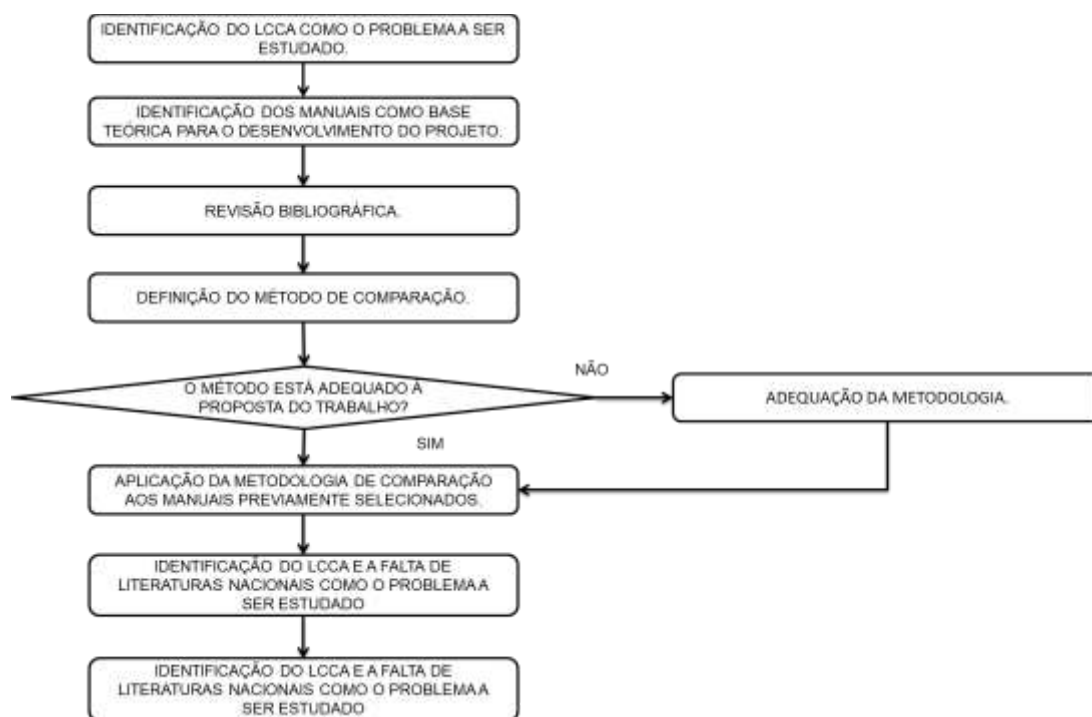
1.5 METODOLOGIA

Gil (2002) classifica as pesquisas como: exploratória, descritiva e explicativa. O presente trabalho se enquadra como uma pesquisa exploratória, uma vez que envolve levantamento bibliográfico e traz a análise de exemplos que estimulam a compreensão.

O presente trabalho irá apresentar de um breve histórico e a motivação por trás de cada um dos manuais que serão estudados, além de salientar suas particularidades e características mais marcantes.

Em seguida os manuais serão avaliados expondo seus aspectos gerais, critérios adotados por cada um e a sequência e metodologia utilizada por eles. A partir dessa avaliação será montado um quadro comparativo que de forma explicitar os aspectos de cada manual e tornar mais simples a comparação entre eles.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa utilizada no trabalho.



Fonte: O autor (2017)

O fluxograma apresenta na figura 1 tem como objetivo ilustrar o desenvolvimento do presente trabalho. Iniciando com a escolha do tema proposto, passando pela identificação e seleção dos manuais a serem estudados, uma revisão bibliográfica, definição de uma critério de comparação entre os manuais, a

verificação da adequação deste critério às necessidades do projeto e por fim a aplicação desta metodologia e suas análises.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 expõe o projeto, introduz o tema que será abordado assim como os objetivos, gerais e específicos, além de justificar e elucidar como será conduzido o trabalho.

O capítulo 2 traz a metodologia que será utilizada para realizar a avaliação e a classificação dos manuais estudados. Irá expor o quadro a partir do qual irão ser demonstrados os resultados deste trabalho.

O capítulo 3 irá apresentar de maneira breve os manuais. Apresentando suas características básicas.

O capítulo 4 irá analisar os manuais apresentados no capítulo anterior de acordo com os critérios estabelecidos anteriormente e também irá classificá-los partindo de critérios pré-estabelecidos. Além de sintetizar a análise em um quadro comparativo.

O capítulo 5 trará as conclusões que foram alcançadas a partir do estudo bem com sugestões para novas pesquisas.

Ao findar do estudo apresentar-se-á as referências utilizadas pelo autor para qualquer eventual consulta, quando se fizer necessário.

2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Nesse capítulo será apresentada a metodologia a ser utilizada para analisar os manuais de três diferentes departamentos norte americanos e que serão abordados com maior detalhamento no próximo capítulo. Irá apresentar também quais serão os critérios que serão levados em consideração para realizar esta análise. Será a partir das informações apresentadas a seguir que conseguiremos montar o comparativo dos manuais, que é o objetivo do presente trabalho.

2.1 INTRODUÇÃO

Durairaj (et al. 2002) estabelece parâmetros para se comparar modelos de LCCA. Neste trabalho será feita uma adaptação desses parâmetros e a sua utilização para comparar os manuais dos órgãos governamentais dos EUA. Suposições são utilizadas por Durairaj (et al. 2002) e serão adaptadas para também serem utilizadas nesta análise, são elas: a comparação feita será relativa entre os manuais; somente serão comparadas características elementares dos modelos analisados e ênfase será dada a características relacionadas com as metodologias de LCCA.

2.2 CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO

Após analisar as características necessárias para um manual de LCCA e adaptar os critérios do estudo feito por Durairaj (et al. 2002) foram selecionados dez critérios para comparação dos manuais estudados:

- Critério 1: Objetivo;
- Critério 2: Identificação das alternativas;
- Critério 3: Identificação do modelo de custo adequado;
- Critério 4: Geração de estimativas de custo;
- Critério 5: Análise de BEP (*Break Even Point*);
- Critério 6: Determinação dos fatores mais impactantes no LCCA;
- Critério 7: Determinação dos custos totais;
- Critério 8: Análise de risco;

- Critério 9: Análise de sensibilidade;
- Critério 10: Trade-off.

Uma vez estabelecidos os critérios fazem-se necessário determinar como cada um deles será comparado, para tal, uma escala foi adaptada da metodologia para avaliação de LCCA criada por Durairaj (et al. 2002). Cada um desses critérios será avaliado de acordo com a classificação apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 - Escala para classificação e comparação de LCCA's

Classificação	Descrição da Classificação
D	Disponível
ND	Não Disponível
B	Bom
E	Excelente

Fonte: O autor (2017)

O quadro 1 apresenta as classificações com as quais serão avaliados os manuais em relação a cada um dos critérios supracitados. Será utilizado “D” quando determinada característica estiver disponível no manual avaliado, “ND” quando a característica em questão não estiver disponível. Já quando a característica em questão for disponível e apresentar elevado grau de detalhamento ou possuir um passo a passo que permita sua utilização com facilidade será classificada com “B”, e finalmente, para aquele manual que se destacar em sendo superior aos demais será atribuída à classificação “E” como em excelente.

2.2.1 Critério 1 - Objetivo

Este critério diferente dos que se seguem não trará uma comparação entre os manuais, sua finalidade será elucidar qual o objetivo pretendido pelo órgão ao qual o manual está vinculado quando da sua elaboração. Terá por finalidade apresentar em qual tipo de situação se deve aplicar o manual, e com qual finalidade ele foi pensado.

