



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUIS FERNANDO SEQUINEL

**MODELO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM OBRAS DE
MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA BASEADO NUMA ANÁLISE
MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA**

LUIS FERNANDO SEQUINEL

**MODELO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM OBRAS DE
MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA BASEADO NUMA ANÁLISE
MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina para o título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Heliana Barbosa Fontenele

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Sequinel, Luis Fernando.

Modelo para avaliação ambiental em obras de manutenção rodoviária baseado numa análise multicritério construtivista / Luis Fernando Sequinel. - Londrina, 2019.
125 f.

Orientador: Heliana Barbosa Fontenele.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, , 2019.
Inclui bibliografia.

1. Gestão Ambiental Rodoviária - Tese. 2. Indicadores Ambientais - Tese. 3. Índice Ambiental - Tese. I. Fontenele, Heliana Barbosa. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. . III. Título.

LUIS FERNANDO SEQUINEL

**MODELO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM OBRAS DE
MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA BASEADO NUMA ANÁLISE
MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA**

Dissertação apresentada como requisito para o grau de Mestre no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Heliana Barbosa
Fontenele
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Augusto César de Mendonça Brasil
Universidade de Brasília - UNB

Prof. Dr. Fábio Cesar Alves Cunha
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 12 de abril de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proteger e me abençoar durante toda a caminhada.

À professora Dr^a Heliana Barbosa Fontenele pelas orientações e exemplos dados durante todo o período da pesquisa, contribuindo muito para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos meus pais pelo incentivo, ajuda e apoio em todos os momentos.

À minha noiva Jacqueline da Silva Dias pela parceria, cumplicidade e paciência durante todo o processo.

Aos meus amigos Lucas Aramayo, Luana Cristina Palma e André Mansour pelo companheirismo e amizade, o que me trouxe alívio durante muitos momentos de maior tensão do processo.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná na pessoa da Diretora Geral do Campus Guarapuava professora Dr^a Ana Lúcia Ferreira e do Diretor de Planejamento Rogério Sauberlich, pelo apoio para que eu pudesse me fazer presente nos diversos momentos necessários para a conclusão do mestrado.

À União de Ensino e Cultura de Guarapuava – UNIGUA pelo incentivo e colaboração.

Aos profissionais das concessionárias de rodovias que participaram da pesquisa, contribuindo com suas vivências práticas.

Ao professor Dr Luis Miguel Cândido Dias da Universidade de Coimbra, pela disponibilização do software *VIP Analysis* para realização das análises finais da pesquisa.

Ao Programa de Pós Graduação *strictu sensu* em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina pela infraestrutura física e humana proporcionada para a realização do mestrado.

SEQUINEL, Luis Fernando. **Modelo para avaliação ambiental em obras de manutenção rodoviária baseado numa análise multicritério construtivista**. 2019. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

Ao longo dos anos a escassez de investimentos em conservação da malha rodoviária pavimentada brasileira, fez com que a sua qualidade caísse demasiadamente. Por isso, as ações referentes à manutenção e reabilitação das estradas representam um grande volume de serviços, principalmente nas regiões mais desenvolvidas, onde a malha pavimentada é grande, causando diversos impactos ambientais. A gestão ambiental destes serviços, atualmente, resume-se apenas nos processos de licenciamento ambiental. Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa é elaborar um índice para mensurar o desempenho ambiental dos serviços de manutenção rodoviária, baseado em uma matriz de indicadores, utilizando a percepção de especialistas de concessionárias de rodovias. Para isso, foi utilizada a Metodologia de Apoio à Decisão Construtivista (MCDA-C) por meio do método MACBETH. Os especialistas das concessionárias de rodovias indicaram por intermédio de *brainstormings* os aspectos que consideravam importantes no desempenho ambiental em obras de manutenção rodoviária, formando os Pontos de Vista Fundamentais (PVFs). Na sequência, para cada PVF, foi escolhido um indicador com diferentes níveis de performance de forma a mensurar o seu desempenho ambiental. A próxima etapa consistiu em realizar os julgamentos de diferença de atratividade entre os níveis de desempenho e entre os indicadores, com uso do método MACBETH, com o objetivo de atribuir pontos aos diferentes níveis de performance e pesos de ponderação aos indicadores. O resultado obtido foi o Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária (IPA-MR), baseado em 16 indicadores divididos em seis áreas de interesse: Gestão Ambiental, Treinamento e Segurança da Mão de Obra, Manutenção de Equipamentos, Planejamento, Poluição Ambiental e Interferências no Ambiente. A área que apresentou o maior peso na formação do índice foi Poluição Ambiental, e com menor peso ficou Manutenção de Equipamentos. O valor do índice variou de 0 para o pior desempenho ambiental a 100 para o melhor. Por fim, realizou-se a validação dos pesos de ponderação dos indicadores obtidos na pesquisa com uso do sistema *VIP Analysis*. Para isso, solicitou-se a profissionais que atribuíssem pesos diretamente aos indicadores do IPA-MR, os quais foram comparados com os pesos gerados no software M-MACBETH observando-se a equivalência entre eles. A aplicação do IPA-MR possibilita aos gestores a identificação dos pontos com desempenho ambiental insatisfatório, auxiliando na robustez da tomada de decisão de ações na gestão ambiental rodoviária. O índice desenvolvido pode ser considerado uma ferramenta objetiva para o acompanhamento contínuo do desempenho ambiental dos serviços de manutenção rodoviária.

Palavras-chaves: Gestão ambiental rodoviária. Indicadores ambientais. Índice ambiental.

SEQUINEL, Luis Fernando. **Model for environmental assessment in road maintenance works based on a constructivist multicriteria analysis**. 2019. 125 p. Dissertation (Master's in Civil Engineering) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

Over the years, the scarcity of investments in the conservation of the Brazilian paved road network, caused its quality to drop overly. Therefore, the actions related to the maintenance and rehabilitation of the roads represent a great amount of services, mainly in more developed regions, where the paved network is large, causing diverse environmental impacts. Environmental licensing is nowadays the only process of environmental management of these services. Thus, the aim of this research is to develop an index to measure the environmental performance of road maintenance services, based on a matrix of indicators, using the perceptions of highway concessionaires' experts. For this, the Multicriteria Methodology for Decision Aid – Constructivist (MCDA-C) and the MACBETH method were used. The experts, through brainstorming, indicated the aspects that they considered important in the environmental performance in road maintenance works. Those aspects formed the Fundamental Points of View (PVFs). Then, for each PVF, an indicator with different levels of performance was chosen in order to measure its environmental performance. The next step was to carry out the attractiveness judgments between the levels and between the indicators, using the MACBETH approach, with the objective of assigning points to the different performance levels and weight to the indicators. The result was the Environmental Performance Index of Road Maintenance (IPA-MR), based on 16 indicators divided into six areas of interest: Environmental Management, Workforce Training and Safety, Equipment Maintenance, Planning, Environmental Pollution and Interferences in the environment. The area that presented the greatest weight in the formation of the index was Environmental Pollution. Equipment Maintenance presented less weight. The index value ranged from 0 (worst environmental performance) to 100 (best environmental performance). Lastly, the weights of the indicators obtained in the research were validated using the VIP Analysis system. For this, professionals were asked to assign weights directly to the IPA-MR indicators, which were compared with the generated weights in the M-MACBETH software, observing the equivalence between. The application of the IA-MR allows managers to identify the points with poor environmental performance, assisting in the robust decision-making of actions in road environmental management. The developed index can be considered an objective tool for the continuous monitoring of the environmental performance of road maintenance services.

Keywords: Road environmental management. Environmental indicators. Macbeth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Fluxograma das etapas para obtenção do índice pelo método MACBETH.....	41
Figura 2:	Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária 1	42
Figura 3 :	Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária	43
Figura 4:	Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária 3	43
Figura 5:	Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 1ª parte.....	46
Figura 6:	Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 2ª parte.....	46
Figura 7:	Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 3ª parte.....	47
Figura 8:	Escala pré cardinal M-MACBETH	48
Figura 9:	Modelo de matriz de ordenação de PVFs	49
Figura 10:	Exemplo de matriz de ordenação de PVFs	49
Figura 11:	Matriz de juízos de valor (entre critérios ou PVFs).....	50
Figura 12:	Histograma dos pesos de ponderação (ou taxas de substituição) dos PVFs.....	50
Figura 13:	Formulário enviado aos experts das concessionárias	53
Figura 14:	Exemplo de quadro de critérios e desempenho das alternativa no software <i>VIP Analysis</i>	54
Figura 15:	Exemplo de Plano de manutenção preventiva de uma retroescavadeira, fornecido pelo fabricante	64
Figura 16:	Pontuação dos indicadores da área A – Gestão Ambiental	80
Figura 17:	Pontuação dos indicadores da área B – Treinamento e Segurança da mão de obra	81
Figura 18:	Pontuação do indicador da área C – Manutenção de equipamentos.....	82
Figura 19:	Pontuação dos indicadores da área D - Planejamento	83
Figura 20:	Pontuação dos indicadores da área E – Poluição Ambiental	84
Figura 21:	Pontuação dos indicadores da área F – Interferências no ambiente.....	86
Figura 22:	Peso dos indicadores da área “Gestão Ambiental”	89

Figura 23: Ponderação dos indicadores da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”	90
Figura 24: Ponderação dos indicadores da área “Planejamento”	91
Figura 25: Ponderação dos indicadores da área “Poluição Ambiental”	92
Figura 26: Ponderação dos indicadores da área “Interferências no Ambiente”	93
Figura 27: Matriz de julgamentos de juízo de valor entre as áreas do IPA-MR	94
Figura 28: Ponderação entre as áreas do IPA-MR	95
Figura 29: Arborização do IPA-MR	98
Figura 30: Legenda dos indicadores do IPA-MR	99
Figura 31: Escala para avaliação qualitativa do IPA-MR	101
Figura 32: Matriz de critérios e desempenho VIP <i>Analysis</i>	105
Figura 33: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 1	106
Figura 34: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 2	108
Figura 35: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 3	109
Figura 36: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 4	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Conceitos e aspectos negativos dos PVFs – Concessionária1.....	44
Quadro 2:	Indicadores para a performance ambiental da área “Gestão Ambiental”.....	56
Quadro 3:	Indicadores para a performance ambiental da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”.....	57
Quadro 4:	Indicadores para a performance ambiental da área “Manutenção de equipamentos”.....	57
Quadro 5:	Indicadores para a performance ambiental da área “Planejamento”.....	57
Quadro 6:	Indicadores para a performance ambiental da área “Poluição Ambiental”.....	58
Quadro 7:	Indicadores para a performance ambiental da área “Gestão Ambiental”.....	58
Quadro 8:	Níveis de impacto do indicador A1.....	59
Quadro 9:	Níveis de impacto do indicador A2.....	60
Quadro 10:	Níveis de impacto do indicador A3.....	61
Quadro 11:	Níveis de impacto do indicador B1.....	61
Quadro 12:	Níveis de impacto do indicador B2.....	62
Quadro 13:	Níveis de impacto do indicador C1.....	65
Quadro 14:	Níveis de impacto do indicador D1.....	66
Quadro 15:	Níveis de impacto do indicador D2.....	67
Quadro 16:	Níveis de impacto do indicador E1.....	68
Quadro 17:	Níveis de impacto do Indicador E2.....	68
Quadro 18:	Níveis de impacto do indicador E3.....	69
Quadro 19:	Níveis de impacto do indicador E4.....	70
Quadro 20:	Níveis de impacto do indicador E5.....	71
Quadro 21:	Níveis de impacto do indicador F1.....	72
Quadro 22:	Níveis de impacto do indicador F1.....	73
Quadro 23:	Níveis de impacto do indicador F3.....	74
Quadro 24:	Matriz de ordenação dos indicadores da área “Gestão Ambiental”.....	87

Quadro 25: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”	87
Quadro 26: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Planejamento”	88
Quadro 27: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Poluição Ambiental”	88
Quadro 28: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Interferências no ambiente”	88
Quadro 29: Matriz de Ordenação das áreas do IPA-MR.....	94
Quadro 30: Pontuações mínimas e máximas dos indicadores e do IPA-MR	100
Quadro 31: Pesos dos indicadores e áreas apontados pelos profissionais da concessionária A	102
Quadro 32: Pesos dos indicadores e áreas apontados pela concessionária B.....	103
Quadro 33: Desempenho dos critérios das alternativas.....	104
Quadro 34: Resumo dos resultados do VIP <i>Analysis</i> para o Cenário 1	105
Quadro 35: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 1)	106
Quadro 36: Resumo dos resultados do VIP <i>Analysis</i> para o Cenário 2	107
Quadro 37: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 2)	108
Quadro 38: Resumo dos resultados do VIP <i>Analysis</i> para o Cenário 3	109
Quadro 39: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 3)	110
Quadro 40: Resumo dos resultados do VIP <i>Analysis</i> para o Cenário 4	111
Quadro 41: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 4)	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	IMPACTOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS E A GESTÃO AMBIENTAL	16
2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS.....	16
2.2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E GESTÃO AMBIENTAL.....	19
2.2	GESTÃO AMBIENTAL RODOVIÁRIA.....	21
3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	26
3.1	HISTÓRICO	27
3.2	ANÁLISE MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA (MCDA-C)	28
3.3	O MÉTODO MACBETH	31
3.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	36
4	METODOLOGIA	40
4.1	ESCOLHA DOS INDICADORES.....	41
4.2	DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE IMPACTO DE CADA INDICADOR	45
4.3	ESCOLHA DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA.....	45
4.4	JULGAMENTOS DE DIFERENÇA DE ATRATIVIDADE	45
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	52
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
5.1	GENERALIDADES DO IPA-MR	55
5.2	ESCOLHA DOS INDICADORES E NÍVEIS DE IMPACTO	56
5.3	ESCOLHA DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA.....	74
5.4	FUNÇÃO VALOR DOS INDICADORES.....	79
5.5	PESOS DE PONDERAÇÃO DOS INDICADORES	87
5.6	PESOS DE PONDERAÇÃO DAS ÁREAS.....	93
5.7	ELABORAÇÃO DO ÍNDICE.....	95

5.8	CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA.....	101
5.9	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	101
5.9.1	Cenário 1	105
5.9.2	Cenário 2.....	107
5.9.3	Cenário 3.....	109
5.9.4	Cenário 4.....	110
5.9.5	Considerações gerais em relação a Análise de Sensibilidade	112
6	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS.....	116
	ANEXOS	123
	ANEXO 1: Conceitos e aspectos negativos Concessionária 2.....	124
	ANEXO 2: Conceitos e aspectos negativos Concessionária 3.....	125

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o desenvolvimento sustentável vem ocupando grande espaço tanto na esfera pública, quanto privada. A partir da Política Nacional do Meio Ambiente e a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) em 1980, houve uma evolução das normas legais no país e, conseqüentemente, dos mecanismos de controle ambiental. O maior exemplo são as normas da série ISO 14000, para a implantação de Sistemas de Gestão Ambiental. As obras contratadas com a Administração Pública Federal desde a publicação do Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012, obrigatoriamente precisam ter em seus instrumentos convocatórios critérios e práticas de sustentabilidade objetivamente definidos. Na área rodoviária, a maior parte das ações relacionadas ao meio ambiente está na fase de licenciamento, onde são elaborados os Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA). Considerando a grande gama de itens que compõem os serviços de implantação e manutenção das rodovias, os quais são causadores de diversos impactos ambientais, é extremamente difícil mensurá-los de maneira objetiva. Desta forma, observa-se a necessidade de critérios objetivos para essa avaliação de desempenho, que possibilite além da mensuração a identificação de pontos falhos, servindo de embasamento aos tomadores de decisão.

1.1 JUSTIFICATIVA

Após a promulgação da Constituição Federal de 1988 que vedou, por meio do Princípio da Não Afetação, a destinação do produto de arrecadação de impostos a órgão, fundo ou despesa, a manutenção do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) implantado pela Lei 302/48 ficou inviabilizada. O FRN consistia num fundo monetário oriundo da arrecadação de impostos sobre lubrificantes e combustíveis líquidos com o objetivo que a tributação retornasse à população em serviços de construção, melhoramento e conservação de estradas de rodagem. Com isso, as rodovias brasileiras passaram por um período de investimentos escassos resultando na queda da qualidade dos pavimentos, algo que persiste até os dias atuais.

A Confederação Nacional de Transportes (CNT) em seu relatório de 2017 corrobora esse fato, ao apresentar que apenas 38,2 % das rodovias brasileiras

pavimentadas são consideradas em boa ou ótima condição. Essa falta de qualidade afeta a população de diversas maneiras, como a falta de segurança no tráfego, aumento do custo de manutenção dos veículos, aumento dos custos de transporte dos diversos produtos, afetando diretamente no bolso e na segurança da população. Esses fatos demonstram a grande necessidade de obras de conservação rodoviária. Porém, essas obras são grandes geradoras de impactos no meio ambiente. Dessa forma, é necessário fazer uso de critérios objetivos para mensurar esse desempenho ambiental.

Na área da gestão ambiental rodoviária, os mecanismos utilizados acabam sendo apenas os processos de licenciamento, com a elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA). São, portanto, escassos os instrumentos de monitoramento desse desempenho. As normas da série ISO 14000 definem que os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) necessitam de contínua melhoria. Para viabilizar tais melhorias, são necessárias medições de desempenho, que somente são obtidas com adoção de indicadores e índices.

Desta forma, se mostra necessário a criação de instrumentos de monitoramento e medição nas obras de manutenção rodoviária, através de índices adequados que representem de forma explícita e concisa este desempenho ambiental.

A dificuldade de se mensurar o desempenho ambiental está no fato dos impactos serem nos mais diversos meios (fauna, flora, água, ar, etc), com a necessidade de avaliação de equipes multidisciplinares. Além disso, eles afetam a qualidade destes meios, ou seja, são itens qualitativos e uma mensuração se torna mais compreensível quando expressa numa escala quantitativa. Assim, uma forma de auxiliar a resolução de problemas com diversas variáveis, sendo capaz de concatenar o julgamento de diversos atores de modo a convergir numa decisão final é a Metodologia de Apoio à Decisão Construtivista (MCDA-C). Dentro da MCDA-C, em uma de suas fases, as informações qualitativas são transformadas em quantitativas. Um dos métodos utilizado para isso é o MACBETH, baseado na MCDA-C, os quais serão tratados com maior detalhe nos próximos capítulos.

Esta pesquisa promove a continuidade da investigação de Leite *et. al* (2018) que com o auxílio da MCDA-C, levantaram os Pontos de Vistas Fundamentais (PVFs) para mensuração do desempenho ambiental de obras de manutenção

rodoviária por meio de *workshops* realizados em três concessionárias de rodovias. Com essa base de dados e utilizando o método MACBETH, a presente pesquisa consistiu em reunir esses PVFs para a criação de um modelo matemático capaz de demonstrar numa escala quantitativa o desempenho ambiental dessas obras, bem como a posterior validação dos pesos gerados pelo software M-MACBETH para os indicadores do índice a partir do emprego do método *VIP Analysis*.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi desenvolver um modelo para a avaliação e mensuração do desempenho ambiental das obras de manutenção rodoviária, baseado na opinião dos especialistas das concessionárias de rodovias. Para alcançar este objetivo foram determinados como objetivos específicos:

- Identificar os indicadores de desempenho ambiental de acordo com a opinião dos profissionais das concessionárias de rodovias, representados pelos Pontos de Vistas Fundamentais obtidos por Leite *et. al* (2018);
- Determinar os níveis de referência para mensuração dos indicadores;
- Determinar uma escala de avaliação (pontuação) para cada indicador;
- Definir um modelo matemático para o cálculo de um índice de desempenho;
- Analisar a sensibilidade do índice gerado.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

No capítulo 1 tem-se a introdução, onde o problema é contextualizado, e ainda são apresentadas as justificativas e os objetivos da pesquisa.

No capítulo 2 trata-se da gestão ambiental, conceitos de desenvolvimento sustentável, a evolução da legislação ambiental e o setor rodoviário, impactos ambientais de obras rodoviárias e ferramentas de monitoramento.

No capítulo 3 são apresentadas algumas metodologias de apoio à decisão com um breve histórico e aplicações, finalizando com o método MACBETH e análises de sensibilidade.

No capítulo 4 descreve-se o método aplicado na pesquisa, assinalando a forma em que os indicadores foram obtidos, as respectivas funções valores para a elaboração do índice, bem como a forma em que foi solicitada a opinião dos especialistas das concessionárias de rodovias, usada na análise de sensibilidade do índice gerado.

No capítulo 5 são apresentados os resultados e discussões da pesquisa, contendo os gráficos e equações para obtenção das pontuações dos indicadores, bem como a equação final do IPA-MR normalizado e a validação dos pesos de ponderação dos indicadores em comparação com a opinião dos especialistas.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões obtidas nesta pesquisa.

2 IMPACTOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS E A GESTÃO AMBIENTAL

A importância das rodovias como parte da logística nacional é indiscutível. Porém, em relação ao meio ambiente, elas representam um dos maiores males da civilização. Seus impactos iniciam no planejamento, continuam na fase de implantação e construção, até a fase operacional, quando a qualidade de sua manutenção tem grandes implicações (Bandeira e Floriano, 2004). Portanto, a gestão ambiental rodoviária precisa compreender todas essas fases com previsão dos impactos ambientais e definição de medidas mitigadoras e compensatórias.

Neste capítulo serão apresentados os principais impactos ambientais de obras rodoviárias, bem como os conceitos de gestão ambiental e desenvolvimento sustentável.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS

O DNIT em 2005 lançou o Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambiental. Neste documento, o Departamento apresenta uma série de orientações em relação ao monitoramento de Impactos Ambientais Significativos (IAS) dividido nas fases de obras (implantação, conservação e restauração) e operação. Os IAS principais na fase de obras, que se aplicam também para a manutenção, são apresentados a seguir.

a) Instalação do Canteiro e Desmobilização:

- **Geração de doenças no pessoal, baixa qualidade de vida e focos de vetores:** Os fatores causadores principais destes impactos são referentes ao saneamento básico dos canteiros, devido as condições de captação e abastecimento de água, sistema de coleta de esgotos e destinação final e disposição e manejo do lixo.
- **Poluição da água superficial e subterrânea:** Causada principalmente pela falta de filtragem de graxas e óleos nas oficinas, condições inadequadas dos tanques de combustíveis lubrificantes, ligantes asfálticos, além de problemas de saneamento (destinação de esgoto e resíduos sólidos).
- **Poluição do ar:** Devido a poeira gerada pelo tráfego dos maquinários sobre caminhos de serviços muito secos, falta de filtros nas usinas de asfaltos.

b) Desmatamento e Limpeza do Terreno:

- **Erosões na faixa de domínio, assoreamento de talvegues, escorregamento de taludes:** causado principalmente pelo desmatamento, tem como alternativa de minimização dos impactos o desmatamento restrito às necessidades de construção.
- **Incêndios:** falta de remoção de restos de vegetação.
- **Bloqueio de talvegues:** causado por restos de material orgânico removido.

c) Terraplenagem

- **Acidentes:** Devido à velocidade elevada de veículos e equipamentos e sinalização deficiente.
- **Poluição do ar:** Devido a superfícies sujeitas a poeira não serem mantidas úmidas e emissão de gases pelos veículos e equipamentos;
- **Ruídos de vibrações:** Devido a motores mal regulados com manutenção deficiente.

- **Proliferação de insetos:** Devido a áreas sujeitas a empoçamento em virtude dos serviços de terraplenagem, falta de drenagem provisória.
- **Degradação de áreas:** Devido a explorações de empréstimo em áreas urbanizadas, caixas de empréstimo e bota-foras com localização inadequada e falta de reconformação de bota-foras.
- **Erosões e assoreamentos:** Devido a compactação deficiente de bota-foras, falta de drenagem e programação de serviços deficientes (defasagens permitidas entre as frentes de serviço).

d) Desmonte de Rocha e Pedreiras

- **Degradação de áreas exploradas:** Falta de recuperação das áreas.
- **Erosões e Assoreamentos:** Falta de impedimento ao carreamento e deposições de materiais erodidos.
- **Alagamentos:** Falta de drenagem provisória.
- **Acidentes:** Devido ao manejo inadequado dos materiais explosivos, existência de estoques, uso de veículos inadequados para o transporte destes materiais, caminhos de serviço sem condições de segurança.
- **Sobra de material transportado:** Devido a equipamentos e veículos com altas velocidades no transporte de materiais e falta de inspeção das condições dos caminhos de serviços.

e) Drenagem

- **Erosões, assoreamentos e inundações:** falta de limpeza permanente de talvegues, descarga das obras em excesso.

Para todos estes impactos, assim como os existentes na fase de operação da via, o DNIT fixa recomendações de monitoramento. Porém, o Manual não apresenta nenhum método de medição de desempenho, que dê embasamento para a avaliação da existência ou não da melhoria contínua do desempenho ambiental devido à implantação destas recomendações.

Dessa forma, a maneira de atenuar os efeitos dos impactos ambientais negativos são as ferramentas da Gestão Ambiental.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E GESTÃO AMBIENTAL

O conceito de Gestão Ambiental para Tinoco e Kraemer (2008) é o conjunto de ferramentas e práticas adotadas pela empresa cujo objetivo é minimizar os efeitos negativos provocados no ambiente por suas atividades. Tais efeitos negativos são os impactos ambientais e, o objetivo da aplicação das ferramentas e

práticas de minimização de impactos é a busca por um desenvolvimento sustentável.

Impacto ambiental pode ser definido como a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana (Sanchez 1998). Wathern (1988) o definiu como sendo a mudança de um parâmetro ambiental, em um determinado período e em uma determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação que ocorreria se essa atividade não tivesse sido começada. Desta forma, conclui-se que todo impacto ambiental é proveniente da interferência humana ao explorar recursos naturais, alterar áreas de vegetação, realizar movimentações de terra, entre outras. Porém, essa interferência se torna indispensável para o desenvolvimento social e melhora na qualidade de vida da população. Assim, se faz necessário um gerenciamento para garantir um desenvolvimento sustentável. A Comissão de Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) em 1987, definiu desenvolvimento sustentável como sendo o desenvolvimento que busca atender as necessidades da geração presente sem comprometer as gerações futuras.

Em meados do século XX, questões relacionadas ao meio ambiente eram desconsideradas pelas empresas, devido ao aumento dos custos de produção e consequente perda na vantagem competitiva (Hart, 2006). Este cenário foi sendo alterado nos últimos anos, em que diversos encontros mundiais foram realizados com o objetivo de discutir políticas sustentáveis, o que demonstra a recente preocupação com a situação ambiental do planeta. O produto foi a evolução da legislação ambiental, com a criação de leis e decretos. Segundo Araújo *et. al* (2014) com essas exigências legais, as organizações se viram obrigadas a mudar suas práticas, passando a se responsabilizar por danos causados ao meio ambiente.

Com a evolução desses conceitos, a gestão ambiental pode ser definida como um conjunto de políticas administrativas e operacionais, programas e práticas que levam em conta a proteção do ambiente através da eliminação ou minimização dos impactos ambientais e danos que resultem de planejamento, implantação, operação, ampliação, relocação ou relacionadas com as atividades do mercado, a operação e produção de bens e serviços, incluindo todas as fases do ciclo de vida do produto (CAMPOS, 2012).

Uma forma das organizações responderem às pressões geradas pela evolução da legislação é a implantação de sistemas de gestão ambiental (Da Luz *et*

al. 2006). A ISO 14001 ABNT (2004) define Sistema de Gestão Ambiental (SGA) como parte do sistema de gestão global que inclui a estrutura organizacional, o planejamento de atividades, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos, os processos e os recursos para desenvolver, conseguir implementar, analisar criticamente e manter a política ambiental.

Um SGA precisa buscar o melhoramento contínuo, que depende de um método de medição de desempenho. Callado *et al.* (2008) definem medição de desempenho como uma operação estratégica que proporciona a obtenção de relatórios e indicadores que demonstram a evolução de metas estabelecidas, ajudando a conhecer e controlar sua eficiência operacional. Zobel *et. al* (2002) definem desempenho ambiental como a informação analítica oferecida por um conjunto de indicadores que permite comparar entre si ou contra uma referência externa, requisitos ambientais em setores de uma empresa ou em empresas de uma indústria.

A partir da Agenda 21 foi intensificado o monitoramento do ambiente e a busca de indicadores ambientais para a definição de ações rumo ao desenvolvimento sustentável, contribuindo para que diversas instituições internacionais se dediquem à construção de indicadores sintéticos e simples para abordar relações presentes no ambiente (FREITAS *et al*, 2013). Para um SGA, os indicadores permitem aos usuários avaliar qualquer processo produtivo ou não, nas questões que envolvem a gestão ambiental e o progresso acerca do desenvolvimento sustentável (VALOIS, 2016). Desta forma, indicadores e índices são uma consequência da implantação de um SGA.

2.2 GESTÃO AMBIENTAL RODOVIÁRIA

As rodovias são componentes da infraestrutura de transportes que demandam manutenção constante (COSTA e SANCHEZ, 2010). O Brasil possui uma extensão de 212.866 km de rodovias pavimentadas, sendo apenas 38,2% classificadas como boa ou ótima pela Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2017). Esses dados reforçam a grande necessidade de execução de obras de Manutenção e Reabilitação (M & R) nos pavimentos brasileiros, o que acarretará em diversos impactos ambientais.

A evolução do setor rodoviário no Brasil deu-se muito antes da evolução dos conceitos de gestão ambiental e desenvolvimento sustentável, resultando em aproximadamente 30.000 Km de rodovias apresentando passivos ambientais (Rocha, 2006). Somente em 1986, com a criação da Resolução 01/1986 do CONAMA foi instituída a necessidade de licenciamento ambiental para o setor rodoviário, sendo hoje o principal instrumento de controle do setor. No ano de 2000, foi publicada a lei 9.985, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e estabeleceu critérios para a criação e gestão de unidades de conservação. O SNUC determina a necessidade de impor ônus a empreendimentos que interfiram em uma unidade de conservação, como compensação ambiental, impactando diretamente no custo da implantação de rodovias cujo traçado passe por uma delas.

Nos contratos de concessão, diversas cláusulas vêm sendo adicionadas visando o desempenho ambiental (COSTA e SANCHEZ, 2010), o que reforça a necessidade de fixação de critérios objetivos de avaliação desse desempenho, através da elaboração de indicadores e índices.