2.2.2 Critério 2 - Identificação das alternativas

O objetivo deste critério é determinar se os manuais avaliados norteiam os usuários quanto à identificação e seleção das alternativas factíveis a serem analisadas. De acordo com o ADEED (*Alaska Department of Education & Early Development, 1999*) antes do início de um LCCA, deve-se estabelecer as alternativas que serão incluídas em seu desenvolvimento, sendo que estas alternativas pré-selecionadas são as soluções que melhor atendem o problema que se visa resolver.

A partir do supracitado é possível perceber a importância da seleção das alternativas para o desenvolvimento de um bom LCCA, justificando a escolha desse critério para avaliação e comparações futuras.

2.2.3 Critério 3 - Identificação do modelo de custo adequado

O objetivo deste critério é avaliar se os manuais apresentam uma forma de determinar os modelos de custo de ciclo de vida adequados para o projeto que eles irão guiar. Segundo Barringer (1996) os custos iniciais de aquisição são óbvios e geralmente é uma quantia pequena se comparado com os custos de manutenção, sendo que estes não óbvios. Ele ainda diz que cada projeto tem seu conjunto único de custos e problemas a resolver na busca por minimizar o seu custo do ciclo de vida.

A definição de um modelo de custo adequado para um projeto de LCCA é um fator preponderante para o sucesso na busca por um custo de ciclo de vida mais próximo possível do ideal, isso justifica sua escolha como critério de análise.

2.2.4 Critério 4 - Geração de estimativas de custo

Neste critério irá ser avaliado como os manuais abordam a geração de estimativas de custo. É a partir dos custos estimados que a comparação entre as alternativas pode ser feita, portanto é um fator crucial para qualquer LCCA que os custos sejam estimados de forma satisfatória e isto justifica a escolha desse critério.

De acordo com o DOE (2014) as estimativas de custo devem ser confiáveis, bem documentadas, precisas e compreensíveis, tendo como objetivo dar suporte para as decisões tomadas em qualquer LCCA.

2.2.5 Critério 5 - Análise de BEP (*Break Even Point*)

O presente critério tem como objetivo avaliar se os manuais apresentam ferramentas orientação a respeito da determinação do *break even point* do projeto a ser desenvolvido. Segundo o NIST (1995) quando uma variável é economicamente crítica para o sucesso do projeto pode ser necessário saber qual valor máximo ou mínimo, dependendo da situação, que essa determinada variável deverá assumir para que se atinja o *break even point*, ou o momento em que o projeto se paga.

O BEP pode ser analisado de duas formas, primeiro, pode ser necessário encontrar o valor mínimo que determinado variável de entrada do LCCA deve alcançar para que seja interessante economicamente que ela seja trabalhada, segundo, pode ser necessário encontrar o valor máximo que determinada variável de entrada pode atingir para que ainda seja atrativo economicamente.

Determinar quando o projeto se paga, ou seja, em quanto tempo ela irá começar a gerar lucro ou terá arcado com seus custos é importante para qualquer gestor no momento de apresentar o projeto para os níveis superiores, este fato justifica, portanto, a sua escolha como critério de análise no presente trabalho.

2.2.6 Critério 6 - Determinação dos fatores mais impactantes no LCCA

Neste critério será avaliado se os manuais apresentam uma metodologia ou orientação sobre como definir os custos de maior impacto no LCCA, e como tratar tais custos.

Custos com maior impacto no LCCA devem ser observados com maior atenção pelo gestor de um projeto, pois eles são de grande ajuda no entendimento do custo do ciclo de vida do mesmo (Barringer, 1996), logo se faz necessário que eles estejam presentes como critério de avaliação.

2.2.7 Critério 7 - Determinação dos custos totais

O objetivo deste critério é avaliar como os manuais abordaram os custos totais, como eles foram determinados. Durairaj (et al. 2002) diz que no modelo de LCCA de Fabrycky e Blanchard eles categorizam os custos em: custos de pesquisa e desenvolvimento, custos de produção e construção, custos de operação e manutenção e custos de descarte ou fim de vida. Sendo que essas categorias ainda são subdivididas de acordo com a sua relevância.

Para a elaboração de um LCCA, é importante que se definam os custos totais do projeto a ser analisado, isto justifica, portanto, a escolha deste critério para avaliação dos manuais.

2.2.8 Critério 8 - Análise de risco

Este critério tem por objetivo determinar qual o grau de importância dado a análise de risco pelos manuais estudados. Langdon (2006) diz que incorporando uma análise de risco em um LCCA pode auxiliar em antecipar os impactos provenientes de risco e incertezas e assistir no processo de tomada de decisão. Ele ainda mostra que as análises de risco podem ser divididas de duas formas, análise de risco quantitativa e qualitativa como exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Análise de risco - Classificações

Análise de risco Qualitativa	Análise de risco Quantitativa
Brainstorming	Análise de sensibilidade
Entrevista	Árvore de decisão
Checklist	Simulação de Monte Carlo
Diagramas de causa e efeito	Hipercubo Latino
Matriz de risco	Cadeias de Markov
Diagrama de influencia	Técnica de regressão linear múltipla
Registro de riscos	Lógica Fuzzy

Fonte: O Autor (2017).

O quadro 2 mostra a divisão da análise de risco como feita por Langdon (2006), em riscos qualitativos e quantitativos. Vale ressaltar que a análise de sensibilidade, primeiro dos itens de risco quantitativo, se faz tão importante na

avaliação de LCCA que será um critério isolado como será mostrado no próximo tópico.

2.2.9 Critério 9 - Análise de sensibilidade

Neste critério será observado se os manuais abordam a análise de sensibilidade. Segundo Langdon (2006) a análise de sensibilidade estuda a oscilação das variáveis de entrada de um LCCA dentro de limites pré-estabelecidos e seus efeitos no modelo final do custo de ciclo de vida. Essa análise visa encontrar 1) variáveis que afetam sobremaneira o resultado do LCCA, 2) determinar break even points que alterem a classificação das variáveis de entrada no quesito impacto total no LCCA.

A sensibilidade comprova que até o mais cuidadoso dos gestores está sujeito às incertezas decorrentes de uma estimativa de custos (Langdon, 2006). Por este motivo e pela necessidade de saber o tamanho desta incerteza, este critério se faz necessário.

2.2.10 Critério 10 - *Trade-off* ou “Custo de oportunidade”

De acordo com Brindle (2005) *Trade-off* são constantes quando se faz um LCCA, uma vez que em sua essência ele visa escolher entre as alternativas aquela que irá se apresentar mais lucrativa ou eficiente para a empresa ou departamento ao qual esta vinculado o gestor. Neste critério será observada a importância dada pelos manuais a esta relevante característica presente em qualquer LCCA.

Brindle (2005) ainda diz que o estudo de *trade-offs* um LCCA está preocupado em quantificar as diferentes opções existentes e garantir que a mais favorável sistemicamente seja implementada. E complementa que os *trade-offs* são realizados a partir dos procedimentos adotados no LCCA.

2.3 APRESENTAÇÃO DA COMPARAÇÃO

Depois de apresentados os critérios que irão nortear a comparação entre os manuais, apresentar a classificação à qual esses critérios serão avaliados, se faz necessário determinar de qual forma serão apresentados os resultados.

Pensando em auxiliar o gestor ou engenheiro que precise escolher entre um dos manuais estudados todo o processo de análise será sintetizado em um quadro que irá apresentar de maneira sucinta os critérios avaliados, os manuais avaliados e qual a classificação de cada manual no respectivo critério.

Quadro 3 - Apresentação da comparação entre os manuais.

Nº	CrITÉRIOS	<i>Major Equipment Life-cycle Cost Analysis</i>	<i>LCC Handbook, Guidance for Life Cost Estimation and Analysis</i>	<i>Handbook 135</i>
1	Objetivo			
2	Identificação das alternativas			
3	Identificação do modelo de custo adequado			
4	Geração de estimativas de custo			
5	Análise de BEP (Break Even Point)			
6	Determinação dos fatores mais impactantes no LCCA			
7	Determinação dos custos totais			
8	Análise de risco			
9	Análise de sensibilidade			
10	Trade-off ou custo de oportunidade			

Fonte: O Autor (2017).

O preenchimento do Quadro 3.3 será o resultado final deste projeto, entretanto cada característica será avaliada individualmente para cada manual e uma avaliação será realizada. Essa avaliação será encontrada nos capítulos a seguir.

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O capítulo atual apresenta a metodologia que será utilizada para avaliação e classificação dos objetos de estudo deste trabalho. Foram apresentados os dez critérios a partir dos quais serão feitas as análises posteriormente, assim como foram apresentadas também as quatro classificações que serão utilizadas nestas análises.

Uma vez determinados quais critérios serão utilizados na avaliação dos documentos elaborados pelos departamentos, DOE (*Department of Energy*), DOC (*Department of Commerce*) e DOT (*Department of Transportation*) será possível dar prosseguimento com o presente estudo.

A escolha de qual metodologia ou guia como auxílio no momento da elaboração de um LCCA é de suma importância, e é nesse contexto que se insere uma criteriosa determinação do método de análise destes guias ou manuais como foi apresentado neste capítulo.

A próxima seção irá trazer uma apresentação inicial de cada um dos três manuais que são a proposta deste trabalho analisar, será apresentada motivação de cada um deles, um breve histórico e como cada um deles compreende o estudo do LCCA.

Também será objetivo do próximo capítulo apresentar uma análise para cada um dos manuais de todos os critérios determinados no presente capítulo. Caso estes critérios façam parte do manual será explicitado como o mesmo é abordado, e caso não estiver presente será pontuado tal fato pois será também importante para a comparação final.

3 APRESENTAÇÃO DOS MANUAIS

Nesta seção serão apresentados os manuais que serão objetos de estudo deste trabalho, assim como um breve histórico e a motivação para a criação de cada um deles.

3.1 O LCCA E O MINNESOTA *DEPARTMENT OF TRANSPORTATION*

Segundo o DOT o LCCA é utilizado quando se deseja tomar uma decisão de reparo, troca, inspeção ou substituição de determinado equipamento da frota de veículos públicos baseado nos custos de aquisição e operação.

Segundo Mitchell (1998) a vida útil de um equipamento pode ser definida matematicamente de três formas diferentes:

- Pelo tempo que o equipamento consegue se manter operando;
- Pelo tempo que o equipamento gera lucro;
- Ou pelo tempo em que o custo de propriedade é igual ao custo de operação do equipamento.

Foi baseado nos conceitos supracitados que o DOT realizou sua análise para substituição de maquinário até os anos 2000. Sendo um órgão público, entretanto, o DOT não considera o lucro gerado por um equipamento em suas análises, sendo o tempo total de vida útil e o custo de propriedade as principais formas de tomada de decisão até então.

Quando o custo de manutenção e operação superar o custo de propriedade de um equipamento o mesmo estará utilizando uma parte do orçamento maior que o que é considerado saudável para um departamento público. Inicialmente o DOT utilizou abordagens determinísticas para planejar o tempo substituição de ativos (Jensen e Bard, 2002; West, 2013), porém esse tipo de abordagem não leva em consideração a incerteza das variáveis de entrada do LCCA. Utilizando uma abordagem estocástica o DOT buscou criar um modelo que otimizasse o LCCA.

O manual do Departamento de transito do estado de Minnesota tem o objetivo principal de criar um método robusto que permita ao gerente da frota de veículos, realizar um planejamento que minimize os custos através da otimização do custo do ciclo de vida de cada elemento da frota. Para atingir esse objetivo o manual

foca em três principais áreas: o impacto da variabilidade do preço dos combustíveis; na determinação de quais variáveis de entrada são mais impactantes no LCCA; e na criação de um modelo estocástico que calcule a vida econômica e possa ser utilizado paralelamente ao modelo determinístico.

Apresentada a ideia por trás do manual do DOT, o modo como o manual é estruturado é apresentada a seguir:

- **Introdução:** Apresenta uma introdução e um breve histórico que se faz necessário para um melhor entendimento do manual e funciona como um guia para o restante do documento. Apresenta também uma visão geral do processo de pesquisa e do principal instrumento de pesquisa.
- **Revisão bibliográfica:** Contém informações relevantes resultantes de uma completa revisão bibliográfica. Apresenta também conteúdo referente ao benchmark realizado com outros departamentos de transporte.
- **Metodologia de pesquisa:** Apresenta uma análise das ferramentas utilizadas para desenvolver o modelo estocástico de LCCA.
- **O Impacto da variabilidade do preço dos combustíveis na vida econômica de um equipamento:** Apresenta através do modelo estocástico de LCCA o impacto da variação do preço dos combustíveis no custo do ciclo de vida de um equipamento da frota de veículos.
- **Análise de sensibilidade de uma variável de entrada em um LCCA usando modelo estocástico:** Apresenta os principais resultados no que diz respeito a utilização de modelos estocásticos para variáveis de entrada de um LCCA.
- **Utilizando a modelagem estocástica para a otimização da vida econômica de um equipamento:** Abrange os principais resultados e recomendações a respeito do modelo estocástico de LCCA utilizado em equipamentos.
- **Conclusões:** Apresenta como o manual indica apresentar as conclusões de um LCCA. Traz a forma como deve ser feita a comunicação dos resultados às autoridades ou a quem o autor da análise é subordinado.

Acima está apresentado como o manual se desenvolve, quais são seus pontos básicos e como o manual entende que deve ser desenvolvido o LCCA de um projeto, programa ou equipamento.

3.2 O LCCA E O *DEPARTMENT OF ENERGY*

O manual elaborado pelo departamento de energia dos EUA se propõe a oferecer procedimentos informação, exemplos e ferramentas para desenvolver um LCCA consistente. Sendo ele baseado nas orientações e melhores práticas do GAO (*Government Accountability Office*) e a AACEI (*Association for the Advancement of Cost Engineering International*).

Segundo o DOE um LCCE (*Life Cycle-Cost Estimates*) e um LCCA (*Life-Cycle Cost Analysis*) confiáveis são ferramentas fundamentais para dar suporte à tomadas de decisão gerenciais, planejamento de programas e ao processo de seleção de alternativas. Ainda segundo o DOE, essas ferramentas são importantes para comunicar expectativas e requisitos às altas cúpulas do governo e a quem mais seja de interesse.

O DOE (2014) diz que um projeto ou programa terá seu ciclo de vida consistindo em sete fases, que são utilizadas durante todo o manual para garantir uma melhor entendimento e coerência, sendo elas:

- Fase 1: Avaliação das necessidades do projeto/programa;
- Fase 2: Estudo e análise das alternativas;
- Fase 3: Design;
- Fase 4: Aquisição e construção;
- Fase 5: Operação e manutenção;
- Fase 6: Cuidados e manutenção a longo prazo;
- Fase 7: Descarte

Nas quatro primeiras etapas de um projeto ou programa é onde encontraremos o que o DOE trata como “decisões críticas” (*Critical Decision*) sendo cada uma delas acompanhada de uma justificativa, um LCCE ou um LCCA. Uma análise ou uma estimativa se fazem necessárias nesses pontos críticos para balizar as decisões por caminhos mais assertivos e que possam ser justificados futuramente.