A conservação rodoviária, de acordo com DNIT (2005), é dividida em cinco grupos de macro atividades, sendo eles: Conservação Corretiva Rotineira, Conservação Preventiva Periódica, Conservação de Emergência, Restauração e Melhoramentos. A Conservação Corretiva Rotineira consiste no conjunto de operações que tem como objetivo reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento dos componentes da rodovia, propiciando conforto e segurança aos usuários. A Conservação Preventiva Periódica é o conjunto de operações realizadas periodicamente com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. Conservação de emergência é o conjunto de operações necessárias para reparar, repor, reconstruir ou restaurar trechos ou estrutura da rodovia que tenham sido seccionados, obstruídos ou danificados por um evento extraordinário ou catastrófico, que ocasionaram a interrupção do tráfego da rodovia. A Restauração consiste nas operações que acrescentam à rodovia existente um prolongamento de sua vida útil e os melhoramentos são as atividades que acrescentam características novas, ou modificam as características existentes da via.

Até o ano de 2004, não se tinha regulamentado no país instrumentos para a gestão ambiental dos serviços de manutenção e restauração rodoviária. A alteração desse cenário foi a publicação da Portaria Interministerial nº 273 de 05 de novembro

de 2004 do Ministério do Meio Ambiente, a qual criou e estabeleceu diretrizes para o Programa Nacional de Regularização Ambiental de Rodovias Federais, com foco na manutenção e restauração das rodovias já pavimentadas. A publicação mais recente é a Portaria nº 289/2013, também do Ministério do Meio Ambiente, que atualiza critérios para o licenciamento ambiental das rodovias do Brasil. Em seu Art. 19, estipulou que alguns serviços ficam permitidos apenas com a Licença de Operação (LO) do trecho, enquanto outros necessitam de licenciamento específico. Desta forma, os serviços que estão licenciados apenas com a LO não possuem instrumentos para monitoramento contínuo do desempenho ambiental.

A falta de integração entre os marcos regulatórios do setor de transporte e a questão ambiental do Brasil foi observada por Rocha (2006). A autora verificou a independência da tomada de decisão no setor de instrumentos de gestão ambiental já estabelecidos pela legislação, além da falta de adoção de diversos mecanismos já consolidados em outros países para esse fim. A conclusão foi a necessidade de adoção de medições de desempenho ambiental constantes para apoiar as tomadas de decisão.

No meio acadêmico, na área de gestão ambiental de infraestrutura de transportes, alguns trabalhos já foram desenvolvidos com o objetivo de identificar os impactos ambientais e criar índices e indicadores de desempenho, com foco neste monitoramento ambiental.

Um banco de dados georreferenciados dos impactos negativos das atividades ligadas à operação rodoviária foi criado por Martins (2005). Foram consideradas informações sobre a rodovia e sua área de influência e definidas metas a serem alcançadas por meio de 12 indicadores ambientais correlacionados aos impactos constantes no banco de dados.

As recomendações de manuais sobre impactos ambientais foram comparadas com o EIA e AIA para a construção de uma rodovia por Omena e Santos (2008). Os autores observaram que a componente ambiental foi renegada durante a implantação da rodovia, gerando diversos passivos ambientais. Ao final da obra, foi elaborado o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) contemplando medidas corretivas. Porém, a falta de um instrumento de monitoramento do Plano resultou em pouca eficiência, com poucas medidas adotadas. Ao fim, os autores reforçaram a importância do monitoramento ambiental como ferramenta de gestão.

Com foco em obras de recuperação de estradas pavimentadas, Costa e Sanchez (2010) desenvolveram o Índice de Não Conformidade Ambiental Crítico (INCACR). A ferramenta foi dividida em 3 níveis de não conformidade. Para isso, os autores contaram com a colaboração de profissionais de elevado conhecimento na área. Concluíram que o INCACR é representativo, podendo ser utilizado para avaliação de desempenho ambiental.

Para a avaliação da eficiência de indicadores ambientais, Gomes e Malheiros (2012) realizaram um levantamento teórico sobre as boas práticas na construção e o uso de indicadores. Para isto, foram criados critérios de avaliação dos indicadores com a validação por meio de oficinas com diversos especialistas da área. A conclusão foi de que a utilização de indicadores auxilia na compreensão, além de retratar de forma clara e sucinta os aspectos avaliados, auxiliando a tomada de decisão.

Por meio de uma revisão bibliográfica das proposições feitas pelo DNIT (2006) e o EIA/RIMA de uma rodovia, Panazollo *et al* (2012) definiram os possíveis impactos ambientais negativos resultantes da construção de uma rodovia. Estes impactos foram divididos entre os meios físico, biótico e antrópico. Além disso, os autores elaboraram medidas mitigadoras e compensatórias que foram apresentadas em programas ambientais estruturados em um Plano Básico Ambiental (PBA).

Destacando a metodologia de aplicação de fichas de monitoramento ambiental, Ratton *et. al* (2013), realizaram a supervisão e execução de programas ambientais na fase de implantação de uma rodovia. Para isso, fichas no formato de *check list* com 51 tópicos de avaliação (indicadores) com níveis de atribuição entre 1 a 4, representando o nível de satisfação e atendimento à regularidade ambiental de cada item, eram preenchidas semanalmente. A conclusão dos autores foi de que a utilização de indicadores e o acompanhamento contínuo dos programas adotados atuam de forma positiva para a minimização e controle de impactos ambientais.

Viviani *et al.* (2014) utilizaram análise multicritério para hierarquizar 21 indicadores com base na opinião de profissionais da área, segundo a escala fornecida pelos autores, criando o Índice de Gestão de Estradas Não Pavimentadas (IGENP). A estrutura hierárquica do índice foi composta por duas grandes áreas: domínio técnico-ambiental e domínio socioeconômico. Na primeira, itens como características geométricas, condição da superfície, índice pluviométrico, volume de tráfego e atividades de manutenção realizadas foram consideradas. Já na segunda,

os itens foram tipo de transporte, acessibilidade, população atendida e propriedades atendidas. Ao final, foi realizada uma análise de sensibilidade por meio da variação isolada de um parâmetro com três situações iguais relacionadas às características da via (geometria, condição da superfície, etc.), mas com pesos diferentes, mantendo-se fixo o restante dos parâmetros analisados no estudo. A conclusão foi de que o IGENP possui baixa sensibilidade aos parâmetros analisados.

Indicadores ambientais para determinar os níveis de ruído, emissão de poluente, saúde e economia foram utilizados por Pellecuer *et. al* (2014), numa pesquisa sobre a avaliação dos benefícios ambientais do ciclo de vida da manutenção do pavimento. Na pesquisa, a manutenção preventiva foi a que se mostrou mais efetiva na mitigação de impactos ambientais em longo prazo, em comparação à manutenção corretiva. Por fim, os autores destacaram a funcionalidade dos indicadores para auxiliar no monitoramento de variáveis ambientais.

Diversos indicadores relacionados ao ciclo de vida dos materiais em pavimentação foram analisados por Celauro *et al.* (2016) a partir da metodologia PaLATE (do inglês *Pavement Life Cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects*), considerando desde sua produção até a aplicação. A conclusão foi de que em se tratando do impacto ambiental causado para a produção de materiais oriundos de jazidas naturais, este é maior em comparação com materiais reciclados. Em contrapartida, do ponto de vista financeiro, o custo do material natural é maior. Desta forma, os autores apontam que com o uso de um plano de gerenciamento com a manutenção total do pavimento a cada cinco anos, é possível obter um desempenho financeiro e ambiental com o uso de materiais reciclados.

O Guia ambiental para projetos de infraestrutura, subsetor estrada- 2011 da Colômbia foi comparado por Diaz e Silva (2015) a diversos indicadores e diretrizes ambientais internacionais de projetos rodoviários, destacando os programas *GreenLITES* (2008) – União Européia, *Greenroads* (2010) – Universidade de Washington, *Infrastructure Sustainability* (2009) – Austrália. Os autores verificaram que o Guia fornece uma série de indicadores ambientais, porém por falta de uma metodologia de aplicação estes não são incorporados à tomada de decisão.

Utilizando a Análise Multicritério Construtivista, Jesus (2015) elaborou uma matriz de indicadores de desempenho ambiental em obras de manutenção rodoviária, com base na opinião de colaboradores do órgão rodoviário do Estado do

Paraná, representando assim a percepção do setor público. Com a agregação destes indicadores, Rodrigues (2018) criou o Índice de Desempenho Ambiental da Manutenção Rodoviária (IDA-MR), o qual atribuiu pontuação e pesos para cada indicador encontrado por Jesus (2015), utilizando a metodologia MACBETH. O IDA-MR é formado por 59 indicadores ambientais divididos em sete áreas. Os resultados foram validados pelo método *VIP Analysis*, por meio de cenários com diferentes ordens de priorização, demonstrando que os pesos gerados no IDA-MR estão em concordância com as opiniões dos profissionais especialistas do setor público consultados na etapa de geração dos indicadores.

Em caso semelhante, Leite *et. al* (2018) com o uso da MCDA-C, criou a matriz de indicadores de desempenho ambiental utilizando a percepção dos colaboradores das concessionárias de rodovias. Para isso, ele realizou *workshops* onde ocorreram *brainstormings* em três concessionárias, solicitando que os participantes apontassem com base em suas experiências, itens que julgassem importantes na avaliação do desempenho ambiental dos serviços de manutenção rodoviária. Juntamente a cada item foram atribuídos um conceito e um aspecto negativo caso ele seja negligenciado. Após isso, todos os itens foram organizados em mapas cognitivos relacionando as causas e efeitos, sendo que os itens com maiores interligações originaram os Pontos de Vistas Fundamentais (PVFs). Esses PVFs foram divididos em áreas de interesse e, com base neles, foram criados os indicadores com níveis de desempenho (descritores) para mensuração.

3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

No cotidiano, diversas situações exigem uma tomada de decisão, sendo algumas simples outras mais complexas. Nessas situações complexas, normalmente há a presença de diversas variáveis que precisam ser consideradas antes da escolha. Como ferramenta de auxílio ao decisor, surgem as análises multicritérios. Neste capítulo será apresentado um breve histórico bem como as principais metodologias multicritérios presentes na literatura, incluso a Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão Construtivista (MCDA-C), que será utilizada neste trabalho.

3.1 HISTÓRICO

Os primeiros registros a respeito da análise multicritério datam do século XVIII, conforme relatado por Bana e Costa *et. al* (1997). Tais registros são referentes a uma carta escrita por Benjamin Franklin no século XVIII, na qual descreve um método de trocas de alternativas para auxílio a tomada de uma decisão. Este método consistia em escrever uma lista de pós e contras e, após ponderar entre todas, a decisão seria tomada. No século XX, início dos anos 70, a comunidade científica internacional começou a pesquisar e a propor uma série de métodos multicritérios (BANA e COSTA *et. al.*, 1997). O marco ocorreu com a publicação do livro dos autores Keeney e Raiffa, em 1976, expandindo a teoria de decisão com a presença de múltiplos critérios.

Apoio multicritério à decisão é definido como a atividade de ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um decisor, baseada em modelos claramente apresentados, com o objetivo de esclarecer cada decisão e, normalmente, recomendá-la ou favorecê-la (Gomes *et. al*, 2004).

O processo de apoio à decisão foi exemplificado por Belton e Stewart (2001) que identificaram as variáveis do processo decisório, dividindo-o em fases, sendo elas: identificação do problema; estruturação do problema; construção do modelo; utilização do modelo para informar o decisor e desenvolvimento do plano de ação.

A diferença entre a análise multicritério para apoio à decisão e as metodologias tradicionais é o grau de incorporação dos valores subjetivos dos decisores nos modelos de avaliação, permitindo que a mesma alternativa seja analisada de forma diversa de acordo com os critérios de valor individuais de cada especialista (Villela, 2009). Desta forma, é possível incorporar a experiência individual dos participantes nas diversas áreas vinculadas ao problema, o que resulta num maior embasamento para a escolha, tendo em vista que todos os itens subjetivos considerados pelos participantes convergiram para a opção final.

A bibliografia apresenta uma grande variedade de métodos multicritérios, conforme tratados por Bana e Costa (1990), Schärliig (1990), Vincke (1992), Climaco (1997) e Triantapyllylou (2000). Alguns dos principais serão apresentados na sequência.

Proveniente da escola francesa ou europeia de apoio à decisão, os métodos ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) representam um pioneirismo

ao apoio à decisão. Consistem numa série de refinamentos e adaptações do primeiro método multicritério apresentado por Bernar Roy (1968) em Paris. Avalia-se a relação de superação entre alternativas, sendo uma alternativa considerada superior à outra quando for tão boa quanto. Possui um método diferente para cada um dos tipos de problemas, sendo eles de seleção, ordenação ou classificação.

A Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), também é proveniente da escola norte americana de apoio multicritério à decisão, e se originou da Teoria da Utilidade (Fishburn, 1970). A utilidade é definida como a medida da satisfação da utilização de um produto ou de um serviço, por meio de uma função matemática, denominada de função de utilidade. A MAUT mede a utilidade de cada uma das alternativas a uma tomada de decisão na presença de múltiplos atributos, usando uma função matemática, ou função de utilidade multiatributo. Foi desenvolvida por Keeney e Raiffa (1976).

O Método da Análise Hierárquica (AHP) representa a escola norte-americana do apoio multicritério à decisão que, segundo Gomes (2007), trabalha com a ideia de agregar todas as informações provenientes dos agentes de decisão por meio de uma grande síntese. Consiste em inicialmente hierarquizar os critérios relacionados aos pontos de vista representativos da decisão a ser tomada com a atribuição de pesos globais. Os cálculos relacionados à AHP consistem na aplicação do teorema de álgebra linear conhecido como Perron-Frobenios (Perron, 1907).

O metodologia MCDA-C - *Multicriteria Decison Aid – Construtivist* ou Metodologia de Apoio à Decisão Construtivista, segundo Ensslin *et. al* (2001), é uma técnica sistemática que leva em consideração os diversos aspectos considerados importante pelo decisor, sejam quantitativos ou qualitativos. A MCDA-C foi adotada para a realização desta pesquisa, portanto será apresentado a seguir sua estrutura e desenvolvimento.

3.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA (MCDA-C)

A metodologia MCDA-C é uma derivação da tradicional MCDA, cujo objetivo é apoiar os decisores na solução de problemas complexos, conflituosos e incertezas. A complexidade dá-se pelo envolvimento simultâneo de muitas variáveis tanto qualitativas quanto quantitativas. O termo Construtivista é adicionado tendo em vista que, nessas situações, a decisão final é construída com a contribuição de vários

atores, sem se saber *a priori* qual é a decisão final. Para Roy (1993), o construtivismo faz com que, durante o processo de resolução, as opiniões e entendimentos dos decisores evoluam de acordo com as novas reflexões, debates, outras experiências e novas informações.

Os participantes do processo de decisão na MCDA-C conforme Ensslin *et. al* (2001), são chamados de atores. Estes atores desempenham diferentes ações, sendo identificados conforme a seguir:

- Decisor: responsável pela resolução do problema, sendo quem controla os meios para que a decisão seja tomada;
- Intervenientes: são aqueles que podem influenciar diretamente nas decisões do decisor pelo seu sistema de valores;
- Agidos: aqueles que são atingidos pelas decisões tomadas, não tendo controle nem influência para interferir nelas;
- Facilitador: auxilia na construção do modelo, devendo ter conhecimento da metodologia, orientando a coleta de informações e o entendimento das consequências da decisão.

A MCDA-C é dividida em três etapas, sendo estruturação do modelo, avaliações dos participantes e consideração finais. Bana e Costa (1993), Roy (1996), Martel (1999), Ensslin *et. al* (2001), Costa (2008), descrevem detalhadamente cada uma dessas etapas. Na sequência elas serão descritas de forma simplificada.

A estruturação do modelo consiste na fase em que o problema é definido. Para isso, ele é contextualizado, de modo que seja possível compreender qual a problemática a ser resolvida e quais os atores envolvidos. Normalmente é realizada pelo facilitador, que verifica as aspirações do decisor. Em seguida se identificam os Elementos Primários de Avaliação (EPAs), que pode ser por meio de *brainstormings*, buscando-se levantar todos os elementos a fim de esgotar a possibilidade de criação de elementos. Como próximo passo, devem ser levantados os conceitos orientados à ação ou objetivos para cada um dos EPAs, representando o que se espera de desempenho deste elemento (polo positivo) e o polo negativo caso ele seja negligenciado. Na sequência separam-se os elementos semelhantes em áreas de preocupação e elaboram-se os mapas cognitivos ou relações meio e fins. Estes mapas relacionam o meio em que se atingirá o conceito relacionado à ação (polo positivo). Para finalizar a estruturação do problema, deve ser realizada a construção

da estrutura hierárquica de valores e identificação dos Pontos de Vista Fundamentais (PVFs), que serão os elementos com maior interação observados nos mapas cognitivos. Para cada PVF, são definidos os descritores, ou seja, os níveis de impacto ou de desempenho para descrever e hierarquizar as possíveis consequências das propriedades das alternativas avaliadas (SABOYA, 2007). Os descritores consistem na escala de performance de cada PVF.

A fase da avaliação é a etapa em que é criado o modelo matemático, convertendo os descritores em dados quantitativos, com o objetivo de fornecer uma escala de pontuação aos PVF. Essa pontuação pode ser obtida por diferentes métodos tais como pontuação direta, bissecção e julgamento semântico. Além disso, nessa etapa também são definidos os pesos de ponderação dos PVFs e das áreas de preocupação na avaliação do modelo, podendo ser utilizados os métodos *trade-off*, *swing weights* e comparação par a par (JESUS, 2015). Na sequência é realizada a análise de sensibilidade, em que é verificado a relevância de cada uma das variáveis, e como a alteração delas pode influenciar no resultado do modelo.

A última etapa da MCDA-C é a de considerações finais, onde são elaboradas recomendações ao decisor, fortalecendo o processo de apoio à decisão a ser tomada.

Com o uso da MCDA-C, diversos autores criaram índices de desempenho nas mais variadas áreas. Ensslin *et. al.* (2010) desenvolveram o índice para avaliação do desempenho de empresas terceirizadas na área de comunicação através da qualidade técnica, alinhamento de objetivos e comunicação. Lyrio *et. al.* (2008) propôs um modelo para avaliação do grau de transparência das demonstrações financeiras de uma instituição pública. Essa avaliação ficou dividida em duas áreas: publicação e compreensão. Na área publicação avalia-se a apresentação, defasagem e divulgação dos dados. Na área compreensão avalia-se comparabilidade, entendimento do usuário e desdobramento.

A MCDA-C possui diversos métodos que facilitam o processo de transformação das informações qualitativas em escalas cardinais, permitindo a agregação em um índice global. Entre eles destacam-se o SAD-THOR, TODIM, PROMETHÉE I e II, ELECTRE I, II e III e o MACBETH (RODRIGUES, 2018).

Neste trabalho, será aplicado o método MACBETH, que será descrito com mais detalhes na próxima seção.

3.3 O MÉTODO MACBETH

A sigla MACBETH é proveniente do termo *Measuring Attractiveness by a Category-Based Evaluation Technique* ou, medir a atratividade por uma técnica de avaliação baseada em categorias (Lyrio *et. al.*, 2008). O método tem por objetivo permitir a medição de atratividade ou valor de opções através de um modo de questionamento de comparação não numérico, baseado em sete categorias qualitativas: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema (Costa *et. al.* 2012).

O método foi criado na década de 90 por Carlos A. Bana e Costa e Jean-Claude Vansnick. Segundo Gomes (2007), ele orienta-se principalmente para a abordagem de problemas de seleção e de ordenação, contendo elementos das escolas norte americana e europeia.

A principal diferença do MACBETH para os outros métodos de apoio à decisão é que ele requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade em múltiplos critérios para quantificar a atratividade relativa das opções (VILLELLA, 2009). Portanto, os decisores não precisam produzir representações numéricas, aumentando ainda mais a construção da decisão final sem influências.

A aplicação do método se torna facilitada com a utilização do sistema de apoio a decisão M-MACBETH, que consiste num software aplicativo que executa o método, no qual as respostas dos julgamentos são lançadas e ele verifica automaticamente a sua consistência. Além disso, o software estabelece um processo interativo de revisão dos julgamentos sugerindo, se necessário, que sejam revistos (VILLELLA, 2009)

No M-MACBETH, após os julgamentos, é gerada automaticamente uma escala numérica e de ponderação dos critérios. O software ainda fornece ferramentas para facilitar os vários tipos de análises de sensibilidade (BANA E COSTA *et al.*, 2003).

Nesta pesquisa, o método MACBETH (assim como o software M-MACBETH) foram utilizados na fase de avaliações, para a construção da função valor dos PVFs e a definição dos pesos de ponderação dos critérios e das áreas.

O processo de obtenção da função valor dos PVFs se dá conforme detalhado a seguir. Inicialmente, define-se um descritor para cada PVF, e conseqüentemente, níveis de impacto para estes descritores. O processo de escolha do tipo de descritor

é extremamente útil para a estruturação do problema (VILELLA, 2009). Além disso, (CORRÊA, 1996) afirma que se num primeiro momento parecia suficiente certo tipo de descritor, à medida que o processo vai avançando é provável que seja necessária uma maior formalização na construção dos níveis de impacto de um descritor, de maneira a tornar operacional o ponto de vista envolvido, possibilitando a quantificação do modelo de valores dos decisores e uma posterior avaliação das ações potenciais que se apresentam. Keeney (1992) definiu que os descritores e seus níveis de impacto devem apresentar as propriedades de mensurabilidade, operacionalidade e compreensibilidade. Villela (2009) também salienta que níveis qualitativos como bom, regular, ruim, fraco, etc., são prejudiciais a mensurabilidade por carregarem um grande grau de ambiguidade, ou seja, cada pessoa que for analisar tais descritores terá entendimentos diferentes sobre cada nível.

Para facilitar a compreensão, um exemplo que pode ser relacionado é a escolha de um carro. Para o decisor escolher ele pode levar em consideração diversos critérios como valor do veículo, cor, potência de motor, etc. No método, estes critérios seriam os descritores e os níveis de impacto as opções disponíveis. O descritor “cor” por exemplo, poderia ter os níveis de impacto “preto”, “branco”, “prata”, que representam níveis qualitativos. Já o descritor “valor” teria como níveis de impacto os preços, representando níveis quantitativos.

Com os níveis de impacto dos descritores, define-se um deles que represente o nível neutro e outro o nível bom. O nível neutro terá pontuação ancorada em 0, representando o pior nível aceitável para este descritor. Já o nível bom, terá a pontuação 100 ancorada, representando a melhor ação viável.

Para facilitar o entendimento dos níveis de referência, fazendo-se uso do exemplo da escolha de um carro, supondo que para o descritor preço, o decisor aponte que o maior valor que ele possa pagar pelo veículo seja R\$ 80.000,00, todos os valores acima disso não seriam atrativos para ele. Dessa forma, o nível R\$ 80.000,00 representaria o nível neutro do descritor “preço”. Por outro lado, supondo que o decisor acredita que o menor valor atrativo para ele seria de R\$ 40.000,00, pois valores abaixo desse representariam veículos muito simples na sua opinião, o nível R\$ 40.000,00 corresponderia ao nível bom do descritor. Assim, na criação do modelo, como os níveis de R\$ 40.000,00 (nível bom) e R\$ 80.000,00 (nível neutro) teriam pontuação ancorada em 100 e 0, respectivamente, todos os veículos com valores maiores que R\$ 80.000,00 receberiam pontuações menores que 0

(negativas), representando menores atratividades e os valores abaixo de R\$ 40.000,00 receberiam pontuações maiores que 100, representando maior atratividade. O valor das pontuações dos demais níveis são obtidas por meio dos julgamentos de diferença de atratividade, que serão tratados posteriormente.

A experiência tem revelado que a identificação de um nível de desempenho “bom” intrinsecamente (sem dúvida satisfatório) e um nível de desempenho “neutro” intrinsecamente (nem satisfatório e nem insatisfatório), contribuem significativamente para aumentar a inteligibilidade dos respectivos critérios (BANA e COSTA *et. al*, 2000). Assim, para Villella (2009), ao explicitar os níveis de referência, para além de uma avaliação comparativa com vista à ordenação por ordem de atratividade relativa, é possível apreciar o mérito intrínseco de cada uma delas, atribuindo a um nível de desempenho uma das seguintes categorias:

- Nível muito positivo, quando for, pelo menos, tão atrativo quanto a um nível bom;
- Nível positivo, quando for pelo menos, tão atrativo quanto a um nível neutro, mas menos atrativo que um nível bom;
- Nível negativo, quando for menos atrativo do que um nível neutro.

O próximo passo é a ordenação dos níveis de impacto por ordem decrescente de atratividade. Considerando X como um conjunto finito de elementos em que se têm informações ordinais (quanto à atratividade dos elementos de X), onde estes elementos são classificados de acordo com a diminuição de atratividade, Villella (2009) define que é possível associar a cada elemento x do conjunto um número $v(x)$ que satisfaça as condições de medição ordinal a seguir:

$$CM1) \forall x, y \in X: [x \text{ é mais atrativo do que } y (xPy) \Leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$CM2) \forall x, y \in X: [x \text{ é tão atrativo quanto } y (x|y) \Leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

Com os níveis de impacto ordenados inicia-se a transição da informação ordinal para cardinal. No método MACBETH, essa transição se dá pelos questionamentos de diferença de atratividade.

Considerando que as informações ordinais sobre essa atratividade dos elementos do conjunto X é representada pela relação binária P assimétrica e negativamente transitiva em X , $\forall x, y \in X$, ao par (x, y) é atribuído uma das sete categorias de diferença de atratividade “muito fraca”, “fraca”, “moderada”, “forte”,

“muito forte”, “extrema” ou “nula”. No caso de dúvidas pelos julgadores, pode se atribuir várias categorias sucessivas entre estas (VILLELA, 2009).

Aplicando esses conceitos ao exemplo da escolha de um carro, supondo que para o descritor cor, o decisor apontou a ordem de cores por ele preferidas como preta, prata, branca e vermelha. Ao fazer isso, a etapa da informação ordinal está finalizada, pois os níveis de impactos foram ordenados do mais atrativo (cor preta) para o menos atrativo (cor vermelha). Assim, o próximo passo é julgar qual a diferença de atratividade entre eles, ou seja, sabendo-se que a cor preta é mais atrativa que a cor prata, qual a diferença de atratividade entre elas. Essa resposta será uma das categorias de diferença de atratividade do MACBETH relacionadas no parágrafo anterior.

O método MACBETH tem ligação ao problema teórico de representação numérica de semi ordens múltiplas por limiares constantes de Doignon (1987), representado por m relações binárias ($P_{(1)}$, $P_{(2),\dots}$, $P_{(k),\dots}$, $P_{(m)}$). Assim, é possível a representação numérica das categorias semânticas de diferença de atratividade por meio de um intervalo de números reais (BRAZ, 2011), não necessariamente de dimensões iguais, sendo cada categoria delimitada por liminares s , sendo:

- C_1 – diferença de atratividade muito fraca = $[s_1, s_2]$ e $s_1=0$;
- C_2 – diferença de atratividade fraca = $]s_2, s_3]$;
- C_3 – diferença de atratividade moderada = $]s_3, s_4]$;
- C_4 – diferença de atratividade forte = $]s_4, s_5]$;
- C_5 – diferença de atratividade muito forte = $]s_5, s_6]$;
- C_6 – diferença de atratividade extrema = $]s_6, +++[$.

Com os níveis de referência escolhidos (nível bom e nível neutro), os quais possuem pontuação ancorada em 0 e 100, o julgamento de diferença de atratividade entre eles balizará os valores das categorias. Portanto, se a diferença de atratividade entre os níveis de referência for julgada como fraca, o valor da categoria C_2 deverá ser 100 e, conseqüentemente, a categoria menor (C_1) deverá possuir valores dentro de um intervalo menor que 100. Já as maiores (C_3 , C_4 , C_5 e C_6), valores respectivamente dentro de intervalos maiores.

Com os julgamentos concluídos, Villela (2009) afirma que já existe uma escala pré-cardinal para a função valor dos níveis de impacto se e somente se, for

possível associar a cada elemento x do conjunto X um número $v(x)$, que satisfaça as seguintes condições:

$$CM1) \forall x, y \in X: [(xPy) \Leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$CM2) \forall x, y \in X: [(xIy) \Leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

$C3) \forall (x, y), (z, w) \in P$, se a diferença de atratividade entre x e y é maior do que a diferença de atratividade entre z e w , então $v(x) - v(y) > v(z) - v(w)$.

No software M-MACBETH, é possível consultar essas escalas pré-cardinais a todo o momento de forma numérica ou gráfica.

Com as pontuações dos níveis de impacto definidas, o próximo passo é encontrar os pesos de ponderação que cada critério terá no modelo de decisão.

Para a determinação dos pesos de ponderação (ou taxas de substituição) entre os critérios, é necessária a realização da informação de preferência entre eles.

O erro crítico mais comum, segundo Keeney (1992), é a tentativa de determinação dessas taxas sem o conhecimento da extensão das escalas de impactos (descritores), devido esses pesos não possuírem nenhum significado intrínseco ou absoluto (como os níveis de impacto dos descritores).

Inicialmente, os critérios ou PVFs devem ser ordenados e em seguida a escala deve ser gerada, de tal forma que, após a normalização, os pesos de ponderação entre os PVFs estejam definidos, possibilitando assim a agregação aditiva entre eles.

A geração da escala se dá de forma semelhante à obtenção da função valor de cada PVF (pontuação dos níveis de impacto). Portanto, no primeiro momento precisa ser definida a informação ordinal, ou a ordenação dos critérios do mais atrativo para o menos atrativo para na sequência ter início os julgamentos de diferença de atratividade. Bana e Costa e Vansnick (1994) propõem que o julgamento da diferença de atratividade entre os critérios se dê com a resposta do decisor a seguinte pergunta: “Uma vez que passar do nível neutro para o nível bom no critério A foi considerado mais atrativo do que no critério B, mantendo todos os demais constantes, esta diferença de atratividade será muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte, extrema ou nula?” Com essas respostas, e após a normalização da escala (para que o somatório dos pesos seja 1), as taxas de substituição dos PVF estarão finalizadas. Assim, o modelo matemático para a decisão é criado por

meio da agregação aditiva de todos os critérios e seus respectivos pesos de ponderação.

3.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Todo processo de tomada de decisão vem acompanhado de uma variedade de incertezas seja em relação aos critérios considerados ou aos pesos de ponderação desses critérios. Desta forma, segundo Butler *et. al* (1997), essas incertezas podem ser identificadas e avaliadas por meio de uma análise de sensibilidade que é capaz de determinar a robustez das estratégias propostas no processo decisório.