Apresentada a ideia do DOE sobre LCCA, o seu manual foi estruturado da seguinte maneira:

- Introdução: Apresenta as condições de uso de um LCCE e um LCCA dentro de projetos do DOE. Mostra, também, os requisitos de

conhecimentos que devem ser de conhecimento do engenheiro ou gestor for utilizá-lo, além de estabelecer os limites da utilização do método LCCA.

- Estimativa do custo de ciclo de vida: Apresenta de forma detalhada a metodologia para elaboração de uma estimativa para custo do ciclo de vida de um projeto ou programa. Mostra as classificações e metodologias, o processo de LCCE, quais elementos compõe a estimativa e as ferramentas necessárias.
- Análise do custo de ciclo de vida: Apresenta o conceito de análise do custo de ciclo de vida, como realiza-lo em um projeto, em um programa, como utilizar a análise para selecionar alternativas e quais são as ferramentas.
- Análise de incerteza, risco e sensibilidade: Apresenta uma visão geral acerca da incerteza, risco e sensibilidade e como estes elementos são abordados quando se trata de LCCA. Mostra como quantificar a incerteza, como analisar os riscos e como utilizar a sensibilidade para determinar quais fatores mais afetam o custo do ciclo de vida de um projeto ou programa.
- Comunicando os resultados de um LCCE e de um LCCA: Mostra como apresentar e como documentar os resultados de toda análise estudada no manual.

Estas são as etapas de um LCCA de acordo com o manual desenvolvido pelo DOE.

3.3 O LCCA E O *NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY*

A definição de LCCA para o *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 1995) diz que LCCA é um método de avaliação econômica de projetos no qual todos os custos desde o custo de propriedade, passando pelos custos operação manutenção e finalmente o custo de descarte são potencialmente importantes para a escolha de projeto em detrimento de outro.

O NIST considera que na elaboração de um LCCA existem dez etapas que vão desde os requisitos mais básicos de um projeto como identificação e

documentação até as considerações de como utilizar os resultados dos custos de ciclo de vida no processo de tomada de decisão. Sendo estas dez etapas abordadas no decorrer do manual e estão identificadas a seguir:

- 1) Definição do problema e do objetivo;
- 2) Identificar as alternativas factíveis;
- 3) Estabelecer premissas e parâmetros;
- 4) Estimar custos e ocorrência de cada alternativa;
- 5) Trazer custos futuros para valor presente;
- 6) Comparar valores de LCC para cada alternativa;
- 7) Analisar custos complementares se preciso para priorização de alternativas;
- 8) Avaliar incerteza dos dados de entrada;
- 9) Considerar custos que não podem ser quantificados ou estimados;
- 10) Elaborar relatório final.

Em seu manual o NIST segue os passos supracitados sendo que a elaboração do seu manual se dá seguinte forma:

- Introdução ao LCCA: Apresenta o LCCA na visão do NIST e mostra como será conduzido o manual, quais etapas e o porquê de se utilizar o a metodologia LCCA.
- Considerações iniciais: Expõe os conceitos iniciais de um LCCA, demonstra como definir o projeto em análise, o objetivo, as alternativas factíveis além do período de estudo para a análise.
- Descontos e inflação em um LCCA: Mostra como realizar análises de diferentes alternativas de projetos para um mesmo período de tempo. Também aborda o modo correto de lidar com a taxa de desconto e a inflação para diferentes alternativas de um projeto avaliadas por um LCCA.
- Estimando custos em um LCCA: Mostra os tipos de custos podem ser encontrados em um projeto, especialmente custos relativos a investimentos. Aborda também o que fazer com custos não quantificáveis.
- Calculando custos de ciclo de vida: Trata dos procedimentos relacionados a um LCCA e como realizar a escolha entre diferentes alternativas de modo a escolher a mais atraente economicamente.

- Calculando informações complementares: Apresenta informações a respeito das ferramentas de engenharia econômica que podem vir a ser utilizadas em um projeto, tais como: taxa interna de retorno (TIR), *payback* simples e *payback* descontado.
- Aplicando o LCCA a um projeto de investimento: Mostra as possíveis aplicações dos conceitos de LCCA e das ferramentas de engenharia econômica na escolha das melhores opções em um viés econômico.
- A incerteza em um LCCA: Apresenta como realizar uma avaliação das incertezas nos dados de entrada de um LCCA e como utilizar uma análise de sensibilidade para lidar com o problema.

Assim se apresenta o manual elaborado pelo NIST em todas as suas etapas.

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo é descrito como cada manual entende o LCCA, quais são suas motivações e um o objetivo que se espera alcançar quando se elabora este tipo de análise. É apresentado também de maneira breve, como cada manual se desenvolve e quais seus pontos principais.

Os manuais são o objeto de análise deste trabalho, portanto se faz necessário mesmo que de maneira breve, ter conhecimento de como eles se desenvolvem.

No capítulo seguinte será realizada a análise dos manuais expostos neste capítulo. É partindo da avaliação destes manuais que se dará toda a geração de valor deste trabalho.

4 ANÁLISE

Neste capítulo será realizada a análise dos manuais em relação aos critérios previamente apresentados. Com o intuito de tornar a análise mais didática e compreensível, uma vez que ela será realizada em caráter comparativo, será abordado um critério por vez, e cada manual será avaliado dentro das características do critério em questão.

4.1 CRITÉRIO 1 - OBJETIVO

Todo manual, guia ou passo a passo é elaborado para atender a uma determinada necessidade ou demanda imposta pelo consumidor ou pela alta gerência. A seguir serão expostos quais são os objetivos dos manuais selecionados, quais suas motivações e aonde os seus desenvolvedores idealizaram sua aplicação.

4.1.1 Critério 1 - *Minnesota Department of Transportation*

Como em todo LCCA, o DOT tem com objetivo otimizar o custo de ciclo de vida geral de todos os equipamentos da sua frota aumentando assim sua eficiência. O objetivo geral do trabalho realizado pelo DOT é desenvolver um modelo estocástico que de suporte ao LCCA para sua frota de veículos, entretanto para atingir tal objetivo geral ele foca em áreas de pesquisa: 1) o impacto da variação do preço do combustível na vida econômica do equipamento; 2) a determinação das entradas mais sensíveis para o modelo de LCCA proposto; e 3) elaborar um modelo estocástico para calcular a vida econômica no LCCA de um equipamento que ofereça uma alternativa em relação aos modelos determinísticos.

Antes da elaboração deste manual o DOT realizava suas análises de forma determinística sendo que muitas vezes as incertezas provenientes das estimativas realizadas afetavam o LCCA. Foi a partir deste cenário que o DOT obteve motivação para pensar em um método para mitigar esse problema.

O manual foi pensado para ser aplicado na análise das três áreas de foco supracitadas. Além disso, uma aplicação que o manual cita como possível é a utilização de parâmetros não financeiros que aliados a uma análise estocástica

podem auxiliar gestores na realização da substituição dos equipamentos antigos por novos equipamentos.

4.1.2 Critério 1 - *Department of Energy*

O objetivo principal do manual elaborado pelo DOE é oferecer uma fonte de procedimentos informações exemplos e ferramentas para elaboração de estimativas (LCCE) e análises (LCCA) do custo do ciclo de vida de um projeto. Logo, o manual do DOE aparece como uma referência para o desenvolvimento de projetos e a tomada de decisão baseados na estimativa e análise do custo do ciclo de vida.

Sendo o DOE um órgão governamental submetido a restrições orçamentarias e que deve prestar contas entre outros ao próprio congresso americano a respeito de seus projetos, se faz necessário que um guia confiável seja elaborado de forma a fornecer as ferramentas necessárias para tal.

Conceitualmente um LCCE ou LCCA pode abranger toda a vida de um projeto do nascimento até o fim da vida, entretanto, o DOE propõe que de acordo com a aplicação pode se fazer necessário que se estabeleçam limites mais estreitos.