Análise de sensibilidade é definida por Malczewski (1999) como o procedimento para determinar como o curso das soluções pode ser modificado com alterações no início do processo de tomada de decisão. Se estas alterações não afetarem significativamente as saídas (soluções), o ordenamento pode ser considerado robusto. Na bibliografia, diversos métodos para esta análise são encontrados.

O método exploratório consiste na alteração da matriz de comparação pareada, eliminando-se um fator de cada vez. Nos pesos de ordenação, o valor correspondente ao fator retirado é distribuído igualmente entre os demais, independente do risco assumido no processo decisório e do nível de compensação (VALENTE e VETTORAZZI, 2009). O método requer conhecimento do analista sobre o problema em estudo, por consequência de seu elevado nível de influência no processo decisório (SMITH E ZOLLNER, 2005).

O Método de Simulação de Monte Carlo é empregado em simulações estocásticas e, segundo Hromkovic (2001), permite selecionar valores aleatoriamente, de maneira semelhante aos jogos de azar. Assim, é possível se ter uma variável com valores conhecidos, mas que podem apresentar um valor incerto para um evento particular (VALENTE e VETTORAZZI, 2009).

O método AHP-OWA, introduzido por Yager (1988), consiste na atribuição de pesos ordenados, levando em consideração o risco assumido (risk), medido pela variável *ANDness*, e a compensação entre os critérios (*tradeoff*). Segundo Malczewski *et. al* (2003), com diferentes grupos de pesos de ordenação pode-se

gerar uma variedade de estratégias de decisão. Essas diferenças podem ser comparadas com a estratégia inicial.

Buscando a comparação entre estes métodos, Valente e Vettorazzi (2009) realizaram uma análise comparativa aplicando o Método Exploratório, o Método de Simulação de Monte Carlo e a AHP-OWA para a priorização de áreas à conservação florestal. Os autores concluíram que os três métodos permitiram a validação do processo decisório de maneira satisfatória e que o método AHP-OWA diminuiu a subjetividade de definição dos pesos de ordenação dos critérios.

O software M-MACBETH possui duas opções para análise de sensibilidade. A primeira delas realiza uma análise segundo a variação de pontuações parciais dos critérios, o que possibilita uma análise da ordenação final das opções frente a variações de pontuações parciais em múltiplos cenários. No segundo caso, a análise de sensibilidade se dá por meio da variação dos pesos dos critérios. Assim, é possível verificar a consequência na ordenação global das alternativas ao variar apenas o peso de um determinado critério, mantendo a proporção entre os demais (VILLELA, 2009).

Porém, um problema apontado por Rodrigues (2018) em relação à análise do M-MACBETH foi a impossibilidade de ser testada no software uma solução com vários PVFs. Para isso, o autor apontou como solução uma análise de sensibilidade por meio do modelo multicritério de agregação aditiva “Parâmetros Interdependentes Variáveis” (do inglês *Variable Interdependent Parameters* – VIP). Nele, os decisores não precisam fornecer um valor exato para cada critério, sendo utilizada apenas a ordem de importância destes. O método determina o intervalo de valor global de cada alternativa, apontando a questão de dominância de uma alternativa em relação a outras. Na sua pesquisa, Rodrigues (2018) utilizou o sistema *VIP Analysis* na fase de análise de sensibilidade, com o objetivo de validar os pesos de ponderação dos componentes do índice gerado.

O *VIP Analysis* é um método compensatório proposto por Dias & Clímaco (2000) que trata os parâmetros (constantes de escala ou “pesos”), que representam as preferências dos decisores, como variáveis interdependentes sujeitas a restrições impostas pela estrutura de preferências do decisor (BRITO *et. al*, 2005).

O método considera uma função valor aditiva em que os parâmetros são variáveis e com isso é realizada uma avaliação de todas as possíveis combinações destes parâmetros dentro de um espaço vetorial admitido pelo decisor. A principal

característica desta ferramenta é o fato de não requerer valores precisos, podendo ser apontada restrições ou intervalos para os pesos dos critérios. Portanto, trabalha-se com informações imprecisas. Esta imprecisão diz respeito apenas aos parâmetros de importância $k = (k_1, k_1, \dots, k_n)$, sendo solicitado ao decisor que aponte apenas a ordem de importância (ex: critério A > critério B) (VENTURA, 2012).

Com isso, o método permite a evolução do processo decisório com a eliminação de alternativas que sejam consideradas dominadas pelas outras. De um modo geral, uma alternativa a_i é considerada dominada por uma alternativa a_j se o desempenho de a_j for igual ou melhor que o de a_i em todos os critérios, sendo estritamente melhor em pelo menos um critério (Dias, 2002). Há também, uma noção mais flexível de dominância segundo Dias e Clímaco (2000) que leva em conta o nível de tolerância para cada um dos parâmetros (quase dominância).

O sistema *VIP Analysis* disponibiliza quatro tipos de abordagens, demonstrando o valor que seus criadores dão à complementaridade entre abordagens diferentes para a avaliação de alternativas (DIAS; CLÍMACO, 2000; VENTURA, 2012; BRITO *et. al*, 2005):

- Abordagem da Otimalidade: busca-se encontrar a alternativa com o melhor valor na função de agregação aditiva, sendo apontada como a solução do problema, a solução ótima, caso exista. Em casos que inexista a solução ótima, é buscado conhecer quais alternativas são dominadas para que sejam desconsideradas da análise. Além disso, existe também o cálculo da maior perda de oportunidade na escolha de uma alternativa em detrimento à escolha da melhor alternativa disponível, chamado de valor de arrependimento máximo (*Maximum Regret*). Quando este for menor ou igual a zero, a alternativa é “ótima”. Caso contrário, haverá um valor de tolerância maior que zero que, se o resultado for menor ou igual a ele, a alternativa será chamada de “quase ótima com tolerância”.
- Abordagem de Comparação Par a Par: Identifica o nível de dominância entre alternativas comparando-as par a par. Haverá dominância de uma sobre a outra quando a diferença máxima entre elas for menor ou igual a zero. Haverá a quase dominância quando a diferença for menor que o valor de tolerância (mesmo que seja maior que zero).

- Abordagem dos intervalos de variação: Identifica as alternativas mais afetadas pelas variações dos parâmetros, sendo possível com isso eliminar as alternativas totalmente dominadas (aquelas em que o seu valor máximo é inferior ao valor mínimo de outra). Para isso, o software *VIP Analysis* usa programação linear para identificar os valores mínimos e máximos de cada alternativa.
 - Abordagem das regras pessimistas de agregação de valor: similar a regra de minimização do arrependimento máximo. Na função aditiva, é feita a comparação das maiores diferenças possíveis entre os valores de cada alternativa.

Diversos autores aplicaram a análise multicritério utilizando o sistema *VIP Analysis* nas mais variadas áreas. Como primeiro exemplo disto tem-se a pesquisa desenvolvida por Campos e Almeida (2006) que aplicaram o *VIP Analysis* para a definição de onde seria a melhor localização de uma nova cidade em decorrência da construção de uma barragem. O programa mostrou-se bastante eficiente ao estudo de informações imprecisas, possibilitando a evolução e a conclusão das alternativas sem a necessidade de atribuição direta de pesos aos critérios.

Também utilizando o *VIP Analysis*, Almeida Filho *et. al* (2005) analisaram algumas alternativas para a aquisição de uma ferramenta computacional para uma instituição que desenvolve atividades acadêmicas utilizando critérios que retrataram as preferências dos decisores, ao final chegando a conclusão da melhor alternativa.

A criação de um modelo de Apoio Multicritério à Decisão para a seleção e contratos de manutenção foi o objetivo de Brito *et. al* (2005), os quais utilizaram o *VIP Analysis*, concluindo ao final que se tratava de uma ferramenta de interface amigável e de fácil uso, mostrando-se bastante útil para a análise das alternativas quanto a variabilidade do desempenho das mesmas.

Um método derivado do sistema *VIP Analysis* foi apresentado por Lacerda *et. al* (2011) em uma pesquisa com o objetivo de verificar a ocorrência de vantagem em disputar competições esportivas em domínios próprios nos Jogos Pan Americanos (*Home Advantage*). Os dados referentes a cada país foram normalizados de forma a permitir a utilização da metodologia derivada do *VIP Analysis*, tendo como conclusão que a aplicação foi eficiente para encontrar o efeito *Home Advantage*.

Com o objetivo de propor, testar e aperfeiçoar um Modelo de Implementação do apoio à decisão individual e em grupo com o uso do sistema *VIP Analysis*, Ventura (2012) realizou intervenções em três organizações que enfrentavam problemas de decisão do tipo escolha/seleção, selecionando problemas com diferentes tipos de variáveis (qualitativas e quantitativas) utilizando diferentes formas de estruturação (mapa cognitivo individual, mapa cognitivo único para um grupo e mapa cognitivo congregado a partir de mapas cognitivos individuais de membros de um grupo). Ao final da investigação a autora concluiu que o modelo desenvolvido demonstrou utilidade e viabilidade no meio organizacional, tanto público quanto privado, com alto grau de compreensibilidade, confiabilidade e satisfação por parte dos atores envolvidos.

O Índice de Desempenho Ambiental da Manutenção Rodoviária (IDA-MR) criado por Rodrigues (2018) teve sua confiabilidade e validade verificada pelo Método *VIP Analysis* tendo como conclusão que os pesos dos critérios do índice definidos na pesquisa estavam em sincronia com a opinião dos decisores do órgão rodoviário do Estado do Paraná.

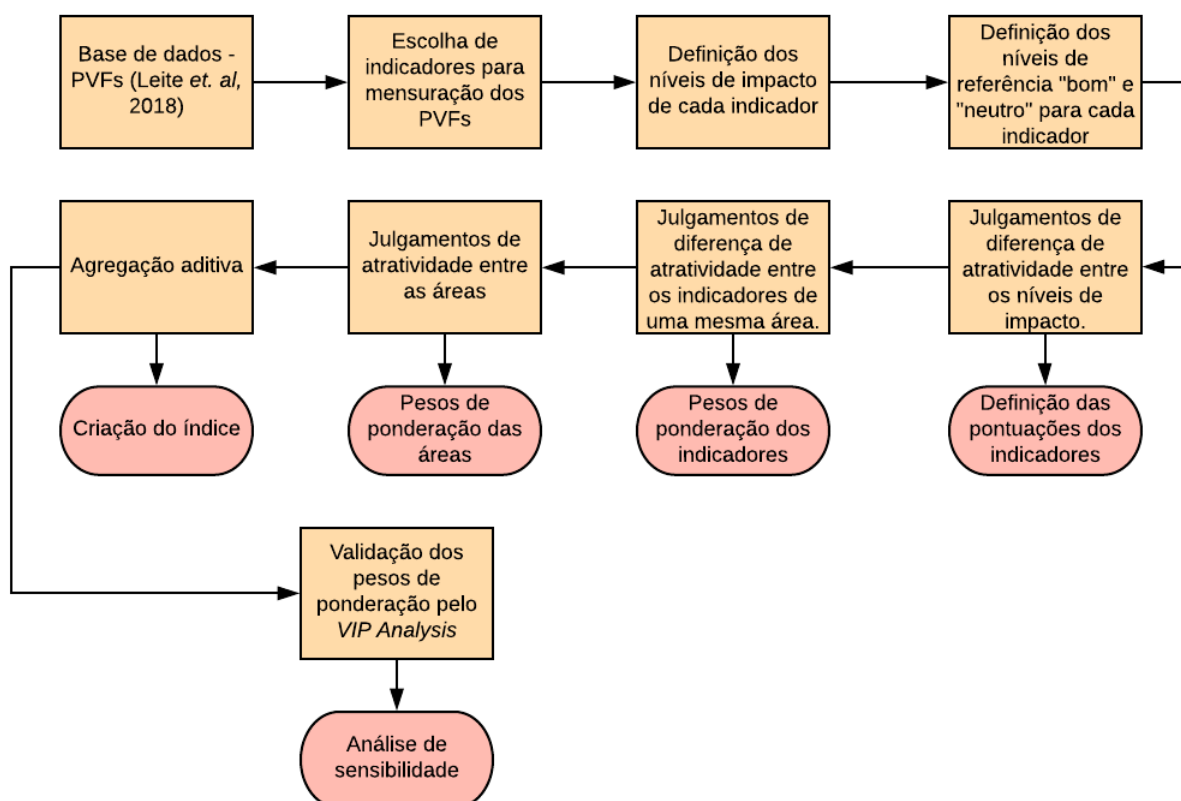
Semelhante a verificação de Rodrigues (2018), nesta pesquisa o método *VIP Analysis* será utilizado na verificação dos pesos dos critérios definidos pelos julgadores com a aplicação do método MACBETH, e os pesos diretamente apontados por profissionais de concessionárias de rodovias.

4 METODOLOGIA

Neste item são apresentadas as etapas do método da pesquisa. O ponto de partida foram os PVFs encontrados por Leite *et. al* (2018). Na sua pesquisa, os autores investigaram junto à três concessionárias de rodovias, quais seriam os itens importantes para a mensuração do desempenho ambiental em obras de manutenção rodoviária. Com a aplicação da MCDA-C, os autores encontraram PVFs para cada uma das três concessionárias. Nesta pesquisa, será dada continuação à essa investigação, de modo a concatenar todas as informações num índice capaz de mensurar o desempenho ambiental, utilizando o método MACBETH.

Na Figura 1 apresenta-se um fluxograma com a ordem das etapas da pesquisa.

Figura 1: Fluxograma das etapas para obtenção do índice pelo método MACBETH.



Fonte: próprio autor, 2019.

4.1 ESCOLHA DOS INDICADORES

Os PVFs encontrados por Leite *et. al* (2018) e utilizados como base nesta pesquisa foram obtidos entre especialistas de três concessionárias de rodovias que, de acordo com sua opinião, relacionaram os critérios importantes para mensurar o desempenho ambiental das obras de manutenção rodoviária utilizando, para tanto, a MCDA-C na etapa de estruturação do problema.

No desenvolvimento da pesquisa, Leite *et. al* (2018) solicitaram que os participantes ao citar o item, apresentassem uma explicação e um aspecto negativo caso o item fosse negligenciado. Elaboraram os mapas cognitivos e definiram os PVFs. Com base nessas informações, o primeiro passo desta pesquisa foi definir os indicadores ou descritores para a mensuração do desempenho destes PVFs.

Para isso, todos os PVFs das três concessionárias foram reunidos para uma análise global, e realizada uma revisão de todas as explicações e os aspectos negativos, com o objetivo de verificar o sobreamento entre eles ou, a possibilidade do desempenho de um ou mais PVFs ser mensurado por apenas um indicador.

Nesta etapa buscou-se escolher indicadores ou descritores que apresentassem mensurabilidade, operacionalidade e compreensibilidade, conforme recomendações de Keeney (1992). Nas Figuras 2, 3 e 4 são mostrados os PVFs encontrados por Leite *et. al* (2018) para cada uma das concessionárias pesquisadas.

Figura 2: Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária 1

Área	Pontos de Vista Fundamentais	
Docs_Amb	PVF1	EIA/RIMA
	PVF2	Licenças Ambientais
Trein_Fisc	PVF3	Educação Ambiental dos Funcionários
Manu_Equip	PVF4	Manutenção dos Equipamentos e Veículos
Plan	PVF5	Plano de Destinação dos Resíduos Advindos da Manutenção
Polu_Amb	PVF6	Sobras de Material Transportado
	PVF7	Manutenção da Drenagem
	PVF8	Lixo do Canteiro

Fonte: Leite *et. al*, 2018.

Figura 3 : Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária 2

Área	Pontos de Vista Fundamentais	
Gest_Amb	PVF1	Plano de Medidas Compensatórias
Inter_Amb	PVF2	Supressão da Vegetação Nativa
	PVF3	Alteração nos Hábitos da Fauna
Trein_Cuid_MO	PVF4	Exposição dos Funcionários
	PVF5	Formação de Ambientes Propícios ao Desenvolvimento de Vetores
Plan	PVF6	Aumento da Emissão de Ruídos
	PVF7	Alteração no Cotidiano da População
Polu_Amb	PVF8	Aceleração de Processos Erosivos
	PVF9	Poluição Visual das Vias de Tráfego

Fonte: Leite *et. al*, 2018.

Figura 4: Pontos de Vista Fundamentais – Concessionária 3

Área	Pontos de Vista Fundamentais	
Gest_Amb	PVF1	Fiscalização Ambiental
Inter_Amb	PVF2	Desmatamento desnecessário para instalação de canteiro
Trein_Cuid_MO	PVF3	Treinamento de Funcionários
Plan	PVF4	Plano de destinação de resíduos
	PVF5	Plano de Gerenciamento Ambiental
Polu_Amb	PVF6	Geração de resíduos de construção civil
	PVF7	Destinação correta dos resíduos contaminantes
	PVF8	Limpeza das Pistas e Dispositivos de Drenagem

Fonte: Leite *et. al*, 2018.

Buscando compreender a real intenção dos especialistas das concessionárias em relacionar estes PVFs como aspectos importantes para a mensuração do

desempenho ambiental da manutenção rodoviária, bem como encontrar descritores eficientes para a sua mensuração, se fez necessário levar em consideração os polos negativos de cada um dos PVF levantados por Leite *et. al* (2018) e as definições. Na Quadro 1, são apresentados cada um desses itens para a Concessionária 1. Os itens referentes às demais concessionárias constam no anexo. Além disso, para facilitar a identificação dos PVFs e da concessionária, a numeração adotada para eles ficou precedida do número da concessionária. Por exemplo, o PVF 1 da concessionária 2 será designado por PVF 2.1.

Quadro 1: Conceitos e aspectos negativos dos PVFs – Concessionária1

CONCESSIONÁRIA 1			
	PVF	Conceito	Aspecto Negativo
1.1	EIA/RIMA	Geração de relatórios com dados sobre os possíveis danos	Impossibilidade de ver a real dimensão do problema
1.2	Licenças Ambientais	Estar de acordo com as leis ambientais vigentes	Execução clandestina
1.3	Educação Ambiental dos Funcionários	Treinamentos constantes	Não colaboração dos funcionários
1.4	Manutenção dos Equipamentos e Veículos	Menor geração de Poluentes	Maior gasto de combustíveis, maior emissão de gases
1.5	Plano de Destinação dos Resíduos Advindos da Manutenção	Local correto para despejo do material	Despejo irregular dos materiais
1.6	Sobras de Material Transportado	Controle e vedação da caçamba dos caminhões	Assoreamento de rios, valetas e sarjetas
1.7	Manutenção da Drenagem	Evitar erosão do solo	Alagamentos da pista e erosão do solo
1.8	Lixo do Canteiro	Reciclagem e separação dos materiais	Poluição do solo, lençol freático e proliferação de doenças

Fonte: Leite *et.al*, 2018.

4.2 DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE IMPACTO DE CADA INDICADOR

Como os níveis de impacto do indicador fazem parte do descritor do PVF, essa fase é de suma importância no processo, tendo em vista que será o ponto de partida para a definição da função valor dos PVFs.

Nesta etapa, com os indicadores para cada PVF ou grupo de PVFs definidos, iniciou-se a definição dos níveis de impactos. Para isso, se fez necessária uma consulta bibliográfica dos temas relacionados, devido à multidisciplinaridade da área de desempenho ambiental. Os níveis foram definidos de tal forma que abrangessem os limites aceitáveis (quando normatizados). Buscou-se também atribuir níveis quantitativos ao máximo número possível de indicadores.

4.3 ESCOLHA DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA

Para a definição dos níveis de referência nesta pesquisa, buscou-se utilizar os limites constantes nas normas, legislação ou bibliografia relacionadas às áreas de cada indicador, quando existentes. Nos casos restantes, foi definido pelos julgadores qual seria o nível máximo desejável e o mínimo viável para o indicador.

Desta forma, os níveis superiores ao “bom” receberam uma pontuação superior a 100 na função valor do PVF e os níveis inferiores ao neutro receberam pontuação negativa. Os valores destas pontuações foram definidos pelos julgamentos das diferenças de atratividade entre os níveis de impacto do indicador, que será tratado na sequência.

4.4 JULGAMENTOS DE DIFERENÇA DE ATRATIVIDADE

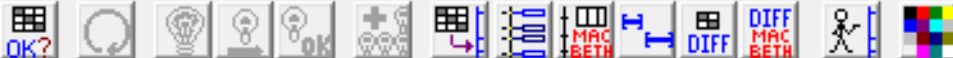
Os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados por alunos de Engenharia Civil *stricto sensu*, com o auxílio do software M-MACBETH. Inicialmente foi feita a análise dos níveis de impacto dentro de cada indicador. Para isso, obteve-se a informação ordinal (os níveis foram ordenados por atratividade decrescente) e, conforme estabelece o método MACBETH, o seguinte questionamento foi feito aos julgadores: Quando xPy (x é mais atrativo que y), que diferença de atratividade você sente entre x e y : “muito fraca”, “fraca”, “moderada”, “forte”, “muito forte”, “extrema” ou “nula”?

Para cada indicador, a matriz de julgamentos foi preenchida na ordem indicada nas Figuras 5, 6 e 7. Iniciou-se com os julgamentos da primeira linha, comparando o nível mais atrativo com todos os outros (Figura 5). Em seguida, foi preenchida a última coluna da matriz de julgamentos, em que a comparação foi do nível menos atrativo com todos os outros (Figura 6). Para finalizar, foram realizados os julgamentos faltantes seguindo as diagonais da matriz, comparando os demais níveis, par a par (Figura 7).

Figura 5: Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 1ª parte

	700	800	900	1000	1100	
700	nula	fraca	moderada	fort-mfort	extrema	extrema
800		nula	?	?	?	mt. forte
900		?	nula	?	?	forte
1000		?	?	nula	frac-fort	moderada
1100		?	?		nula	fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes



Fonte: próprio autor, 2018.

Figura 6: Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 2ª parte

	700	800	900	1000	1100	
700	nula	fraca	moderada	fort-mfort	extrema	extrema
800		nula	?	?	mt. forte	forte
900		?	nula	?	moderada	moderada
1000		?	?	nula	frac-fort	fraca
1100					nula	mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes



Fonte: próprio autor, 2018.

Figura 7: Matriz de julgamentos entre níveis de impacto de um indicador – 3ª parte

	700	800	900	1000	1100	extrema
700	nula	fraca	moderada	fort-mfort	extrema	mt. forte
800		nula	fraca	?	mt. forte	forte
900			nula	fraca	moderada	moderada
1000		?		nula	frac-fort	fraca
1100					nula	mt. fraca
						nula

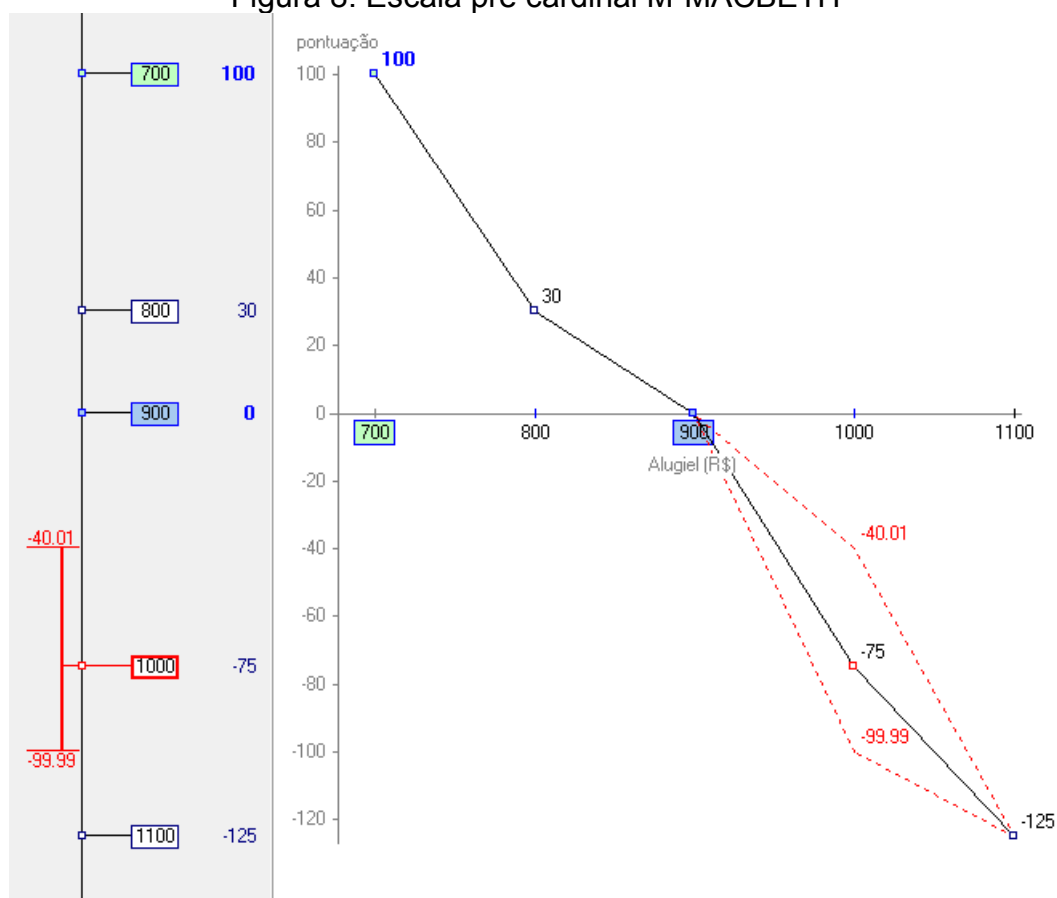
Julgamentos consistentes



Fonte: próprio autor, 2018.

Como a transição da escala ordinal para a cardinal pelo método MACBETH resulta em intervalo de escalas, existe a possibilidade de ajustes antes da validação dos resultados. Dessa forma, com os julgamentos de diferença de atratividade entre os níveis de impacto dos indicadores finalizados, o software gerou uma escala pré cardinal, demonstrada graficamente, com base nas opiniões expressadas pelos julgadores (Figura 8). Foi apresentado aos julgadores para que estes validassem a escala. Caso estes não sentissem que a escala pré cardinal representasse as diferenças de atratividade dos níveis de impacto, poderiam ajustá-la, respeitando os limites impostos pelo software, para que não desconfigurasse os julgamentos realizados anteriormente. A escala validada representa a função valor do descritor.

Figura 8: Escala pré cardinal M-MACBETH



Fonte: próprio autor, 2018.

Como os PVFs foram agrupados em áreas, fez-se necessário definir qual a importância ou peso de ponderação de cada um dos indicadores escolhidos. Para isso, o método foi semelhante com a definição da função valor, através de julgamentos de diferença de atratividade.

Como o método MACBETH consiste em transformar a informação ordinal para a cardinal, é necessário alimentar o software com esta informação ordinal. No caso dos níveis de impacto essa etapa era direta, apenas ordenando os níveis maiores para os menores. No caso dos indicadores, esta ordenação se torna um pouco mais complexa, por não envolver níveis.

Portanto, foi aplicada a matriz de ordenação dos PVFs. Inicialmente foi solicitado ao decisor para exprimir julgamentos holísticos sobre os PVFs, respondendo a pergunta: Considere-se uma alternativa fictícia com um nível neutro em todos os PVFs. Sendo possível melhorar o impacto de neutro para bom num só PVF, mantendo todos os demais no nível neutro, seria mais atrativo passar para o nível bom no ponto de vista PVF_i ou no PVF_j ? Com estas respostas é preenchida a

matriz de ordenação dos critérios (Figura 9), sendo que cada elemento $X_{i,j}$ da matriz assume valor 1 se a resposta a questão anterior for PVF_i, caso contrário o valor do elemento será 0.

Figura 9: Modelo de matriz de ordenação de PVFs

	PVF ₁	PVF ₂	.	.	PVF _{n-1}	PVF _n
PVF ₁		$X_{1,2}$	.	.	$X_{1,n-1}$	$X_{1,n}$
PVF ₂	$X_{2,1}$		.	.	$X_{2,n-1}$	$X_{2,n}$
.
.
PVF _{n-1}	$X_{n-1,1}$	$X_{n-1,2}$	.	.		$X_{n-1,n}$
PVF _n	$X_{n,1}$	$X_{n,2}$	.	.	$X_{n,n-1}$	

Fonte: Villela, 2009.

O objetivo da matriz de ordenação é organizar os PVFs em ordem decrescente de atratividade. Para isso, os resultados do preenchimento são somados em cada linha. O maior valor da soma será do respectivo PVF mais atrativo. Na Figura 10 é representado um exemplo de uma matriz preenchida, para a ordenação de quatro PVFs hipotéticos, sendo a ordem de atratividade PVF4>PVF1>PVF3>PVF2.

Figura 10: Exemplo de matriz de ordenação de PVFs

	PVF1	PVF2	PVF3	PVF4	SOMA
PVF1	-	1	1	0	2
PVF2	0	-	0	0	0
PVF3	0	1	-	0	1
PVF4	1	1	1	-	3


Fonte: Villela, 2009.

Com os indicadores ordenados, os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados da mesma forma que dos níveis de impacto. A diferença é no questionamento, que para esta etapa foi: Uma vez que passar do nível neutro para o nível bom no PVFi foi considerado mais atrativo do que no PVFj, mantendo todos os demais constantes, esta diferença de atratividade é fraca, forte,...?

Além da diferença do questionamento, nesta nova matriz de julgamentos de juízo de valor aparece a opção “tudo inf.”, conforme Figura 11. Essa opção existe para

proporcionar que todos os indicadores ou PVFs tenham sua diferença de atratividade julgada em comparação com todos os demais no nível neutro.

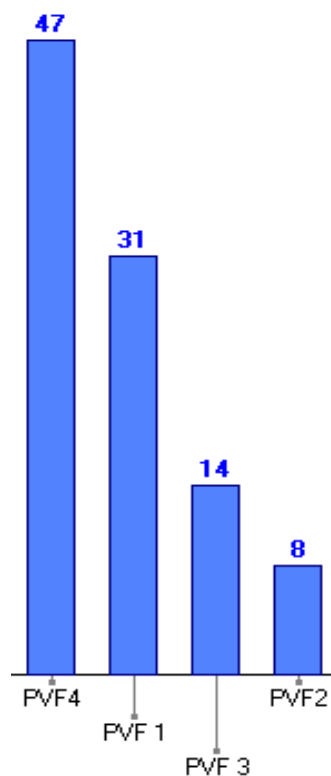
Figura 11: Matriz de juízos de valor (entre critérios ou PVFs)

	[PVF4]	[PVF 1]	[PVF 3]	[PVF2]	[tudo inf.]
[PVF4]	nula	forte	mt. forte	mfort-extr	extrema
[PVF 1]		nula	mt. forte	mt. forte	fort-mfort
[PVF 3]			nula	moderada	forte
[PVF2]				nula	mod-fort
[tudo inf.]					nula

Fonte: próprio autor, 2018.

Com os julgamentos concluídos, os pesos de ponderação de cada um dos indicadores dentro da sua respectiva área foram definidos. Semelhante ao que se fez na determinação da função valor dos descritores, esses pesos foram apresentados aos julgadores para que os validassem. O software M-MACBETH apresenta estes resultados como forma de histograma, conforme Figura 12.

Figura 12: Histograma dos pesos de ponderação (ou taxas de substituição) dos PVFs



Fonte: próprio autor, 2018.

Nas áreas em que existia apenas um PVF, o peso deste foi considerado como 100%, não sendo necessários os julgamentos descritos nesta seção.

A última etapa dos julgamentos consistiu na definição dos pesos de ponderação de cada uma das áreas. Da mesma forma que ocorreu com os PVFs, foi necessária a elaboração da matriz de ordenação das áreas. Como neste caso, dentro de cada área não existia apenas um PVF, não havia possibilidade de existir um único nível neutro para representá-la. Assim, optou-se por considerar os valores 100% como nível bom e 50% como nível neutro. O valor 100% representa todos os indicadores dentro da área pontuando no seu respectivo nível bom. Já o valor 50% representa todos os indicadores dentro da área pontuando em seu nível neutro. Com estes conceitos, a matriz de ordenação e a matriz de juízos de valor foram preenchidas.

Os resultados dos pesos de ponderação das áreas foram apresentados em forma de histograma aos julgadores para validação. Com o histograma validado, ficou definido o peso de cada área para a obtenção do índice.

Com todos os julgamentos finalizados e as escalas validadas, o índice foi criado através de um modelo aditivo de agregação, o método utilizado pelo MACBETH.

O índice recebeu o nome de Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária (IPA-MR), e a obtenção se deu pelo modelo a seguir:

$$IPA - MR = \sum_i^n P_i A_i \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

- $IPA - MR$: Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária;
- P_i : Peso correspondente de cada área i , $i=1, 2, \dots, n$;
- A_i : Pontuação de cada área i , $i= 1, 2, \dots, n$;

A pontuação de cada área se dá pelo modelo a seguir:

$$A_j = \sum_j^n p_j v_j \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

- v_i : Pontuação dos indicadores dentro da área j , $j= 1, 2, \dots, n$;
- p_i : Peso correspondente de cada indicador j , $j=1, 2, \dots, n$;
- A_j : Pontuação de cada área j , $j= 1, 2, \dots, n$;

Desta forma, pode-se afirmar que o IPA-MR será definido como:

$$IPA - MR = \sum_i^n P_i(\sum_j^n p_j v_j) \text{ (Equação 3)}$$

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Na análise de sensibilidade desta pesquisa utilizou-se o método *VIP Analysis* para validar os pesos gerados pelo software M-MACBETH para os indicadores. Para isso, foi solicitado a profissionais de outras concessionárias que indicassem diretamente os pesos que entendiam ser adequados para cada indicador e área de interesse do índice, por meio do preenchimento do formulário apresentado na Figura 13. Duas concessionárias do estado do Paraná responderam a solicitação, sendo aqui designadas por concessionária A e concessionária B. Na concessionária A, dois profissionais, um Engenheiro Civil e outro Engenheiro Florestal, deram as contribuições de forma consensual. Pela concessionária B apenas um profissional com formação em Engenharia Civil definiu os pesos.

Figura 13: Formulário enviado aos experts das concessionárias

ÁREAS		INDICADORES	
Nome	Peso	Nome	Peso
Poluição Ambiental		Número de ocorrências mensais de restos de materiais utilizados em serviços de manutenção	
		Número de inspeções mensais para a monitoramento do sistema de drenagem.	
		Número de indícios de erosão no trecho devido à serviços de manutenção	
		Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para reciclagem	
		Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada.	
		SOMA	100%
Gestão Ambiental		Percentual das obras com monitoramento ambiental.	
		Existência de Licença Ambiental para o serviço	
		Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária	
		SOMA	100%
Interferências no Ambiente		Percentual de desmatamento desnecessário de mata nativa.	
		Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos (NBR 10151)	
		Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária.	
		SOMA	100%
Treinamento e Segurança da Mão de Obra		Percentual de funcionários com treinamento ambiental	
		Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente	
		SOMA	100%
Planejamento		Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção.	
		Existência de Plano de Gestão Ambiental	
		SOMA	100%
Manutenção de equipamentos		Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia.	
		SOMA	100%
SOMA		100%	

Número de participantes
Área de formação dos participantes

Fonte: próprio autor, 2019.

Com essas respostas foram definidas três alternativas sendo:

- Alternativa 1: Pesos dos indicadores e áreas gerados pelo software M-MACBETH;
- Alternativa 2: Pesos dos indicadores e áreas atribuídos pelos especialistas da concessionária A;
- Alternativa 3: Pesos dos indicadores e áreas atribuídos pelos especialistas da concessionária B.

Inicialmente o software *VIP Analysis* solicita que seja informado quais os critérios que serão avaliados nas alternativas e, na sequência, qual o desempenho de cada um desses critérios. Para isso, foi considerado que os critérios seriam os indicadores do índice gerado nesta pesquisa e o peso de ponderação dos indicadores representariam o desempenho de cada critério. Na Figura 14 é

apresentado um exemplo do quadro resumo com os critérios e desempenho já lançados no software. No exemplo, os critérios seriam os indicadores A1, A2 e A3, e os respectivos números representam os pesos de ponderação dos indicadores para cada alternativa.

Figura 14: Exemplo de quadro de critérios e desempenho das alternativa no software *VIP Analysis*

Criteria:	A1	A2	A3
Importance:			
Alternativa_1	8.58	2.34	15.08
Alternativa_2	5	12.5	7.5
Alternativa_3	7	3	14

Fonte: próprio autor, 2019.

Considerando que a composição do índice se deu por indicadores agrupados em áreas de interesse e que, para essas áreas também foram definidos pesos de ponderação, optou-se nesta fase da análise de sensibilidade considerar o peso absoluto dos indicadores. Ou seja, se um determinado indicador dentro de uma área teve peso atribuído de 40%, e a sua respectiva área obteve um peso de 30%, a contribuição deste indicador para a composição do índice geral será de apenas 24%. Assim os valores que foram lançados no software como desempenho das alternativas foi o resultado do peso do indicador multiplicado pelo peso da sua respectiva área.

Conforme já explicitado, o software *VIP Analysis* calcula o desempenho de cada alternativa considerando todas as combinações de alterações dos parâmetros de importância dos critérios, sendo possível que o decisor aponte apenas restrições como a ordem de importância ou limites. Assim, a análise se deu por meio de quatro cenários, sendo:

- 1º cenário: sem restrições aos parâmetros de importância;
- 2º cenário: restrição de ordem de importância conforme os pesos da alternativa 1;
- 3º cenário: restrição de ordem de importância conforme os pesos da alternativa 2;
- 4º cenário: restrição de ordem de importância conforme os pesos da alternativa 3.

Após isso, para cada cenário foi determinado:

- Valores máximos e mínimos: o software variou os parâmetros de importância dos critérios e forneceu, multiplicando pelos valores dos desempenhos, o menor e o maior valor da alternativa, respeitando as restrições impostas em cada cenário. Nesta análise, as alternativas que apresentam os maiores valores representam as melhores opções. Na situação em que o valor mínimo da alternativa seja superior ao máximo da outra, significará que a alternativa de maior valor exerce dominância sobre a de menor valor, representando assim a melhor opção.
- Comparação par a par: o software calculou o valor do máximo arrependimento de se escolher uma alternativa em detrimento da outra. Nesta análise, nos casos em que se obtém o valor do máximo arrependimento menor ou igual a zero, significa que a alternativa exerce dominância sobre a outra, sendo apontada como a melhor opção.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item serão apresentados os indicadores adotados para mensuração cada PVF, bem como seus níveis de impacto e de referência e a função valor. Além disso, serão apresentadas as matrizes de ordenação dos indicadores pertencentes à uma única área e entre as áreas e seus respectivos pesos de ponderação, o resultado do modelo de agregação aditiva para a obtenção do IPA-MR, suas generalidades e considerações para aplicação. Por fim, serão apresentados os resultados da validação dos pesos de ponderação dos indicadores.

5.1 GENERALIDADES DO IPA-MR

As obras de manutenção rodoviária representam uma série de serviços nos mais variados itens da rodovia, podendo ser atividades no pavimento, na sinalização horizontal, vertical, nos dispositivos de drenagem. Além disso, podem possuir as mais variadas extensões, como uma intervenção pontual ou ao longo de um trecho maior, da mesma forma que os prazos de execução podem ser muito variados.

Devido a isso, a sugestão para a aplicação do IPA-MR é de que seja escolhida uma unidade amostral com extensão de 1,0 Km, e realizado o levantamento dos indicadores descritos nesta seção de todas as obras de manutenção rodoviária executadas na unidade amostral nos 30 dias anteriores ao início da análise. O IPA-MR da unidade será a média aritmética dos resultados de todas as obras analisadas.

5.2 ESCOLHA DOS INDICADORES E NÍVEIS DE IMPACTO

A pesquisa de Leite *et. al* (2018) levantou, ao todo, 25 PVFs com base nas opiniões dos especialistas das três concessionárias pesquisadas. Nesta pesquisa, estes dados foram reunidos para proceder uma análise global. Com a verificação dos conceitos e pontos negativos de cada um dos PVFs, verificou-se, em alguns casos, a possibilidade de um único indicador servir para mensurar o desempenho ambiental de mais de um PVF.

Desta forma, o total de indicadores resultantes foi de 16, divididos em 6 áreas. Para simplificação, as áreas foram precedidas de uma identificação por meio de uma letra maiúscula (por exemplo, a área de Gestão Ambiental foi identificada como A), e os indicadores vinculados a elas receberam a letra seguida de um número (por exemplo A1 para o primeiro indicador da área Gestão Ambiental). Nos quadros 2 a 7 são apresentadas as numerações dos PVFs originais, as áreas e os indicadores finais ajustados.

Quadro 2: Indicadores para a performance ambiental da área “Gestão Ambiental”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
1.1 e 1.2	A - Gestão Ambiental	A1 - Atendimento ao Licenciamento Ambiental.
2.1		A2 - Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária.
3.1		A3 - Percentual das obras com monitoramento ambiental.

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 3: Indicadores para a performance ambiental da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
1.3 e 3.3	B - Treinamento e Segurança da Mão de Obra	B1 - Percentual de funcionários com treinamento ambiental.
2.4		B2 - Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente.

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 4: Indicadores para a performance ambiental da área “Manutenção de equipamentos”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
1.4	C - Manutenção de equipamentos	C1 - Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia.

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 5: Indicadores para a performance ambiental da área “Planejamento”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
1.5, 2.5 e 3.4	D - Planejamento	D1 - Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção.
3.5		D2 - Existência de Plano de Gestão Ambiental.

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 6: Indicadores para a performance ambiental da área “Poluição Ambiental”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
1.6 e 2.9	E - Poluição Ambiental	E1 - Número de ocorrências de restos de materiais utilizados em serviços de manutenção.
1.7 e 3.8		E2 - Número de inspeções para a monitoração do sistema de drenagem.
2.8		E3 - Número de indícios de erosão no trecho devido a serviços de manutenção.
1.8 e 3.6		E4 - Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para reciclagem.
3.7		E5 - Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada.

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 7: Indicadores para a performance ambiental da área “Gestão Ambiental”.

PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL GERADOR	ÁREA	INDICADOR
2.2, 2.3 e 3.2	F - Interferências no ambiente	F1 - Percentual de desmatamento desnecessário de mata nativa.
2.6		F2 - Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos.
2.7		F3 - Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária.

Fonte: próprio autor, 2019.

Os primeiros ajustes realizados em relação aos dados levantados por Leite *et. al* (2018) refere-se ao nome das áreas. Na sua pesquisa, os autores atribuíram o PVF 1.1 e 1.2 a uma área chamada “Documentação Ambiental”. Nesta pesquisa optou-se por agrupar estes PVFs aos vinculados à área “Gestão Ambiental”, devido à semelhança, resultando na eliminação da área “Documentação Ambiental”.

Os PVFs inicialmente atribuídos às áreas “Treinamentos e Cuidados com a Mão de Obra” e “Treinamento e Fiscalização”, foram todos agrupados em uma área que recebeu o nome de “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”.

O indicador da área C “Manutenção de equipamentos”, num primeiro momento foi relacionado a área “Poluição Ambiental”, porém, como a falta de manutenção dos equipamentos gera outros impactos além do aumento de emissão de gases (como por exemplo o aumento de ruído e a queda de produtividade, que acarreta maior tempo para execução do serviço), optou-se por mantê-lo numa área separada.

Na sequência é apresentada uma descrição de cada indicador e seus respectivos níveis de impacto.

- **Indicador A1 – Atendimento ao Licenciamento Ambiental:** Os PVFs geradores foram o 1.1 – EIA/RIMA e 1.2 – Licenças Ambientais. Justifica-se a escolha de apenas um indicador para mensurações destes PVFs tendo em vista que a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental é vinculada ao processo de licenciamento, conforme Resolução CONAMA 1/86. Além disso, alguns serviços relacionados à manutenção rodoviária devido à simplicidade, dispensam a elaboração de EIA/RIMA, sendo autorizada a execução apenas com a LO, conforme Art. 19 da Portaria do Ministério do Meio Ambiente (MMA) nº 289/2013. Desta forma, o indicador consistirá em verificar se o serviço analisado está regular (licenciado) em termos ambientais. Os níveis de impactos do indicador A1 são apresentados na quadro 8.

Quadro 8: Níveis de impacto do indicador A1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
Atende	1) Para os serviços constantes no Art. 19 da Portaria do MMA (licenciamento específico dispensado), apresentação da LO do trecho em dia. 2) Para os serviços que necessitem de licenciamento específico, apresentação da LO do trecho em dia e a Licença específica do serviço.	-
Atende Parcialmente	1) Para os serviços que necessitam de licenciamento específico, apresentação de apenas uma das Licenças. 2) LO vencida	
Não atende	O trecho não possui nenhum licenciamento	

Fonte: próprio autor, 2018.

- **Indicador A2 – Existência do Plano de Medidas Compensatórias:** A proposta é que neste indicador seja verificado se no planejamento da instituição responsável pela gestão da rodovia existem itens relacionados a medidas compensatórias dos impactos ambientais da manutenção rodoviária. Para isso, deverá constar a relação dos serviços a serem executados, a identificação dos impactos ambientais e as respectivas medidas compensatórias. A legislação atual exige esse tipo de planejamento apenas para as atividades que necessitam da elaboração de EIA/RIMA, os quais devem apresentar conjunto de medidas mitigadoras e compensatórias, sendo inexistente um instrumento semelhante para os serviços de manutenção rodoviária autorizados, conforme Portaria MMA 289/2013. No quadro 9 são apresentados os níveis de impacto definidos para o indicador A2.

Quadro 9: Níveis de impacto do indicador A2

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
Existe	A instituição possui plano de medidas compensatórias	-
Existe, mas precisa de ajustes	A instituição possui o plano de medidas compensatórias, porém está desatualizado ou incompleto, necessitando de ajustes.	
Não existe, mas está em fase de elaboração	A instituição está elaborando o plano de medidas compensatórias, com prazo definido para implementação	
Não Existe	A instituição não possui o plano.	

Fonte: próprio autor, 2018.

- **Indicador A3 – Percentual de obras com monitoramento ambiental:** De acordo com as Normas da série ISO 14000, um SGA precisa de melhoria constante. Em busca disso, a proposta deste indicador é avaliar o controle interno da organização, mensurando a abrangência do monitoramento ambiental das obras de manutenção rodoviária. A sugestão é de que a instituição realize fiscalizações mensais avaliando os quesitos ambientais em todas as obras de manutenção no trecho sob sua responsabilidade, devendo o produto desta fiscalização ser documentado, com relatórios fotográficos e apontamentos das irregularidades. Espera-se que o resultado seja uma evolução nos procedimentos internos em relação à área ambiental. Salienta-

se que o indicador é referente à existência da atividade de fiscalização, e não do desempenho ambiental destas obras. Os níveis de impacto definidos do indicador A3 são apresentados na quadro 10.

Quadro 10: Níveis de impacto do indicador A3

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	O percentual em relação à quantidade de obras monitoradas semanalmente ao longo do mês de avaliação.	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- **Indicador B1 – Percentual de funcionários com treinamento ambiental:**

Os PVFs geradores foram o 1.3 – “Educação Ambiental dos Funcionários” e o 3.3 – “Treinamento dos Funcionários”. Nota-se a preocupação com a falta de boas práticas por parte dos funcionários, demonstrando a equivalência entre os PVFs de duas das concessionárias que participaram da pesquisa. Espera-se que com o treinamento ambiental, os funcionários obtenham informações sobre classificação de resíduos, emissão de gases de efeito estufa, problemas provenientes de contaminação e assoreamento de cursos d’água e que, essas informações reflitam num comportamento conscientizado em relação ao desenvolvimento sustentável. A sugestão é que seja solicitada a apresentação de certificados de cursos na área ambiental dos funcionários que participam da execução do serviço. Os níveis de impacto definidos para o indicador B1 estão apresentados na quadro 11.

Quadro 11: Níveis de impacto do indicador B1.

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	Número de colaboradores (terceirizados ou não) que participam da execução do serviço, que possuem certificados de conclusão de curso/ treinamento.	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador B2 – Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente:** Os serviços de manutenção rodoviária apresentam uma série de situações de riscos aos colaboradores, como ruídos, riscos de atropelamento, exposição excessiva ao sol, entre outros. Devido a isso, para cada tipo de serviço existem as recomendações das normas regulamentadoras para os devidos equipamentos de segurança individual que devem ser utilizados, como protetores auriculares, óculos, roupas refletivas, protetor solar, chapéus, capacetes, etc. Sugere-se que sejam realizadas vistorias não programadas em todas as obras de manutenção rodoviária e verificado o uso dos EPIs dos funcionários, de acordo com o estabelecido nas NRs. No quadro 12 estão apresentados os níveis de impacto definidos para o indicador B2.

Quadro 12: Níveis de impacto do indicador B2.

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	Percentual de funcionários que utilizam de forma correta os EPIs durante as inspeções mensais nos canteiros de obras.	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador C1 – Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia:** Ao longo de sua utilização, os equipamentos sofrem deterioração, tanto de custo quanto de desempenho. A deterioração das condições ótimas do equipamento leva a desvios no processo e a queda da qualidade (Marconi e Lima, 2003), diminuindo sua produtividade. Essa queda de produtividade resulta em atrasos nos cronogramas das obras, além de maiores consumos de combustível e maior emissão de gases. O setor da construção civil se destaca como um dos grandes emissores de gases de efeito estufa, respondendo por um terço do total de emissões do planeta (Sanqueta *et. al*, 2013). Desta forma, este indicador tem por objetivo identificar a quantidade de equipamentos utilizados nas obras de manutenção rodoviária que possuam a manutenção preventiva em dia. O plano de manutenção na maioria dos casos, é definido pelo fabricante do equipamento, que estabelece de acordo

com as horas de utilização dos equipamentos, quais itens deverão ser verificados e quais peças serão trocadas. Na Figura 15 é mostrado, como exemplo, o plano de manutenção preventiva do fabricante de uma retroescavadeira. Como sugestão, a organização responsável pela gestão da via deverá apresentar o plano de manutenção de todos os equipamentos utilizados na obra, bem como documento com a comprovação da realização da manutenção. No quadro 13 estão apresentados os níveis de impacto do indicador C1.

Figura 15: Exemplo de Plano de manutenção preventiva de uma retroescavadeira, fornecido pelo fabricante

MANUTENÇÃO DE 10 HORAS

ANTES DE INICIAR A MANUTENÇÃO DE 10 HORAS DA CAT® 416E, CERTIFIQUE-SE DE TER AS SEGUINTE PEÇAS E FERRAMENTAS:

Peças

Qtdo.	Part Number	Descrição
1	293-4053	Filtro de ar primário (conf. necessidade)
1	227-7449	Filtro de ar secundário (conf. necessidade)

Ferramentas

Part Number	Descrição
8F-9866	Bomba de graxa

10h COMO FAZER A MANUTENÇÃO DE 10 HORAS

01. Efetue diariamente a inspeção do elemento filtrante do purificador de ar e atente-se para: quando o pistão amarelo do indicador de restrição do filtro de ar entrar na área vermelha do indicador, realize a manutenção.

Encontre sua peça pelo site: sotreq.com.br/peças/partstore

AVISO: Efetue a manutenção do purificador de ar somente com o motor parado. Isto poderá resultar em danos ao motor.




1	Abra a porta de acesso do motor no topo da máquina.
2	Remova a tampa do alojamento do filtro de ar.
3	Remova o elemento filtrante primário de dentro do alojamento do filtro de ar.
4	Remova o elemento filtrante primário de dentro da base do filtro.
5	Limpe o interior do alojamento do filtro de ar.
6	Instale um novo elemento filtrante de ar primário para dentro da base do filtro. Instale o novo filtro no alojamento do filtro de ar. Instale a tampa do alojamento do filtro de ar.
7	Reposicione o indicador de manutenção do filtro de ar do motor.
8	Feche a tampa de acesso.

Fonte: Guia prático para manutenção da retroescavadeira CAT 416E.

Quadro 13: Níveis de impacto do indicador C1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	O percentual será a relação entre o número de equipamentos que comprovem a manutenção em dia pelo total de equipamentos.	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- **Indicador D1: Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção:** Os PVFs geradores destes indicadores foram:

- PVF 1.5: Plano de destinação de resíduos advindos da manutenção;
- PVF 1.8: Lixo do canteiro;
- PVF 2.5: Formação de ambientes propícios ao desenvolvimento de vetores;
- PVF 3.4: Plano de destinação de resíduos.

Ao se observar os aspectos negativos vinculados a estes PVFs pelos especialistas das concessionárias, é possível verificar que todos eles estão vinculados ao mau gerenciamento dos resíduos, como despejo irregular dos materiais, falta de reciclagem e separação dos resíduos, poluição do solo e lençol freático e risco de desastres ambientais por destinação incorreta de resíduos. Assim, um plano de destinação de resíduos adequado evitaria todos estes polos negativos citados, justificando o agrupamento de todos esses PVFs em um indicador apenas.

A resolução Conama nº 307 de 5 de julho de 2002 estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Os resíduos são classificados e tem a destinação correta definida. Segundo Damato e Romanini (2006), a reciclagem de resíduos pelas empresas concessionárias vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos. Ainda segundo os autores, o principal desafio está na adequação dos aterros municipais, refletindo na falta de capacidade para a grande quantidade de resíduos gerados. Assim, uma destinação correta impacta positivamente, por diminuir o volume de resíduos lançados diretamente nos aterros. O primeiro passo é a existência de um Plano de Gerenciamento

destes resíduos. Espera-se que com estes Planos de Gerenciamento em todas as obras de manutenção, o reaproveitamento de resíduos aumente resultando na diminuição do volume destinado aos aterros. Na quadro 14, são apresentados os níveis de impacto do indicador D1.

Quadro 14: Níveis de impacto do indicador D1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
Existe	A instituição possui plano de destinação dos resíduos	-
Existe, mas precisa de ajustes	A instituição possui o plano de destinação dos resíduos, porém o mesmo está desatualizado, necessitando de ajustes.	
Não existe, mas está em fase de elaboração	A instituição está elaborando o plano de destinação de resíduos	
Não existe	A instituição não possui o plano.	

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador D2: Existência de plano de gestão ambiental:** O consumo da população exige recursos naturais acima da capacidade de reposição do planeta (Alves, 2010). Segundo Porter e Linde (1995), as empresas deveriam internalizar todas as externalidades relativas às suas operações, ou seja, encontrar formas para compensação dos impactos que as atividades de sua produção geram ao ambiente. Uma forma de realizar esta internalização é por meio da Gestão Ambiental. O PVF levantado por Leite *et. al* (2018) gerador deste indicador, apontou que as concessionárias entendem como fundamental a elaboração de uma Plano de Gestão Ambiental para diminuir os danos ao ambiente, sendo sua falta um aspecto relacionado à imagem negativa da empresa ao setor. Desta forma, o objetivo deste indicador é verificar se a instituição responsável pela gestão da via possui um Plano de Gestão Ambiental, contendo itens norteadores com o objetivo comum de redução de impactos ambientais de suas atividades. A sugestão é que como conteúdo mínimo, este plano contemple as rotinas de fiscalização ambiental das obras, bem como diretrizes a serem seguidas pela empresa para o melhor desempenho nos indicadores formadores deste índice. No quadro 15 estão apresentados os níveis de impacto do indicador D2.

Quadro 15: Níveis de impacto do indicador D2.

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
Existe	A instituição possui o Plano de Gestão Ambiental.	-
Existe, mas precisa de ajustes	A instituição possui o Plano de gestão Ambiental, mas está desatualizado, necessitando de ajustes.	
Não existe, mas está em fase de elaboração	A instituição está elaborando o Plano de Gestão Ambiental.	
Não Existe	A instituição não possui Plano de Gestão Ambiental.	

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador E1: Número de ocorrências de restos de materiais na pista:** Os PVFs geradores deste indicador foram o 1.6 – “Sobras de material transportado”, tendo como polo negativo o assoreamento de rios e 2.9 – “Poluição visual das vias de tráfego”, tendo como conceito a limpeza das vias para evitar a poeira, que diminui a visibilidade do trecho. As ocorrências de resíduos na pista, além de oferecer riscos de acidente aos usuários por afetar a aderência pneu pavimento, tem como uma das principais consequências o assoreamento de corpos d’água e dispositivos de drenagem. Segundo Benda *et. al* (2007), os processos de assoreamento e poluição de rios córregos, lagos e reservatórios, podem ocasionar e/ou acelerar a degradação desses corpos d’água, tornando-os impróprios para usos como abastecimento, geração de energia, recreação, entre outros. O assoreamento dos dispositivos de drenagem da rodovia também é uma das causas da aquaplanagem. Além dos problemas citados, a ocorrência de restos de materiais na pista prejudica a visibilidade do trecho, principalmente em dias secos, devido a poeira gerada pelo tráfego sobre estes materiais. Assim, este indicador tem por objetivo contabilizar o número de ocorrências mensais de restos de materiais na pista após a jornada diária dos serviços de manutenção. A sugestão é que a gestora da rodovia realize inspeções no trecho e anote em fichas de monitoramento a ocorrência de restos de materiais na pista ao final da jornada. No quadro 16 são apresentados os níveis de impacto do indicador E1.

Quadro 16: Níveis de impacto do indicador E1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
0	O número de ocorrências será obtido pela verificação diária após o final da jornada diária do serviço, devendo ser anotados nas fichas de monitoração do trecho. Será contabilizado o total de ocorrências dos 30 dias anteriores ao da data da vistoria.	un
1		
2		
3		
4 ou mais		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador E2 – Número de inspeções para a monitoração do sistema de drenagem:** Os PVFs geradores deste indicador foram 1.7 – “Manutenção da Drenagem” e o 3.8 – “Limpeza das pistas e dispositivos de drenagem”. Os polos negativos relacionados a eles são alagamentos da pista, erosão e assoreamento. A falta de monitoração dos dispositivos de drenagem e a ocorrência de assoreamento destes acarretam consequências ambientais como as citadas no item anterior. A diferença entre os indicadores é que o E1 se destaca por ser preventivo (tendo em vista que é um dos agentes causador do passivo ambiental relacionado ao indicador E2) e o outro verifica um passivo ambiental existente. A vantagem de não serem agrupados em um indicador apenas é de que o índice gerado terá contribuições relacionadas à prevenção. No quadro 17 estão apresentados os níveis de impacto do indicador E2.

Quadro 17: Níveis de impacto do Indicador E2

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
8 ou mais	A periodicidade da inspeção dos dispositivos de drenagem será obtida pela apresentação de todas as fichas de monitoração dos 30 dias imediatamente anterior ao da data de vistoria.	un
6		
4		
2		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador E3 – Número de indícios de erosão no trecho devido a serviços de manutenção:** As principais condicionantes que influenciam no surgimento de erosões no sistema das estradas de rodagem são: modificação

no traçado de estradas, estudo insuficiente da drenagem, falta de proteção à vegetação marginal, sulcos produzidos pelas máquinas de construção, fogo na faixa marginal, trilho produzido pelos animais, caminhos e variantes abandonados, capina dos taludes eliminando a vegetação, águas das chuvas não desviadas dos aterros, falta de vegetação nas faixas de domínio (Bigarella, 2003). Considerando isso, é possível observar que as atividades relacionadas às obras de manutenção são causadoras de várias das condicionantes citadas por Bigarella (2003). O objetivo deste indicador é identificar e quantificar os indícios de erosão devido às atividades de manutenção da via. Para isso, a proposta é de que a gestora da rodovia realize inspeções mensais no trecho identificando o número de indícios de processos erosivos decorrentes dos serviços de manutenção. Como sugestão de método deste levantamento, os responsáveis podem realizar inspeções mensais no trecho, anotando as erosões encontradas, bem como suas características como: coordenadas, dimensões, declividade, localização em relação à rodovia, cobertura vegetal e processos erosivos atuantes, conforme Bigarella (2003) e, identificando a cada nova inspeção o surgimento de novos processos erosivos nos trechos onde foi realizada alguma obra de manutenção. Os níveis de impacto do indicador E3 são mostrados no quadro 18.

Quadro 18: Níveis de impacto do indicador E3.

Nível de Impacto	Condição para enquadramento	Unidade de medida
0	O número será obtido por inspeção visual no trecho. Deverá ser feita a observação do trecho antes e após a execução do serviço, visando contabilizar apenas os indícios de erosão oriundos dos serviços de manutenção.	un
2		
4		
6		
8		

Fonte: próprio autor, 2018.

- **Indicador E4 – Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para a reciclagem:** Conforme já citado na descrição do indicador D1, o maior problema da destinação inadequada dos resíduos, de uma maneira geral, é a superutilização dos aterros sanitários

municipais, demandando maiores áreas para este fim. Assim, quando resíduos que possuem capacidade de reciclagem não são efetivamente reciclados, acabam ocupando o espaço de outro tipo de resíduo que não possua uma destinação alternativa. O objetivo deste indicador é verificar se todos os resíduos com possibilidade de serem reutilizados estão tendo a destinação adequada. No quadro 19 são apresentados os níveis de impacto do indicador E4.