4.1.3 Critério 1 - *National Institute of Standards and Technology*

O NIST elaborou um manual que possui como objetivo auxiliar na elaboração de LCCA's confiáveis. E o manual foi direcionado para engenheiros, arquitetos, analistas e gestores que trabalham em instalações governamentais, entretanto segundo o próprio NIST sua elaboração foi genérica o suficiente para possa ser aplicado em análises de LCCA para o setor privado.

O DOC quando solicitou a elaboração deste guia junto ao NIST visava sua aplicação em projetos de conservação de energia para prédios públicos, mas observa que ele também poderá ser aplicado para priorizar aonde serão alocados futuros investimentos quando não houver fundos para que todos sejam agraciados.

4.2 CRITÉRIO 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Quando se trata de identificação de alternativas, o que se espera de um LCCA é que ele oriente o gestor que irá elaborar o estudo de modo a selecionar previamente as alternativas de modo à somente dispende esforços na análise de alternativas que sejam consideradas factíveis.

4.2.1 Critério 2 - *Minnesota Department of Transportation*

O Minnesota DOT não considera em seu manual um modo de identificação prévia de alternativas factíveis. Entretanto esse fato se deve a natureza da análise que é proposta pelo departamento, uma vez que as análises realizadas tem caráter avaliativo e não comparativo. Ou seja, o DOT deseja encontrar o melhor momento para realizar a substituição dos equipamentos de sua frota.

Avaliação: Não Disponível

4.2.2 Critério 2 - *Department of Energy*

O modelo de LCCA estabelecido pelo DOE aborda em seu conteúdo a identificação e a seleção de alternativas referentes a análise do custo de ciclo de vida de um projeto ou programa. Entretanto o manual apresenta maior relevância de informações quando trata da estimativa dos custos de um projeto em detrimento da análise dos custos.

Ressalta-se neste ponto a distinção feita entre a análise de um programa e a análise de um projeto. É dito que um projeto deve ser analisado com a utilização das ferramentas padrão de um LCCA, ênfase dada ao VPL (Valor Presente Líquido) e através desta ferramenta se deve fazer a comparação entre as alternativas. Por outro lado, a análise de um programa, que ele conceitua como um conjunto de projetos, deve ser feita utilizando o LCCA como um documento base utilizado para gerenciar o dito programa.

Avaliação: Disponível

4.2.3 Critério 2 - National Institute of Standards and Technology

O manual do NIST apresenta um capítulo denominado de “*GETTING STARTED*” no qual o manual aborda quais preocupações devem ser levadas em conta antes mesmo de começar a elaboração do LCCA. O intuito é discorrer sobre as considerações que devem ser feitas na fase de planejamento de um LCCA, uma vez que a escolha incorreta de alternativas para se comparar em uma análise de custo de ciclo de vida pode levar ao gasto desnecessário tanto de tempo como de dinheiro.

O DOC expõe que em alguns casos limitações de projeto ou orçamento pode eliminar alternativas antes mesmo que seja realizado um esforço desnecessário nestas pela realização de uma análise mais aprofundada. Entretanto é ressaltado que uma alternativa mesmo apresentado um perfil pouco favorável economicamente pode ser atraente se seus benefícios não quantificáveis monetariamente forem desejáveis para o projeto.

Avaliação: Excelente

4.3 CRITÉRIO 3 - IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DE CUSTO ADEQUADO

O modelo de custo é parte fundamental na elaboração de um LCCA, pois é a partir dele que se determinam quais custos serão considerados na análise do ciclo de vida do um projeto, programa ou equipamento. Logo cada manual será analisado quanto sua abordagem em relação ao tema.

4.3.1 Critério 3 - *Minnesota Department of Transportation*

O DOT apresenta em extensa revisão literária acerca dos métodos de definição de modelo de custo, dividindo os custos totais em custo de propriedade e custos de operação. Esta divisão é feita baseada no “*Peurifoy/Schexnayder Method*”. O método supracitado determina que o custo do ciclo de vida é igual a soma dos custos de propriedade e dos custos de operação. Determina também que os custos de operação são a soma dos custos de manutenção e reparo, custo do combustível, custo dos pneus e o custo de reparo dos pneus.

O manual apresenta detalhadamente cada um dos custos citados acima formulando todos eles de modo a garantir que o usuário tenha em mãos todas as ferramentas para determinação de um modelo de custo satisfatório.

Avaliação: Excelente

4.3.2 Critério 3 - *Department of Energy*

Para o DOE um modelo de custo adequado deve conter todos os itens que possam ser de interesse para um LCCA, pois seu foco é voltado para a análise de projetos e programas. Pensando nesta necessidade o manual propõe a utilização do WBS ou "*Work Breakdown Structure*" como metodologia para determinação do modelo de custo.

O WBS é um processo que se propõe a decompor completamente o projeto ou programa em produtos ou atividades necessárias para se concluir o projeto ou programa. Por ter essa característica ele acaba gerando um modelo de custo muito complexo que pode tornar a análise ineficiente ou até inviável.

Avaliação: Disponível

4.3.3 Critério 3 - *National Institute of Standards and Technology*

O DOC utiliza o método padrão do FEMP ou "Federal Energy Management Program" para determinação do modelo de custo para um LCCA. O modelo de custo preconizado pelo FEMP diferente dos outros modelos analisados, já traz no modelo de custo a adequação ao valor presente. Ou seja, quando estabelece modelo de custo ele também insere itens da engenharia econômica.

O modelo do FEMP estabelece que o custo do ciclo de vida de um programa, projeto ou equipamento é igual a soma dos custos de investimento e dos custos de operação, todos em Valor Presente.

A matemática do modelo é mais complexa em comparação com a matemática apresentada em outros modelos de custo, porém ela acrescenta o fator "Valor Presente" que justifica este aumento de complexidade e torna o modelo mais completo e funcional.

Avaliação: Excelente

4.4 CRITÉRIO 4 - GERAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE CUSTO

É através das estimativas de custo que o encarregado de tomar as decisões de um LCCA irá obter fundamentação para qualquer escolha a ser feita no projeto, programa ou equipamento que analisa. Iremos analisar como os manuais abordaram esse tópico em seus desenvolvimentos.

4.4.1 Critério 4 - *Minnesota Department of Transportation*

O DOT trabalha as estimativas de custo de forma diferente dos outros manuais, por objetivar uma análise estocástica em contrapartida das análises determinísticas geralmente utilizadas, as estimativas para o DOT se fazem no formato condições operacionais, sendo o responsável pelo LCCA quem irá determinar quantos níveis serão avaliados e quais serão estes níveis. Isso significa que para cada característica que se irá abordar estocasticamente serão gerados tantos cenários quantos forem os níveis determinados pelo responsável pelo estudo. E serão estes cenários que serão utilizados quando da escolha da melhor alternativa.

A maneira como as estimativas de custo são geradas é apresentado de maneira satisfatória, porém, em se tratando de um guia para aplicação prática poderia apresentar seu procedimento de maneira mais didática de forma a ser mais bem conduzido quando necessário.

Avaliação: Disponível

4.4.2 Critério 4 - *Department of Energy*

O manual do DOE apresenta todo o processo de elaboração de uma estimativa de custo de ciclo de vida, dividindo esse processo em doze partes. Entretanto, para a determinação da estimativa dos custos o DOE indica a utilização de outro guia elaborado pelo departamento, o “Cost Estimating Guide” de 2011. Ou seja, o processo para realização de um LCCE está presente e descrito detalhadamente, mas o processo de estimativa de custos, que é o critério abordado

nesse tópico, não se faz presente no manual sendo necessária a utilização de um guia complementar.