Quadro 19: Níveis de impacto do indicador E4.

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	O percentual será obtido em relação às toneladas de resíduos (Classe A e B conforme Resolução CONAMA 307/2002) que possuem a destinação à reciclagem comprovada. (valores mensais).	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador E5 – Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada:** A Resolução CONAMA 307/2002 que regulamenta a gestão dos resíduos da construção civil define que resíduos Classe D são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas solventes, óleos e outros. Ainda segundo o CONAMA, este tipo de resíduo deverá ser armazenado, transportado e destinado em conformidade com as normas técnicas. Portanto, estes resíduos possuem gestão e destinação especial, uma vez que na maioria dos casos, não se consegue realizar o reaproveitamento, bem como se forem depositados em aterros podem gerar contaminações no solo, lençol freático e corpos d'água. Assim, esse indicador busca verificar se os resíduos Classe D das obras de manutenção rodoviária possuem a destinação correta. Para isso, a empresa deverá realizar a gravimetria de seus resíduos e quantificar as toneladas que produz. O percentual será obtido pela comparação entre o volume total com destinação adequada comprovada pelo volume total produzido. No quadro 20 estão apresentados os níveis de impacto do indicador E5.

Quadro 20: Níveis de impacto do indicador E5

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
100	O percentual será obtido em relação às toneladas de resíduos contaminantes (Classe D conforme Resolução 307/2002 CONAMA) que possuem a destinação adequada comprovada (valores mensais).	%
75		
50		
25		
0		

Fonte: próprio autor, 2018.

• **Indicador F1 - Percentual de desmatamento desnecessário da mata nativa:** Este indicador teve como origem os seguintes PVFs:

- PVF 2.2: Supressão da vegetação nativa;
- PVF 2.3: Alteração nos hábitos da fauna;
- PVF 3.2: Desmatamento desnecessário para a instalação do canteiro;

Os PVFs 2.2 e 3.2 são equivalentes por se referirem ao desmatamento de forma explícita. Já o PVF 2.3 se refere aos impactos na fauna. Os impactos ambientais são gerados por ações. A ação de desmatamento causa vários impactos, como alteração do sistema de drenagem superficial natural, surgimento e intensificação de processos erosivos e assoreamentos, redução de habitat e indivíduos da fauna (DNIT, 2005). Porém esse desmatamento em alguns casos se torna inevitável para a operação da via. Ainda segundo o DNIT (2005), o desmatamento deve ser restrito às necessidades mínimas exigidas para as operações de construção e para a garantia da visibilidade dos motoristas. Assim, o objetivo deste indicador é verificar a ocorrência de desmatamentos desnecessários, que extrapolam a restrição citada acima. Para isso, a sugestão é que seja levantada a área desmatada sem necessidade (para implantação de canteiros, por exemplo) em relação a área total da faixa de domínio no trecho em análise. No quadro 21 são apresentados os níveis de impacto do indicador F1.

Quadro 21: Níveis de impacto do indicador F1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
0	O valor será obtido pela relação entre a área total de mata nativa desmatada pela área total da faixa de domínio.	%
5		
10		
15		
20		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador F2 – Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos:** O ruído é um dos mais importantes poluidores ambientais, interferindo principalmente e de maneira negativa em atividades onde a atenção e concentração são indispensáveis (PAZ e ZANIN, 2014). Além disso, o ruído elevado emitido pelos equipamentos de obras pode gerar danos irreversíveis aos funcionários, impactando diretamente sobre a qualidade de vida destes e na sociedade, responsável por arcar com o ônus de aposentadorias precoces (RODRIGUES *et. al*, 2009). Portanto, o objetivo deste indicador é a verificação do ruído no canteiro de obras de manutenção rodoviária durante o funcionamento dos equipamentos. Para isso, deverá ser utilizado o cálculo do ruído equivalente no período. Nível de ruído equivalente, ou nível de pressão sonora equivalente é definido como o nível virtual contínuo (não variável com o tempo) que tem efeito lesivo equivalente ao conjunto de níveis reais encontrados (MAIA, 2001). A NBR 10151-2000 recomenda que, no caso de o equipamento não fornecer o nível equivalente, o mesmo seja calculado pela equação 6:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

L_i : nível de pressão sonora em dB (A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;

n : número total de leituras.

A sugestão é de que as medições sejam realizadas conforme Romeu *et. al* (2011), seguindo critérios da Norma alemã (RLS 90).

A norma alemã indica que as medições sonoras sejam efetuadas a 25 m, perpendicularmente ao eixo da pista e a 15 m, perpendicularmente ao eixo da pista quando da ocorrência de recuos muito próximos de edificações, e com altura do aparelho analisador de pressão sonora de 1,20 m.

No quadro 22 são apresentados os níveis de impacto do indicador F2.

Quadro 22: Níveis de impacto do indicador F1

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
20	Nível de pressão sonora equivalente obtida no centro do canteiro da obra.	dBA
40		
60		
80		
100		

Fonte: próprio autor, 2018.

- Indicador F3 – Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária:** A operação das rodovias é contínua, sendo que qualquer obstrução no tráfego acarreta em filas, diminuição das velocidades e, conseqüentemente, aumento no tempo de viagem dos usuários. Na maioria dos casos, as obras de manutenção interferem neste fluxo de veículos devido à existência de barreiras para manutenção no pavimento, ou pelo simples fato da presença de funcionários trabalhando adjacentes as pistas o que, por segurança, implica na necessidade de diminuição da velocidade de operação da via no trecho em obras. Na pesquisa de Leite *et. al* (2018), os especialistas das concessionárias apontaram o PVF 2.7 (alteração no cotidiano da população) como um item importante para avaliação do desempenho ambiental das obras de manutenção rodoviária, devido ao aumento do trânsito na região, com conseqüente alteração nos horários de saída e chegada dos moradores da região. Como existe a necessidade de execução dessas obras e da segurança dos funcionários, a maneira de se minimizar este impacto é reduzir os prazos de execução dos serviços aos mínimos possíveis, interferindo o menor período no cotidiano da população. Assim, este indicador objetiva mensurar este aumento de interferência por meio do atraso na execução das obras. O percentual deverá ser obtido pela relação

entre os dias em excesso da execução da obra e o prazo inicialmente previsto de execução. No quadro 23 são apresentados os níveis de impacto do indicador F3.

Quadro 23: Níveis de impacto do indicador F3.

Nível de Impacto	Descrição	Unidade de medida
0	O percentual será obtido pela relação entre o total de dias de duração do serviço pelo total de dias previstos de execução, diminuídos do valor 100%.	%
25		
50		
75		
100 ou mais		

Fonte: próprio autor, 2018.

5.3 ESCOLHA DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA

A escolha dos níveis de referência representa uma etapa muito importante do método MACBETH, sendo a primeira etapa para a definição da função valor dos indicadores, tendo em vista que os níveis escolhidos como neutro possuem pontuação ancorada em 0 e os níveis definidos como bom, pontuação de 100. A seguir os níveis de referência de cada indicador serão apresentados.

- **Atendimento ao Licenciamento Ambiental – A1:** A definição dos níveis de referência do indicador A1 foi realizada pelos julgadores. Considerando que o nível bom representa o melhor desempenho viável para o indicador, os julgadores optaram pelo nível de impacto “Atende”, considerando que a Resolução Conama 237 de 1997 estabelece a obrigatoriedade do Licenciamento Ambiental para as obras rodoviárias. Como o nível neutro, o item “Atende parcialmente”, considerando que as obras que se enquadrariam nesta situação passaram pelo processo de licenciamento sendo muito provável que as ações previstas neste licenciamento ainda continuam sendo tomadas, porém devido a burocracias, ainda não possuem a Licença em dia.
- **Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária – A2:** Para este

indicador, os níveis de referência definidos pelos julgadores foram “Existe, mas precisa de ajustes” como nível bom, e “Não Existe, mas está em fase de elaboração”, como nível neutro. Como justificativa dessas escolhas, os julgadores entenderam que a simples existência do Plano de Medidas Compensatórias mesmo com a necessidade de ajustes implica num bom desempenho ambiental.

- **Percentual de obras com monitoramento ambiental – A3:** Os julgadores entenderam neste caso que 75% das obras sendo monitoradas já representam um bom desempenho para o indicador, tendo em vista que o monitoramento ambiental implica em ações ambientalmente mais corretas na execução destas obras e, se mais da metade das obras executadas no trecho possuem esse monitoramento, a probabilidade de nas obras restantes as ações ambientalmente corretas se repliquem é grande. Como nível neutro, a escolha foi o valor 50%, representando metade das obras com esse monitoramento.
- **Percentual de funcionários com treinamento ambiental – B1:** Para este indicador, os julgadores entendem que o desempenho bom é de 75 % dos funcionários com o treinamento ambiental. A justificativa é de que os 25% restantes, sem o treinamento, são influenciados pelos funcionários treinados a desenvolverem suas atividades com a conscientização e conhecimento dos impactos e consequências que elas proporcionam ao ambiente. O nível neutro escolhido foi 50% dos funcionários com o treinamento.
- **Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente– B2:** Para este indicador, os julgadores entendem que o desempenho bom só existirá se todos os funcionários utilizarem os equipamentos de proteção. Uma vez que, mesmo que 90% destes estejam utilizando EPIs, o acidente pode ocorrer com um dos funcionários que representam o 10% sem a utilização adequada. Já o nível 50 % foi o escolhido como nível neutro.
- **Percentual de equipamentos com a manutenção preventiva em dia – C1:** Mesmo que a manutenção preventiva dos equipamentos esteja em dia, a

emissão de gases de efeito estufa ocorrerá de qualquer maneira. O problema é que com a falta da manutenção, o rendimento dos equipamentos diminuirá, fazendo com que para a execução de um mesmo serviço, o equipamento necessite de mais horas produtivas, o que aumentará essas emissões em comparação à um equipamento com a manutenção adequada. Devido a isso, os julgadores definiram que o desempenho bom desse indicador seria se todos os equipamentos estivessem com a manutenção preventiva em dia, ocasionando assim no menor impacto possível para essa situação. Como nível neutro, o escolhido foi 50% dos equipamentos com a manutenção preventiva em dia.

- **Existência de Plano de Destinação de Resíduos – D1:** A Resolução CONAMA 307/2002 estabeleceu diretrizes a respeito da gestão dos resíduos das construções, instituindo a obrigatoriedade da elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, o qual deverá contemplar a caracterização dos resíduos, triagem, acondicionamento, transporte e destinação. A apresentação deste está vinculada ao processo de licenciamento ambiental dos empreendimentos. Porém, como já citado, alguns serviços de manutenção rodoviária dispensam o processo de licenciamento específico, ficando liberados com a Licença de Operação do trecho. O nível bom definido pelos julgadores foi “Existe, mas precisa de ajustes”, e o nível neutro “Não existe, mas está em fase de elaboração”. Para eles, o indicador já possui um desempenho bom quando a instituição possui o plano de destinação de resíduos de todas as obras do trecho analisado, mesmo estes necessitando de ajustes.
- **Existência de plano de gestão ambiental – D2:** A simples elaboração de um EIA/RIMA na fase de implantação de uma rodovia, segundo DNIT (2005), não atende de forma integral as funções ambientais a serem exercidas no meio rodoviário com base na Resolução CONAMA 01/86. Assim, a existência de instrumentos de gestão ambiental das atividades na fase de operação das rodovias, compreendendo o monitoramento ambiental e a definição de planos e ações de correções de curso das alterações ambientais se torna item indispensável. O DNIT (2005) cita o Plano Básico Ambiental (PBA), definido

como o estabelecimento de ações/atividades a serem desenvolvidas com vistas a prevenção ou mitigação dos impactos negativos e a maximização dos impactos positivos com a operação da via. O PBA consiste no Plano de Gestão Ambiental tratado nesta pesquisa. Neste indicador, os julgadores entenderam que o desempenho bom seria com a existência do Plano, mesmo este necessitando de ajustes, e o desempenho neutro como o Plano em fase de elaboração.

- **Número de ocorrências de restos de materiais – E1:** Conforme já citado na explicação do indicador E1, a ocorrência de restos de materiais na pista ao final da jornada de trabalho infere numa série de impactos. Para a definição dos níveis de referência deste indicador, os decisores apontaram uma ocorrência mensal como um bom desempenho neste indicador, justificando que a ocorrência única no mês implica eficiência do monitoramento que, ao apontar o problema, os cuidados para a não reincidência foram tomados. Já como nível neutro, três ocorrências mensais foi o nível definido pelos decisores.
- **Número de inspeções para o monitoramento do sistema de drenagem – E2:** A frequência de monitoramento no sistema de drenagem indicada pela ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) em períodos de chuvas intensas é diária, com desobstrução imediata se constatada a necessidade. Com base nisso, os decisores fixaram como um bom desempenho para este indicador inspeções semanais (quatro vezes ao mês) e um desempenho neutro duas inspeções mensais.
- **Número de indícios de erosão no trecho devido a serviços de manutenção – E3:** A inspeção dos terraplenos e estruturas de contenção, onde se observam os indícios de erosão, deve ser realizada simultaneamente com a inspeção dos dispositivos de drenagem, tratados no indicador E2, conforme exigências da ANTT. Ainda pela ANTT, o prazo para a recomposição de erosão deve ser de no máximo 72 horas, tendo em vista o risco que a evolução dos processos erosivos causa a estrutura da rodovia. Com base nisso, os decisores entenderam que o bom desempenho neste

indicador é a ausência de indícios de erosão no trecho, tendo em vista que neste caso, só seriam considerados os indícios resultantes de intervenções de manutenção. Como nível neutro, definiram 4 pontos de indícios de erosão.

- **Percentual de resíduos recicláveis que vão para a reciclagem – E4:** Para este indicador, os decisores entenderam que a única destinação correta para os resíduos recicláveis é a reciclagem. Desta forma, foi definido como bom desempenho a situação em que 100% dos resíduos recicláveis vão para a reciclagem. Como nível neutro, 75%. Assim, qualquer valor abaixo de 75% impactará negativamente para o índice.
- **Percentual de resíduos contaminantes que possuem destinação correta comprovada– E5:** Assim como no indicador E4, os decisores definiram neste indicador que se os resíduos contaminantes gerados nas obras de manutenção rodoviária em sua totalidade não tiverem destinação adequada conforme Resolução CONAMA, o desempenho neste item não será bom. Assim, o nível 100% ficou definido como o desempenho bom e 75% como neutro.
- **Percentual de desmatamento desnecessário de mata nativa– F1:** Conforme citado na explicação deste indicador, os impactos do desmatamento se refletem na drenagem superficial, fauna, assoreamento de corpos hídricos. Assim, para que se tenha um bom desempenho neste indicador, os decisores definiram que nenhuma área da faixa de domínio deverá ser desmatada sem necessidade para a execução da obra de manutenção. Para definir o nível neutro, foi tomado como base o percentual de área desmatada da Amazônia legal, que, segundo Ferreira *et. al* (2005), em 2003 chegou em 16,3 %. Em 2004, o governo federal lançou o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal e segundo dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), desde sua implantação a taxa de desmatamento anual caiu de 27.772 Km² em 2004 para 7.000 Km² em 2010, totalizando hoje 18% de área desmatada. Assim, os decisores fixaram como nível neutro o percentual de 10% de área da faixa de domínio desmatada.

- **Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos – F2:** a NBR 10151 fixa 70 dB(A) como nível máximo admissível de ruído e a EPA (Environmental Protection Agency) nos EUA fixa para rodovias o nível máximo de 87 dB(A). Com base nisso, os decisores fixaram os níveis de referência, sendo nível bom 60 dB(A) e nível neutro 80 dB(A).
- **Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária – F3:** A definição dos níveis de referência do indicador F3 se deu apoiado por Santos *et. al* (2014), que levantou o atraso médio das obras públicas entre 2009 e 2013, sendo em média 111%. Assim os decisores definiram que o desempenho esperado para este indicador é que não se tenha atraso, ou seja, 0%. Já como desempenho neutro, um atraso de 50%.

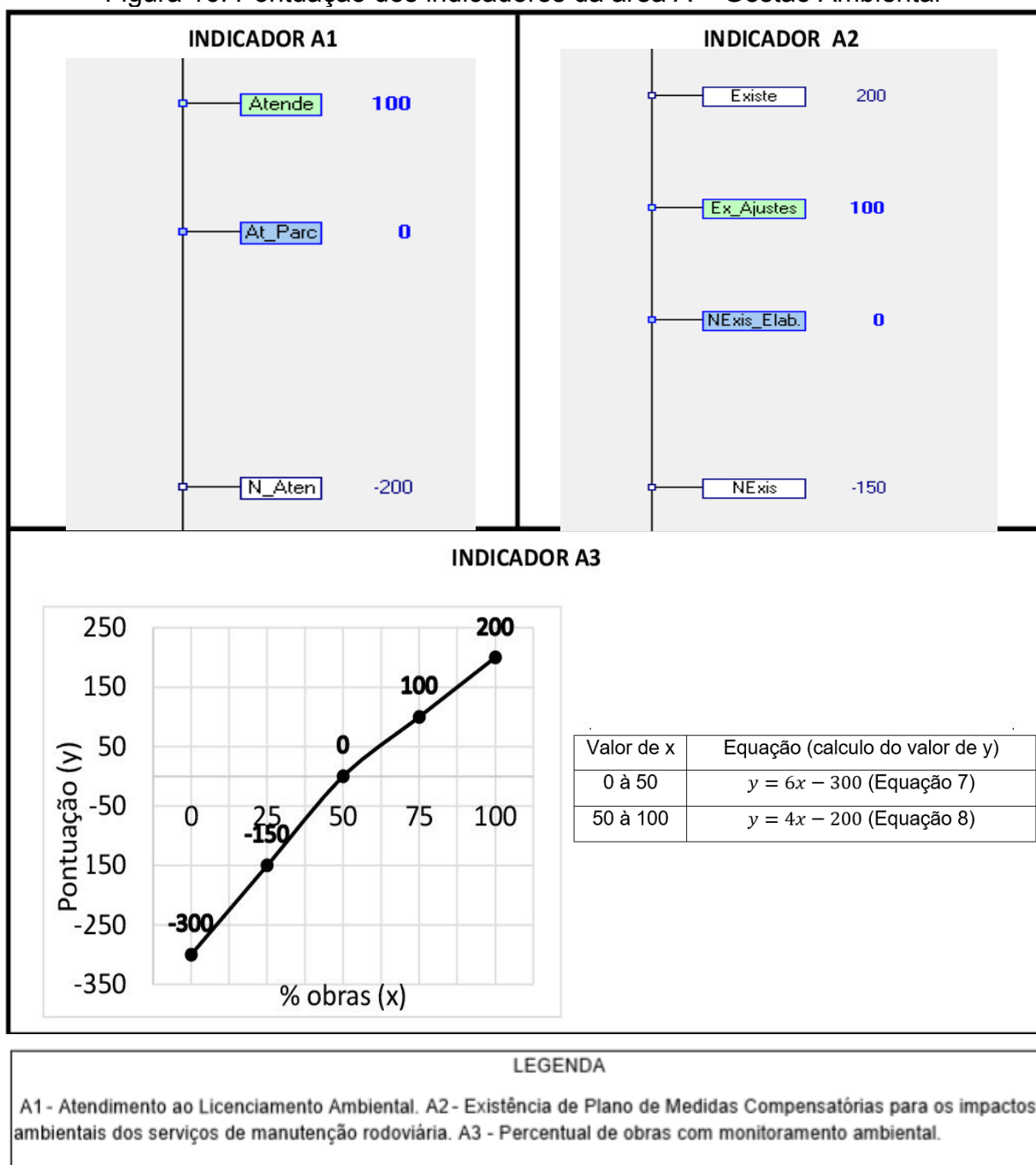
5.4 FUNÇÃO VALOR DOS INDICADORES

Após definido os níveis de referência para ancorar as pontuações, foi realizado os julgamentos de diferença de atratividade entre os níveis de impacto, resultando nas funções valores e pontuações dos indicadores que serão apresentadas na sequência.

Com a função valor do indicador é possível definir a pontuação de cada nível de impacto ou desempenho. Para os indicadores com níveis de impacto qualitativos, não é possível pontuações intermediárias entre os níveis de desempenho. Como exemplo tem-se o indicador A1 (Figura 16), onde se observa que quando o nível de desempenho for “Atende”, a pontuação será 100, se for “Atende parcialmente” a pontuação será 0, e caso seja “Não Atende”, a pontuação será -200. Assim, não existe possibilidade de níveis intermediários a estes. Para o caso de níveis quantitativos, usando como exemplo o indicador A3 (Figura 16), a função valor é representada graficamente, sendo possível determinar a pontuação de qualquer nível de desempenho por meio do gráfico ou pelas equações.

Os resultados obtidos para todos os indicadores estão representados nas Figuras 16 a 21.

Figura 16: Pontuação dos indicadores da área A – Gestão Ambiental



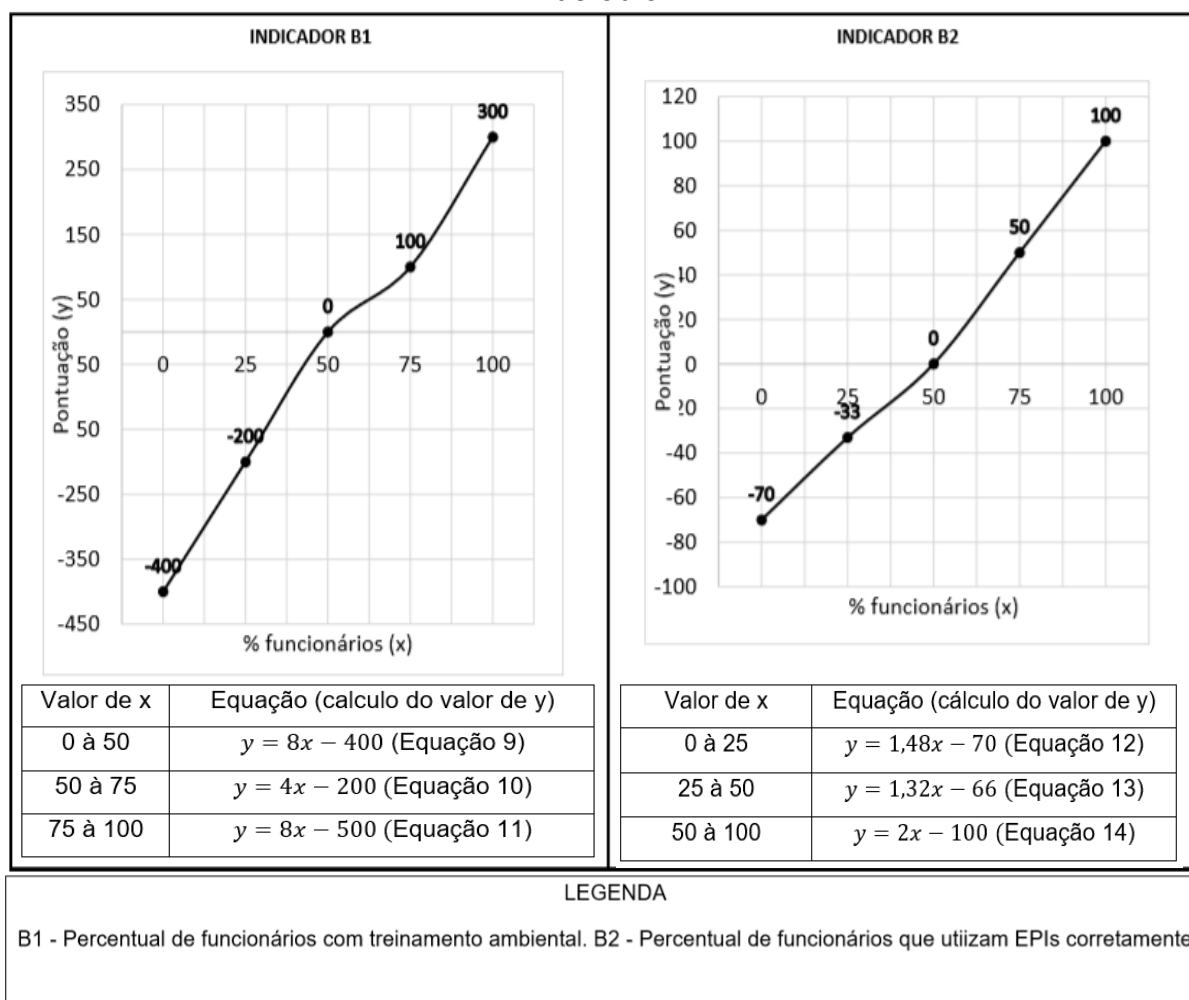
Fonte: próprio autor, 2018.

Para área A é possível observar que, segundo os julgamentos dos participantes, o impacto negativo de uma obra não possuir licenciamento ambiental (indicador A1) é representado pela pontuação -200. Já o fato da obra não possuir um plano de medidas compensatórias (indicador A2) impactará com uma pontuação negativa de -150. Sem os pesos de ponderação destes indicadores e da área definidos, não é possível identificar em qual das situações o impacto negativo no

índice será maior, porém, já se observa que os julgadores consideram uma atratividade maior para a licença ambiental (indicador A1).

No gráfico da função valor do indicador A3, observa-se duas inclinações distintas para as retas e conseqüentemente, duas equações (uma para cada reta). Para os níveis de desempenho entre 0 e 50 % a inclinação da reta é maior que para os níveis entre 50 e 100%. Isso representa que a diferença das pontuações entre os níveis 0 e 50% são maiores que entre os níveis 50 e 100%. Portanto, os julgadores consideraram que a atratividade de passar o nível 0 para o nível 50% é maior do que a de passar o nível 50% para o nível 100%.

Figura 17: Pontuação dos indicadores da área B – Treinamento e Segurança da mão de obra



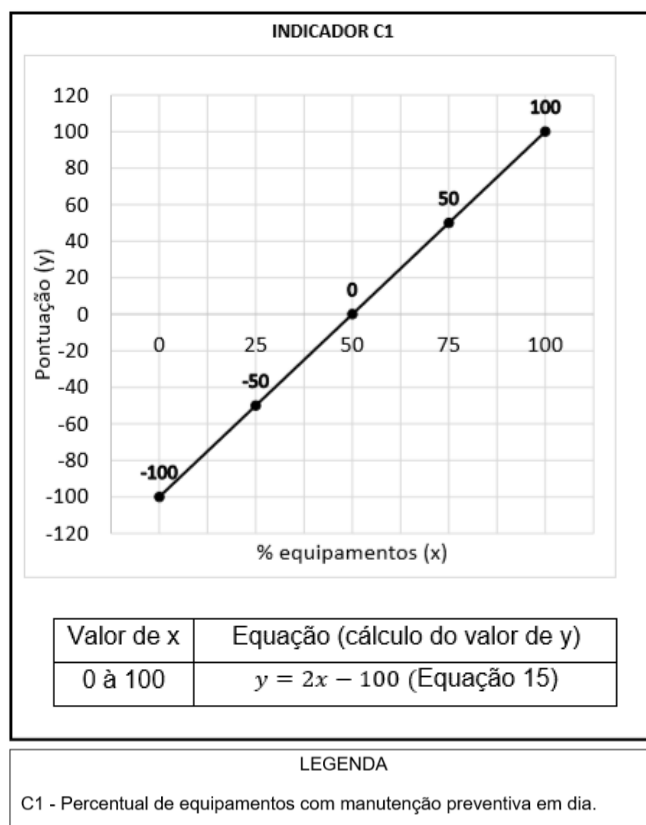
Fonte: próprio autor, 2018.

A área B apresentou dois indicadores com níveis quantitativos, portanto, com a obtenção da pontuação de forma gráfica ou pelas equações. Para o indicador B1 –

“percentual de funcionários com treinamento ambiental”, as pontuações variaram de -400 a 300. Já para o indicador B2 – “percentual de funcionários que utilizam EPIs corretamente” as pontuações variaram de -70 a 100. Essa pontuação máxima possível de 100 ao indicador B2 representa que o entendimento dos julgadores é de que o desempenho esperado seja o nível mais alto possível neste, tendo em vista que foi o nível escolhido como referência “bom”.

Os resultados demonstram também que a atratividade maior *a priori*, segundo os julgadores, é o treinamento ambiental, uma vez que tanto o impacto positivo (300 pontos), quanto negativo (-400 pontos) do indicador B1 são maiores que no indicador B2.

Figura 18 – Pontuação do indicador da área C – Manutenção de equipamentos

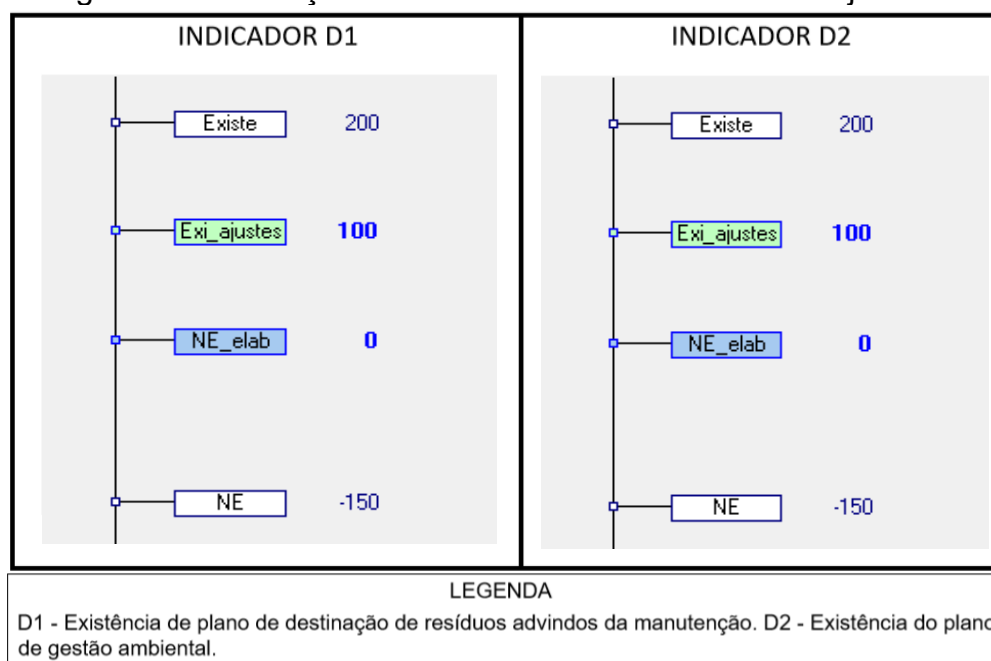


Fonte: próprio autor, 2018.

A área C apresentou um único indicador e este, com níveis de desempenho quantitativos, portanto com a pontuação obtida por meio de gráfico e equações. No gráfico da função valor é possível observar uma única inclinação para a reta e consequentemente apenas uma equação. Isso demonstra que, para os julgadores, todos os níveis de desempenho do indicador C1 – “percentual de equipamentos com

a manutenção preventiva em dia” possuem diferenças de atratividades iguais. Observa-se também que a pontuação máxima deste indicador foi de 100 pontos, refletindo a opinião de que o desempenho esperado é o nível máximo, ou seja, todos os equipamentos com a manutenção preventiva em dia.

Figura 19: Pontuação dos indicadores da área D - Planejamento

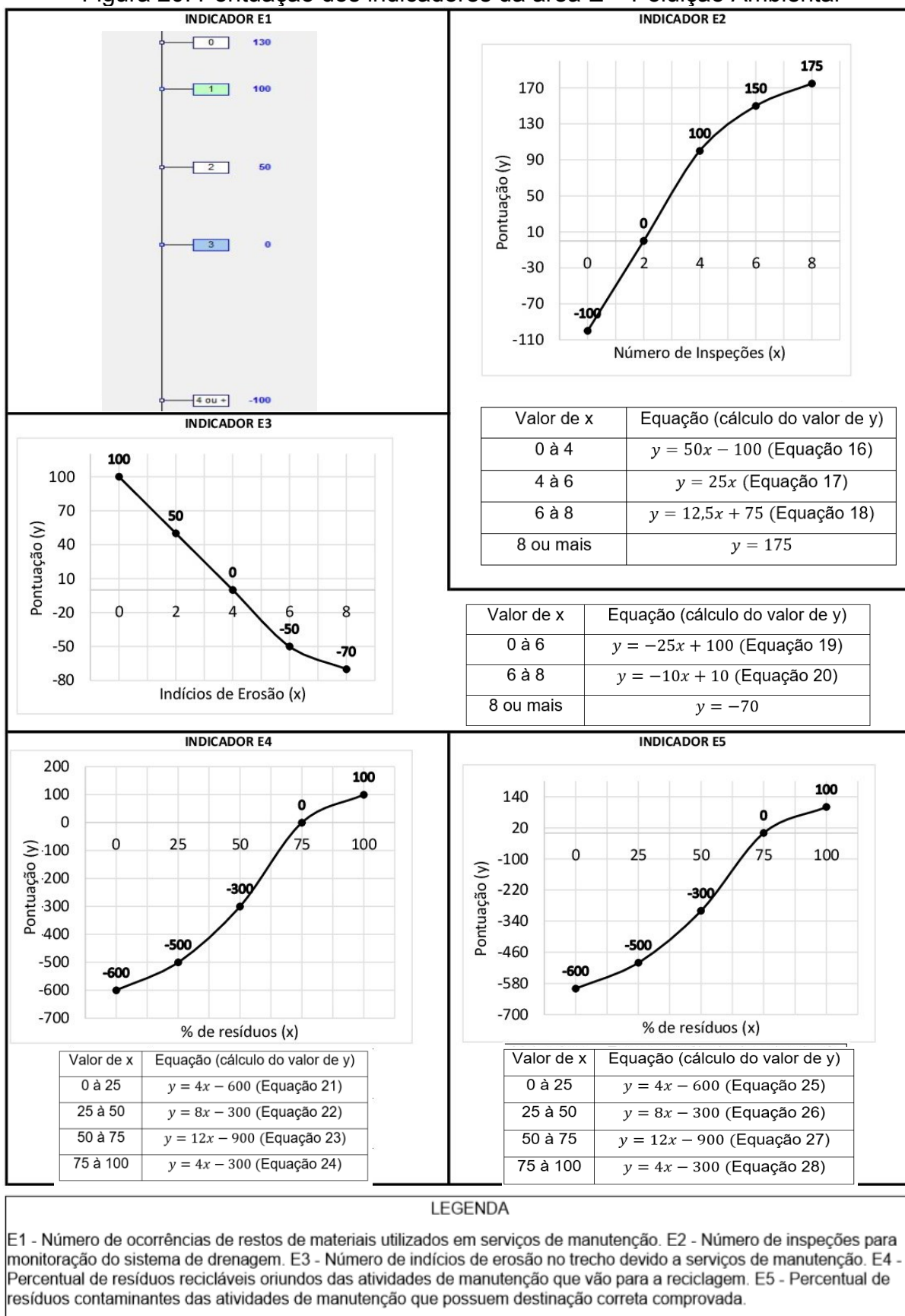


Fonte: próprio autor, 2018.

A área D apresentou dois indicadores com níveis qualitativos. As escalas de pontuações tanto do indicador D1 – “existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção” quanto do indicador D2 – “existência de plano de gestão ambiental” são iguais, não sendo possível nesta etapa, definir qual a maior atratividade apontada pelos julgadores.

Para os dois indicadores, observa-se que a diferença de atratividade entre os três níveis mais altos “Existe”, “Existe, mas precisa de ajustes” e “Não existe, mas está em fase de elaboração” são iguais, com pontuações variando em 100 pontos entre eles. Porém, o nível de desempenho mais baixo “Não Existe” recebe uma pontuação negativa de -150. Isso representa a atratividade maior atribuída pelos julgadores para que a gestora da via tenha ao menos a preocupação em estar elaborando os instrumentos de planejamento.

Figura 20: Pontuação dos indicadores da área E – Poluição Ambiental

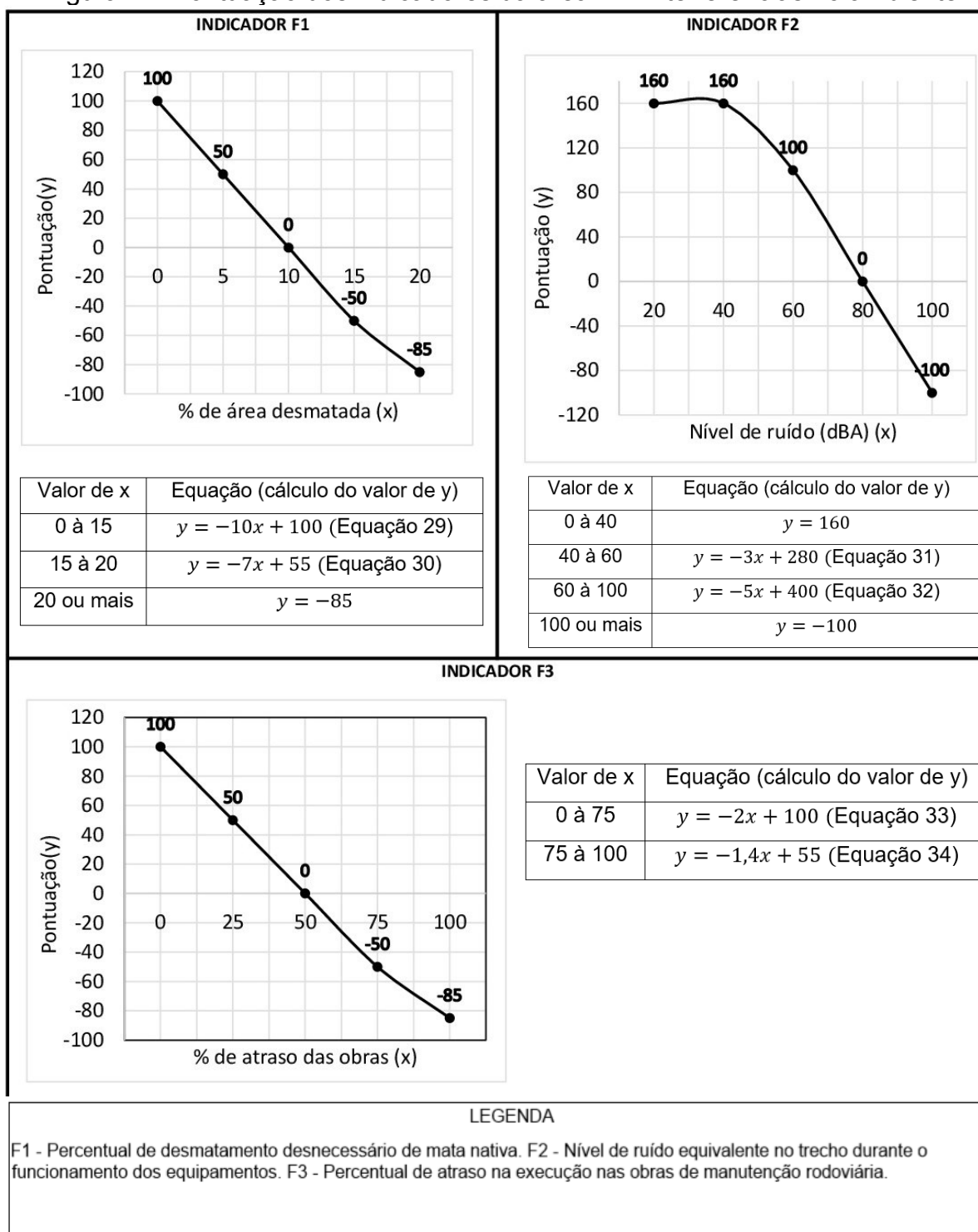


Fonte: próprio autor, 2018.

A área E foi a que apresentou o maior número de indicadores, sendo quatro com níveis quantitativos e um com níveis qualitativos. Os indicadores E3, E4 e E5 apresentaram pontuação máxima de 100, o que representa que o desempenho esperado para eles é o nível máximo.

A maior amplitude das pontuações foi observada nos indicadores E4 e E5, totalizando 700 pontos, com pontuação máxima de 100 e mínima de -600. Isso demonstra que a maior atratividade apontada pelos julgamentos holísticos dos participantes é destes dois indicadores. A grande pontuação negativa em comparação aos outros indicadores da área E reflete a preocupação de que nestes indicadores os níveis de desempenho esperado não sejam atingidos. Assim, níveis inferiores teriam um grande impacto negativo no índice.

Figura 21: Pontuação dos indicadores da área F – Interferências no ambiente



Fonte: próprio autor, 2019.

Os três indicadores da área F possuem níveis quantitativos, portanto, com as pontuações obtidas pelos gráficos e equações. Em todos os casos, os coeficientes angulares das equações das retas são negativos. Isso se deve ao fato das retas

serem decrescentes. Assim, quanto menor os níveis quantitativos dos indicadores, maior será a pontuação.

No indicador F2 – “nível de ruído equivalente” foi observado uma reta horizontal entre os níveis de impacto 20 dbA e 40 dbA, que representa pontuação constante. Isso reflete a opinião de indiferença dos julgadores entre os níveis 20 e 40 dbA. Assim, quando o nível de ruído equivalente for menor que 40 dbA, a pontuação do indicador será constante de 160.

5.5 PESOS DE PONDERAÇÃO DOS INDICADORES

Para as áreas que tiveram mais de um indicador, antes de dar início aos julgamentos de diferença de atratividade para atribuir os pesos de ponderação dos indicadores, foi necessário ordená-los. Estas áreas foram Gestão Ambiental (A), Treinamento e Segurança da Mão de Obra (B), Planejamento (D), Poluição Ambiental (E) e Interferências no ambiente (F). Os resultados das matrizes de ordenação dos indicadores dentro de cada uma delas estão apresentados nos quadros 24 a 28.

Quadro 24: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Gestão Ambiental”.

Gestão Ambiental - A					
	A1	A2	A3	Pontuação	Ordem
A1		1	0	1	2º
A2	0		0	0	3º
A3	1	1		2	1º

Fonte: próprio autor, 2018.

Quadro 25: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”.

Treinamento e Segurança da Mão de Obra - B				
	B1	B2	Pontuação	Ordem
B1		1	1	1º
B2	0		0	2º

Fonte: próprio autor, 2018.

Quadro 26: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Planejamento”.

Planejamento - D				
	D1	D2	Pontuação	Ordem
D1		1	1	1º
D2	0		0	2º

Fonte: próprio autor, 2018.

Quadro 27: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Poluição Ambiental”.

Poluição Ambiental - E							
	E1	E2	E3	E4	E5	Pontuação	Ordem
E1		1	0	0	0	1	4º
E2	0		0	0	0	0	5º
E3	1	1		0	0	2	3º
E4	1	1	1		0	3	2
E5	1	1	1	1		4	1

Fonte: próprio autor, 2018.

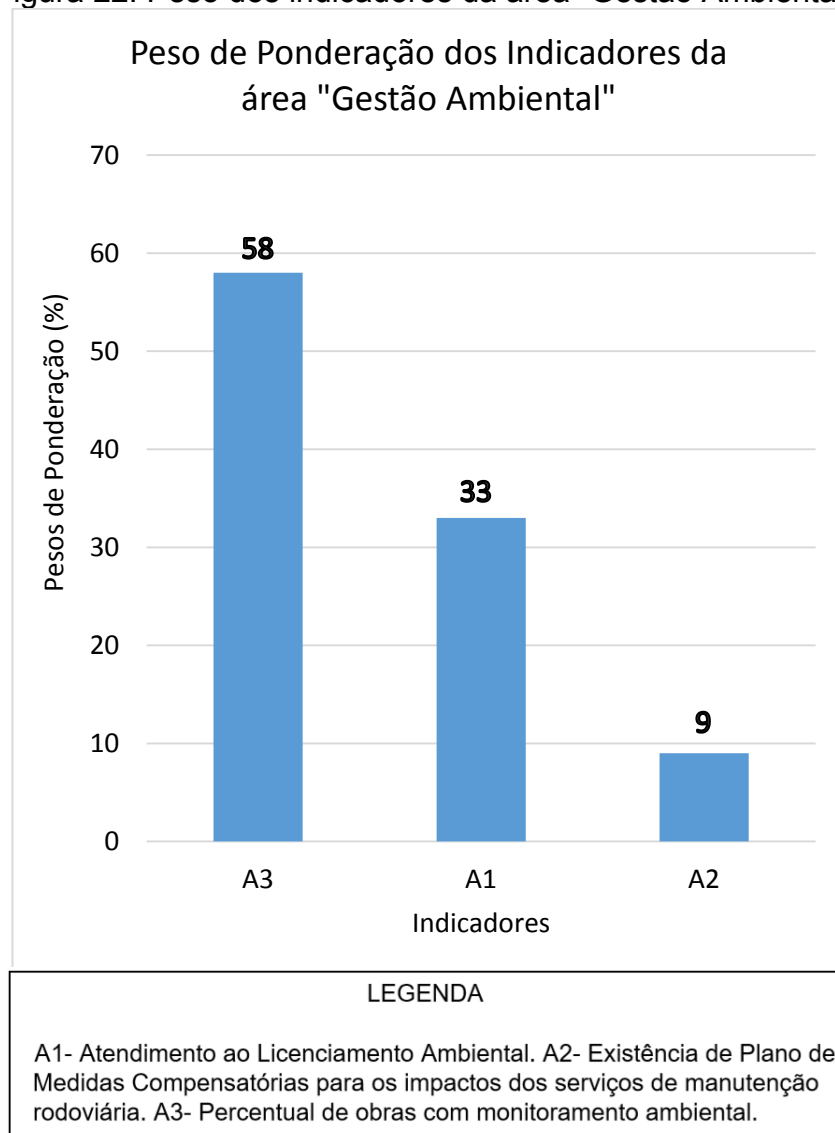
Quadro 28: Matriz de ordenação dos indicadores da área “Interferências no ambiente”.

Interferências no ambiente - F					
	F1	F2	F3	Pontuação	Ordem
F1		1	1	2	1º
F2	0		0	0	3º
F3	0	1		1	2º

Fonte: próprio autor, 2018.

Com a ordenação dos indicadores dentro de cada área definida, os julgamentos de atratividade foram realizados, resultando nos pesos de ponderação representados nas Figuras 22, 23, 24, 25 e 26.

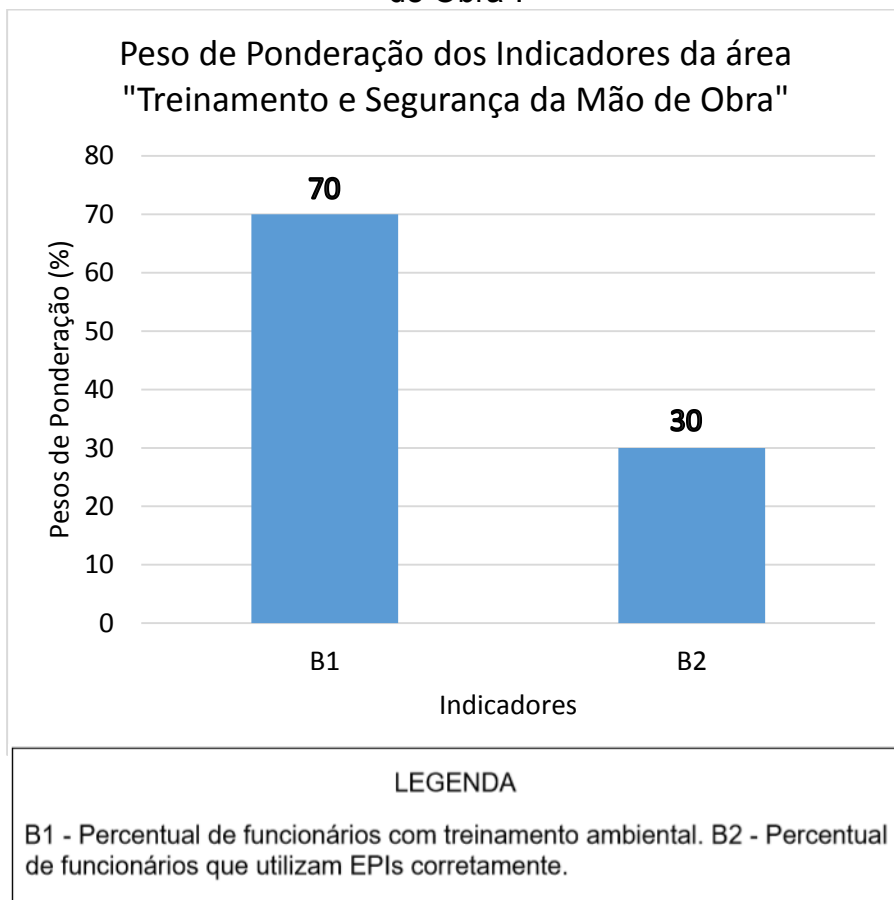
Figura 22: Peso dos indicadores da área “Gestão Ambiental”.



Fonte: próprio autor, 2018.

Para a área de Gestão Ambiental (A), o indicador com o maior peso foi o A3 – “percentual de obras com monitoramento ambiental”. Isso reforça o que foi observado na pontuação dos indicadores, sendo que entre os três, as maiores pontuações que demonstravam as maiores diferenças de atratividades entre os níveis foram do indicador A3. Observa-se também que o indicador A1- “atendimento ao licenciamento ambiental” obteve peso de ponderação maior que o indicador A2, confirmando a maior atratividade apontada pelos julgadores ao licenciamento ambiental (indicador A1) em relação ao plano de medidas compensatórias (indicador A2).

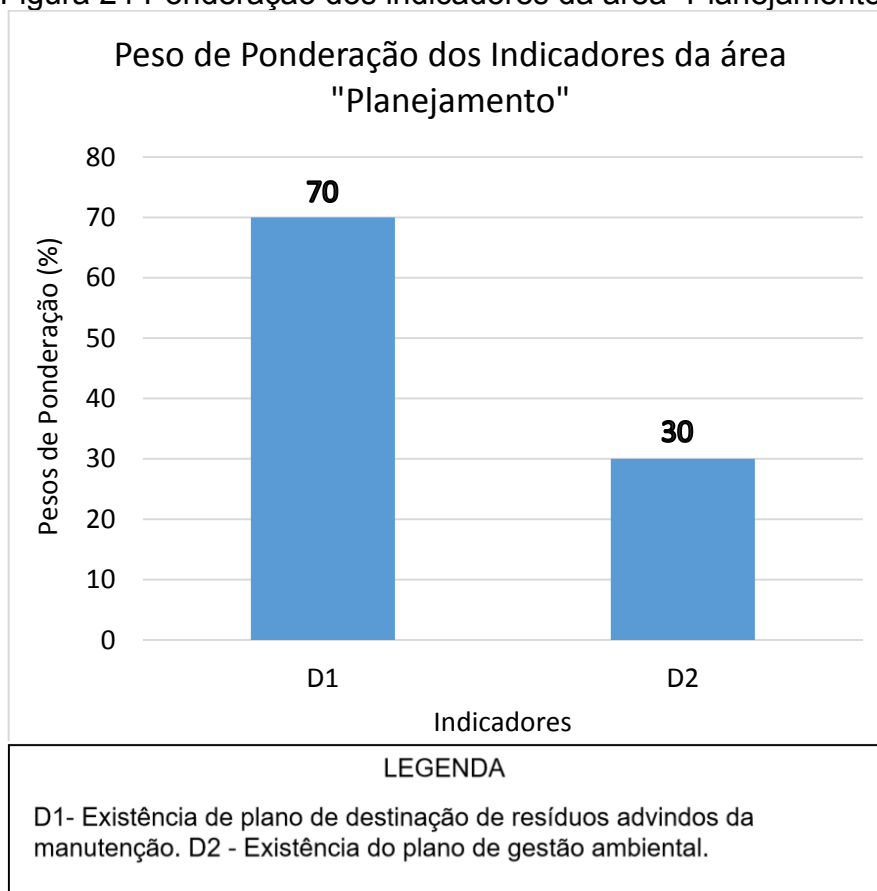
Figura 23: Ponderação dos indicadores da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”.



Fonte: próprio autor, 2018.

Para a área B, o indicador com maior peso de ponderação foi o B1 – “percentual de funcionários com treinamento ambiental”. Comparando este resultado com a pontuação dos níveis dos indicadores, observa-se uma confirmação da opinião dos julgadores de que há uma maior atratividade para o treinamento ambiental dos funcionários em relação ao uso correto de EPIs para a verificação do desempenho ambiental global de uma obra de manutenção rodoviária.

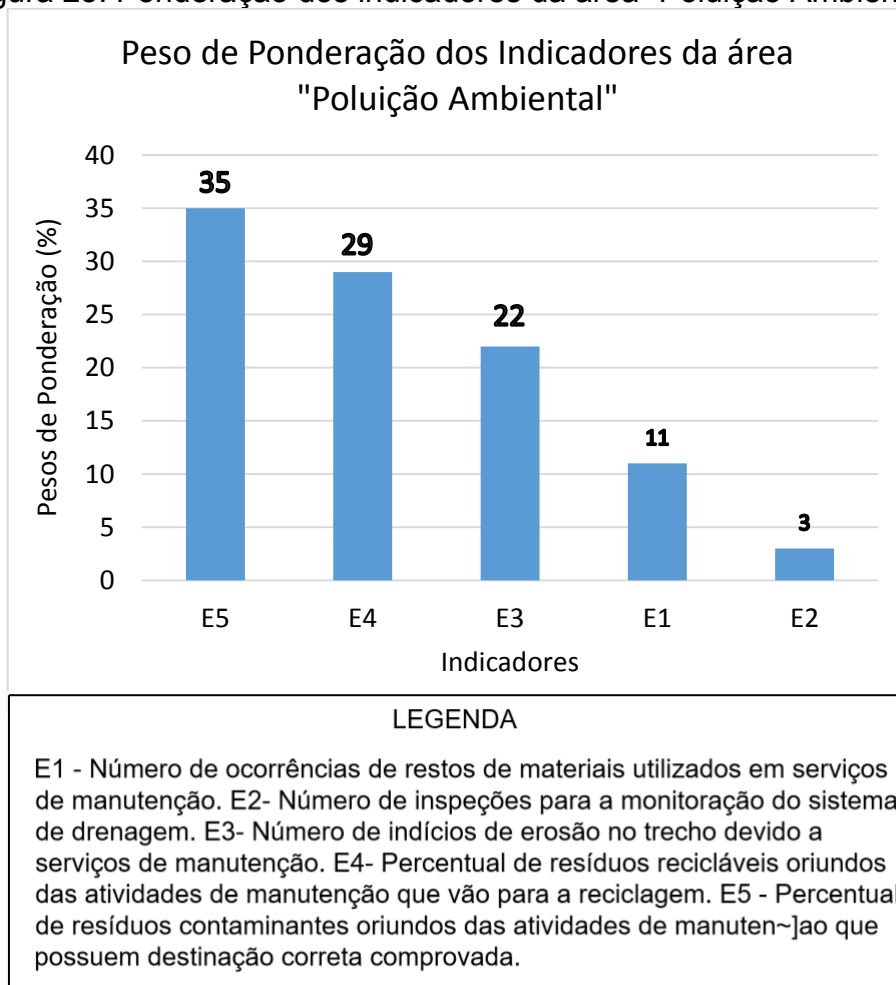
Figura 24 Ponderação dos indicadores da área "Planejamento".



Fonte: próprio autor, 2018.

Para os indicadores da área D, com a análise da pontuação dos níveis de desempenho não foi possível verificar qual dos indicadores era considerado o mais atrativo, tendo em vista que as pontuações obtidas foram iguais. Porém, com o resultado dos pesos de ponderação, observa-se que o indicador D1 – “existência de plano de destinação de resíduos” apresentou uma importância maior em relação ao D2 – “existência de plano de gestão ambiental” segundo os julgadores, tendo em vista que apresentou um peso de ponderação superior.

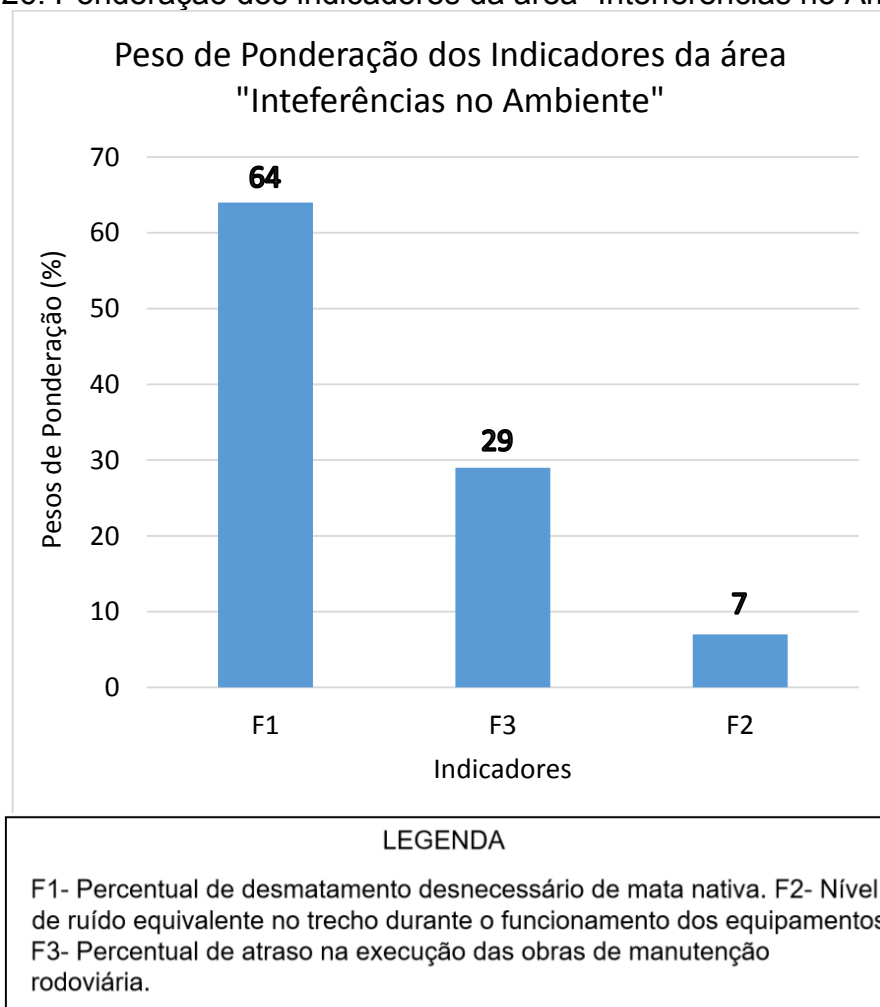
Figura 25: Ponderação dos indicadores da área "Poluição Ambiental".



Fonte: próprio autor, 2018.

Os indicadores da área E que apresentaram os maiores pesos de ponderação foram E5, E4 e E3. Mais uma vez foi verificada a relação com a pontuação, uma vez que foram esses três indicadores que apresentaram as maiores pontuações dos níveis de desempenho, demonstrando as maiores atividades.

Figura 26: Ponderação dos indicadores da área “Interferências no Ambiente”.



Fonte: próprio autor, 2018.

Na área F observou-se o maior peso de ponderação para o indicador F1 – “percentual de desmatamento desnecessário da mata nativa”. Esta foi a única área em que o indicador que apresentou as maiores pontuações entre os níveis de desempenho (indicador F2) não apresentou o maior peso de ponderação. Isso contribuirá com um maior equilíbrio, uma vez que o indicador com maior pontuação possível será ponderado no índice com um peso menor.

5.6 PESOS DE PONDERAÇÃO DAS ÁREAS

A última etapa para a elaboração do índice foi a definição dos pesos de ponderação entre as áreas. O resultado da matriz de ordenação entre as áreas está apresentado no quadro 29.

Quadro 29: Matriz de Ordenação das áreas do IPA-MR

IPA-MR								
	A	B	C	D	E	F	Pontuação	Ordem
A		1	1	1	0	1	4	2º
B	0		1	1	0	0	2	4º
C	0	0		0	0	0	0	6º
D	0	0	1		0	0	1	5º
E	1	1	1	1		1	5	1º
F	0	1	1	1	0		3	3º

Fonte: próprio autor, 2018.

A matriz resultou na seguinte ordenação das áreas:

- 1º - E – Poluição Ambiental;
- 2º - A – Gestão Ambiental;
- 3º - F – Interferências no Ambiente;
- 4º - B – Treinamento e Segurança da Mão de Obra;
- 5º - D – Planejamento;
- 6º - C – Manutenção de equipamentos.

Com as áreas ordenadas, o julgamento da diferença de atratividade entre elas foi realizado, conforme Figura 27.