Avaliação: Não Disponível

4.4.3 Critério 4 - *National Institute of Standards and Technology*

O manual do DOC traz uma seção voltada para a estimativa de custos em um LCCA, nesta seção ele aborda de maneira individual os custos apontados pelo método do FEMP no modelo de custos. Fazendo assim, a ligação entre o modelo de custos adequado para um LCCA e como gerar a estimativa destes custos.

Como apresentado anteriormente, o modelo de custos para o FEMP se divide em custos de investimento e custos de operação sendo ambos os custos subdivididos de forma a abranger todos os possíveis custos presentes.

Avaliação: Excelente

4.5 CRITÉRIO 5 - ANÁLISE DE BEP (*BREAK EVEN POINT*)

O Break Even Point é o momento em que o projeto, programa ou equipamento equilibra seus custos e seus lucros, com isto, o objetivo deste critério é determinar se e como os manuais tratam esta ferramenta que pode ser de grande valia quando se compara alternativas através de um LCCA.

4.5.1 Critério 5 - Minnesota Department of Transportation

O manual do Minnesota DOT não faz nenhuma menção ao BEP. Após extensiva análise do manual não foi encontrada nenhuma menção ao termo ou a qualquer procedimento que seja similar.

Avaliação: Não disponível

4.5.2 Critério 5 - *Department of Energy*

O manual do DOE não faz nenhuma menção ao BEP. Após extensiva análise do manual não foi encontrada nenhuma menção ao termo ou a qualquer procedimento que seja similar.

Avaliação: Não Disponível

4.5.3 Critério 5 - *National Institute of Standards and Technology*

O NIST tem uma seção de seu manual destinada a análise de incertezas em um LCCA, dentro desta seção ele apresenta o conceito de *Break Even*, quais são as etapas para a realização de uma análise de BEP e a formulação matemática de uma análise de BEP dentro das necessidades e dos objetivos que o manual foi elaborado.

A partir das orientações presentes no “*Handbook 135*” é possível realizar uma análise consistente de BEP. Uma das vantagens desse tipo de análise é o fato de não ser necessária à coleta de informações adicionais, as informações utilizadas no LCCA servem como base de dados para a utilização das ferramentas de BEP.

Avaliação: Excelente

4.6 CRITÉRIO 6 - DETERMINAÇÃO DOS FATORES MAIS IMPACTANTES NO LCCA

O objetivo neste tópico é avaliar como os manuais abordaram a determinação dos fatores que alavancam ou derrubam os custos de um LCCA. Ou seja, como os manuais tratam dos custos que mais impactam no LCCA, positiva ou negativamente. :

4.6.1 Critério 6 - *Minnesota Department of Transportation*

O Minnesota DOT não apresenta em seu manual uma metodologia para se identificar ou determinar quais os custos são mais impactantes no custo do ciclo de vida de um projeto, programa ou equipamento.

Avaliação: Não Disponível

4.6.2 Critério 6 - *Department of Energy*

Ao contrário de outras características analisadas que apresentavam uma seção própria, para este critério o DOE não destinou uma seção. Entretanto os fatores de maior impacto no LCCA, que ele chama de “cost drivers” são citados, explicados e exemplificados no decorrer do manual.

O manual traz discriminadas as principais abordagens para a realização da determinação dos custos mais impactantes para a estimativa total dos custos, apesar de não fazê-lo de maneira clara e organizada.

Avaliação: Disponível

4.6.3 Critério 6 - *National Institute of Standards and Technology*

O NIST apresenta uma pequena seção destinada a identificação de variáveis de entrada críticas para um LCCA. Entretanto a metodologia utilizada nesta identificação é falha em termos técnicos, uma vez que sugere que o usuário do manual varie as entradas do LCCA de maneira arbitrária.

O manual do DOE deixa claro que não faz parte das melhores práticas a utilização de valores arbitrários, sendo estes valores definidos a partir de base de dados históricos, benchmarks industriais ou outra fonte confiável de dados que possua referências.

Avaliação: Disponível

4.7 CRITÉRIO 7 - DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS TOTAIS

Este critério objetiva avaliar como os manuais expõem os custos totais de um LCCA, e se há uma orientação quanto a como estes custos devem ser determinados.

4.7.1 Critério 7 - *Minnesota Department of Transportation*

O manual do DOT apresenta os custos de maneira teórica, mostrando como se caracteriza cada parte que compõe os custos totais, na sua visão. O manual considera os custos totais como a soma de custo de aquisição e custos de operação, sendo que ambos são subdivididos de acordo com o interesse da análise.

O manual apresenta ainda deferentes metodologias existentes para o cálculo dos custos de aquisição e operação. Dentro destas metodologias apresentadas, a que mais se adequa ao que é proposto pelo departamento é selecionada e todas as análises subsequentes são feitas a partir deste método.

Avaliação: Excelente

4.7.2 Critério 7 - Department of Energy

O DOE utiliza-se de uma metodologia para estruturação da estimativa de custos, citada quando foi avaliado o critério de identificação de um modelo de custo, que também auxilia na determinação dos custos totais do LCCE e do LCCA realizado. O WBS (*Work Breakdown Structure*) é o nome da metodologia utilizada, e ela se caracteriza por estratificar os custos de todas as etapas do projeto ou programa até o seu nível mais básico, visando com isso abordar todos os custos e evitar as redundâncias.

O manual apresenta como maior preocupação elaborar a metodologia de forma que qualquer usuário tenha as informações para traçar um LCCE e um LCCA do início ao fim, entretanto ele não dá ênfase aos cálculos ou a determinação matemática, sendo recomendada a utilização de outros guias e manuais para tal, deixando a cargo do usuário do manual buscar a melhor maneira de realizar essa abordagem matemática.

Avaliação: Disponível

4.7.3 Critério 7 - *National Institute of Standards and Technology*

O manual do NIST apresenta uma categorização dos custos, não só diferenciando entre custo de aquisição e custo operacional, mas também aborda, a

dinâmica entre custos iniciais e custos futuros e a dinâmica entre custos simples e custos recorrentes.

Através da metodologia do FEMP (Federal Energy Management Program) o manual do NIST também aborda o viés matemático da determinação dos custos totais de um LCCA. Apresentando a formulação básica e adequada para os programas aos quais ele visa atender. Cabe ao usuário do manual caso realize a adaptação do mesmo para uma realidade diferente, adaptar as questões matemáticas.

Avaliação: Bom

4.8 CRITÉRIO 8 - ANÁLISE DE RISCO

Neste ponto será avaliado como cada manual trabalha a análise de risco de seu LCCA. Anteriormente foi citado que existem dois tipos de análise de risco, a análise de risco qualitativa e a análise de risco quantitativa. Ambas serão consideradas na avaliação.

A análise de sensibilidade, vale ressaltar, é um dos tipos de análise de risco quantitativa, porém, por ser de relevante significância irá ser tratada separadamente. Logo, este critério irá abranger a utilização das ferramentas para análise de risco citadas anteriormente, à exceção da análise de sensibilidade.

4.8.1 Critério 8 - *Minnesota Department of Transportation*

O *Minnesota DOT* utiliza-se de duas das ferramentas de análise de risco citadas anteriormente, uma qualitativa e uma quantitativa. O departamento realiza uma pesquisa com alguns outros departamentos de transporte a fim de estabelecer um benchmarking a respeito da utilização do LCCA, e nesta pesquisa é realizada uma série de entrevistas.

Outra ferramenta de análise de risco utilizada pelo DOT é a “Simulação de Monte Carlo”, que é um método para realização de escolhas aleatórias dentro de uma população conhecida (Mooney, 1997). Esta ferramenta é utilizada para auxiliar na análise de sensibilidade que será tratada na avaliação do próximo critério.