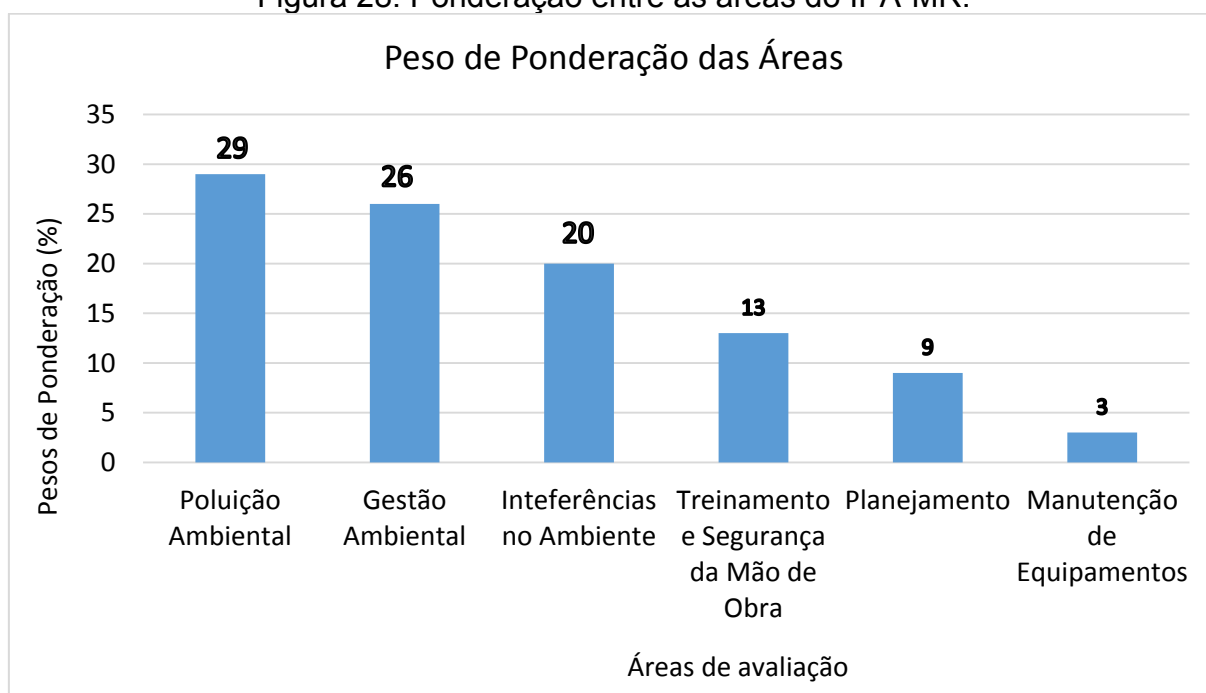
Figura 27: Matriz de julgamentos de juízo de valor entre as áreas do IPA-MR

	[Polu_Amb]	[Ges_amb]	[Interf_Amb]	[Trein_MO]	[Plan]	[Manut_Equip]	[tudo inf.]
[Polu_Amb]	nula	frac-mod	moderada	forte	fort-mfort	mt. forte	positiva
[Ges_amb]		nula	moderada	mod-fort	forte	forte	positiva
[Interf_Amb]			nula	mod-fort	forte	forte	positiva
[Trein_MO]				nula	moderada	moderada	positiva
[Plan]					nula	moderada	positiva
[Manut_Equip]						nula	positiva
[tudo inf.]							nula

Fonte: próprio autor, 2018.

Os julgamentos de diferença de atratividade representados na Figura 27 resultaram nos pesos de ponderação das áreas apresentados no histograma da Figura 28.

Figura 28: Ponderação entre as áreas do IPA-MR.



Fonte: próprio autor, 2018.

Observa-se que a área Poluição Ambiental (E) obteve o maior peso de ponderação. Esta área possui o maior número de indicadores (cinco). Com isso, acaba ocorrendo uma compensação uma vez que, devido ao número grande indicadores em relação às outras áreas, poderia ocorrer uma menor representatividade destes na composição global do índice.

Em contrapartida, o menor peso de ponderação foi da área Manutenção de equipamentos (C) que possui apenas um indicador.

5.7 ELABORAÇÃO DO ÍNDICE

A obtenção do índice se deu por agregação aditiva, conforme equação 35, e recebeu o nome de Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária (IPA-MR).

$$IPA - MR = 0,26 * A + 0,13 * B + 0,03 * C + 0,09 * D + 0,29 * E + 0,2 * F \quad (\text{Equação } 35)$$

Em que:

IPA – MR: Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária;

A: Pontuação da área “Gestão Ambiental”;

B: Pontuação da área “Treinamento e Segurança da Mão de Obra”;

C: Pontuação da área “Manutenção de Equipamentos”;

D: Pontuação da área “Planejamento”;

E: Pontuação da área “Poluição Ambiental”;

F: Pontuação da área “Interferências no Ambiente”.

Os resultados para a obtenção da pontuação de cada área estão representados nas equações 36, 37, 38, 39 e 40.

$$A = 0,33 * A1 + 0,09 * A2 + 0,58 * A3 \text{ (Equação 36)}$$

Em que:

A1: Pontuação do indicador A1”;

A2: Pontuação do indicador A2”;

A3: Pontuação do indicador A3”;

$$B = 0,70 * B1 + 0,30 * B2 \text{ (Equação 37)}$$

Em que:

B1: Pontuação do indicador B1”;

B2: Pontuação do indicador B2”;

$$C = C1$$

Em que:

C1: Pontuação do indicador C1”;

$$D = 0,70 * D1 + 0,30 * D2 \text{ (Equação 38)}$$

Em que:

D1: Pontuação do indicador D1”;

D2: Pontuação do indicador D2”;

$$E = 0,11 * E1 + 0,03 * E2 + 0,22 * E3 + 0,29 * E4 + 0,35 * E5 \text{ (Equação 39)}$$

Em que:

E1: Pontuação do indicador E1”;

E2: Pontuação do indicador E2;

E3: Pontuação do indicador E3”;

E4: Pontuação do indicador E4”;

E5: Pontuação do indicador E5;

$$F = 0,64 * F1 + 0,07 * F2 + 0,29 * F3 \text{ (Equação 40)}$$

Em que:

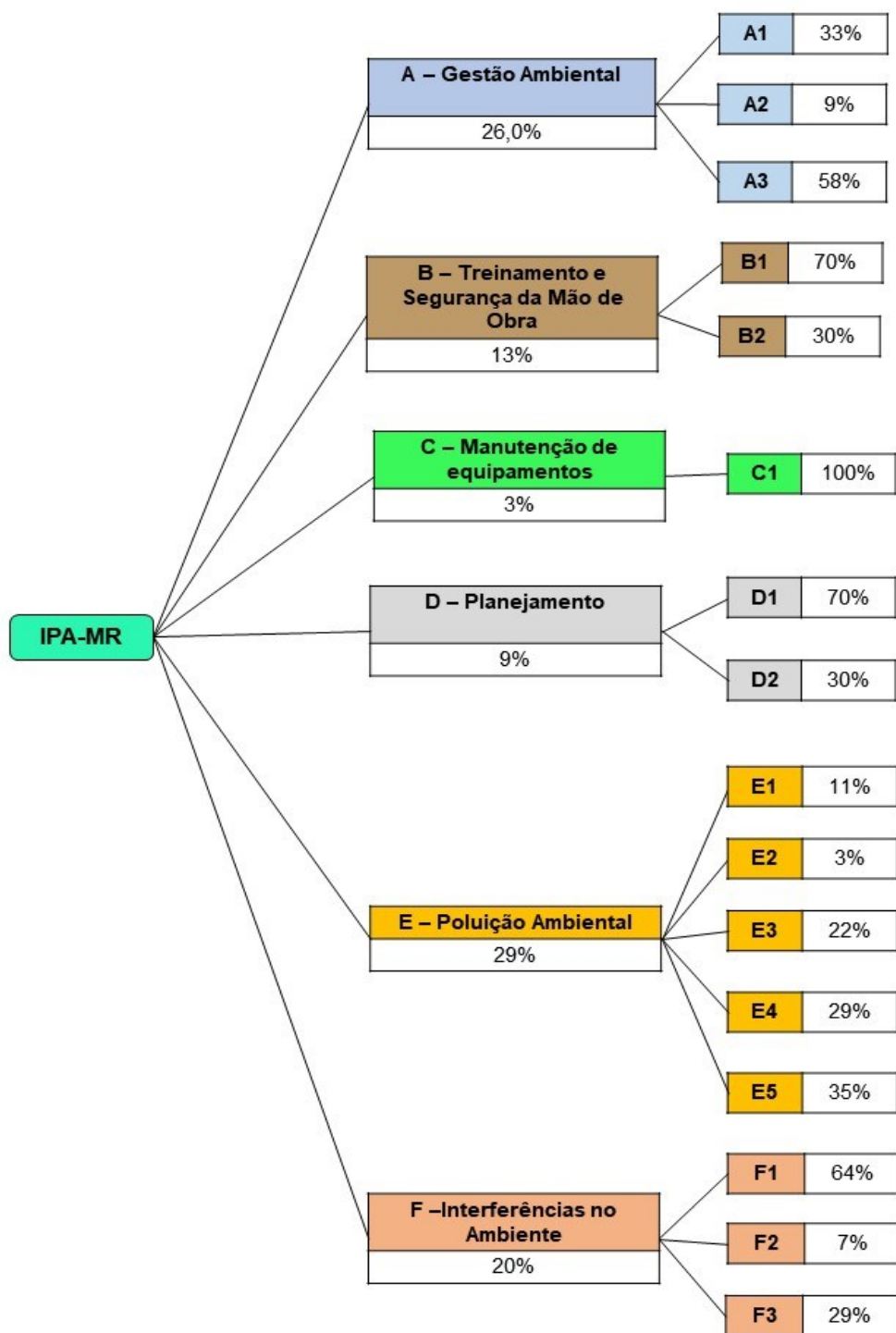
F1: Pontuação do indicador F1;

F2: Pontuação do indicador F2;

F3: Pontuação do indicador F3;

Na Figuras 29 e 30 são apresentados um panorama geral por meio da arborização com os pesos de ponderação das áreas e indicadores que compõem o IPA-MR bem como uma legenda.

Figura 29: Arborização do IPA-MR



Fonte: próprio autor, 2019.

Figura 30: Legenda dos indicadores do IPA-MR

LEGENDA

- A1 - Atendimento ao Licenciamento Ambiental.
- A2 - Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária.
- A3 - Percentual de obras com monitoramento ambiental.
- B1 - Percentual de funcionários com treinamento ambiental.
- B2 - Percentual de funcionários que utilizam EPIs corretamente.
- C1 - Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia.
- D1 - Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção.
- D2 - Existência do plano de gestão ambiental.
- E1 - Número de ocorrências de restos de materiais utilizados em serviços de manutenção.
- E2 - Número de inspeções para a monitoração do sistema de drenagem.
- E3 - Número de indícios de erosão no trecho devido a serviços de manutenção.
- E4 - Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para a reciclagem.
- E5 - Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada.
- F1 - Percentual de desmatamento desnecessário de mata ativa.
- F2 - Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos.
- F3 - Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária.

Fonte: próprio autor, 2019.

Na configuração apresentada na equação 35, os valores do IPA-MR podem variar entre -258,64 como valor mínimo e 147,07 como valor máximo, conforme apresentado no quadro 30.

Quadro 30: Pontuações mínimas e máximas dos indicadores e do IPA-MR

ÁREAS		INDICADORES				IPA-MR		
Nome	Peso	Nome	Peso	Pontuação mínima	Pontuação Máxima	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude
Poluição Ambiental (E)	0,29	E5	0,35	-600	100	-258,64	147,07	405,71
		E4	0,29	-600	100			
		E3	0,22	-70	100			
		E1	0,11	-100	130			
		E2	0,03	-100	175			
Gestão Ambiental (A)	0,26	A3	0,58	-300	200			
		A1	0,33	-200	100			
		A2	0,09	-150	200			
Interferências no Ambiente (F)	0,20	F1	0,64	-85	100			
		F3	0,29	-85	100			
		F2	0,07	-100	160			
Treinamento e Segurança da Mão de Obra (B)	0,13	B1	0,7	-400	300			
		B2	0,3	-70	100			
Planejamento (D)	0,09	D1	0,7	-150	200			
		D2	0,3	-150	200			
Manutenção de Equipamentos (C)	0,03	C1	1	-100	100			

Fonte: próprio autor, 2018.

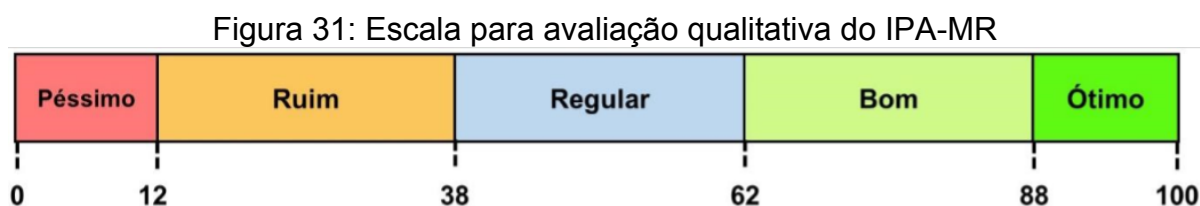
Para facilitar a apresentação e compreensão final do IPA-MR, optou-se pela normalização do índice, fixando os valores finais entre 0 (valor mínimo) e 100 (valor máximo). Para isso, o resultado da equação final do IPA-MR deverá ser multiplicado por um valor x e somado ao valor 63,75. O valor x é definido pela divisão do número 100 pela amplitude do índice (405,71), resultando no valor fixo de 0,246.

Com isso, a representação final do IPA-MR será conforme equação 41.

$$IPA - MR = 63,75 + 0,246 * (0,26 * A + 0,13 * B + 0,03 * C + 0,09 * D + 0,29 * E + 0,2 * F) \text{ (Equação 41)}$$

5.8 CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA

Com os valores do IPA-MR definido entre 0 representando o pior desempenho ambiental e 100 o melhor, é possível sugerir intervalos de valores para possibilitar uma avaliação qualitativa. Rodrigues (2018) sugeriu uma classificação que poderá ser replicada para o IPA-MR conforme demonstrado na Figura 31.



Fonte: adaptado de Rodrigues (2018)

5.9 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nesta seção serão apresentados os resultados da análise de sensibilidade, pelo software *VIP Analysis*, para a validação dos pesos de ponderação dos indicadores do IPA-MR gerados no software M-MACBETH.

Conforme explicitado na metodologia, foi solicitado a profissionais de duas concessionárias que expressassem diretamente os pesos de ponderação que julgassem adequados para cada indicador e área de interesse obtidos nesta pesquisa. Os resultados, de acordo com a opinião dos experts das concessionárias A e B, estão demonstrados nos quadros 31 e 32, respectivamente.

Quadro 31: Pesos dos indicadores e áreas apontados pelos profissionais da concessionária A

ÁREAS		INDICADORES	
Nome	Peso (%)	Nome	Peso (%)
Poluição Ambiental	25	Número de ocorrências mensais de restos de materiais utilizados em serviços de manutenção	10
		Número de inspeções mensais para a monitoramento do sistema de drenagem.	10
		Número de indícios de erosão no trecho devido à serviços de manutenção	20
		Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para reciclagem	20
		Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada.	40
Gestão Ambiental	25	Percentual das obras com monitoramento ambiental.	20
		Existência de Licença Ambiental para o serviço	50
		Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária	30
Interferências no Ambiente	15	Percentual de desmatamento desnecessário de mata nativa.	80
		Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos (NBR 10151)	10
		Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária.	10
Treinamento e Segurança da Mão de Obra	10	Percentual de funcionários com treinamento ambiental	50
		Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente	50
Planejamento	15	Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção.	50
		Existência de Plano de Gestão Ambiental	50
		SOMA	100%
Manutenção de equipamentos	10	Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia.	100

Fonte: próprio autor, 2019.

Quadro 32: Pesos dos indicadores e áreas apontados pela concessionária B

ÁREAS		INDICADORES	
Nome	Peso	Nome	Peso
Poluição Ambiental	27,5	Número de ocorrências mensais de restos de materiais utilizados em serviços de manutenção	13
		Número de inspeções mensais para a monitoramento do sistema de drenagem.	4
		Número de indícios de erosão no trecho devido à serviços de manutenção	22
		Percentual de resíduos recicláveis oriundos das atividades de manutenção que vão para reciclagem	29
		Percentual de resíduos contaminantes oriundos das atividades de manutenção que possuem destinação correta comprovada.	32
		SOMA	100%
Gestão Ambiental	24	Percentual das obras com monitoramento ambiental.	29
		Existência de Licença Ambiental para o serviço	13
		Existência de Plano de Medidas Compensatórias para os impactos ambientais dos serviços de manutenção rodoviária	58
		SOMA	100%
Interferências no Ambiente	21,5	Percentual de desmatamento desnecessário de mata nativa.	58
		Nível de ruído equivalente no trecho durante o funcionamento dos equipamentos (NBR 10151)	9
		Percentual de atraso na execução nas obras de manutenção rodoviária.	33
		SOMA	100%
Treinamento e Segurança da Mão de Obra	12	Percentual de funcionários com treinamento ambiental	67
		Percentual de funcionários que utilizam os EPIs corretamente	33
		SOMA	100%
Planejamento	10	Existência de plano de destinação de resíduos advindos da manutenção.	65
		Existência de Plano de Gestão Ambiental	35
		SOMA	100%
Manutenção de equipamentos	5	Percentual de equipamentos com manutenção preventiva em dia.	100
		SOMA	100%

Fonte: próprio autor, 2019.

As alternativas foram lançadas no software *VIP Analysis*, sendo:

- Alternativa 1- Indicadores com os pesos obtidos nesta pesquisa pelo método MACBETH;
- Alternativa 2 – Indicadores com os pesos apontados por profissionais da concessionária A;
- Alternativa 3 – Indicadores com os pesos apontados por profissionais da concessionária B;

Os resultados dos pesos absolutos dos indicadores para cada uma das alternativas estão demonstrados no Quadro 33.

Quadro 33: Desempenho dos critérios das alternativas

Critérios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
A1	8,58	5,00	7,00
A2	2,34	12,50	3,00
A3	15,08	7,50	14,00
B1	9,10	5,00	8,00
B2	3,90	5,00	4,00
C1	3,00	10,00	5,00
D1	6,30	7,50	6,50
D2	2,70	7,50	3,50
E1	3,19	2,50	3,50
E2	0,87	2,50	1,00
E3	6,38	5,00	6,00
E4	8,41	5,00	8,00
E5	10,15	10,00	9,00
F1	12,80	12,00	12,50
F2	1,40	1,50	2,00
F3	5,80	1,50	7,00

Fonte: próprio autor, 2019.

É possível constatar inicialmente que a importância dada aos indicadores, na maioria dos casos, foi semelhante, como exemplo os indicadores B2, E5 e F1 que em ambas as alternativas apresentaram pesos absolutos parecidos. Para a alternativa 1, com os pesos obtidos pelo software M-MACBETH e alternativa 3, referente a opinião dos experts da concessionária B, o indicador com maior representatividade no IPA-MR foi o A3 – “Percentual de obras com monitoramento ambiental”. Já na alternativa 2, o indicador com maior peso foi o A2 – “Existência de

plano de medidas compensatórias”. Observa-se também uma equivalência entre as alternativas 1 e 3 em relação ao indicador com menor peso, sendo em ambos os casos o E2 – “Número de inspeções para monitoração do sistema de drenagem”.

Na Figura 32 está demonstrado a matriz com os critérios e os respectivos desempenho em cada uma das três alternativas, conforme foram lançados no software *VIP Analysis*.

Figura 32: Matriz de critérios e desempenho *VIP Analysis*

Criteria:	A1	A2	A3	B1	B2	C1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	F1	F2	F3
Importan																
Alt_1	8.58	2.34	15.08	9.1	3.9	3	6.3	2.7	3.19	0.87	6.38	8.41	10.15	12.8	1.4	5.8
Alt 2	5	12.5	7.5	5	5	10	7.5	7.5	2.5	2.5	5	5	10	12	1.5	1.5
Alt 3	7	3	14	8	4	5	6.5	3.5	3.5	1	6	8	9	12.5	2	7

Fonte: próprio autor, 2019.

Na próxima seção são apresentados os resultados para os diferentes cenários.

5.9.1 Cenário 1

No primeiro cenário, em que não foi considerado nenhuma restrição de ordem dos critérios, o *software* teve liberdade total para variar os parâmetros de importância dos critérios. Assim, os resultados para os valores mínimos e máximo e valores de máximo arrependimento de cada alternativa estão demonstrados no quadro 34.

Quadro 34: Resumo dos resultados do *VIP Analysis* para o Cenário 1

Alternativas	Valor mínimo	Valor máximo	Máximo Arrependimento
Alternativa 1	0,87	15,08	10,16
Alternativa 2	1,50	12,50	7,58
Alternativa 3	1,00	14,00	9,50

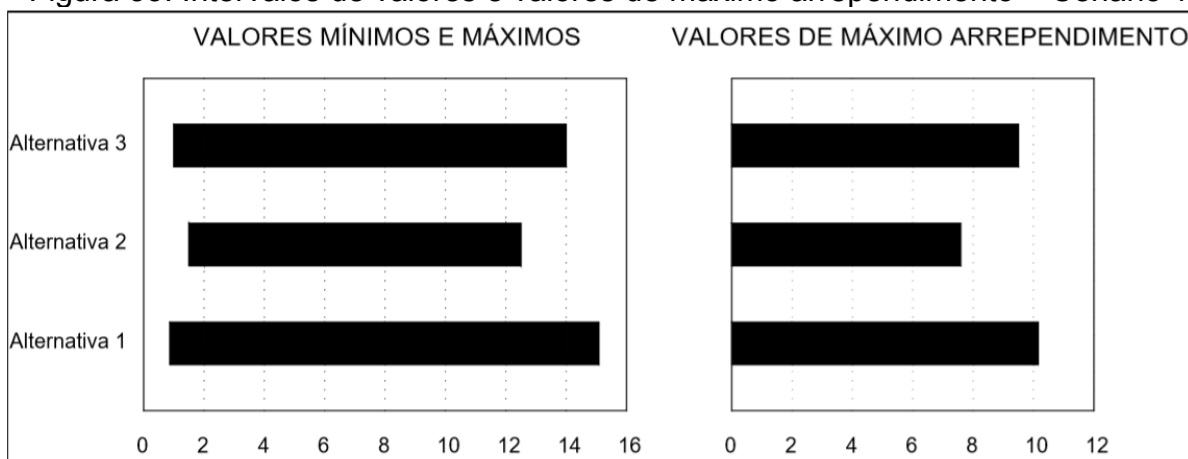
Fonte: próprio autor, 2019.

É possível observar que, neste cenário sem restrições de ordenação, o menor intervalo de valores (diferença entre o mínimo e o máximo) foi o da alternativa 2,

seguida pelas alternativas 3 e 1 respectivamente. O intervalo de valores entre mínimo e máximo está associado a robustez, possibilitando considerar uma alternativa com um intervalo menor mais robusta do que uma com um maior intervalo. Isso porque, quanto menor o intervalo de variação das pontuações, menor o impacto da alteração dos pesos de ponderação dos critérios.

Sendo assim, a alternativa 2 se mostrou mais robusta que as demais. Porém, os intervalos não apresentaram grandes diferenças, conforme demonstrado na Figura 33, onde são representados os gráficos para essas diferenças e para os valores de máximo arrependimento.

Figura 33: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 1



Fonte: próprio autor, 2019.

Observa-se que a alternativa 2 apresentou o menor valor de máximo arrependimento, enquanto a 1, o maior. Porém, nenhuma delas apresentou dominância sobre a outra, considerando que todos os valores são superiores a 0. Assim, pelo cenário 1, as alternativas podem ser consideradas equivalentes, uma vez que nenhuma pode ser considerada a melhor opção.

No Quadro 35 estão demonstrados os valores de máximo arrependimento na comparação par a par entre as alternativas.

Quadro 35: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 1)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1		7,58	1,58
Alternativa 2	10,16		9,50
Alternativa 3	2,00	6,50	

Fonte: próprio autor, 2019.

Observa-se que o menor valor de máximo arrependimento (1,58) ocorreria na situação de se escolher a alternativa 1 em detrimento da alternativa 3. Na situação inversa, também é possível observar um valor baixo, de 2,00. Já a situação de se escolher a alternativa 2 em detrimento da alternativa 1 apresentou o maior valor de arrependimento. Com isso, neste cenário verificou-se uma equivalência maior entre as alternativas 1 e 3, tendo a alternativa 2 mostrado a maior diferença.

5.9.2 Cenário 2

Para a análise no cenário 2, foi definido no software as restrições de ordenação segundo a alternativa A1, sendo:

$$A3 > F1 > E5 > B1 > A1 > E4 > E3 > D1 > F3 > B2 > E1 > C1 > D2 > A2 > F2 > E2$$

Portanto, as variações dos parâmetros de importância dos critérios variaram apenas dentro deste espaço vetorial, respeitando esta ordem de importância dos indicadores. No quadro 36 estão apresentados os resultados para este cenário.

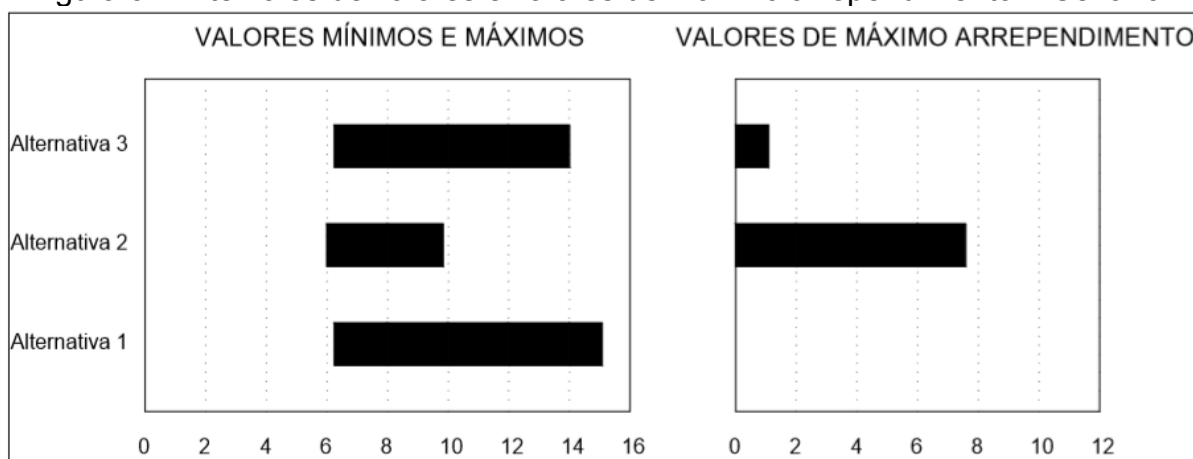
Quadro 36: Resumo dos resultados do VIP *Analysis* para o Cenário 2

Alternativas	Valor mínimo	Valor máximo	Máximo Arrependimento
A1	6,25	15,08	0,00
A2	6,00	9,83	7,58
A3	6,25	14,00	1,08

Fonte: próprio autor, 2019.

Semelhante ao cenário 1, neste caso também se observa um intervalo menor entre os valores mínimos e máximos na alternativa 2, reforçando sua maior robustez. Porém, a alternativa 1 apresentou os maiores valores, se mostrando a mais atrativa neste caso. Na Figura 34 estão apresentados os gráficos com os intervalos de valores e valores do máximo arrependimento.

Figura 34: Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 2



Fonte: próprio autor, 2019.

Observa-se neste cenário que o valor do máximo arrependimento da alternativa 1 é igual a zero. Isso representa a dominância desta alternativa em relação às outras. É possível observar também que a alternativa 3 apresentou um valor muito baixo, e mesmo não representando dominância, demonstra uma equivalência maior entre ela e a alternativa 1. No quadro 36 estão os resultados da comparação par a par entre as alternativas.

Quadro 37: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 2)

	A1	A2	A3
A1		7,58	1,08
A2	0		0
A3	0	6,50	

Fonte: próprio autor, 2019.

Conforme demonstrado no quadro, a alternativa 1 tem dominância em relação a todas as outras. Verifica-se também que a alternativa 3 tem dominância em relação a alternativa 2 e apresenta um valor máximo de arrependimento pequeno (1,08) em relação a alternativa 1. Já os valores da alternativa 2 são superiores, demonstrando que neste cenário, esta é a alternativa que mais se afasta das demais, ou seja, possui uma menor equivalência.

5.9.3 Cenário 3

Neste cenário, a restrição de ordenação dos critérios foi conforme a alternativa 2, sendo:

$$A2 > F1 > E5 > C1 > A3 > D1 > D2 > B1 > A1 > E4 > E3 > B2 > E1 > E2 > F3 > F2.$$

No quadro 38 estão demonstrados os valores correspondentes.

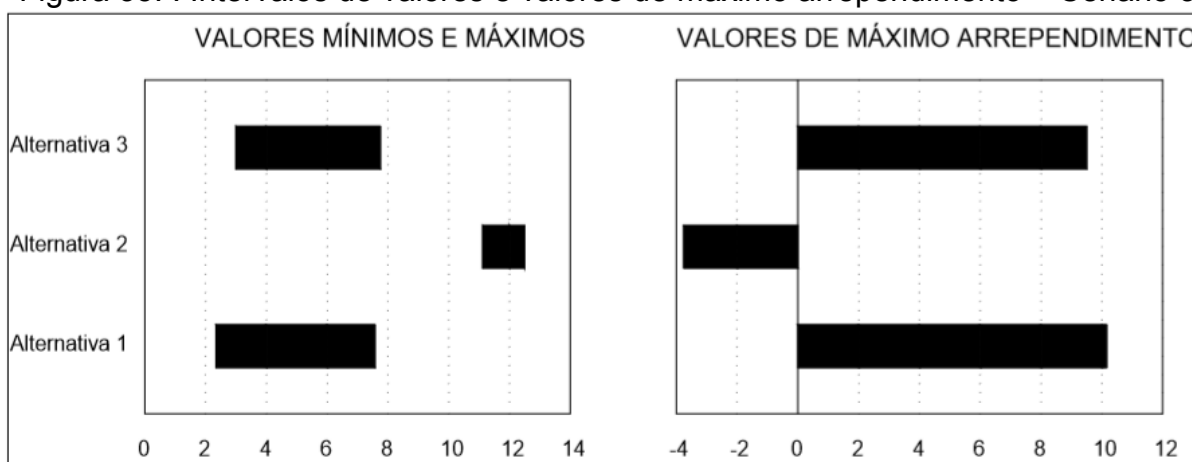
Quadro 38: Resumo dos resultados do VIP Analysis para o Cenário 3

Alternativas	Valor mínimo	Valor máximo	Máximo Arrependimento
A1	2,34	7,57	10,16
A2	11,12	12,50	-3,75
A3	3,00	7,75	9,50

Fonte: próprio autor, 2019.