Avaliação: Bom

4.8.2 Critério 8 - *Department of Energy*

No manual do DOE há uma seção dedicada à análise das incertezas, riscos e sensibilidade em um LCCA. No que diz respeito à análise de risco, o manual discorre sobre a análise quantitativa dos riscos citando como prática comum a utilização da “Simulação de Monte Carlo”.

O manual ainda traz exemplos de matriz de risco e de modelos de simulação para demonstrar a utilização das ferramentas de análise de risco existentes e auxiliar em sua aplicação em casa de necessidade.

Avaliação: Disponível

4.8.3 Critério 8 - *National Institute of Standards and Technology*

Como a análise de risco nesse momento será avaliada de maneira independente a análise de sensibilidade, constata-se que o manual do NIST não apresenta nenhuma diretriz para avaliação de risco que seja diferente da análise de sensibilidade.

Avaliação: Não Disponível

4.9 CRITÉRIO 9 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Neste ponto o objetivo é avaliar como os manuais abordam a ferramenta de análise de sensibilidade. Apesar de ser parte constituinte da análise de risco, a análise de sensibilidade é avaliada de forma separada, pois é uma ferramenta que merece atenção.

4.9.1 Critério 9 - *Minnesota Department of Transportation*

Em seu manual, o DOT apresenta o conceito de análise de sensibilidade diretamente ligado à utilização do modelo estocástico de LCCA e a utilização da simulação de Monte Carlo. Pelo fato de não ser abordado de maneira mais direta e

didática a análise de sensibilidade se perde entre os outros conceitos abordados simultaneamente.

Entretanto o manual apresenta uma serie de exemplos da utilização prática da ferramenta. Há no manual a caracterização através de tabelas das variáveis de entrada que irão oscilar, e finalmente são apresentados gráficos mostrando os seus efeitos.

Ou seja, no que diz respeito à conceitualização da análise de sensibilidade o manual carece de mais organização, entretanto, a aplicação da ferramenta é ampla e bem ilustrada.

Avaliação: Disponível

4.9.2 Critério 9 - *Department of Energy*

O manual elaborado pelo DOE apresenta, quando aborda a análise de sensibilidade, o seu conceito, justifica sua utilização, expõe como deve ser realizado de maneira confiável, expõe como deve ser determinado os valores máximos e mínimos e traz um exemplo de sua aplicação.

O assunto não é abordado de maneira extensa, entretanto apresenta conceitos sólidos para a elaboração de uma análise além de apresentar fontes externas caso o analista em questão deseja maiores informações.

Avaliação: Bom

4.9.3 Critério 9 - *National Institute of Standards and Technology*

Na seção destinada à análise de sensibilidade o manual do NIST define o que é, determina de maneira concisa como deve ser aplicado, apresenta como devem ser identificadas as variáveis de entrada críticas de LCCA e conseqüentemente da análise de sensibilidade, determina como determinar os valores máximo e mínimo, como testar os possíveis cenários além de apresentar as vantagens e desvantagens da ferramenta.

De maneira direta o manual aborda aquilo é necessário ser de conhecimento de quem for realizar uma análise de sensibilidade para um LCCA. É exposto como

avaliar através de tabelas e gráficos os resultados da análise, fator importante na comunicação dos resultados.

Avaliação: Excelente

4.10 CRITÉRIO 10 - *TRADE-OFF*

→ Avaliar a existência de alguma referencia a prática de trade-off nos manuais estudados neste projeto tem como objetivo observar se eles apresentam este conceito em seus desenvolvimentos. Como citado em capítulos anteriores, este procedimento visa a escolha da melhor alternativa para o projeto, programa ou equipamento não considerando apenas os fatores monetários.

4.10.1 Critério 10 - *Minnesota Department of Transportation*

O manual traz a ideia de *trade-off* em seu sumário, entretanto o conceito não é abordado de maneira mais consistente no decorrer do trabalho. Ressalta-se que o conceito de troca de equipamento baseado em suas estimativas financeiras é apresentado, entretanto este não é o conceito de *trade-off*.

→ **Avaliação**: Não Disponível

4.10.2 Critério 10 - *Department of Energy*

O manual quando aborda a análise do custo do ciclo de vida de um projeto expõe, dentre as informações que devem ser documentadas para cada uma das alternativas do LCCA, os *trade-offs*. Porém a menção aos *trade-offs* se resume a esta breve citação, não sendo apresentado nenhum conceito ou aplicação do mesmo.

→ **Avaliação**: Não Disponível

4.10.3 Critério 10 - *National Institute of Standards and Technology*

O manual do NIST não faz nenhuma menção ao conceito de trade-off. Apesar de também abordar a troca de equipamentos baseado em suas características financeiras.

→ **Avaliação:** Não Disponível

4.11 SÍNTESE DAS ANÁLISES

Realizadas as análises dos manuais, como era o objetivo do trabalho, tem-se também que organizar os resultados a fim de apresentá-los de maneira didática e simplificada.

Anteriormente foi apresentada a metodologia que seria utilizada para realizar a avaliação dos critérios escolhidos como fatores importantes para um LCCA. Foi explicitado que após a análise os dados seriam tabulados de forma comparativa para mais fácil e rápida compreensão.

A avaliação foi realizada utilizando como base para se estabelecer as categorias o critério comparativo, ou seja, os manuais são avaliados uns em relação aos outros. Sabendo disso as quatro categorias utilizadas foram descritas no quadro 4:

Quadro 4 – Categorias de avaliação e seu método.

Classificação	Descrição da Classificação	Método de avaliação
D	Disponível	Quando o manual não apresenta o critério.
ND	Não Disponível	O critério está presente, sem nenhum fator de destaque.
B	Bom	O critério apresenta informações de fácil entendimento e aplicação.
E	Excelente	O critério se destaca em relação ao mesmo critério em outros manuais.

Fonte: O autor (2017)

Observa-se que no critério 01 (Objetivo), a fim de oferecer uma breve visão dos objetivos do manual e por simples impossibilidade de se comparar e avaliar objetivos, não foram utilizadas as categorias supracitadas de avaliação de critérios.

Quadro 5 - Comparativo final

Nº	Crítérios	<i>Major Equipment Life-cycle Cost Analysis</i>	<i>LCC Handbook, Guidance for Life Cost Estimation and Analysis</i>	<i>Handbook 135</i>
1	Objetivo	Desenvolver modelo estocástico de LCCA, com foco em: <ul style="list-style-type: none"> • Impacto da variação das entradas; • Determinar quais variáveis são mais sensíveis; • Elaboração de modelo estocástico de LCCA 	Desenvolver estimativas (LCCE) e análises (LCCA) do custo de ciclo de vida para projetos e programas.	Elaboração de LCCA's confiáveis para projetos governamentais, mas podendo ser adaptado de maneira simples para o desenvolvimento de LCCA's para o setor privado.
2	Identificação das alternativas	ND	D	E
3	Identificação do modelo de custo adequado	E	D	E
4	Geração de estimativas de custo	D	ND	E
5	Análise de BEP (<i>Break Even Point</i>)	ND	ND	E
6	Determinação dos fatores mais impactantes no LCCA	ND	D	D
7	Determinação dos custos totais	E	D	B
8	Análise de risco	B	D	ND
9	Análise de sensibilidade	D	B	E
10	<i>Trade-off</i>	ND	ND	ND

ND=Não Disponível; D=Disponível; B=Bom; E=Excelente.

Fonte: O Autor (2017).

O quadro 4 mostra a síntese da análise dos manuais. Vale ressaltar que apesar de todos os critérios selecionados serem importantes para o desenvolvimento de um LCCA, três critérios foram observados nos três manuais estudados. A identificação do modelo de custo adequado, a determinação dos custos totais e a análise de sensibilidade.