Nesta situação os maiores valores e maior robustez foram da alternativa 2. Já os resultados das alternativas 1 e 3 foram muito próximos. Isso demonstra mais uma vez a equivalência maior entre elas, assim como uma maior discrepância em relação a alternativa 2. Na Figura 35 estes resultados do intervalo dos valores e valores de máximo arrependimento são demonstrados graficamente.

Figura 35: : Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 3



Fonte: próprio autor, 2019.

Pela figura é possível observar a dominância da alternativa 2 em relação as demais, uma vez que para todas as combinações de alterações dos fatores de importância dos critérios, os valores da alternativa 2 serão maiores que as demais (o valor mínimo é maior que o máximo das outras alternativas). Os intervalos das alternativas 1 e 3, conforme já constatado, estão muito próximos.

Com o gráfico dos valores de máximo arrependimento, confirma-se a dominância da alternativa 2, uma vez que o valor ficou abaixo de zero. Também se confirma a equivalência das alternativas 1 e 3.

No quadro 39 são demonstradas as comparações par a par das alternativas em relação aos valores de máximo arrependimento.

Quadro 39: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 3)

	A1	A2	A3
A1		-4,05	-0,18
A2	10,16		9,5
A3	0,66	-3,75	

Fonte: próprio autor, 2019.

Observa-se que a alternativa 2 tem dominância sobre todas as outras alternativas, pois apresenta valor de máximo arrependimento menor que zero em comparação a ambas, porém, em relação a alternativa 1, essa dominância se mostra em maior grau. Já a comparação entre as alternativas 1 e 3, mais uma vez demonstrou a equivalência das mesmas, uma vez que os valores do máximo arrependimento nessas comparações foram todos próximos de zero.

5.9.4 Cenário 4

No último cenário da análise de sensibilidade do IPA-MR foi adicionando ao sistema VIP *Analysis* a restrição de ordenação conforme a alternativa 3, sendo:

$$A3 > F1 > E5 > B1 > E4 > A1 > F3 > D1 > E3 > C1 > B2 > D2 > E1 > A2 > F2 > E2.$$

O resumo dos resultados está demonstrado no quadro 40.

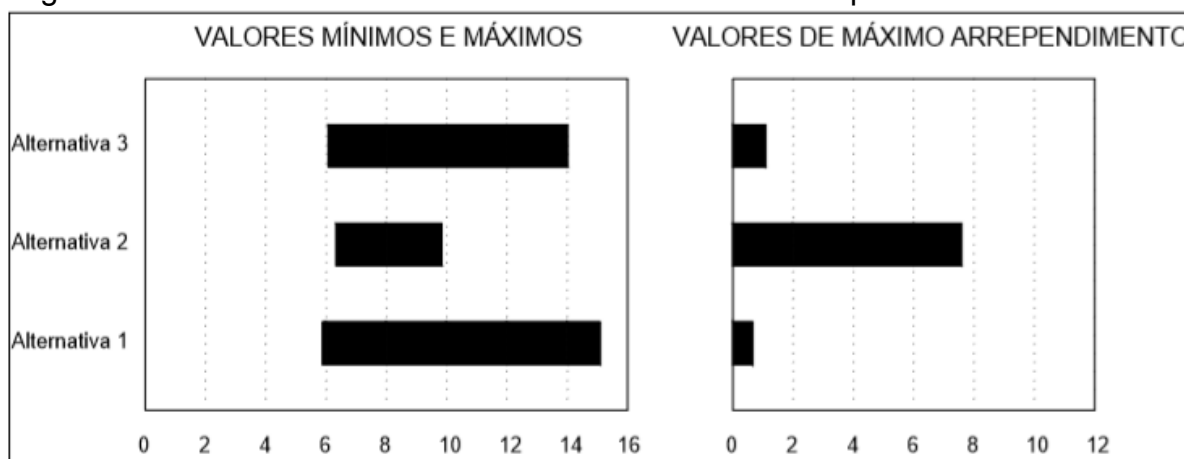
Quadro 40: Resumo dos resultados do VIP *Analysis* para o Cenário 4

Alternativas	Valor mínimo	Valor máximo	Máximo Arrependimento
A1	5,88	15,08	0,644
A2	6,33	9,83	7,58
A3	6,07	14	1,08

Fonte: próprio autor, 2019.

Neste cenário, se confirma a equivalência entre as alternativas 1 e 3, já que os valores são muito próximos. Na figura 36, estão demonstrados os intervalos de valores mínimos e máximos de cada alternativa e os valores de máximo arrependimento de maneira gráfica.

Figura 36: : Intervalos de valores e valores de máximo arrependimento – Cenário 4



Fonte: próprio autor, 2019.

Observa-se pelos intervalos de valores mínimos e máximos que nenhuma das alternativas apresenta dominância. O destaque para a alternativa 2 é em função da maior robustez ao apresentar um intervalo menor, semelhante a outros cenários. Pelo gráfico é possível observar que o maior valor de máximo arrependimento é da alternativa 2, e o menor para a 1. Porém, como nenhuma apresentou valor zero ou menor, não se observou nenhuma dominância. Mais uma vez destaca-se a equivalência entre as alternativas 1 e 3 ao apresentarem valores de máximo arrependimento muito próximos e, conseqüentemente a discrepância da alternativa 2, que apresentou o maior valor. No quadro 41 estão apresentados os valores para a comparação par a par do máximo arrependimento das alternativas.

Quadro 41: Valores de máximo arrependimento – comparação par a par (Cenário 4)

	A1	A2	A3
A1		7,58	1,08
A2	0,64		0,46
A3	0,196	6,50	

Fonte: próprio autor, 2019.

Pela comparação par a par observa-se o maior valor do máximo arrependimento na escolha da alternativa 1 em relação a 2. Já o menor está na situação de se escolher 3 em relação a 1.

Esses resultados confirmam o que foi observado nos demais cenários. As alternativas 1 e 3 se mostraram equivalentes, demonstrando valores semelhantes e nenhum valor de máximo arrependimento alto.

5.9.5 Considerações gerais em relação a Análise de Sensibilidade

Após a análise de todos os cenários, conclui-se que as alternativas 1 e 3 não apresentam diferenças significativas, uma vez que na maioria dos casos (com exceção do cenário 2) nenhuma apresentou dominância em relação a outra, e os valores de máximo arrependimento obtidos se mostraram baixos. Mesmo no cenário 2, em que se observou a dominância da alternativa 1 em relação a 3, o valor do máximo arrependimento se escolher a alternativa 3 em detrimento da 1 foi muito próximo de zero.

O mesmo fato não é válido quando há a comparação com a alternativa 2, em que na maioria dos cenários ou dominou, ou foi dominada pelas outras. Isso demonstra a maior diferença dela em relação as demais. Porém, no cenário 1, em que não houve restrição de ordenamento, não se obteve relação de dominância entre nenhuma das alternativas. Assim, pode-se concluir que a alternativa 2 é a que apresenta a maior diferença entre todas, porém, assim mesmo pode-se inferir uma equivalência entre as três.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados foi possível observar que todos os objetivos da pesquisa foram alcançados com a elaboração do Índice de Performance Ambiental da Manutenção Rodoviária (IPA-MR), possibilitando a mensuração do desempenho ambiental de obras de manutenção rodoviária.

Em relação ao IPA-MR, todos os PVFs levantados para as três concessionárias pesquisadas tiveram indicadores para mensurar o seu desempenho ambiental, sendo todos de fácil obtenção, muitas vezes possibilitando sua conferência apenas por análise documental. Um possível problema a ser encontrado neste levantamento é a falta de dados coletados pela instituição responsável pela gerência da via, como por exemplo, falta das fichas de monitoração do sistema de drenagem (indicador E2). Neste caso, mesmo que a instituição realize os procedimentos das inspeções, mas não apresente registros, não pontuará no indicador, provocando um impacto negativo para o IPA-MR. O mesmo fato ocorrerá com o levantamento dos indicadores E1 e C1. Dessa forma, o índice proposto além de mensurar o desempenho ambiental das manutenções da via, servirá também como uma ferramenta para auxiliar a gestão, influenciando a adoção de procedimentos para o controle e registros de atividades. Da mesma forma que a gestora da via, tendo em mãos os indicadores, poderá antecipar ações na execução de suas obras, de maneira que as metas de melhoria no desempenho ambiental sejam atendidas, resultando em obras com menores impactos ambientais.

Em relação à escala de avaliação dos indicadores (função valor ou pontuações), observa-se que é possível e simples converter as observações em campo para a pontuação final do indicador. No caso dos indicadores de níveis qualitativos, essa pontuação é levantada diretamente, pois cada nível possui uma pontuação tabelada. Já quando os níveis são quantitativos, a pontuação é facilmente obtida por meio dos gráficos, sendo possível realizar a interpolação para qualquer valor anotado em campo. Além disso, existe a possibilidade de utilizar as equações para a obtenção dessas pontuações. A vantagem dessas equações é que eliminam qualquer erro que possa ocorrer no levantamento gráfico, considerando que o resultado da equação será o valor exato da pontuação do indicador.

A facilidade de obtenção das pontuações dos indicadores demonstra que o método MACBETH e o software M-MACBETH são ferramentas eficazes em

converter as escalas ordinais em cardinais, facilitando a tomada de decisão dos gestores e a identificação de possíveis pontos de desempenho ambiental insatisfatório.

Em relação ao peso de ponderação dos indicadores dentro das áreas de interesse, concluiu-se que a utilização das matrizes de ordenação de PVFs, assim como o método MACBETH com os julgamentos de diferença de atratividade se mostraram satisfatórias, conseguindo representar a opinião dos julgadores em relação aos indicadores mais importantes na mensuração do desempenho ambiental das respectivas áreas de interesse.

Quanto ao peso das áreas de interesse para a composição do índice, observou-se que o maior impacto para o desempenho ambiental segundo os julgadores, é a “Poluição Ambiental”. Isso se deve principalmente pelo fato que a existência de poluição ambiental representa passivos ambientais existentes, ou seja, os impactos ambientais já estão ocorrendo demonstrando que o desempenho ambiental dos serviços não foi satisfatório. Já áreas como “Manutenção dos Equipamentos”, que teve o menor peso na formação do índice, se referem principalmente à prevenção dos impactos, pois não é fato consumado que a simples falta de manutenção por si só gerou passivos ambientais e impactos, resultando num desempenho ambiental insatisfatório e sim apenas que existe a possibilidade de equipamentos com manutenção preventiva atrasada emitam uma maior quantidade de gases de efeito estufa.

Antes da normalização do IPA-MR, seu menor valor é de -258,64 e o maior valor é de 147,07. Com a normalização, o menor valor possível passa a ser de 0 e o maior de 100. Isso representa uma melhor compreensão do desempenho ambiental tendo em vista a possibilidade de a análise ser comparada a uma escala percentual. Assim, quando a obra tiver o melhor desempenho ambiental possível o IPA-MR será 100, sendo possível o paralelo de um desempenho ambiental de 100%, por exemplo.

Com a análise de sensibilidade foi possível observar que os pesos atribuídos pelos profissionais da concessionária A apresentaram uma maior diferença em relação aos pesos gerados no M-MACBETH e os apontados pelo profissional da concessionária B. Isso pode ser explicado pelo fato de que a formação dos julgadores desta pesquisa eram a mesma do profissional da concessionária B (engenharia civil). Já a concessionária A teve participação também de um

profissional da área de engenharia florestal, que pode ter contribuído para uma análise diferenciada na identificação dos itens de maior importância do índice. Porém, mesmo com a identificação dessas diferenças, foi possível concluir que a opinião dos experts das duas concessionárias consultadas se mostrou equivalente ao resultado obtido pelo software M-MACBETH, validando os pesos de ponderação do IPA-MR. Isso demonstra que o objetivo de se utilizar a MCDA-C e o método MACBETH para representar a opinião dos profissionais da área foi alcançado e o IPA-MR se mostrou compatível aos anseios dos profissionais da área.

Por fim, é possível concluir que o IPA-MR representa uma ferramenta objetiva para mensuração de desempenho ambiental rodoviário, auxiliando os gestores na identificação dos setores com deficiência, bem como no planejamento das obras de manutenção rodoviária e na melhoria constante dos processos. Assim, o seu uso pode representar uma aplicação prática dos conceitos de desenvolvimento sustentável na execução das obras de infraestrutura de transporte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, A. T.; CAVALCANTE, C. A.; ALMEIDA, A. T. Seleção de ferramenta computacional de apoio a decisão pelo método VIP Analysis. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, 25, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005. p. 2988-2995.
- ALVES, J. E. D. A Terra no limite. **Revista VEJA – Edição Especial Sustentabilidade**, São Paulo, p. 24-27, 2010.
- ARAÚJO, G. A., COHEN, M., SILVA, J. F. Avaliação do Efeito das Estratégias de Gestão Ambiental sobre o Desempenho Financeiro de Empresas Brasileiras. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.3, n2, p. 19-38, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001 (2004) Sistema de Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. p. 27
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151 (2000) Acústica – Avaliação do Ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. p. 4
- BANA e COSTA, C. A. (ed.) Readings in multiple criteria decision aid. Berlim: Springer, 1990.
- BANA E COSTA, C. A. As três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 13, n. 1, 1993. p.9-20.
- BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J.-C. Applications of the MACBETH Approach in the Framework of an Additive Aggregation Model, **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis** v.6 , n.2, 1997, p.107-114.
- BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C.; DE CORTE, J. M. "MACBETH", Working Paper **LSEOR 03.56**, London School of Economics, UK, 2003.
- BANA e COSTA, C. A.; FERREIRA, J. A. A.; CORRÊA, E. C. Metodologia multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos públicos, In: **Casos de aplicação da investigação operacional**, C.H. Antunes, L.V. Tavares, McGraw-Hill, p. 337-363, 2000.
- BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH - an interactive path towards the construction of cardinal value functions. **Int. Trans. in Oper. Res.**, v.1, pp. 489-500, 1994.
- BANDEIRA, C., FLORIANO, E. P. Avaliação de Impacto Ambiental de Rodovias. **Caderno Didático nº8, 1ªed, ANORGS**, Santa Rosa, 2004, 16pp.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. **Norwell: Kluwer Academic Publishers**, 2001.
- BENDA, F.; ALVES, M. G.; CORRÊA, F. P. Estudo do Risco de Degradação por Assoreamento dos Corpos d'água Superficiais utilizando SIG. **Revista Informática Pública**, v. 9, n.2, p. 55-69, 2007.

BIGARELLA, João José. Estrutura e Origem das paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis,: ed. UFSC, 2003.

BRAZ, J. M. B. P. **O MACBETH como ferramenta MCDA para o Benchmarking de Aeroportos**. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior. 59 pp, 2011.

BRITO, A. J.; ALMEIDA FILHO, A. T.; ALMEIDA, A. T. Seleção de contratos de manutenção com informações imprecisas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, 25, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005. p. 2980-2987.

BUTLER, J.; JIA, J.; DYER, J. Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. **European Journal of Operational Research**, London, v.103, p.531-546, 1997.

CALLADO, A. L. C.; CALLADO, A. A. C.; ALMEIDA, M. A. A utilização de indicadores de desempenho não financeiros em organizações agroindustriais: um estudo exploratório. **Organizações Rurais e Agroindustriais**. V.10, n.1, p.35-48, 2008.

CAMPOS, L. M. S. Environmental Management Systems (EMS) for small companies: a study in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, 141-148, 2012.

CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de decisão para localização de nova jaguaribara com VIP Analysis. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.

CELAURO, C.; CORRIERE, F.; GUERRIERI, M.; LO CASTO, B.; RIZZO, A. Environmental analysis of different construction techniques and maintenance activities for a typical local road. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3482-3489, 2016.

CORRÊA, E.C. **Construção de um Modelo Multicritério de Apoio ao Processo Decisório**. Florianópolis , 1996. Dissertação de Mestrado - Departamento. de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

COSTA, M. S. **Um Índice de Mobilidade Sustentável para Cidades Brasileiras**. 2008. 247p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, EESC - USP, São Paulo, SP. 2008

COSTA, R. M., SÁNCHEZ, L.E. Avaliação do desempenho ambiental de obras recuperação de rodovias. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 63, n.2, 257-254, 2010.

Costa, C. A. B., Corte, J. M., Vansnick, J. C. MACBETH. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 11, n.2, p. 359-387, 2012.

CLÍMACO, J. N. (ed.) **Multicriteria analysis**. Berlim: Springer, 1997.

CMMAD. (1987) **Nosso Futuro Comum**. New York. ONU.

CNT, Confederação Nacional de Transportes (2017) **Pesquisa CNT de Rodovias 2017, relatório gerencial**, - 21 ed, Acesso em 17 de novembro de 2017, disponível em:

[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2017\)%20-%20BAIXA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20BAIXA.pdf).

DA LUZ, S. O. C., SELLITO M. A., GOMES, L. P. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio a decisão: Estudo de caso na indústria automotiva. **Revista Gestão e Produção**, v.13, n.3, p. 557-570, 2006.

DAMATO, M.; ROMANINI, P. U. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Rodovias Concedidas do Estado de São Paulo. **Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 30, Punta del Este, 23-30 nov. 2006, p.1-4.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambiental**, Brasília, 2005.

_____. **Manual de conservação rodoviária**. Rio de Janeiro, ed. 2, 2005

DIAS, L.; CLÍMACO, J. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: The VIP Analysis Software. **Journal of Operational Research Society**, n. 51, p. 1070-1082, 2000

DIAS, L. Apontamentos de Análise de Decisão: Como considerar múltiplos critérios. Colceção Apontamentos. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2002.

DÍAZ, O. L. C.; SILVA, L. C. M. Criterios de sostenibilidad en el subsector vial. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, v. 25, n. 2, p. 81-98, 2015.

DOIGNIN, J. P. Threshold representations of multiple semiorders. **SIAM Journal of Algebric Discrete Methods**, v.8, p. 77-88, 1987.

ENSSLIN, L., GIFFHORN, E., ENSSLIN, S. R., PETRI, S. M., VIANNA, W. B. A. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicriterio de apoio à decisão construtivista. **Pesquisa operacional**, v.30, n.1, p. 125-152, 2010.

ENSLINN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. D. **Apoio à Decisão: Metodologia para Estruturação de problemas e Avaliação Multicritérios de Alternativas**, Insular, Florianópolis, 296 pp, 2001.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, n. 19, p. 53, 2005.

FISHBURN, P. C. **Utility theory for decision making**. Nova York: Wiley, 1970.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; PECHE FILHO.A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.4, p. 446-449, 2013.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos. Rio de Janeiro: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson Learning. - (Coleção debates em administração), 2007.

GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 8, n. 2, p. 151-169, 2012.

Hart, S. L. **O capitalismo na encruzilhada: as inúmeras oportunidades de negócios na solução dos problemas mais difíceis do mundo**. (L.O. Rocha, Trad.). Porto Alegre: Bookman, 2006 (Obra original publicada em 2005).

HROMKOVIC, J. **Algorithms for hard problems: introduction to combinatorial optimization, randomization, approximation, and heuristics**. New York: Springer-Verlag, 2001.

JESUS, F. G. **Indicadores de desempenho para a gestão ambiental dos serviços de manutenção rodoviária**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina, 145pp, 2015.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs**, John Willey & Sons, 1976.

KEENEY, R.L. **Value-Focused Thinking: a Path to Creative Decisionmaking**. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1992.

LACERDA, F. G.; CHAVES, M. C. C.; GOMES JÚNIOR, S. F.; MELLO, J. C. C. B. S. Avaliação do desempenho dos países nos Jogos Pan-Americanos e verificação da ocorrência de Home Advantage. **Pesquisa Operacional** v.31, n.2, p.391-403, 2011.

LEITE, D. F., RODRIGUES, R. R., SEQUINEL, L. F., SILVA JUNIOR, C. A. P., FONTENELE, H. B. Proposta de indicadores para avaliação de desempenho ambiental de rodovias concessionadas. **Revista de Engenharia e Tecnologia** v.10, n.3, p.183-194, 2018.

LYRIO, M. V. L., BROTTI, V., ENSSLIN, S. R., ENSSLIN, L. Proposta de um modelo para avaliar o grau de transparência das demonstrações financeiras publicadas por uma instituição pública de ensino superior brasileira: a abordagem da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista. **Revista UnB Contábil** v.11, n.1-2, p. 170-186, 2008.

MAIA, P. A. **Estimativa de exposições não contínuas a ruído: Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil**. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 201pp, 2001.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.

MALCZEWSKI, J.; CHAPMAN, T.; FLEGEL, C.; WALTERS, D.; SHRUBSOLE, D.; HEALY, M. A. GIS multicriteria evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): developing management strategies for rehabilitation and enhancement projects in the Cedar Creek watershed. **Environment and Planning**, London, v.35, n.10, p.1769-1784, 2003.

MARCONI, W. R.; LIMA, C. R. C. Análise dos Custos de Manutenção e de Não manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v.11, n.22, pp- 35-42, 2003.

MARTEL, J.-M. L'aide multicritère à la décision: méthodes et applications, **CORS-SCRO Bulletin** v.33, p. 6-16, 1999.

MARTINS, J. B. **Sistema de informações para o gerenciamento ambiental da operação rodoviária**. 2005. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro, 2005.

OMENA, M. R. L. A.; SANTOS, E. B. Análise da efetividade da Avaliação de Impactos Ambientais – AIA – da Rodovia SE 100/Sul-Sergipe. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, p. 221–237, 2008.

PANAZZOLO, A. P.; FRANTZ, L. T.; AURÉLIO, S. O. S.; COSTA, F. L.; MUNOZ, C. Gestão ambiental na construção de rodovias – O caso da BR-448 – Rodovia do Parque. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3, Bento Gonçalves. **Anais...** 2012. p. 1-8.

PAZ, E.C.; ZANNIN, P. H. Avaliação do Ruído de Tráfego Noturno – Estudo de Caso na Cidade de Curitiba, Brasil. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 31, p- 29-52 , 2014.

PELLECUER, L.; ASSAF, G. J.; ST-JACQUES, M. Life cycle environmental benefits of pavement surface maintenance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 41, n. 8, p. 695-702, 2014.

PERRON, O. **Zur Theorie der Matrizen**. **Mathematische Annalen**, Berlim: Springer, v. 64. 1907.

PORTER, M. E., LINDE, C. Toward a new conception of the environment: competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v.9, n.4, p. 97-118, 1995.

RATTON, P.; SOBANSKI, M. B.; RATTON, E. Gestão ambiental de empreendimentos rodoviários estudo de caso – BR-262/MS. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, RAPv 42, ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, ENACOR, 16, Gramados. **Anais...** 2013. p. 1-13.

ROCHA, V. J. da. **Gestão ambiental no setor rodoviário brasileiro: o caso da pavimentação da BR-163 no estado do Pará**. 2006. 115 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

RODRIGUES, P. P.; CATAI, R. E.; AGNOLETTI, R. A.; FERREIRA, M. R. D.; GUDEIKI, I. J. B.; MATOSKI, A. Análise dos Níveis de Ruído em Equipamentos da Construção Civil na Cidade de Curitiba. **Revista Produção**, Florianópolis, v. 9, n.3, p. 466-488, 2009.

RODRIGUES, R. R. **Índice para avaliação de desempenho ambiental dos serviços da manutenção rodoviária**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina, 161pp, 2018.

ROMEU, J.; GNESCÀ, M.; PÀMIES, T.; JIMÉNEZ, S. Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. **Applied Acoustics**, v. 72, n.8, p. 569-577, 2011.

ROY, B. Classement et choix en presence de points de vue multiples: la methode ELECTRE. **Revue d'Informatique et de Recherche Operationelle**, v.2, n. 8, p. 57-75, 1968.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B. Decision Science or Decision-aid Science? **European Journal of Operational Research**. v. 66, p. 184-203, 1993.

SABOYA, R. T. **Concepção de um Sistema de Suporte à Elaboração de Planos Diretores Participativos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 231pp, 2007.

SÁNCHEZ, L. E. **As etapas iniciais do processo de Avaliação de Impacto Ambiental**. **Avaliação de Impacto Ambiental**. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente (Documentos Ambientais), 35-55, 1998.

SANQUETTA, C. R.; FLIZIKOWSKI, L. C.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B. Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa em uma Obra de Construção Civil com a Metodologia GHG Protocol. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v.9, n.16, pp.1088-1106, 2013.

SANTOS, H. P.; STARLING, C. M. D.; ANDERY, P. R. P. Estudo Introdutório sobre Aditivos Contratuais em Obras Públicas de Edificações de Âmbito Municipal. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 6, n.2, p. 26-34, 2014.

SCHÄRLIG, A. **Décider sur plusieurs critères panorama de l'aide a la decision multicritere**. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1990.

SOARES, A. F. S. **Análise da Ocorrência de Hidroplanagem num Caso Real**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pp 138, 2011.

SMITH, W. P., ZOLLNER, P. A. Sustainable management of wildlife habitat and risk of extinction. **Biological Conservation**, Kidlington, v.125, p. 287-295, 2005.

TINOCO, J. E. P.; KRAEMER, M. E. P. **Contabilidade e gestão ambiental**. 2 ed. Atlas: São Paulo, 2008.

TRIANAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision making methods: a comparative study**. Dordrecht: Kluwer, 2000

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Comparação entre Métodos de Análise de Sensibilidade na Tomada de Decisão com a Avaliação Multicriterial. **Scientia Forestalis**, v. 37, n.82, p.197-211, Piracicaba, 2009.

VALOIS, N. A., FIGUEIREDO, E. J. A., MARINHO, M. M. O. Desafios e oportunidades dos indicadores de desempenho ambiental da Agência Nacional de Transportes Aquaviários para portos organizados marítimos: Uma análise sob a percepção dos gestores ambientais portuários. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.4, n.2, p. 155-168, 2016.

VENTURA, A. A. V. **Aplicação do método Action Research ao processo de apoio à decisão com o uso do sistema VIP Analysis**. 2012. 385 p. Tese de Doutorado (Faculdade de Economia) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

VILLELA, F. R. **Análise Multicritério para a Definição do Índice de Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica por uma Distribuidora**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 157pp, 2009.

VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid**. Ed. John Wiley & Sons, 1992.

VIVIANI, E., RAMOS, R. A. R., LAVEZZO, J. A. S. **Subsídios à validação de um modelo de gestão de estradas não pavimentadas**. 6º Congresso Luso-Brasileiro para planejamento urbano, regional, integrado e sustentável. Lisboa, 2014.

YAGER, R.R. On Ordered Weighted Averaging aggregation operator in multicriteria decision making. **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**, New York, v.8, n.1, p.183-190, 1988.

ZOBEL, T., ALMORTH, C., BREAKY, J., BURMAN, J. (2002) Identification and assessment of environmental aspects in na EMSN context: an approach to a new reproducible method on LCA methodology. **Journal of Cleaner Production**, v.10, n.4, p. 381-396, 2002.

WATHERN, P. **An introductory guide to EIA, Environmental Impact Assessment: Theory and Practice**. London, Unwin Hyman, 3-30, 1988.

ANEXOS

ANEXO 1

Conceitos e aspectos negativos Concessionária 2

CONCESSIONÁRIA 2			
PVF		Conceito	Aspecto Negativo
2.1	Plano de Medidas Compensatórias	Planejar juntamente com os funcionários, medidas que diminuam os impactos ocasionados	Obras ineficientes, com curto prazo de validade
2.2	Supressão da vegetação nativa	Evitar desmatamentos desnecessários	Acelerar o processo erosivo
2.3	Alteração nos hábitos da fauna	Evitar a implantação de canteiros de obras próximos a ambientes florestados	Aumento da morte de animais por atropelamento. Aumento da incidência de acidentes na estrada
2.4	Exposição dos Funcionários	Utilização de equipamentos de segurança (máscaras, botas, luvas, entre outros)	Risco a saúde do funcionário
2.5	Formação de ambientes Propícios ao desenvolvimento de vetores	Incinerar o lixo degradável, adotando os cuidados necessários para evitar a contaminação dos cursos d'água e incêndios	Propagação de doenças
2.6	Aumento da emissão de ruídos	Planejamento de horários adequados para o transporte de materiais e equipamentos	Barulho excessivo em horários em que os moradores da região estão em casa
2.7	Alteração no cotidiano da população	Planejamento da mobilização de mão de obra, máquinas, materiais e equipamentos, de forma a minimizar as perturbações na vida da população residente	Aumento do trânsito na região afetada, alterando o horários de saída e chegada dos moradores. Aumento da poluição sonora e visual.
2.8	Aceleração dos processos erosivos	Implantação de drenagem provisória	Risco de desmoronamentos, aceleração dos processos erosivos e assoreamento
2.9	Poluição visual das vias de tráfego	Limpeza das vias	Risco elevado de atropelamentos e acidentes

Fonte: Leite *et. al*, 2018.

ANEXO 2

Conceitos e aspectos negativos Concessionária 3

CONCESSIONÁRIA 3			
	PVF	Conceito	Aspecto Negativo
3.1	Fiscalização Ambiental	Fiscalizar todos os pontos das obras	Ineficiência ambiental
3.2	Desmatamento desnecessário para a instalação de canteiro	Realizar projeto de canteiro compatibilizado com a natureza ao redor	Risco de crime ambiental
3.3	Treinamento de Funcionários	Maior eficiência no gerenciamento ambiental	Funcionários com más práticas
3.4	Plano de destinação de resíduos	Destinação correta de todos os resíduos oriundos da atividade de manutenção	Risco de desastres ambientais por destinação incorreta de resíduos
3.5	Plano de Gerenciamento Ambiental	Reduzir danos ao meio ambiente	Imagem negativa da empresa perante empresas do setor
3.6	Geração de resíduos da construção civil	Separação dos resíduos para reciclagem	Risco de acidentes por conta de entulhos empilhados
3.7	Destinação correta dos resíduos contaminantes	Coleta dos resíduos e encaminhamento para empresas especializadas	Risco de contaminação do solo e do lençol freático
3.8	Limpeza das pistas e dispositivos de drenagem	Limpeza nos finais de semana da obra	Assoreamento de valetas, impossibilitando a drenagem correta

Fonte: Leite *et. al*, 2018.