Primeiro, a identificação de um modelo de custo adequado, como citado antes da análise, tem como objetivo identificar quais custos irão e quais não irão ser considerados, sendo por isso, vital a um bom LCCA. Segundo ponto, é a determinação dos custos totais que está ligada diretamente a identificação dos custos e por último a realização de uma análise de sensibilidade garante que aquele que está realizando o LCCA não seja pego de surpresa por variações inesperadas nos valores de entrada.

4.12 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O presente capítulo apresentou a análise dos três manuais: 1) *Major Equipment Life-cycle Cost Analysis* (DOT), 2) *Life Cycle Cost Handbook, Guidance for Life Cost Estimation and Analysis* (DOE), 3) *Handbook 135* (NIST). Foram utilizados os dez critérios de avaliação que haviam sido previamente estabelecidos e a avaliação se deu de acordo com os níveis também estabelecidos anteriormente. Apresentou a síntese destas avaliações feitas, sendo que os resultados obtidos foram expostos em forma de quadro para tornar mais didática seu entendimento.

Por meio da análise realizada neste momento foi possível atingir o objetivo proposto para o projeto. As avaliações foram expostas em quadro de maneira sucinta oferecendo, a quem possa interessar, um modo eficaz de avaliar os aspectos macro de cada um dos manuais.

Através da avaliação conduzida neste capítulo foi possível observar características individuais de cada um dos manuais, identificando como cada um deles se propôs a abordar o tema LCCA. Foi possível também identificar quais critérios se fizeram presentes em todos, mostrando relativa importância dos mesmos.

No próximo capítulo serão expostas as conclusões obtidas através de todo o estudo, ressaltando os pontos positivos e negativos encontrados em cada um dos

manuais avaliados. Também serão apresentas para futuros trabalhos, dando continuação ao presente trabalho ou acrescentando análises paralelas.

5 CONCLUSÃO

Este projeto se propôs a atingir quatro objetivos específicos, podendo nesse momento concluir-se que estes foram atingidos. Primeiro foi elaborado um método que permite comparar a partir de critérios pré-estabelecidos metodologias ou manuais utilizados para desenvolver um LCCA. Foram determinados também quais os principais pontos abordados por cada um dos manuais escolhidos para estudo. Além de estabelecer um comparativo e apresentar quais dos critérios escolhidos estavam ou não presentes em cada manual.

Mesmo o LCCA sendo de relativa importância na indústria atual, esta técnica não é amplamente difundida no país, não sendo possível encontrar muitas literaturas nacionais que abordem o tema. Fato este que também motivou a realização do presente trabalho. Apesar disso, internacionalmente se encontra vasta gama de referências. Encontrando-se, com relativa facilidade, manuais governamentais de diversos países.

A partir dos resultados obtidos através da avaliação dos manuais, como proposto no desenvolvimento, alguns pontos se destacam. Todos os manuais apresentam no mínimo sete dos critérios selecionados, fato este que indica que a escolha foi relativamente assertiva.

Entretanto, ainda no que diz respeito aos critérios selecionados, nota-se que o critério 10, “*trade-off*” não está disponível em nenhum dos manuais avaliados, apesar de ser citado de maneira superficial por dois deles. Levantam-se então duas hipóteses, ao selecionar os critérios, houve um erro de julgamento a respeito da importância de tal fator. Ou os manuais apesar de citar a ferramenta não consideraram que ela seja importante.

Em contrapartida, três critérios foram abordados nos três manuais, tal número pode ser considerado baixo, mas supera as expectativas dada a diversidade da origem e da utilização dos manuais. Estes três critérios são básicos e fundamentais para a realização de um bom LCCA. O primeiro critério válido para todos os manuais é a “identificação do modelo de custos adequado”, seguido pela “determinação dos custos totais” e por fim tem-se a “análise de sensibilidade”.

A partir quadro que resume a avaliação é possível realizar algumas observações. Em relação ao manual elaborado pelo Minnesota DOT, nota-se que

dos dez critérios avaliados, três não estão disponíveis. Sendo que dois se destacam na avaliação do autor com avaliação “Excelente”.

Já o manual elaborado pelo departamento de energia norte americano também apresenta sete critérios em seu desenvolvimento de dez possíveis. E ainda, dos que estão presentes nenhum se destacou pela sua qualidade ou utilidade, seguindo as categorias pré-estabelecidas.

E por último, o manual elaborado pelo NIST não apresenta dois dos critérios avaliados. E ainda, dos critérios presentes cinco foram categorizados como “Excelente”.

Pode concluir-se que em linha gerais o manual elaborado pelo NIST apresenta características mais atraentes. Possuindo o maior numero de critérios e a melhor avaliação dos critérios presentes. Logo se fosse feita uma análise por quantidade de critérios presentes, ou por quantidade de critérios bem avaliados o manual estaria em destaque em ambas.

Claramente, fica a cargo do analista que irá realizar o LCCA escolher qual manual seguir, mas a partir da análise e dos critérios pré-estabelecidos o manual do NIST é o mais indicado. Complementar a esta avaliação, é este o manual de forma mais elaborada e criteriosa a elaboração do LCCA.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estabelecido o método de análise de manuais sobre LCCA, podem ser realizados novos comparativos com outros manuais como base, de modo a ampliar o leque de opções de manuais disponíveis.

Podem ser estabelecidos mais critérios para uma avaliação mais profunda utilizando dessa forma um manual só.

Realizar um estudo de LCCA com um dos manuais avaliados a fim de testar se os critérios determinados como mais importantes o são de fato.

REFERÊNCIAS

- BARRINGER, H. Paul. **A Life Cycle Cost Summary**. Perth, Austrália: Maintenance Engineering Society of Australia, 2003.
- BARRINGER, H. Paul; WEBER, David P. **Life cycle cost tutorial**. Houston, Estados Unidos: Gulf Publishing Company, 1996.
- BRINDLE, Kari E. **The Relationship Between Life-Cycle Costing and Performance: An Exploratory Analysis**. 2005, 96 f. Dissertação (Master of Science) – Faculty of the Graduate School of Vanderbilt University. Nashville, 2005.
- DURAIRAJ, S.K. et al. **Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies**. Corporate Environmental Strategy, Vol. 9, No. 1. 2002
- FABRYCKY, Wolter J. e BLANCHARD, Benjamin. **Life-Cycle Cost and Economic Analysis**. Englewood Cliffs, Estados Unidos: Prentice-Hall, 1991
- GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- JENSEN, P.A., BARD, J.F. **Operations Research Models and Methods**. Wiley, 2002.
- LANGDON, Davis. **Literature Review of Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA)**. Londres, 2005
- MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Major Equipment Life-cycle Cost Analysis**. Minnesota, 2015.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Handbook 135: Life-Cycle Costing Manual**. Washington, 1995
- OKANO, Kenji. **Life Cycle Costing - An Approach to Life Cycle Cost Management: A consideration from Historical Development**. Japão, 2001
- RIBEIRO, Wankes L. **Como calcular a viabilidade de um projeto utilizando técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR**. Disponível em: <http://www.wankesleandro.com>. Acesso em 29/09/2017.
- STATE OF ALASKA – DEPARTMENT OF EDUCATION & EARLY DEVELOPMENT. **Life Cycle Cost Analysis Handbook**. Juneau, 1999.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, **Cost Estimating Guide**, Washington, 2011.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Life Cycle Cost Handbook: Guidance for Life Cycle Cost Estimation and Analysis**. Washington, 2014.

WEST, R. et al. **A Review of the Alabama Department of Transportation's Policies and Procedures for Life-cycle Cost Analysis for Pavement Selection.** Auburn, 2013.